

MOGUĆNOST ZAHVAĆANJA PODZEMNIH VODA U ISTRI IZVAN PODRUČJA VELIKIH IZVORA (SREDIŠNJA I SJEVERNA ISTRA)



VODITELJ PROJEKTA:

Prof. dr. sc. Ivan Dragičević

DEKAN

Izv. prof. dr. sc. Zoran Nakić

Zagreb, prosinac 2014.

PROJEKTNI ZADATAK: MOGUĆNOST ZAHVAĆANJA PODZEMNIH VODA
U ISTRI IZVAN PODRUČJA VELIKIH IZVORA (SREDIŠNJA I SJEVERNA ISTRA)

NARUČITELJ: HRVATSKE VODE

IZVRŠITELJ: RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

VODITELJ PROJEKTA: Prof.dr.sc. Ivan Dragičević, dipl.ing.geol.

SURADNICI: Prof.dr.sc. Eduard Prelogović, dipl.ing.geol.

Prof.dr.sc. Tatjana Vlahović, dipl.ing.geol.

Dr.sc. Alan Vranjković, dipl.ing.geol., viši asistent

Mag. ing. geol. Ivica Pavičić

Saša Šipek, geol.teh.

Sadržaj:

1.	UVOD	1
2.	ZEMLJOPISNE ZNAČAJKE	4
2.1.	Klima	4
2.1.1.	Temperatura	4
2.1.2.	Padaline	8
2.1.3.	Vjetrovi	11
2.1.4.	Površinske vode	12
3.	GEOMORFOLOGIJA	21
4.	PRIKUPLJANJE, SISTEMATIZACIJA I VALORIZACIJA PODATAKA DOSADAŠNJIH GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA	27
5.	GEOLOGIJA	31
5.1.	Opis lithostratigrafskih jedinica	31
5.1.1.	Vapnenci i dolomiti (donja kreda-K ₁)	31
5.1.2.	Dolomiti i postsedimentacijske diagenetske breče (gornji alb, donji cenoman-K ₁ ⁶ -K ₂ ¹)	33
5.1.3.	Rudistni vapnenci (cenoman–senon-K ₂ ³)	35
5.1.4.	Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (paleocen, donji i srednji eocen-Pc,E _{1,2})	36
5.1.5.	Fliš (srednji i gornji eocen-E _{2,3})	38
5.1.6.	Crvenica (tsQ ₂) (holocen)	39
5.1.6.	Jezerske naslage, holocen (jQ ₂)	39
5.1.7.	Riječni i potočni aluvij (holocen-aQ ₂)	40
6.	STRUKTURNI ODNOSI U RAZMATRANOM PODRUČJU	43
7.	HIDROGEOLOGIJA	45
7.1.	Hidrogeološka svojstva stijena	45
7.2.	Hidrogeološka funkcija terena	52
7.3.	Hidrogeološke karakteristike vodonosnika	56
7.3.1.	Horizontalno rasprostranjenje i debljine vodonosnika	59

7.3.2. Strukturni položaj vodonosnika	60
7.3.3. Poroznost vodonosnika	60
7.3.4. Volumen vodonosnika i volumen šupljina	62
7.3.5. Područja napajanja vodonosnika	62
7.3.6. Bilanca voda u podzemlju	63
8. RECENTNI GEOLOŠKI STRUKTURNI SKLOP I TEKTONSKA AKTIVNOST.....	65
8.1. Strukture i rasjedi.....	66
8.1.1. Odražavanje struktura i rasjeda u reljefu	69
8.2. Klasifikacija struktura i rasjeda.....	79
8.3. Tektonska dinamika, odnosi i pomaci struktura	141
8.4. Prepoznavanje privilegiranih zona gibanja podzemne vode na temelju geoloških strukturnih odnosa i recentne tektonske aktivnosti	146
9. ODABIR PODRUČJA POGODNIH ZA DALJNA ISTRAŽIVANJA	156
9.1. Geološki-hidrogeološki profili	156
9.2. Odabrani i predloženi lokaliteti za daljnja detaljnija istraživanja	158
LITERATURA.....	164
PRILOZI:	170

Popis slika:

Slika 1.1. Površinsko rasprostranjenije područja istraživanja.....	3
Slika 2.1. Mjesečne temperature zraka - °C (prosječne, minimalne i maksimalne).....	6
Slika 2.2. Usporedni prikaz srednjih mjesecnih temperatura zraka (1966.-1995.).....	7
Slika 2.3. Mjesečne količine padalina - mm (prosječne, minimalne i maksimalne).....	10
Slika 2.4. Komparativan prikaz srednjih mjesecnih padalina (1966.-1995.) ...	10
Slika 2.5. Prosječne jakosti i učestalosti vjetra.	12
Slika 2.6. Prikaz srednjih mjesecnih protoka za višegodišnja razdoblja*.....	14
Slika 2.7. Prikaz srednjih godišnjih protoka u razdoblju od 1955 do 1995. godine.....	14
Slika 2.8. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Mirne u razdoblju 1987.-1996. godine	17
Slika 2.9. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Boljunčice na profilu Čepić u razdoblju 1987.-1996. Godine.	18
Slika 2.10. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Pazinčice na profilu Dubravica u razdoblju 1987-1996.....	19
Slika 5.1. Geološka karta i geološki profili istraživanog područja (prema Geološka karta Hrvatske mjerilo 1:300 000, HGI, 2009, djelomično modificirano)Slika 5.2. Geološki stup istraživanog područja (prema Geološka karta Hrvatske mjerilo 1:300 000, HGI, 2009).....	41
Slika 7.1. Hidrogeološka karta istraživanog područja (VLAHOVIĆ, 1999; PARLOV, 2010; geološka podloga prema, Geološka karta Hrvatske, HGI, 2009) i hidrogeološki profili E-E' i F-F'	47
Slika 7.2. Hidrogeološki profili A-A' i B-B'.....	48
Slika 7.3. Hidrogeološki profili C-C' i D-D'.....	49
Slika 7.4. Transformacija geološkog u hidrogeološki stup (GOLDSCHEIDER & DREW, 2007).....	50
Slika 7.5. Hidrogeološki stup istraživanog područja.....	51
Slika 7.6. Karta slivova i njihove površine u istraživanom području	58
Slika 8.1. POLOŽAJ ISTRE U REGIONALNOM STRUKTURNOM SKLOPU	68
Slika 8.2. Rezidualne gravitacijske anomalije (izolinije u miligalima).....	69

- Slika 8.3. U obuhvaćenom području prisutne su reversne strukture. Zbog kompresije prostora i aktivnosti rasjeda stvara se istaknuti, često asimetričan reljef. Pojedina istaknuta brda označavaju lokalne reversne strukture, a Ćićarija i Učka relativno veliku strukturnu jedinicu. Strukture se nižu između najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa. Rasjedi se najčešće pružaju duž strmih obronaka, strmaca i kroz često duboko usječene doline. Izravno odražavanje struktura i rasjeda u reljefu znak su prisutne tektonske aktivnosti. 71
- Slika 8.4. U reljefu srednjeg dijela obuhvaćenog područja osobito se ističe velika reversna struktura Buje–Buzet–Lupoglav (3). Izgrađena je na površini iz vapnenaca kredne starosti. Krilima strukture pružaju se rasjedi koji se vrlo jasno izražavaju u reljefu. U ostalom dijelu prikazanog područja nalaze se flišne naslage. I one čine brdovit reljef. Podložne su eroziji, pa se u reljefu ističu usječene doline. One nastaju u zonama rasjeda. 72
- Slika 8.5. Detaljan pogled na promatranu veliku strukturu kod Istarskih Toplica otkriva vrlo strme obronke u krovinskom krilu rasjeda Buje–Istarske Toplice–Brnobići–Dolenja Vas (5). Uočljivi su i rasjedi sustava SSZ–JJ1 koji presijecaju strukturu. Posebno rijeka Mirna protječe kroz duboko usječenu dolinu. 73
- Slika 8.6. Oko sela Šušnjevica Čepićko polje se sužava zbog različitog, gotovo suprotnog smjera pomaka Učke i važne lokalne strukture Kaščerga–Grdoselo–Cerovlje–Glogornica (6). Lokalna struktura predstavljena je brdovitim reljefom. Osim glavnog rasjeda 1b iz zone Trst–Učka–otok Susak osobito su uočljivi rasjedi koji se pružaju kroz duboko usječene doline. 73
- Slika 8.7. Pojedine doline relativno veće širine uvijek su smještene između uzdignutih reversnih struktura i nastaju suženjem prostora zbog reversnih pomaka duž rasjeda suprotne vergencije koji graniče dolinama. Veća krška polja također su smještena i sužena između reversnih struktura. Dobar primjer je polje kod Lanišća. Ovdje su osobito važni i pomaci Ćićarije duž rasjeda Lipnik–Lanišće–Brgudac–Vela Učka (3). Polje se kod Lanišća zatvara zbog rotacije dijelova Ćićarije i horizontalnih pomaka duž nekoliko rasjeda sustava SSZ–JJ1. 74
- Slika 8.8. Najvažnija u strukturnom sklopu je zona rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). U primjeru kod Roča glavni rasjedi iz zone 1a i 1b odražavaju se u reljefu strmcima i strmim obroncima. U tektonskim pokretima ključna je kompresija prostora. Stoga se i unutar zone pojavljuju lokalne reversne strukture. U primjeru to je struktura Brdo duž čijih se krila pružaju reversni rasjedi suprotnih vergencija ili reversnih pomaka krila. 74

- Slika 8.9. U strukturnom sklopu rasjedi se često pružaju duž duboko usječenih dolina. Osobito su takve doline uočljive u graničnom prostoru između Ćićarije i Učke. Najveća je Vela draga. Učka se pomiče prema ZJJZ 75
- Slika 8.10. **a)** Dobar primjer duboko usječene doline nalazi se na ISI od Istarskih Toplica. Kroz dolinu protječe rijeka Mirna. Dio doline paralelan je orientaciji maksimalnog kompresijskog stresa. Nastaje širenje prostora što omogućava protok rijeke. **b)** Dolina sjeverno od Buzeta nastala je u zoni rasjeda sustava SSI – JJZ. Zbog prevladavajućih horizontalnih pomaka krila rasjeda dolina se proširuje. Strane doline su strmo nagnute..... 76
- Slika 8.11. Primjer širenja prostora u zonama rasjeda nalazi se oko sela Ćepić i Škofi sjeverno do Istarskih Toplica. Dvije doline potoka Malinska i Pregon osobito su široke, jer su ima pružanja paralelna orientaciji maksimalnog kompresijskog stresa. Između sela Ćepić, Škofi i Šorgi nizovi i oblici ponikava jasno ukazuju na pružanja rasjeda duž kojih prevladava horizontalna desna komponenta pomaka krila, koja uzrokuje širenje prostora. 77
- Slika 8.12. U reljefu na površini izgrađenom iz karbonatnih stijena značajne su ponikve. Uvijek nastaju u zonama rasjeda. **a)** T58. Cesta Račja Vas–Veprinac. Ponikva je nastala u zoni reversnog rasjeda koji se pruža krilom lokalne strukture. **b)** T61. Cesta Račja Vas–Veprinac. Primjer izdužene ponikve u zoni rasjeda s desnim prevladavajućim pomacima krila..... 78
- Slika 8.13. U proučavanju oblika reljefa obuhvaćenog područja u obzir je uzeta i erozija stijena prisutnih na površini. Mjestimice ona je vrlo izražena osobito u zonama najvažnijih rasjeda struktornog sklopa. Veća erozija uvijek je povezana s tektonskom aktivnošću i izdizanjem reljefa. **a)** T6. Semić. Zona rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). Erozija flišnih naslaga na strmim oborncima. **b)** Svi Sveti, južno od Buzeta. Erozija flišnih naslaga u zoni rasjeda sustava SSZ–JJI..... 81
- Slika 8.14. **a)** T83. Selo Novljani uz Boljunsko polje. Uslojeni kvartarni sipari nastali erozijom karbonatnih naslaga u zoni rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). Slojevi su malo nagnuti u brdo, što je znak aktivnosti rasjeda nakon njihovog taloženja. **b)** T66. Dolina Mirne. Sipar nastao erozijom karbonatnih naslaga na strmom obronku velike strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3)..... 82
- Slika 8.15. Okolica Buzeta. Primjer najvažnijih strukturno–geomorfoloških podataka povezanih s položajem i tektonskom aktivnošću struktura i rasjeda 83
- Slika 8.16. Rasjed Trst–Učka–Otok Susak (1) Graniči regionalnim strukturnim jedinicama. Između glavnih rasjeda čini zonu širine 500–1700m. Rasjedi u zoni su reversni, vergencije prema JJZ i uz Učku prema Z. **a)** U reljefu se osobito ističe glavni rasjed 1a; **b)** U izdancima se na paraklazama često nalaze

izražene strije koje pokazuju položaj i tip rasjeda, te vrstu i smjer pomaka krovinskog krila rasjeda. U primjeru u T18 kod željezničke postaje Buzet mjerena je položaj: 28/75/60/reversni desni (28–smjer nagiba rasjeda, 75 kut nagiba rasjeda, kut zakosa strija, koji pokazuje reversni pomak krovinskog krila rasjeda u desno). ..	84
Slika 8.17. a) T19. Cesta Buzet–Brest. U strmcu u reljefu nađeni su rasjedi koji pripadaju zoni 1a; b) Strije pokazuju položaj 70/65/120/reversni lijevi.	85
Slika 8.18. a) T149. Cesta Nugla–Slum. Izdanak rasjeda 1a iz promatrane zone. U krovinskom krilu vidljivi su slojevi. Rasjed je predstavljen vlastitom zonom paralelnih rasjeda položaja 32/80/100/reversni lijevi b) Zbog antiklinalnog svijanja slojeva u izdanku je između tzv. međuslojnih pukotina došlo do širenja prostora. I drugdje postoje slični slučajevi, što je uzeto u obzir zbog moguće cirkulacije podzemne vode.	86
Slika 8.19. a) T150. Selo SI od Roča. Relativno veći izdanak rasjeda 1a položaja 10/65/120/reversni lijevi. Rasjed se nalazi na kontaktu vapnenci–flišne naslage. b) Uz rasjed, moguće zbog stalno prisutne tektonske aktivnosti i uzdizanja krovinskog krila, u flišnim naslagama nastaje klizište.	87
Slika 8.20. a) T36. Nova cesta za selo Nugla. Veći izdanak glavnog rasjeda 1b iz zone Trst–Učka–otok Susak. I taj je rasjed predstavljen vlastitom zonom. Zapaža se svijanje rasjeda po nagibu. b) Vrlo izražene strije pokazuju položaj 30/80/100/reversni lijevi.....	88
Slika 8.21. a) T35. Cesta Roč–Brgad. Najbolji izdanak rasjeda 1b promatrane zone nalazi se na kontaktu flišne naslage–vapnenci. U izdanku je izražen strmac u reljefu. b) Na otvorenim paraklazama nalaze se velike strije. Mjerena je položaj 45/52/75/reversni desni.	89
Slika 8.22. a) U istoj točki motrenja kao na prethodnoj slici zapaženo je pucanje vapnenaca. Pukotine su gotovo paralelne s orientacijom lokalnog kompresijskog stresa. b) T88. Selo Šušnjevica kod Čepićkog polja. Duž strmog obronka otkriven je rasjed 1b iz promatrane zone. Mjerena je položaj 45/70/90/reversni.	90
Slika 8.23. Unutar zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) postoji slijed od nekoliko reversnih rasjeda. Pojedini se na površini spajaju s glavnim rasjedima iz zone. a) T75. Roč, željeznička pruga. Rasjed se nalazi u vapnencima. b) Vrlo izražene strije pokazuju položaj 21/75/140/reversni lijevi.	93
Slika 8.24. a) T76. Selo Hlaji. Najveći izdanak rasjeda iz promatrane zone nalazi se na kontaktu flišne naslage–vapnenci. Zbog prisutne izražene kompresije prostora i rotacije dijelova strukture rasjed je na spomenutom	

kontaktu blago nagnut. Uslijed reversnog pomaka duž kontakta nastala je spilja. b) Strije pokazuju položaj rasjeda 50/20/90/reversni.	94
Slika 8.25. a) T75. Selo Hlaji. Detalj spilje duž kontakta flišne naslage-vapnenci. b) T1. Izlaz iz tunela Učka. U izdanku je vidljiva zona paralelnih rasjeda položaja 120/75/135/reversni lijevi.	95
Slika 8.26. Pojedini rasjedi unutar zone Trst–Učka–otok Susak (1) predstavljeni su relativno širokim vlastitim zonama pretežito paralelnih rasjeda. Istim se dva primjera. a) T80. Željeznička postaja Vranja. Mjeren je položaj 60/75/70/reversni desni. b) T159. Kamenolom Vranja. Mjeren je položaj 30/80/100/reversni lijevi.....	96
Slika 8.27. RASJED VODICE – MUNE – OPATIJA – CRNA PUNTA (2) graniči strukturnim jedinicama Kras–Brkini–(1) i Ćićarija–Učka (2). Predstavljen je zonom širine do 300m. Rasjedi iz zone su reversni, vergencije prema SSI. U nekoliko otkrivenih izdanaka zapažaju se paralelni rasjedi koji čine zasebne zone. Odražavaju se u reljefu strmim obroncima osobito duž ceste za Lisinu i oko Vodica. U T43 uz cestu Žejane–Lisina otkrivena su dva rasjeda položaja 255/70/160/reversni lijevi. U njihovim zonama nalazi se glina, što je znak aktivnosti rasjeda.	97
Slika 8.28. a) T43. Cesta Žejane–Lisina. U izdanku je vrlo izražena zona paralelnih rasjeda. To je jedan od glavnih rasjeda koji čini zonu Vodice–Mune–Opatija–Crna Punta (2). Mjeren je položaj 202/70/75/reversni desni. b) T42. Cesta Žejane–Lisina. U krovinskom krilu postoji strmac u reljefu. Mjeren je položaj 215/45/95/reversni lijevi.	98
Slika 8.29. RASJED LIPNIK–LANIŠĆE–BRGODAC–VELA UČKA (3) graniči najuzdignutijim dijelovima velikih struktura Ćićarije (1) i Učke (2). Odražava se u reljefu strmim obroncima i strmcima duž obuhvaćene trase. Predstavljen je zonom širine do 150m. Značajno je pojavljivanje nekoliko ograna osobito između Lipnika i Lanišća. To primjerice na SI strani polja Lanišće proširuje zonu do 500m. Rasjedi imaju vergenciju prema JZ, te uz Učku prema Z. Dobar izdanak glavnog rasjeda otkriven je u selu Klenovščak (T30). Strije pokazuju položaj 40/50/105/reversni lijevi.	99
Slika 8.30. a) T23. Cesta Brest–Dane. Izdanak ogranka razmatranog rasjeda. Razabire se manja zona paralelnih rasjeda; b) Na otvorenoj paraklazi strije pokazuju položaj 20/65/20/reversni desni.....	100
Slika 8.31. RASJED DRAGONJA–ČEPIĆ–BUZET-ROČKO POLJE–LUPOGLAV (4) se pruža duž sjevernog krila velike reversne strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3). Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema	

S, te između Ročkog polja i Dolenje Vasi prema Sl. Širina zone kod Buzeta dosije 500m. Duž zone poznati su izvori i ponori. U reljefu se ocrtava strmim obroncima. Osobito se ističe izraženi strmac zapadno od Buzeta na ulazu u suženu dolinu rijeke Mirne (T64).	101
Slika 8.32. a) T64. Cesta Buzet–Istarske Toplice. U strmcu u vapnencima rasjedi imaju položaj 185/85/90/reversni. b) T126. Cesta od kamenoloma Veliki Kuk–Čiritež. Dobar izdanak paralelnih rasjeda iz promatrane zone. Mjeren je položaj 155/85/104/reversni lijevi.	102
Slika 8.33. a) T66. Cesta za selo Mlun. Relativno veliki izdanak rasjeda 4a iz promatrane zone. Radi se o zoni nekoliko paralelnih rasjeda. b) Strije pokazuju položaj 165/85/10/reversni desni. Posebno je važno istaknuti neočekivano blagi i to promjenljivi nagib kuta zakosa strija (strjelice). S obzirom na položaj rasjeda zaključuje se da pomak krovinskog krila rasjeda zapravo ukazuje na prisutnu retrogradnu rotaciju dijela strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3).....	103
Slika 8.34. a) T118. Selo Marinci. Još jedan izdanak rasjeda 1a položaja 185/65. b) Izdanak je izdvojen zbog još jednog rasjeda položaja 245/68 u čijoj je zoni vidljiv „zjap“ ili otvaranje prostora. Pojava je važna u tumačenju moguće cirkulacije podzemne vode.	104
Slika 8.35. U više točaka motrenja nađeni su izdanci glavnog rasjeda 1b iz zone Dragonje–Ćepić–Buzet–Ročko polje–Lupoglav; a) T106. Selo Ćepić. U krovinskom krilu rasjeda u vapnencima nalazi se istaknuti strmac u reljefu. Mjeren je položaj 175/85/95/ reversni lijevi. b) T116. Selo Juričići uz cestu Buzet–Marinci. U vapnencima flišnih naslaga rasjed se pruža paralelno izdanku. Ima položaj 210/75/65/reversni desni.	105
Slika 8.36. Uz cestu Buzet–Marinci postoji veliki izdanak flišnih naslaga. Rasjed iz promatrane zone presijeca naslage. Najvažnija su dva podatka. Najprije rasjed 1b ima vlastitu zonu. U izdancima su nađeni rasjedi različitog nagiba i vergencije. To znači da se zona sastoji iz snopa reversnih rasjeda s postojanjem rasjeda vergencije prema S i njihovih ograna. a) T120. Dva paralelna rasjeda imaju položaj 210/65. b) U istoj točki motrenja vrlo je uočljiv rasjed položaja 42/50/120/reversni lijevi. Razabire se i svijanje naslaga u krovinskom krilu.	108
Slika 8.37. a) T117. Cesta Buzet–Marinci. Paralelni rasjedi imaju položaj 220/80/90/reversni. Svijaju se duž nagiba. b) U istom izdanku zapaža se snop rasjeda iz promatrane zone 1b koji presijeca flišne naslage. Uočljivi su odnosi pojedinih ograna najdonjeg rasjeda.	109

- Slika 8.38. RASJED BUJE–ISTARSKE TOPLICE–BRNOBIĆI–DOLENJA VAS (5) se pruža južnom granicom velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3). Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema J i JZ. Zona je promjenljive širine, naviše do 500m. Odražava se u reljefu strmim obroncima osobito između Buja i Istarskih Toplica, ali i sjeverno od sela Vrh. T70. Istarske Toplice. U reljefu je uočljiv strmac, koji je nastao uzdizanjem vapnenaca u krovinskom krilu. Rasjed se pruža podnožjem strmca. Mjeren je položaj 325/70/50/reversni desni..... 110
- Slika 8.39. **a)** T102. Santa Lucija. Razabire se velika paraklaza glavnog rasjeda 5a u zdrobljenoj zoni. Mjeren je položaj 15/75/15/reversni desni. Blagi kut zakosa strija ukazuje na rotaciju dijela velike uzdignute strukture. **b)** T129. Selo Brnobići. Izdanak rasjeda nalazi se na kontaktu vaspenci – flišne naslage. Rasjed ima položaj 30/45/120/reversni lijevi..... 111
- Slika 8.40. RASJED VIŽINADA–KAROJBA–PAZIN–PODPIĆAN (6) se pruža duž SSI krila velike strukture Tar–Pazin–Orič–Podpićan (4). Ujedno on približno obilježava i južnu granicu rasprostranjenosti flišnih naslaga. Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema SSI i širine mjestimice do 500m. U reljefu su u zoni manje izraženi strmi obronci osim oko Podpićna. Ipak, na više mjesta zonu prate duboko usječene i ravnocrtne doline npr. vrlo izraženo kod Vižinade, Pazina i zapadno od Podpićna. Dobar izdanak rasjeda nalazi se u T90 kod Podpićna. Mjeren je položaj 240/65/30/reversni desni..... 112
- Slika 8.41. **a)** T100. Pazin. Osobito dobri izdanci promatranog rasjeda nalaze se u Pazinu. U manjem kamenolomu zacrtan je rasjed koji siječe slojeve koji se u krilima svijaju. **b)** Na otvorenim paraklazama strije pokazuju položaj (mjeren u razini ceste) 225/60/100/reversni lijevi..... 113
- Slika 8.42. Rasjedi su reversni, vergencije prema JJZ i SSI. Uvijek su predstavljeni zonama različite širine. Odražavaju se i u reljefu strmim obroncima osobito na stranama dolina ili pružanjima odsječenih dolina. Najprije se izdvajaju rasjedi koji graniče strukturi Žabnik–Mune (1). **a)** T40. Cesta Perka–Žejane. U izdanku rasjed ima vergenciju prema JZ. Mjeren je položaj 30/75/95/reversni lijevi. **b)** T51. Cesta Mane–Vodice. Rasjed je predstavljen relativno širom zonom. Paralelni rasjedi imaju položaj 350/85/139/reversni lijevi..... 114
- Slika 8.43. Najbolji izdanak rasjeda koji se pruža duž strukture Krasica – Oprtalj (2) nalazi se u kamenolomu u dolini rijeke Mirne. Uočavaju se strmo nagnuti rasjedi koji čine zonu širine do 20m. Vergencija ili pomaci krovinskih krila jesu

- prema JZ. Vidljivo je i svijanje rasjeda duž nagiba. Mjeren je položaj rasjeda 60/80/105/reversni lijevi (T111). 115
- Slika 8.44. Od rasjeda vergencije prema SSI izdvaja se izdanak kod Boljuna (T135). Izdanak je zanimljiv, jer se u krovinskom krilu rasjeda nalazi prebačena bora koju čine vapnenci. Pojava bore znak je izražene kompresije prostora. Rasjed ima položaj 220/55. 115
- Slika 8.45. Rasjedi su reversni. Duž najistaknutijih dijelova lokalnih struktura pružaju se reversni rasjedi suprotnih vergencija. Uvijek su pretstavljeni zonama. Obično se spajaju u dubini. Pojedini rasjedi mogu biti ogranci najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa, a i sami mogu imati ogranke. Potonji primjer otkriven je u Buzetu. U T32 pješčenjaci fliša nalaze se u rasjedu. Nađene strije na paraklazama pokazuju položaj 60/65/80/reversni desni. To znači da je vergencija ili pomak krovinskog krila prema JZ..... 118
- Slika 8.46. Osobito dobar primjer reversnog rasjeda vergencije prema J otkriven je u izdanku u T148 kod sela Srednji Dol (Lupoglav). **a)** U izdanku se nalazi zona paralelnih rasjeda vrlo strmog nagiba. Mjeren je položaj 330/80/80/reversni desni; **b)** Posebno se na otvorenim paraklazama ističu brojne pukotine. One su paralelne s orientacijom lokalnog kompresijskog stresa. To su novonastale pukotine koje ukazuju na prisutnu tektonsku aktivnost..... 119
- Slika 8.47. Od rasjeda koji se pružaju duž lokalnih uzdignutih struktura i imaju vergenciju generalno prema SI izabrana su dva primjera. **a)** T86. Most preko Boljunšćice Z od sela Šušnjevica. Primjer sučeljavanja dva rasjeda suprotnih vergencija koji se pružaju duž lokalne strukture. Zbog pomaka i rotacije strukture rasjed b je ogrank rasjeda a. Položaji rasjeda jesu: a – 210/70/35/reversni desni i b – 345/50/140/reversni lijevi. **b)** Strije na rasjedu b. 120
- Slika 8.48. **a)** T110. Cesta Buje – Dolina Mirne. U izdanku dva rasjeda vergencije prema SI imaju položaj 235/35/55/reversni desni; **b)** Od reversnih rasjeda vergencije prema JZ najprije se izdvaja izdanak zone rasjeda koja se pruža duž najistaknutijeg dijela velike uzdignute reversne strukture Buje – Buzet – Lupoglav (4). Položaj rasjeda iz zone iznosi 40/80/105/reversni lijevi (T124, kamenolom Veli Kuk). 121
- Slika 8.49. Primjer reversnog rasjeda koji se pruža duž najistaknutijeg dijela lokalne strukture kod Pićna (T94). Važno je istaknuti da zonom rasjeda protječe Grajanski potok. Također, zona rasjeda i potok nalaze se u duboko usječenoj, ravnocrnoj dolini. Mjeren je položaj rasjeda 30/85. 122

- Slika 8.50. **a)** T55. Cesta istočno od Račje Vasi. Izdanak zone paralelnih rasjeda koji se pruža duž granice jedne od najistaknutijih lokalnih struktura u Ćićariji (1); **b)** Velike strije na otkrivenom izdanku pokazuju položaj 65/75/145/reversni lijevi..... 123
- Slika 8.51. **a)** T144. Selo Kajini kod Buzeta. Dobar izdanak rasjeda koji se pruža duž lokalne reversne strukture na kojoj se nalazi i Buzet. Rasjed ima vergenciju prema Sl. **b)** Strije pokazuju položaj 230/75/90/reversni..... 124
- Slika 8.52. Unutar struktura mogu se pojaviti rasjedi različitog sustava. Podaci o njima znatno doprinose uočavanju razlomljenosti, pomaka i aktivnosti struktura, pa i čitavog obuhvaćenog strukturnog sklopa. Mogu biti normalni i reversni. Njihov nastanak i aktivnost ovise o općim tektonskim pokretima, uvjetima kompresije prostora i pomacima struktura ili njihovih dijelova. Često se pojavljuju rasjedi paralelni pružanju osi strukture. U izdanku u T34 kod kamenoloma I od Buzeta, rasjed nagnut prema cesti siječe slojeve. Mjeren je položaj 225/53/90/reversni. 125
- Slika 8.53. Rasjedi paralelni osi strukture najčešće su normalni. U T100 u Pazinu u kamenolomu nađen je rasjed položaja 55/55/135/normalni desni. U krilima rasjeda vidi se svijanje slojeva zbog normalnog pomaka krila. T101. Optralj. Izdanak reversnog rasjeda položaja 30/70/45/reversni desni. Reversni pomak krila znači izraženu kompresiju prostora. 126
- Slika 8.54. a) T90. Istočno od Podpićna. Drugu grupu čine rasjedi paralelni orijentaciji lokalnog kompresijskog stresa. U njihovima se zonama uvijek otvaraju prostori. U izdanku je otkriven rasjed položaja 300/70/normalni. b) T22. Brest. Unutar strukture nalaze se rasjedi smicanja s desnim i lijevim horizontalnim pomakom krila. Potonji su, u obuhvaćenom području, relativno rijetki zbog retrogradne rotacije struktura. Ipak je nađen rasjed položaja 115/70/70/normalni lijevi..... 127
- Slika 8.55. **a)** U nekoliko točaka motrenja nađeni su ogranci rasjeda koji se pružaju krilima struktura. Izabran je primjer u T147 uz cestu Oslići – Draguč u flišnim naslagama. **b)** Rasjed pripada zoni. Paralelan je izdanku, pa mu je pružanje gotovo horizontalno (a). Na otkrivenoj paraklazi nalaze se strije (b). Pokazuju položaj 80/40/70 reversni desni. 128
- Slika 8.56. Tektonski pokreti i pomaci struktura u uvjetima kompresije prostora boraju prisutne naslage. Bore su osobito uočljive u flišnim naslagama u zonama rasjeda. **a)** T78. Roč. U zoni rasjeda Trst – Učka – otok Susak (1) osobito su izražene bore u flišnim naslagama. **b)** U istoj točki motrenja otkriveni su i paralelni rasjedi položaja 120/55/40/reversni desni. 131

Slika 8.57. a) T6. Semić. U izdanku se nalazi prebačna antiklinala u zoni 1a Trst – Učka – otok Susak (1); b) T17. Cesta Buzet – Marinci. Intenzivna kompresija uvjetuje u zoni rasjeda Dragonja – Čepić – Buzet – Ročko polje (3) stvaranje bora. U izdanku u flišnim naslagama otkrivena je prebačena sinklinala.....	132
Slika 8.58. a) T115. Kod sela Marčenegla. U izdanku flišnih naslaga razabire se recentno nastajanje prebačene antiklinale u krovinskom krilu reversnog rasjeda položaja 300/60. b) U istoj točki vidljiv je klivaž u flišnim naslagama. Izabrani primjer upućuje na pomake strukture Buje – Buzet – Lupoglav (3) na kojoj se izdanak nalazi.	133
Slika 8.59. U obuhvaćenom području učestalo se susreću rasjedi pretežitog sustava SSZ-JJI, mjestimice S-J. Rasjedi su normalni i reversni. U njihovim se zonama uvijek pojavljuju desni pomaci dijelova struktura, pa i najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa. Prevladavajuća horizontalna komponenta pomaka krila uvjetuje otvaranje prostora u njihovima zonama. Odražavaju se u reljefu strmim obroncima i osobito duboko usječenim , ravnocrtnim dolinama. Pojedini rasjedi tvore relativno široke zone najčešće paralelnih rasjeda. U primjeru u T81 u Vranji nalazi se široka zona rasjeda. Mjeren je položaj 270/85/15/reversni desni.	134
Slika 8.60. Na otvorenim izdancima rasjeda vrlo često se nalaze izražene strije; a) T111. Kamenolom uz cestu Buje – Livade. Predočeni rasjed pripada relativno široj zoni sustava SSZ – JJI. Strije pokazuju položaj 70/80/0/ horizontalni desni. b) T51. Cesta Mune – Vodice. Dobar izdanak desnog rasjeda. I ovdje strije pokazuju horizontalni pomak. Položaj rasjeda koji presjeca Ćićariju je 175/81/175/normalni desni.	135
Slika 8.61. U kamenolomu Vranja nalazi se izdanak rasjeda s osobito izraženim strijama (T151). Rasjed ima pružanje SSI – JJZ i pripada sustavu s prevladavajućom desnom komponentom pomaka krila. Drukčije pružanje uvjetovano je pomacima Učke (2) prema ZJZ, jer je rasjed u prostoru sučeljavanja Ćićarije (1) i Učke (2). Rasjed se uočava i u satelitskom snimku (slika 7). Strije pokazuju položaj rasjeda 290/75/155/reversni desni.	136
Slika 8.62. a) T27. Dane. Primjer zdrobljene zone. U izdanku su vapnenačke breče i glina, koja ukazuje na prisutne tektonske pokrete. Rasjed ima položaj 85/70/0/verticalni desni; b) T80a. Željeznička postaja Vranja. Izdanak je u vapnencima. Za poimanje cirkulacije podzemne vode je znakovito pojavljivanje širenja prostora u zonama rasjeda. Položaj rasjeda je 65/80/175/normalni desni.	137

- Slika 8.63. **a)** T103. Kamenolom uz Cestu Sta Lucija – Zrenj. Primjer nastajanja zone rasjeda koje pripada sustavu SSZ – JJI. U izdanku se razabiru dva normalna rasjeda koji oblikuju tzv. par rasjeda. Imaju različite nagibe. Između rasjeda prisutno je spuštanje strukturnog bloka, a zbog različitih pomaka uslijedit će otvaranje prostora. Mjereni su položaji a – 220/80/80/normalni lijevi i b – 55/75/130/normalni desni. **b)** T142. Dolina Mirne uz cestu Buje – Vižinada. Veliki izdanak također rasjeda različitog nagiba. Prevladava položaj 220/80/170/normalni desni. 138
- Slika 8.64. Učestalo se u zonama promatranih rasjeda nalazi širenje prostora. Izabrana su tri primjera; a) T25. Cesta Brest – Dane. Zamjetno otvaranje prostora u zoni rasjeda položaja 125/75. b) T102. Santa Lucija. U zoni rasjeda koji presijeca veliku strukturu Buje – Buzet – Lupoglav (3) postoji otvaranje prostora. Mjeren je položaj 292/85. 139
- Slika 8.65. a) T16. Cesta Buzet – Brest. Široka zona rasjeda koji se pruža do vodovoda u Buzetu. Odražava se u reljefu usječenom dolinom. Mjeren je položaj 40/80/15/reversni desni. b) T137. Izvor Gradske Bulaž kod Istarskih Toplica. Izdanak rasjeda koji pripada zoni sustava SSZ-JJI duž koje cirkulira podzemna voda do izvora Gradske Bulaž. Položaj rasjeda je 95/85/normalni. 140
- Slika 8.66. U zonama pojedinih rasjeda u više točaka motrenja zapaženo je širenje prostora. Mjerenja su pokazala da su rasjedi paralelni orijentaciji lokalnog kompresijskog stresa. Rasjedi su većinom nađeni u prostorima najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa, gdje je veća kompresija prostora. Učestali su rasjedi u zoni Trst – Učka – otok Susak (1). Izdvojeni su; a) T3. Lupoglav. Rasjed položaja 30/85; b) T5. Semić. Rasjed položaja 40/75/145/normalni desni. 143
- Slika 8.67. **a)** T2. Dolenjska Vas. Primjer relativno većeg otvaranja prostora u zoni rasjeda 270/65; **b)** T74. Roč. Otkriveno je širenje prostora uz rasjed položaja 23/52, koji se nalazi u zoni Trst – Učka – otok Susak (1). 144
- Slika 8.68. **a)** T126. Cesta Veli Kuk – Čiritaž. Dio doline rijeke Pivke vjerojatno je nastao širenjem prostora paralelno kompresijskom stresu. U izdanku na raskrižju s rasjedom Dragonja – Čepić – Buzet – Ročko polje – Lupoglav (4) nalazi se normalni rasjed položaja 20/65/160/normalni desni u čijoj proširenoj zoni izlazi voda. **b)** T41. Cesta Perka – Žejane. Izdvojen je rasjed s otvorenim prostorom položaja 287/90. 145
- Slika 8.69. Izvori se uvijek nalaze u zonama rasjeda. Veći i izdašniji izvori obično su smješteni u zonama najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa i to na

- sjecištima s rasjedima u čijim se zonama nalaze otvoreni prostori pogodni za cirkulaciju podzemne vode. U slici je prikazan Bulaž kod Istarskih Toplica. Nalazi se u prostoru križanja rasjeda sustava SSZ – JJI i zone rasjeda Buje – Istarske Toplice – Brnobići – Dolenja Vas (5). Duž rasjeda navedenog sustava postoji cirkulacija podzemne vode. Oko lokacije izvora i Istarskih Toplica ti rasjedi tvore široku zonu rasjeda, koji se odražavaju strmcima u reljefu i usječenim dolinama. 149
- Slika 8.70. **a)** Izvor Gradole. Na satelitskom snimku jasno se razabire položaj izvora u zoni reversnog rasjeda vergencije prema S na mjestu sučeljavanja s rasjedom sustava SSZ – JJI; **b)** T80. Željeznička postaja Vrana. Izvor je u zoni rasjeda Trst – Učka – otok Susak (1) i to na mjestu gdje rasjed sustava SSZ – JJI i položaja 55/75/normalni siječe izdanak. 150
- Slika 8.71. Izabrani su još dva povremena izvora koji su povezani s cirkulacijom podzemne vode u zonama sustava SSZ – JJI; **a)** T44. Cesta Žejane – Lisina. U izdanku rasjeda položaja 80/70/normalni nalazi se špilja. Zapaža se i kalcit, što je znak protoke vode. Sam izdanak se nalazi u zoni rasjeda Vodice – Mune – Opatija – Crna Punta (2); **b)** T10. Cesta Lanišće – Ročja Vas. U široj zoni rasjeda Lipnik – Lanišće – Brgudac – Vela Učke (3) zapažena je špilja uz rasjed položaja 25/60/normalni. 151
- Slika 8.72. U obuhvaćenom području na više mjesta nađene su lokve, koje su uvijek nalaze u zonama rasjeda. Izabrana su dva primjera; **a)** T97. Istočno do sela Jakačići unutar velike strukture Tar – Pazin – Orič – Podpićan (4) i to u zoni rasjeda sustava SSZ – JJI nalazi se lokva. **b)** T71. Selo Brnazi istočno od Istarskih Toplica. Lokva je u zoni sučeljavanja dva reversna rasjeda suprotnih vergencija koji se pružaju duž najistaknutijeg dijela lokalne reveresne strukture. 152
- Slika 8.73. **a)** T106. Selo Čepić. U dolini potoka Malinska nalazi se relativno veći izvor i to u zoni rasjeda koji je paralelan orientaciji maksimalnog kompresijskog stresa. Dolina je nastala širenjem prostora; **b)** T74. Roč. Izdanak manjeg izvora nalazi se u zoni rasjeda Trst – Učka – otok Susak (1). Špilja je nastala u zoni rasjeda koji je paralelan orientaciji lokalnog kompresijskog stresa. 153
- Slika 8.74. Ponori su također povezani s rasjedima. Najpoznatiji ponori obuhvaćenog područja nalaze se u zonama najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa; **a)** T107 kod sela Gomila. Ponor Butori nalazi se u zoni rasjeda Dragonja – Čepić – Buzet – Ročko Polje – Lupoglav (4); **b)** T106. U istoj zoni rasjeda nalazi se relativno veliki ponor potoka Malinska kod sela Čepić. 154

Slika 8.75. a) Najpoznatiji je ponor Pazinskog potoka. Istaknuta Pazinska jama nalazi se u zoni rasjeda Vižinada – Karoiba – Pazin – Podpićan (6); b) T112.	155
Sjeverno od Grožnjana u zoni rasjeda Buje – Istarske Toplice – Brnobići – Dolenja Vas (5) nalazi se manji ponor lokalnog potoka.	162
Slika 9.1. Geološki profili A-A' i B-B'.....	163
Slika 9.2. Geološki profili C-C' i D-D'.....	

Popis tablica:

Tablica 1. Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesecnih protoka na razmatranim hidrološkim profilima	15
Tablica 2. Nazivi i površine slivova u istraživanom području.....	57
Tablica 3. Površine koje vodonosnici zauzimaju u istraživanom području, debljine i volumeni vodonosnika te procijenjeni volumen pornog prostora.	62

1. UVOD

Hidrogeološka istraživanja, pod nazivom "Mogućnost zahvaćanja podzemnih voda u Istri izvan područja velikih izvora (središnja i sjeverna Istra)", izvedena su prema ugovoru br. 10-041/13. od, 20.09.2013 godine, koji su sklopile Hrvatske vode, kao naručitelj, i Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, kao izvršitelj ugovorenih radova, temeljem rezultata natječaja javne nabave.

Radovi su izvedeni sukladno „Projektnom zadatku–mogućnost zahvaćanja podzemnih voda u Istri izvan područja velikih izvora (središnja i sjeverna Istra)”.

Pri tome se pošlo od slijedećih činjenica i pretpostavki:

Redoviti manjak vode tijekom sušnih razdoblja u Istri i stalni rast potrošnje nameću potrebu za pronalaženjem novih količina kvalitetne podzemne vode koja bi se koristila za potrebe vodoopskrbe. Najrealnije je da se te količine pokušaju pronaći izvan područja velikih i za vodoopskrbu važnih izvora, jer bi svi značajniji vodozahvati u njihovoј blizini bitno utjecali na njihovu prirodnu izdašnost. Istraživanja trebaju obuhvatiti dva područja i to: granično područje sjeverne Istre sa Slovenijom i središnju Istru.

Granično područje sjeverne Istre zauzima područje prema ogromnim karbonatnim masivima odakle se napajaju vodonosnici u nižim hipsometrijskim dijelovima Istre. Zamršeni regionalni strukturni i hidrogeološki odnosi upućuju da bi se dio podzemnih voda mogao zahvatiti u širem graničnom području Istre i sjevernom zaleđu bez značajnijeg utjecaja na izdašnosti velikih izvora koji su hipsometrijski položeni znatno niže, odnosno nizvodno. Ovdje je voda dobre kakvoće i hipsometrijski je dobro položena. Područje središnje Istre, podrazumijeva sva ona područja gdje su veliki karbonatni vodonosnici prekriveni klastičnim nepropusnim talozima (fliš). Zbog toga su podzemne vode zaštićene od utjecaja s površine a regionalni geološki i hidrogeološki strukturni odnosi upućuju na dijelove potencijalnih hidrogeoloških struktura koje se nalaze na prihvatljivoj dubini.

Krajnji cilj projektnog zadatka je pronalaženje novih količina kvalitetne podzemne vode koja bi se koristila za potrebe vodoopskrbe Istre. U ovoj početnoj

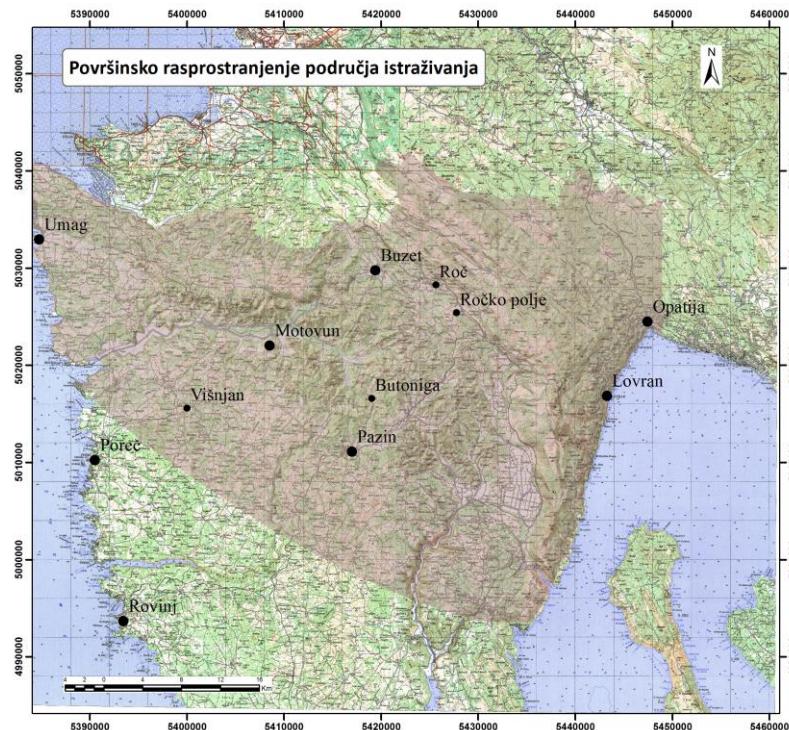
fazi po prvi put dobili bi se egzaktni podaci koji bi upućivali na potencijalnost područja središnje Istre i njezinog sjevernog zaleđa u hidrogeološkom smislu. Grube bilance pokazuju da se u podzemlju istarskih krških vodonosnika nalaze daleko veće zalihe podzemnih voda od onih koje istječu prirodnim putem i danas se koriste za vodoopskrbu.

Tijekom realizacije ovog projekta obavljena su kompleksna geološka, geomorfološka, strukturno-geološka, hidrogeološka i druga potrebna istraživanja. Ona su se sastojala od slijedećeg:

1. Prikupljanje, sistematizacija i valorizacija podataka dosadašnjih istraživanja
2. Obavljeno je sustavno geološko, geomorfološko, strukturno-geološko i hidrogeološko rekognosciranje područja (sjeverni dio Istre s graničnim područjem te granično područje kontakta karbonatnih vodonosnika i nepropusnih krovinskih klastita, odnosno fliša)
3. Analizirani su geomorfološki podatci te njihova usporedba s područjima napajanja i strukturnim odnosima (prepoznavanje privilegiranih zona gibanja podzemnih voda)
4. Definirani su vodonosnici, njihov strukturalni položaj, volumen, fizikalne osobitosti i dr.
5. Definirane su hidrogeoloških karakteristike vodonosnika
6. Definirane su i dimenzionirane izolatorske stijene
7. Izračunate su orientacijske zalihe podzemnih voda
8. Izdvojena su područja gdje su vodonosnici u najpovoljnijem položaju s obzirom na dubinu i volumen i gdje se mogu najracionalnije nastaviti detaljnija istraživanja, u kojima bi se mogla podzemna voda zahvatiti na najučinkovitiji način. U njima bi se mogla provesti detaljna hidrogeološka istraživanja za razvoj vodocrpilišta koja bi bitno doprinijela poboljšanju istarskog vodoopskrbnog sustava.

Područje koje je istraživano prikazano je na slici 1.1. Ono je na sjeveru ograničeno administrativnom državnom granicom sa Republikom Slovenijom od naselja Lisac na istoku do ušća rijeke Dragonje na zapadu. Zapadna granica podstavljena je zapadnom obalom Istre od ušća Dragonje na sjeveru do Umaga na jugu. Južna, odnosno jugozapadna granica predstavljena je približno linijom Umag-Labin, odnosno približno geološkom granicom između fliša na sjeveru,

odnosno sjeveroistoku i karbonatnog kompleksa na jugu odnosno jugozapadu. Istična, odnosno jugoistočna granica predstavljena je obalnom linijom koja približno ide od Labina do Opatije, a potom na sjever do granice sa Slovenijom.



Slika 1.1. Površinsko rasprostranjenje područja istraživanja.

U nastavku se daju rezultati istraživanja.

2. ZEMLJOPISNE ZNAČAJKE

2.1. Klima

Na području Istre, prema Köppenovojoj klasifikaciji zastupljene su "umjereni tople vlažne klime" (Cf) s ravnomjernom raspodjelom padalina u tijeku godine, pa nema suhog razdoblja (MAKJANIĆ i dr., 1979). Prema srednjoj temperaturi srpnja načinjena je daljnja diferencijacija klime na podtipove i to: Cfa i Cfb. Klima Cfa je "umjereni toplo vlažna klima s vrućim ljetom". Srednja temperatura srpnja je $\geq 22^{\circ}\text{C}$. Klima Cfb je "umjereni toplo vlažna klima s toplim ljetom" (klima bukve). Srednja se temperatura srpnja kreće od 20 do 22°C , a srednja temperatura siječnja iznosi od 0 do -3°C . Tu klimu ima reljefno viši dio Istre (ŠEGOTA & FILIPČIĆ, 1996.).

Zbog zemljopisnog položaja, odnosno krajnjeg sjevernog položaja u sredozemnom klimatskom prostoru u Istri se osjeća utjecaj s jedne strane europskog kopna, posebice Alpa i Dinarida, te nizine rijeke Po, a s druge strane utjecaj sjevernog Jadrana i Sredozemnog mora. Ljeti se područje Istre nalazi pod utjecajem Azorske anticiklone (suptropsko područje visokog tlaka), zimi se osjeća jak utjecaj Sibirske anticiklone (zimski euroazijski maksimum tlaka), a Islandska ciklona (sjevernoatlantski minimum tlaka) i s njom povezani frontalni poremećaji, djeluju na vremenska zbivanja u Istri tijekom cijele godine, ali posebice u njezinom hladnom dijelu (MAKJANIĆ & VOLARIĆ, 1981). Stoga, utjecaj kontinenta očituje se u prodrima hladnih zračnih masa, te povećanju ljetnih kiša, tako da nema izrazitog sušnog razdoblja, dok se utjecaj mora očituje u termičkim osobinama mora, budući da ono ljeti hlađi, a zimi grijije krajeve koji su pod njegovim utjecajem, kao i u obilju vlage, a što ima za posljedicu više zimske temperature od onih u odgovarajućim širinama na kopnu, te obilne kiše (a ponekad i snijeg) u hladnijem dijelu godine.

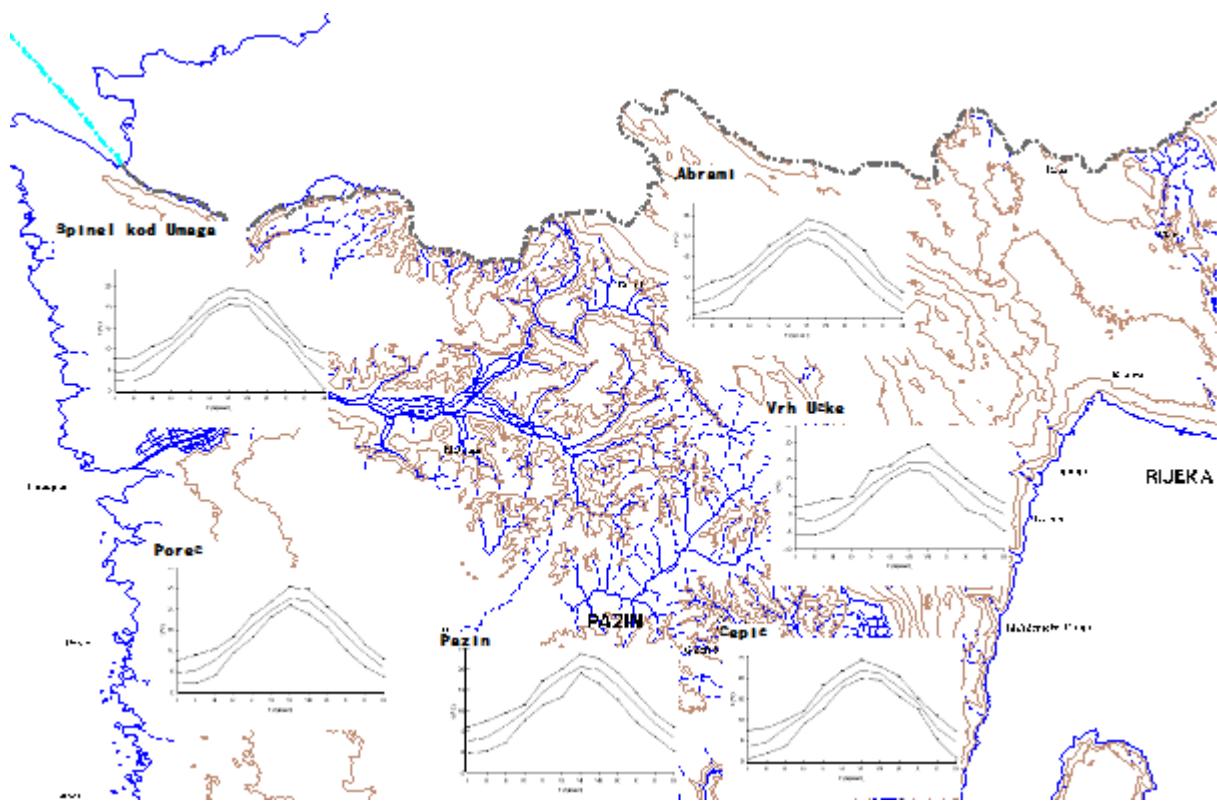
2.1.1. Temperatura

Temeljni klimatski element su temperature zraka. Temperaturne prilike se mogu najbolje opisati prikazom karakteristika srednje godišnje temperature, razdiobe srednjih mjesecnih temperatura zraka, kao i

naznakama pojava ekstremnih temperaturnih prilika. Analizom podataka o srednjim godišnjim temperaturama zraka, ustvrđeno je da cijelo područje Istre pripada jednoj klimatskoj temperaturnoj zoni. Visoki koeficijent korelacije srednje godišnje temperature zraka i nadmorske visine ($r=-0,94$) pokazuje da je ta veza vrlo dobra (RUBINIĆ, 1995). Srednja godišnja temperatura zraka u prosjeku opada na svakih 100 m nadmorske visine za oko $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatura zraka opada prema središnjem i sjevernom dijelu, te prema Učki. Na priobalnom području Istre srednja temperatura zraka se kreće oko $13\text{ }^{\circ}\text{C} - 14\text{ }^{\circ}\text{C}$, u unutrašnjosti temperature su za stupanj ili dva niže, ali još uvijek srazmjerno visoke, dok na planinskom području, srednje godišnje temperature zraka se kreću između $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Prema navedenim vrijednostima srednjih godišnjih temperatura vidljivo je da termičke prilike Istre upućuju na dominantne utjecaje mora, ali da postoje temperaturne razlike između primorskog i središnjeg dijela. Te razlike su vrlo kolebljive i različite za pojedina godišnja doba što može imati za posljedicu i različitu brzinu okršavanja vapnenaca, odnosno spiranja flišnih naslaga.

Na slici 2.1. je prikaz položaja meteoroloških postaja i unutargodišnji raspored prosječnih mjesecnih temperatura, te njihovih varijacija, odnosno maksimalnih i minimalnih srednjih mjesecnih vrijednosti na istraživačkom području.

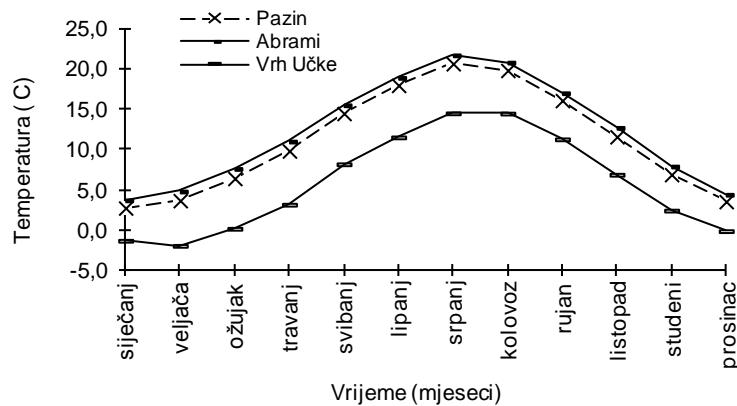


Slika 2.1. Mjesečne temperature zraka - °C (prosječne, minimalne i maksimalne).

Iz datog prikaza vidljivo je da najniže srednje mjesecne temperature ima siječanj, a najviše srpanj. Srednje siječanske temperature odraz su istodobnog termičkog utjecaja kopna, mora i visina reljefa. U najnižem, obalnom dijelu Istre (do 100-150 m) srednja siječanska temperatura je oko 4 °C do 5 °C, dok s porastom nadmorske visine u unutrašnjoj Istri ona pada na 2 °C do 4 °C, a u najvišim dijelovima i ispod 2 °C. Naglim povišenjem reljefa na istoku Istre srednja siječanska temperatura pada na 0 °C i niže i to na najvišem dijelu Učke. Srednje srpanjske temperature u nižem dijelu Istre kreću se između 22 °C i 24 °C. Viši, središnji dio Istre karakteriziraju srednje srpanjske temperature od 18 °C do 22 °C. U planinama na sjeveroistoku i istoku srednja srpanjska temperatura naglo opada na 16 °C do 18 °C, pa čak i na ispod 16 °C u najvišim dijelovima Ćićarije i Učke. Varijacije srednjih mjesecnih temperatura zraka iz godine u godinu mogu biti znatne. Njihov višegodišnji prosjek u razdoblju od 1966. do 1995. pokazuje da su temperaturne prilike toplog dijela godine stabilnije nego u hladnom. Tako u

razmatranom razdoblju, u siječnju, u Pazinu one su varirale od -0,2 °C do 6,1 °C, u Abramima od 0,9 °C do 6,7 °C, a na Vrhu Učke od -5,7 °C do 1,8 °C. Varijacije ljetnih srednjih mjesecnih temperatura za srpanj kreću se u Pazinu 19,1 °C do 23 °C, u Abramima od 19,2 °C do 24,5 °C, a na Vrhu Učka između 12,5 °C i 17,3 °C.

Na slici 2.2 je zajednički usporedni prikaz srednjih mjesecnih temperatura zraka za karakteristične meteorološke postaje u 30-godišnjem razdoblju opažanja (1966-1995). Vidi se da je godišnji hod temperature sličan, ali se mogu i jasno nazrijeti stanovite razlike između stаницa pri moru i stаницa na kopnenom dijelu. Usporedbom Pule i Pazina vidi se da su srednje temperature svih mjeseci na obali Istre više nego u unutrašnjosti, a ta je razlika najizrazitija u zimskim mjesecima. Sporije zagrijavanje mora odražava se u manjoj razlici temperature u proljeću nego u jesen. Veće temperaturne razlike u ljetnim mjesecima posljedica su viših jutarnjih temperatura na obali nego razlike podnevnih temperatura. Nadalje, na priloženom dijagramu vidljivo je da su jeseni redovito toplije od proljeća, što je odlika maritimnog temperaturnog režima. Razlike u temperaturama su najveće između proljeća i ljeta, pa jeseni i zime. Prijelaz ljeta u jesen toplinski je postepen, a najmanje termičke razlike karakteristične su za prijelazno razdoblje između zime i proljeća.



Slika 2.2. Usporedni prikaz srednjih mjesecnih temperatura zraka (1966.-1995.).

Iako ekstremna, maksimalna temperatura uglavnom ovisi o lokalnim uvjetima, ona ipak upućuje na opće klimatske karakteristike. Apsolutna maksimalna temperatura, u promatranom razdoblju (1966-1995), iznosila je na obali oko 35 °C i,

Poreču $34,1^{\circ}\text{C}$ i u Rovinju $35,1^{\circ}\text{C}$. U unutrašnjosti Istre, ona je iznosila u Pazinu $37,7^{\circ}\text{C}$, na Botonegi 37°C , a u kotlini u podnožju Ćićarije (Abrami) čak 39°C . Prema tome, ekstremno visoke temperature u Istri rastu udaljavanjem od obale, osobito ako su stanice na niskoj nadmorskoj visini.

Važna osobina klime su ekstremno niske temperature. One su mnogo više pod utjecajem mora i kopna nego ekstremno visoke temperature. U obalnom području ekstremne minimalne temperature su do -15°C , a u unutrašnjosti i do -20°C . Tako je najniža temperatura (1966-1995) u vrlo hladnom siječnju 1985 godine iznosila u Poreču $-11,5^{\circ}\text{C}$, a u Pazinu $-15,9^{\circ}\text{C}$, u Abramima $-16,9^{\circ}\text{C}$, na Botonegi $-12,4^{\circ}\text{C}$, a na Vrhu Učke čak $-24,3^{\circ}\text{C}$. Naveden toplinski režim, osim što odražava blagotvorni utjecaj mora i sredozemne značajke klime, upućuje i na modifikacije koje su posljedica sjevernijeg položaja i specifične uloge pojedinih elemenata relijefa Istre.

2.1.2. Padaline

Količina padalina je jedan od najvažnijih klimatskih faktora s izravnim utjecajem na režime podzemnih i površinskih voda. Geografska raspodjela padalina neposredno odražava dominantan utjecaj reljefa, i to kako reljefa same Istre tako i planinskih lanaca koji ju opasuju. Područje Istre nalazi se pod neposrednim utjecajem vlažnih južnih vjetrova iz kojih se, zbog orografskog učinka, izlučuju velike količine padalina, koje su zastupljene najviše u obliku kiše. Snijeg se vrlo rijetko javlja i gotovo da nema većeg klimatskog značenja. Srednji broj dana sa snijegom naglo opada prema obali. Tako prosjek trajanja snijega na obali je do pet dana, u unutrašnjosti deset dana, a jedino na Učki i do 40 dana. Ostali oblici padalina su također izuzetni.

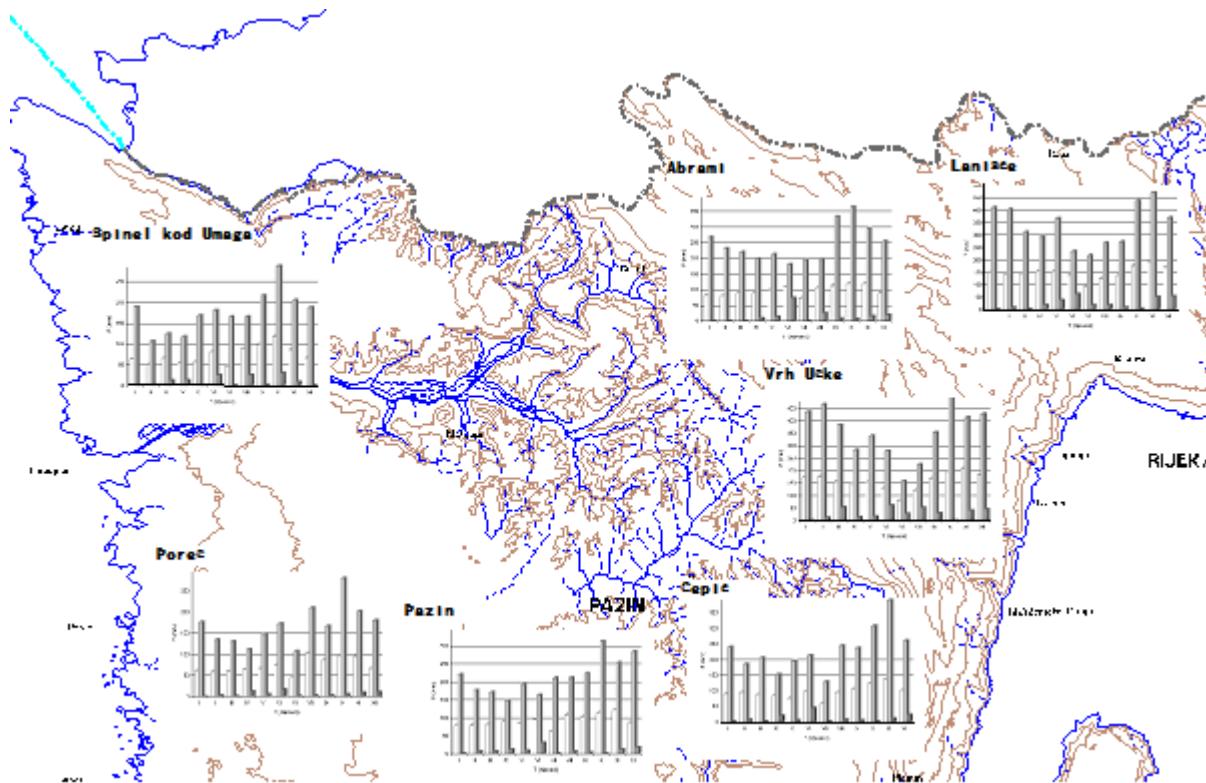
Kako na količinu padalina bitno utječe planinski masiv Učke i Ćićarije, godišnje količine padalina povećavaju se idući od juga prema sjeveru, kao i od zapada prema istoku. Najniža prosječna godišnja količina padalina je na jugozapadnoj obali Istre i kreće se između 800 i 900 mm (Špinel kod Umaga). Na istočnoj obali, kao i na području središnje Istre, godišnje količine padalina su izraženije, i kreću se prosječno oko 1100 do 1200 mm (Pazin, Čepić, Abrami). Na planinskom području Ćićarije i obroncima Učke prosječna godišnja količina padalina kreće se oko 1700 mm, a na

još većim visinama, zbog mogućnosti kondenzacije, i do oko 2000 mm. Valja napomenuti da u ovom 30 godišnjem analiziranom razdoblju nekoliko je puta na postaji Vela Učka zabilježena količina padalina viša od 2000 mm (najviše 2314 mm).

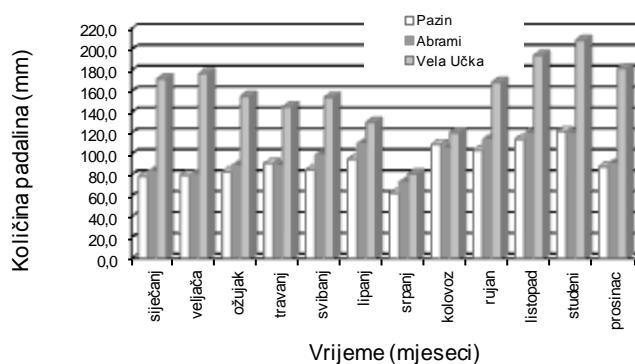
Na slici 2.3. su 30 godišnji podaci za reprezentativne meteorološke postaje, te unutargodišnji raspored prosječnih mjesecnih količina padalina i njihove varijacije, odnosno minimalne i maksimalne količine, dok slika 2.4. predstavlja usporedni prikaz mjesecnih padalina s karakterističnih kišomjera-Pazin, Abrami i Vela Učka. Iz datih prikaza zaključuje se da je položaj kišnih maksimuma i minimuma prema pojedinim mjesecima dosta nepostojan. Čitavo područje ima isti tip godišnjih hoda padalina. Količina padalina raste od zapada prema istoku, ali godišnji hod se uglavnom ne mijenja. Od početka godine prosječne mjesecne količine padalina opadaju te imaju izražen minimum ljeti, u mjesecu srpnju. Tada započinje vodnije razdoblje godine, te se u jesen i to uglavnom u studenom javlja godišnji mjesecni padalinski maksimum, a nakon koga u prosincu visine padalina opet počinju opadati. U 30 godišnjem analiziranom razdoblju iznimka su postaje Abrami i Špinel na kojima se taj maksimum javlja u listopadu.

Varijacije godišnjih visina padalina nisu posebice izražene-redovito je koeficijent varijacije oko $c_v=0,20$. Varijacije mjesecnih količina padalina vrlo su izražene, te se njihovi koeficijenti varijacije u najintenzivnijem vegetacijskom razdoblju kreću u rasponu od oko $c_v=0,50$ do $c_v=0,80$ (RUBINIĆ, 1995). Stoga je češća pojava mjeseca u kojima padaline niti nisu registrirane, ili su pak imale za vegetaciju beznačajne vrijednosti. S druge strane, za područje Istre karakteristične su pak i pojave vrlo intenzivnih padalina, i to kako kratkotrajnih (trajanja do 1 do 2 sata), tako i vrlo obilnih dnevnih količina. Po svom intenzitetu, neke zabilježene pojave kratkotrajnih jakih padalina predstavljaju i absolutne maksimume dosad zabilježene u Hrvatskoj (Abrami kod Buzeta 10-minutne padaline–41,1 mm). Dnevne količine padalina od 100 mm, pa i veće ne predstavljaju u Istri izuzetno rijetku pojavu, te se stoga znade dogoditi da u jednom danu bude zabilježena ukupna mjesecna, ili čak velik dio (i do 20-30 %) godišnje količine padalina. Tako je npr. u ožujku 1974. godine na kišomjeru Letaj zabilježena dnevna padalina od 264 mm, a godišnji prosjek iznosi 1145 mm. Kao posljedica takovih intenzivnih padalina javljaju se nagla

površinska otjecanja, bujične poplave, pa i poplave širih razmjera kakva je npr. bila katastrofalna poplava iz listopada 1993. godine. Tom prilikom je na većem broju kišomjernih postaja s područja gornjih dijelova slivova Mirne, Pazinčice, Raše i Boljunčice zabilježena dnevna padalina reda veličine 200 do 210 mm. No, u većem dijelu razdoblje koje je prethodilo spomenutoj poplavi, bilo je izrazito sušno. Tako je na meteorološkoj postaji Pazin u prva tri mjeseca 1993 godine zabilježeno ukupno 44,3 mm, tj. svega 17,9 % od prosjeka za to razdoblje. U prvih sedam mjeseci iste godine zabilježeno je ukupno 208,1 mm, tj. 35,3 % od prosjeka.



Slika 2.3. Mjesečne količine padalina - mm (prosječne, minimalne i maksimalne).



Slika 2.4. Komparativan prikaz srednjih mjesečnih padalina (1966.-1995.).

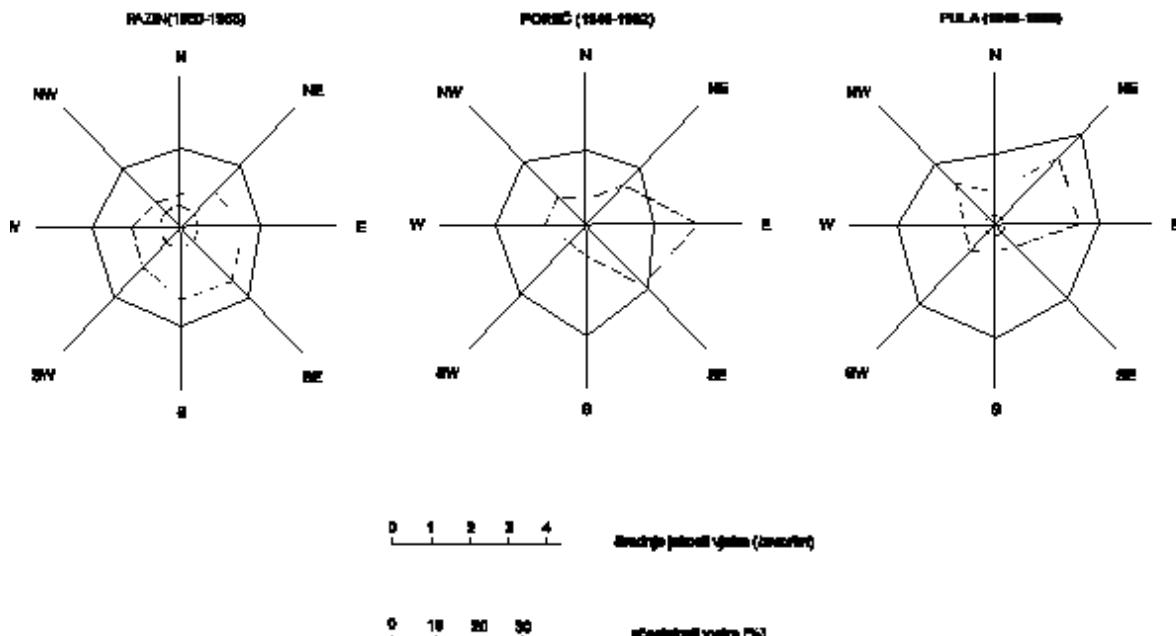
Iz navedenog može se zaključiti da je najkišovitije doba godine jesen. Razlike u količini padalina između ljeta i jeseni su veće nego između zime i proljeća. U prosjeku 55 % ukupnih padalina na svim stanicama karakteristično je za razdoblje listopad-ožujak. To znači da je u Istri utjecaj morskoga kišnog režima, kao i kod termičkih prilika, također dominantan. Količine ljetnih padalina upućuju na modifikaciju sredozemne klime, što je u skladu s položajem Istre u vrhu Jadrana. Ali kako količine padalina variraju tijekom godina u širokom rasponu, to pojedini dijelovi Istre ipak trpe od suše, koja katkad potraje dva do tri mjeseca. Važan je međusobni utjecaj temperature i padalina. Primjerice, u Pazinu svi mjeseci gotovo su humidni, dok se neposredno na obali u Rovinju javlja i suša.

2.1.3. Vjetrovi

Vjetar kao klimatski faktor izravno utječe na količinu padalina i temperature zraka s jedne strane, te na količinu evaporacije, posebice vode sa slobodne površine, s druge strane. Vjetrovi na istarskom području imaju, ovisno o široj ali i užoj lokaciji, različite smjerove i jakosti.

Bura (SI) je dominantan zimski vjetar koji često ima orkansku snagu, a njezina brzina naglo opada prema zapadu. Pojave, snaga i učestalost bure značajno su pod utjecajem reljefa. Utjecaj bure na količinu vlage u zraku i tlju od velikog je značenja. U proljeće je bura rjeđa i slabija nego zimi, ali zato ojača jugoistočni vjetar (jugo), koji puše s mora na kopno. To je vlažan vjetar koji donosi u ovom području kišu, koja zimi pređe u snijeg u višim područjima Učke. Tijekom ljeta pod utjecajem visokoga tlaka azorske anticiklone stvara se u ovom području sjeverozapadno strujanje, što uvjetuje pojavu maestrala koji puše također s mora na kopno i donosi osvježenje danju. Noću kad se ohladi kopno prevladava strujanje s kopna i javlja se vjetar noćnik. Ljeti je važna lokalna cirkulacija, ali je vjetrovitost općenito mnogo slabija nego u hladnjjem dijelu godine. U jeseni čest je jugo i povremeni prodori bure.

Na području, Celege kod Novigrada i Čepić polja najučestaliji vjetrovi su iz smjerova SI i I, a u Pazinu sa JI i J. Na nekim lokacijama zabilježen je značajan broj dana bez strujanja vjetra, ali vrijedi spomenuti da na njihovu veličinu bitan utjecaj ima subjektivna okularna procjena motritelja. Tako na području Čepića broj dana s tišinom iznosi prosječno godišnje čak 155, Pazinu 124, a na Celegi kod Novigrada svega u prosjeku 0,5 dana, a što je očita posljedica različitih kriterija kod pojedinih motritelja. Jakosti vjetra, također na bazi subjektivnih okularnih procjena motritelja, na razini godišnjeg prosjeka kreću između 1,5 (Pazin) i 2,9 Beauforta (Celega). Vjetrovi jačine 1 i 2 javljaju se u 58,8 % vremena, jačine 2 i 3-24 %, a 5 i 6-4,35, dok jačine preko 6 Beauforta -0,4 %. Tišine za vrijeme svibanj-listopad javljaju se 10,5 %. Radi ilustracije značajki vjetrova na području Istre na slici 2.5. dat je grafički prikaz njihovih ruža učestalosti i jakosti.



Slika 2.5. Prosječne jakosti i učestalosti vjetra.

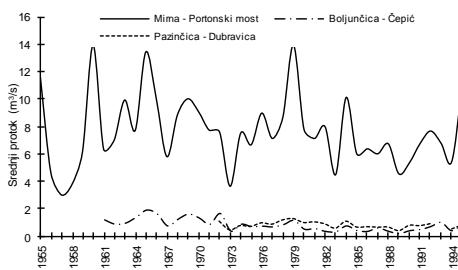
Raspodjela vjetrova i tišina u detaljima je vrlo neujednačena, ali to je u skladu s reljefnim raznolikostima i drugim specifičnostima. U cijelini međutim prevladavaju zračna strujanja s mora, što je posebno značajno, jer i ta klimatska osobitost, uz prethodne, također upućuje na maritimnost Istre.

2.1.4. Površinske vode

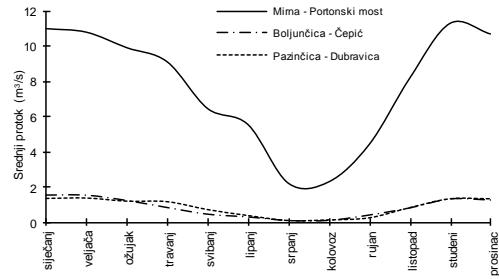
Na razmještaj vodotoka i gustoću hidrografske mreže više utječu hidrogeološke osobitosti stijena nego inače povoljne hidrometeorološke prilike. Primarno, to je uvjetovano odgovarajućim geološkim sastavom i tektonskom građom terena. S obzirom na dominantnu ulogu tektonski oštećenih karbonatnih stijena u izgradnji Istarskog poluotoka, površinska hidrografska mreža je na većem dijelu područja slabo razvijena. Razlog leži u činjenici da se na dijelu područja izgrađenom od karbonatnih naslaga uslijed napretka okršavanja voda spušta u veću dubinu, tako da se ona kreće pretežitim dijelom podzemnim putovima.

U flišnim predjelima površinska hidrografska mreža je znatno bolje razvijena. Na tom dijelu područja formirani su mnogobrojni duboko usječeni junci u nekoliko većih dolina, te se kroz njih voda kreće površinski i uglavnom otječe prema moru. U karbonatnim stijenama razvijena je „*krška hidrografija*”, što znači da se vode gibaju ovisno o hidrauličkom gradijentu i rasprostranjenosti karbonatnih naslaga. Hidromorfološki se to odražava u strmim kanjonskim dijelovima dolina Mirne i Raše.

Neujednačen raspored padalina i pukotinsko cirkuliranje voda u krškom području, što ima za posljedicu istjecanje na nizu tipičnih krških vrela, te priobalnih izvora i vrulja, odražava se u veoma neujednačenim protocima voda, odnosno velikom rasponu između maksimalnih i minimalnih protoka, kao i u promjenjivosti intenziteta. Dok za vrijeme ljetnih velikih suša korita brojnih istarskih tekućica uglavnom presušuju, u kišnim razdobljima protječu njima velike količine vode, npr. u Mirni do $323 \text{ m}^3/\text{s}$ (RUBINIĆ, 1995.). Na slici 2.6. prikazani su hidrogrami srednjih mjesecnih protjecanja tijekom godine na karakterističnim hidrološkim profilima istarskih rijeka, dok slika 2.7. prikazuje hidrogram srednjih godišnjih protoka na istim hidrološkim profilima.



Slika 2.6. Prikaz srednjih mjesecnih protoka za višegodišnja razdoblja*.



Slika 2.7. Prikaz srednjih godišnjih protoka u razdoblju od 1955 do 1995. godine.

*Mirna–Portonski most (1955-1995)

Boljunčica–Čepić (1961-1995)

Pzinčica–Dubravica (1972-1995)

Nadalje, u tablici 1. je prikaz karakterističnih vrijednosti srednjih mjesecnih protoka razmatranih vodotoka. Iz datog prikaza vidljivo je da maksimalne količine vode protječu u studenome ili prosincu, a minimalni protok je redovito u srpnju i kolovozu. Prilično su visoke vode u siječnju i veljači, kao i u svibnju odnosno travnju. Takav raspored voda posljedica je modificirane varijante kišno-snježnog režima.

Tablica 1. Prikaz karakterističnih vrijednosti mjesecnih protoka na razmatranim hidrološkim profilima

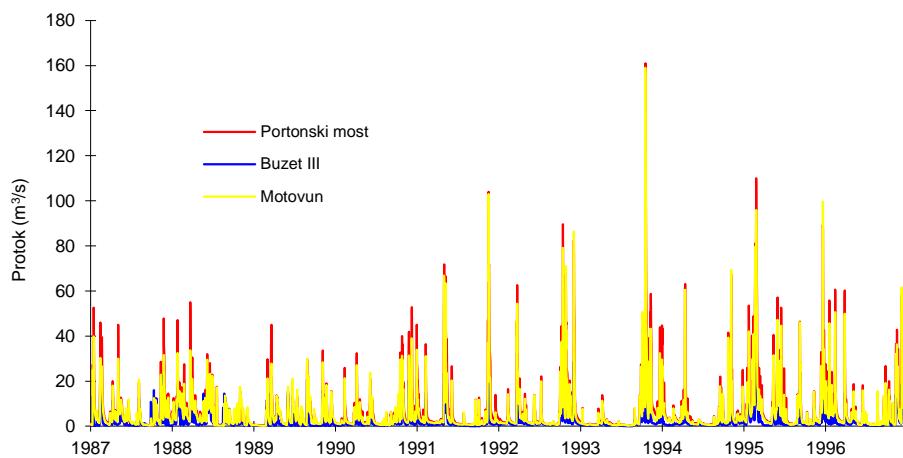
PROFIL	MIRNA-Portonski most (1955-1995)			BOLJUNČICA-Čepić (1961-1995)			PAZINČICA-Dubravica (1972-1995)			
	MJESEC	PROS.	MAX.	MIN.	PROS.	MAX.	MIN.	PROS.	MAX.	MIN.
I		11	95,4	0,362	1,55	28,3	0	1,31	27,8	0,003
II		10,8	103,0	0,276	1,54	28,3	0,000	1,33	27,2	0,003
III		9,92	139,0	0,668	1,23	28,6	0,000	1,16	45,3	0,021
IV		9,12	88,5	0,914	0,817	28,2	0,000	1,13	25,2	0,038
V		6,47	88,7	0,649	0,427	28,4	0,017	0,697	33,8	0,026
VI		5,56	79,2	0,300	0,263	28,8	0,000	0,369	16,0	0,007
VII		2,23	38,7	0,339	0,058	27,5	0,000	0,093	24,0	0,000
VIII		2,31	75,0	0,101	0,063	22,9	0,000	0,129	29,9	0,000
IX		4,43	81,0	0,048	0,377	28,8	0,000	0,243	26,5	0,000
X		8,18	178,0	0,193	0,792	28,8	0,000	0,801	40,4	0,000
XI		11,3	129,0	0,178	1,32	28,4	0,000	1,29	39,1	0,000
XII		10,7	123,0	0,531	1,26	28,9	0,000	1,29	39,9	0,002
GOD.		7,63	178,0	0,048	0,804	28,9	0,000	0,832	45,3	0,000

Na istraživanom području značajniji vodeni tokovi su rijeke Dragonja, Mirna, Pazinčica, Boljunčica, Beramski i Umaški potok. Na zapadnom dijelu Istre najznačajniji je vodotok **rijeka Mirna**, a u graničnom području sa Slovenijom dolazi i

vodotok **Dragonja**. Izvorišta oba ova vodotoka nalaze se u sjeveroistočnom dijelu flišnog bazena na jugozapadnim obroncima Ćićarije.

Tok **rijeke Mirne**, od spoja Rečine i Drage do ušća dugačak je oko 43 km, a dijelom prolazi kroz područja izgrađena od flišnih naslaga, a dijelom kroz kvartarne naslage istaložene u dolini usjećenoj u karbonatnim naslagama. Rijeka je regulirana na čitavom toku, osim dijela Istarske toplice-Kamenita vrata-ispod Buzeta gdje je korito suženo i nema potrebe za provođenje regulacije. Tok Mirne može se podijeliti na gornji, srednji i donji. Gornji tok rijeke je najkraći, od spoja sa bujicom Draga i Rečina do Kamenitih vrata. Neposredno nizvodno iza spoja ovih glavnih pritoka Mirne u gornjem dijelu, pritječe joj i vode jakog krškog povremenog izvora Tombasin. Uzvodno od Buzeta pritječe potok Rečica, a u Buzetu s desne strane dotječe viškovi vode sa snažnog krškog izvora Sv. Ivan. Nizvodno od Buzeta dotječe i vodom bogata Malahuba. Osim navedenih pritoka, vodotok Mirne ovdje se napaja i nizom manjih izvora, uglavnom povremenog karaktera. Srednji tok rijeke je od Kamenitih vrata do Portonskog mosta. Dolina Mirne široka je ovdje oko 800 m. U srednjem toku prima pritušku Butonigu sa slivom od 80 km^2 i vrlo izraženim bujičnim svojstvima, zatim Kovačicu, Mlinski potok, Gradinje i desni obuhvatni kanal, te potoke Krvar, Mofrin, Ravazin do Istarskih toplica i Bračanu u kanjonu Kamenitih vrata. Stalni dotok vode je u krškom izvoru Bulaž kod Istarskih toplica. U ovom dijelu bujičnost je izrazita, a to uvjetuje nagle promjene u režimu vode u cjelini. Donji tok Mirne je od Portonskog mosta do njezinog ušća u more. Rijeka teče dolinom širokom oko 1 km, a većim dijelom ispod srednje razine mora, te je regulacija izvedena nasipima. U donjem toku nema značajnijih bujičnih pritoka osim Valerona i Petersana koje preko desnog obuhvatnog kanala utječu u Mirnu. Značajno je, međutim, da je u tom području bilo oko 50 izvora različite izdašnosti. Danas su oni djelomično zahvaćeni obodnim kanalima, a djelomično su tijekom vremena spustili svoje izlaze u kanal. Od preostalih izvora, najznačajniji je Gradole sa srednjom godišnjom izdašnošću između 800 i 1500 l/s. Izdašnost ostalih izvora je manja. Iz gornjeg porječja Mirne voda donosi znatne količine nanosa i odlaže ga u donjem dijelu doline, gdje je stvorena močvarna nizina. Mirna s pritocima čini porjeće od oko 563 km^2 . Za nju je karakterističan tipično bujični vodni režim. Njeni protoci kreću se od nekoliko stotina l/s do zabilježenih $323 \text{ m}^3/\text{s}$ (100-godišnjeg povratnog razdoblja). Srednji protok Mirne na postaji Buzet je $2,70 \text{ m}^3/\text{s}$, kod Motovuna $6,30 \text{ m}^3/\text{s}$, a kod Portonskog mosta $7,63 \text{ m}^3/\text{s}$ (1955-1995). Na slici 2.8 prikazana su dnevna protjecanja na

spomenutim postajama za razdoblje od 1987 do 1996 godine. Ukupan dotok na ušću Mirne procijenjen na osnovu podataka o srednjoj vrijednosti protoka na Portonskom mostu, smještenom na početku donjeg toka Mirne tj. uzvodno od utjecaja uspora mora ($7,63 \text{ m}^3/\text{s}$), preljevu na izvoru Gradole ($1,30 \text{ m}^3/\text{s}$), dotoku s hidromelioracijskog područja Donje Mirne ($0,30 \text{ m}^3/\text{s}$), te procjeni dotoka iz ostalih manjih izvora i obuhvatnih kanala ($0,40 \text{ m}^3/\text{s}$) iznosi oko $9,60 \text{ m}^3/\text{s}$ (RUBINIĆ, 1995).



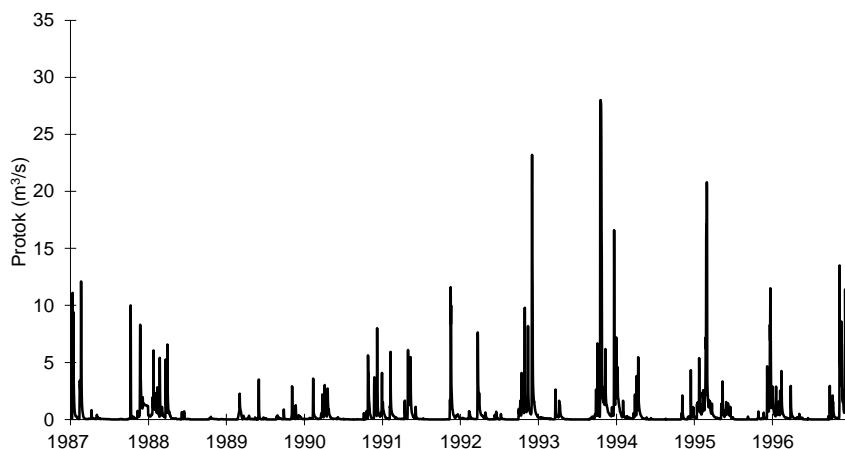
Slika 2.8. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Mirne u razdoblju 1987.-1996. godine

Posrednom slijevu rijeke Mirne pripada i područje Zrenjske visoravni, odnosno nekoliko paralelnih povremenih bujičnih vodotoka koji završavaju u ponorskim zonama koje se nalaze na kontaktu flišnih i karbonatnih naslaga, a podzemne vode dalje gravitiraju prema izvoru Bulaž. Od većih potoka ovdje se mogu izdvojiti Bazuje, Butari, Malinska, Oprtaljska draga i Zrenjska vala. Sljevovi pojedinih potoka predstavljaju zasebne cjeline, a površine im variraju od $5,7 \text{ km}^2$ kod Butari potoka, preko 10 km^2 kod Zrenjske vale, $10,6 \text{ km}^2$ kod Oprtaljske drage do $11,2 \text{ km}^2$ kod Malinske odnosno $11,5 \text{ km}^2$ kod potoka Bazuje (MAGDALENIĆ i dr. 1984.). Opažanja protoka su vrlo oskudna, a postoje samo za vodotoke Butari i Bazuje, i to u razdoblju od 1984 do 1987 godine. Srednji protok na profilu Butari iznosio je tada $0,052 \text{ m}^3/\text{s}$, a na profilu Bazuje $0,098 \text{ m}^3/\text{s}$.

Rijeka Dragonja je znatno manja od Mirne, kako po veličini porječja, tako i po vodnosti. Veći dio porječja rijeke nalazi se na području R Slovenije. U svom gornjem toku, ona ima veći broj malih pritoka, a dužina joj iznosi oko 20 km. Isprani flišni materijal i velike količine nanosa talože se u dolini donjeg toka Dragonje, koja je močvarna, a nakon regulacije vodotoka predstavlja vrlo plodno obradivo tlo. Bokovi

doline su mjestimice strmi, odnosno kanjonskog su tipa. Rijeka Dragonja se napaja sa tri značajnija izvora smještena na lijevom rubu doline: Gabrijeli, Bužin i Škodelin.

Rijeka Boljunčica, dužine 20 km, napajala je nekada Čepićko jezero, koje se od 1936 godine, nakon prokopavanja tunela, odvodnjava izravno u Plominski zaljev. Vode Čepićkog jezera djelomično su se na južnom rubu gubile u ponorima i istjecale u Bubić jami i izvorima u Plominskom zaljevu, a pri većem vodostaju preljevale su se u sлив Raše. Isušivanjem Čepićkog polja stvorena je obradiva površina. Zbog zaštite

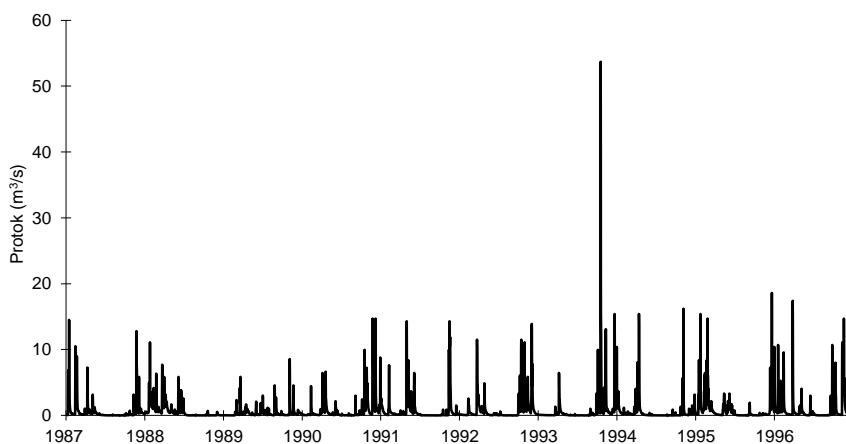


Slika 2.9. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Boljunčice na profilu Čepić u razdoblju 1987.-1996. Godine.

Čepićkog polja od bujičnih voda, u kanjonskom dijelu Boljunčice kod naselja Letaj, 1972. godine izgrađena je brana Letaj. Osnovna namjena bila je zaštita od poplava područja Čepić, te navodnjavanje. Nažalost, lijevi bok jezera oslanja se na karbonatne naslage, te se jezero formira samo na kratko vrijeme za snažnih padalina u sljevnem području. Bojanjem 1974. godine dokazano je da vode iz jezera podzemno utječu u zonu rudnika Pićan i zonu izvora Beka u Čepić polju, te na izvor Bubić jama u Plominu (TOMIĆ i dr., 1974.). Uzvodno od brane Letaj, Boljunčica prima povremene pritoke, bujice iz fliškog područja. Sljевno područje Boljunčice zahvaća oko 153 km^2 (RUBINIĆ, 1995.). U vrijeme intenzivnih padalina, protok Boljunčice je i do $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji protok na postaji Čepić je $0,804 \text{ m}^3/\text{s}$. Na slici 2.9. prikazana su dnevna protjecanja na rijeci Boljunčici na mjernom profilu Čepić u razdoblju od 1987. do 1996. godine.

Pazinčica je najveći unutrašnji vodotok Istarskog poluotoka. Nastaje od Borutskog i Rakovog potoka kod Cerovlja, u flišnoj zoni i ima dužinu od 17 km. Kod Pazina, na kontaktu flišnih i karbonatnih naslaga ovaj vodotok nestaje u Pazinskoj

jami. Površina zatvorenog porječja ove rječice je oko 83 km^2 . Srednji protok na profilu Dubravica je oko $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$. Presušivanja vodotoka, ili veoma male vrijednosti srednjih mjesечnih protoka pojavljuju se u gotovo svim mjesecima izuzev u razdoblju od ožujka do svibnja. U vrijeme velikih voda (1964, 1965, 1991, 1992 god.) protok je bio toliki da je ponor Pazinska jama bio zagušen, te je došlo do poplave objekata i prometnica. Na slici 2.10. prikazana su dnevna protjecanja na rijeci Pazinčici u razdoblju od 1987. do 1996. godine.



Slika 2.10. Hidrogram srednjih dnevnih protoka Pazinčice na profilu Dubravica u razdoblju 1987-1996.

Beramski potok (Čipri) mali je povremeni vodotok, a završava u ponoru Čiže. Njegovo porječje zahvaća oko 146 km^2 . Drenira se prema Limskom kanalu i izvoru Gradole. Srednji protok je $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ (TOMIĆ, 1980).

Umaški potok je povremeni vodotok sa porječjem od oko 40 km^2 . Porječje je izbrazdano s nekoliko dolina, u čijim najnižim dijelovima ima ponora u koritu i u polju. Uglavnom se podzemno drenira prema sjeverozapadu (drenira zonu sjeveroistočno od Umaga). Samo za vrijeme kišnih razdoblja voda teče površinski kroz korito protokom i do $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji protok se kreće oko $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$. Ukupna duljina toka od pretpostavljenog nastanka vodotoka do ušća u Jadransko more je 21 km, a završni dio dugačak je 6 km.

Osim ovih značajnijih hidroloških cjelina postoji još površina s koje nema značajnijeg otjecanja nego vode pretežito poniru.

Područje istočno od slijeva rijeke Raše i Boljunčice, uglavnom na jugoistočnim i istočnim obroncima masiva Učke, zahvaća površinu od 102 km². Ovdje nema stalnih tokova, ali ima bujica i povremenih tokova Mošćenička Draga, Medveja, Ika i Opatija, te povremenih priobalnih izvora i vrulja.

Između slijeva rijeke Mirne i Beramskog potoka proteže se zona do 25 km k središtu Istre, površine 379 km². Vjerojatno pripada slivu Mirne i izvora u zoni Limskog kanala. Područje je bez nadzemnih tokova, jedino se pojavljuje povelik broj lokava. U dalekom zaleđu je izvor Bados ispod brda Turkovice, a nešto južnije izvori Pećine kod sela Sv. Ivan od Šterne. U blizini Musaleža je izvor Sv. Anđelo.

Područje između Umaškog potoka i Mirne, površine 62 km², drenira ove vode u zonu Novigrad-Umag, napajajući izvore u tom području. Ovo područje nema površinskih tokova.

Zona Dragonja-Umaški potok zahvaća površinu od 104 km². To je površinski bezvodno područje, preko 25 km uvučeno duboko u kopno Istre. Napaja podzemlje sjeverno od Umaškog potoka.

3. GEOMORFOLOGIJA

Na stvaranje geomorfoloških oblika na području Istre i s tim u svezi na genezu danas prisutnih hidrogeoloških odnosa i kretanje podzemnih i površinskih voda direktni utjecaj imala je dinamika Dinarida. Stoga današnji prostor i veličinu Istarskog poluotoka promatramo kao rezultat nazočnosti mezozojskih i kenozojskih sedimenata i orogenetskih procesa navlačenja, odnosno tektonskih gibanja od laramijske faze do najmlađih kvartarnih faza. Značajnu ulogu u procesu kvartarnog okršavanja odigralo je i kolebanje razine mora, koja je prema T. ŠEGOTI (1968) najveći dio pleistocena bila 96 m niža od današnje. Splet pukotinskih sustava nastajao je već tijekom sedimentacijskih procesa, koji su kasnije tijekom orogenetskih faza bili reaktivirani, uz stvaranje novih sustava, što je bio temelj erozijskih procesa u vrijeme kopnenih faza ovog prostora. Erozijski procesi karbonatnih naslaga koji su se odvijali od završetka taloženja krede do danas, kao i procesi erozije i denudacije fliških naslaga od oligocena do danas, te procesi urezivanja postojećih vodenih tokova daljnji su faktori oblikovanja reljefa promatranog područja. Erozijski procesi uvjetovali su pojavu različitih morfoloških oblika, a veličina, oblik i rasprostranjenost tektonskih i morfoloških oblika stvorili su uvjete za današnji morfogenetski izgled Istre. Tako na području izgrađenom od karbonatnih stijena padaline uglavnom poniru, te ih vrlo polagano do velikih dubina otapaju, pri čemu se površinski izgled malo mijenja. Dok se karbonatne stijene na površini malo troše (izuzev stvaranja debljeg ili tanjeg pokrova crvenice), i ne stvara se rahli pokrov koji bi vode spirale, reljef izgrađen od pješčano-laporovitih naslaga brže se mijenja i kao rastrošen materijal biva postepeno odnašan u niže depresije ili na ušće rijeke Mirne.

Glavnina krških procesa, danas bitnih za regionalne hidrogeološke odnose, odvijala se ipak tijekom kvartara. Postojanje najmlađih kvartarnih nanosa i to ne samo u dolinama rijeka već i na područjima vapnenačkog platoa zapadnog dijela poluotoka (kvartarni pijesci oko Umaga, debele taložine terra rosse (crvenice) od Kaštela do Poreča i Rovinja) ukazuju na drugačiju hidrografsku mrežu na ovom prostoru.

Tijekom kvartara na granici fliša i vapnenaca aktivirao se postupno ponor u kojem se gubi Pazinski potok, a njegov dotadašnji tok u Limskoj dragi prestaje postojati te donja dolina u vapnencima ostaje suha, a neznatni potok Čipri u nesrazmjeru je s velikom "dragom".

Za vrijeme pleistocena, rijeka Mirna je, mehaničkom snagom svog toka doplavila flišni materijal iz gornjeg porječja kojim je gotovo u cijelosti zatrpana potopljeni donji dio doline i pretvorila ga u močvarnu nizinu, a svoju dolinu uskladila prema naplavnoj ravnici sjevernog Jadrana. Iznos potapanja bio je malen na što upućuju dubine od ispod 18 m i oblici morskog dna pred ušćem Mirne (ŠEGOTA, 1975). Boljunčica je za vrijeme pleistocena otjecala kroz ponore na južnom obodu Čepićkog polja prema području današnjeg Plominskog kanala, ali su kasnije oni začepljeni (ROGLIĆ, 1981). Zbog donošenja erodiranog materijala s flišnih strana i padina Učke dolazi do zapunjavanja tog polja uz samo povremeno plavljenje (Čepićko polje).

Uz erozijske procese znatnog utjecaja na oblikovanje morfogenetskih i hidrogeoloških odnosa imali su vrlo jaki epirogenetski pokreti koji su započeli već u pliocenu i traju tijekom cijelog kvartara (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973). Epirogenetska izdizanja i spuštanja reljefa bila su uzrok i znatnih promjena tlačnih i hidrodinamičkih uvjeta na prostoru Istre, pa tako i promjena razine podzemnih voda, odnosno uvjeta i razina okršavanja, što je u tektonski oštećenim zonama izazvalo stvaranje brojnih krških oblika (škrape, ponikve, jame, ponori, krška polja).

Postglacijalno dizanje morske razine zbog otapanja ledenih kopnenih pokrova rezultiralo je i današnjim izgledom obalne linije. Zadnjih desetljeća ona je neznatno promijenjena jedino na ušćima rijeka i nekim poljima melioracijskim zahvatima: uvalom Rabac 47 i Plominskim kanalom 49 m (ŠEGOTA, 1982).

Zapadna obala Istre je niska i dobro razvedena sa širokim i plitkim obalnim pragom, te nizom manjih otočića nedaleko obale. Kao morfološki značajne uvale na ovoj obalnoj liniji vidljivi su na granici sa Slovenijom Piranski zaljev s ušćem rijeke Dragonje i Tarski zaljev s ušćem rijeke Mirne. Prodiranjem mora na zapadnu obalu Istre poplavljene su riječne doline, a pojedina uzvišenja postale su brojne plićine i izdvojeni otoci ili skupine otoka, primjerice mali otočići ispred Savudrije. Za razliku od

ove blago položene zapadne obale, istočna obala poluotoka je pretežito strma i okomito odsječena (litičasta) sa znatno većim dubinama mora u obalnoj zoni. Obilježja su joj gotovo stotinumetarske vertikale pravih klifova od Mošćenice do Plomina i dalje. Dubina do morskog dna na ovim mjestima iznosi i do 40 m.

Prema postojećim geološkim činjenicama i specifičnostima krškog reljefa, značajka Istarskog poluotoka je postupno izdizanje terena od zapada i jugozapada prema sjeveru, sjeveroistoku i istoku, a geomorfološki se može podijeliti na tri područja:

1. Otvorena niska karbonatna zaravan na zapadnom i južnom dijelu poluotoka koja se u zapadnim predjelima postupno morfološki spušta prema moru (ispod linije Uvala Sečovje-Buje-Motovun-Pazin-Labin)–“Crvena Istra”;
2. Tršćansko-pazinski fliški bazen središnje Istre, odnosno morfološki niža stepenica flišnih pobrda, valovitog reljefa ispresijecan i “isječen” brojnim udolinama i povremenim vodotocima–“Siva Istra”;
3. uzdignuto područje Ćićarije i izbočeni masiv Učke na sjeveroistoku i istoku poluotoka–“Bijela Istra”.

Istraživanom području pripadaju, mali dio „Crvene Istre“, Tršćansko-pazinski fliški bazen središnje Istre–“Siva Istra” i uzdignuto područje Ćićarije i izbočeni masiv Učke na sjeveroistoku i istoku poluotoka–“Bijela Istra”.

Tršćansko-pazinski fliški bazen javlja se kao vrlo markantna morfološka jedinica znatno različita od ostalog dijela terena. Nalazi se između Pičnja, Pazina, Buja, Grožnjana i Buzeta, a pružanje mu je SZ-JI. Njegovu cjelovitost presijeca vapnenačka zaravan, odnosno kredna „antiklinala“ koja se proteže od Savudrije do Buzeta, nazvana Bujsko-zrenjska visoravan, širine oko 3 km. Na istočnoj strani poluotoka bazen je presječen masivom Učke, potpuno „stranim“ tijelom u tektonskoj slici Istre (HERAK, 1986, 1991), koji ima utjecaj i na geomorfološki razvojni slijed. Svoj najširi dio od 20 km ovaj bazen ima na liniji Pazin-Brest. Ukupna dužina bazena (od slovenske granice do Labina) iznosi 49 km.

Visinske razlike kota na kojima se javljaju naslage fliša na površini terena, variraju od 10 m iznad razine mora (10 m uz tok Dragonje, 15 m uz

tok Mirne i 25 m uz tok Raše) do 700 m. n.m. kod Bresta na samom rubu bazena. Između ovih visina dolazi velik broj uzvišenja koja se izdižu vrlo strmo od nivoa riječnih dolina, ali obično ne prelaze visine od 200-400 m. n.m. Jedino kod Draguča nalaze se dva uzdignuća, ali prostorno vrlo mala s kotama 500 i 504 m.

Najvažnija karakteristika fliškog bazena, koji u struktturnom pogledu predstavlja jedan sinklinorij, je postojanje, uglavnom povremenih i bujičnih tokova, jaka diseciranost padina, te izrazita erozija fliških nasлага sa spiranjem rastrošenog materijala u niže položene doline. Reljef pobrđa karakterizira i usjecanje jaruga sa strmim i nestabilnim padinama, a uslijed jaružanja dolazi do intenzivnog odnošenja materijala spomenutim povremenim bujičnim tokovima. U fliškom pojasu ističu se dvije sabirne doline: (1) buzetska zavala oko izvorišnog dijela Mirne i (2) proširenje oko gornje Raše i Boljunčice (ROGLIĆ, 1981).

Zbog nepropusnosti fliških nasлага, kretanje vode je površinsko, ili neposredno uz površinu kroz rastresiti površinski pokrivač, osim u najniže položenom aluvijalnom nanisu šljunka, kršja, pjeska i pjeskovitih glina. Ovaj se nanos javlja uz proširene doline rijeka Mirne i Raše te na području Čepićkog polja, a nastao je kao rezultat trošenja i spiranja fliških nasлага u gornjim dijelovima spomenutih tokova. Površinske vode uglavnom otječu prema J i JZ prema krškom platou, gdje se na kontaktu s karbonatnim naslagama, osim uz vodotoke Raše i Mirne gube u podzemlje.

Procese okršavanja u ovom području nalazimo jedino na izdvojenim pojavama vapnenačkih breča i leća, uglavnom eocenskih vapnenaca gdje je moguća pojava manjih špilja ili jama. Pojava ponora uobičajena je na kontaktu fliša i raspucalih karbonatnih nasлага u koje se površinske vode dreniraju na ili s površine ili pak neposredno pod površinom, ali i dublje u podzemlje.

Područje Ćićarije i Učke morfološki je jako izdiferencirano pojavom strmih stuba i planinskih grebena u sklopu ljudskih struktura ili navlaka starijih nasлага preko mlađih, što daje karakterističan izgled terenu. Vrlo jaka tektonska kretanja u geološkoj prošlosti, najviše se ističu baš na tom prostoru i dok morfološke strukture

Ćićarije imaju dinarsko pružanje, greben Učke skreće meridijanski (sjever-jug), i prema jugu je prekinut poprečno smještenim Plominskim zaljevom.

Masiv Ćićarije izdiže se na potezu Podbreg-Roč, sjeveroistočno od Buzeta sa kotama od 270 do 330 m, nastavljajući se u smjeru jugoistoka prema Semiću i Dolenjoj Vasi do Vranja i Vranjske drage. Sjeveroistočno od te linije teren se stubasto uzdiže za nekoliko stotina metara. Vrhovi s dinarskim pružanjem dosežu visine od 1000 i više m. Najviši vrhovi na ovom prostoru su Planik 1273 m, Šija 1234 m, Vojak 1396 m, Lisina 1185 m, Osapori 1163 m, Orljak 1106 m i drugi. Poslije niza ovih vrhova plato Ćićarije se na liniji Vodice-Mune-Matulji postupno snizuje do kote od oko 700 do 800 m.

Od spomenutog vrha Lisina, prema jugu nastavlja se markantan greben Učke s kotama preko 1000 m: Crveni Vrh 1031 m, Brložnik 1095 m, Crkveni vrh 1103 m, Plasa 1309 m i sam vrh Učke od 1396 m. Od mora na istoku, on se strmo uzdiže, dok se na zapadu postupno spušta u područje Čepić polja i u smjeru juga do Plominskog zaljeva. Horizontalna udaljenost od vrha Učke te njegovoga grebena do morske obale iznosi od 5,5 km pri najvišoj točci do svega 2,5 km kod Lisca i Kalića iznad Plominskog zaljeva. Niz strme obronke planine Učke prema moru urezani su vrlo okršeni jarni povremenih bujičnih tokova, dok se niz izvora promjenjive izdašnosti javlja uz morsku razinu ili neposredno uz nju u obliku vrulja.

Kako ovaj prostor pripada duboko okršenom kompleksu u izmjeni s navlačnim ulošcima fliša, kretanje vode je podzemno u ovisnosti od položaja i raspucanosti fliških nasлага na koje su navučeni vapnenci. Tijekom zadnjih izdizanja ovog prostora, uzduž rasjeda i ploha navlačenja povećane su visinske razlike, dok su procesi modeliranja u promijenjenom odnosu različitog sastava stijena rezultirali pojavom reljefa, koji je još uvijek u fazi stalne promjene.

Specifičnost ovog reljefa je spiranje trošnog flišnog materijala i nestajanje istog uz pomoć površinskih voda u krško podzemlje. Intenzivniji tektonski pokreti na

prijelazu iz pliocena u pleistocen na ovom su prostoru izmodelirali današnja uzvišenja i strme padine navlačnih blokova što se zapaža duž lomnih linija, rasjeda i pukotinskih sustava (ROGLIĆ, 1981). Stvorene su udoline između vrhova u koje je spiran flišni materijal (flišne doline), a posebice se izdvajaju one na potezu Prapoče-Lanišće (oko 500 m nadmorske visine) i viša stuba Trstenik-Rašpor-Račja vas s nadmorskom visinom preko 700 m.

Karakteristika krškog reljefa na ovom prostoru očituje se i u velikom broju speleoloških objekata: špilja i jama, te nekoliko ponora vrlo velike dubine. Osim podzemnih morfoloških oblika prisutni su i površinski, a to su vrtače. Vrtače su na mjestima brojne tako da se često međusobno dodiruju. Različitih su oblika i dimenzija. Ima cilindričnih oblika sa strmim ili vertikalnim stranama do ljevkastih. Dimenzije im variraju od nekoliko metara do više od 50 m. Brojnost speleoloških objekata, kao i podrobniji podaci o njima vidljivi su u radu S. BOŽIČEVIC (1985). Tako je npr. na prostoru istočno od Lanišća registrirano od 10 do 15 objekata na 1 km². U terenu prevladavaju jame duboke 10 do 100 m, zatim ponori i manji broj spiljskih sustava. U ovom području mogu se izdvojiti slijedeći speleološki objekti:

Najdublja jama-ponor *Rašpor*, uz cestu Račja vas-Trstenik ima dosegnutu istraženu dubinu od 365 m ispod razine ulaza. Ulag u ponor je u flišu, na koti 695 m n.m., a voda dotječe do ponora samo kod velikih kiša. Dubina ponora *uz rub polja kod Lanišća* iznosi 113 m. Ulazni dio ponora je u kvartarnim taložinama na koti 500 m n.m., zatim dolazi fliš, te vapnenci. Kroz ponor se odvode vode najnižeg dijela polja, a voda dotječe samo u kišnom razdoblju. *Ponor Semići* nalazi se na koti 495 m n.m., uz cestu Lupoglav-Lanišće sjeverozapadno od sela Semići. Istražena dubina mu je 217 m. Slivno područje koje gravitira prema ponoru je malo i voda samo kratkotrajno dotječe do ponora. *Ponor Kolinasi* nalazi se 500 m južno od Roča (Grgurinčići). Do ponora vodi potok koji drenira vode s fliškog područja sjeveroistočno od Roča. Kota ulaza je u paleogenskim vapnencima na 255 m. Dubina ponora je 38 m, a dužina oko 100 m. Zapadno od ceste Hum-Brnobići nalazi se više ponora kao *Ponikve*, *Ruminšćica*, *Bukovac* poznati pod imenom *ponori kod sela Brnobići*. Zajednička im je karakteristika da svi počinju u flišu blizu kontakta s vapnencima. Kota ulaza im je od 225 do 240 m, a dubine od 40 do 60 m. Dreniraju vode iz fliškog područja oko sela Brnobići.

4. PRIKUPLJANJE, SISTEMATIZACIJA I VALORIZACIJA PODATAKA DOSADAŠNJIH GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Raznovrsna i brojna geološka istraživanja u najširem smislu provođena su u Istri od polovice devetnaestog stoljeća do današnjih dana. Ona su se odnosila na temeljna geološka istraživanja, istraživanja mineralnih sirovina (ugljen, boksići, kvarcni pijesci, tehnički i arhitektonski građevni kamen, cementni lapori...), hidrogeološka istraživanja, geomorfološka i speleološka istraživanja, hidrološka istraživanja i brojna druga specijalistička istraživanja. Podatci starijih istraživanja djelo su pretežito austrougarskih i talijanskih istraživača a novija istraživanja vodili su hrvatski znanstvenici i stručnjaci. Elaboriranje postignutih rezultata i dostignuća kronološkim redom predstavljalo bi ogroman i vrlo zahtjevan posao koji bi trebao biti predmet posebne studije. Zbog toga će ovom prigodom u generalnom smislu biti navedeni oni istraživači i radovi u kojima su obuhvaćeni, sustavno prikazani i iskorišteni rezultati ranijih istraživanja a nakon toga oni autori i radovi koji se uglavnom odnose na hidrogeološka istraživanja.

Izradom Osnovne geološke karte 1:100 000, riješeni su temeljni stratigrafski, litostratigrafski i strukturno geološki odnosi. Izrada ovih karata obavljena je pod vodstvom Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba, današnji Hrvatski geološki institut. Područje koje je obuhvaćeno istraživanjima u okviru ovog projekta pokriveno je s 4 lista osnovne geološke karte s pripadajućim tumačima. To su: List Ilirska Bistrica : ŠIKIĆ, D. i PLENIČAR, M. (1975), List Trst : PLENIČAR, M., ŠIKIĆ, D. i dr. (1973), List Labin : ŠIKIĆ, D. i dr. (1973) i List Rovinj: POLŠAK, i ŠIKIĆ, D. (1973). U sva istraživanja koja su uslijedila nakon izrade ovih karata ugrađeni su rezultati koji su dobiveni višegodišnjim kompleksnim geološkim istraživanjima. To se dakako odnosi i na naša istraživanja.

Od hidrogeoloških istraživanja u razmatranom području Istarskog poluotoka trebalo bi istaknuti slijedeće: poslije prvog svjetskog rata, u vrijeme izgradnje brojnih kaptaža (vodozahvati, kao npr. Sveti Ivan i zdenci kod Pule), javljaju se i prvi hidrogeološki radovi, SACCO (1924), BERTARELLI I BOEGAN (1926), D'AMBROSI (1931) i VERONESE (1939). To je i vrijeme brojnih speleoloških istraživanja, čiji se rezultati i danas koriste (Dou Mille Grotte).

Poslije Drugog svjetskog rata regionalna hidrogeološka istraživanja u Istri provodili su uglavnom stručnjaci Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba: MAGDALENIĆ I FRITZ (1959), RALJEVIĆ i dr. (1968, 1969, 1969a i 1971), BOŽIČEVIĆ (1967, 1968, 1969, 1980), CUKOR I FRITZ (1967) i BOJANIĆ i DOMIĆ (1966). To je bilo vrijeme stvaranja osnovne slike o hidrogeologiji Istarskog poluotoka. Tada su izvedena i brojna trasiranja podzemnih tokova, čiji su rezultati i danas dragocjeni u hidrogeološkim interpretacijama. U sklopu izrade hidrogeološke karte Istre snimljene su brojne vodne i morfološke pojave i utvrđeni smjerovi kretanja podzemnih voda, odlučujući u planiranju zahvata i kasnije zaštite voda. Posebno treba istaknuti istraživanja i zahvat vode na izvoru Gradole (GULIĆ, 1973).

U slivu rijeke Mirne izvedeni su kroz dulje vremensko razdoblje, brojni hidrogeološki radovi od strane stručnjaka Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta iz Zagreba (MAGDALENIĆ, 1988, 1990; MAGDALENIĆ i dr., 1984, 1992, 1993). Glavnina radova se odnosila na projekte zaštite crpilišta pitke vode (Sv. Ivan, Gradole, akumulacija Butoniga), kao i zahvata vode u tom području (Bulaž). U okviru tih radova izvedena su brojna trasiranja podzemnih tokova i načinjene vrlo korisne hidrološke analize pojedinih dijelova krških slivova. Kasnije se u rad ekipe RGN fakulteta uključuju Urumović, Vazdar, Hlevnjak (1995, 1996). Posebno vrijedne doprinose u najširem hidrogeološkom smislu dale su dvije doktorske disertacije izrađene na RGN fakultetu u Zagrebu.

T. VLAHOVIĆ, (1999): „Utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri“, u kojoj autorica na temelju brojnih ranijih podataka te na temelju podataka dobivenih vrlo serioznim terenskim i laboratorijskim istraživanjima hidrogeokemijskih značajki izvorišta i ustanovljenih antropogenih utjecaja određuje kemijski sastav izvorskih voda koji je u svezi s hidrokemijskom pripadnosti vodonosnika. Na temelju ovih egzaktnih podataka izdvaja nekoliko hidrogeoloških cjelina: područje Ćićarije i Učke, područje Labinsko-Raškog bazena i područje središnje i južne Istre. Za većinu značajnijih izvora određuje priljevno područje, prirodne karakteristike voda i antropogeno zagađenje. Kao sukuš rada i najznačajniji znanstveni doprinos autorica ističe da se na području istarskog poluotoka nalazi zamršena kombinacija privilegiranih podzemnih tokova i procjedne cirkulacije podzemnih voda do dubina koje su znatno ispod razine mora. Ističe da je regionalna cirkulacija podzemnih voda u ovisnosti s geološkim strukturama, odnosno strukturnim odnosima. Pojavljivanje izvora vezano je za morfologiju i hidrogeološke strukture. Izdašnosti izvora u odnosu

su s oborinama a glavno napajanje vezano je najčešće za neposredno karbonatno zaleđe. Za vrijeme sušnih razdoblja i niskih vodostaja hidraulički se odnosi mijenjaju pa se količine vode koja istječe objašnjavaju širim, tj. regionalnim hidrogeološkim odnosima. Zaključno se ističe da je utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri puno veći nego se do tada mislilo. Predlaže se temeljiti pristup zaštiti podzemnih voda a preporuča se aktivna zaštita.

J. PARLOV, (2010): „Identifikacija parametara za modeliranje toka podzemne vode glavnih izvora u porječju Mirne“, u kojoj autorica na temelju brojnih hidroloških i hidrogeoloških parametara velikih izvora, Sveti Ivan, Bulaž i Gradole, određuje hidrogeološke parametre vodonosnika iz kojih istječu ovi izvori. Pri tome recesijska analiza predstavlja temelj za izračun parametara. Istražena je veza koeficijenata recesije i hidrauličkih značajki vodonosnika te su na temelju brojnih egzaktnih podataka dobivenih analizama procijenjeni hidrogeološki parametri za slivove izvora Sveti Ivan, Bulaž i Gradole.

Prema iznesenom može se reći da istraživanja koja su provedena kroz ovaj projekt na neki način predstavljaju nastavak dugogodišnjih hidroloških i hidrogeoloških istraživanja koja provodi Rudarsko-geološko-naftni fakultet u Istri.

Speleološka istraživanja na području Istre radili su brojni austrijski, talijanski i hrvatski speleolozi, uglavnom snimajući najveće speleološke objekte u Istri (Pazinska jama, Raspor i dr). Kompletan sustavni prikaz speleoloških objekata Istarskog poluotoka daje u svom doktoratu S. BOŽIČEVIĆ (1985) s posebnim osvrtom na sustav kaverni otkriven prilikom iskopa cestovnog tunela Učka.

Od hidroloških istraživanja svakako treba istaknut Podloge za razvoj Istarskog poluotoka (RUBINIĆ, OŽANIĆ, 1994).

U proučavanju i sistematizaciji dosadašnjih istraživanja vrlo vrijedne podatke pronašli smo u Vodnogospodarskoj osnovi Republike Hrvatske, GIS Istre, Hidrogeologija, koju je načinio Institut za geološka istraživanja, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju iz Zagreba. Hidrogeološka istraživanja na ovom kompleksnom projektu započela su 1997. godine, a završena su 1999. godine. Autori projekta bili su: B. BJONDIĆ, S. KAPELJ i M. KUHTA s brojnim suradnicima, a autor GIS projekta bio je D. SINGER. Istimemo samo najvažnija dostignuća:

- Identificirana je strukturno-geološka građa terena
- Određene su temeljne karakteristike krških vodonosnika
- Razvrstane su stijene s različitom vodopropusnosti što je predstavljalo temelj za izradu hidrogeoloških karata
- Pregledane su i obrađene brojne vodne i morfološke pojave
- Zabilježena su i obrađena dosadašnja trasiranja podzemnih voda što je predstavljalo vrlo važnu podlogu za hidrogeološke interpretacije
- Načinjena je hidrokemijska obrada brojnih izvorišta, a po prvi puta su rađene analize stabilnih izotopa, koje daju posebno interesantne podatke o porijeklu vode i dužini njenog zadržavanja u krškom podzemlju.
- Definirani su slivovi u krškom kompleksu istarskog poluotoka.

5. GEOLOGIJA

Razmatrano područje koje je obuhvaćeno istraživanjima u ovom projektu obuhvaća površinu od oko 2000 km². Njega izgrađuju raznovrsne taložne stijene stratigrafskog raspona od krede do kvartara. Kako je već rečeno temeljni su geološki odnosi riješeni izradom Osnovne geološke karte M 1:100.000. Područje je pokriveno s 4 lista OGK. To su: list **Ilirska Bistrica**, (ŠIKIĆ, D. i PLENIČAR, M., 1975), list **Trst**: (PLENIČAR, M., ŠIKIĆ, D. i dr., 1973), list **Labin**: (ŠIKIĆ, D. i dr., 1973) i list **Rovinj**: (POLŠAK, i ŠIKIĆ, D., 1973). U nastavku će biti prikazane temeljne geološke karakteristike izdvojenih jedinica koje su preuzete iz citiranih geoloških karata i pripadajućih tumača, a posebno vrijedni podaci preuzeti su iz Geološke karte Republike Hrvatske, 1:300 000 s pripadajućim tumačem koje je izradio Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2009. godine. Svi ovi podatci su dopunjeni i našim podatcima koji su prikupljeni značajnim terenskim istraživačkim radovima.

Zbog velikog broja podataka, raznolikosti simbola i opisa litostratigrafskih jedinica često je bilo potrebno pojednostaviti ove kategorije ali zbog toga nije došlo do gubitka kakvoće temeljnih podataka. Pri tome stalno treba imati na umu da ova istraživanja prvenstveno imaju regionalni hidrogeološki karakter. Zbog toga smo vrlo često prvenstveno koristili podatke iz Geološke karte Republike Hrvatske, 1:300 000 s pripadajućim tumačem. (Hrvatski geološki institut, Zagreb, 2009. godine.).

5.1. Opis litostratigrafskih jedinica

Najstarije naslage na području istraživanja su vapnenci i dolomiti donje krede na koje se kontinuirano talože mlađe naslage sve do oligocena (slika 5.1.) Kontinuitet geoloških zbivanja prekidaju laramijski događaji tijekom gornje krede. Kvartarni talozi zastupljeni su podređeno u obliku raznovrsnih genetskih tipova.

5.1.1. Vapnenci i dolomiti (donja kreda-K₁)

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., I. Velić i I. Vlahović)

Karbonatne stijene ove starosti zauzimaju velike površine u istraživanom području. Susrećemo ih u zapadnom dijelu u jezgri tzv. „bujske antiklinale“, te na potezu od ušća Mirne do Poreča, odakle se pružaju prema jugoistoku. Nadalje ih

susrećemo u sjevernom, sjeveroistočnom i istočnom dijelu gdje izgrađuju masive Ćićarije i Učke.

Pretežito su donjokredni karbonati izgrađeni od raznovrsnih tipova vapnenaca. Prevladavaju madstoni do radstoni ali se susreću i brojni drugi tipovi plitkovodnih marinskih vapnenaca. Nerijetko se susreću i biolititna tijela kao i produkti njihovog razaranja koji su nastali mehaničkom snagom valova. Dolomiti su pretežito kasnodijagenetski. Najčešće su zastupljeni na prijelazu iz jure u kredu i iz alba u cenoman. Unutar obje razine zapažene su i pojave ranodijagenetskih dolomita.

U naslagama starije krede, berijasu i valendisu, prevladavaju vapnenci koji su debeloslojeviti (uglavnom do 1 m). To su madstoni, algalni vekstoni, mjestimice s tanjim proslojcima favreinskih pekstona i grejnstona. U valendisu su ustanovljeni pravi algalno-foraminferski grejnstoni i LLH stromatoliti. Za otriv i barem su uz izmjenu fosilifernih vapnenaca-muljnih i zrnastih tipova uključujući i stromatolite-bila značajna i povremena izronjavanja s pojavama fenestralnih vapnenaca, peritajdalnih i emerzijskih breča i konglomerata. Debljine slojeva vapnenaca kreću se od pločastih, preko najčešće 30-40, cm debelih, do onih od 60-ak i više cm. U starijem aptu prevladavaju orbitolinski debeloslojeviti do masivni vapnenci, fosiliferni vekstoni, algalni onkoliti, mjestimice i orbitolinski tempestiti. U mlađem aptu taloženi su slojeviti (20-40 cm) salpingoporelski vekstoni. Orbitolinski vekstoni, rjeđe pekstoni, mjestimice i tempestiti u izmjeni s madstonima i miliolidnim vekstonima obilježavaju vapnence donjega alba (slojevi debljine do 60 cm). Za gornji alb tipična je izmjena pločastih do tanjeslojevitih (10-40 cm) madstona s miliolidnim vekstonima i miliolidno gastropodnim grejnstonima ili tempestitim. Unutar naslaga gornjega alba regionalno je zastupljena pojava silicifikacije u vapnencima, najvjerojatnije povezana s eolskim donosom vulkanskoga pepela na karbonatnu platformu, što je naknadno naglašeno kasnodijagenetskim procesima i genezom silicijskih sedimenata.

Dolomiti su najzastupljeniji u područjima kontinuiranoga prijelaza iz jure u kredu. To su pretežito kasnodijagenetski, uglavnom krupnokristalinični smeđi i sivi dolomiti, dobroslojeviti (slojevi najčešće od 30-60 cm), a u tektoniziranim područjima masivni i gromadasti. Unutar njih pojavljuju i slojevi ranodijagenetskoga svjetlosivog dolomita („*Fantazija dolomiti*“). Tanjih slojeva kasnodijagenetskih dolomita ima i u mlađim donjokrednim članovima, a značajnije pojave vezane su za završni dio alba i početak cenomana.

U istraživanom području, gdje dolomitizacija nije zahvatila prijelazne slojeve iz alba u cenoman, može se pratiti kontinuitet sedimentacije kroz izmjenu pločastih do

tanjeslojevitih madstona, peletnih grejnstoni, fenestralnih madstona, stromatolita i fosilifemih vekstona.

Donjokredni vapnenci izrazito su fosilifemi. Osobito su bogate mikrofossilne zajednice vapnenačkih alga i bentičkih foraminifera na kojima se i temelji stratigrafska podjela plitkomorskoga platformskog razvoja. Makrofossili su kako glede broja oblika i učestalosti znatno slabije zastupljeni. Susrećemo mali broj rodova i više vrsta školjkaša i puževa.

Taloženje donjokrednih naslaga u istraživanom području a i u širem okruženju odvijalo se u gotovo idealnim plitkomorskim platformskim uvjetima, što je izraženo u ritmičnim sljedovima karbonatnih sedimenata velike debljine. U takovim dugotrajnim uvjetima događala su se oplicevanja, izronjavanja i kraće emerzije što je rezultiralo nastankom emerzijskih breča i LLH stromatolita. U ovako dugom vremenu dolazilo je i do produbljavanja marinskih taložnih okoliša. Ponekad su se stvarali uvjeti za nastanak manjih vapnenačkih grebena što upućuje na znatnu diversifikaciju taložnih sredina. U mlađemu aptu i početkom alba dogodila se emerzija razmjerno velikog stratigrafskog raspona. U dijelu zapadne Istre, nedostaju naslage od sredine barema do sredine alba u vremenskome rasponu od preko 20 milijuna godina (VELIĆ et al., 1989). Ponovna plitkovodna platformna sedimentacija uspostavljena je tek u mlađemu albu.

Do kraja alba prevladavaju okoliši plitkoga subtajdala, a u završnim slojevima mjestimične pojave sinsedimentacijskih deformacija (slampova, manjih rasjeda) nagovjestile su početak velikih paleogeoloških promjena koje će Jadransku karbonatnu platformu zahvatiti u mlađoj kredi.

Može se sa sigurnošću zaključiti da su karbonatne stijene donje krede (vapnenci i dolomiti), koje u hidrogeološkom smislu predstavljaju grandiozni krški vodonosnik, nastale u pretežito plitkomorskim sredinama s visokom energijom vode koja je bila bogata kisikom, odnosno u oksidacijskim paleookolišnim uvjetima.

5.1.2. Dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče (gornji alb, donji cenoman- $K_1^6-K_2^1$)

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., I. Vlahović, J. Tišljar i I. Velić)

Prijelaz između donje i gornje krede u razmatranom području karakteriziraju kasnodijagenetski dolomiti i/ili izmjena vapnenačko-dolomitnih breča bez fosilnog sadržaja.

Takve su naslage izdvojene kao zasebna stratigrafska jedinica u području sjeveroistočne Ćićarije. Slične su naslage prisutne i na prijelazu donje i gornje krede u jugoistočnom dijelu Istre (tzv. horizont karbonatno-klastičnih naslaga-POLŠAK, 1965).

Unutar naslaga ove jedinice u tektonski manje poremećenim područjima više je ili manje jasno vidljiv postupan prijelaz iz tankoslojevitih, neravnomjerno dolomitiziranih albskih vapnenaca u kasnodijagenetske dolomite i potpuno rekristalizirane vapnence, mjestimice s reliktima ranodijagenetskih dolomita. U krovini se nalaze srednjocenomanski vapnenci s bogatom mikrofossilnom zajednicom. U takvim je područjima na temelju superpozicijskih odnosa nedvojbeno utvrđena gomjoalbsko donjocenomanska starost takvih naslaga.

(VLAHOVIĆ et al., 2002), smatraju da su izvorne stijene bile izmjena ranodijagenetskih dolomita i vapnenaca kao kontinuirani paket naslaga između albskih i cenomanskih vapnenaca. Tijekom mlađih geoloških razdoblja vapnenci su više ili manje kasnodijagenetski dolomitizirani ili potpuno pretvoreni u dolomite, a u blizini izrazitijih rasjednih zona takav je slijed ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita vrlo jako raspucan i drobljen. Raspucanost i drobljenje dolomita bilo je znatno jače nego okolnih vapnenaca, zbog njihovih različitih fizičko-mehaničkih svojstava. Kasnijom cirkulacijom pornih otopina prezasićenih u odnosu na kalcit stijene su intenzivno dedolomitizirane i otapane, što je povećalo poroznost i dovelo do brečastog habitusa stijene. Prividna heterogenost fragmenata ili pojedinih dijelova naslaga dodatno je naglašena mlađim dijagenetskim procesima, u prvom redu silicifikacijom, pri čemu su izvor silicija najvjerojatnije bili proslojci kvarcnih sedimenata u podinskim albskim vapnencima. Stoga naslage ove litostratigrafske jedinice zbog vrlo kompleksnog postanka možemo smatrati *postsedimentacijskim tektogeno-dijagenetskim brečama* (VLAHOVIĆ et al., 2002).

Ukupnu debljinu naslaga ove litostratigrafske jedinice nije lako odrediti zbog njihove izrazite lateralne i vertikalne promjenljivosti, vezane uz intenzitet tektonike. Ona se procjenjuje na **150-200 m**.

Što se tiče paleokoloških uvjeta taloženja i za ovaj slijed karbonatnih stijena može se reći da su one primarno nastale u područjima s plitkom morskom vodom visoke energije koja je bila bogata kisikom. Naknadni dijagenetski i tektogenetski

procesi nisu značajno utjecali na primarne uvjete. Jedino se može reći da podzemne vode iz ove litostratigrafske jedinice mogu biti obogaćene magnezijem.

5.1.3. Rudistni vapnenci (cenoman–senon-K₂³)

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., L. Fuček)

Izdanci gornjokrednih rudistnih vapnenaca zauzimaju značajne površine u istraživanom području. Cijeli slijed ove litostratigrafske jedinice nije istaložen jer je tijekom tog dugotrajnog razdoblja (više od 30 mil. god.) došlo do završetka taloženja na plitkovodnoj karbonatnoj platformi. Površine s ovim vapnencima su značajne. Nalazimo ih u području tzv. „bujske antiklinale“, na potezu od Savudrije do ušća rijeke Mirne, uz granicu s „Pazinskim flišnim bazenom“ te u području Ćićarije i Učke. Manje površine nalaze se unutar „Pazinskog fliškog bazena“ gdje su erozijom otkriveni ovi vapnenci koji predstavljaju podinu flišnim talozima.

Rudistni vapnenaci pripadaju srednjem i gornjem cenomanu, dok je donji cenoman pretežito u dolomitnom razvoju. Srednji i gornji cenoman se većim dijelom sastoje od dobroslojevitih i sivih, svijetlosmeđih i bijelih grebensko-prigrebskih te lagunarnih vapnenaca s različitim udjelom rudista i razmjerno bogatim mikrofosilnim sadržajem, kao i rijetkih proslojaka kasnodijagenetskih dolomita. Ima i pločastih do tankoslojevitih stromatolitnih laminita, bituminoznih laminita te tamnih pločastih vapnenaca s rožnjacima. Litološki su zastupljeni gotovo svi strukturni tipovi vapnenaca, a najčešći su bioklastično-skeletni madston-vekstoni i radistno-hondrodontni floutstoni. Debljina slojeva jako varira, od tankopločastih do debeloslojevitili (1-2 m) i masivnih. Od makrofosa najznačajniji su rudisti koji su poslužili za detaljnu biostratigrafsku i kronostratigrafsku raščlambu kako cenomana, tako i mlađih gornjokrednih naslaga. Na području Savudrija-Buzet, najmlađe kredne naslage su upravo cenomanske starosti.

Tijekom mlađega turona i konijaka u širem području Ćićarije dolazi do prestanka sedimentacije a započela je dugotrajna kopnena faza unutar laramijskih geoloških događaja.

U razmatranom području gdje su istaložene samo cenomanske naslage debljina izdvojenog kompleksa iznosi oko 300 m, a na području gje su istaložene cenomanske, turonske i dio starije senonskih vapnenaca debljina taložnog slijeda iznosi oko 300 metara.

Sigurno se može reći da su karbonatne stijene gornje krede (uglavnom vapnenci), koje u hidrogeološkom smislu predstavljaju grandiozni krški vodonosnik, nastale u pretežito plitkomorskim sredinama s visokom energijom vode koja je bila bogata kisikom, odnosno u oksidacijskim paleookolišnim uvjetima. O tome svjedoče ostaci brojnih rudista koji su indikator ovakvih uvjeta. Živjeli su u zadugama nerijetko tvoreći rudistne grebene.

5.1.4. Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (paleocen, donji i srednji eocen-Pc, E_{1,2})

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., I. Vlahović i I. Velić)

Liburnijske naslage i foraminiferski vapnenci zauzimaju značajan dio površine istraživanog područja. Te su naslage transgresivne na starije naslage (pretežito na gornjokredne vapnence).

Najznačajnije su pojave na rubnim dijelovima Pazinskog flišnog bazena, i u Ijuskavoј strukturi Ćićarije.

Trajanje kopnene faze između mlađe krede i paleogenoma bilo je promjenljivo na različitim dijelovima razmatranog područja koje je nekada bilo jedinstveno. Različiti članovi paleogenskih naslaga stoga su transgresivno taloženi na različitim članovima kredne podloge, u našem području na cenomanske ili turonske ili na donjosenonske karbonatne stijene. Pritom je važnu ulogu imala izrazita diferencijacija prostora uzrokovana tektonikom i razmjerno dugotrajnim okršavanjem krednoga kopna. Zato je i slijed paleogenskih naslaga vrlo promjenljiv, kako lateralno tako i vertikalno, čemu dodatno pridonose donekle promijenjeni taložni uvjeti u paleogenskom moru. Općenito se slijed može podijeliti na Liburnijske naslage i foraminiferske vapnence.

Liburnijske naslage su taložene samo u nižim dijelovima paleoreljefa. Karakterizira ih oscilirajuća transgresija na okršenu krednu podlogu, pri čemu se u najnižem dijelu obično nalaze boksi i breče, a zatim slijede smeđi, smeđosivi, tamnosivi do gotovo crni pločasti do tankoslojeviti vapnenci sa slatkovodnom i brakičnom faunom pretežito donjoeocenske starosti. Takav slijed ima sva obilježja tzv. unutarnje transgresije ('blue holes'), gdje je kroz okršenu podlogu izdizana leća slatke vode, a prava je marinska transgresija slijedila naknadno. Najznačajniji fosili

su gastropodi, školjkaši, bentičke i planktonske foraminifere, ostrakodi, oogoniji haraceja i ostaci bilja. Mjestimice se unutar Liburnijskih naslaga nalaze i proslojci i slojevi ugljena, uglavnom debljine po nekoliko desetaka cm. Najznačajnije su pojave ugljena, nešto južnije od istraživanog terena, u Labinskom bazenu, gdje je debljina ugljena i do 15 m. Prema najmlađem dijelu sve je izraženiji utjecaj tipičnih marinskih okoliša, tako da Liburnijske naslage postupno prelaze u miliolidne vapnence. Pored miliolida se u vršnom dijelu nalaze i sitne alveoline i numuliti, te školjkaši.

Foraminiferski su vapnenci taloženi kontinuirano na Liburnijskim naslagama ili transgresivno, najčešće na gornjokrednim vapnencima. Dijele se u tri do četiri uvjetno postavljene litostratigrafske jedinice: miliolidne, alveolinske i numulitne vapnence, te diskociklinske vapnence kao najviši dio numulitnih vapnenaca. Ti su litotipovi pretežito u superpozicijskom odnosu, a stratigrafski pripadaju donjem i dijelu srednjega eocena. Foraminferske vapnence izgrađuju cijeli i fragmentirani skeleti bentičkih, a rjeđe i planktonskih foraminifera. Određene su mnogobrojne vrste iz skupine miliolida, alveolina, numulita i diskociklinidnih foraminifera. Udio planktonskih oblika se povećava u najmlađim dijelovima foraminferskih vapnenaca. Tu se još nalazi i kršje školjkaša, ostrakoda, ježinaca, vapnenačkih alga, koralja, hidrozoa, spužava, anelida i mahovnjaka. U najvišem dijelu foraminferski vapnenci sadrže i autigeni i detritični glaukonit. Cijeli slijed zapravo predstavlja izmjenu različitih okoliša, od zaštićenog unutarnjeg dijela potopljene platforme (miliolidni vapnenci), preko plićih i dubljih okoliša (alveolinski i numulitni vapnenci) do dubljih okoliša sinsedimentacijskom tektonikom formiranih karbonatnih rampa (diskociklinski vapnenci). Sam slijed znatno ovisi o lokalnim paleogeografskim uvjetima, tako da su nerijetko vidljive lateralne promjene, miješanja različitih varijeteta i sl. Stoga granice između pojedinih jedinica nisu oštре, budući da se podjela temelji isključivo na predominaciji određenih skupina bentičkih foraminifera (često i u najnižem miliolidnom vapnencu ima proslojaka sitnih numulita, a miliolide i alveoline se nerijetko u manjem broju nalaze u različitim dijelovima slijeda naslaga). Navedene jedinice nisu na svim dijelovima taložnog prostora potpuno jednake starosti. Ipak, svugdje je vidljiva kontinuirana tendencija produbljivanja, koja predstavlja posljedicu međudjelovanja više čimbenika. Svakako je najvažnija intenzivna sinsedimentacijska tektonika koja je osiguravala veliki akomodacijski prostor, što je dodatno naglašeno sporijim taloženjem u uvjetima sve nepovoljnijim za obilnu karbonatnu produkciju koja se na kraju taložnog slijeda svodi na izdužene karbonatne pragove.

Prijelazne naslage izgrađuju glinoviti vapnenci, kalcitični lapor i lapori koji pored sitnozmastog karbonatnog i siliciklastičnog matriksa sadrže pojedinačne bioklaste bentičkih organizama i planktonske foraminifere. Taloženi su u već znatno produbljenim okolišima tijekom srednjega eocena. S obzirom na mjestimice prisutne bioklastične slojeve i proslojke unutar flišnih naslaga u neposrednoj krovini prijelaznih naslaga, koji su izgrađeni od premještenih i pretaloženih krupnih bentičkih foraminifera (posebice numulita i diskociklinida), može se zaključiti da se na rubovima flišnog bazena još neko vrijeme održavala karbonatna sedimentacija.

Ukupna je debljina Liburnijskih naslaga i foraminiferskih vapnenaca zbog navedenih specifičnosti vrlo varijabilna. Ipak, moglo bi se procijeniti da prosječna debljina Liburnijskih naslaga tamo gdje su prisutne varira od svega nekoliko do 50 m, iako je u nekim dijelovima i znatno veća (npr. južno od istraživanog područja, u području Labinskog bazena preko 200 m). Debljina foraminferskih vapnenaca je također promjenljiva, pri čemu bi prosječno mogla iznositi od 100 do 250 m, a na njima slijedi od nekoliko do pedesetak metara prijelaznih naslaga.

5.1.5. Fliš (srednji i gornji eocen-E_{2,3})

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., S. Marinčić)

Naslage eocenskoga fliša otkrivene su u području srednje i sjeverne Istre, dakle u području istraživanog terena.

Pod pojmom fliš podrazumijevaju se dubokomorske naslage koje su nastale kretanjem pijeska i mulja sa rubnih dijelova šelfa turbiditnim mehanizmom niz padinu prema dubljem dijelu bazena. Pretežito zrnasti sedimenti odlagani su već na padini, dok su sitnozrnastiji i muljni stizali do najdubljih dijelova bazena. tako je nastao debeli niz slojeva u kojem se generalno gledajući izmjenjuju slojevi pješčenjaka i laporanog. Uz to su prisutne breče i mikrobreče te autohtonim bazenskim talozi koji su predstavljeni glinovitim vapnencima.

Breče i mikrobreče se najčešće sastoje od kraće transportiranih fragmenata krednih i eocenskih vapnenaca. Pješčani intervali, zbog dužega transporta, pokazuju veću varijabilnost sastava zrna, pa mogu biti izgrađeni od pretežito karbonatnih čestica različitih mezozojskih, ali i od čestica metamorfnih i magmatskih stijena s asocijacijom teških minerala. Silitne intervale izgrađuje dobrosortirani terigeni detritus kvarca i feldspata, listići biotita, muskovita i klorita, te asocijacija teških

minerala uz primjesu glinovite tvari. Homogeni lapori sadrže aggregate mikrokristaliničnoga kalcita i ljušturice planktonskih mikroforaminifera s vrlo rijetkim zrcnicima kvarca i listićima sericita.

Općenito, flišne naslage proksimalnih područja bogatije su kvarcom, dok su distalna područja obilježena pretežito karbonatnim sastavom.

Pored tipičnih turbiditnih naslaga u ovoj se jedinici nalaze i kanalske ispune i tzv. konturiti. Kanalske naslage obično izgrađuju neuređeni matriks potporni krupnozrnasti brečokonglomerati koji su duboko erodirali turbiditne sekvencije podloge, a takva su lećasta tijela obično metarske do dekametarske širine. Konturite predstavljaju tanki (1-5 cm), široki pretežito pješčenjački slojevi oštih i ravnih površina, bez internih tekstura.

Najstarije naslage paleogenskog fliša taložene su kontinuirano na hemipelagičkim laporima prijelaznih naslaga koncem luteta. Starost je utvrđena na temelju nalaza nanoplanktona koji ukazuje na gomjolutetsku-donjobartonsku starost. Istu starost potvrđuju i nalazi planktonskih foraminifera.

Najmlađem flišu pripadaju najjugozapadniji izdanci koji su taloženi na erozijskoj diskordanciji preko starije podloge (Motovun, Pazin). U njima je na temelju nalaza nanoplanktona ustanovljeno da je taloženje najmlađega fliša trajalo još i u oligocenu. Na tu starost ukazuju i nalazi planktonskih mikroforaminifera. Debljina ovog klastičnog kompleksa se cjeni na 300-400 metara.

5.1.6. Crvenica (tsQ₂) (holocen)

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., I. Hećimović)

Crvenica (crljenica ili *terra rossa*) široko je rasprostranjena u istraživanom području, a poglavito u zapadnoj Istri.

To su pretežito glinoviti siltovi u čijem mineralnom sastavu prevladavaju ilit, kvarc i minerali glina. Debljina je crvenice najčešće do 2 metra, ali u pojedinim negativnim morfološkim udubljenjima prelazi i desetak metara.

5.1.6. Jezerske naslage, holocen (jQ₂)

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., I. Hećimović)

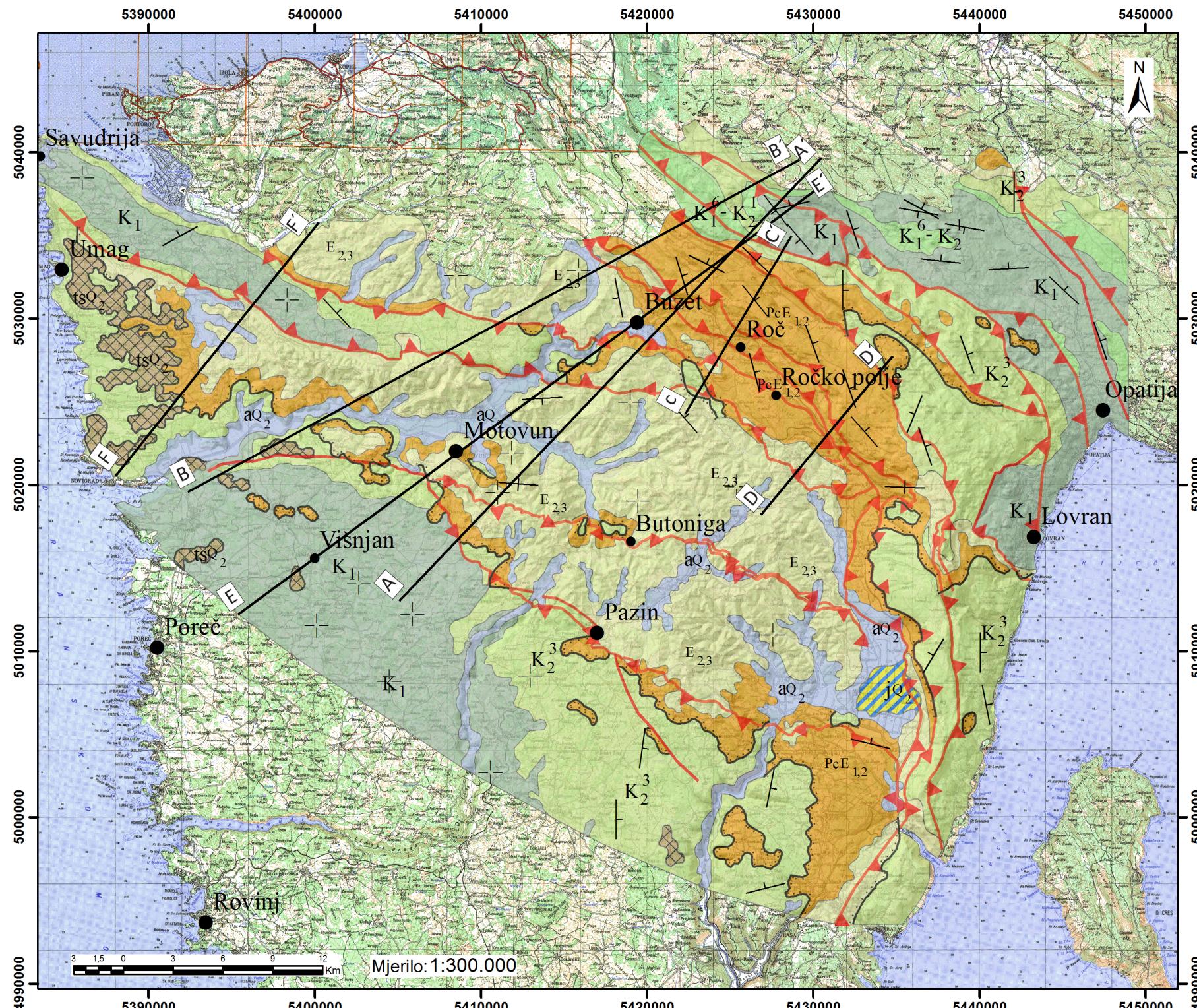
Jezerske su naslage izdvojene u Cepičkom polju. Sastoje se pretežito od siltova, pijesaka i glina. Debljine su do 28 m, koliko je najviše nabušeno u Cepičkom polju.

5.1.7. Riječni i potočni aluvij (*holocen-aQ₂*)

(Tumač za geol. kartu Hrvatske, 1:300000, HGI, Zagreb, 2009., I. Hećimović)

U dolinama većih vodotoka taloženi su siltovi, pijesci i šljunci. Karakteristična je bočna i vertikalna izmjena litotipova kao i njihovo međusobno miješanje u svim omjerima. Debljina im znatno varira i redovito ne prelazi nekoliko metara.

**Geološka karta središnje i sjeverne Istre
(Geološka karta Hrvatske, HGI, 2009, djelomično modificirano).**



Geološke jedinice

- aQ₂: riječni i potočni aluvij (holocen): siltovi, pijesci i šljunci
- jQ₂: jezerski sedimenti (holocen): jezerska kreda, siltovi, pijesci
- tsQ₂: crvenica (terra rossa) (holocen): glinoviti silt
- E_{2,3}: fliš: (srednji i gronji eocen): breče, konglomerati, kalkareniti, kalciruditi, pješčenjaci, siliti i laporci
- Pc, E_{1,2}: Liburnijske naslage i foraminiferski vaspenci (paleocen, donji i srednji eocen): liburnijske naslage: breče i vaspenci s biljnim ostacima, lumakelama puževa i školjkaša, gline laporci i ugljeni; foraminferski vaspenci: miliolidni, alveolinski i numulitni vaspenci
- K₃: rudisti vaspenci (cenoman-senon): mikriti, intraspariti, intrabiosparuditi (prigrebenski vaspenci), rudisti biolititi
- K₂: dolomiti i postsedimentacijske dolomitne breče (gronji alb-donji cenoman): dolomitno-vasprenačke breče, dolomitizirani vaspenci i kasnodijagenetski dolomiti
- K₁: vaspenci i dolomiti (donja kreda): pretežito vaspenci, mikriti, intraspariti, intrabiosparuditi, grebenski i prigrebenski vaspenci, kasnodijagenetski dolomiti

Rasjed nepoznatog karaktera pomaka

Reversni rasjed

Transgresivna granica

Nagnuti sloj

Horizontalan sloj

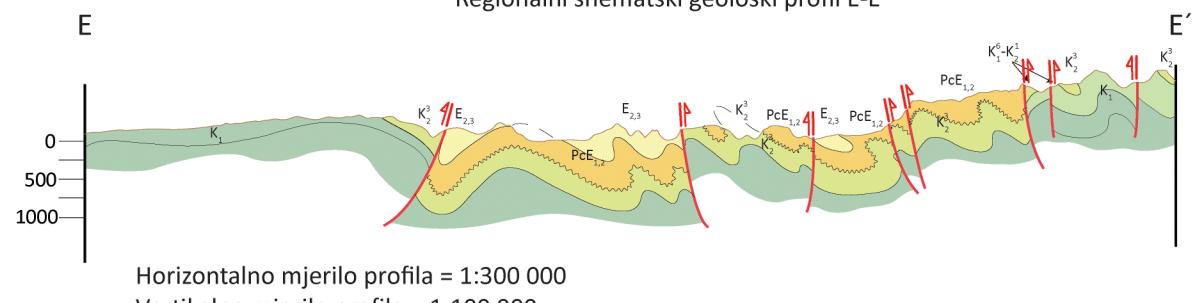
Vertikalni sloj

Profil

Gradovi

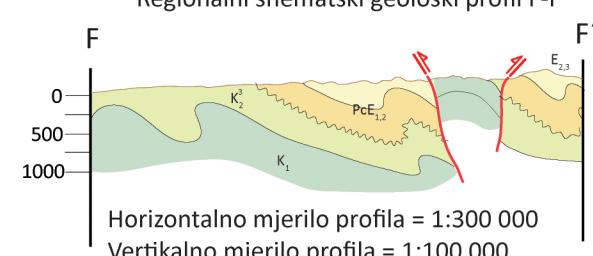
Naselja

Regionalni shematski geološki profil E-E'



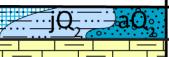
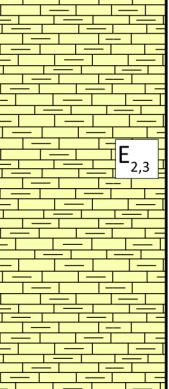
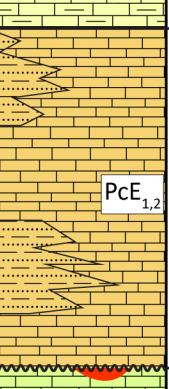
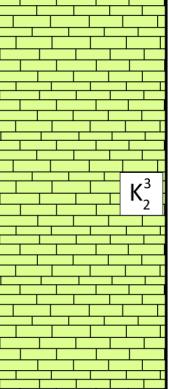
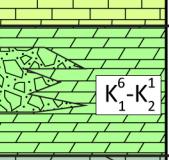
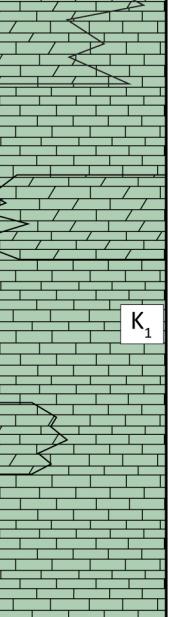
Horizontalno mjerilo profila = 1:300 000
Vertikalno mjerilo profila = 1:100 000

Regionalni shematski geološki profil F-F'



Horizontalno mjerilo profila = 1:300 000
Vertikalno mjerilo profila = 1:100 000

GEOLOŠKI STUP (prema Geološka karta Hrvatske, mjerilo 1:300 000, HGI, 2009)

Starost	Grafički prikaz	Debljina (m)	Tekstualni opis
Kvartar		do 35 m	riječni i potočni aluvij (holocen): siltovi, pijesci i šljunci jezerski sedimenti (holocen): jezerska kreda, siltovi i pijesci crvenica (terra rossa), (holocen); glinoviti silt
Srednji i gornji eocen		oko 300 m	fliš (srednji i gornji eocen): breče, konglomerati, kalkareniti, kalcruditi, pješčenjaci, siltiti i lapori
Paleocen i donji eocen		250-300 m	Liburnijske naslage i foraminiferski vapnenci (paleocen i donji i srednji eocen): liburnijske naslage: breče, vapnenci s biljnim ostacima, lumakelama puževa i školjkaša, gline, lapori i ugljeni; foraminiferski vapnenci: miliolidni, alveolinski i numulitni
Gornja kreda		oko 300 m	Rudistni vapnenci (cenoman-turon): mikriti, intraspariti, intrabiosparuditi (prigrebenski vapnenci), rudistni biolititi
alb-cenoman		150-200 m	Dolomiti i postsedimentacijske breče (gornji alb-donji cenoman): dolomitno-vapnenčke breče, dolomitizirani vapnenci i kasnodijagenetski dolomiti
Donja kreda		oko 1000 m	Vapnenci i dolomiti (donja kreda): pretežito vapnenci, mikriti, intraspariti intrabiosparititi, intrabiosparuditi, grebenski i prigrebenski vapnenci, kasnodijagenetski dolomiti.

6. STRUKTURNI ODNOSI U RAZMATRANOM PODRUČJU

U dugoj geološkoj evoluciji, razmatrano je područje bilo zahvaćeno zamršenim tektonskim procesima koji su doveli do recentnih strukturnih odnosa. Gledajući regionalno geološki, područje izgrađuju debeli slijedovi karbonatnih stijena (uglavnom vapnenci i dolomiti) te klastične stijene poznate pod nazivom fliš (pješčenjaci, lapori, breče, konglomerati i glinoviti vapnenci). Ostale sedimentne stijene ne zauzimaju značajnije površine i nemaju većeg značenja u strukturnim odnosima.

Kontinuirani slijed karbonatne sedimentacije prekinuli su laramijski događaji u gornjoj kredi. Rezultat ovih događanja je dugotrajna emerzijska faza koja je rezultirala stvaranjem blagih plikativnih struktura (antiklinale i sinklinale), kao i oblikovanje paleokrškog reljefa u vapnencima i dolomitima. Paleocenskom transgresijom uspostavljeni su ponovo marinski taložni okoliši ali ovaj put, zbog sinsedimentacijske tektonske aktivnosti, s vrlo raznolikom batimetrijom u odnosu na plitkovodnu karbonatnu sedimentaciju u starijim razdobljima. Ovo je rezultiralo značajnom diversifikacijom taložnih okoliša pa se talože plitkovodne karbonatne stijene (vapnenci), kao i dubljevodni klastiti (fliš). Dakako da su prisutni i prijelazni okoliši u najvećem dijelu taloženja vapnenaca i klastita. Taloženje klastita traje sve do u oligocen dok je taloženje vapnenaca prestalo u gornjem eocenu. Od oligocena do danas stalni tektonski pokreti dovode do današnjeg strukturnog sklopa. Uzroke stalne tektonske aktivnosti valja tražiti u širem okruženju, jadranskog i mediteranskog prostora čiju evoluciju pratimo u svjetlu subdukcijске i kolizijske dinamike koja se zbiva između sjevernog dijela afričke ploče i južnog ruba europskog dijela euroazijske ploče. Na taj su način stvoreni vrlo zamršeni strukturni odnosi između debelih slijedova karbonatnih stijena s jedne strane i klastičnog kompleksa (fliš) s druge strane. To podrazumijeva i stvaranje zamršenih strukturnih odnosa i unutar karbonatnog kao i unutar klastičnog stijenskog kompleksa.

Kako ova dva kompleksa stijena imaju vrlo bitne ali oprečno različite karakteristike u hidrogeološkom smislu tako je od krucijalne važnosti za razumijevanje hidrogeoloških odnosa u razmatranom području, poznavanje



strukturnih odnosa u njima i između njih. Naime karbonatni kompleksi predstavljaju krške vodonosnike a klastični stijenski kompleksi predstavljaju izolatorske stijene u hidrogeološkom pogledu. Kako strukturni odnosi u razmatranom području, uz hidrogeološke karakteristike vodonosnika, predstavljaju temelj hidrogeoloških odnosa, zbog toga je u predmetnom projektu njima posvećena posebna pažnja kako prikupljanjem terenskih podataka tako i prigodom interpretacija. U slijedećim poglavljima slijedi prikaz rezultata recentnih strukturnih odnosa koje smo dobili terenskim istraživanjima, a koji imaju presudnu važnost u razumijevanju dinamike podzemnih voda u razmatranom području.

7. HIDROGEOLOGIJA

7.1. Hidrogeološka svojstva stijena

Istraživano područje (središnja i sjeverna Istra), izgrađeno je uglavnom od karbonatnih stijena (vapnenci, podređeno dolomiti i karbonatne breče), ali je i udio klastičnih stijena (fliš) značajan, poglavito u središnjem dijelu. Zbog zamršenih strukturnih odnosa koji su posljedica dugotrajnih tektonskih promjena, hidrogeološki su odnosi vrlo kompleksni. Izdvojene su tri osnovne grupe stijena vrlo različitih hidrogeoloških svojstava:

- a) Karbonatne stijene
- b) Klastične stijene
- c) Nevezane i slabo vezane naslage

Unutar vrlo debelog slijeda karbonatnih stijena nalaze se dvije kategorije različitog stupnja propusnosti:

- grupa dobro vodopropusnih karbonatnih stijena i
- grupa vodopropusnih karbonatnih stijena

Karbonatne se stijene odlikuju sekundarnom, pukotinskom poroznošću te tercijarnom disolucijskom poroznošću, koja uzrokuje visoku vodopropusnost zahvaljuju disolucijskom proširenju pukotinskih sustava.

Grupi dobro vodopropusnih karbonatnih stijena pripadaju:

dobro uslojeni vapnenci i dolomiti donje krede, pretežito vapnenci, mikriti, intraspariti, intrabiospariti, intrabiosparruditi, grebenski i prigrebenski vapnenci, kasno diagenetski dolomiti (K_1), dolomiti i postsedimentacijske dolomitne breče (gornji albdonji cenoman), dolomitno-vapnenačke breče, dolomitizirani vapnenci i kasnodijagenetski dolomiti ($K_1^6-K_2^1$), rudistni vapnenci (cenoman-senon: mikriti, intraspariti, intrabiosparruditi (prigrebenski vapnenci, rudistni biolititi (K_2^3))

Grupi vodopropusnih karbonatnih stijena pripadaju:

Liburnijske naslage i foraminiferski vapnenci (paleocen, srednji i gornji eocen): liburnijske naslage: breče, vapnenci s biljnim ostacima, lumakelama puževa i školjkaša, gline lapori i ugljen, foraminiferski vapnenci: miliolidni, alveolinski i numulitni vapnenci ($Pc, E_{1,2}$).

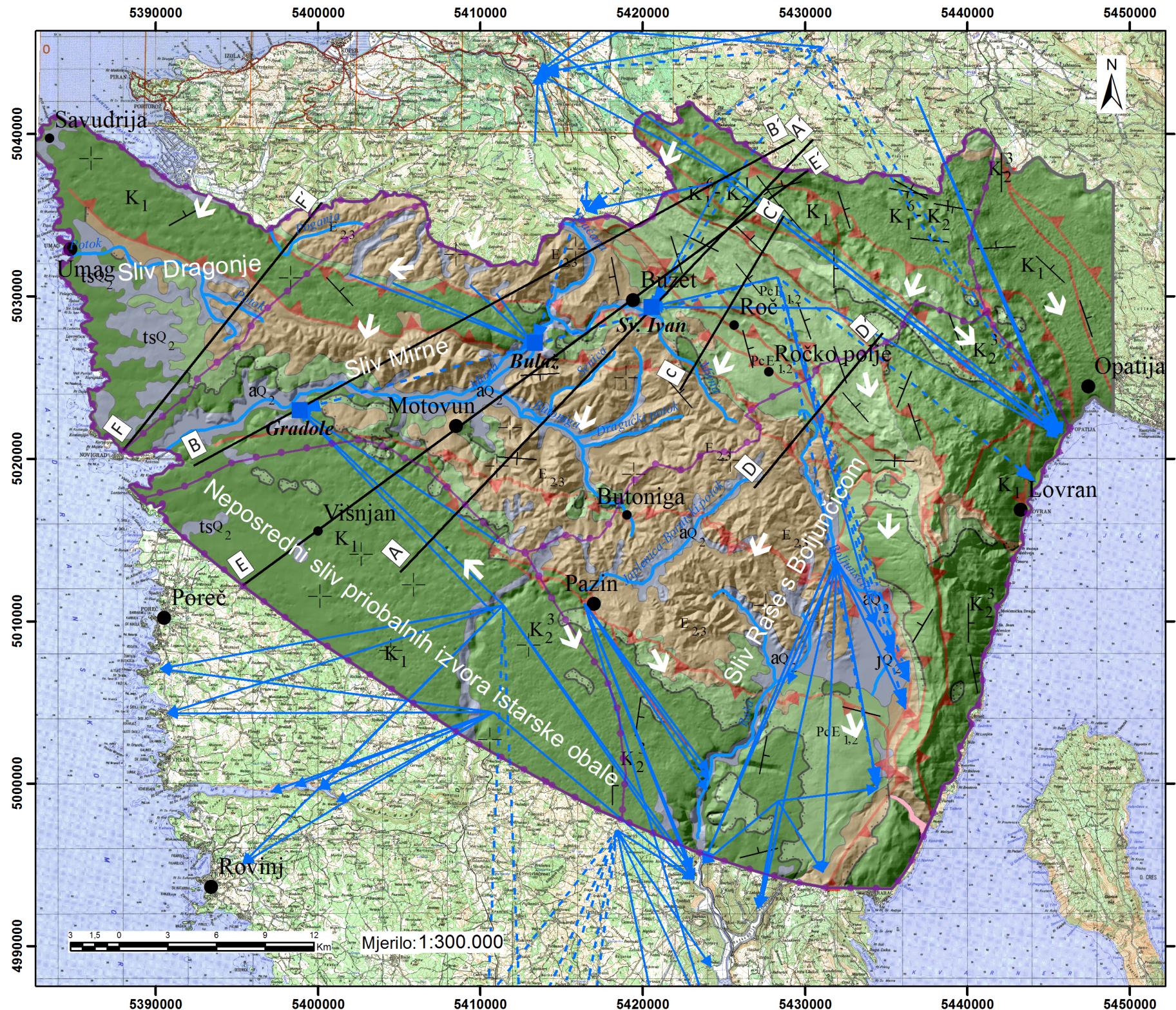
Grupi u cjelini vodonepropusnih stijena (djelomice propusnih) pripadaju:

fliš (srednji i gornji eocen): breče, konglomerati, kalkareniti, kalciruditi, pješčenjaci, siltiti i lapori ($E_{2,3}$). Naslage fliša nisu u potpunosti vodonepropusne, jer proslojci pješčenjaka, breča i glinovitih vapnenaca mogu čak biti i vodonosnici, ali s malom izdašnošću.

Grupi klastičnih naslaga pripadaju stijene kvartarne starosti i imaju međuzrnsku poroznost. Zastupljeni su: riječni i potočni aluvij (holocen): siltovi, pijesci i šljunci; jezerski sedimenti (holocen): jezerska kreda, siltovi i pijesci; i crvenica (holocen): glinoviti silt (aQ_2 , jQ_2 , tsQ_2). Oni ne ulaze u temeljne strukture i nisu uzeti u obzir prigodom ovih istraživanja.

Hidrogeološke značajke, raspodjela hidrogeoloških jedinica prikazani su na hidrogeološkoj karti (slika 7.1) i hidrogeološkim profilima (slike 7.1, 7.2, 7.3). Geološke jedinice mogu se na temelju hidrogeoloških parametara transformirati u hidrogeološke (prema GOLDSCHEIDER & DREW, 2007 i DRAGIČEVIĆ i dr., 2014) (slike 7.4 i 7.5).

Hidrogeološka karta središnje i sjeverne Istre (prema VLAHOVIĆ, 1999; PARLOV, 2010, geološka podloga prema Geološka karta Hrvatske, HGI, 2009)



Hidrogeološke jedinice

DOBRO VODOPROPUSNE STIJENE (K₁; K₁₆-K₂₁; K₂₃): vapnenci, dolomiti, postsedimentacijske dolomitne breče i rudisti vapnenci

VODOPROPUSNE STIJENE (P_c; E_{1,2}): Liburnijske naslage i foraminiferski vapnenci

VODONEPROPUSNE KLASTIČNE STIJENE U CJELINI (DJELOMIČNO VODONEPROPUSNE) (E_{2,3}): breče, konglomerati, kalkareniti, kalcruditi, pješčenjaci, siliti, laporci

KLASTIČNE NASLAGE PROMJENJIVE VODOPROPUSNOSTI (aQ₂; tsQ₂; jQ₂; tsQ): riječni aluviji, jezerski sedimenti, crvenica (terra rossa)

→ Smjerovi gibanja podzemnih voda

■ Najvažniji izvori

— Profili

— Granice slivova

Trasiranja

→ Utvrđena hidraulička veza

- - Pretpostavljena hidraulička veza

Značajne točke

● Gradovi

● Naselja

Položaji slojeva

— Nagnuti sloj

— Horizontalan sloj

— Vertikalni sloj

— Rijeke

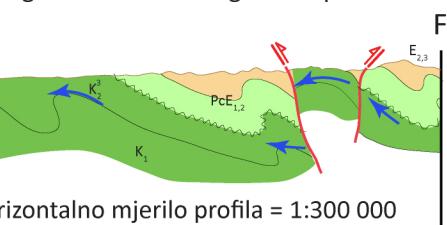
Rasjedi

— Rasjed nepoznatog karaktera pomaka

▲ Reversni rasjed

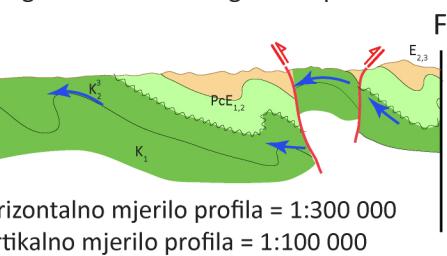
— Transgresivna granica

Regionalni shematski geološki profil E-E'

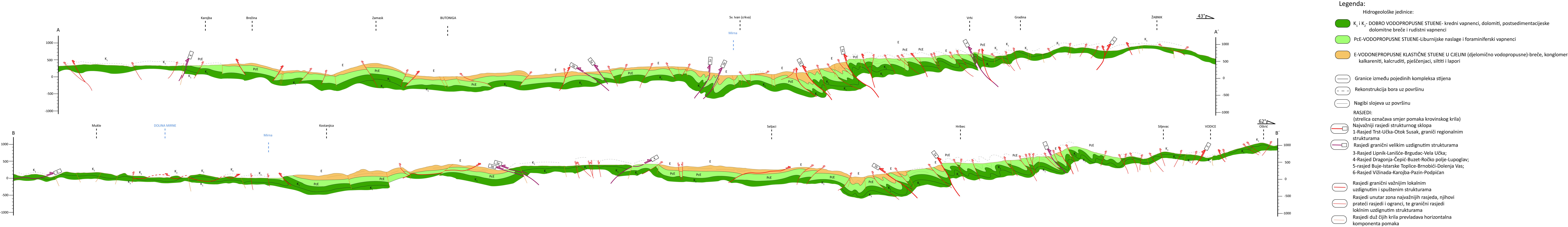


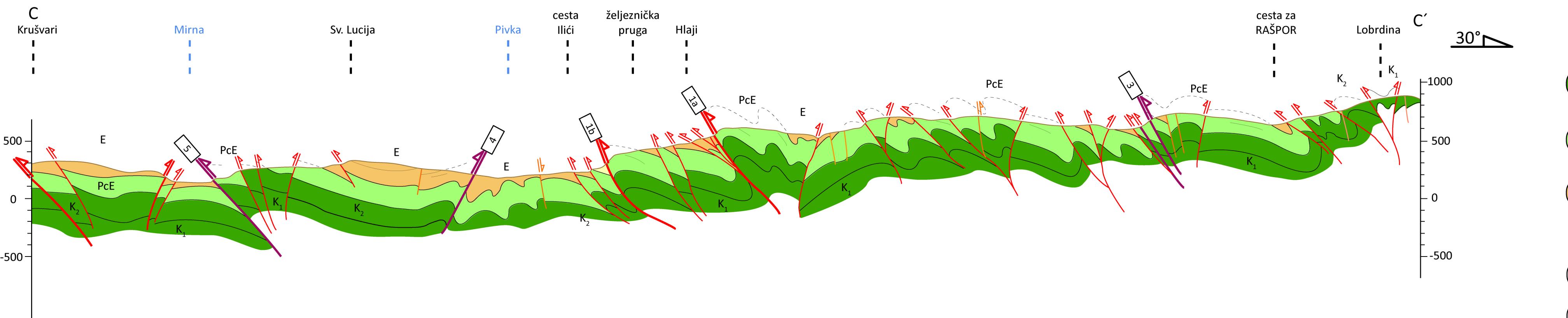
Horizontalno mjerilo profila = 1:300 000
Vertikalno mjerilo profila = 1:100 000

Regionalni shematski geološki profil F-F'



Horizontalno mjerilo profila = 1:300 000
Vertikalno mjerilo profila = 1:100 000





Legenda:

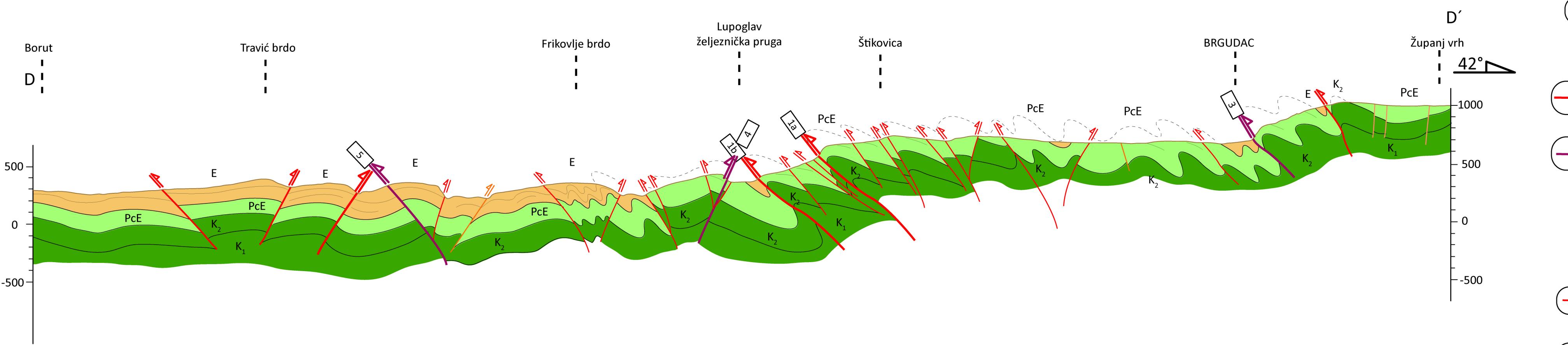
Hidrogeološke jedinice:

- K₁ i K₂- DOBRO VODOPROPUSNE STIJENE**- kredni vapnenci, dolomiti, postsedimentacijeske dolomitne breče i rudistni vapnenci
- PcE-VODOPROPUSNE STIJENE**-Liburnijske naslage i foraminiferski vapnenci
- E-VODONEPROPUSNE KLASTIČNE STIJENE U CJELINI** (djelomično vodopropusne)-breče, konglomerati, kalkareniti, kalcruditi, pješčenjaci, siltiti i laporci

Granice između pojedinih kompleksa stijena

Rekonstrukcija bora uz površinu

Nagibi slojeva uz površinu



RASJEDI:

(strelica označava smjer pomaka krovinskog krila)

Najvažniji rasjedi strukturnog sklopa

1-Rasjed Trst-Učka-Otok Susak, graniči regionalnim strukturama

2-Rasjed granični velikim uzdignutim strukturama

3-Rasjed Lipnik-Lanišće-Brgudac-Vela Učka;

4-Rasjed Dragonja-Čepić-Buzet-Ročko polje-Lupoglav;

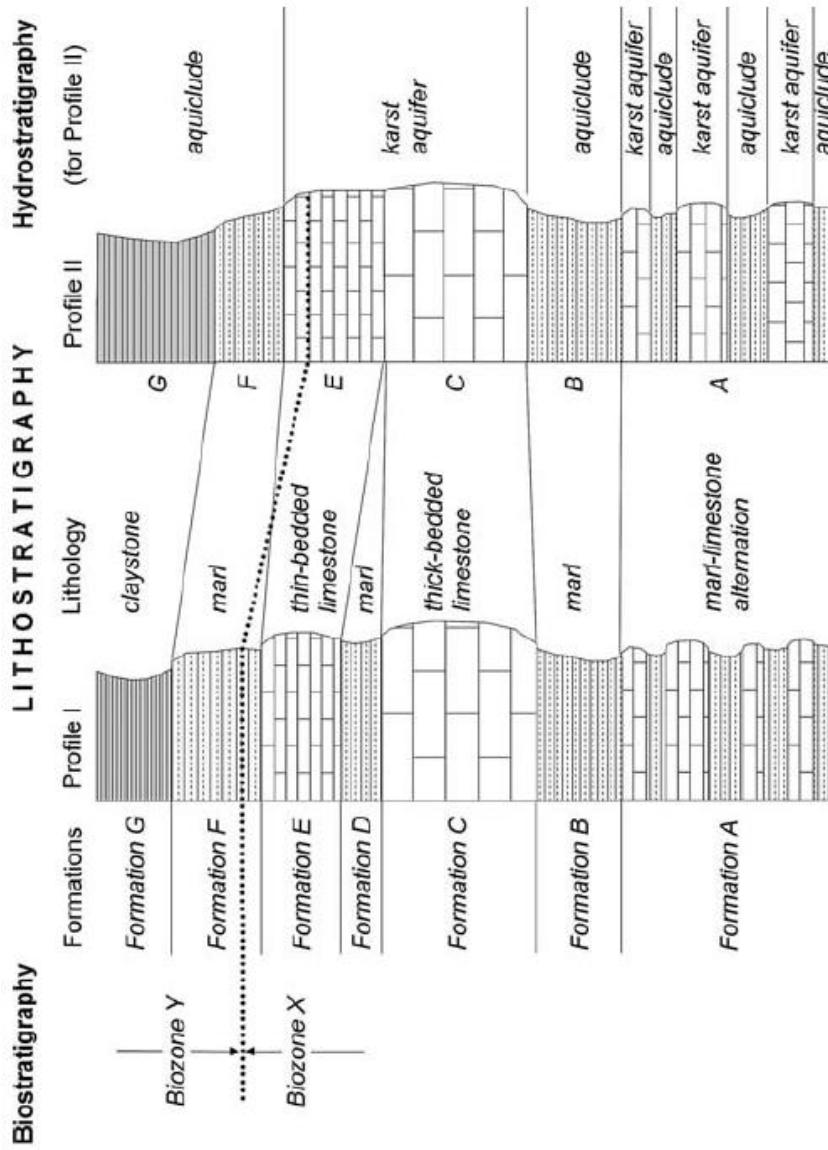
5-rasjed Buje-Istarske Toplice-Brnobići-Dolenja Vas;

6-Rasjed Vižinada-Karojba-Pazin-Podpičan

Rasjedi granični važnijim lokalnim uzdignutim i spuštenim strukturama

Rasjedi unutar zona najvažnijih rasjeda, njihovi prateći rasjedi i ogranci, te granični rasjedi lokalnim uzdignutim strukturama

Rasjedi duž čijih krila prevladava horizontalna komponenta pomaka



Slika 7.4. Transformacija geološkog u hidrogeološki stup (GOLDSCHIEDER & DREW, 2007).

HIDROGEOLOŠKI STUP

Starost	Grafički prikaz	Debljina (m)	Tekstualni opis	Hidrogeološka funkcija
Kvartar		do 35 m	riječni i potočni aluvij (holocen): siltovi, pijesci i šljunci jezerski sedimenti (holocen): jezerska kreda, siltovi i pijesci crvenica (terra rossa), (holocen); glinoviti silt	Aluvijalni vodonosnik-međuzrnska poroznost-DOBRA VODOPROPUSNOST
Srednji i gornji eocen		oko 300 m	fliš (srednji i gornji eocen): breče, konglomerati, kalkareniti, kalcruditi, pješčenjaci, siltiti i lapori	SLABO VODOPROPUSNO (PROMJENJIVO VODOPROPUSNO)
Paleocen i donji eocen		250-300 m	Liburnijske naslage i foraminiferski vapnenci (paleocen i donji i srednji eocen): liburnijske naslage: breče, vapnenci s biljnim ostacima, lumakelama puževa i školjkaša, gline, lapori i uglijeni; foraminiferski vapnenci: miliolidni, alveolinski i numulitni	Karbonatni vodonosnik (sekundarna, tercijarna poroznost) VODOPROPUSNO
Gornja kreda		oko 300 m	Rudistni vapnenci (cenoman-turon): mikriti, intraspariti, intrabiosparuditi (prigrebenski vapnenci), rudistni biolititi	
Donja kreda		150-200 m	Dolomiti i postsedimentacijske breče (gornji alb-donji cenoman): dolomitno-vapnenčke breče, dolomitizirani vapnenci i kasnodijagenetski dolomiti	Karbonatni vodonosnik (sekundarna, tercijarna poroznost) DOBRA VODOPROPUSNOST
		oko 1000 m	Vapnenci i dolomiti (donja kreda): pretežito vapnenci, mikriti, intraspariti, intrabiosparuditi, intrabiosparuditi, grebenski prigrebenski vapnenci, kasnodijagenetski dolomiti	

Slika 7.5

7.2. Hidrogeološka funkcija terena

Hidrogeološka funkcija terena posljedica je njegove geološke građe a to u našem slučaju znači da ona ovisi od hidrogeoloških karakteristika vodonosnih stijena, njihovog strukturnog položaja i odnosa prema izolatorskim stijenskim kompleksima te o hipsometrijskom položaju vodonosnika. Posebno se važni strukturni odnosi, jer oni imaju direktni utjecaj na geomorfološki razvoj i razvoj zamršenih podzemnih privilegiranih putova podzemnih voda. Već je istaknuto da su karbonatne stijene vodopropusne, a klastične naslage vodonepropusne, pa je jasno da su okršene karbonatne stijene vodonosnici, a klastične stijene barijere. Ove su dvije velike grupe stijena snažnim tektonskim pokretima dovedene u vrlo zamršene strukturne odnose pri čemu su najvažniji kontakti propusnih i nepropusnih stijenskih kompleksa. Tako u područjima ljudskavih struktura sjeverne i sjeveroistočne Istre (Ćićarija i Učka), nepropusne stijene fliša zbog malih debljina i nepovoljnog strukturnog položaja ne predstavljaju barijeru gibanju podzemnih voda na regionalnom planu, nego predstavljaju tzv. viseće barijere ispod kojih dublje vode kroz karbonatne vodonosnike otječu u hipsometrijski niže položene vodonosnike.

Glavnina se podzemnih voda u istraživanom području infiltrira u podzemlje s velikih karbonatnih površina u sjevernim i sjeveroistočnim razmatranim područjima. Brojne pukotine i pukotinski sustavi te mnoštvo ponikava na površini upućuju na brzu vertikalnu infiltraciju u podzemlje. Tu vode nastavljaju teći privilegiranim putovima. Ti putovi ovise o stupnju razvijenosti pukotina i kanala (disolucija), o stanju stresa u području velikih hidrogeoloških struktura te o položaju barijera. Tako podzemne vode vrlo često mogu teći uzduž geoloških, odnosno hidrogeoloških struktura ili kroz pukotine i kanale koje su okomite ili koso položene na dulje osi struktura. Poznato je da se u područjima regionalnog kompresijskog stresa, pukotine otvaranja ili relaksacijske pukotine stvaraju paralelno ili približno paralelno s regionalnim kompresijskim stresom.

Procesi disolucije u debelim karbonatnim kompleksima su osim ponikvi, pukotine i kanala, stvorili i druge krške oblike i fenomene (ponori, jame, špilje...) što upućuje na vrlo zamršene putove gibanja podzemnih voda. Tako se u GIS Istre, (2000) navodi da dio podzemne vode, s prostranog područja Krasa (vrlo okršeno područje) otječe u istarskom smjeru s glavnim stalnim izvorištem Sv. Ivan u Buzetu.

Potvrđeno je to trasiranjima podzemnih tokova s područja Obrova (Slovenija) i Dana (Hrvatska). Registrirane prividne brzine podzemnih tokova kretale su se u rasponu 1-2 cm/s, što označava prilično snažne drenažne smjerove. Hidrogeološka povezanost i Istarske strane i Riječkog zaljeva govori o zonalnom karakteru razvodnice između slivova, a jednako tako i prema slivu Tršćanskog zaljeva. Na strani Riječkog zaljeva je baza istjecanja more, a na istarskoj strani podzemne vode teku kroz duboke krške vodonosnike ispod visećih fliških barijera. Te vode, prema rezultatima trasiranja sežu do izvora Bulaž kod Istarskih Toplica (slika 7.1). K. URUMOVIĆ i T. VLAHOVIĆ (1999) navode da taj utjecaj može sezati sve do izvora Gradole u donjem toku rijeke Mirne. (Prema podacima preuzetim iz GIS Istre (2000)) navodi se da se sa sigurnošću može tvrditi su dotoci prema izvoru Sv. Ivan u Buzetu, a upitne su veze prema izvorima Bulaž i Gradole. Ono što je sigurno utvrđeno trasiranjima je napajanje izvora Bulaž iz karbonatnog masiva Bujske antiklinale, a jednako tako i izvora Bužimi i Gabrijeli s Piranske strane iste hidrogeološke strukture. Za izvor Gradole se sa sigurnošću može govoriti o napajanju iz centralnoistarskog karbonatnog vodonosnika, što je utvrđeno u nekoliko navrata trasiranjima podzemnih tokova, a tvrdnje o djelomičnom napajanju iz zaleđa izvorišta Sv. Ivan tek treba utvrditi. Pojave mineralnih ulja na izvoru Gradole nakon jednog prometnog incidenta na području Obrova u Sloveniji 1994 godine nisu dovoljan dokaz o povezanosti prirodnih sustava, jer su praktički svi izvori u Istri danas opterećeni mineralnim uljima.

Prema istim autorima, fliš središnje Istre, koji se prostire od ušća rijeke Mirne na zapadnom dijelu poluotoka do masiva Učke na istočnoj strani ima kao vodonepropusna masa u najvećem dijelu svog prostiranja hidrogeološku funkciju barijere kretanju podzemne vode u okršenim karbonatnim vodonosnicima. Međutim, hidrogeološka funkcija fliša kao barijere se ne može generalizirati, jer u rubnim dijelovima bazena su to tipične tzv. "viseće barijere" ispod kojih je moguće normalno protjecanje podzemne vode. Posebno je to istaknuto na području Ćićarije na sjevernom dijelu poluotoka, gdje brojne ljske vodonepropusnih fliških stijena nemaju hidrogeološku funkciju barijere. Čak i izvorište Sv. Ivan u Buzetu izvire iz vodopropusnih vapneničkih stijena ispod fliškog pokrova, što također potvrđuje mogućnost dinamike vode ispod vodonepropusnih naslaga fliša. Ipak, treba naglasiti da je izvorište Sv. Ivan u Buzetu najjužnija točka do koje je trasiranjima posve sigurno potvrđena funkcija fliša kao viseće barijere. Izvorište Bulaž kod Istarskih Toplica ima indikacije povezanosti s masivom Ćićarije (trasiranja kolega iz Sovenije), ali ne i tako sigurne dokaze kao izvorište Sv. Ivan, pa na današnjem stupnju

saznanja treba još ostaviti otvoreno pitanje hidrogeološke funkcije fliške mase sa sjeverne strane Bajske antiklinale. Izvorište Gradole je nakon proučavanja jednog incidenta cisterne naftnih derivata također ušlo u područje mogućeg dotoka podzemne vode iz zone visokog dijela krša Istre, međutim nikada to nije potvrđeno trasiranjima umjetnim traserima, već samo temeljem povećane pojave mineralnih ulja na izvoru. U tom slučaju i fliš centralnoistarskog bazena bi dobio hidrogeološku funkciju viseće barijere, što je dosta teško prihvatljivo obzirom na poznate geološke i opće hidrogeološke odnose u tom području. Naime, erozijski "otvori" karbonatnih stijena uz akumulaciju Butoniga i uz lijevu obalu rijeke Mirne, nizvodno od Motovuna, bi u tom slučaju morali biti mjesta značajnog pražnjenja dubokog krškog vodonosnika, a tamo uopće nema izviranja. Sigurno je utvrđena povezanost izvorišta Gradole s karbonatnim vodonosnikom u centralnom dijelu Istre, južno od fliškog bazena. Prema tome, prema današnjoj razini spoznaje u hidrogeološke interpretacije se unose spoznaje o centralnoistarskom fliškom bazenu kao hidrogeološkoj barijeri, koja odjeljuje krške vodne sustave sjeverno od bazena od onih smještenih južno od barijere.

Razmatranja u ovoj studiji ukazuju da bi strukturni odnosi ispod fliša središnje Istre trebali biti zamršeniji nego se to čini na prvi pogled. Naime, taloženje fliša se odvijalo tzv. turbiditnim i sličnim mehanizmima taloženja a to upućuje na značajan transport nevezanih taloga u dublje dijelove sedimentacijskog bazena koji je imao zamršene batimetrijske odnose.

Nadalje, gotovo je nezamislivo da je fliš transgresivan i diskordantan preko krednih vapnenaca pa bi ispod fliša vrlo vjerojatno trebalo očekivati liburnijske naslage slične onima u okruženju a možda i dio foraminferskih vapnenaca iako se može dogoditi da oni izostaju jer je najstariji fliš u tome slučaju njihov bočni ekvivalent.

Koliko ispod fliša možemo očekivati zamršene strukturne odnose (tipa ljkuskavih struktura), za sada je teško reći. Ako i postoje one zasigurno nisu duboke. To sve govori u prilog tome da podzemne vode iz sjevernih dijelova Istre teku ispod fliša krećući se kroz debele okrštene karbonatne sljedove prema južnoj Istri.

Pojava erozijom otkrivenih izdanaka gornjo krednih vapnenaca unutar fliša središnje Istre, prema našim saznanjima su mjesta gdje su dubine do „vodnog lica najmanje“, a te pojave ukazuju i na puno manje debljine fliša nego se do danas mislilo. Ne treba zaboraviti kod ovih razmatranja da su debljine vapnenaca i dolomita ispod fliša vrlo velike (uključujući i jurske vapnence i dolomite), pa okršavanje

također može biti vrlo duboko te podzemne vode mogu nesmetano teći ispod fliških taložina.

Nadalje isti autori pišu da značajnu hidrogeološku funkciju imaju i strukturne forme Učke, područja Labina i poluotoka Koromačno, jer svojim prostiranjem na istočnoj obali Istarskog poluotoka odvajaju vodonosnike Istre od Kvarnerskog zaljeva. Antiklinalna forma Učke i Ijuskave strukture s vodonepropusnim fliškim stijenama, koje se na nju nastavljaju prema Labinu i poluotoku Koromačno u hidrogeološkom smislu obrubljuju krške vodonosnike Istre. Na kraju tog niza strukturalnih formi (na kopnu) u more utječe rijeka Raša, najveći vodotok na istočnoj obali Istre. Jedino je na mjestu Plominskog zaljeva cijela ta struktura erodirana i u direktnom su kontaktu Istarski krški vodonosnici i Kvarnerski zaljev (izvor Bubić jama). Unutar ili na strukturalnom nizu uz more su razvijeni lokalni vodonosnici kao što su na pr. izvorišta Vela i Mala Učka ili priobalni izvori u uvali Koromačno.

Autori GIS Istre (2000) ističu da je južno od centralnoistarskog fliškog bazena formiran veliki krški vodonosnik, čije vode istječu na zapadnoj i južnoj strani istarskog poluotoka. Veliki doprinos vodnoj bilanci tog područja su površinske vode s fliša, koje poniru uz južni rub fliškog bazena. Najveći i najbogatiji vodom je Pazinski ponor u centralnom dijelu poluotoka, ali značajan je i doprinos ponornih zona iz Tinjanske Drage, čije se prostiranje može pratiti sve do Limskog kanala. Što se hidrogeološki događa u tom prostranom karbonatnom području? Trasiranja podzemnih tokova izvedena iz Pazinskog ponora (u tri navrata) pokazala su povezanost s jakim krškim izvorima u kanjonu rijeke Raše na istočnoj strani poluotoka. Jednako tako je nedvosmisleno utvrđena povezanost ponora u Tinjanskoj Dragi s izvorištem Gradole uz lijevu obalu rijeke Mirne i nekim priobalnim izvorima južno od Poreča. Međutim, trasiranja s područja Sv. Petra u Šumi su pokazala povezanost krškog podzemlja i prema istočnoj (dolina rijeke Raše) i prema zapadnoj (izvorišta u Limskom kanalu) obali poluotoka. Prema tome, današnja spoznaja upućuje na postojanje jedinstvenog krškog vodonosnika u centralnom dijelu poluotoka južno od fliškog bazena, koji se ovisno o hidrološkim uvjetima drenira i prema jednoj i prema drugoj strani poluotoka, ali napaja i izvorišta na južnom dijelu poluotoka u širem području grada Pule.

Ovdje treba istaknuti da je ovim istraživanja na južnom kontaktu fliša i krednih vapnenaca ustanovljeno da rasjed koji čini tu granicu nije po svom pružanju samo normalni nego je dobrim dijelom reversni. Ovakav odnos stvara mogućnost sprečavanju ili barem usporavanju kretanja podzemnih voda koje ispod fliša teku prema jugu. Zbog toga se podzemne vode prije rasjeda dižu i dolaze bliže površine

(ustanovljeno u izvađenim ležištima boksita u blizini rasjeda, gdje je ustanovljeno i kolebanje razina podzemnih voda što ovisi o regionalnim hidrološkim i hidrogeološkim odnosima).

7.3. Hidrogeološke karakteristike vodonosnika

Vodonosnike bi trebalo promatrati kao višedimenzionalna geološka tijela.

Treba im poznavati geometriju što podrazumijeva duljinu, širinu (horizontalno rasprostranjenje) i debljinu vodonosnika. Kako su većina geoloških tijela leće tako će i geometrija vodonosnika najčešće biti leća.

Treba im poznavati mjesto i način postanka o čemu ovise brojne fizikalne i kemijske karakteristike vodonosnika. Mjesto je postanka vrlo važno jer o paleokolišnim uvjetima ovisi da li je vodonosnik istaložen u oksidacijskim ili reduksijskim uvjetima, što snažno utječe na kemizam vode. Način postanka je u intimnoj vezi s poroznošću (poglavito primarnom i efektivnom).

Treba im poznavati vrijeme nastanka te odnos s podinskim i krovinskim stijenama, odnosno izolatorskim stijenama. O tome ovisi i stupanj litifikacije i dijageneze koji snažno utječe na poroznost. Uobičajeno je da su stariji vodonosnici pretrpjeli više faza strukturnih promjena pa imaju bolja hidrogeološka svojstva (npr. vaspenci gornje krede, u istraživanom području, imaju bolju sekundarnu i tercijarnu poroznost nego foraminiferski vaspenci eocenske starosti, jer foraminiferski vaspenci nisu bili zahvaćeni laramijskim strukturnim preoblikovanjem). Iz odnosa vodonosnika prema starijim i mlađim stijenama zaključujemo da li je on u primarnom položaju ili inverznom.

Treba im poznavati strukturni položaj, odnosno mjesto u velikim geološkim strukturama. Iz toga zaključujemo o sekundarnoj i tercijarnoj poroznosti koja je u direktnoj svezi sa strukturnim preoblikovanjem vodonosnika. Mjesto u velikim geološkim strukturama određuje stanje stresa, odnosno uvjetuje i definira položaj ruptura pa možemo razlikovati dijelove struktura gdje se voda giba kroz vodonosnik od onih gdje je gibanje usporeno ili onemogućeno (dijelovi struktura s kompresijskim ili ekstenzijskim stresom).

U istraživanom terenu razvijeni su prostrani krški vodonosnici koji se nalaze u zamršenim geološkim strukturama kilometarskih dimenzija. Kroz dugu geološku povijest razvijeni su u podzemlju vrlo komplikirani drenažni sustavi koji najčešće ne

odgovaraju granicama velikih geoloških struktura. Razlog tomu su zamršeni strukturni odnosi.

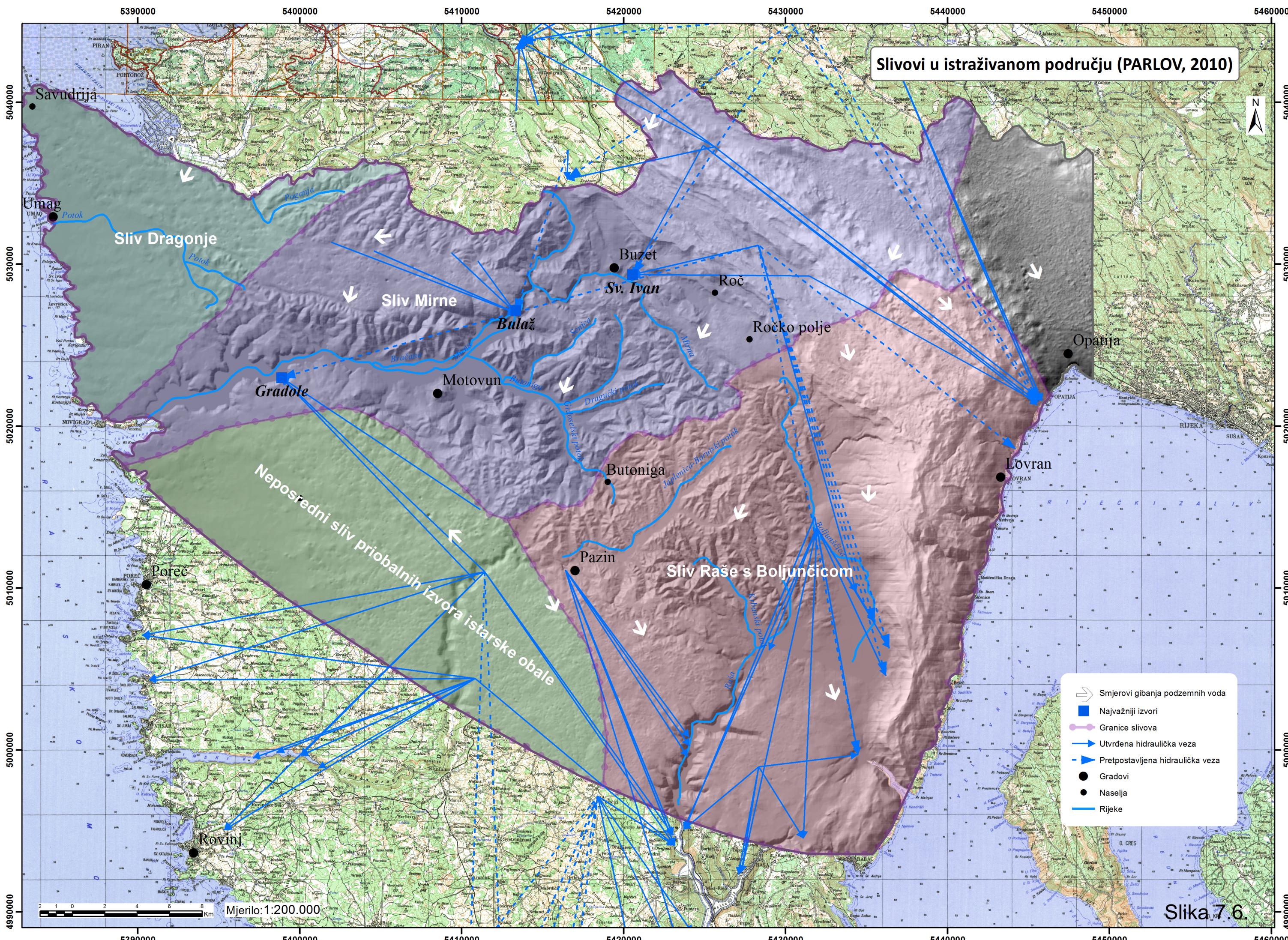
U Istri se razlikuju se slijedeći drenažni sustavi, odnosno slivovi (preuzeto iz PARLOV, 2010) (tablica 2, slika 7.6):

Sliv Mirne, sliv Dragonje, sliv Raše s Boljunčicom i neposredni sliv priobalnih izvora istarske obale.

Tablica 2. Nazivi i površine slivova u istraživanom području.

Naziv sliva	Površina (km ²)
Sliv Mirne	692,341957
Sliv Dragonje	192,269149
Sliv Raše s Buljunčicom	716,661039
Neposredni sliv priobalnih izvora istarske obale	30,903659

Približne granice i površine slivova koji se nalaze u istraživanom području prikazane su na slici 7.6



7.3.1. Horizontalno rasprostranjenje i debljine vodonosnika

Iz poznavanja geneze vodonosnika možemo sa sigurnosti zaključiti da su karbonatne stijene (vapnenci i dolomiti) nastali na prostranoj Jadranskoj karbonatnoj platformi u okviru dugotrajne plitkomorske karbonatne sedimentacije. Za nas su ovom prigodom značajna dva grandiozna karbonatna vodonosnika.

Prvi vodonosnik, a ujedno i stratigrafski stariji, zajedno čine: vapnenci i dolomiti donje krede, dolomiti i postsedimentacijske breče (gornji alb-donji cenoman) i rudistni vapnenci cenoman-turonske starosti. Svi ovi lithostratigrafski članovi imaju kontinuirano horizontalno rasprostranjenje koje je posljedica dugotrajnog taloženja u plitkomorskim taložnim okolišima vrlo prostrane Jadranske karbonatne platforme.

Debljina karbonatnog slijeda koji čini **karbonatni vodonosnik dobre vodopropusnosti** procjenjuje se na oko 1.500 metara. Ove su debljine dobivene iz podataka listova osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 te iz podataka istraživanja na ovom projektu.

Drugi vodonosnik, stratigrafski mlađi, zajedno čine liburnijske naslage i foraminiferski vapnenci paleocenske i donjo-srednjoeocenske starosti. Liburnijske naslage nešto heterogenije po litološkom sastavu (breče, vapnenci, gline, lapor i ugljen) nemaju kontinuirano horizontalno rasprostranjenje a česta je izmjena navedenih litotipova kako horizontalno tako i vertikalno. Generalno gledajući karbonatni slojevi prevladavaju, pa ova lithostratigrafska jedinica zajedno s foraminferskim vapnencima (miliolidni, alveolinski i numulitni), čini **vodopropusni** karbonatni kompleks (vodonosnik). Slojevi foraminferskih vapnenaca imaju puno veće horizontalno rasprostranjenje u odnosu na Liburnijske slojeve. Ovakvi odnosi unutar slijeda naslaga od približno 250-300 metara debljine rezultat su vrlo zamršenih paleoabijentalnih uvjeta koji su posljedica laramijskih događanja u gornjoj kredi i starijem paleogenu. Naime u tom razdoblju geološke povijesti došlo je do stvaranja kopnenih prostora u području današnje Istre pa i mnogo šire. Rezultat dugotrajne emerzije je nastanak blagih plikativnih struktura uz stvaranje krškog paleoreljefa u gornjokrednim vapnencima.

Debljina ovog slijeda pretežito karbonatnih naslaga koje kako je već rečeno čine **vodopropusni karbonatni vodonosnik** procjenjuje se na oko 250-300 metara. Ove su debljine također dobivene iz podataka listova osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 te iz podataka istraživanja na ovom projektu.

7.3.2. Strukturni položaj vodonosnika

Sasvim je sigurno i opće poznato da je primarni položaj slojeva vodoravan pa je tako bilo i sa taloženjem slojeva u području istraživanja. No deugotrajni tektonski pokreti koji su uvjetovani dinamikom u širem okruženju, kroz dugu geološku povjest stvorili su zamršene strukturne odnose. Tako su se naši vodonosnici našli u različitim strukturnim položajima. To je najbolje vidljivo iz geoloških, odnosno hidrogeoloških profila (slike 7.1, 7.2, 7.3). Zbog boranja i rasjedanja uz pretežito kompresijske odnose (regionalni kompresijski stres) nastale su u području Učke i Ćićarije ljudskave strukture pri čemu je došlo do ponavljanja naših vodonosnika u strukturama. Oni su nagnuti pod različitim kutevima, često i do 60° , a debljina im je često povećana uslijed „sažimanja“ prostora. Primarni strukturni položaj promijenjen je i na rubovima fliškog bazena. I uzduž rubova (sjevernog i južnog) izdignute strukture, Bujska antiklinala“ na potezu Savudrija-Buje-Istarske Toplice-Buzet nalaze se vodonosnici u sekundarnom primarnom položaju. Tek južno, odnosno jugozapadno od jugozapadnog ruba fliškog bazena karbonatni je vodonosnik približno horizontalan ili tek blago nagnut.

7.3.3. Poroznost vodonosnika

Što se tiče vrsta poroznosti koje su razvijene u oba karbonatna vodonosnika, prisutne su primarna, sekundarna i tercijarna.

Primarna poroznost ili sinsedimentacijska poroznost u vapnencima i dolomitima razvijena je u više tipova (poroznost biogene skeletne rešetke, unutarzrnska i međuzrnska poroznost, fenestralna i sklonišna poroznost). Uloga ove poroznosti u hidrogeološkom smislu za sada nije dovoljno poznata u istraživanom području. Prema dostupnim podacima (ŠESTANOVIĆ, 1993.) kreće se u granicama između 1 i 3 %.

Sekundarna poroznost ili postsedimentacijska poroznost široko je rasprostranjena u ovim karbonatnim vodonosnicima. Ona je predstavljena brojnim pukotinskim sustavima, rasjednim plohama i međuslojnim diskontinuitetima. Pukotinski sustavi su nastali boranjem i rasjedanjem i

nalaze se u određenom položaju prema većoj strukturi u kojoj su nastali, odnosno koja ih je uzrokovala. Treba razlikovati pukotinske sustave koji su otvoreni-zijevajući, a nastali su u zonama širenja odnosno ekstenzije, uz normalne rasjede i paralelno osi regionalnog kompresijskog stresa, kroz koje podzemne vode nesmetano teku, od sustava pukotina u zonama kompresije koji su zatvoreni i kod kojih, odnosno kroz koje nema značajnijeg tečenja podzemnih voda ili je ono vrlo usporeno. Slična je i uloga međuslojnih diskontinuiteta. Vrlo je važna i gustoća pukotina unutar vodonosnika. Istraživanjima je ustanovljeno na terenu da se razmak među pukotinama kreće od milimetarskog (mm) do dekametarskog (dm). Udio ove poroznosti u ukupnoj poroznosti do sada nije kvantificirana.

Tercijarna poroznost je glavna, odnosno najzastupljenija poroznost u istraživanim karbonatnim vodonosnicima. Ona je rezultat otapanja karbonatnih stijena posredstvom tečenja podzemnih voda u određenom klimatskom području. Naime ovim dugotrajnim geokemijskim procesima proširuju se prsline i pukotine nastale sekundarnom poroznošću pri čemu se stvaraju vrlo zamršeni drenažni sustavi kojima se podzemne vode kreću u hisometrijski niže položene dijelove karbonatnih vodonosnika,

Na temelju podataka terenskih istraživanja kao i literaturnih podataka može se sa sigurnošću reći da su razvijeni brojni tipovi ove poroznosti (interkristalna, moldička, šupljinska, kanalna, špiljska, prslinska, brečna, poroznost trošenja ...). Vrijednosti efektivne poroznosti (uključivo sekundarnu i tercijarnu) procijenjene su promatranjem izdanaka u kamenolomima, proučavajući broj ponikvi i analizirajući krške fenomene u podzemlju na 3 do 7 %. Njezina je uloga u hidrogeološkom smislu najznačajnija za nakupljanje i tečenje podzemnih voda. U prilog značajnoj tercijarnoj poroznosti govore i brojni krški oblici razvijeni na površini ovih vodonosnika. Prisutne su brojne vrtače što svjedoči o brzom vertikalnom poniranju vode u podzemlje. Zbog toga ove vodonosnike možemo uvrstiti u tipične krške vodonosnike.

7.3.4. Volumen vodonosnika i volumen šupljina

Volumen vodonosnika grubo je procijenjen množenjem površine koju vodonosnici zauzimaju u istraživanom području i debljine preuzete s listova OGK mjerila 1:100 000 a prikazane su u geološkom stupu (slika 5.2). Množenjem volumena vodonosnika i poroznosti koja je djelomično procijenjena terenskim radom djelomično preuzeta iz dosadašnjih istraživanja procijenjen je volumen pornog prostora (tablica 3). Važno je napomenuti da u izračun nisu uključene vodonosne stijene koje se nalaze južno od fliša zbog njihovog upitnog utjecaja u bilanci vode.

Rezultate izračuna i dobiveni volumen pornog prostora treba shvatiti orientacijski pošto je račun opterećen velikim aproksimacijama.

Tablica 3. Površine koje vodonosnici zauzimaju u istraživanom području, debljine i volumeni vodonosnika te procijenjeni volumen pornog prostora.

Vodonosnik	Površina vodonosnika (km ²)	Sred. debljina (m)	Poroznost (-)	Volumen pornog prostora (km ³)
K	604,163349	1475,00	0,07	22,34
PcE _{1,2}	340,672443	275,00	0,04	3,6
UKUPNO	944,835792	1750,00	0,11	25,94

Poroznost je procijenjena na temelju promatranja izdanaka ili je preuzeta iz literature. Jasno je da je u ovakvim stijenama vrlo velika lateralna i vertiklana varijabilost poroznosti no za regionalno mjerilo ovakvo osrednjavanje je valjano. Važno je uzeti u obzir kako je nepoznata dubina okršavanja tj. podina krškog vodonosnika te je uzeta cijela debljina s geološkog stupa. Također nije uziman u obzir volumen vodonosnika koji se nalazi ispod fliša. Zbog svega navedenog račun treba shvatiti orientacijski tj. bitan je red veličine.

7.3.5. Područja napajanja vodonosnika

Na geološkoj, odnosno hidrogeološkoj karti (slike 5.1, 7.1), prikazana su površinska rasprostranjenja karbonatnih stijena, odnosno krških vodonosnika na površini razmatranog i istraživanog područja. Najznačajnija područja napajanja vodonosnika s površine nalaze se u sjevernim i sjeveroistočnim područjima Istre. Područje uz granicu sa Slovenijom te područja masiva Ćićarije, Učke i Bujske antiklinale. Sasvim je izvjesno da značajne količine podzemne vode u Istri vode

podrijetlo iz prostranih karbonatnih vodonosnika Republike Slovenije gdje oni izdanjuju na velikim površinama. Napajanja s površina koje su izgrađene od fliških naslaga su bitno smanjena jer su one samo djelomično propusne. Ipak se infiltracija s površine u karbonatne vodonosnike koji se nalaze ispod fliša može djelomično odvijati uz povoljne rasjede i pukotinske sustave, pogotovo tamo gdje su naslage fliša tanke zbog erozije. Ovo svakako treba imati na umu kod izračuna bilance podzemnih voda pri detaljnijim istraživanjima mikrolokaliteta.

Kolika je uloga područja južno, odnosno jugozapadno od fliša, koje na velikoj površini ima karbonatne naslage i vrlo izmodelirani krški reljef, u napajanju krških vodonosnika koji pripadaju istraživanom području, za sada je teško reći. Jedino što znamo (dokazano trasiranjem), da postoji podzemna veza ovog područja s velikim izvorom Gradole u dolini Mirne, koji se nalazi u istraživanom području.

7.3.6. Bilanca voda u podzemljtu

Odnos ulazećih i izlazećih količina vode u hidrološki/geološki zatvoren sliv izražava se jednadžbom bilance:

$$P = E_t + O$$

pri čemu je:

P -oborina pala na sliv

E_t - evapotranspiracija

O -površinsko otjecanje.

Površinsko otjecanje sastoji se od tri komponente:

- od vode koja u rijeku dotječe površinski,
- od vode koja se infiltrirala plitko pod površinu negdje na slivnom području, tekla potpovršinski i konačno izašla na površinu i sudjeluje u ukupnom protoku rijekom, te
- od podzemne vode koja iz zone potpune saturacije izvire na površinu i sudjeluje u površinskom otjecanju rijekom.

Za izračunavanje srednje godišnje stvarne evapotranspiracije često se koristi formula **L. Turc-a** (1953):

$$E_T = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

gdje je:

P -količina srednjih godišnjih oborina (mm)

$L=300+25T+0,05T^3$

T -srednja godišnja temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$).

Količina srednjih godišnjih oborina na istraživanom području iznosi **1300 mm/god**, a srednja godišnja temperatura zraka **11,5 $^{\circ}\text{C}$** (najnepovoljnije vrijednosti).

Temeljem navedenih podataka, formulom Turc-a dobivena vrijednost godišnje stvarne evapotranspiracije na istraživanom području iznosi **596,3 mm/god**.

Prema jednadžbi bilance **otjecanje** na istraživanom području iznosi **703,7 mm/god**.

Istraživano područje izgrađeno je od relativno nepropusnih fliških naslaga i propusnih karbonatnih naslaga. Ako pretpostavimo da na nepropusnim naslagama nema infiltracije i sve što padne otječe površinski, a da na karbonatnim naslagama sva oborina koja padne, infiltrira se u podzemlje (nema površinskog otjecanja), **količina podzemne vode** iz zone potpune saturacije na istraživanom području iznosi: **21,07 m^3/s** .

Površina karbonata: 944,84 km^2

Iako su fliške naslage uzete kao potpuno nepropusne na kojima nema infiltracije već sva oborina koja padne otječe površinski, treba naglasiti da u prirodnim uvjetima dio oborine se ipak procjeđuje u podzemlje, te da je ukupna količina podzemne vode na istraživanom području veća.

8. RECENTNI GEOLOŠKI STRUKTURNI SKLOP I TEKTONSKA AKTIVNOST

Obuhvaćeno područje središnje i sjeverne Istre, prema geološkim klasifikacijama, nalazi se u dodirnom prostoru dvije regionalne strukturne jedinice: Jadranske mikroploče (1 u slici 8.1.) i Adriatika (2). Rasprostranjenost karbonatnih i flišnih naslaga i dosadašnje spoznaje o strukturalnom sklopu upućuju na moguće postojanje većih zaliha podzemne vode koja bi se mogla koristiti u vodoopskrbi. Ipak, za definiranje potencijalnosti obuhvaćenog područja u hidrogeološkom smislu bilo je potrebno prikupiti nove podatke o karbonatnim vodonosnicima, njihovom položaju u strukturalnom sklopu i posebno prepoznavanju mogućih smjerova gibanja podzemnih voda.

U istraživanjima najprije je bilo potrebno odrediti položaj obuhvaćenog područja u regionalnom strukturalnom sklopu. Uslijedila je detaljna razrada recentnih strukturalnih odnosa u prisutnom dodirnom prostoru Jadranske mikroploče (1) i jedinice Adriatik (2). Pri tom je naglasak stavljen na upoznavanje recentne dinamike obuhvaćenog strukturalnog sklopa, klasificiranje struktura i rasjeda, te općenito položaje i utjecaje struktura i aktivnosti rasjeda na prisutne hidrogeološke odnose.

U radu su korišteni dosadašnji podaci relativno brojnih objavljenih i važnih najnovijih stručnih radova. Posebno je provedeno strukturno-geološko kartiranje zbog prikupljanja podataka o rasjedima i njihovim aktivnim dionicama, te odnosima i pomacima struktura. Detaljno uočavanje odnosa rasjeda izvršeno je pomoći obrade aviosnimaka i satelitskih snimaka.

Najprije se ističu ishodišni podaci o stijenama na površini i strukturalnim odnosima sadržanim u Osnovnoj geološkoj karti listova: Trst (GEOL. ZAVOD, LJUBLJANA, INST. GEOL. ISTRAŽ., Zagreb, 1969), Labin (ŠIKIĆ i dr., 1969), Rovinj (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1969) i Ilirska Bistrica (ŠIKIĆ i dr., 1972). Nadalje su osobito važne spoznaje o regionalnim strukturalnim odnosima i klasifikacijama (MORELLI, 1984; FINETTI, 1984; HERAK, 1986, 1989, 1991; LAWRENCE i dr., 1995; MANTOVANI i dr., 1995; PRELOGOVIĆ & KRANJEC, 1983; PRELOGOVIĆ i dr., 2001, 2004). Izdvajaju se i podaci o dubinskim strukturalnim odnosima (ALJINOVIĆ, 1999; ALJINOVIĆ i dr., 1984; SKOKO i dr., 1987). Postoje i detaljniji geološki i

strukturni podaci koji se tiču obuhvaćenog područja (SALOPEK, 1954; BLAŠKOVIĆ, 1969; MATIČEC, 1994, 1998; VELIĆ i dr., 1995). Posebno se ističu radovi u kojima se isključivo tumače recentni tektonski pokreti, seizmotektonski odnosi i režim stresa (CVIJANOVIĆ, 1981; CVIJANOVIĆ i dr., 1976; ANDERSSON & JACKSON, 1987; ALJINOVIĆ i dr., 1987; CARULLI i dr., 1990; DEL BEN i dr., 1991; GRÜNTHAL & STORMEYER, 1992; MANTOVANI i dr., 1995; ALTINER, 1999; ALTINER i dr., 1998; PRELOGOVIĆ i dr., 1995; KUK i dr., 2000; OLDOW i dr., 2002; PRIBIČEVIĆ i dr., 2003; BADA i dr., 2004). Od brojnih hidrogeoloških radova posebno se izdvaja disertacija T. VLAHOVIĆ (1999).

a. Strukture i rasjedi

U obuhvaćenom strukturnom sklopu primarnu važnost u recentnoj tektonskoj aktivnosti imaju odnosi u dodirnom prostoru Jadranske mikroploče (1 u slici 8.1.) i regionalne strukturne jedinice Adriatik (2). Posredno je važan i utjecaj tektonske aktivnosti u dodirnom prostoru jedinica Adriatik (2) i Dinarik (3). Taj je prostor seizmotektonski osobito aktivan.

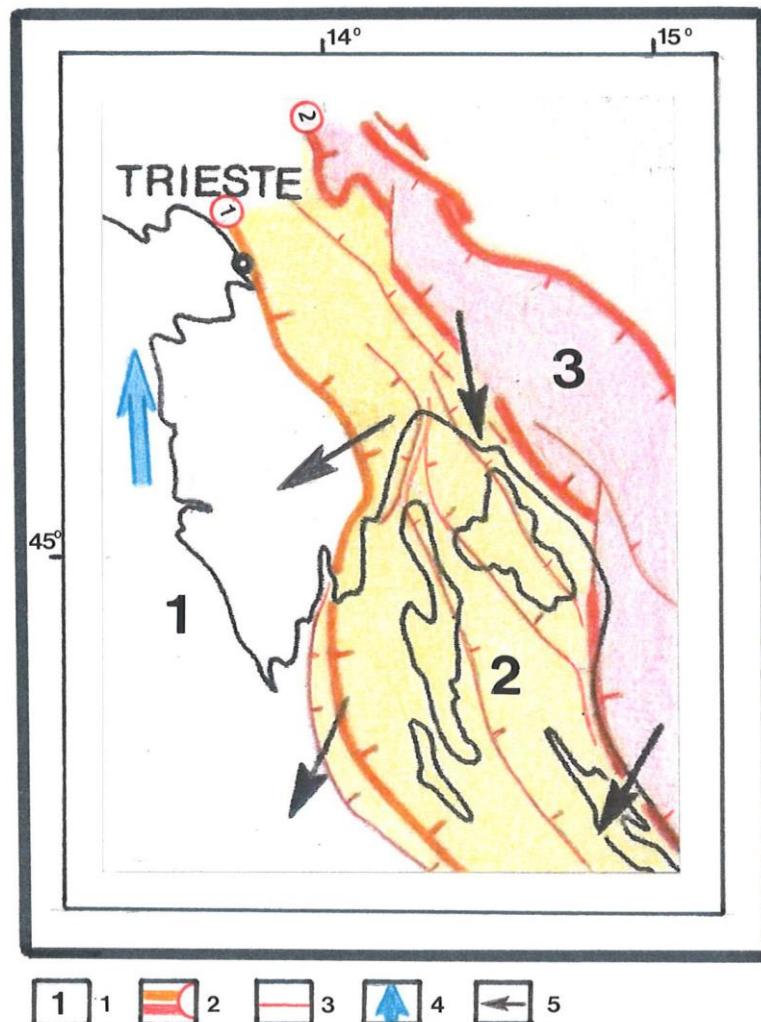
U oblikovanju recentnog strukturnog sklopa bitni su inicijalni pomaci Jadranske mikroploče (2) gotovo prema S. Pomaci se događaju uz rotaciju dijela ploče koji obuhvaća Istru. Pomaci izazivaju kompresiju prostora Adriatika (2). Također mikroploča gura pred sobom jedinicu Adriatik (2), pa se u dodiru s Dinarikom (3) stvara osobito izražen seizmotektonski aktivan prostor.

Granica Jadranske mikroploče (1) i Adriatika (2) markirana je zonom rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1 u slici 8.1.). Sučeljavanje dvije regionalne strukturne jedinice izaziva kompresiju prostora i stvaranje reversnih struktura. Najprije su to Ćićarija i Učka, a potom i strukture unutar mikroploče južno i zapadno od granične zone rasjeda. Na tu činjenicu izravno upućuju rezidualne gravimetrijske anomalije (slika 8.2.). One nastaju zbog različitog položaja stijena veće gustoće u prvim kilometrima dubine. Minimalne vrijednosti izolinija ukazuju na spuštanje stijena veće gustoće zbog prisutne kompresije prostora i zapravo veće debljine karbonatnih stijena ispod površine. Izraženi maksimum između Buja i Buzeta nastaje zbog uzdizanja istih stijena koje se nalaze blizu površini. Najvažnije je naglasiti da

rezidualne gravimetrijske anomalije izravno ukazuju da u obuhvaćenom području postoje strukture koje stalno nastaju zbog kompresije prostora. Dakako, granicama struktura pružaju se reversni rasjedi. Uz to svijanje prikazanih izolinija i različiti raspored maksimuma i minimuma označava postojanje nizova relativno manjih lokalnih struktura. Još se napominje da pomaci Jadranske mikroploče (1) izazivaju različite pomake dijelova jedinice Adriatik (2) uz površinu. To ujedno označava i prisutnu rotaciju dijelova jedinice (slika 8.1).

Prikupljeni podaci pokazuju da su u obuhvaćenom području izdvojenom u prilogu 2 prisutne reversne strukture i rasjedi pružanja ZSZ-IJI, mjestimice Z-I, te oko Učke gotovo S-J i južno od Pazina SZ-JI. Istog su pružanja reversni rasjedi koji ograničavaju strukture. Osi većih bora samo se mjestimice uočavaju u Ćićariji, Učki i oko Buja. To je znak znatne razlomljenosti stijena i u flišnim naslagama postoji znatna razlomljenost, iako su naslage u centralnim dijelovima lokalnih struktura gotovo horizontalnog ili subhorizontalnog položaja.

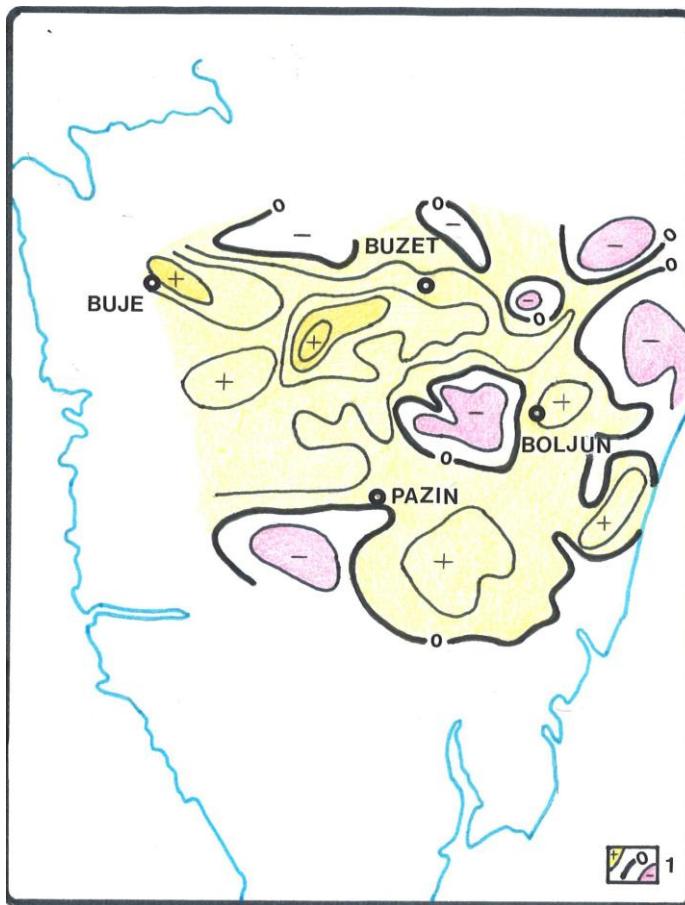
U razlučivanju recentnih tektonskih pokreta bitna je činjenica da oni obuhvaćaju čitav prostor litosfere. U strukturnom sklopu posebno su važni rasjedi koji dijele veće kompleksne stijene u dubini i dopiru do površine. Razrada rasjeda prema položaju i važnosti u sklopu omogućava razlučiti pojedine strukturne jedinice, velike i lokalne strukture i odrediti njihove granice na površini i u dubini. U provedenim istraživanjima stalno se vodilo računa o rasprostranjenosti i odnosima stijena, te posebice o njihovim mogućim deformacijama.



Slika 8.1. POLOŽAJ ISTRE U REGIONALNOM STRUKTURNOM SKLOPU

Legenda:

1–Regionalne strukturne jedinice: Jadranska mikroploča (1). Adriatik (2), Dinarik (3); 2–Najvažniji rasjedi strukturnog sklopa, granični regionalnim strukturnim jedinicama: rasjed Trst–Učka–otok Susak (1), rasjed Ilirska Bistrica–Rijeka–Senj (2); 3–ostali važni rasjedi strukturnog sklopa; 4–smjer pomaka Jadranske mikroploče; 5–smjer pomaka dijelova regionalnih strukturnih jedinica.



Slika 8.2. Rezidualne gravitacijske anomalije (izolinije u miligalima).

Najvažniji strukturni podaci dobiveni su terenskim kartiranjem. Otkriveno je 155 izdanaka rasjeda. Prikazani su u prilogu 1. U izdancima su provedena potrebna mjerena strukturalnih elemenata. Mjereni su podaci koji poglavito označavaju tip, genezu i položaj rasjeda u sklopu, vrstu pomaka krila, te odnose stresa i deformacija struktura. U odredbi pomaka krila rasjeda bile su važne i vlačne bore, te svijanja i položaji pukotina i klivaža.

i. Odražavanje struktura i rasjeda u reljefu

Najprije treba istaknuti da se pojedine strukture izravno odražavaju u reljefu (slike 8.3 do 8.12). Ovisnost oblika reljefa i strukturalnih odnosa ukazuje na stalno prisutne tektonske pokrete. Stvara se reljef čiji su oblici povezani sa stijenama i njihovim mogućim deformacijama zbog utjecaja endogenetskih i egzogenetskih

procesa. Bitna je činjenica da reversni pomaci u uvjetima kompresije prostora uzdižu reljef.

Reversne uzdignute strukture predstavljene su brdovitim reljefom. Strukture su ograničene reversnim rasjedima.

U reljefu se u krovinskim krilima stvaraju strmi obronci i strmci (slike 8.3, 8.4 i 8.5). Veći strmac znači i znatniji reversni pomak krovinskog krila rasjeda, primjerice duž zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). Rasjedi koji sijeku strukture ili se nalaze unutar njih najčešće se pružaju duž usječenih, ravnocrtnih dolina (slike 8.5 i 8.6).

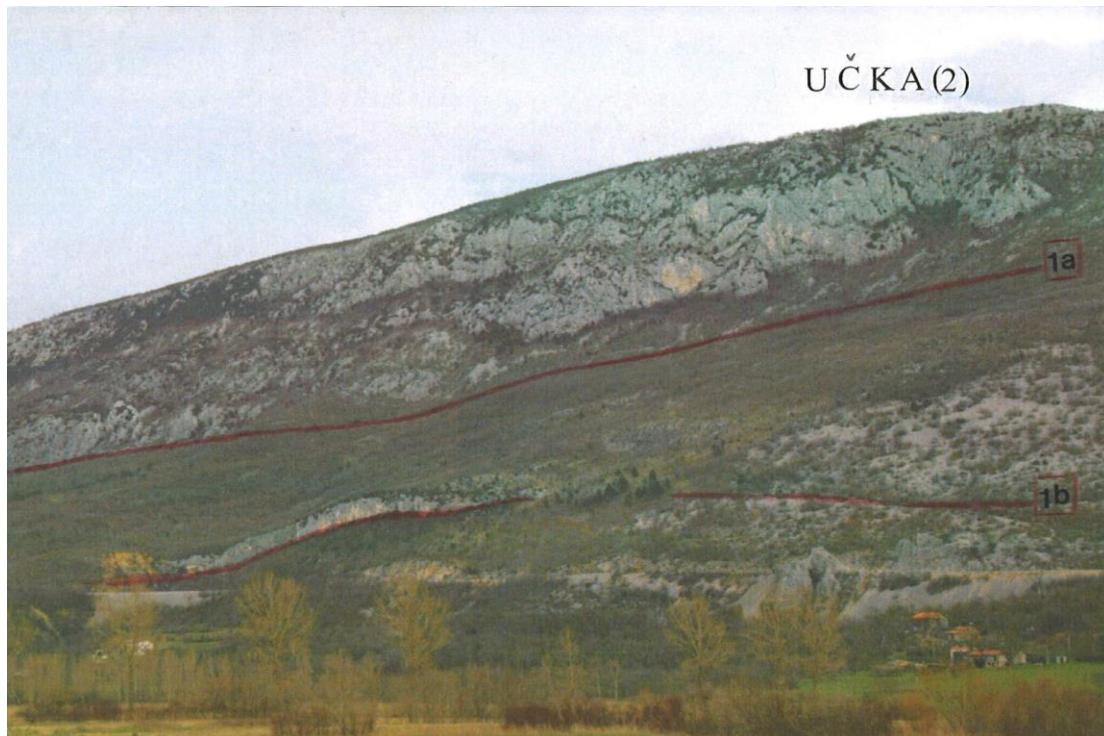
Prikupljeni podaci upućuju da doline često nastaju u zonama rasjeda. U reljefu se ističu i spuštene strukture. Obično su stisnute između dvije uzdignute strukture duž čijih se krila pružaju reversni rasjedi suprotnih vergencija. Primjeri u Ćićariji jesu veće udoline i osobito krška polja kod Vodica i Lanišća (slika 8.7). Također se ističu spuštene strukture koje su smještene između najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa, npr. široka dolina rijeke Pivke kod Čiritaža, dolina između Ročkog Polja i Lupoglava, Čepić polje, dolina rijeke Mirne kod Buzeta i zapadno od Istarskih Toplica i Motovuna, te dolina jezera Botoniga.

Zbog kompresije prostora između uzdignutih reversnih struktura postoji duž nekih spuštenih struktura raščlanjen i zaravnjen reljef, npr. oko sela Borut, Cerovlje, Mune i Žejane. Raščlanjen reljef moguće ukazuje na nastanak nove lokalne reversne strukture. Takav je slučaj zapažen i unutar široke zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) kod Roča (slika 8.8).

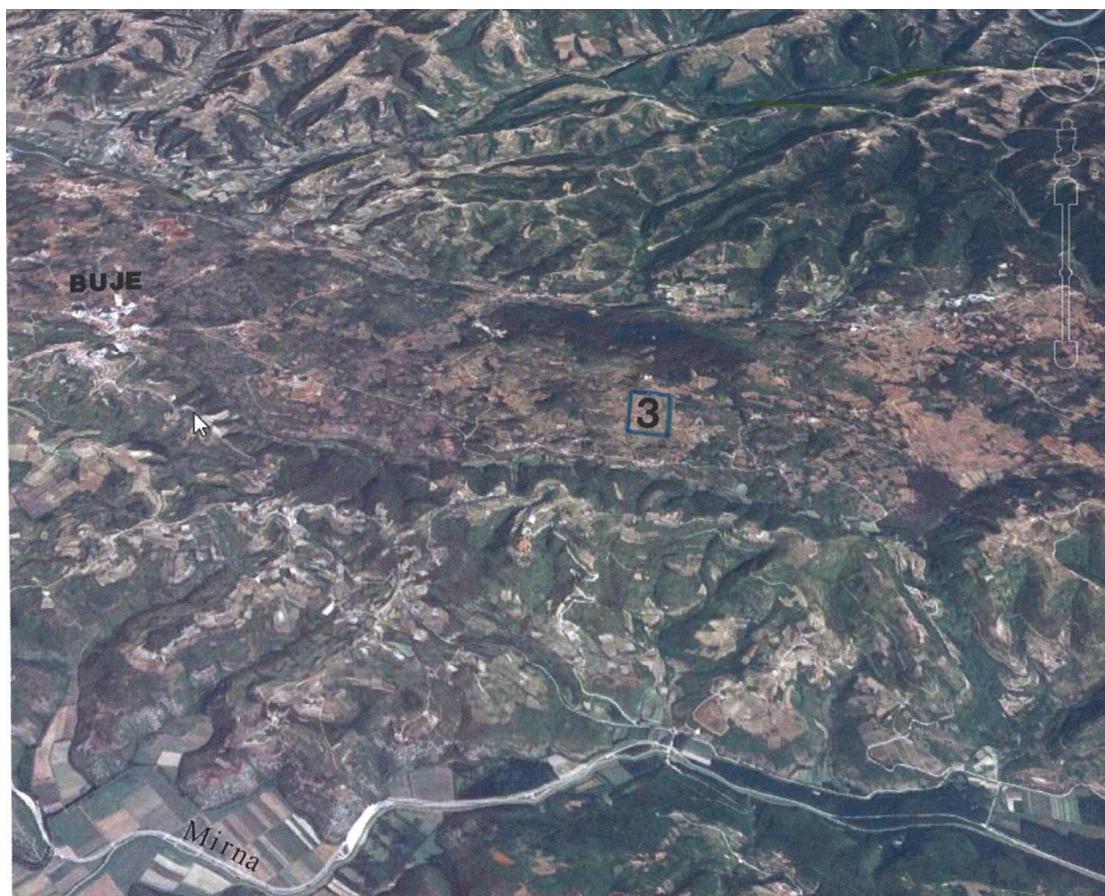
U reljefu je važno prepoznati ocrtavanje rasjeda u čijim zonama dolazi do širenja prostora i stvaranja šupljina pogodnih za cirkulaciju podzemne vode. To su rasjedi sustava SSZ-JJI, mjestimice S-J duž čijih krila prevladava desna horizontalna komponenta pomaka krila, te rasjedi koji su paralelni orijentaciji maksimalnog ili lokalnog kompresijskog stresa. U njihovim zonama nastaju doline različite širine, često duboko usječene i asimetrične. Važniji primjeri prikazani su u slikama 8.9, 8.10 i 8.11. Pojedine zone izdvojene su u prilogu 2. U reljefu izgrađenom iz karbonatnih stijena osobito se ističu ponikve. Uvijek nastaju u zonama rasjeda. Oblici ponikava,

veličina i pojedini nizovi jasno ističu položaje rasjeda i osobito pružanje pojedinih zona (slike 8.11 i 8.12).

PRIMJERI ODRAŽAVANJA STRUKTURA I RASJEDA U RELJEFU.



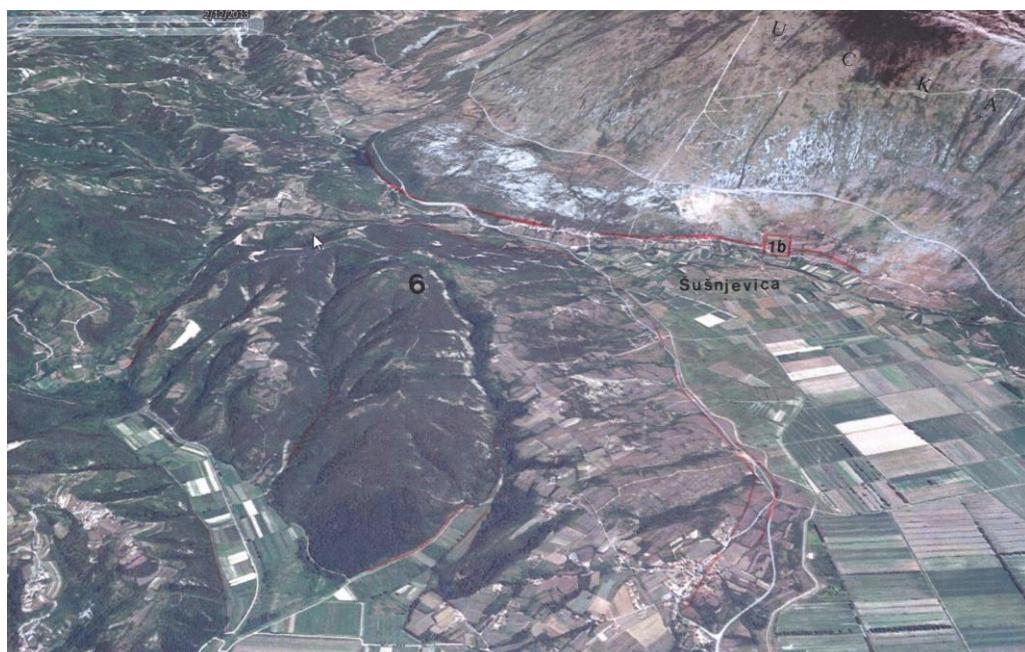
Slika 8.3. U obuhvaćenom području prisutne su reversne strukture. Zbog kompresije prostora i aktivnosti rasjeda stvara se istaknuti, često asimetričan reljef. Pojedina istaknuta brda označavaju lokalne reversne strukture, a Ćićarija i Učka relativno veliku strukturnu jedinicu. Strukture se nižu između najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa. Rasjedi se najčešće pružaju duž strmih obronaka, strmaca i kroz često duboko usječene doline. Izravno odražavanje struktura i rasjeda u reljefu znak su prisutne tektonske aktivnosti.
U slici se ističu obronci velike strukture Učke (2) kod Čepićkog polja. Strmci u reljefu nastaju u krovinskim krilima glavnih rasjeda iz zone najvažnijeg rasjeda strukturnog sklopa Trst – Učka – otok Susak (1).



Slika 8.4. U reljefu srednjeg dijela obuhvaćenog područja osobito se ističe velika reversna struktura Buje–Buzet–Lupoglav (3). Izgrađena je na površini iz vapnenaca kredne starosti. Krilima strukture pružaju se rasjedi koji se vrlo jasno izražavaju u reljefu. U ostalom dijelu prikazanog područja nalaze se flišne naslage. I one čine brdovit reljef. Podložne su eroziji, pa se u reljefu ističu usječene doline. One nastaju u zonama rasjeda.



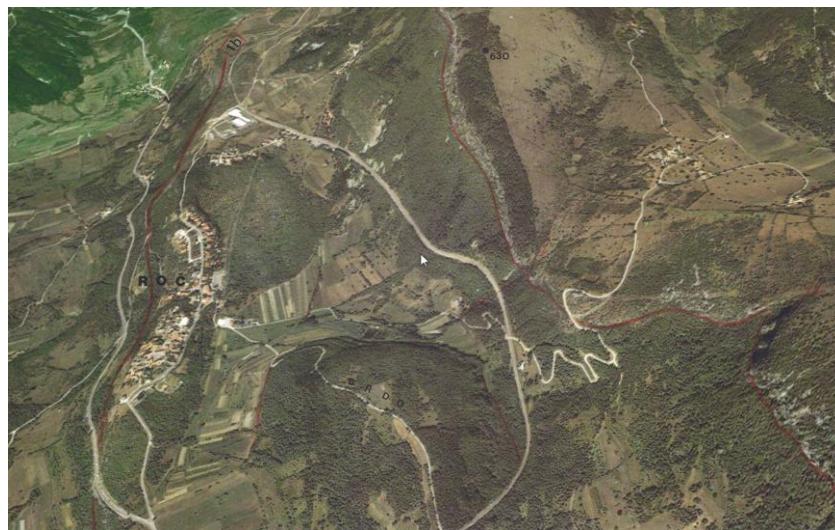
Slika 8.5. Detaljan pogled na promatranu veliku strukturu kod Istarskih Toplica otkriva vrlo strme obronke u krovinskom krilu rasjeda Buje–Istarske Toplice–Brnobići–Dolenja Vas (5). Uočljivi su i rasjedi sustava SSZ–JJI koji presijecaju strukturu. Posebno rijeka Mirna protječe kroz duboko usječenu dolinu.



Slika 8.6. Oko sela Šušnjevica Čepičko polje se sužava zbog različitog, gotovo suprotnog smjera pomaka Učke i važne lokalne strukture Kaščerga–Grdoselo–Cerovlje–Glogornica (6). Lokalna struktura predstavljena je brdovitim reljefom. Osim glavnog rasjeda 1b iz zone Trst–Učka–otok Susak osobito su uočljivi rasjedi koji se pružaju kroz duboko usječene doline.



Slika 8.7. Pojedine doline relativno veće širine uvijek su smještene između uzdignutih reversnih struktura i nastaju suženjem prostora zbog reversnih pomaka duž rasjeda suprotne vergencije koji graniče dolinama. Veća krška polja također su smještena i sužena između reversnih struktura. Dobar primjer je polje kod Lanišća. Ovdje su osobito važni i pomaci Ćićarije duž rasjeda Lipnik–Lanišće–Brgudac–Vela Učka (3). Polje se kod Lanišća zatvara zbog rotacije dijelova Ćićarije i horizontalnih pomaka duž nekoliko rasjeda sustava SSZ-JJI.



Slika 8.8. Najvažnija u strukturnom sklopu je zona rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). U primjeru kod Roča glavni rasjedi iz zone 1a i 1b odražavaju se u reljefu strmcima i strmim obroncima. U tektonskim pokretima ključna je kompresija prostora. Stoga se i unutar zone pojavljuju lokalne reversne strukture. U primjeru to je struktura Brdo duž čijih se krila pružaju reversni rasjedi suprotnih vergencija ili reversnih pomaka krila.



Slika 8.9. U strukturnom sklopu rasjedi se često pružaju duž duboko usječenih dolina. Osobito su takve doline uočljive u graničnom prostoru između Ćićarije i Učke. Najveća je Velika draga. Učka se pomiče prema ZJJ.

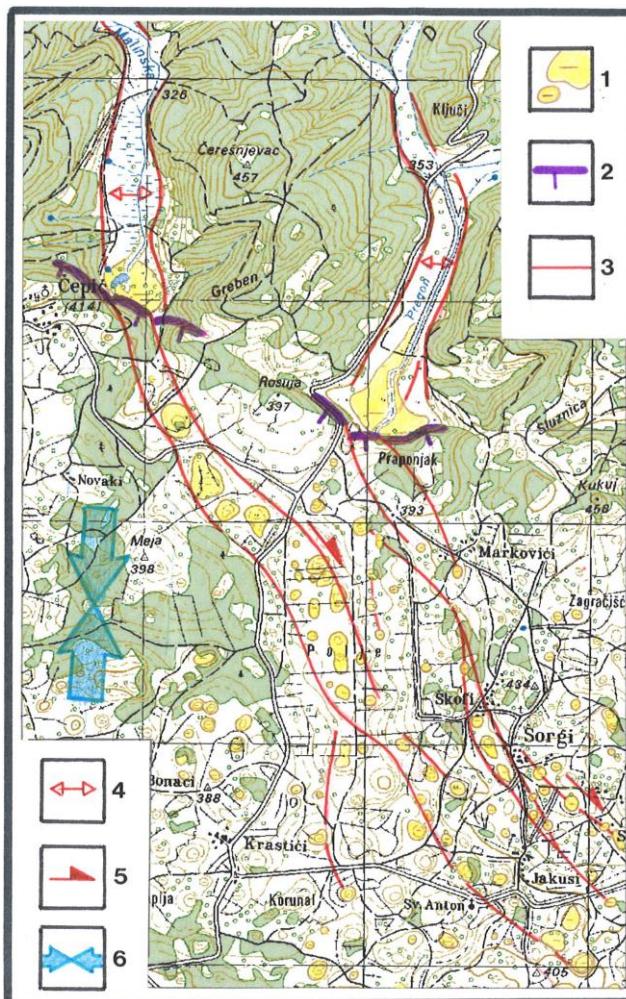
a



b



Slika 8.10. a) Dobar primjer duboko usječene doline nalazi se na ISI od Istarskih Toplica. Kroz dolinu protječe rijeka Mirna. Dio doline paralelan je orijentaciji maksimalnog kompresijskog stresa. Nastaje širenje prostora što omogućava protok rijeke. b) Dolina sjeverno od Buzeta nastala je u zoni rasjeda sustava SSI – JJZ. Zbog prevladavajućih horizontalnih pomaka krila rasjeda dolina se proširuje. Strane doline su strmo nagnute.



Slika 8.11. Primjer širenja prostora u zonama rasjeta nalazi se oko sela Čepić i Škofi sjeverno do Istarskih Toplica. Dvije doline potoka Malinska i Pregon osobito su široke, jer su im pružanja paralelna orientaciji maksimalnog kompresijskog stresa. Između sela Čepić, Škofi i Šorgi nizovi i oblici ponikava jasno ukazuju na pružanja rasjeta duž kojih prevladava horizontalna desna komponenta pomaka krila, koja uzrokuje širenje prostora.

Legenda:

- 1–ponikve; udoline;
- 2–reversni rasjed Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko polje–Lupoglav;
- 3–rasjedi;
- 4–oznaka širenja dolina;
- 5–oznaka horizontalnog pomaka krila rasjeta;
- 6–orientacija maksimalnog kompresijskog stresa.



Slika 8.12. U reljefu na površini izgrađenom iz karbonatnih stijena značajne su ponikve. Uvijek nastaju u zonama rasjeda. **a)** T58. Cesta Račja Vas–Veprinac. Ponikva je nastala u zoni reversnog rasjeda koji se pruža krilom lokalne strukture. **b)** T61. Cesta Račja Vas–Veprinac. Primjer izdužene ponikve u zoni rasjeda s desnim prevladavajućim pomacima krila.

U oblikovanju reljefa još se mora uzeti u obzir podložnost prisutnih stijena djelovanju egzogenteskih procesa. Najprije je važno pravilo da veća erozija prati veće uzdizanje reljefa uvjetovano tektonskim pokretima. Osobito je uočljiva erozija flišnih naslaga. Primijećena je vrlo snažna erozija u zonama rasjeda, primjerice u zonama najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa (slike 8.13 i 8.14). U primjeru u Boljunskom polju (T83) uslojeni sipari karbonatnih naslaga u zoni rasjeda Trst-Učka-otok Susak (1) nagnuti su u brdo, što je znak aktivnosti rasjeda nakon njihovog taloženja (slika 8.14a).

Brojnost strukturno-geomorfoloških podataka povezanih s položajem i tektonskom aktivnošću struktura i rasjeda izravno ukazuje na prisutnu recentnu tektonsku aktivnost. Najvažniji podaci prikazani su na primjeru okolice Buzeta u slici 8.15.

b. Klasifikacija struktura i rasjeda

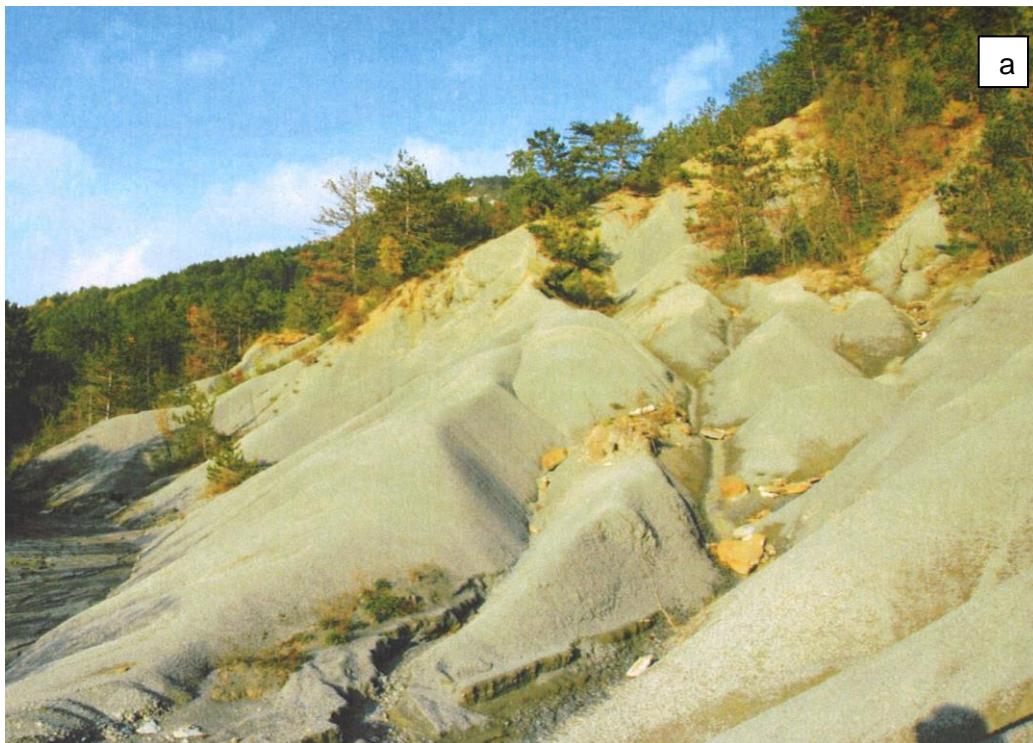
U obuhvaćenom strukturnom sklopu najvažniji je rasjed Trst-Učka-otok Susak (1 u prilogu 2). Pruža se neposrednom granicom regionalnih strukturnih jedinica: Jadranska mikroploča (1) i Adriatik (2). Predstavljen je zonom širine 500-1700 m. Glavni rasjedi zone 1a i 1b, te nekoliko rasjeda koji se nalaze unutar zone jesu reversni, vergencije ili pomaka krovinskog krila prema JZ uz Ćićariju (1) i prema Z uz Učku (2). Ispred zone, ali i u zaleđu postoji nekoliko neposrednih ogranaka, također reversnih rasjeda istih značajki. Nagibi rasjeda iznose najčešće 70-80°, mjestimice 60°, te kod Roča iznimno 20°. Glavni rasjedi, ali i pojedini unutar zone jasno se odražavaju u reljefu (slika 8.16). U obuhvaćenom dijelu Adriatika (2) razlikuju se strukturne jedinice Kras-Brkini (1) i Ćićarija-Učka (2). Posebno su odvojeni najuzdignutiji dijelovi Ćićarije (1) i Učke (2) kao samostalne velike strukture.

Dijelovi jedinice u neposrednom zaleđu zone rasjeda Trst-Učka-otok Susak (1) predstavljeni su nizom reversnih rasjeda koji se moguće u dubini spajaju s promatranom zonom rasjeda. Zbog kompresije prostora nastaju i 3-4 niza najistaknutijih dijelova lokalnih struktura. Nađeno je više izdanaka glavnih rasjeda 1a i 1b i rasjeda unutar zone. Potrebno je odmah naglasiti da je svaki rasjed uvijek predstavljen vlastitom zonom različite širine. Osobito se ističu glavni rasjedi.

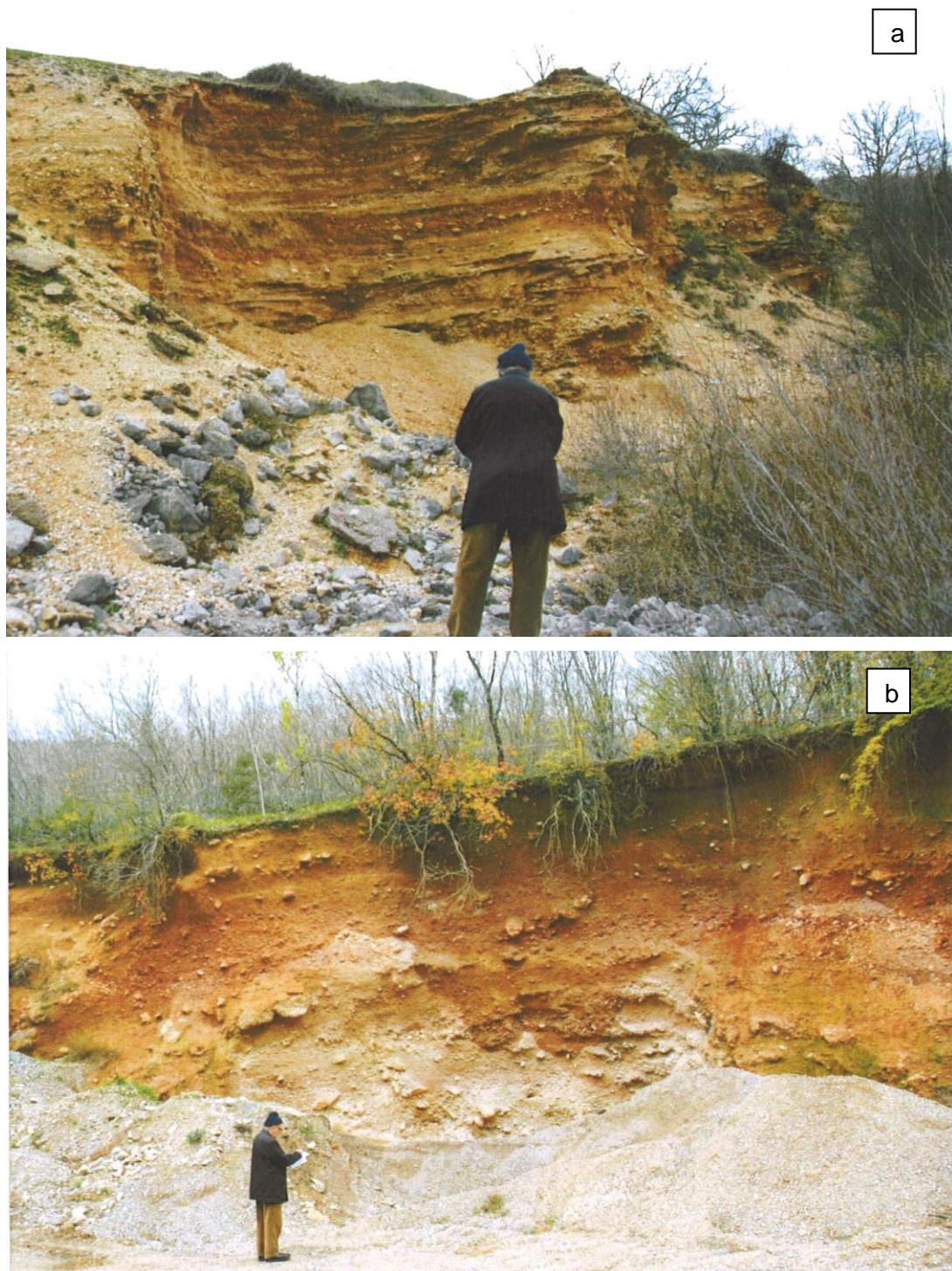
Glavni rasjed 1a u točki motrenja T19 (prilog 1) sjeverno od Buzeta ima položaj 70/65/120/reversni lijevi (slika 8.17). Izdvaja se točka motrenja T119 uz cestu Nugla–Slum, jer se u krovinskom krilu nalazi vlačna antiklinala (slika 8.18a). Zbog kompresije prostora došlo je između međuslojnih pukotina do otvaranja prostora (slika 8.18b).

Rasjed ima položaj 32/80/100/reversni lijevi. Relativno veći izdanak rasjeda 1a izdvojen je kod Roča (T150), položaja 10/65/120/reversni lijevi. Pruža se granicom vapnenci–flišne naslage. Značajna je pojava klizanja naslage fliša neposredno uz rasjed (slika 8.19). Glavni rasjed 1b izdvojen je u T36 kod sela Nugla položaja 30/80/100/reversni lijevi (slika 8.20). Najveći izdanak osobito izražen u reljefu nalazi se uz cestu Roč–Brgud u T35. Rasjed 1b pruža se kontaktom flišne naslage–vapnenci.

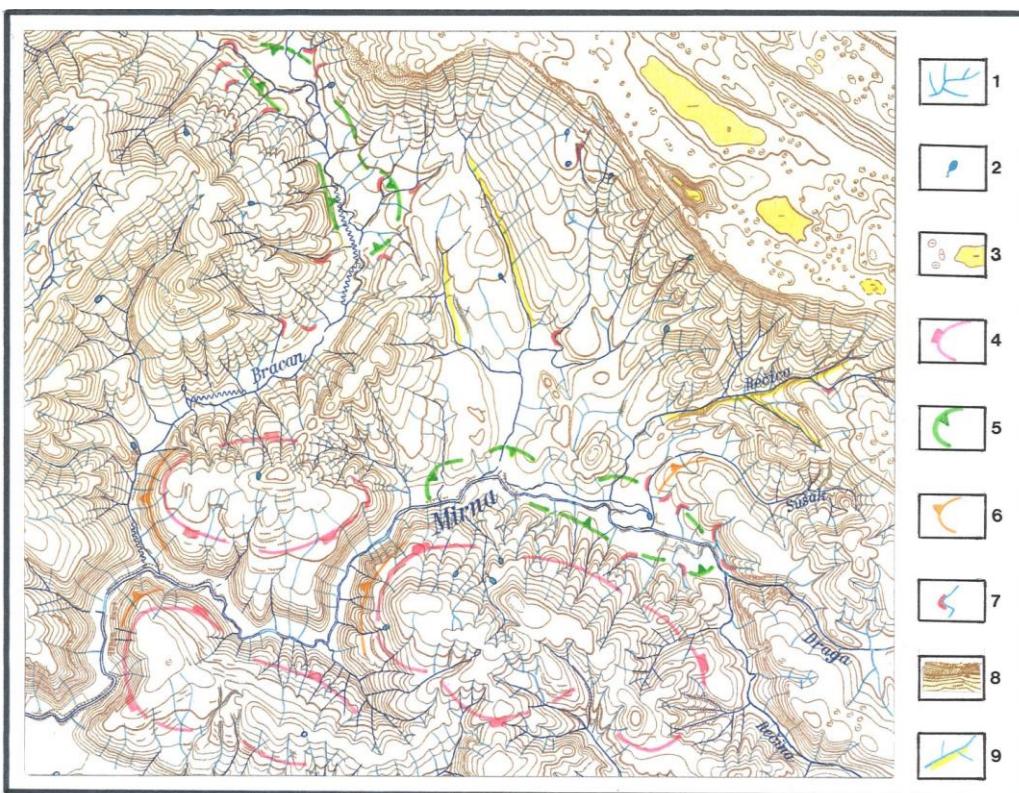
Velike strije pokazuju položaj 45/70/90/reversni (slika 8.21). U izdanku je zapaženo i pucanje vapnenaca. Pukotine su gotovo paralelne orientaciji lokalnog kompresijskog stresa. Dolazi do njihovog širenja, što je važno u hidrogeološkom smislu (slika 8.22a).



Slika 8.13. U proučavanju oblika reljefa obuhvaćenog područja u obzir je uzeta i erozija stijena prisutnih na površini. Mjestimice ona je vrlo izražena osobito u zonama najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa. Veća erozija uvijek je povezana s tektonskom aktivnošću i izdizanjem reljefa. **a)** T6. Semić. Zona rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). Erozija flišnih naslaga na strmim oborncima. **b)** Svi Sveti, južno od Buzeta. Erozija flišnih naslaga u zoni rasjeda sustava SSZ–JJI.



Slika 8.14. a) T83. Selo Novljani uz Boljunsko polje. Uslojeni kvarterni sipari nastali erozijom karbonatnih naslaga u zoni rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). Slojevi su malo nagnuti u brdo, što je znak aktivnosti rasjeda nakon njihovog taloženja. b) T66. Dolina Mirne. Sipar nastao erozijom karbonatnih naslaga na strmom obronku velike strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3).



Slika 8.15. Okolica Buzeta. Primjer najvažnijih strukturno–geomorfoloških podataka povezanih s položajem i tektonskom aktivnošću struktura i rasjeda

Legenda:

1–doline sa stalnim i povremenim vodotocima; 2–izvori; 3–ponikve i veće udoline;

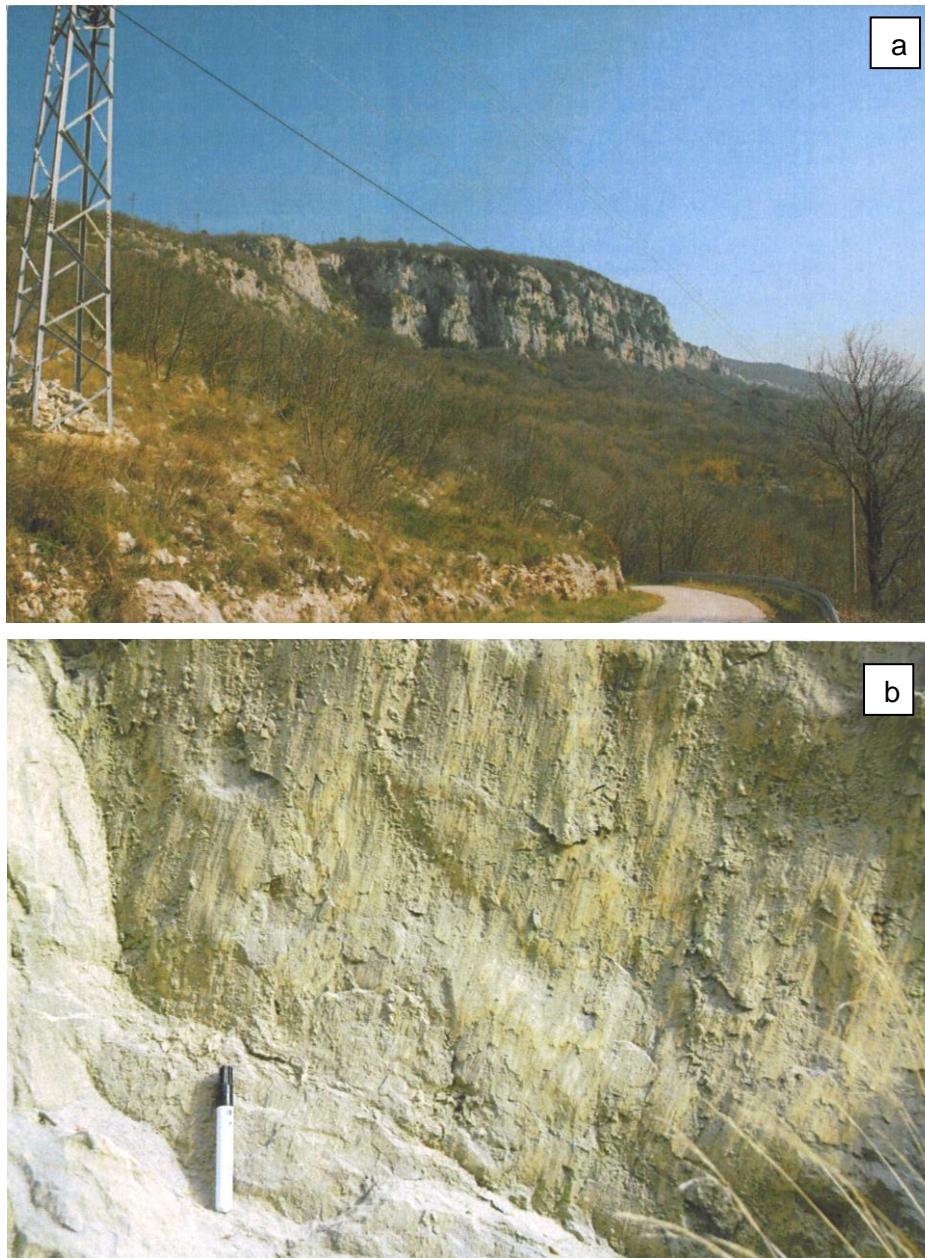
Oblici reljefa povezani s položajem i aktivnošću struktura:

4–centrifugalni tip erozijske mreže; centripetalni tip erozijske mreže; 6–deformacije dolina u obliku luka;

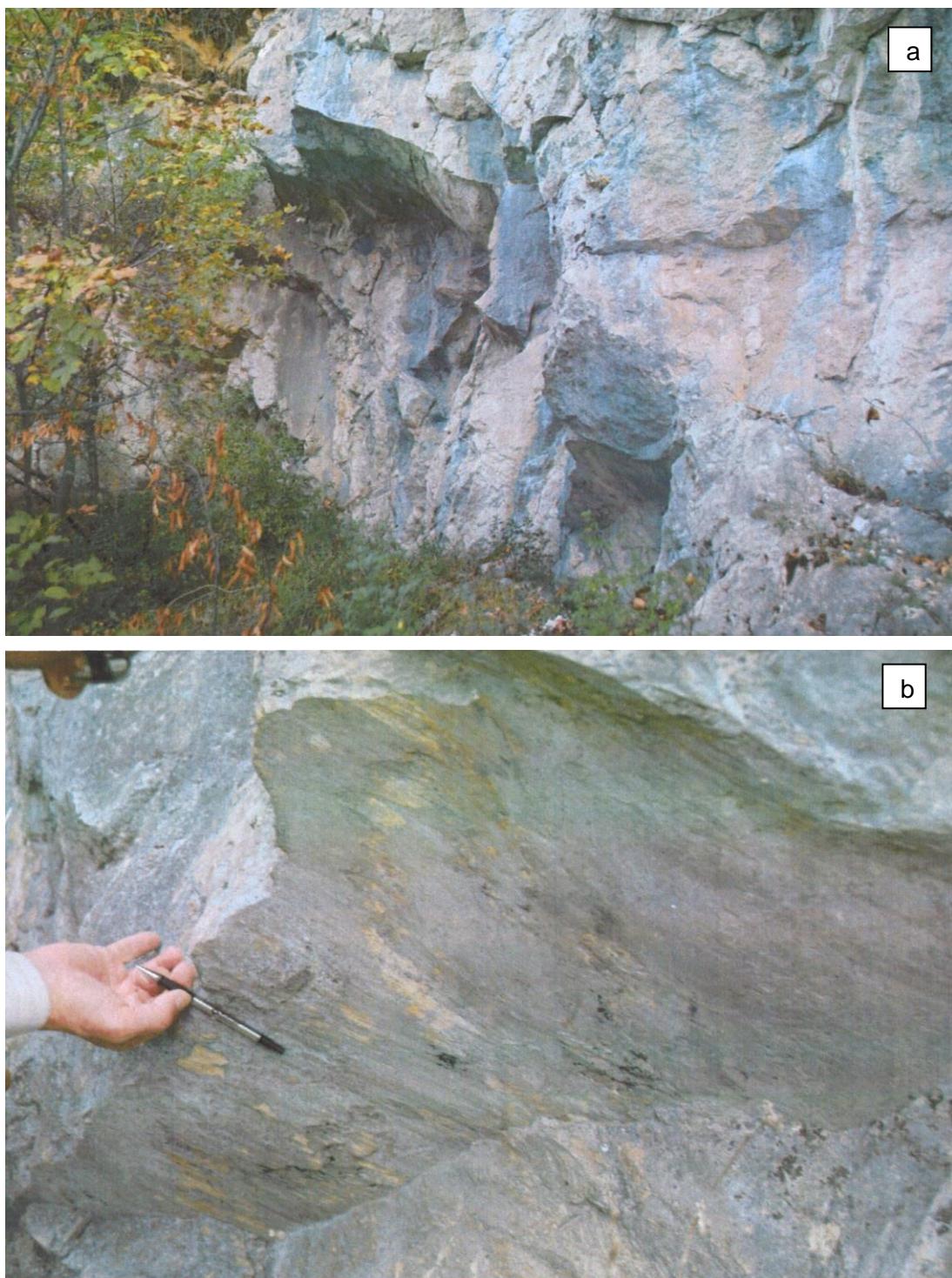
Oblici reljefa povezani s položajem i aktivnošću rasjeda:

7–koljeničaste anomalije dolina; 8–strmi obronci i strmci; 9–ravnocrnne doline

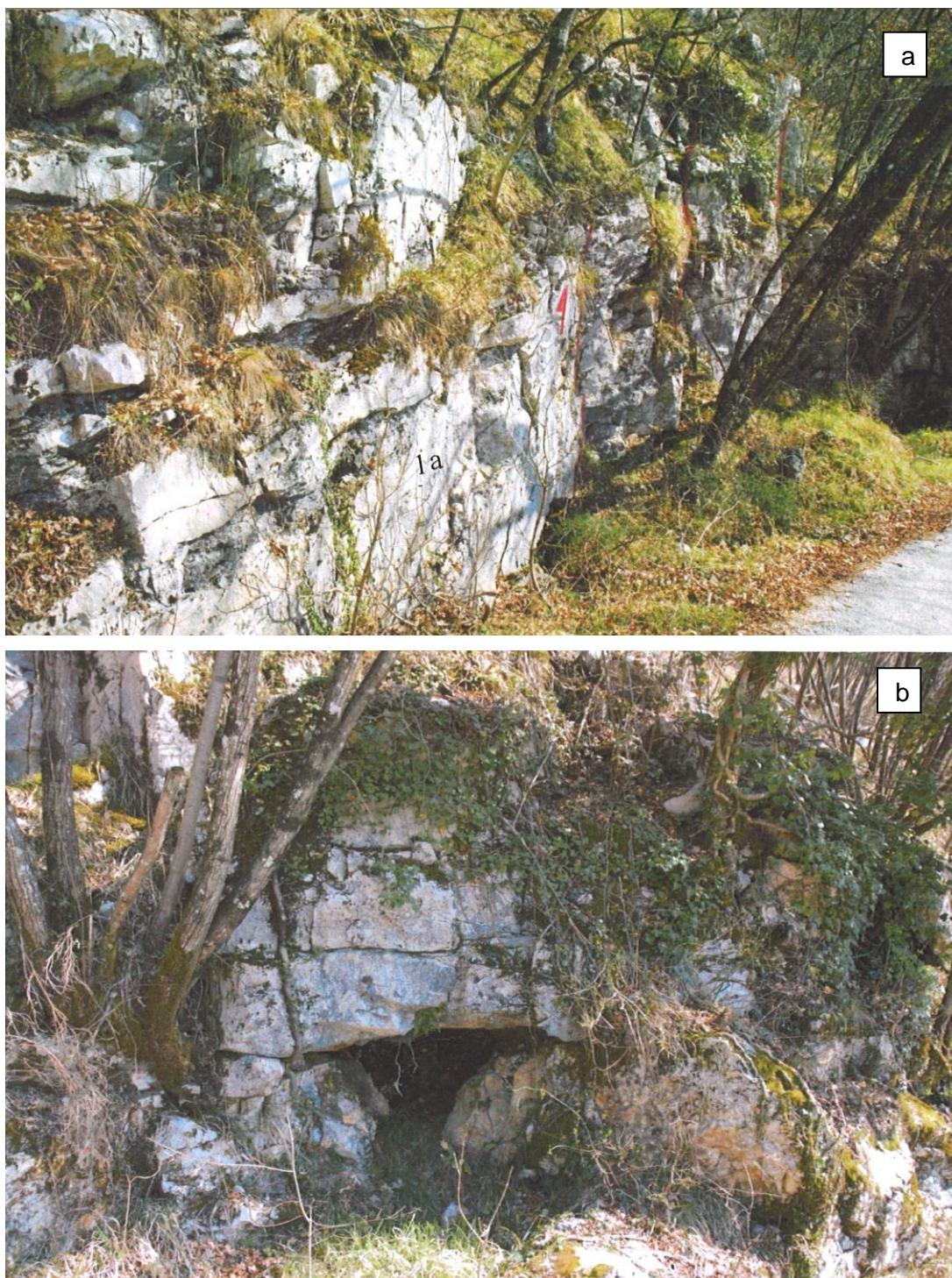
PRIMJERI NAJVAŽNIJIH RASJEDA STRUKTURNOG SKLOPA



Slika 8.16. Rasjed Trst–Učka–Otok Susak (1) Graniči regionalnim strukturnim jedinicama. Između glavnih rasjeda čini zonu širine 500–1700m. Rasjedi u zoni su reversni, vergencije prema JJZ i uz Učku prema Z. **a)** U reljefu se osobito ističe glavni rasjed 1a; **b)** U izdancima se na paraklazama često nalaze izražene strije koje pokazuju položaj i tip rasjeda, te vrstu i smjer pomaka krovinskog krila rasjeda. U primjeru u T18 kod željezničke postaje Buzet mjeran je položaj: 28/75/60/reversni desni (28-smjer nagiba rasjeda, 75 kut nagiba rasjeda, kut zakosa strija, koji pokazuje reversni pomak krovinskog krila rasjeda u desno).



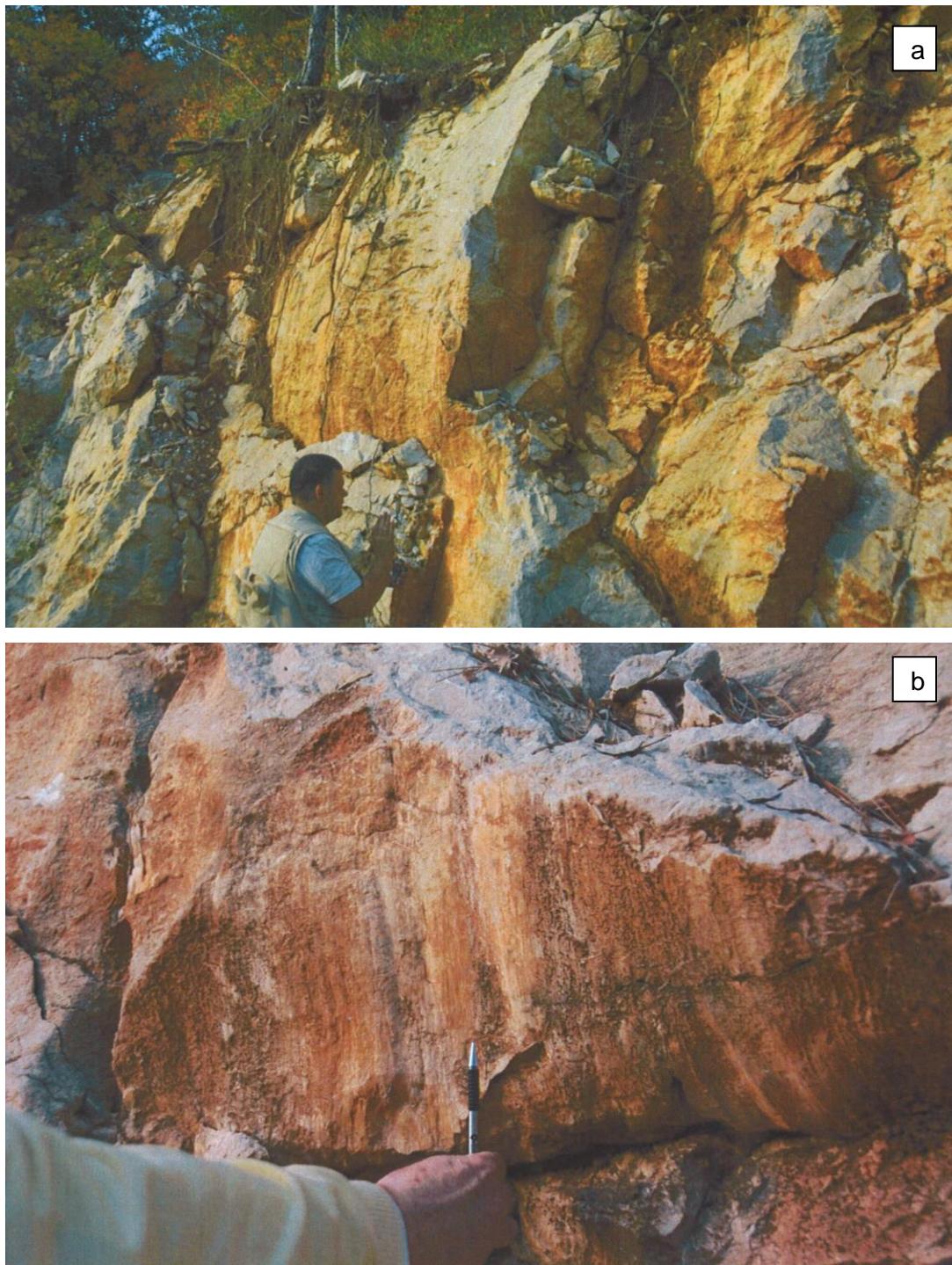
Slika 8.17. a) T19. Cesta Buzet–Brest. U strmcu u reljefu nađeni su rasjedi koji pripadaju zoni 1a; b) Strije pokazuju položaj 70/65/120/reversni lijevi.



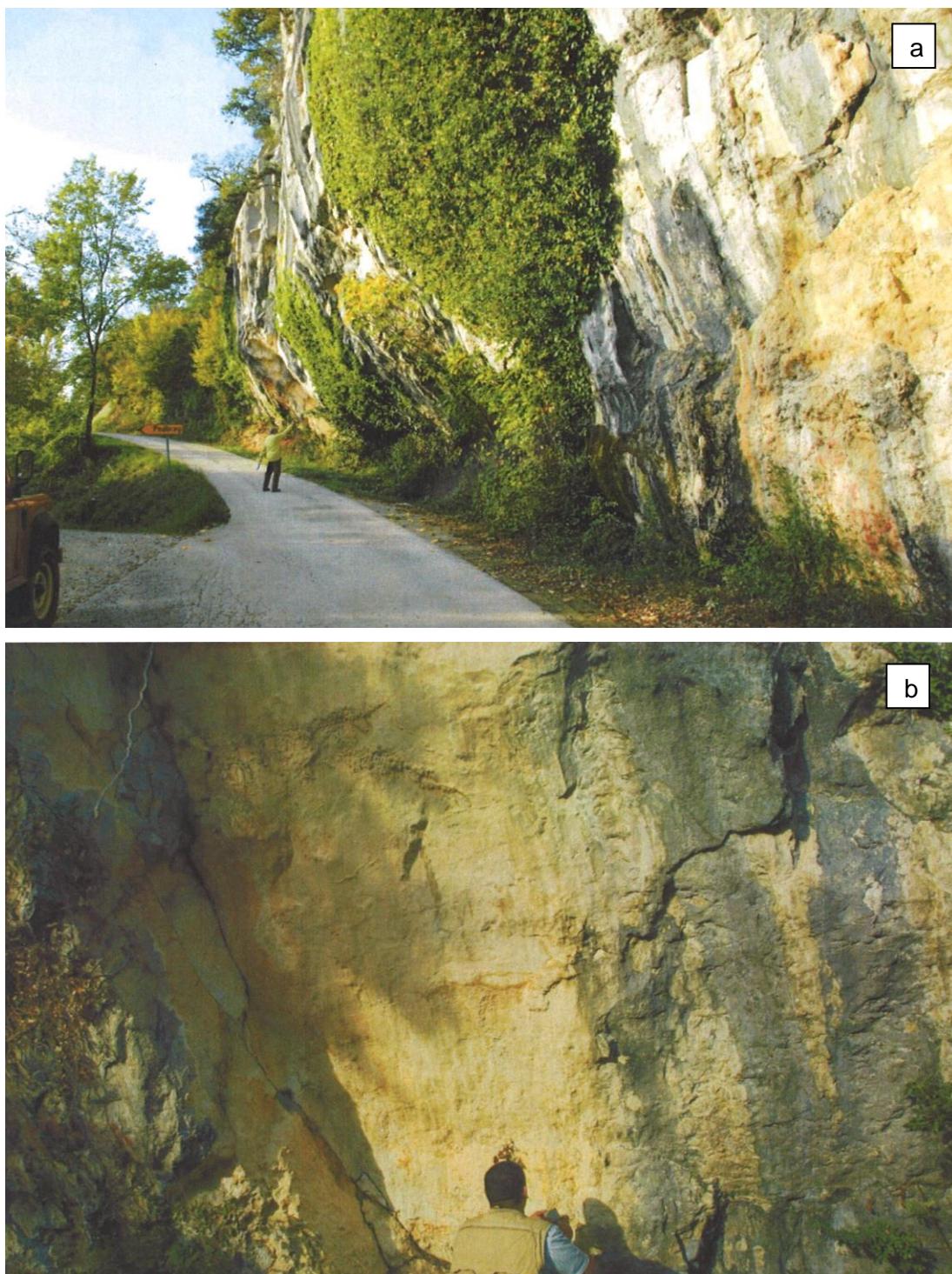
Slika 8.18. a) T149. Cesta Nugla–Slum. Izdanak rasjeda 1a iz promatrane zone. U krovinskom krilu vidljivi su slojevi. Rasjed je predstavljen vlastitom zonom paralelnih rasjeda položaja 32/80/100/reversni lijevi b) Zbog antiklinalnog svijanja slojeva u izdanku je između tzv. međuslojnih pukotina došlo do širenja prostora. I drugdje postoje slični slučajevi, što je uzeto u obzir zbog moguće cirkulacije podzemne vode.



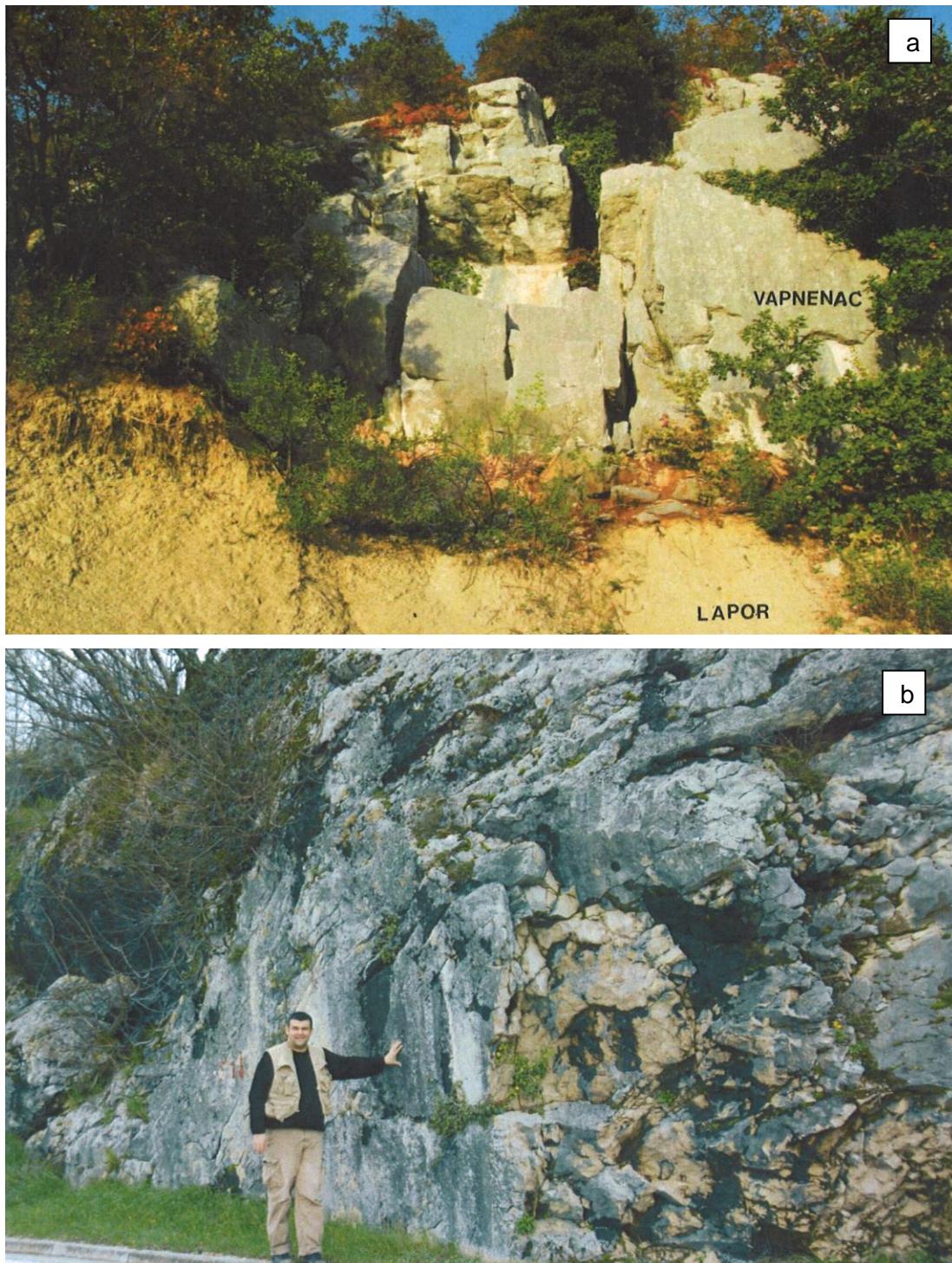
Slika 8.19. a) T150. Selo SI od Roča. Relativno veći izdanak rasjeda 1a položaja 10/65/120/reversni lijevi. Rasjed se nalazi na kontaktu vapnenci–flišne naslage. b) Uz rasjed, moguće zbog stalno prisutne tektonske aktivnosti i uzdizanja krovinskog krila, u flišnim naslagama nastaje klizište.



Slika 8.20. a) T36. Nova cesta za selo Nugla. Veći izdanak glavnog rasjeda 1b iz zone Trst–Učka–otok Susak. I taj je rasjed predstavljen vlastitom zonom. Zapaža se svijanje rasjeda po nagibu. b) Vrlo izražene strije pokazuju položaj 30/80/100/reversni lijevi



Slika 8.21. a) T35. Cesta Roč–Brgad. Najbolji izdanak rasjeda 1b promatrane zone nalazi se na kontaktu flišne naslage–vapnenci. U izdanku je izražen strmac u reljefu. b) Na otvorenim paraklazama nalaze se velike strije. Mjeru je položaj 45/52/75/reversni desni.



Slika 8.22. a) U istoj točki motrenja kao na prethodnoj slici zapaženo je pucanje vapnenaca. Pukotine su gotovo paralelne s orientacijom lokalnog kompresijskog stresa. b) T88. Selo Šušnjevica kod Čepićkog polja. Duž strmog obronka otkriven je rasjed 1b iz promatrane zone. Mjeren je položaj 45/70/90/reversni.

U većem izdanku rasjeda 1b uz Učku (2) u T88 mjerен je položaj 45/70/90/reversni (slika 8.22b). Rasjedi unutar zone Trst–Učka–otok Susak (1) predstavljeni su vlastitim zonama. Izdvajaju se najveći izdanci u kojima su mjereni slijedeći položaji: 21/75/140/reversni lijevi (T75, slika 8.23), 50/20/90/reversni (T76, slike 8.24 i 8.25a), 120/75/135/reversni lijevi (T1, slika 8.25b), 60/75/70/reversni desni (T80, slika 8.26a) i 30/80/100/reversni lijevi (T151, slika 8.26b).

Strukturnu jedinicu Ćićarija–Učka (2) odvaja od jedinice Kras–Brkini (1) zona rasjeda Vodice–Mune–Opatija–Crna Punta (2). Rasjedi iz zone širine do 300 m jesu reversni vergencije prema SSI. Nagibi rasjeda iznose 45–70°. Duž zone rasjeda najčešći su strmi obronci reljefa. Kod Vodica zatvara krško polje s južne strane. Osobito su dostupni izdanci rasjeda uz cestu Žejane–Lisina. Izdvajaju se primjeri izdanaka rasjeda položaja: 225/70/100/reversni lijevi (T43, slika 8.27), 202/70/75/reversni desni (T43, slika 8.28a) i 215/45/95/reversni lijevi (T42, slika 8.28b).

U strukturnom sklopu naročito se ističu velike uzdignute reversne strukture (prilog 2). Najuzdignutije jesu Ćićarija (1) i Učka (2). Unutar struktura postoje nizovi reversnih rasjeda suprotnih vergencija. To omogućava odvojiti tri–četiri niza lokalnih struktura. Pojedini u okruženju obuhvaćaju najuzdignutije dijelove reljefa. Neposredno u dodirnom prostoru regionalnih strukturnih jedinica pruža se velika struktura Buje–Buzet–Lupoglav (3). Znatno se odražava u reljefu, kao i rasjedi koji se pružaju njezinim krilima. Njezino uzdizanje i ocrtavanje u prvim kilometrima dubine (slika 2) posljedica su izražene kompresije prostora. Velika uzdignuta struktura Tar–Pazin–Orič–Podpičan (4) relativno se slabije odražava u reljefu. Dio je Jadranske mikroploče (1) i oblikuje se zbog nadiranja mikroploče prema jedinici Adriatik (2), koja se odupire pomacima. Od rasjeda koji graniče velikim uzdignutim reversnim strukturama najprije se izdvaja rasjed Lipik–Lanišće–Brgudac–Vela Učka (3). Pruža se duž najuzdignutijih dijelova Ćićarije (1) i Učke (2). Odražava se u reljefu strmim obroncima i strmcima. Predstavljen je zonom širine do 150 m, a uključujući i ogranke između Lipika i Lanišća do 500 m. Rasjedi iz zone imaju vergenciju prema JZ i nagibe u točkama motrenja 50–65°. Važni izdanci nađeni su između Bresta i Lanišća. Izdvojena su dva izdanka rasjeda iz zone u kojima su mjereni položaji: 40/50/105/reversni lijevi (T30, slika 8.29) i 20/65/20/reversni desni (T23, slika 8.30).

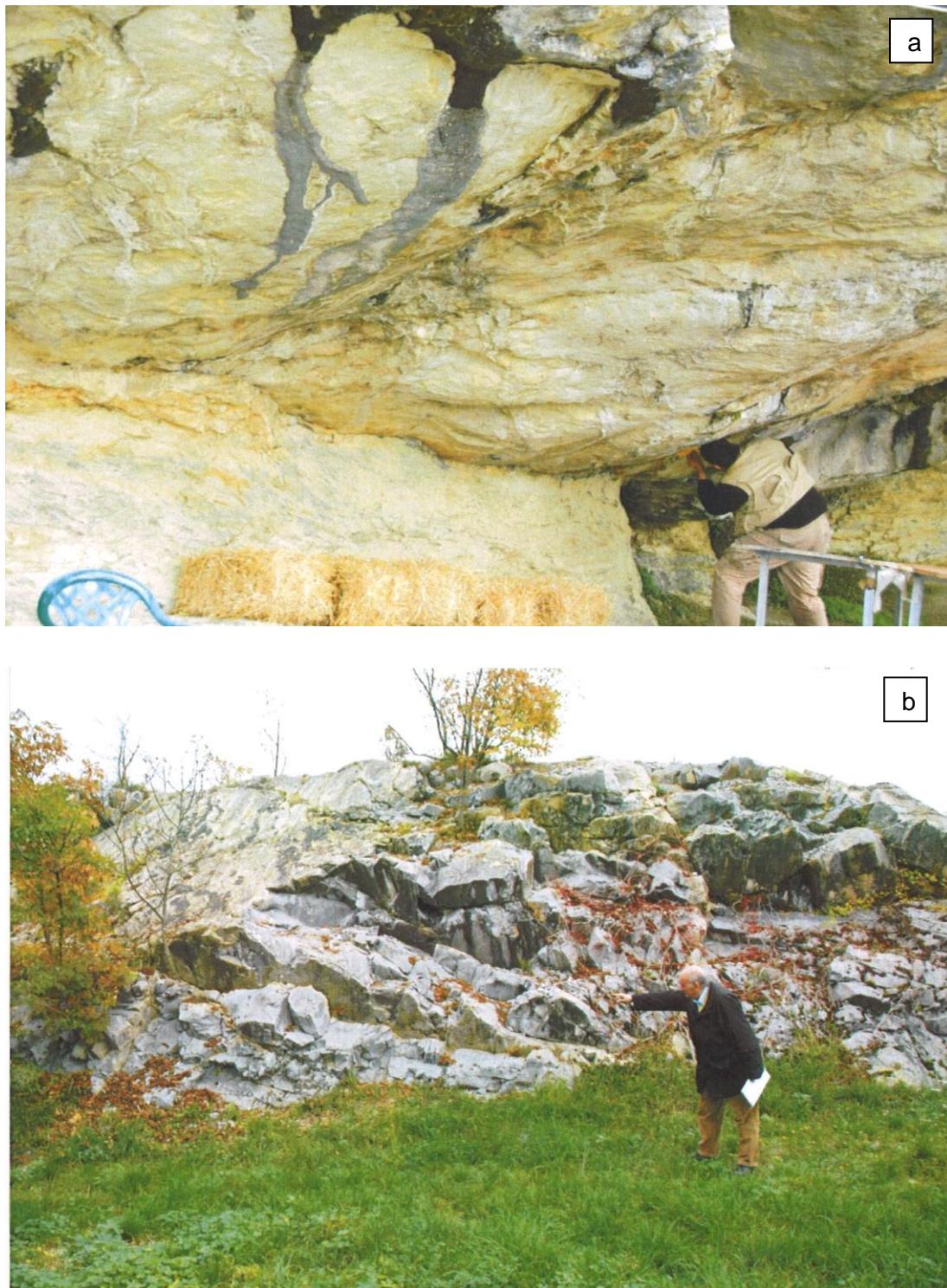
Rasjed Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4) pruža se duž sjevernog krila velike strukture Buje Buzet–Lupoglav (3). Duž te strukture stijene veće gustoće približile su se površini koja je većinom izgrađena iz karbonatnih stijena. Rasjed je predstavljen zonom reversnih rasjeda vergencije prema S, koja dosiže širinu do 500 m. Najčešći su strmi nagibi: 80-85°, rjeđe 50° i 60°. Duž zone poznati su izvori i ponori. U reljefu se duž rasjeda pojavljuju strmi obronci i strmci (slika 8.31). U zoni su zamijećeni paralelni rasjedi, ali i snopovi rasjeda različitog nagiba. Najprije se ističu tri zone paralelnih rasjeda: u T64 položaja 185/85/90/reversni (slika 8.32a), 155/85/104/reversni lijevi (T126, slika 8.32b) i 165/85/10/reversni desni (T66, slika 8.33). Potonji položaj je važan zbog blagog nagiba kuta zakosa strija, što je posljedica retrogradne rotacije dijela strukture. Važan je i nalaz rasjeda položaja 245/68 u čijoj je zoni vidljiv "zjap" ili otvaranje prostora. Rasjed je lociran unutar izdanka rasjeda 1a promatrane zone (T118, slika 8.34). Od glavnog rasjeda 1b izdvajaju se dva izdanka: kod sela Čepić u T106 položaja 175/85/95/reversni lijevi (slika 8.35a) i kod sela Juričići u T116 položaja 210/75/65/reversni desni (slika 8.35b).



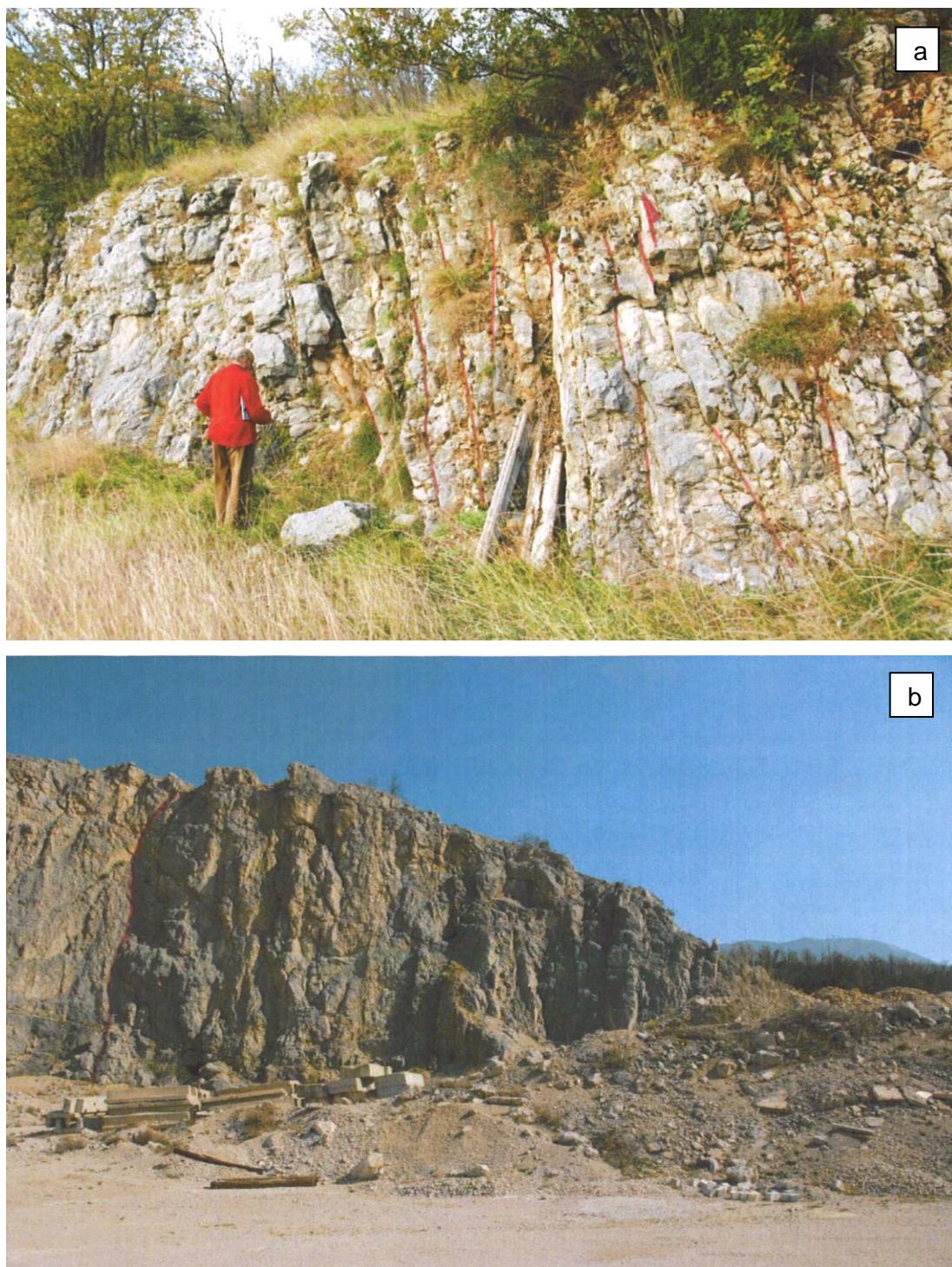
Slika 8.23. Unutar zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) postoji slijed od nekoliko reversnih rasjeda. Pojedini se na površini spajaju s glavnim rasjedima iz zone. **a)** T75. Roč, željeznička pruga. Rasjed se nalazi u vapnencima. **b)** Vrlo izražene strije pokazuju položaj 21/75/140/reversni lijevi.



Slika 8.24. a) T76. Selo Hlaji. Najveći izdanak rasjeda iz promatrane zone nalazi se na kontaktu flišne naslage–vapnenci. Zbog prisutne izražene kompresije prostora i rotacije dijelova strukture rasjed je na spomenutom kontaktu blago nagnut. Uslijed reversnog pomaka duž kontakta nastala je spilja. b) Strje pokazuju položaj rasjeda 50/20/90/reversni.



Slika 8.25. a) T75. Selo Hlaji. Detalj spilje duž kontakta flišne naslage–vapnenci. b) T1. Izlaz iz tunela Učka. U izdanku je vidljiva zona paralelnih rasjeda položaja 120/75/135/reversni lijevi.



Slika 8.26. Pojedini rasjedi unutar zone Trst–Učka–otok Susak (1) predstavljeni su relativno širokim vlastitim zonama pretežito paralelnih rasjeda. Ističu se dva primjera. **a)** T80. Željeznička postaja Vranja. Mjeren je položaj 60/75/70/reversni desni. **b)** T159. Kamenolom Vranja. Mjeren je položaj 30/80/100/reversni lijevi.



Slika 8.27. RASJED VODICE – MUNE – OPATIJA – CRNA PUNTA (2) graniči strukturnim jedinicama Kras–Brkini–(1) i Ćićarija–Učka (2). Predstavljen je zonom širine do 300m. Rasjedi iz zone su reversni, vergencije prema SSI. U nekoliko otkrivenih izdanaka zapažaju se paralelni rasjedi koji čine zasebne zone. Odražavaju se u reljefu strmim obroncima osobito duž ceste za Lisinu i oko Vodica. U T43 uz cestu Žejane–Lisina otkrivena su dva rasjeda položaja 255/70/160/reversni lijevi. U njihovim zonama nalazi se glina, što je znak aktivnosti rasjeda.



Slika 8.28. a) T43. Cesta Žejane–Lisina. U izdanku je vrlo izražena zona paralelnih rasjeda. To je jedan od glavnih rasjeda koji čini zonu Vodice–Mune–Opatija–Crna Punta (2). Mjeran je položaj 202/70/75/reverrsni desni. b) T42. Cesta Žejane–Lisina. U krovinskom krilu postoji strmac u reljefu. Mjeran je položaj 215/45/95/reversni lijevi.

PRIMJERI RASJEDA KOJI GRANIČE VELIKIM UZDIGNUTIM STRUKTURAMA



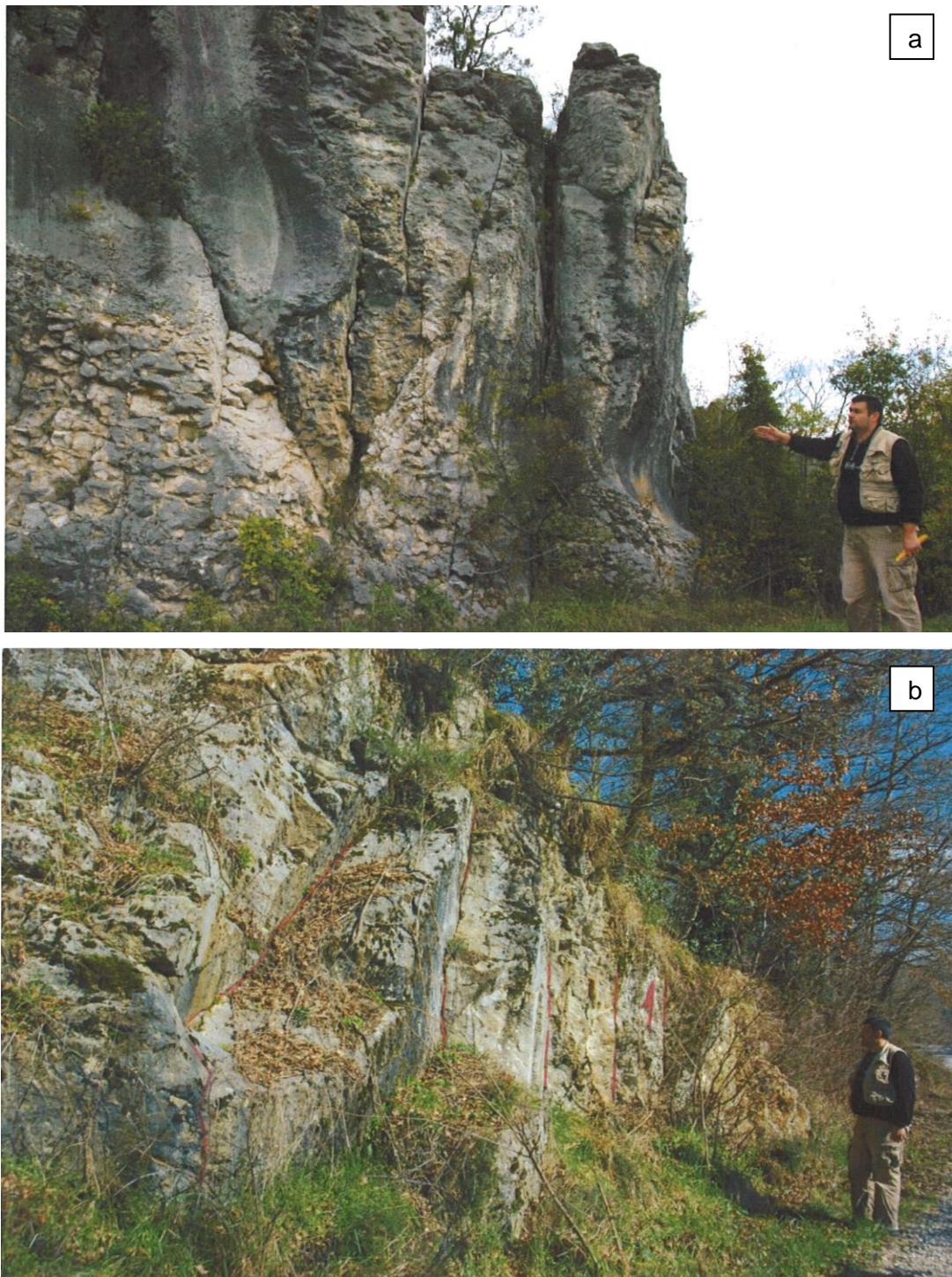
Slika 8.29. RASJED LIPNIK–LANIŠĆE–BRGODAC–VELA UČKA (3) graniči najuzdignutijim dijelovima velikih struktura Ćićarije (1) i Učke (2). Odražava se u reljefu strmim obroncima i strmcima duž obuhvaćene trase. Predstavljen je zonom širine do 150m. Značajno je pojavljivanje nekoliko ogranaka osobito između Lipnika i Lanišća. To primjerice na SI strani polja Lanišće proširuje zonu do 500m. Rasjedi imaju vergenciju prema JZ, te uz Učku prema Z. Dobar izdanak glavnog rasjeda otkriven je u selu Klenovščak (T30). Strije pokazuju položaj 40/50/105/reversni lijevi.



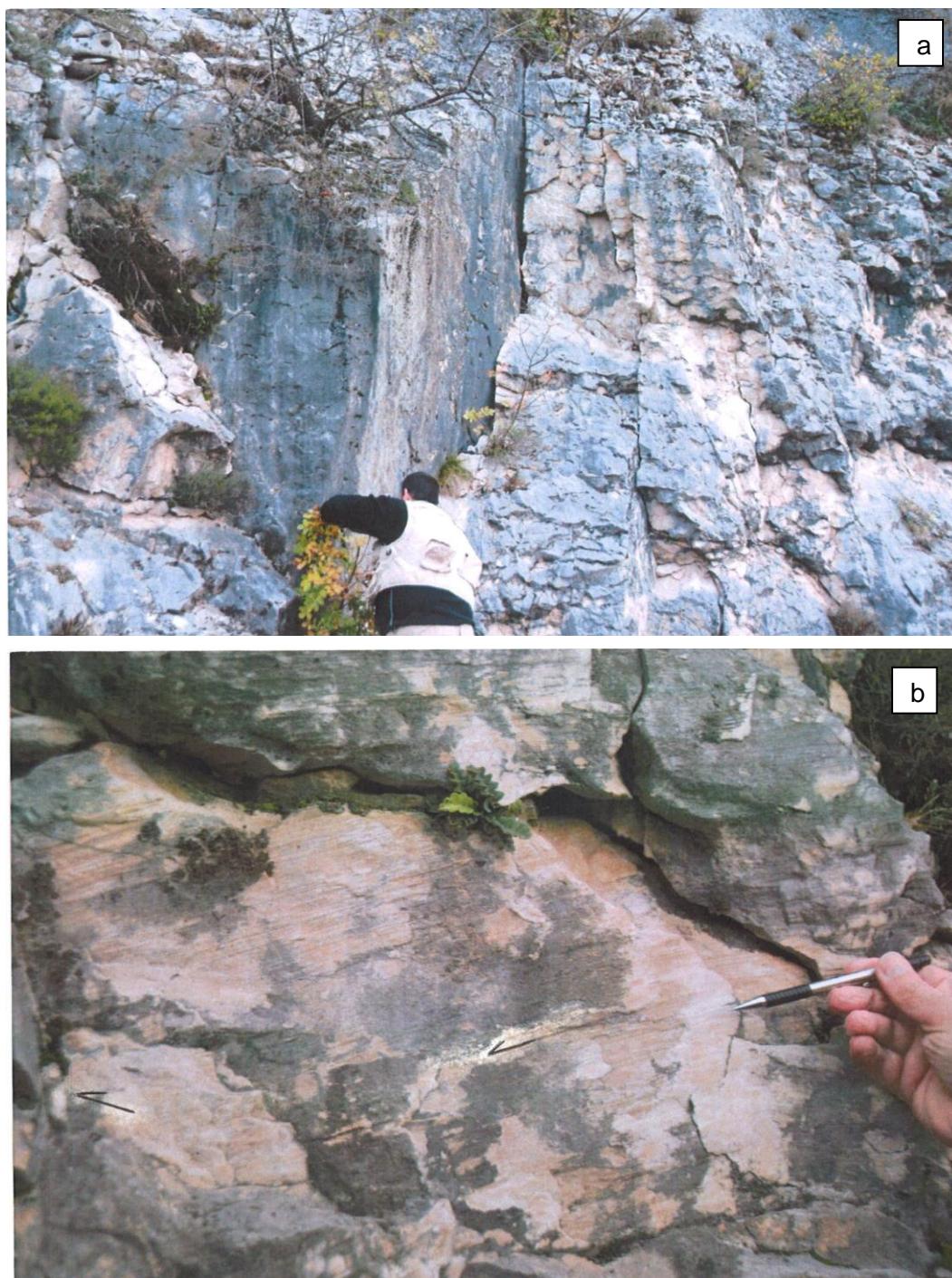
Slika 8.30. **a)** T23. Cesta Brest–Dane. Izdanak ogranka razmatranog rasjeda. Razabire se manja zona paralelnih rasjeda; **b)** Na otvorenoj paraklazi strije pokazuju položaj 20/65/20/reversni desni.



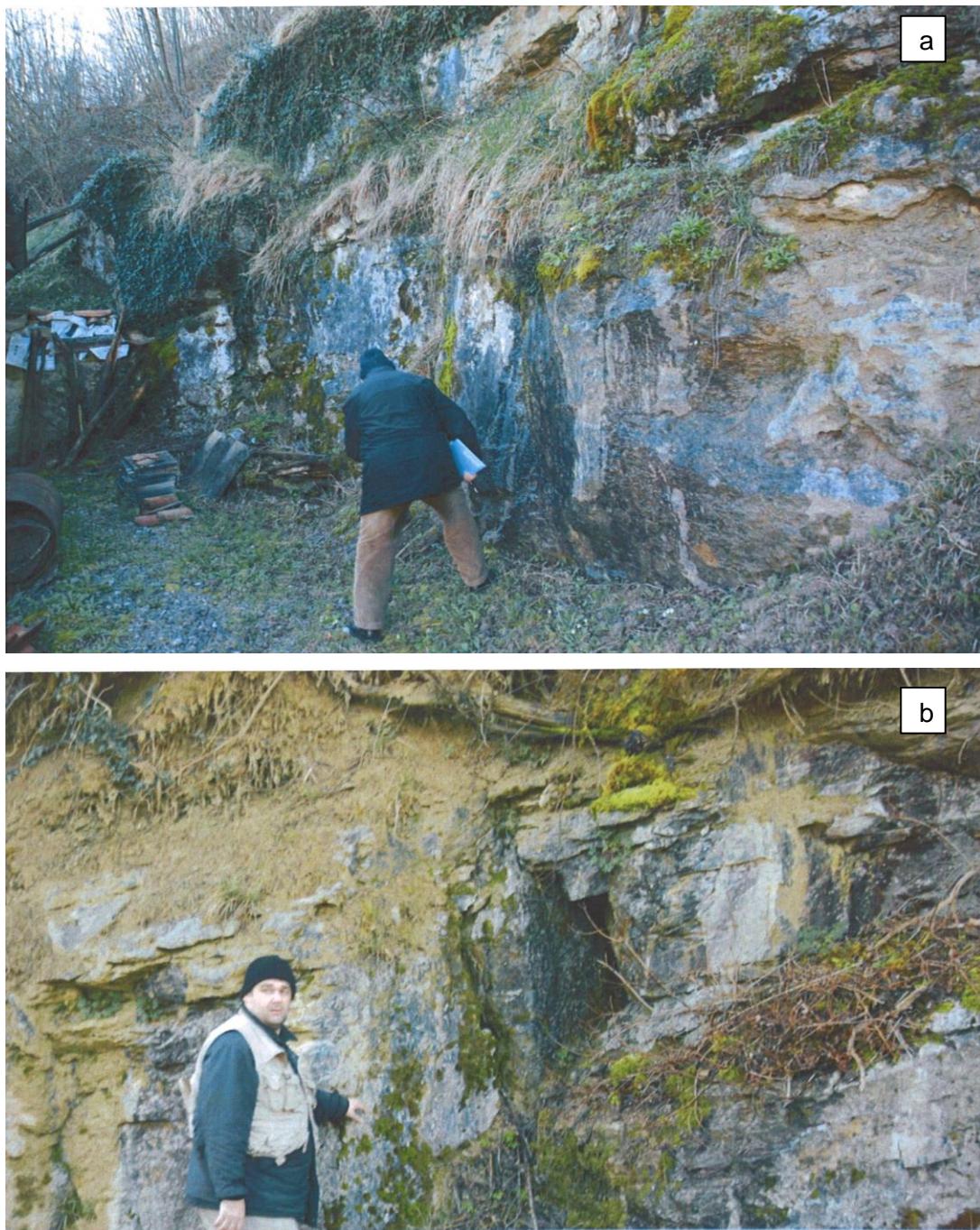
Slika 8.31. RASJED DRAGONJA–ČEPIĆ–BUZET-ROČKO POLJE–LUPOGLAV (4) se pruža duž sjevernog krila velike reversne strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3). Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema S, te između Ročkog polja i Dolenje Vasi prema Sl. Širina zone kod Buzeta dosiže 500m. Duž zone poznati su izvori i ponori. U reljefu se očrtava strmim obroncima. Osobito se ističe izraženi strmac zapadno od Buzeta na ulazu u suženu dolinu rijeke Mirne (T64).



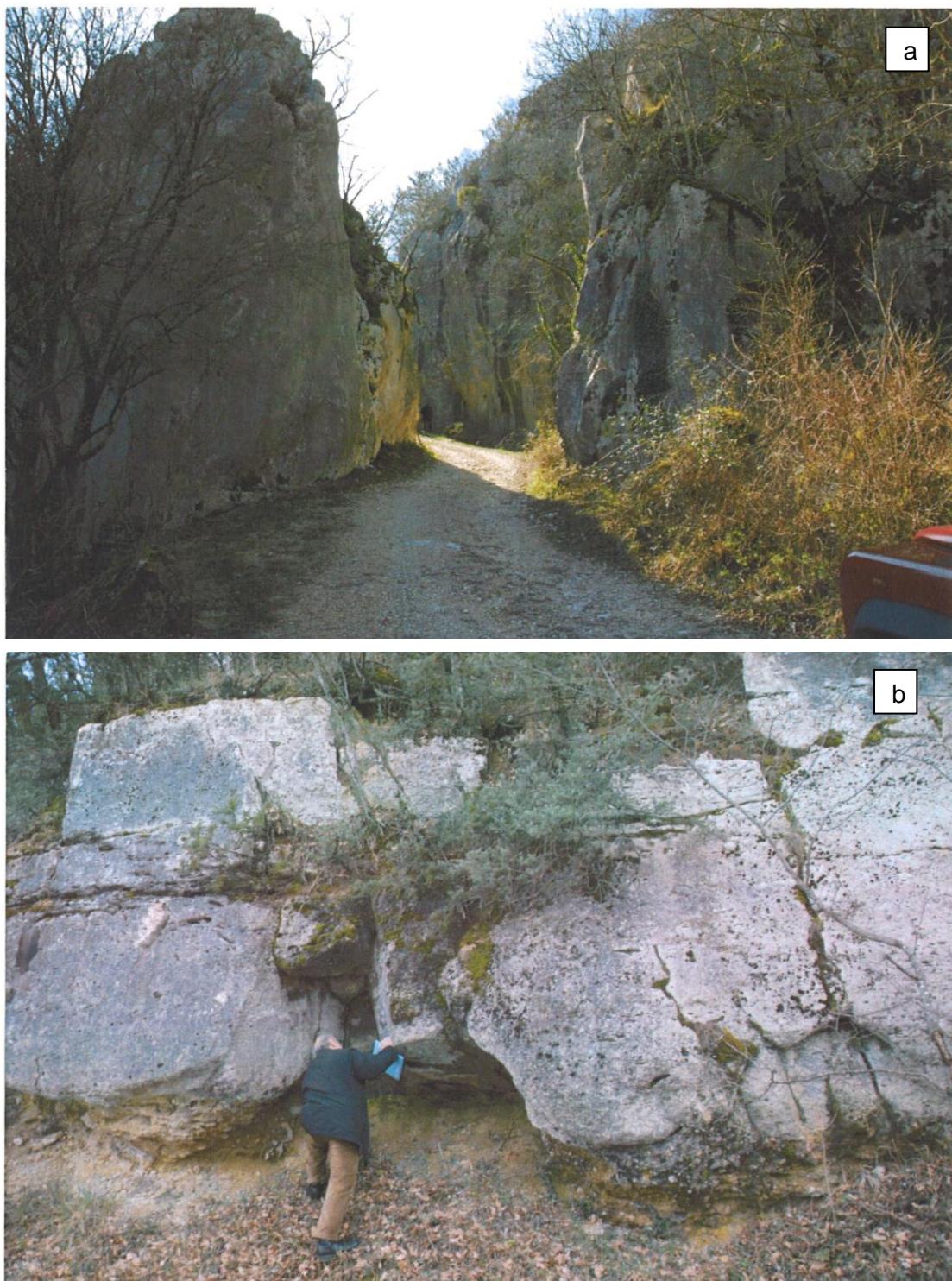
Slika 8.32. **a)** T64. Cesta Buzet–Istarske Toplice. U strmcu u vapnencima rasjedi imaju položaj 185/85/90/reversni. **b)** T126. Cesta od kamenoloma Veliki Kuk–Čiritež. Dobar izdanak paralelnih rasjeda iz promatrane zone. Mjeran je položaj 155/85/104/reversni lijevi.



Slika 8.33. a) T66. Cesta za selo Mlun. Relativno veliki izdanak rasjeda 4a iz promatrane zone. Radi se o zoni nekoliko paralelnih rasjeda. **b)** Strije pokazuju položaj 165/85/10/reversni desni. Posebno je važno istaknuti neočekivano blagi i to promjenljivi nagib kuta zakosa strija (strjelice). S obzirom na položaj rasjeda zaključuje se da pomak krovinskog krila rasjeda zapravo ukazuje na prisutnu retrogradnu rotaciju dijela strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3).



Slika 8.34. a) T118. Selo Marinci. Još jedan izdanak rasjeda 1a položaja 185/65. b)
Izdanak je izdvojen zbog još jednog rasjeda položaja 245/68 u čijoj je zoni vidljiv „zjap“ ili
otvaranje prostora. Pojava je važna u tumačenju moguće cirkulacije podzemne vode.



Slika 8.35. U više točaka motrenja nađeni su izdanci glavnog rasjeda 1b iz zone Dragonje–Ćepić–Buzet–Ročko polje–Lupoglav; **a)** T106. Selo Ćepić. U krovinskom krilu rasjeda u vapnencima nalazi se istaknuti strmac u reljefu. Mjeren je položaj 175/85/95/reversni lijevi. **b)** T116. Selo Juričići uz cestu Buzet–Marinci. U vapnencima flišnih naslaga rasjed se pruža paralelno izdanku. Ima položaj 210/75/65/reversni desni.

Upravo oko sela Juričići uz cestu Buzet–Marinci rasjedi iz zone Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4) presijecaju flišne naslage. U izdancima su otkriveni paralelni rasjedi i snopovi rasjeda. Mjerenja pokazuju slijedeće položaje: 210/65 i 42/50/120/reversni lijevi (T120, slika 8.36), te 220/80/90/reversni (T117, slika 8.37).

Duž južnog krila velike uzdignute strukture pruža se rasjed Buje–Istarske Toplice–Brnobići–Dolenja Vas (5). Predstavljen je zonom širine do 500 m. Mjereni su nagibi između 45° i 75° . U zoni se nalaze Istarske Toplice i veliki izvor Bulaž. Odražava se strmim reljefom osobito između Buja i Istarskih Toplica, te sjeverno od sela Vrh. Kod Toplica u T70 postoji izraženi strmac u reljefu. Mjeren je i rasjed položaja 325/70/50/reversni desni (slika 8.38). Još se ističu dva izdanka rasjeda: kod sela Santa Lucia, gdje je mjeren položaj 15/75/15/reversni desni (T102, slika 8.39a) i sela Brnobići položaja 30/45/120/reversni lijevi (slika 8.39b).

Od rasjeda koji se pružaju krilima velikih uzdignutih struktura još se ističe rasjed Vižinada–Karojba–Pazin–Podpičan (6). Važan je i u hidrogeološkom smislu, jer približno obilježava južnu granicu rasprostranjenosti flišnih naslaga. Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema SSI i širine mjestimice do 500 m. U reljefu su duž zone manje izraženi strmi obronci osim oko Podpična. Ipak, na više mjesta zonu prate duboko usječene doline. U primjeru izdanka rasjeda u T90 mjeren je položaj 240/65/30/reversni desni (slika 8.40). Najbolji izdanci nađeni su u Pazinu. U T100 predstavljen je jedan od rasjeda iz zone položaja 225/60/100/reversni lijevi (slika 8.41).

U klasifikaciji lokalnih struktura najprije su izdvojene važnije, zapravo relativno veće lokalne uzdignute strukture duž čijih se krila pružaju reversni rasjedi suprotnih vergencija koji se znatno jasnije ocrtavaju u reljefu od ostalih reversnih rasjeda graničnih lokalnim strukturama (prilog 2).

U dijelu strukturne jedinice Kras–Brkini (1) izdvojena je jedna važnija struktura s najistaknutijim dijelom sjeverno od Vodica i Muna. Unutar strukturne jedinice Istre između Kopra–Poreča–Buzeta–Kanfanara i Raše (3 u prilogu 2) razlikuje se pet važnijih reversnih struktura. Unutar njih postoji najistaknutiji dijelovi duž čijih se krila pružaju reversni rasjedi suprotnih vergencija. Također su uočeni nizovi pratećih rasjeda osobito južno od doline Mirne, te uz više manjih lokalnih reversnih struktura.

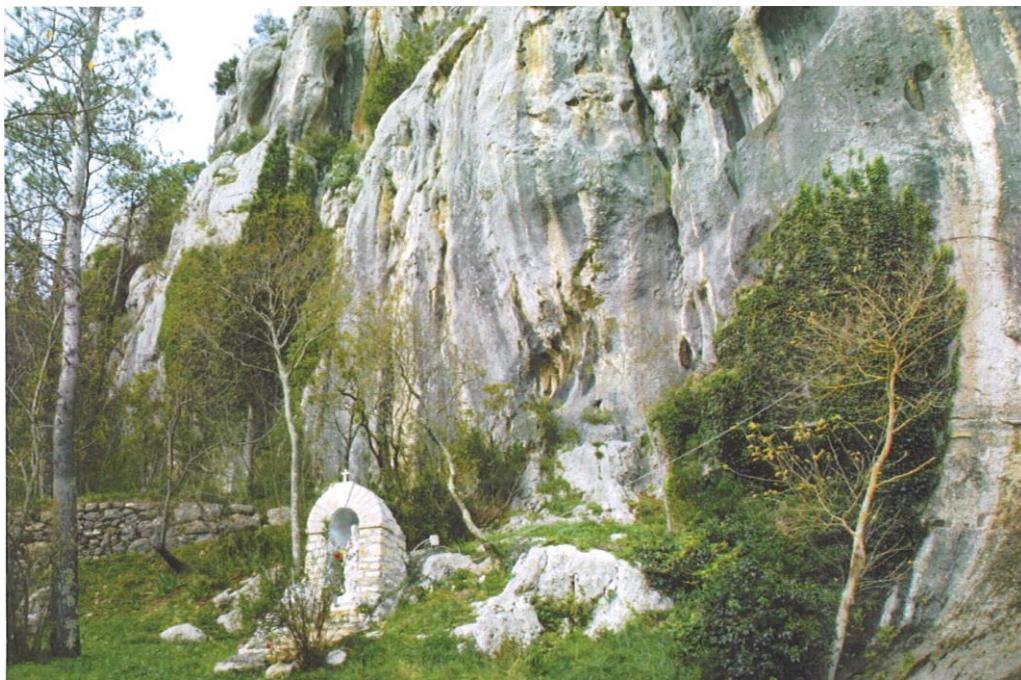
Rasjedi koji se pružaju duž važnijih lokalnih uzdignutih reversnih struktura uvijek su predstavljeni zonama različite širine. Od rasjeda vergencije prema JZ i J otkriveni su veći izdanci koji graniče strukturi Žabnik–Mune (1). U T40 mjerен je položaj rasjeda 30/75/95/reversni lijevi (slika 8.42a). U T51 paralelni rasjedi u zoni imaju položaj 350/85/130/reversni lijevi (slika 8.42b). Najbolji izdanak rasjeda vergencije prema JZ pruža se duž strukture Krasica-Oprtalj (2). U T111 mjerен je položaj 60/80/105/reversni lijevi (slika 8.43). Od rasjeda vergencije prema SI zanimljiv je izdanak otkriven u T135 kod Boljuna. Uz rasjed položaja 220/55 nalazi se prebačena bora, što je znak kompresije prostora (slika 8.44).



Slika 8.36. Uz cestu Buzet–Marinci postoji veliki izdanak flišnih naslaga. Rasjed iz promatrane zone presijeca naslage. Najvažnija su dva podatka. Najprije rasjed 1b ima vlastitu zonu. U izdancima su nađeni rasjedi različitog nagiba i vergencije. To znači da se zona sastoji iz snopa reversnih rasjeda s postojanjem rasjeda vergencije prema S i njihovih ogrankova. **a)** T120. Dva paralelna rasjeda imaju položaj 210/65. **b)** U istoj točki motrenja vrlo je uočljiv rasjed položaja 42/50/120/reversni lijevi. Razabire se i svijanje naslaga u krovinskom krilu.



Slika 8.37. a) T117. Cesta Buzet–Marinci. Paralelni rasjedi imaju položaj 220/80/90/reversni. Svijaju se duž nagiba. b) U istom izdanku zapaža se snop rasjeda iz promatrane zone 1b koji presijeca flišne naslage. Uočljivi su odnosi pojedinih ogranača najdonjeg rasjeda.



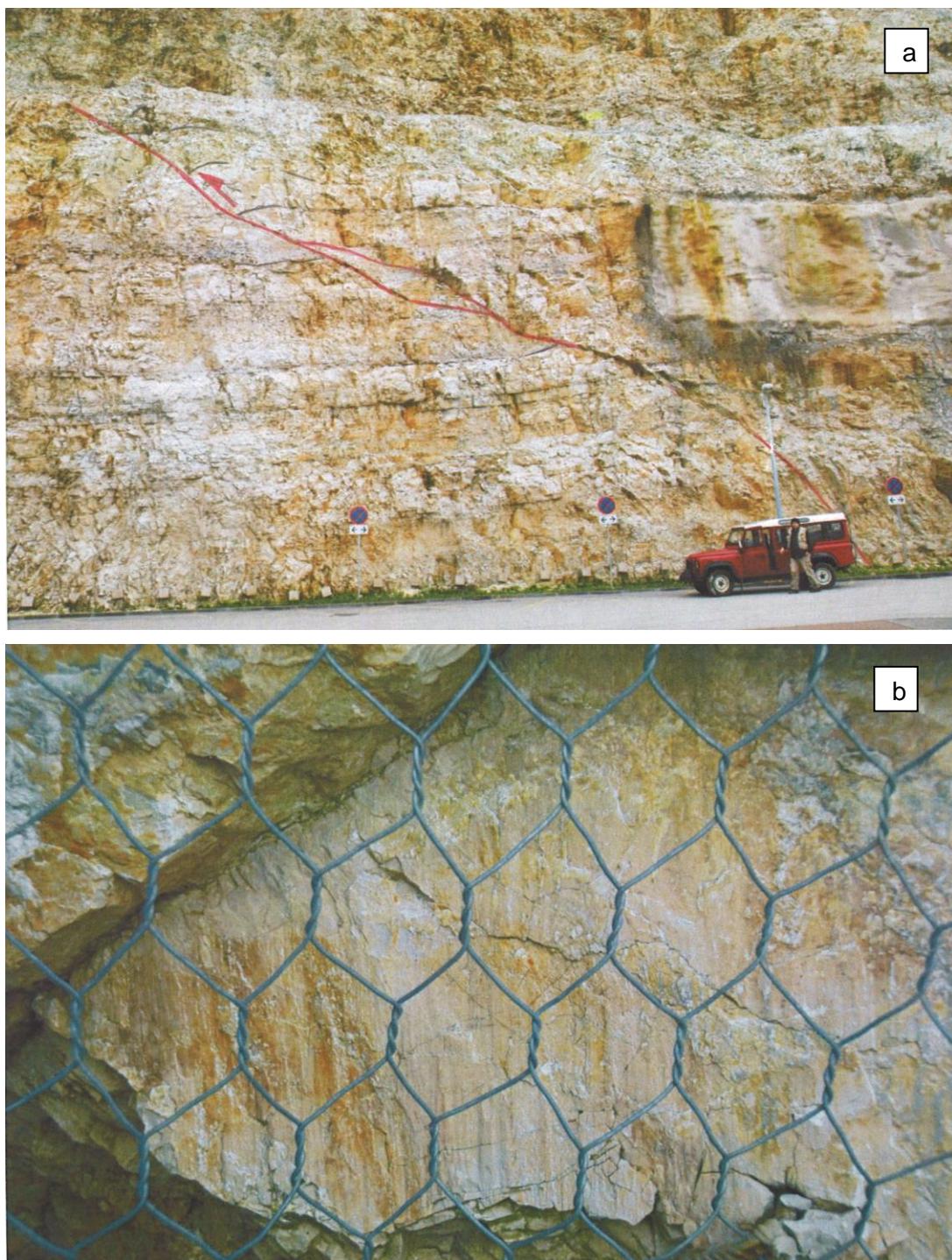
Slika 8.38. RASJED BUJE–ISTARSKE TOPLICE–BRNOBIĆI–DOLENJA VAS (5) se pruža južnom granicom velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3). Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema J i JZ. Zona je promjenljive širine, naviše do 500m. Odražava se u reljefu strmim obroncima osobito između Buja i Istarskih Toplica, ali i sjeverno od sela Vrh. T70. Istarske Toplice. U reljefu je uočljiv strmac, koji je nastao uzdizanjem vapnenaca u krovinskom krilu. Rasjed se pruža podnožjem strmca. Mjeren je položaj 325/70/50/reversni desni.



Slika 8.39. a) T102. Santa Lucija. Razabire se velika paraklaza glavnog rasjeda 5a u zdrobljenoj zoni. Mjeren je položaj 15/75/15/reversni desni. Blagi kut zakosa strija ukazuje na rotaciju dijela velike uzdignite strukture. **b)** T129. Selo Brnobići. Izdanak rasjeda nalazi se na kontaktu vapnenci – flišne naslage. Rasjed ima položaj 30/45/120/reversni lijevi.

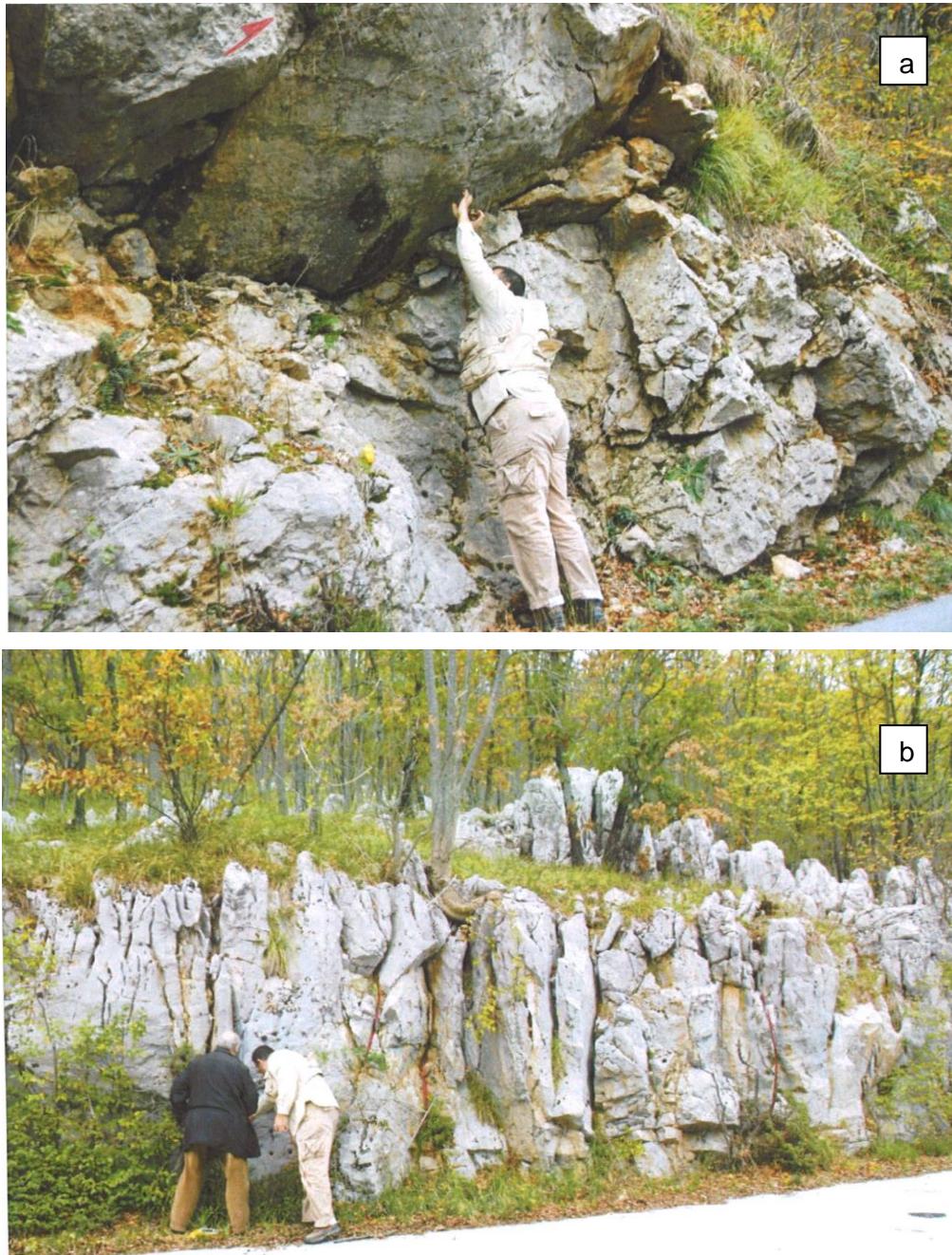


Slika 8.40. RASJED VIŽINADA–KAROJBA–PAZIN–PODPIĆAN (6) se pruža duž SSI krila velike strukture Tar–Pazin–Orič–Podpićan (4). Ujedno on približno obilježava i južnu granicu rasprostranjenosti flišnih naslaga. Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema SSI i širine mjestimice do 500m. U reljefu su u zoni manje izraženi strmi obronci osim oko Podpićna. Ipak, na više mjesta zonu prate duboko usječene i ravnocrnne doline npr. vrlo izraženo kod Vižinade, Pazina i zapadno od Podpićna. Dobar izdanak rasjeda nalazi se u T90 kod Podpićna. Mjeren je položaj 240/65/30/reversni desni.



Slika 8.41. a) T100. Pazin. Osobito dobri izdanci promatranog rasjeda nalaze se u Pazinu. U manjem kamenolomu zacrtan je rasjed koji siječe slojeve koji se u krilima svijaju. b) Na otvorenim paraklazama strije pokazuju položaj (mjeren u razini ceste) 225/60/100/reversni lijevi.

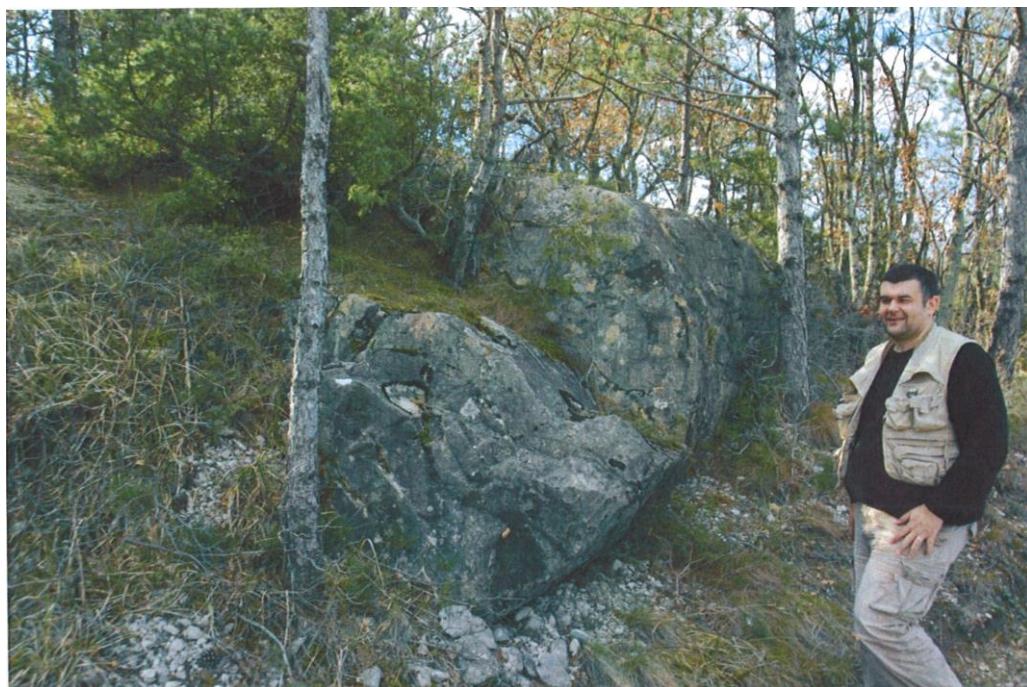
PRIMJERI RASJEDA KOJI GRANIČE VAŽNIJIM LOKALNIM UZDIGNUTIM STRUKTURAMA



Slika 8.42. Rasjedi su reversni, vergencije prema JJZ i SSI. Uvijek su predstavljeni zonama različite širine. Odražavaju se i u reljefu strmim obroncima osobito na stranama dolina ili pružanjima odsječenih dolina. Najprije se izdvajaju rasjedi koji graniče strukturi Žabnik–Mune (1). **a)** T40. Cesta Perka–Žejane. U izdanku rasjed ima vergenciju prema JZ. Mjerjen je položaj 30/75/95/reversni lijevi. **b)** T51. Cesta Mane–Vodice. Rasjed je predstavljen relativno širom zonom. Paralelni rasjedi imaju položaj 350/85/139/reversni lijevi.



Slika 8.43. Najbolji izdanak rasjeda koji se pruža duž strukture Krasica – Optalj (2) nalazi se u kamenolomu u dolini rijeke Mirne. Uočavaju se strmo nagnuti rasjedi koji čine zonu širine do 20m. Vergencija ili pomaci krovinskih krila jesu prema JZ. Vidljivo je i svijanje rasjeda duž nagiba. Mjerena je položaj rasjeda 60/80/105/reversni lijevi (T111).



Slika 8.44. Od rasjeda vergencije prema SSI izdvaja se izdanak kod Boljuna (T135). Izdanak je zanimljiv, jer se u krovinskom krilu rasjeda nalazi prebačena bora koju čine vapnenci. Pojava bore znak je izražene kompresije prostora. Rasjed ima položaj 220/55.

U obuhvaćenom strukturnom sklopu prevladavaju reversni rasjedi koji graniče lokalnim uzdignutim strukturama i njihovim najistaknutijim dijelovima (prilog 2). U Ćićariji (1) nalaze se nizovi reversnih rasjeda pretežite vergencije prema JZ. Nižu se na relativno malim razmacima, što upućuje da se pojedini spajaju u dubini. Sigurno ima i ogranaka najvažnijih rasjeda sklopa. U Učki (2) dominiraju reversni rasjedi vergencije prema Z. U području Adriatika (2) osobito unutar lokalnih struktura također postoje nizovi reversnih rasjeda, što upućuje da se pojedini od njih spajaju u dubini ili su ogranci većih rasjeda ili zona. Terenskim kartiranjem (prilog 1) otkriven je relativno veći broj izdanaka rasjeda. Izabrani su samo najvažniji primjeri.

Najprije se ističe izdanak rasjeda u Buzetu. Sigurno je ogranač graničnog rasjeda lokalne uzdignute strukture. Mjeren je položaj 60/65/80/reversni desni (T32, slika 8.45). Od rasjeda koji imaju vergenciju prema SI izdvajaju se dva primjera. U izdanku u T110 (slika 8.47) razabire se da je rasjed položaja 210/70/35/reversni desni ogranač rasjeda položaja 345/50/140/reversni lijevi. Oba rasjeda graniče najistaknutijem dijelu lokalne strukture. Navedeni odnos je uspostavljen zbog pomaka i rotacije lokalne strukture od SSI prema SSZ. U T110 u izdanku se nalaze paralelni rasjedi položaja 235/35/55/reversni desni (slika 8.48a). Od rasjeda vergencije prema JZ izdvajaju se najprije dva primjera. Rasjed koji graniči najistaknutijem dijelu strukture Buje–Buzet–Lupoglav (4) u kamenolomu Veli Kuk (T124) ima položaj 40/80/105/reversni lijevi (slika 8.48b). Rasjed uz lokalnu strukturu kod Pićna ima položaj 30/85/reversni (slika 8.49). Dobar primjer rasjeda koji se pruža duž granice jedne od najistaknutijih lokalnih struktura u Ćićariji (1) izdvojen je u T55 položaja 65/75/145/reversni lijevi (slika 8.50). I još je važan izdanak rasjeda koji se pruža duž lokalne reversne strukture na kojoj se nalazi Buzet. Mjeren je položaj 230/75/90/reversni (T144, slika 8.51).

Unutar pojedinih struktura uočeno je pojavljivanje rasjeda različitih sustava i geneze. Rasjedi doprinose uočavanju razlomljenosti, pomaka i aktivnosti struktura. Navedeni rasjedi ne sijeku granične rasjede pojedinih struktura. Mogu biti normalni i reversni, a njihov nastanak ovisi o tektonskim pokretima, uvjetima kompresije prostora i pomacima struktura ili njihovih dijelova.

Najprije se ističu rasjedi paralelni pružanju osi struktura. Primjer reversnog rasjeda nađen je u izdanku u T34 unutar lokalne strukture na kojoj se nalazi Buzet. Mjeren je položaj 225/53/90/reversni (slika 8.52). Rasjedi paralelni osi struktura većinom su normalni. Dobar primjer izdvojen je u izdanku kod Pazina. U velikoj strukturi Tar–Pazin–Orić–Podpićan (4). Položaj rasjeda je 55/55/135/normalni lijevi (slika 8.53a). Primjer reversnog rasjeda u Optralju ima položaj 30/70/45/reversni desni (slika 8.53b). Reversni pomak krila znači izraženu kompresiju prostora.

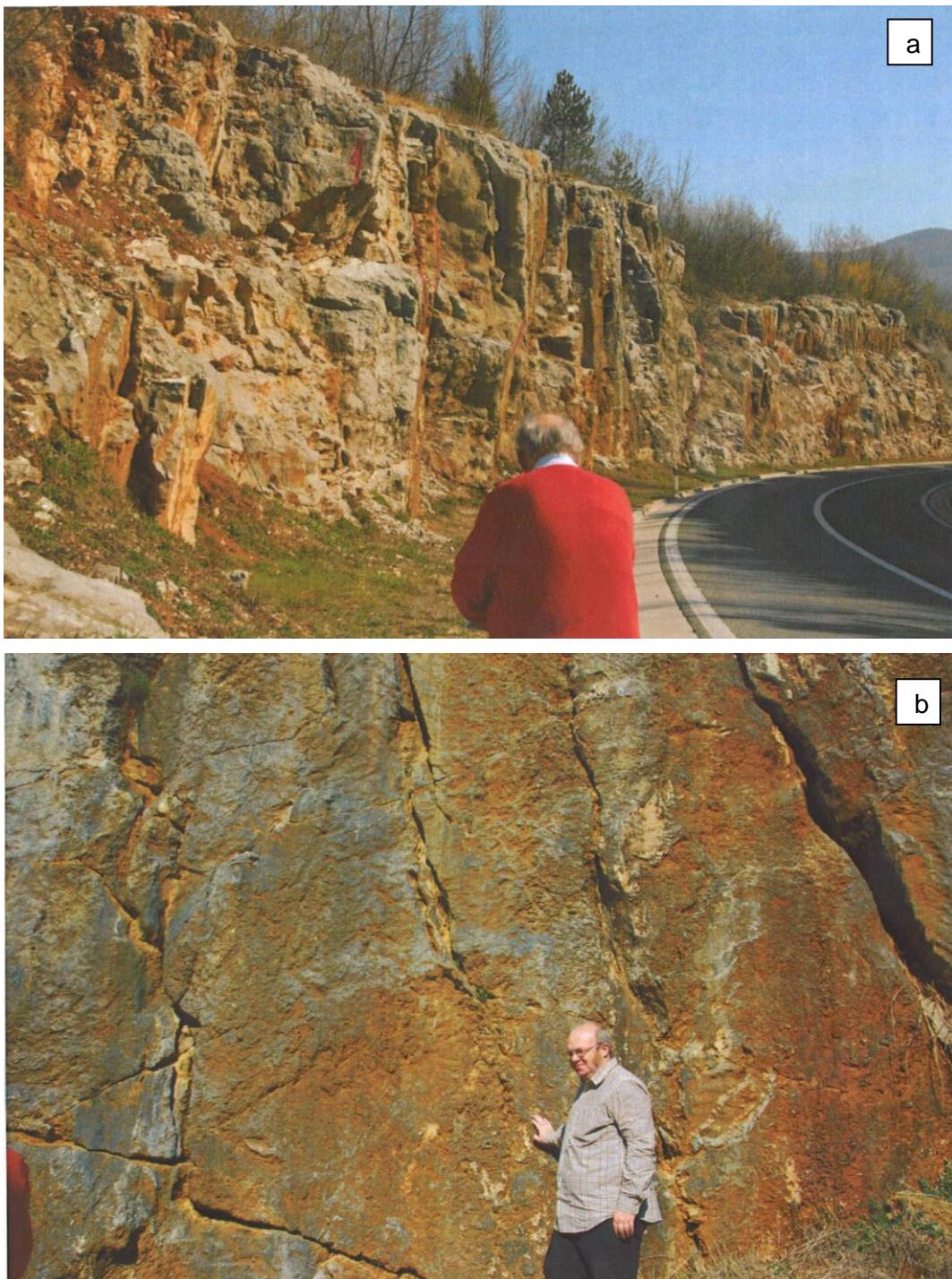
U hidrogeološkim razmatranjima važni su rasjedi paralelni orijentaciji lokalnog kompresijskog stresa. U njihovim zonama uvijek se otvaraju prostori. Većinom se radi o normalnim rasjedima. U izdanku u T90 uz južni rub Čepićkog polja nalazi se dobar primjer rasjeda položaja 300/70/normalni (slika 8.54a).

Zasebnu grupu čine rasjedi smicanja s desnim i lijevim horizontalnim pomakom krila. Prevladavaju desni rasjedi. Ipak, pouzdan primjer lijevog rasjeda smicanja nađen je u T22 kod Bresta položaja 115/70/20/normalni lijevi (slika 8.54b). Unutar nekih struktura izdvojeni su i ogranci rasjeda koji se pružaju duž struktura. Izabran je primjer u T147 koji se nalazi unutar važnije lokalne strukture Draguč–Boljun (5). U flišnim naslagama rasjed je položaja 80/40/70/reversni desni (slika 8.55).

PRIMJERI RASJEDA KOJI GRANIČE LOKALNIM UZDIGNUTIM STRUKTURAMA I NJIHOVIM NAJISTAKNUTIJIM DIJELOVIMA



Slika 8.45. Rasjedi su reversni. Duž najistaknutijih dijelova lokalnih struktura pružaju se reversni rasjedi suprotnih vergencija. Uvijek su pretstavljeni zonama. Obično se spajaju u dubini. Pojedini rasjedi mogu biti ogranci najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa, a i sami mogu imati ogranke. Potonji primjer otkriven je u Buzetu. U T32 pješčenjaci fliša nalaze se u rasjedu. Nađene strije na paraklazama pokazuju položaj 60/65/80/reversni desni. To znači da je vergencija ili pomak krovinskog krila prema JZ.



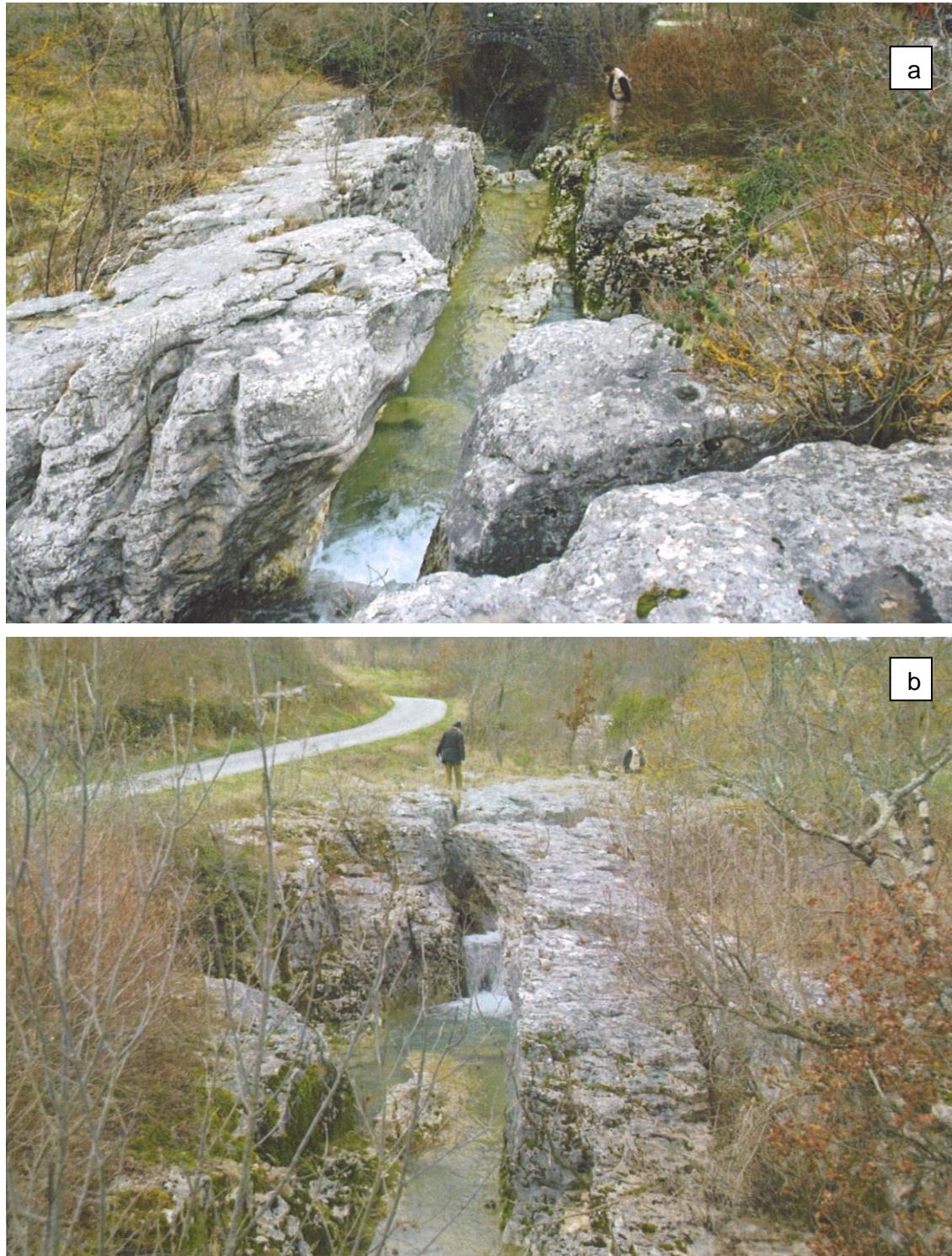
Slika 8.46. Osobito dobar primjer reversnog rasjeda vergencije prema J otkriven je u izdanku u T148 kod sela Srednji Dol (Lupoglav). **a)** U izdanku se nalazi zona paralelnih rasjeda vrlo strmog nagiba. Mjeren je položaj 330/80/80/reversni desni; **b)** Posebno se na otvorenim paraklazama ističu brojne pukotine. One su paralelne s orientacijom lokalnog kompresijskog stresa. To su novonastale pukotine koje ukazuju na prisutnu tektonsку aktivnost.



Slika 8.47. Od rasjeda koji se pružaju duž lokalnih uzdignutih struktura i imaju vergenciju generalno prema SI izabrana su dva primjera. a) T86. Most preko Boljunščice Z od sela Šušnjevica. Primjer sučeljavanja dva rasjeda suprotnih vergencija koji se pružaju duž lokalne strukture. Zbog pomaka i rotacije strukture rasjed b je ogrank rasjeda a. Položaji rasjeda jesu: a – 210/70/35/reversni desni i b – 345/50/140/reversni lijevi. b) Strije na rasjedu b.



Slika 8.48. a) T110. Cesta Buje – Dolina Mirne. U izdanku dva rasjeda vergencije prema SI imaju položaj 235/35/55/reversni desni; b) Od reversnih rasjeda vergencije prema JZ najprije se izdvaja izdanak zone rasjeda koja se pruža duž najistaknutijeg dijela velike uzdignute reversne strukture Buje – Buzet – Lupoglav (4). Položaj rasjeda iz zone iznosi 40/80/105/reversni lijevi (T124, kamenolom Veli Kuk).



Slika 8.49. Primjer reversnog rasjeda koji se pruža duž najistaknutijeg dijela lokalne strukture kod Pićna (T94). Važno je istaknuti da zonom rasjeda protječe Grajanski potok. Također, zona rasjeda i potok nalaze se u duboko usječenoj, ravnocrnoj dolini. Mjeren je položaj rasjeda 30/85.

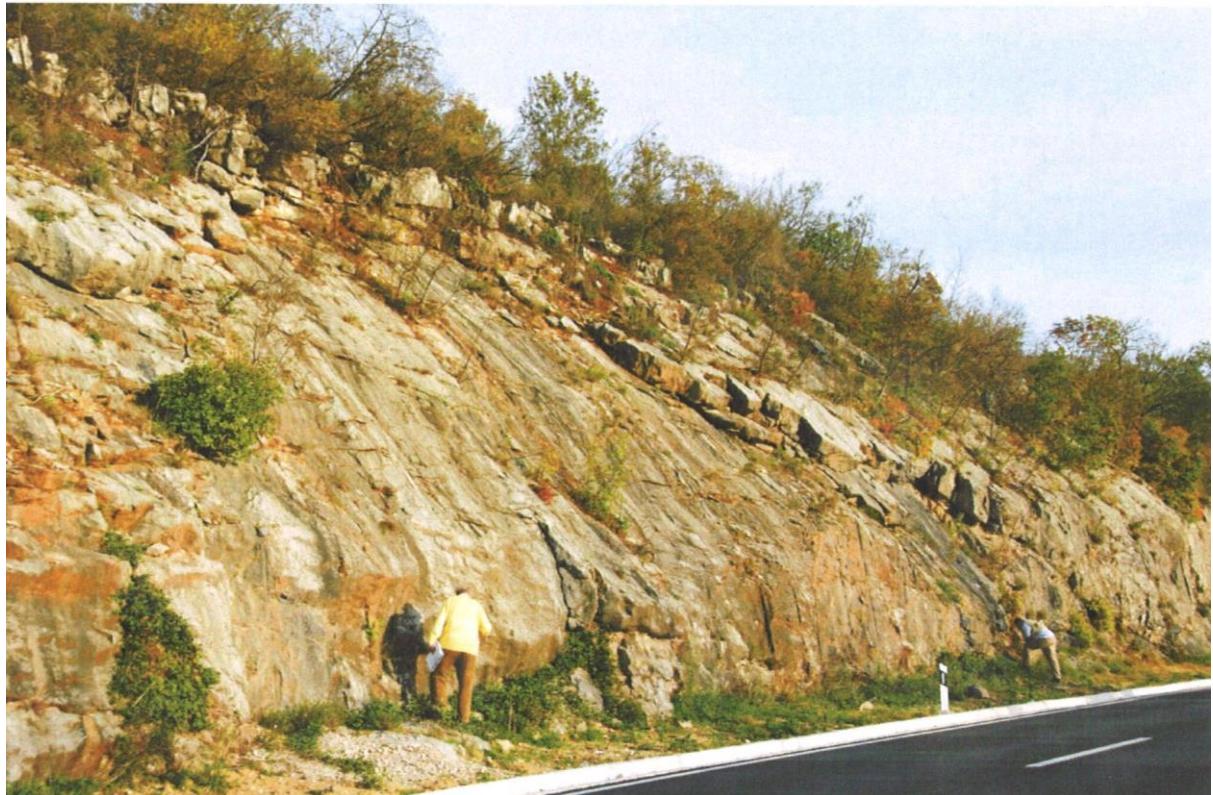


Slika 8.50. a) T55. Cesta istočno od Račje Vasi. Izdanak zone paralelnih rasjeda koji se pruža duž granice jedne od najistaknutijih lokalnih struktura u Ćićariji (1); b) Velike strije na otkrivenom izdanku pokazuju položaj 65/75/145/reversni lijevi.

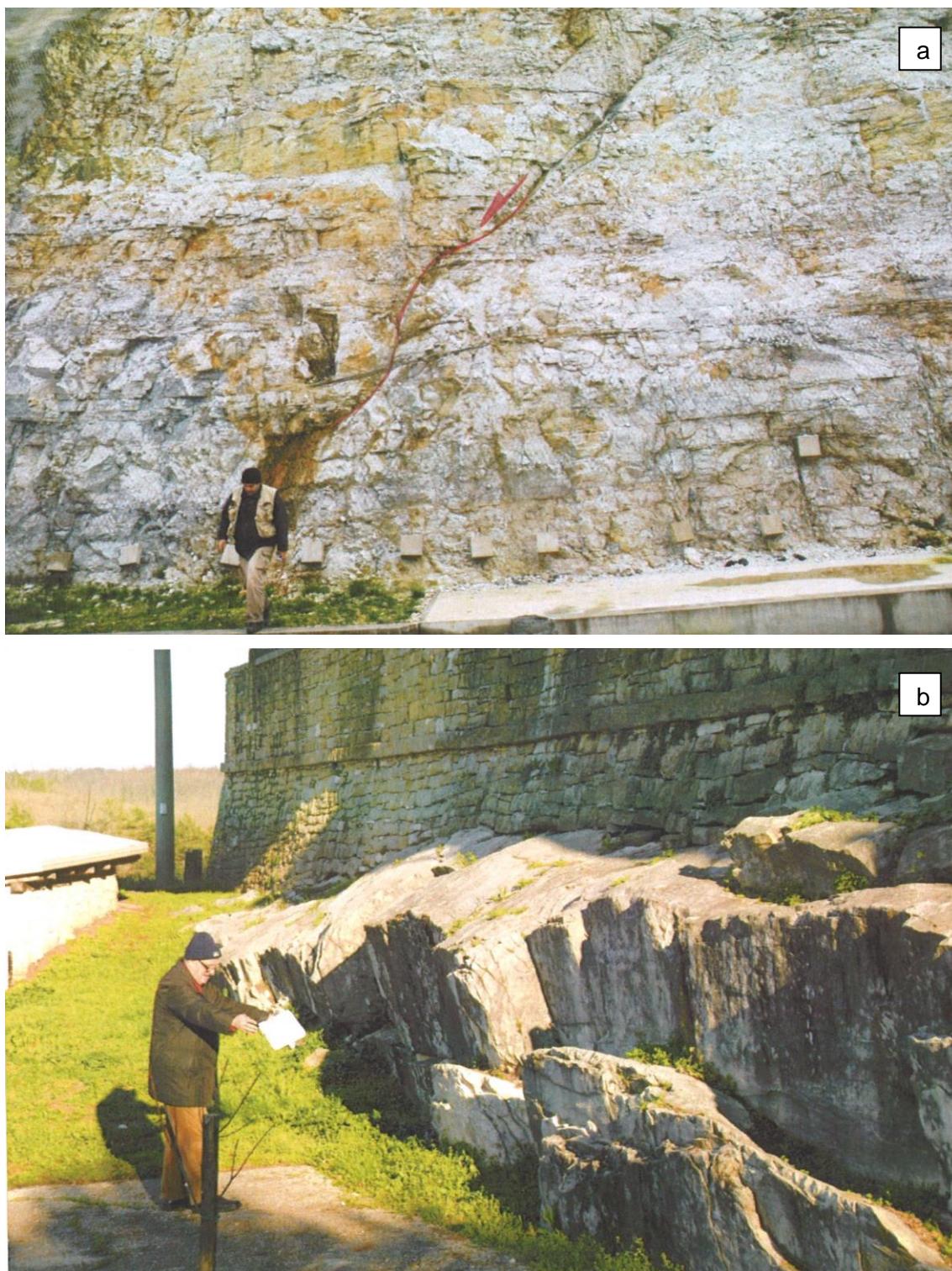


Slika 8.51. a) T144. Selo Kajini kod Buzeta. Dobar izdanak rasjeda koji se pruža duž lokalne reversne strukture na kojoj se nalazi i Buzet. Rasjed ima vergenciju prema Sl. b)
Strije pokazuju položaj 230/75/90/reversni.

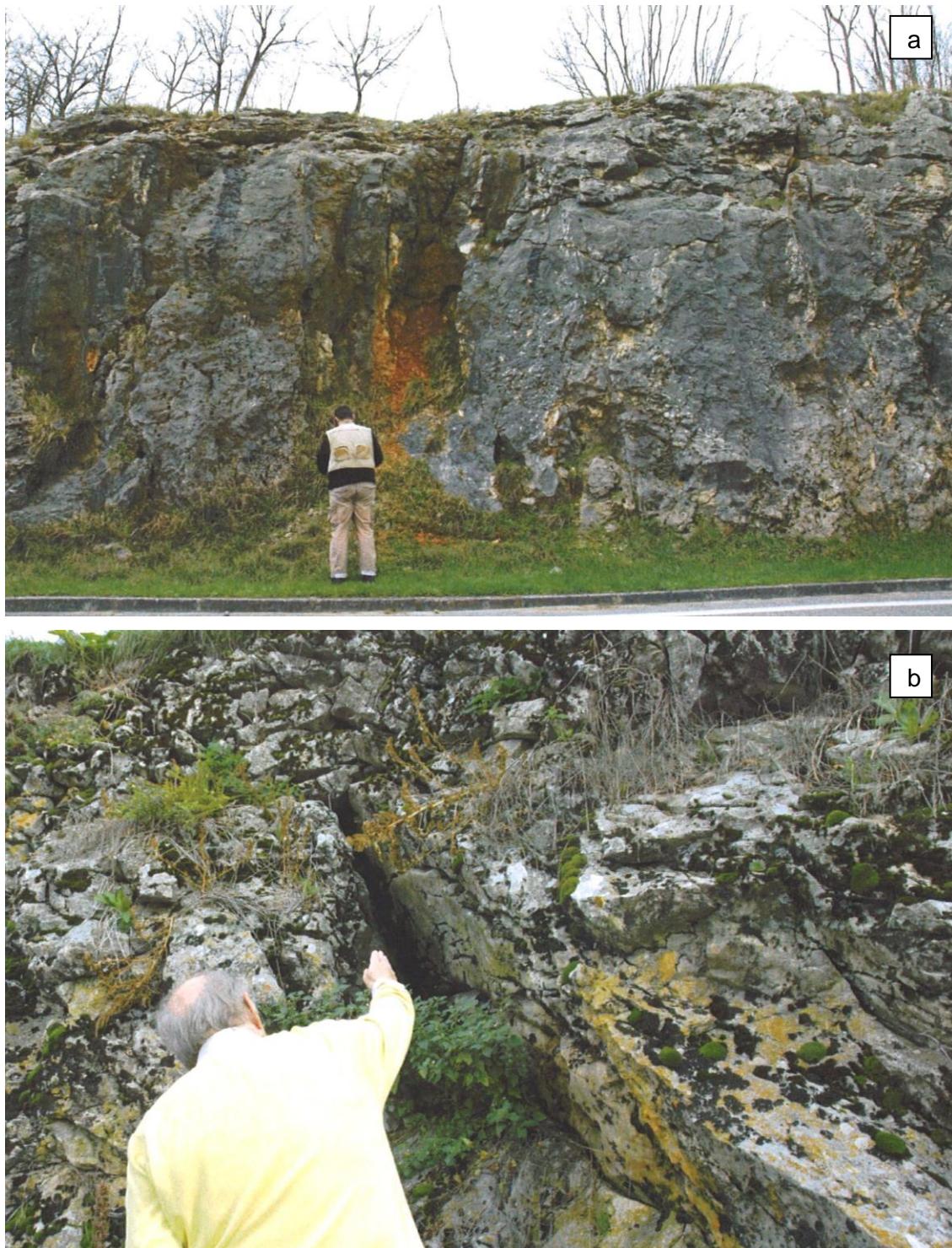
PRIMJERI RASJEDA KOJI SE NALAZE UNUTAR STRUKTURA



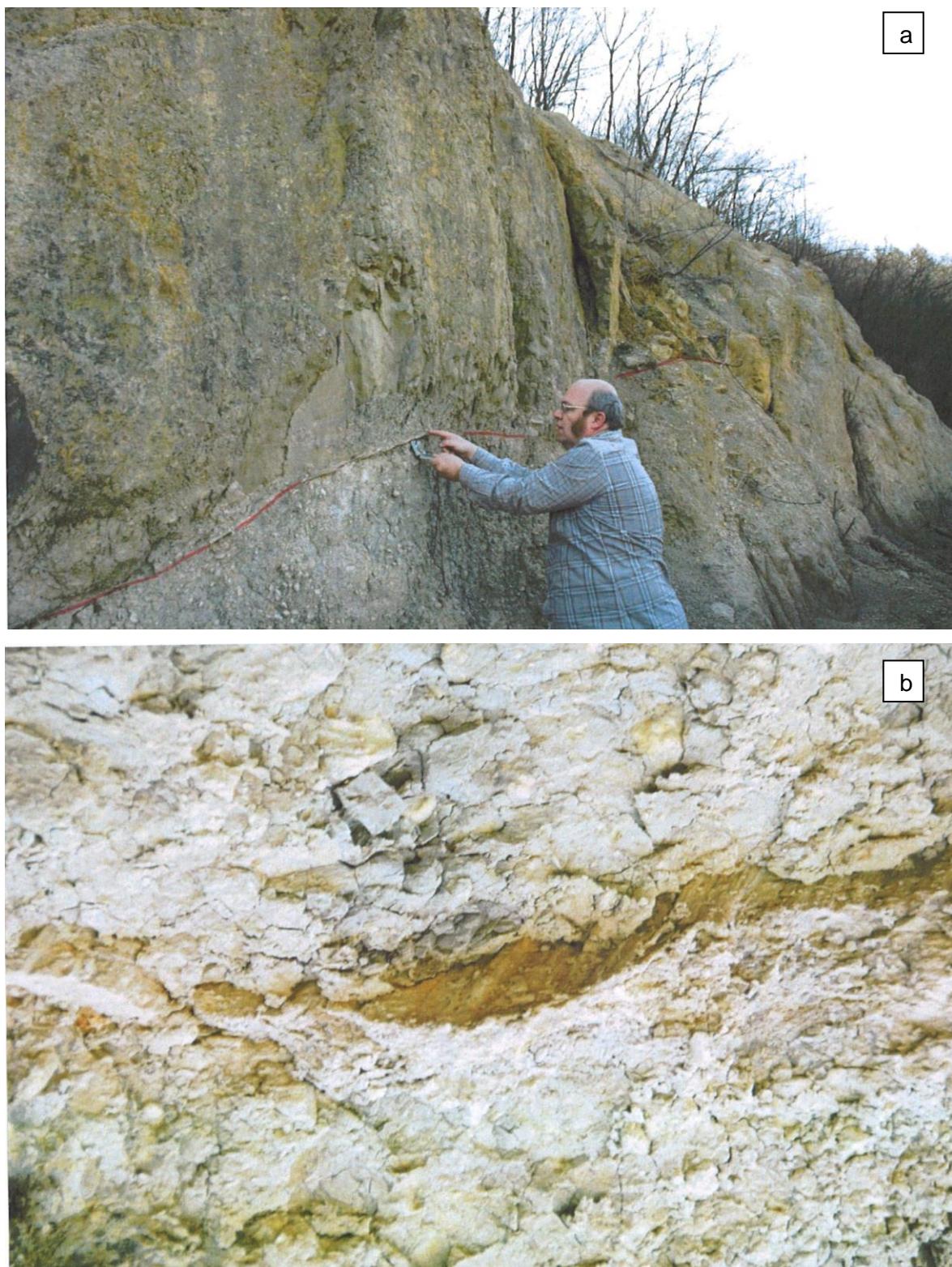
Slika 8.52. Unutar struktura mogu se pojaviti rasjedi različitog sustava. Podaci o njima znatno doprinose uočavanju razlomljenosti, pomaka i aktivnosti struktura, pa i čitavog obuhvaćenog strukturnog sklopa. Mogu biti normalni i reversni. Njihov nastanak i aktivnost ovise o općim tektonskim pokretima, uvjetima kompresije prostora i pomacima struktura ili njihovih dijelova. Često se pojavljuju rasjedi paralelni pružanju osi strukture. U izdanku u T34 kod kamenoloma I od Buzeta, rasjed nagnut prema cesti siječe slojeve. Mjeren je položaj 225/53/90/reversni.



Slika 8.53. Rasjedi paralelni osi strukture najčešće su normalni. U T100 u Pazinu u kamenolomu nađen je rasjed položaja 55/55/135/normalni desni. U krilima rasjeda vidi se svijanje slojeva zbog normalnog pomaka krila. T101. Optrtalj. Izdanak reversnog rasjeda položaja 30/70/45/reversni desni. Reversni pomak krila znači izraženu kompresiju prostora.



Slika 8.54. a) T90. Istočno od Podpićna. Drugu grupu čine rasjedi paralelni orijentaciji lokalnog kompresijskog stresa. U njihovima se zonama uvijek otvaraju prostori. U izdanku je otkriven rasjed položaja 300/70/normalni. b) T22. Brest. Unutar strukture nalaze se rasjedi smicanja s desnim i lijevim horizontalnim pomakom krila. Potonji su, u obuhvaćenom području, relativno rijetki zbog retrogradne rotacije struktura. Ipak je nađen rasjed položaja 115/70/70/normalni lijevi.



Slika 8.55. a) U nekoliko točaka motrenja nađeni su ogranci rasjeda koji se pružaju krilima struktura. Izabran je primjer u T147 uz cestu Oslići – Draguč u flišnim naslagama. b) Rasjed pripada zoni. Paralelan je izdanku, pa mu je pružanje gotovo horizontalno (a). Na otkrivenoj paraklazi nalaze se strije (b). Pokazuju položaj 80/40/70 reversni desni.

Unutar obuhvaćenog strukturnog sklopa u uvjetima kompresije prostora prisutne naslage se boraju. Osobito su uočljive u flišnim naslagama u zonama rasjeda. Položaj, tip i nagib osnih ploha bora ukazuje na smjerove pomaka struktura. Prisutni rasjedi dopunjaju podatke. Izdvajaju se sljedeći primjeri: u T78 kod Roča u zoni rasjeda položaja 120/55/40/reversni desni (slika 8.56), u T6 kod Semića prebačena antiklinala (slika 8.57a), u T17 kod Buzeta prebačena antiklinala (slika 8.57b), te u T117 kod sela Marčenegla primjer nastanka prebačene antiklinale u krovinskom krilu rasjeda položaja 300/60 (slika 8.58a). U flišnim naslagama može se naći i klivaž čiji položaj u primjeru u slici 58b upućuje na smjer pomaka dijela velike strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3).

Posebna odlika obuhvaćenog strukturnog sklopa jest pojavljivanje rasjeda s prevladavajućom horizontalnom komponentom pomaka krila (prilog 2). Dominantni su rasjedi sustava SSZ-JJI, mjestimice S-J. Rasjedi su normalni i reversni. U njihovim je zonama uvijek prisutna desna komponenta pomaka krila. Prevladavajuća horizontalna komponenta uvjetuje otvaranje prostora u njihovim zonama. odražavaju se u reljefu strmim obroncima i osobito duboko usječenim, ravnocrtnim dolinama.

Pojedini rasjedi predstavljeni su zonama. Često se više rasjeda paralelnog pružanja udružuju u zone relativno većih širina. Susreću se zone koje obuhvaćaju širine većih, obično ravnocrtnih dolina. Duž krila rasjeda pomiču se strukturni blokovi, pa i zone najvažnijih kao i ostalih rasjeda sklopa. Posvuda u obuhvaćenom području postoje izdanci rasjeda. Izdvojeni su najvažniji primjeri. U izdanku u T81 kod Vranja izdvojena je osobito široka zona rasjeda položaja 270/85/15/reversni desni (slika 8.59). Na otvorenim izdancima vrlo često se nalaze izražene strije. U T111 vrlo izražene strije pokazuju položaj 70/80/0/horizontalni desni, te u T51 položaj 175/81/175/normalni desni (slika 8.60). Primjer rasjeda s osobito izraženim strijama nalazi se u kamenolomu Vranje (T151). Rasjed ima pružanje SSI-JJZ koje odstupa od prevladavajućeg sustava SSZ-JJI (slika 8.61). To je uvjetovano položajem rasjeda u strukturnom sklopu i to u prostoru sučeljavanja Ćićarije (1) i Učke (2). Važni su pomaci Učke (2) prema ZJZ koji uvjetuju promjenu pravca pružanja rasjeda.

U sljedećem primjeru razabire se u izdanku u T27 kod Dana zdrobljena zona rasjeda položaja 85/70/0/horizontalni desni (slika 8.62a). U T80a kod Vranja u zonama paralelnih rasjeda položaja 65/80/175/normalni desni otvara se prostor (slika 8.62b). Otvaranje prostora može nastupiti i u slučaju postojanja para normalnih

rasjeda drukčijeg nagiba, npr. izdvojeno u T103 (slika 8.63a) u strukturi Buje–Buzet–Lupoglav (3) ili u T142 u dolini Mirne (slika 8.63b). Najčešće je širenje prostora u zonama rasjeda veličine kao u primjeru kod Bresta u T25 gdje je mjerен položaj rasjeda 125/75 (slika 8.64a) i kod sela Santa Lucia u zoni rasjeda položaja 292/85 (T102, slika 8.64b). Još je potrebno izdvojiti izdanak jednog od rasjeda iz zone sustava SSI-JJZ koji se nalazi kod Buzeta i pruža se do izvora kod Istarskog vodovoda. U T16 mjerena je položaj 40/80/165/reversni desni (slika 8.65a). Uz izvor Gradski Bulaž kod Istarskih Toplica otkriven je prateći rasjed zonama rasjeda koje sijeku veliku strukturu Buje–Buzet–Lupoglav (3). U T137 mjerena je položaj 95/85/normalni (slika 8.65b).

PRIMJERI BORA I KLIVAŽA



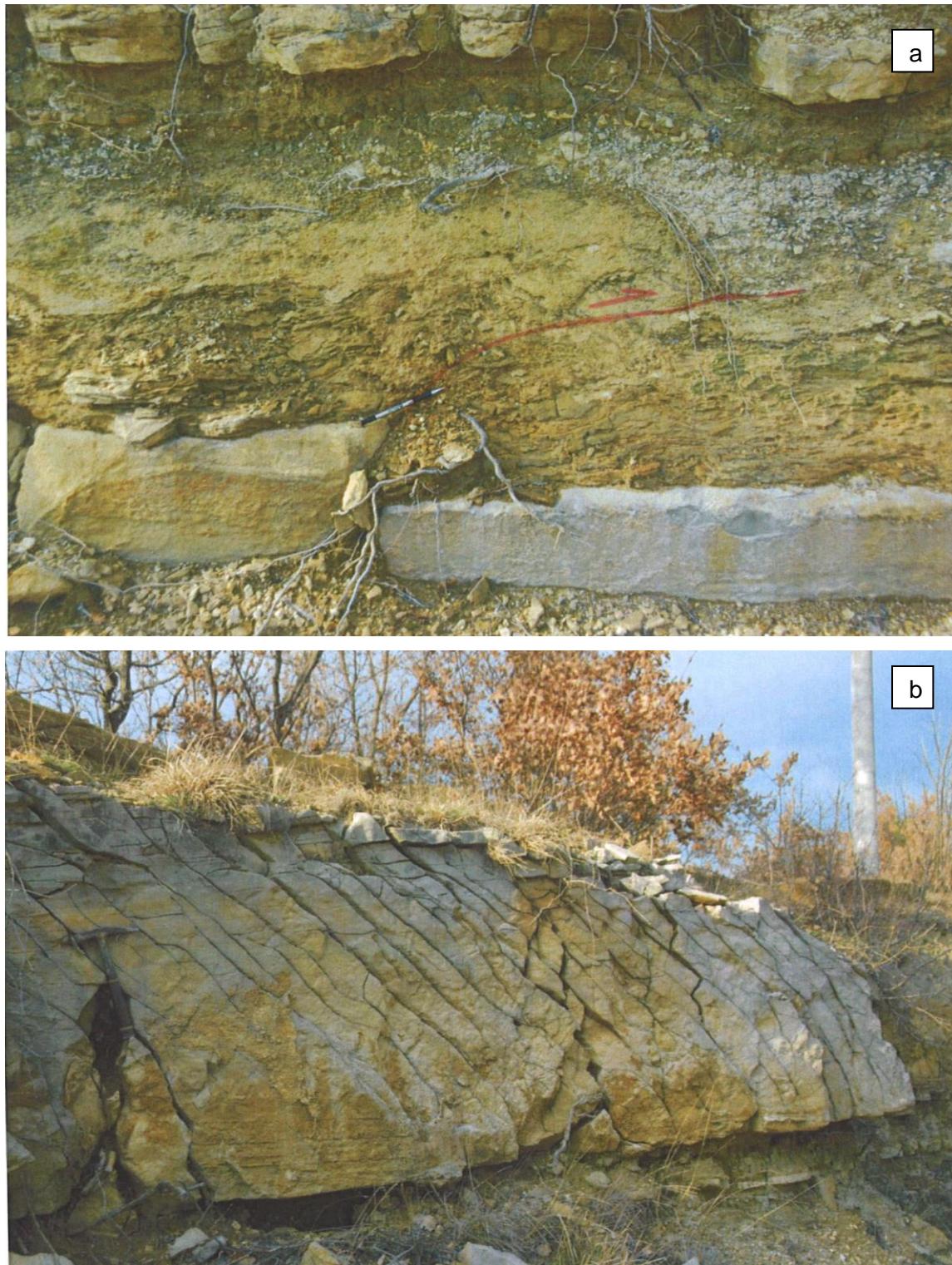
Slika 8.56. Tektonski pokreti i pomaci struktura u uvjetima kompresije prostora boraju prisutne naslage. Bore su osobito uočljive u flišnim naslagama u zonama rasjeda. **a)** T78.

Roč. U zoni rasjeda Trst – Učka – otok Susak (1) osobito su izražene bore u flišnim naslagama. **b)** U istoj točki motrenja otkriveni su i paralelni rasjedi položaja

120/55/40/reversni desni.



Slika 8.57. a) T6. Semić. U izdanku se nalazi prebačna antiklinala u zoni 1a Trst – Učka – otok Susak (1); b) T17. Cesta Buzet – Marinci. Intenzivna kompresija uvjetuje u zoni rasjeda Dragonja – Čepić – Buzet – Ročko polje (3) stvaranje bora. U izdanku u flišnim naslagama otkrivena je prebačena sinklinala.



Slika 8.58. a) T115. Kod sela Marčenegla. U izdanku flišnih naslaga razabire se recentno nastajanje prebačene antiklinale u krovinskom krilu reversnog rasjeda položaja 300/60. b) U istoj točki vidljiv je klivaž u flišnim naslagama. Izabrani primjer upućuje na pomake strukture Buje – Buzet – Lupoglav (3) na kojoj se izdanak nalazi.

**PRIMJERI RASJEDA S PREVLADAVAJUĆOM DESNOM
HORIZONTALNOM KOMPONENTOM POMAKA KRILA U ČIJIM ZONAMA
NASTAJE OTVARANJE PROSTORA**



Slika 8.59. U obuhvaćenom području učestalo se susreću rasjedi pretežitog sustava SSZ-JJI, mjestimice S-J. Rasjedi su normalni i reversni. U njihovim se zonama uvijek pojavljuju desni pomaci dijelova struktura, pa i najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa. Prevladavajuća horizontalna komponenta pomaka krila uvjetuje otvaranje prostora u njihovima zonama. Odražavaju se u reljefu strmim obroncima i osobito duboko usječenim, ravncrtnim dolinama. Pojedini rasjedi tvore relativno široke zone najčešće paralelnih rasjeda. U primjeru u T81 u Vranji nalazi se široka zona rasjeda. Mjeren je položaj

270/85/15/reversni desni.



Slika 8.60. Na otvorenim izdancima rasjeda vrlo često se nalaze izražene strije; **a)** T111. Kamenolom uz cestu Buje – Livade. Predočeni rasjed pripada relativno široj zoni sustava SSZ – JJI. Strije pokazuju položaj 70/80/0/ horizontalni desni. **b)** T51. Cesta Mune – Vodice. Dobar izdanak desnog rasjeda. I ovdje strije pokazuju horizontalni pomak. Položaj rasjeda koji presjeca Ćićariju je 175/81/175/normalni desni.



Slika 8.61. U kamenolomu Vranja nalazi se izdanak rasjeda s osobito izraženim strijama (T151). Rasjed ima pružanje SSI – JJZ i pripada sustavu s prevladavajućom desnom komponentom pomaka krila. Drukčije pružanje uvjetovano je pomacima Učke (2) prema ZJJZ, jer je rasjed u prostoru sučeljavanja Ćićarije (1) i Učke (2). Rasjed se uočava i u satelitskom snimku (slika 7). Strije pokazuju položaj rasjeda 290/75/155/reversni desni.



a

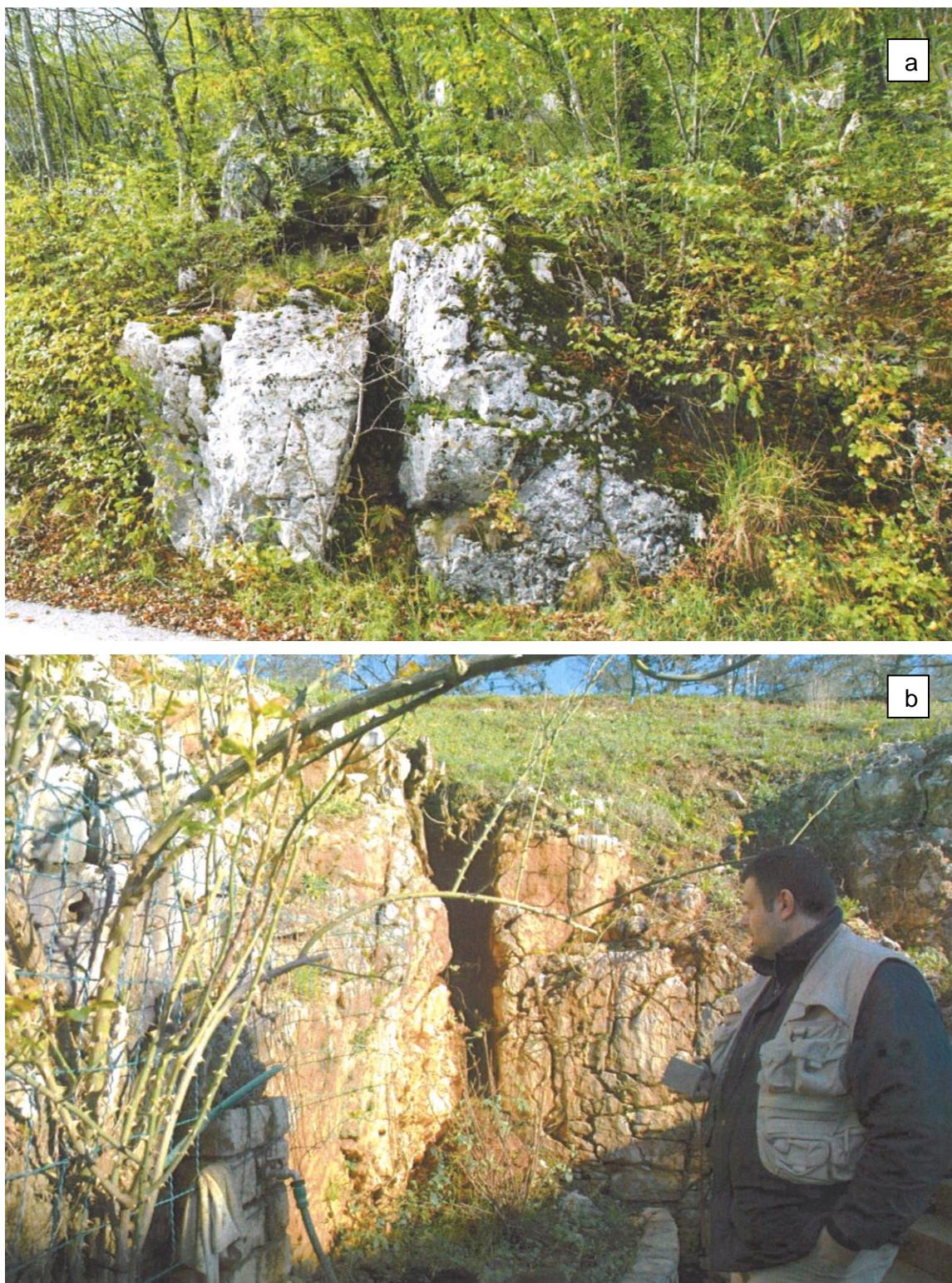


b

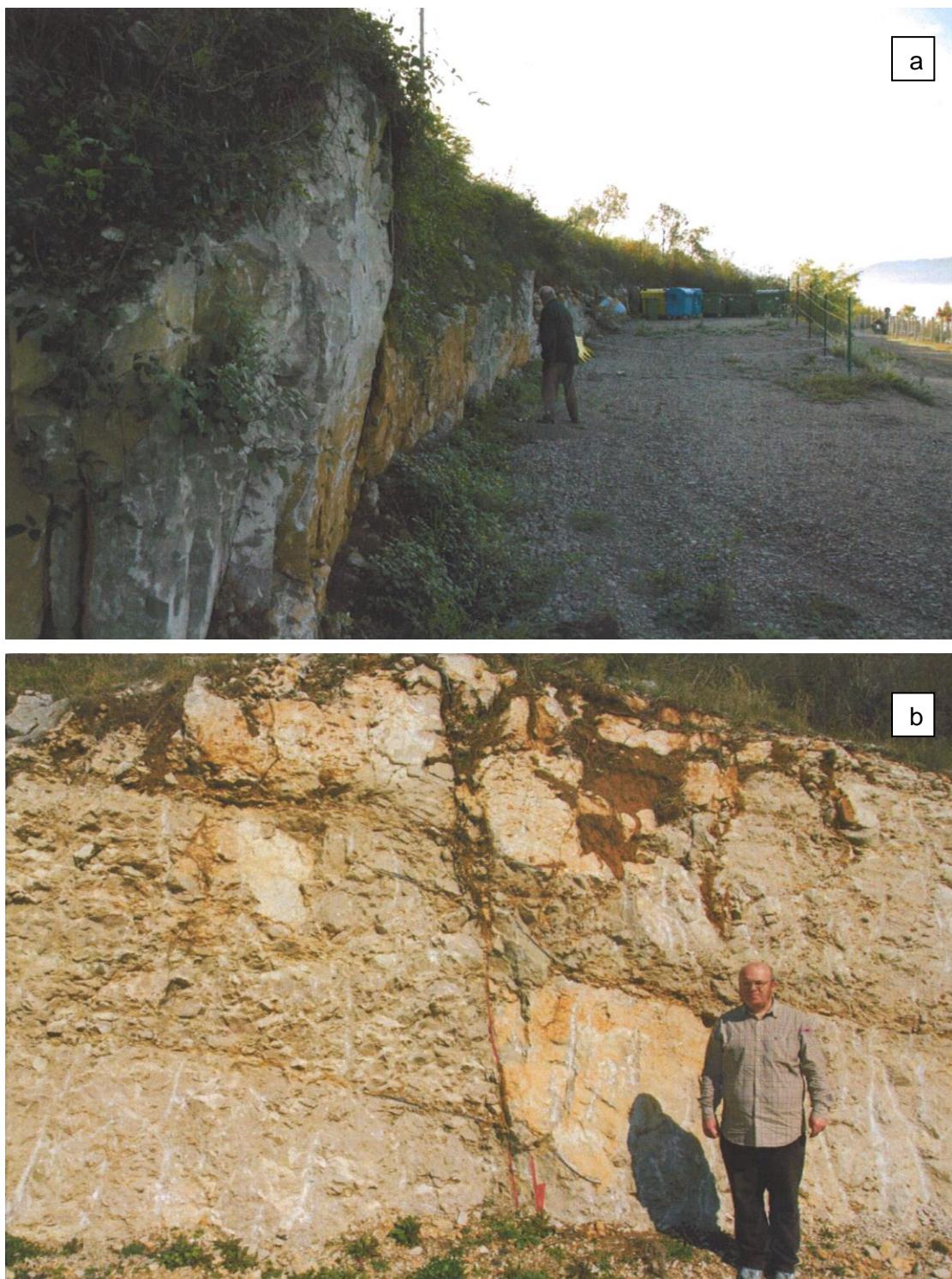
Slika 8.62. a) T27. Dane. Primjer zdrobljene zone. U izdanku su vapnenačke breče i glina, koja ukazuje na prisutne tektonske pokrete. Rasjed ima položaj 85/70/0/verticalni desni; **b)** T80a. Željeznička postaja Vranja. Izdanak je u vapnencima. Za poimanje cirkulacije podzemne vode je znakovito pojavljivanje širenja prostora u zonama rasjeda. Položaj rasjeda je 65/80/175/normalni desni.



Slika 8.63. a) T103. Kamenolom uz Cestu Sta Lucija – Zrenj. Primjer nastajanja zone rasjeda koje pripada sustavu SSZ – JJI. U izdanku se razabiru dva normalna rasjeda koji oblikuju tzv. par rasjeda. Imaju različite nagibe. Između rasjeda prisutno je spuštanje strukturnog bloka, a zbog različitih pomaka uslijedit će otvaranje prostora. Mjereni su položaji a – 220/80/80/normalni lijevi i b – 55/75/130/normalni desni. **b)** T142. Dolina Mirne uz cestu Buje – Vižinada. Veliki izdanak također rasjeda različitog nagiba. Prevladava položaj 220/80/170/normalni desni.



Slika 8.64. Učestalo se u zonama promatralih rasjeda nalazi širenje prostora. Izabrana su tri primjera; a) T25. Cesta Brest – Dane. Zamjetno otvaranje prostora u zoni rasjeda položaja 125/75. b) T102. Santa Lucija. U zoni rasjeda koji presijeca veliku strukturu Buje – Buzet – Lupoglav (3) postoji otvaranje prostora. Mjeren je položaj 292/85.



Slika 8.65. a) T16. Cesta Buzet – Brest. Široka zona rasjeda koji se pruža do vodovoda u Buzetu. Odražava se u reljefu usječenom dolinom. Mjeran je položaj 40/80/15/reversni desni.
b) T137. Izvor Gradski Bulaž kod Istarskih Toplica. Izdanak rasjeda koji pripada zoni sustava SSZ-JJI duž koje cirkulira podzemna voda do izvora Gradski Bulaž. Položaj rasjeda je 95/85/normalni.

Još se u strukturnom sklopu posebno izdvajaju rasjedi koji se pružaju paralelno orijentaciji kompresijskog stresa. Rasjedi su većinom nađeni u prostorima najvažnijih rasjeda sklopa, gdje je prisutna veća kompresija prostora. U pojedinim primjerima nisu nađene strije, a gdje jesu to su bili normalni rasjedi. Otvoreni prostori mogu biti i relativno veće širine. Učestali su rasjedi u zoni Trst–Učka–otok Susak (1). Dobri primjeri izdvojeni su kod Lupoglava u T3 položaja rasjeda 30/85 (slika 8.66a) i u selu Semić položaja rasjeda 40/75/145/normalni desni (slika 8.66b). Veće širenje prostora otkriveno je u zoni rasjeda položaja 270/65 u Dolenjoj Vasi (T2, slika 8.67a), te u zoni rasjeda koji siječe slojeve u Roču (T74, slika 8.67b). Posebno je dobar primjer rasjeda na mjestu dodira sa zonom Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4). U zoni rasjeda položaja 20/65/160/normalni desni izlazi voda (T126, slika 8.68a). Još se izdvaja primjer rasjeda nađenog kod Muna. Mjeren je položaj 287/90 (T41, slika 8.68b).

c. Tektonska dinamika, odnosi i pomaci struktura

Za ocjenu recentne tektonske aktivnosti bitni su pomaci struktura ili, gledajući u detaljima, pomaci krila rasjeda. Pomaci utvrđeni u izdancima rasjeda na površini ovise o inicijalnim tektonskim pokretima Jadranske mikroploče (1), te razmještaju, veličini i načinu međusobnih dodira različitih kompleksa stijena u dubini koji se odupiru tektonskim pokretima. Pritom se u strukturnom sklopu uspostavlja polje stresa. Stoga je bilo potrebno odrediti recentni odnos kompresijskog stresa i mogućih deformacija dijelova sklopa. Orjentacija lokalnog kompresijskog stresa dobivena je iz mjerenih podataka u izdancima rasjeda (prilog 1). Pokazuje odnose unutar i između lokalnih struktura. Maksimalni kompresijski stress odnosi se na osnovne strukturne odnose, moguće nastajanje pojedinih sustava rasjeda i bitne deformacije obuhvaćenog strukturnog sklopa. Stoga su orjentacija maksimalnog kompresijskog stresa i osnovni pomaci struktura prikazani u prilogu 2.

Najvažniji jesu pomaci Jadranske mikroploče (1), koji se događaju uz laganu retrogradnu rotaciju. Odupiranje kompleksa stijena u dubini tim pokretima rezultira kompresijom prostora, stvaranjem reversnih rasjeda i uzdizanjem reljefa duž regionalne strukturne jedinice Adriatik (2), ali i Jadranske mikroploče (1). Pri tom je tektonski najaktivniji neposredni prostor dodira tih jedinica unutar kojeg se nalazi i obuhvaćeni strukturni sklop.

U prilogu 2 zapaža se da je orijentacija maksimalnog kompresijskog stresa u Ćićariji (1) uglavnom poprečna do blago dijagonalna na pružanje struktura i najvažnijih rasjeda sklopa. Poprečna orijentacija stresa izražena je i duž strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) između Buja i Buzeta, te oko Ročkog Polja. Orjentacija je poprečna duž zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) između Roča i Vranja. U većem dijelu Jadranske mikroploče (1) orijentacija maksimalnog kompresijskog stresa je pretežito dijagonalna na pružanje struktura i rasjeda, ali uglavnom ne pod izraženim kutom. Lokalno npr. oko Pazina i jezera Botoniga stres je poprečan na pružanje struktura.

**PRIMJERI RASJEDA PARALELNIH ORJENTACIJI KOMPRESIJSKOG
 STRESA U ČIJIM ZONAMA NASTAJE OTVARANJE PROSTORA**



Slika 8.66. U zonama pojedinih rasjeda u više točaka motrenja zapaženo je širenje prostora. Mjerenja su pokazala da su rasjedi paralelni orijentaciji lokalnog kompresijskog stresa. Rasjedi su većinom nađeni u prostorima najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa, gdje je veća kompresija prostora. Učestali su rasjedi u zoni Trst – Učka – otok Susak (1). Izdvojeni su; a) T3. Lupoglav. Rasjed položaja 30/85; b) T5. Semić. Rasjed položaja 40/75/145/normalni desni.



Slika 8.67. a) T2. Dolenjska Vas. Primjer relativno većeg otvaranja prostora u zoni rasjeda 270/65; b) T74. Roč. Otkriveno je širenje prostora uz rasjed položaja 23/52, koji se nalazi u zoni Trst – Učka – otok Susak (1).



Slika 8.68. a) T126. Cesta Veli Kuk – Čiritaž. Dio doline rijeke Pivke vjerojatno je nastao širenjem prostora paralelno kompresijskom stresu. U izdanku na raskrižju s rasjedom Dragonja – Čepić – Buzet – Ročko polje – Lupoglav (4) nalazi se normalni rasjed položaja 20/65/160/normalni desni u čijoj proširenoj zoni izlazi voda. b) T41. Cesta Perka – Žejane. Izdvojen je rasjed s otvorenim prostorom položaja 287/90.

U prilogu 2 zapaža se da je orijentacija maksimalnog kompresijskog stresa promjenljiva. U pojedinim dijelovima sklopa uočljiva je postupna promjena orijentacije stresa u lijevo. Primjerice to su slijedeći potezi:

- Čepić Polje 46-226°, Vranja 40-220°, Semić 22-202° i Mune 17-197°;
- Grdoselo 45-225°, Marčenigla 40-220°, Dolenja Vas 25-205°, Lanišće 10-190°;
- Pazin 22-202°, Istarske Toplice 5-185°;
- Orić 22-205°, Podpičan 5-185°;
- Roč 20-200°, Rašpor 4-184° i
- Buzet 227-207°, Perci 2-182°.

Navedena promjena orijentacije maksimalnog kompresijskog stresa uvjetuje i različite pomake struktura i njihovih dijelova i, što je najvažnije, retrogradnu rotaciju dijelova strukturnog sklopa. U uvjetima kompresije prostora i retrogradne rotacije nastaju reversne strukture i rasjedi, te pomaci struktura i njihovih dijelova u desno. Posljedica jest nastajanje sustava rasjeda s prevladavajućom desnom horizontalnom komponentom pomaka krila. Prema tome poprečna ili gotovo poprečna orijentacija stresa rezultira reversnim pomacima krila rasjeda strmog kuta zakosa. Dijagonalna orijentacija stresa uvjetuje dijagonalne pomake krila rasjeda. Zbog retrogradne rotacije nastaje sustav rasjeda pružanja SSZ-JJI, mjestimice S-J. Na taj sustav rasjeda orijentacija kompresijskog stresa nalazi se približno pod kutom 30°. To je posve dovoljno da u zonama tih rasjeda nastupi otvaranje prostora.

Najvažniji smjerovi pomaka struktura u krilima najvažnijih rasjeda sklopa i dionice rasjeda s prevladavajućim horizontalnim pomacima krila posebno su označeni u prilogu 2. Važno je napomenuti da je u razmatranjima pojedinih užih predjela i lokaliteta potrebno uvažiti i odnose djelovanja lokalnog kompresijskog stresa i deformacija struktura.

**d. Prepoznavanje privilegiranih zona gibanja podzemne vode
na temelju geoloških strukturnih odnosa i recentne
tektonske aktivnosti**

U obuhvaćenom području postoji znatna raščlanjenost reljefa. Kroz većinu dolina u području flišnih naslaga postoje povremeni protoci vode. Zbog izrazite razlomljenosti stijena jasno je da voda ponire i ispod površine. To je poglavito izraženo u karbonatnim stijenama u kojima osim sustava rasjeda poniranju vode u dubinu pogoduje i guta mreža ponikava.

U karti mjerila 1:50 000 u obuhvaćenom području izdvojeno je oko 100 izvora (prilog 1). Oni upućuju na prisutnu cirkulaciju podzemne vode. Svi se pojavljuju u zonama rasjeda. Pojedini izvori imaju veliku izdašnost i njihova voda se koristi u vodoopskrbi. Važno je istaknuti da se izvori nalaze u zonama tektonski aktivnih rasjeda. Također se u tim zonama susreću i ponori, te u područjima karbonatnih naslaga prirodne lokve. Njih ima osobito u obuhvaćenom području Istre južno od zone rasjeda Vižinada–Karojba–Pazin–Podpičan (6).

Na temelju prikazane dinamike tektonske aktivnosti i strukturnih odnosa u recentnom sklopu mogu se izdvojiti privilegirane zone gibanja podzemne vode. U tom smislu važne su zone rasjeda u kojima postoje otvoreni prostori. Najčešće to su rasjedi sustava SSZ-JJI, mjestimice S-J duž kojih se događaju prevladavajući desni horizontalni pomaci krila. Rasjedi su prisutni u čitavom strukturnom sklopu. Najvažnije je naglasiti da je otvaranje prostora prisutno samo duž dionica gdje je orijentacija kompresijskog stresa približno pod kutom 30° prema pružanju rasjeda. Od interesa su osobito potezi gdje se pojavljuju dva ili više paralelnih rasjeda ili pojedinačni rasjedi koji su predstavljeni širim zonama. U tom smislu primjerice se izdvajaju:

- zone rasjeda koje presijecaju veliku strukturu Buje–Buzet–Lupoglav (3);
- zone rasjeda između sela Cerine, Perci i Buzeta;
- osobito izražene zone rasjeda između Vodica, Dana, Rašpora, Prapača, Lupoglava i Dolenje Vase;
- zone rasjeda između Lanišča, Brhudca i Bresta pod Učkom;
- zone rasjeda između sela Brnobići i doline Boljunščice, između Motovuna, Trviža i istočno od Pazina, te
- zone rasjeda u prostoru sučeljavanja Ćićarije (1) i Učke (2).

Otvaranje prostora učestalo se pojavljuje u zonama rasjeda koji su paralelni orijentaciji kompresijskog stresa. U tom smislu zapažene su i neke veće doline koje

su paralelne orijentacije maksimalnog kompresijskog stresa, npr. doline između Čepića i Zrenja sjeverno do zone rasjeda Dragonja–Čepić –Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4), dijelovi doline Mirne kod Istarskih Toplica i Mluna, te dolina Letanjskog potoka sjeverno od Podpična. Ipak, većinom su u pogodnom položaju prema stresu i to lokalnom manji rasjedi koji se nalaze unutar struktura. Pojedini su označeni u prilogu 2, npr. oko sela Perci, Nugla, Vodica, Dana, Semića i Vranja. U više točaka motrenja otkriveni su takvi rasjedi koji su prikazani i na pojedinim priloženim slikama.

Potrebno je istaknuti da i u zonama reversnih rasjeda može doći do otvaranja prostora. To se događa ispod površine zbog svijanja rasjeda po nagibu, zatim na dionicama odvajanja ogranka od glavnog rasjeda, te duž pojedinih dionica zbog rotacije dijelova struktura ili horizontalnih pomaka na križanju reversnih rasjeda i rasjeda sustava SSZ-JJI do S-J. Još je potrebno izdvojiti rasjede koji su paralelni pružanju strukture. Rasjedi su obično normalni, pa zbog uzdizanja struktura mogu nastati šupljine, pa čak i spilje. U karbonatnim stijenama šupljine se mogu pojaviti zbog boranja između tzv. međuslojnih pukotina. Veće otvaranje prostora može se dogoditi i unutar vlačnih bora zbog pomaka u zonama rasjeda.

Izvori, ponori i prirodne lokve u obuhvaćenom području uvijek se nalaze u zonama rasjeda. Na slikama 8.69 do 8.75 prikazani su pojedini primjeri, koji najbolje pokazuju odnose položaja rasjeda i mogućeg gibanja vode. Izdvajaju se pojedine zone rasjeda ili sjecišta pojedinih sustava rasjeda u čijim se zonama nalaze otvoreni prostori pogodni za cirkulaciju podzemne vode.

PRIMJERI IZVORA, PONORA I PRIRODNIH LOKVI



Slika 8.69. Izvori se uvijek nalaze u zonama rasjeda. Veći i izdašniji izvori obično su smješteni u zonama najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa i to na sjecištima s rasjedima u čijim se zonama nalaze otvoreni prostori pogodni za cirkulaciju podzemne vode. U slici je prikazan Bulaž kod Istarskih Toplica. Nalazi se u prostoru križanja rasjeda sustava SSZ – JJI i zone rasjeda Buje – Istarske Toplice – Brnobići – Dolenja Vas (5). Duž rasjeda navedenog sustava postoji cirkulacija podzemne vode. Oko lokacije izvora i Istarskih Toplica ti rasjedi tvore široku zonu rasjeda, koji se odražavaju strmcima u reljefu i usječenim dolinama.



Slika 8.70. a) Izvor Gradole. Na satelitskom snimku jasno se razabire položaj izvora u zoni reversnog rasjeda vergencije prema S na mjestu sučeljavanja s rasjedom sustava SSZ – JJI; **b)** T80. Željeznička postaja Vrana. Izvor je u zoni rasjeda Trst – Učka – otok Susak (1) i to na mjestu gdje rasjed sustava SSZ – JJI i položaja 55/75/normalni siječe izdanak.



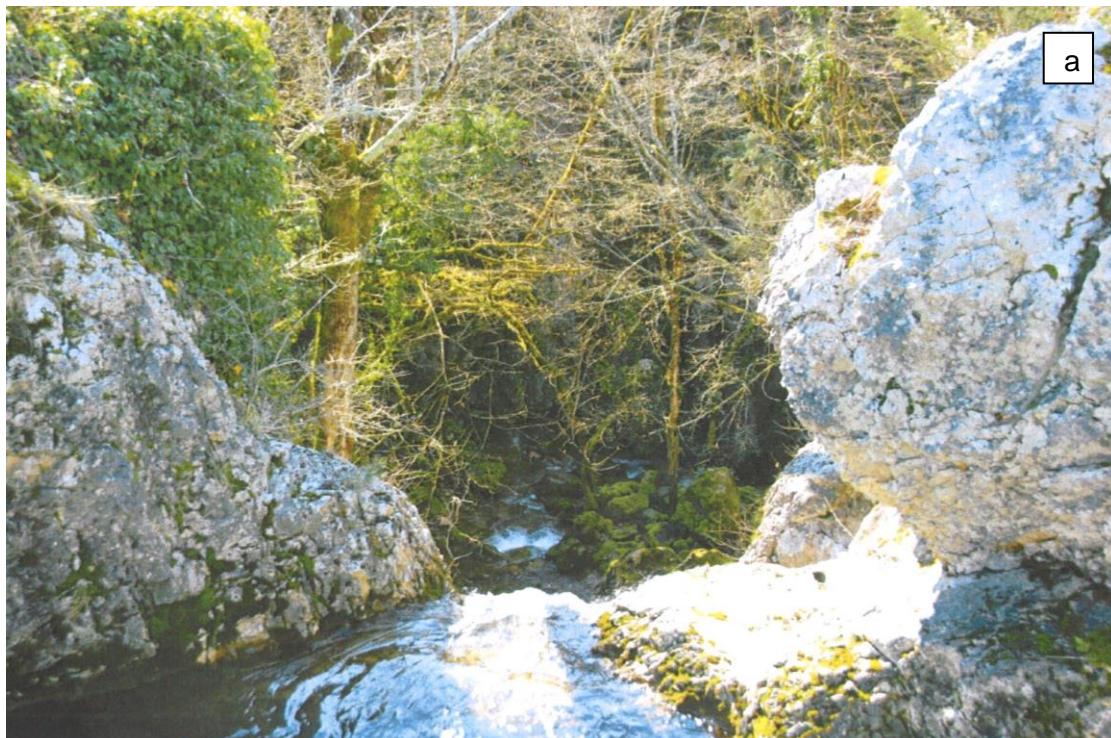
Slika 8.71. Izabrani su još dva povremena izvora koji su povezani s cirkulacijom podzemne vode u zonama sustava SSZ – JJI; **a)** T44. Cesta Žejane – Lisina. U izdanku rasjeda položaja 80/70/normalni nalazi se špilja. Zapaža se i kalcit, što je znak protoke vode. Sam izdanak se nalazi u zoni rasjeda Vodice – Mune – Opatija – Crna Punta (2); **b)** T10. Cesta Lanišće – Ročja Vas. U široj zoni rasjeda Lipnik – Lanišće – Brgudac – Vela Učke (3) zapažena je špilja uz rasjed položaja 25/60/normalni.



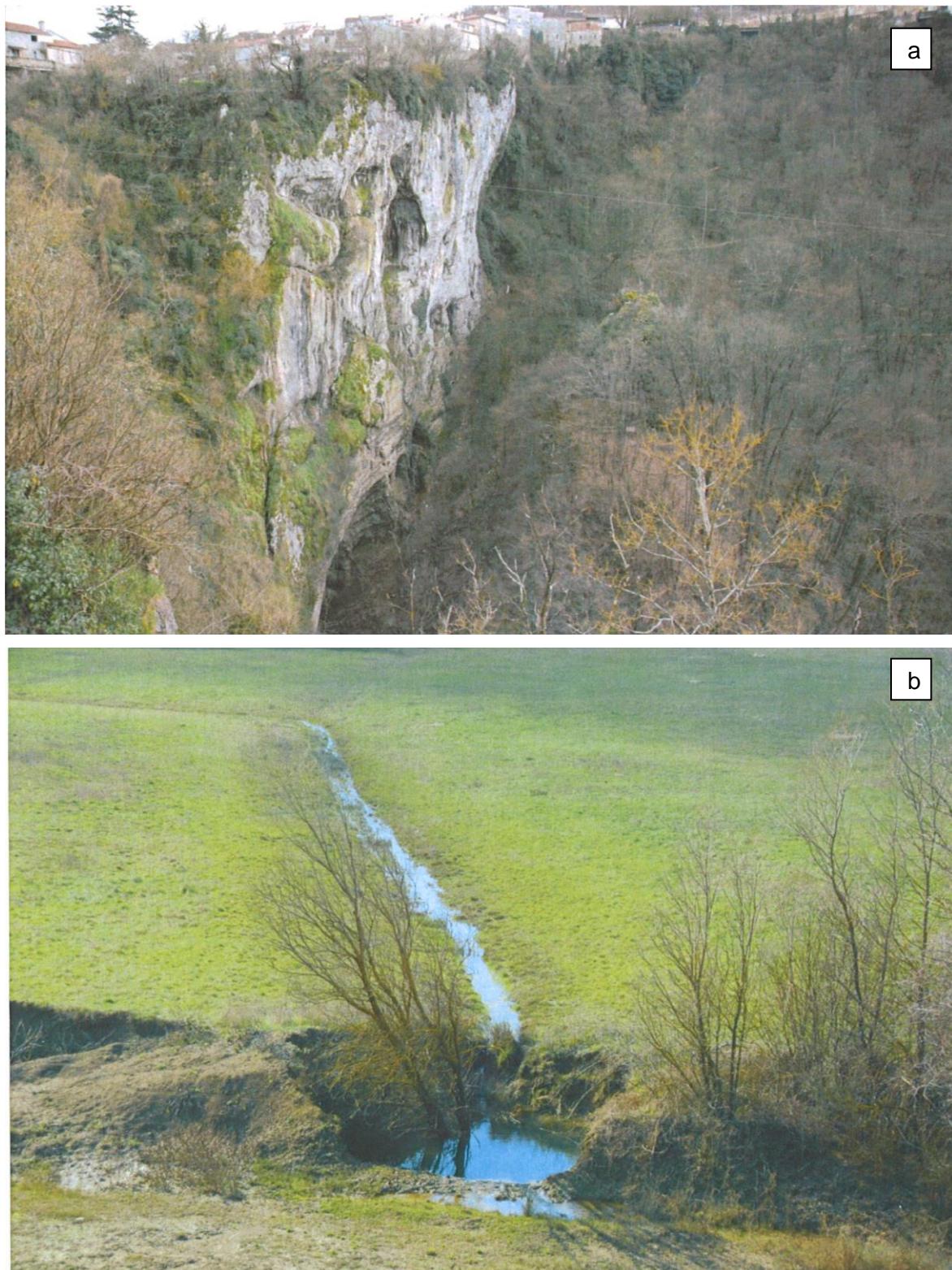
Slika 8.72. U obuhvaćenom području na više mesta nađene su lokve, koje su uvijek nalaze u zonama rasjeda. Izabrana su dva primjera; **a)** T97. Istočno do sela Jakačići unutar velike strukture Tar – Pazin – Orič – Podpićan (4) i to u zoni rasjeda sustava SSZ – JJI nalazi se lokva. **b)** T71. Selo Brnazi istočno od Istarskih Toplica. Lokva je u zoni sučeljavanja dva reversna rasjeda suprotnih vergencija koji se pružaju duž najistaknutijeg dijela lokalne reveresne strukture.



Slika 8.73. **a)** T106. Selo Čepić. U dolini potoka Malinska nalazi se relativno veći izvor i to u zoni rasjeda koji je paralelan orientaciji maksimalnog kompresijskog stresa. Dolina je nastala širenjem prostora; **b)** T74. Roč. Izdanak manjeg izvora nalazi se u zoni rasjeda Trst – Učka – otok Susak (1). Špilja je nastala u zoni rasjeda koji je paralelan orientaciji lokalnog kompresijskog stresa.



Slika 8.74. Ponori su također povezani s rasjedima. Najpoznatiji ponori obuhvaćenog područja nalaze se u zonama najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa; **a)** T107 kod sela Gomila. Ponor Butori nalazi se u zoni rasjeda Dragonja – Čepić – Buzet – Ročko Polje – Lupoglavl (4); **b)** T106. U istoj zoni rasjeda nalazi se relativno veliki ponor potoka Malinska kod sela Čepić.



Slika 8.75. a) Najpoznatiji je ponor Pazinskog potoka. Istaknuta Pazinska jama nalazi se u zoni rasjeda Vižinada – Karoiba – Pazin – Podpićan (6); b) T112. Sjeverno od Grožnjana u zoni rasjeda Buje – Istarske Toplice – Brnobići – Dolenja Vas (5) nalazi se manji ponor lokalnog potoka.

9. ODABIR PODRUČJA POGODNIH ZA DALJNA ISTRAŽIVANJA

a. Geološki-hidrogeološki profili

Za prostorni prikaz položaja i odnosa obuhvaćenih stijena i rasjeda u prostoru, te posebice prisutnih geoloških struktura izabrana su četiri profila. Trase profila označene su u prilogu 2. Preko čitavog zapadnog dijela obuhvaćenog strukturnog sklopa pružaju se profili A–A' i B–B' (slike 9.1, 7.2). Obuhvaćaju nizove lokalnih struktura unutar Ćićarije (1) i njezin najistaknutiji dio, zatim zonu rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1), veliku uzdignutu strukturu Buje–Buzet–Lupoglav (3), te nizove lokalnih struktura koje su na površini pretežito prekrivene naslagama fliša sve do izdanaka krednih i paleogenskih vapnenaca koji izgrađuju veliku uzdignutu strukturu Tar–Pazin–Orić–Podpičan (4). U uočavanju položaja struktura i rasjeda u prostoru potrebno je istaknuti da su pojedine dionice profila A–A' i B–B' (slike 9.1 i 7.2) diagonalne na njihovo pružanje. Stoga su nagibi rasjeda i slojeva predstavljeni pod znatno blažim kutom nagiba od stvarnoga i to treba uzeti u obzir. Profili C–C' i D–D' (slike 9.2 i 7.3) kraćeg su pružanja i postavljeni su poprečno na pružanje najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa: rasjed Trst–Učka–otok Susak (1), rasjed Lipnik–Lanišće–Brgudac–Vela Učka (3), rasjed Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4) i rasjed Buje–Istarske Toplice–Brnobići–Dolenja Vas (5). Najvažnije jest da se profili pružaju preko prostora izdvojenih povoljnih lokacija za daljnja istraživanja koje se nalaze duž obronaka Ćićarije (1) i oko velike strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3).

U profilima su izdvojene slijedeće naslage: vapnenci, dolomiti i breče donje krede (K_1), pretežito vapnenci gornje krede (K_2), vapnenci paleocena i eocena (PcE), te flišne naslage eocena (E): lapori, pješčenjaci, vapnenci, konglomerati i breče (slike 9.1, 9.2, 7.2 i 7.3). Rasjedi su u profilima označeni kao i u prilogu 2 uz oznaku smjera pomaka krovinskih krila. Vodilja za oznake nagiba krila struktura bili su podaci iz Osnovne geološke karte. Iako su relativno oskudni poslužili su za ocjenu debljina

pojedinih kompleksa naslaga i prisutnih bora unutar struktura i u zonama najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa.

U profilima je osobito uočljivo znatno boranje naslaga. Ističu se osobito kose bore duž obronaka Ćićarije (1) i u krilima velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3). Vrlo kose do prebačene bore nalaze se u zoni rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1), ali i u zonama njegovih ograna (osobito uočljivo u profilima B–B', C–C', D–D'). Znatna opetovana boranja flišnih naslaga postoje u zonama rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) i Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4). U najistaknutijem dijelu Ćićarije (1) kredne naslage izgrađuju velike uspravne bore (Debela griža, Žabnik, Vodice, profili A–A', B–B'). Međutim, oko zone rasjeda Lipnik–Lanišće–Brgudac–Vela Učka (3), koji se pruža duž granice najistaknutijeg dijela Ćićarije (1), naslage su znatno borane. Vrlo je važno istaknuti da su, udaljavanjem prema JZ od užeg dodirnog prostora Jadranske mikroploče (1) i regionalne strukturne jedinice Adriatik (2) kojeg čini zona rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1), te velika uzdignuta struktura Buje–Buzet–Lupoglav (3), naslage borane i rasjednute, ali prevladavaju uspravne bore.

Prikupljeni podaci na površini i prisutni strukturni odnosi omogućili su u profilima prikazati prihvatljive debljine pojedinih izdvojenih kompleksa naslaga. Posebno je važna debljina nepropusnih naslaga fliša. Debljine se najbolje uočavaju duž dionica pojedinih profila koje presijecaju dijelove strukturnog sklopa gdje te naslage prekrivaju površinu reljefa. Izdvaja se nekoliko primjera. Kod sela Zamask unutar lokalne uzdignute strukture Motovun (4), te oko doline rijeke Botonige blago borane flišne naslage dosižu debljinu 120–150 m (profil A–A'). Sjeverno od doline rijeke Mirne oko sela Završje procijenjena je debljina flišnih naslaga 200–250 m (profil B–B'). Sljedeci u profilu B–B' označene su debljine flišnih naslaga do 200 m. Važne su debljine flišnih naslaga duž velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) označene u profilima C–C' i D–D'. Dosižu debljinu 200 m i unutar strukture dodatno su borane. Znatno zadebljanje flišnih naslaga postoji u prostoru veće kompresije poglavito između zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) i velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3), primjerice oko Buzeta (Sv. Ivan) oko 300 m, zatim sljedeći u podinskom krilu rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) oko 350 m (profil A–A'), te u dolini rijeke Pivke oko 300 m (profil C–C'). Napominje se da su moguće flišne naslage nešto veće debljine u podinskim krilima najvažnijih rasjeda

strukturnog sklopa, jer se ne raspolaže s podacima o veličinama reversnih pomaka u krilima tih rasjeda. U prikazanim profilima prepostavljeni su slijedeći najveći reversni pomaci u krilima rasjeda:

- zona rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) uključujući skokove duž glavnih rasjeda 1a i 1b: SI od Buzeta 800–1000 m (profil A–A'), Černice SI od Buzeta oko 900 m (profil B–B'), SI od Roča oko 700 m (profil C–C') i kod Lupoglava 800–1000 m (profil D–D');
- rasjed Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4): kod Buzeta (Sv. Ivan) oko 500 m i uz dolinu rijeke Pivke do 400 m;
- rasjed Buje–Istarske Toplice–Brnobići–Dolenja Vas (5): uz dolinu rijeke Mirne, S od sela Krušvari do 400 m.

b. Odabrani i predloženi lokaliteti za daljna detaljnija istraživanja

Na temelju provedene klasifikacije struktura i rasjeda unutar obuhvaćenog strukturnog sklopa, zatim položaja, odnosa i pomaka pojedinih struktura ili njihovih dijelova, te ocjene postojanja koncentracija podzemnih voda unutar karbonatnih stijena i moguće cirkulacije u podzemlju duž pojedinih zona rasjeda izvojeni su prostori pogodni za daljnja istraživanja. Prikazani su u prilogu 2. Ti prostori podijeljeni su u tri kategorije s obzirom na mogući redoslijed dalnjih istraživanja. Pri tom se naglašava da jednako u obzir mogu doći prostori izdvojeni u sve tri kategorije ovisno od potreba vodoopskrbe pojedinih užih ili širih područja. Najvažnija jest cirkulacija podzemne vode duž zona rasjeda. Poglavito su važne zone rasjeda duž čijih krila prevladava horizontalna komponenta pomaka krila i rasjeda koji se pružaju paralelno orijentaciji kompresijskog stresa. Posebno se ističu prostori veće kompresije. Položaji i pružanja pojedinih velikih ili lokalnih struktura i pomaci njihovih dijelova mogu utjecati na cirkulaciju i koncentraciju vode u podzemlju, pogotovo zbog različite rasprostranjenosti i debljina flišnih naslaga.

U prvu kategoriju uključeni su prostori 7 lokacija. Navode se najvažnije njihove značajke.

A₁ Buzet. U tom prostoru postoje izvori oko lokacije Sv. Ivan. Položaj i pomaci velike strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) i lokalne strukture Buzet, te nizovi i zone rasjeda sustava SSZ–JJI ukazuju na moguća dodatna istraživanja u dolini rijeke Mirne, te S i Z od Buzeta.

A₂ Istarske Toplice. Izvor toplica i izvor Gradaški Bulaž u zoni rasjeda Buje–Istarske Toplice–Brnobići–Dolenja Vas (5), te pomaci dijela velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) ukazuju na mogućnost dodatnih istraživanja spomenute zone rasjeda osobito oko sela Gradanje, u dolini potoka Mlaka i uz sjeverno krilo lokalne strukture Sovinjska brda.

A₃ Dolina rijeke Mirne. Izdanci karbonatnih naslaga na površini i osobito položaji i pomaci velikih i lokalnih struktura oko doline rijeke Mirne, zatim postojanje nizova rasjeda sustava SSZ–JJI, te reversnih rasjeda vergencije prema S nastalih zbog pomaka i uzdizanja velike strukture Tar–Pazin–Orić–Podpičan (4) ukazuju na potrebu istraživanja relativno šireg prostora oko doline rijeke Mirne.

A₄ Čiritež. Nalazi se u prostoru izražene kompresije. Strukturni odnosi su slični onima kod Buzeta, osobito uz zone najvažnijih reversnih rasjeda strukturnog sklopa.

A₅ Ročko Polje. Unutar suženog prostora između zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) i pružanja velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) ističu se položaji lokalnih reversnih struktura, te između njih lokalne srušene strukture kod Ročkog Polja u kojoj vjerojatno postoji širenje prostora.

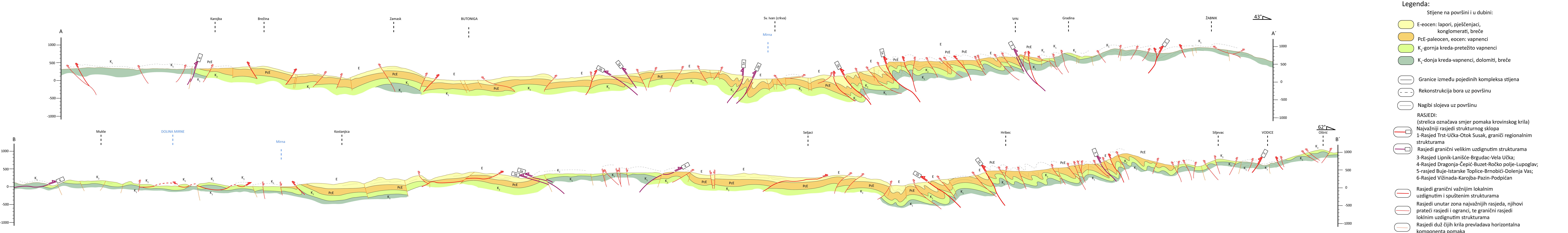
A₆ Lupoglav. Osobito je izražena kompresija prostora i znatno uzdizanje dijela velike strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) unutar koje se blizu površine nalaze karbonatne naslage. Izraženi su i nizovi rasjeda sustava SSZ–JJI i unutar zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1) pojave rasjeda paralelnih orijentacija stresa.

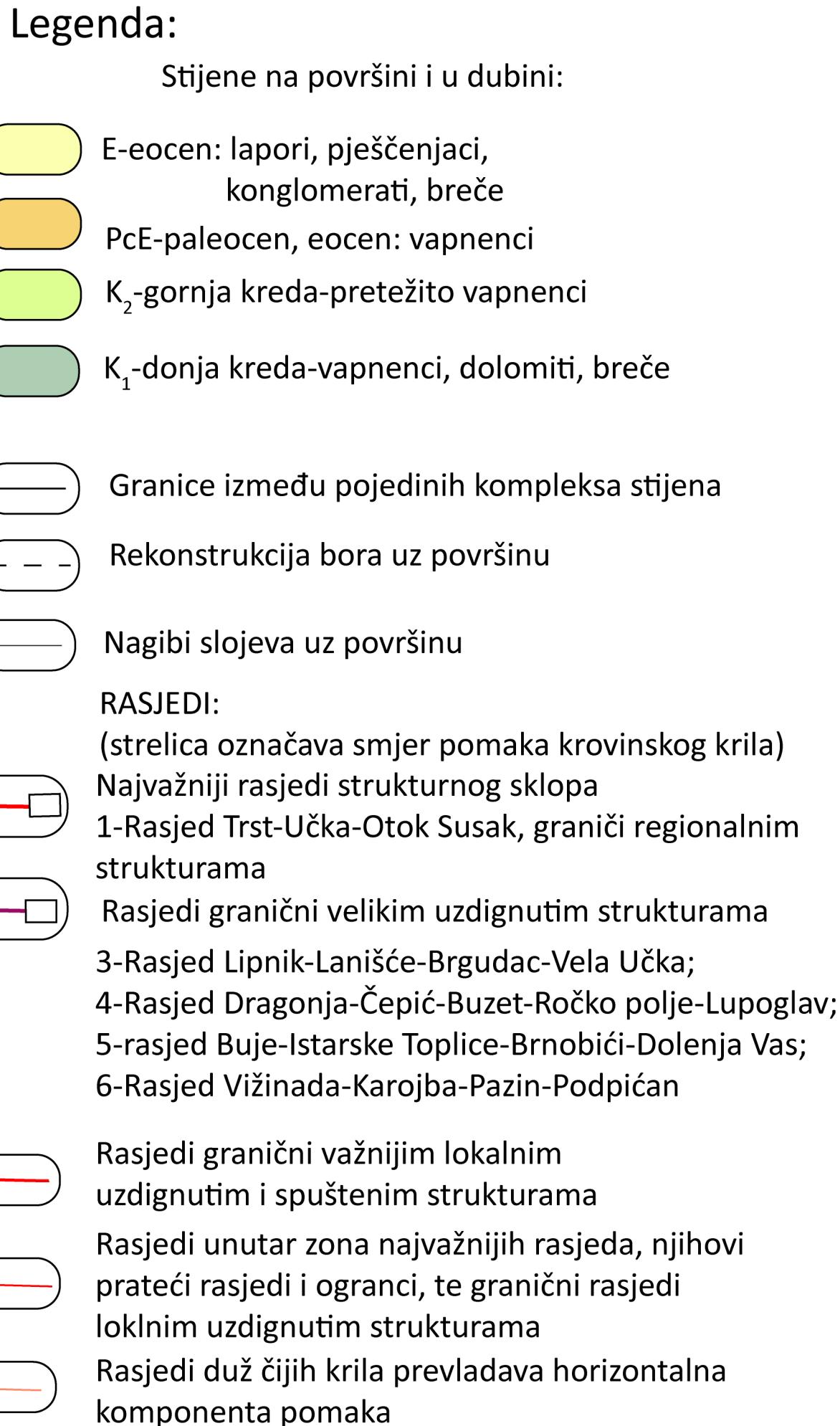
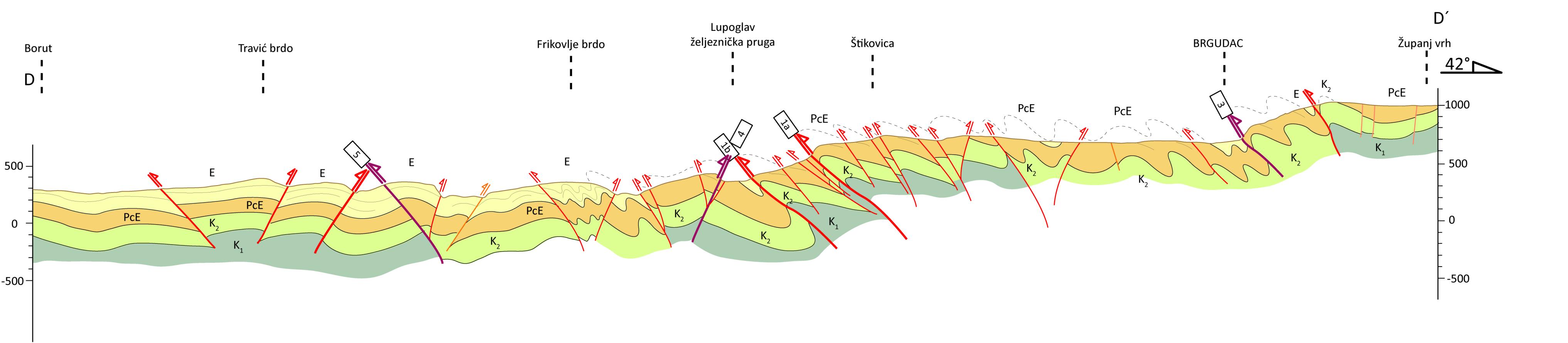
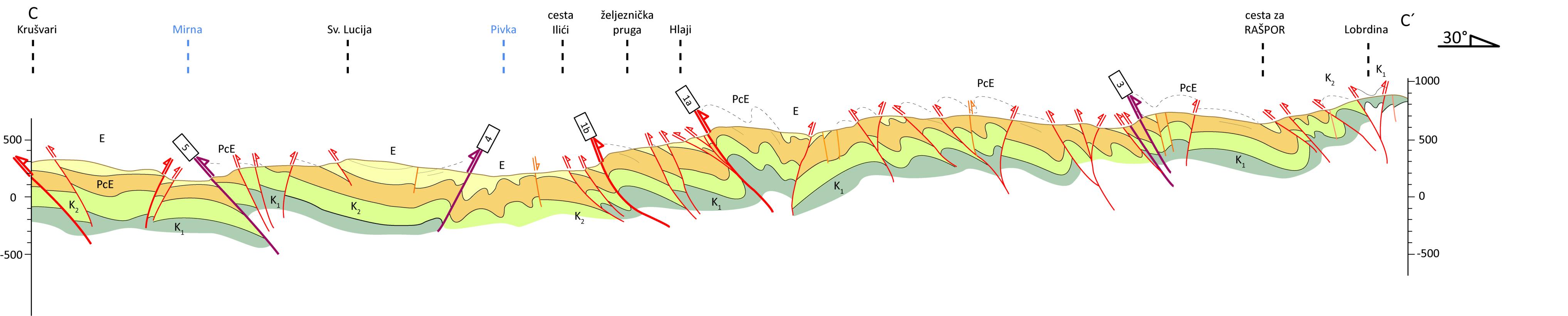
A₇ Vranja. Obuhvaća širi prostor zbog znatnih pomaka krajnjih istočnih dijelova velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) duž nekoliko zona rasjeda sustava SSZ–JJI do S–J. Posebno su važni pomaci Učke (2) prema Z i ZJZ. Strukturni odnosi i pomaci struktura ukazuju na važnost daljnjih istraživanja.

Za obuhvaćanje prostora oko lokacija svrstanih u drugu kategoriju uzeti su u obzir isti strukturno-hidrogeološki odnosi. Ukupno je izdvojeno 10 prostora. Najprije su označeni dijelovi sklopa oko zone rasjeda Trst–Učka–otok Susak (1). To su prostori kompresije oko tog rasjeda u čijem se krovinskom krilu duž Ćićarije (1) nalaze na površini karbonatne, ali i flišne naslage. Izdvojeni prostori **Ugrini–Črnica (B₁)**, **Sveti Martin (B₂)** i **Nugla–Kampanj (B₃)** ujedno dopunjaju označene prostore Buzet (A₁), Čiritež (A₄) i Ročko Polje (A₅). Unutar Ćićarije (1) izdvojena su dva prostora. **Oko Vodica (B₄)** naglašena je kompresija zbog nizanja lokalnih reversnih uzdignutih struktura. Na površini se nalaze karbonatne stijene. Osobito su naglašene zone rasjeda sustava SSZ–JJ i moguće širenje prostora u zonama rasjeda paralelnih orijentacija kompresijskog stresa. **Prostor oko Lanišća (B₅)** obuhvaća relativno spuštenu strukturu između zone rasjeda Lipnik–Lanišće–Brgudac–Vela Učka (3) i izdužene lokalne strukture brda Osoje. Nadalje se osobito ističe prostor **Čepić–Zrenj (B₆)**. Obuhvaća aktivnu zonu rasjeda Dragonja–Čepić–Buzet–Ročko Polje–Lupoglav (4). Prostor je izdvojen, jer zonu tog rasjeda presijeca niz rasjeda sustava SSZ–JJ do S–J koji preko velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) dopiru do Istarskih Toplica i izvora Gradaški Bulaž. Istočno od Vranje (A₇) zbog pomaka Učke (2) prema JZ naglašen je prostor **B₇ oko Šušnjevice**. Osobito je važan prostor **B₈ oko Podpična i Čepičkog polja**. Rasjed Vižinada–Karojba–Pazin–Podpičan (6) pruža se tim prostorom. U njegovom krovinskom krilu nalaze se na površini karbonatne stijene, a u podinskom krilu flišne naslage i kvartarne jezerske gline i pijesci. Dijelove prisutnih struktura presijecaju rasjedi sustava SSZ–JJ do S–J. Kompresiju prostora povećavaju pomaci Učke (2) prema Z. Oko **Pazina (B₉)** u zoni spomenutog rasjeda uočavaju se naglašeni pomaci dijelova velike uzdignute strukture Tar–Pazin–Orić–Popičan (4) duž rasjeda sustava S–J do SSZ–JJ. Struktura je na površini izgrađena iz karbonatnih stijena. Sjeverno od Pazina na površini se nalaze flišne naslage. Vrlo slični uvjeti postoje **između Vižinade i Karojbe**. To je omogućilo okonturiti prostor **B₁₀**.

U treću kategoriju uključeno je 12 prostora oko lokacija u kojima postoje slične odlike strukturnog sklopa. Pojedini prostori nadopunjaju prostore uvrštene u prvu ili drugu kategoriju. Izdvojeni prostor oko **Bresta (C₁)** predstavlja zapadni nastavak Lanišća (B₅) oko zone rasjeda Lipnik–Lanišće–Brgudac–Vela Učka (3). Konture oko **Marušića (C₂)** nastavljaju se na izdvojeni prostor Čepić–Zrenj (B₆) oko zone rasjeda

Dragonja–Ćepić–Buzet–Ročko Polje–Vela Učka (4). Duž zone rasjeda Buje–Istarske Toplice–Brnobići–Dolenja Vas (5) zbog pomaka dijelova velike uzdignute strukture Buje–Buzet–Lupoglav (3) izdvojena su dva prostora oko lokacija **Oprtalj (C₃) i Buje (C₄)**. Zbog postojanja veće kompresije uz spomenutu zonu rasjeda najprije je označena lokacija **Prodani (C₅)**, a istočnije prostor oko lokacije **Brnobići (C₁₀)**. Ovdje se osobito ističu zone rasjeda sustava SSZ–JJI. U središnjem dijelu obuhvaćenog strukturnog sklopa na površini se nalaze flišne naslage. Izdvojeno je više lokalnih struktura. Odnosi i položaji struktura i njihovi pomaci u krilima rasjeda omogućili su izdvojiti pet prostora pogodnih za daljnja istraživanja. **To su Butonega (C₆), Motovun (C₇), Kršikla (C₉), Oslići (C₁₁) i Previž (C₁₂)**. Oko zone rasjeda Tar–Višnjan–Barban (7) koja se pruža unutar karbonatnih stijena izdvojen je prostor oko mjesta **Labinci (C₈)**. Osobito se ističu rasjedi sustava SSZ–JJI.





Slika 9.2.

LITERATURA

Altiner, Y., Cigrovski-Detelić, B., Čolić, K., Seeger, H. (1998): Present crustal deformations in the Adriatic Sea area on the basis of GPS observations. Proceedings of Second International Symposium: Geodynamics of the Alps-Adria Area by means of Terrestrial and Satellite Methods, Spetember, 28. – October, 2. Dubrovnik 1998. Zagreb and Graz, 1999.

Altiner, Y. (1999): Analytical surface deformation theory for detection of the Earth's crust movements. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Aljinović, B. (1984): Najdublji seizmički horizonti NE Jadrana. Disertacija. Prirodosl.-matemat. fak., 1-265, Zagreb

Aljinović, B., Blašković, I., Cvijanović, D., Prelogović, E., Skoko, D. & Brdarević, N. (1984): Correlation of Geophysical, Geological and Seismological data in the Costal Part of Yugoslavia. Bollettino di Oceanologia Teoretica ed Applicata, Vol. II, N.2. 77 -90, Trieste.

Aljinović, B., Prelogović, E. & Skoko, D. (1987): Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seismotektonskim aktivnim zonama u Jugoslaviji. Geol. vjesnik, 40, 225-263.

Anderson, H. & Jackson, J. (1987): Active tectonics of the Adriatic Region. – Geophys. J. R. Astr. Soc. 91, 937-983.

Bada, G., Horvath, F., Toth, I., Fodor,L., Timar, G. & Cloething, S. (2004): The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards, 385 – 402, Springer

Bertarelli, V. & Boegan, E. (1926): Duemilla Grotte. Milano.

Biondić, B., Kapelj, S., Kuhta, M., Singer, D. (2000): GIS Istre, HGI, Zagreb.

Blašković, I. (1969): Geološki odnosi središnjeg dijela Ćićarije. Geol. Vjesnik, 22, 35-54, Zagreb.

Bojanić, L., Domić, I.& Raljević, B. (1966): Podpićan-hidrogeološka istraživanja. IGI, Zagreb,

Božičević, S. (1967): Speleološka istraživanja područja južno od doline Mirne. IGI, Zagreb

Božičević, S. (1968): Izvještaj o istraživanju nove jame na vrelu Gradole. Arh.IGI, br. 4590/1 i 2, Zagreb.

Božičević, S. (1969): Speleološka istraživanja na području zaleđa izvora Blaž. IGI, Zagreb.

Božičević, S (1980): Ponorne zone i njihovi prirodni nastavci u vapnenačkim naslagama. Naš krš, 9, 33-59, Sarajevo, 1980.

Božičević, S (1985): Morfogeneza speleoloških pojava Istre i njihova zavisnost o geološkim i hidrogeološkim uvjetima. Disertacija, 1-166, Zagreb.

Carulli, G. B., Nikolich, R., Rebez, A. & Sleyko, D. (1996): Seismotectonics of the Northwest External Dinarides. Tectonophysics, 179, 11 – 25.

Cukor, V. & Fritz, F. (1967): Hidrogeološka istraživanja u području zapadne Istre. IGI, Zagreb.

Cvijanović, D. (1981): Seizmičnost područja Hrvatske. Disertacija. PMF, Zagreb.

Cvijanović, D., Prelogović, E. & Skoko, D. (1976): Seismotektonska karta područja Hrvatske. Acta seism. lugosl., 4, 19-29, Beograd.

Cvijanović, D., Prelogović, E., Kranjec, V., Skoko, D., Zagorac, Ž., Bahun, S. & Oluić, M. (1979): Seismotektonska karta Hrvatske i susjednih područja. Geofizički zavod, Zagreb

Del Ben, A. D., Finetti, I., Reber, A. & Slepko, D. (1991): Seismicity and seismotectonics at the Alps – Dinarides contact. Bull. di Geophys. (XXXIII/130 – 131), 155 – 176

Dragičević, I., Prelogović, E., Pavelić, D., Vranjković, A., Pavičić, I., Šipek, S., Rašić, J. (2014): Hidrogeološka potencijalnost gorskih i prigorskih vodonosnika sjeverne Hrvatske. Stručni elaborat. Zagreb.

D' Ambrosi, C.: Note Illustrative della Carta geologica delle tre Venezie, Foglio "Pisino", Uff. Idrogr. R. Mag. Acque, Sez. Geol., pp. 1-79, Padova, 1931 .

Finetti, O. (1984): Struttura ed evoluzione della microplocca Adriatica. Boll. Ocean. Teor. E Appl., 1, No2, 145-154, Trieste

Grünthal, G. & Stormeyer, D. (1992): The recent crustal stress field in Central Europe: Trajectories and finite element modeling. – Journ. Geophys. Res., 97/B8, 11.805-11.820.

Geol. zavod, Ljubljana, Inst. geol. istraž., Zagreb (1969): Osnovna geološka karta, list Trst 1:100.000, L 33-88, Sav Geol. zavod, Beograd.

Goldscheider, N., Drew, D. (2007): Methods in Karst Hydrogeology. Taylor & Francis Group, London, 264 str.

Gulić, I. (1973): Izvor Gradole-Krški fenomen u dolini Mirne. Građevinar, 5, XXV (XCIII), 152-158.

Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. – Acta geologica, 16/1, 1-42, Zagreb.

Herak, M. (1989): Relationship between Adraitic and Dinarides carbonate platforms. Proc. Int. Symp. Evol. Of the carstic carb. Platform. Mrm. Soc. Geol. Ital., 40 (1987), 289-293, Roma.

Herak, M. (1991): Dinarides. Mobilistic view of the genesis and structure. Acta geol., 21/2, 35-117, Zagreb

HGI (2009): Geološka karta Hrvatske, mjerilo 1:300 000, HGI, Zagreb.

HGI (2009): Tumač za Geološku kartu Hrvatske, HGI, Zagreb.

Kuk, V., Prelogović, E. & Dragičević, I. (2000): Seismotectonically Active Zones in the Dinarides. Geol. Croat., 53/2, 295-303, Zagreb.

Lawrence, S.R., Tari- Kovačić, V. & Gjukić, B. (1995): Geological evolution model of the Dinarides. – Nafta, 46/2, 103-113, Zagreb.

Makjanić, B., Penzar, B., Volarić, B., Penzar, I. & Lisac, I. (1979): Klimatska karta Hrvatske prema Koppenovoj klasifikaciji za razdoblje 1950 - 1977. Geofizicki zavod PMF, Zagreb.

Makjanić, B. & Volarić, B. (1981): Kratki pregled klime Istre. Liburnijeske teme, knjiga 4 (Prirodna podloga Istre), 91-102, Opatija.

Magdalenić, A. & Fritz, F. (1959): Ogledna hidrogeološka karta Istre, list Rovinj 1 :50 000. IGI, Zagreb, 1959.

Magdalenić, A. (1988): Zone sanitарne zaštite izvora Bulaž u Istri, RGN fakultet, Zagreb.

Magdalenić, A. (1990): Zone sanitарne zaštite akumulacije Butoniga u Istri. Hidrogeološka i inženjerskogeološka studija. RGN fakultet, Zagreb, 1990.

Magdalenić, A., Bonacci, O., Jurak, V. & Roglić, S. (1984): Studija sliva izvora Bulaž u Istri. RGN fakultet, Zagreb.

Magdalenić, A., Bonacci, O., Vazdar, T., Barić, R., Hlevnjak, B. & Tomić, B. (1992): Sliv izvora Sv. Ivan u Istri. Zone sanitарne zaštite. Hidrogeološka i hidrološka studija. RGN fakultet, Zagreb.

Magdalenić, A. & Vazdar, T (1993).: Hidrogeoloska interpretacija trasiranja podzemnih voda u sredisnjoj Istri. Hrvatske vode, 1 /4, 231 - 238, Zagreb.

Mantovani, E., Albarello; D., Tamburelli, C., Rabbene, D. & Viti, M. (1997): Convergence Factors of the Recent Mediterranean Pattern. Annali de geofisica, Univ. degle Studi di Siena.

Matičec, D. (1998): Analiza strukturnog sklopa Učke. Disertacija. RGN fak., 1-136, Zagreb.

Matičec, D. (1994): Neotectonic deformations in western Istria, Croatia. Geol. Croat., 47/2, 199-204, Zagreb

Morelli, C. (1984): Promontorio Africano o microplacca Adriatica. Boll. Ocean. Teor. E Appl., Vol. II, No2., 151-168, Trieste.

Oldrow, J. S., Feoratti, L., Lerois, D. S., Campbell, J. K., D'Argennio, B., Catalano, R., Pappone, G., Carmignani, L., Conti, P. & Aiken, C. L. V. (2002): Active fragmentation of Adria, the North African promontory, central Mediterranean orogen. Geology. Vol. 30, No 9, 779-782.

Parlov, J. (2010): Identifikacija parametara za modeliranje toka podzemne vode glavnih izvora u porječju Mirne. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb.

Pleničar, M., Polšak, A. & Šikić, D. (1969): Osnovna geoloska karta SFRJ 1:100 000, list Trst. Savezni geološki zavod, Beograd, 1969.

Pleničar., M., Polšak, A. & Šikić, D. (1973): Tumač za list Trst (OGK, 1:100 000). Savezni geološki zavod, Beograd, 1973.

Polšak, A. (1965): Stratigrafska jurskih i krednih naslaga srednje Istre. Geološki vjesnik, 18/1, 167-184, Zagreb

Polšak, A. & Šikić, D. (1969): Osnovna geoloska karta, list Rovinj 1:100.000, L 33-100. Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. Geol. zavod, Beograd.

Polšak, A. & Šikić, D. (1973): Tumač za list Rovinj (OGK, 1 :100 000). Savezni geološki zavod, Beograd.

Prelogović, E. & Kranjec, V. (1983): Geološki razvitak područja Jadranskog mora. Pomorski zbornik, 21, 387-405, Rijeka.

Prelogović, E., Kuk, V., Jamičić, D., Aljinović, B. & Marić, K. (1995): Seismotektonska aktivnost kvarnerskog područja. 1. Hrv. Geol. kongr. Opatija, 18.-21.10.1995., Zb. radova, 2, 487-490, Zagreb

Prelogović, E., Pribičević, B., Dragičević, I., Buljan, R. & Tomljenović, B. (2001): Recentni strukturni sklop prostora Dinarida. Arh. INA-Naftaplin, Zagreb, RGN fak., Zagreb.

Prelogović, E., Pribičević, B., Ivanković, Ž., Dragičević, I., Buljan, R. & Tomljenović, B. (2003b): Recent structural fabric of the Dinarides and tectonically active zones important for petroleum-geological exploration in Croatia. Nafta, 55, (4), 155-161, Zagreb.

Pribičević, B., Medak, D. & Prelogović, E. (2003): Investigation of geodynamics of Adriatic micro-plate by means of geodetic, geophysical and geologic methods. Report on Geodesy, 64 (1), 85-92

Raljević, B. & Čakarun, I. (1969): Hidrogeoloski istražni radovi na području izvorista Blaz. IGI, Zagreb, 1969.

Raljević, B. & Čakarun, I. (1969a): Hidrogeoloska istraživanja uzeg područja Rakonek-Grđak. IGI, Zagreb, 1969a.

Raljević, B. & Čakarun, I., Kostović, K. & Babić, Ž. (1968): Hidrogeološka istraživanja južne Istre. IGI, Zagreb,

Raljević, B. & Čakarun, I., Kostović, K., Hrelić, DJ., Božičević, S. & Babić, Ž. (1971): Regionalna hidrogeološka istraživanja na području Istre. IGI, Zagreb.

Roglić, J. (1981): Geografski aspekt na prirodnu podlogu Istre. Liburnijske teme. (Prirodna podloga Istre), 4, 25-34, Opatija.

Rubinić, J. & Ožanić, N. (1994): Gospodarenje vodama Vranskog jezera na otoku Cresu-stanje i mogućnosti. znanstveni skup „Strategija održivog razvijanja Hrvatskih otoka“, Hvar.

Rubinić, J. (1994): Hidrološka analiza bilansa i mutnoća voda izvora Rakonek. 2. stručni skup sekcije za vodoopskrbu i odvodnju, Zbornik radova, 189-201, Umag.

Rubinić, J., Tomašić, M. & Kukuljan, I. (1995): Vodni potencijal jamskih prostora Labinštine. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa s međunarodnim sudjelovanjem, Opatija, knjiga 2, 519-522, IGI , Zagreb.

Sacco, F. (1924): Shema geologico dell'Istria. 1:200 000. L'Universe, 5, Mondovi.

Salopek, M. (1954): Geološka građa jugoistočne Ćićarije i područja Učke. Ljetopis JAZU, 26, 59-98, Zagreb.

Skoko, D., Prelogović, E. & Aljinović, B. (1987): Geological structure of the Earth's crust above the Moho discontinuity in Yugoslavia. Geophys. J.R.A.S., 89, 379-382, Cambridge.

Šegota, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem vrimu. Geografski glasnik, 30, 15-38, Zagreb.

Šegota, T. (1975): Klima. U: Geografija SR Hrvatske, knj., ŠK, Zagreb.

Šegota, T. (1982): Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od risvirmskog interglacijala do danas. Geološki vjesnik, 35, 93-109, Zagreb, 1982.

Šegota, T. & Filipčić, A. (1996): Klimatologija za geografe. Školska knjiga, 1-471, Zagreb.

Šikić, D., Pleničar, M. & Šparica, M. (1972): Osnovna geološka karta, list Ilirska Bistrica 1:100.000, Inst. geol. istraž., Zagreb, Geol. zavod, Ljubljana, Sav. Geol. zavod, Beograd.

Šikić, D. & Pleničar, M. (1975): Tumač za list Ilirska Bistrica (OGK, 1:100 000). Savezni geoloski zavod, Beograd,

Šikić, D., Polšak, A. & Magaš, N. (1969): Osnovna geološka karta, list Labin 1:100.000, Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. Geol. zavod, Beograd.

Šikić, D. & Polšak A. (1973): Tumač za list Labin (OGK, 1: 100 000). Savezni geološki zavod, Beograd.

Urumović, K., Vazdar, T., Dragičević, I. & Hlevnjak, B. : Hidrogeološka studija o ugroženosti izvora Sv. Ivan, Bulaž i Mlini. Preliminarno izvješće. RGN fakultet, Zagreb, 1995.

Urumović, K. , Vazdar, T., Dragičević, I. & Hlevnjak, B.: Hidrogeološka studija o ugroženosti izvora Sv. Ivan, Bulaž, Mlini i Gradole. Konačno izvješće. RGN fakultet, Zagreb, 1996.

Velić, I., Tišljer, J., Matičec, D. & Vlahović, I. (1995): Opći prikaz geološke građe Istre. 1. Hrv. Geol. kongres, 5-30, Zagreb.

Tomić, A. (1974): Problem zahvata izvorske vode na izvorištu Blaz u Raškom zaljevu. Zbornik radova Više građevinsko-tehničke škole, Svezak 2, 113-118, Rijeka.

Tomić, A. (1980): Hidrogeologija Istre. Disertacija, 1-117, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Veronese, G. (1939): Appunti per la storia del Grande acquedotto Istriano. III. Progetto Esecutivo. I. Lotto, Societa Cooperativa Tipografica, Padova.

Vlahović, I.: Karbonatni facijesi plitkovodnih taložnih sustava od kimeridža do gornjega alba u zapadnoj Istri., 1-327, RGNF, Zagreb, 1999.

Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I., Matičec, D.(2002): The Karst Dinarides are Composed of Relics of a Single Mesozoic Platform: Facts and Consequences. Geologia Croatica, 55/2, 171-183, Zagreb.

Vlahović, T. (1999): Utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri. Disertacija. RGN fak., 1-237, Zagreb.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
ZAVOD ZA GEOLOGIJU I GEOLOŠKO INŽENJERSTVO
(Pierottijeva 6, 10000, Zagreb)



PRILOZI: