

HIDROGEOLOŠKA POTENCIJALNOST GORSKIH I PRIGORSKIH VODONOSNIKA SJEVERNE HRVATSKE:

A: ŽUMBERAČKO I SAMOBORSKO GORJE

B: ZAGREBAČKA GORA

C: KALNIČKO GORJE



VODITELJ PROJEKTA:

DEKAN:

Prof. dr. sc. Ivan Dragičević

Izv. prof. dr. sc. Zoran Nakić

Zagreb, studeni 2014.

PROJEKTI ZADATAK: HIDROGEOLOŠKA POTENCIJALNOST GORSKIH I PRIGORSKIH
VODONOSNIKA SJEVERNE HRVATSKE

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.

Dr. sc. Alan Vranjković, znanstveni asistent

Mag. ing. geol. Ivica Pavičić

Saša Šipek, geol. teh,

Jurica Rašić, teh.

Sadržaj:

0. UVOD.....	4
0.1. DEFINICIJA GORSKIH I PRIGORSKIH VODONOSNIKA	8
0.1.1. Trijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik.....	9
0.1.2. Badenski karbonatno klastični vodonosnik	12

0. UVOD

Kompleksna geološka i hidrogeološka istraživanja u okviru projekta „Hidrogeološka potencijalnost gorskih i prigorskih vodonosnika sjeverne Hrvatske“ izvedena su prema ugovoru br. 10-040/13. od, 20.09.2013 godine, koji su sklopile Hrvatske vode, kao Naručitelji, i Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, kao Izvršitelj ugovorenih radova, temeljem rezultata natječaja javne nabave.

Radovi su izvedeni sukladno projektnom zadatku–Hidrogeološka potencijalnost gorskih i prigorskih vodonosnika sjeverne Hrvatske koji je sastavni dio ugovora. U projektnom zadatku je konstatirano da su regionalne hidrogeološke strukture kilometarskih dimenzija razvijene na više mjesta u području sjeverne Hrvatske. Njihova prisutnost redovito se poklapa sa značajnim geomorfološkim strukturama (Žumberačko i Samoborsko gorje, Zagrebačka gora, Kalničko gorje, više geomorfoloških jedinica u Hrvatskom Zagorju, te područje slavonskih planina). Redovito sadrže vodu visoke kvalitete koja je značajan mogući resurs za vodoopskrbu. Do danas provedena hidrogeološka istraživanja na nekim su lokalitetima dala zadovoljavajuće rezultate glede mogućnosti pridobivanja podzemne vode iz gorskih i prigorskih vodonosnika. Međutim, takva istraživanja niti približno ne daju pravu sliku o raspoloživim količinama vode, njezinoj kakvoći, strukturnom položaju stijenskih kompleksa u kojima je sadržana voda, kao i hidrološkoj bilanci. U pravilu naselja u gorskim i prigorskim područjima sjeverne Hrvatske u ljetnim mjesecima oskudijevaju u potrebama za pitkom vodom, pa bi realizacije ovakvih projekata pripomogle rješavanju problema vodoopskrbe u tim područjima.

Visoka kakvoća podzemne vode iz gorskih i prigorskih vodonosnika, ekološka očuvanost područja napajanja i relativno jednostavna zaštita daju dodatno opravdanje za sustavna istraživanja.

Strateško značenje gorskih i prigorskih vodonosnika, odnosno zaliha vode koje se u njima nalaze, nalažu potrebu dugoročnih istraživanja.

Općenito je poznato da je u globalnoj bilanci vode, pitka podzemna zastupljena samo sa oko 1 % (slika 0.1), najvažniji je izvor pitke vode na Zemlji. Podzemna voda može se u podzemlju nalaziti u stijenama karakteriziranim različitim tipovima poroznosti kao što su

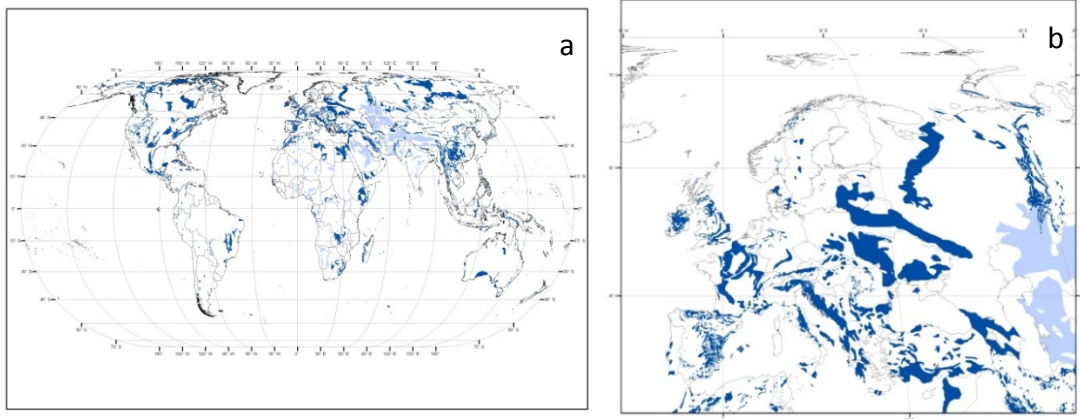
primarna ili sinsedimentacijska (npr. aluvijalni vodonosnici), **sekundarna** ili postsedimentacijska te **tercijarna** ili kaverna poroznost. Sekundarnom i tercijarnom poroznošću karakterizirani su krški vodonosnici. Iako je samo 12 % površine današnjeg kopna Zemlje izgrađeno od karbonatnih stijena (slika 0.2) ta krška područja osiguravaju pitku vodu za 20-25 % ukupne svjetske populacije (FORD & WILLIAMS, 2007). Krš je definiran kao teren posebnih geoloških, hidrogeoloških i geomorfoloških svojstava. Krški tereni građeni su od stijena koje su karakterizirane velikom topivosti uslijed djelovanja vode, u posebnim klimatskim uvjetima.



Slika 0.0.1. Raspodjela vode na Zemlji (prema <http://www.agci.org/classroom/hydrosphere/>, 20.5.2014)

Da bi se na nekom terenu razvio krš potrebna su 3 osnovna preduvjeta:

- 1) Postojanje stijena podložnih kemijskoj razgradnji pod djelovanjem vode,
- 2) Tektonska oštećenost stijenske mase,
- 3) Klimatski uvjeti koji omogućuju veliku količinu oborina (prema nekim autorima najmanja količina oborina da bi se mogao formirati krš je 250-300 mm/god),



Slika 0.2. Karta površinskog pojavljivanja karbonatnih stijena u: a) svijetu i b) Europi (http://web.env.auckland.ac.nz/our_research/karst/#karst1, 2.1.2014).

Najtopivije stijene su gips, anhidrit i halit no njihova zastupljenost u građi litosfere je vrlo mala tako da su najznačajnije karbonatne stijene, nešto manje topivi vapnenci i dolomiti.

Sekundarna ili pukotinska poroznost je rezultat tektonskih utjecaja na stijene. Kako su krški tereni karakterizirani karbonatnim stijenama koje su topive u vodi, tečenjem vode pukotine se proširuju te se takav tip poroznosti naziva terciarna ili kavernska poroznost. Da bi se mogla razumjeti dinamika podzemnih voda u krškim terenima osim hidrogeoloških istraživanja potrebno je provesti i geološka, geofizička, speleološka i geomorfološka istraživanja. Nemoguće je razumjeti krš ako se ne razumiju litološke i stratigrafske značajke stijena, regionalni i lokalni strukturni i tektonski odnosi, geomorfologija i povijesni razvoj istraživanog krškog terena. Krški vodonosnici se neprekidno razvijaju. Tijekom vremena CO₂ u vodi otapa karbonatne stijene, povećavajući porni prostor i formirajući od pukotina podzemne kanale, špilje, kaverne i druge krške forme (GOLDSHEIDER & DREW, 2007). Unatoč činjenici da tečenje podzemnih voda kroz krške vodonosnike podliježe istim prirodnim silama kao i u drugim tipovima vodonosnika kod kojih sam proces cirkulacije vode nema utjecaja na njihove hidrogeološke značajke (transmisivnost i uskladištenje), to nije slučaj s kršom upravo zbog značajne uloge topivosti stijena. Krški tereni često imaju samo tanak zaštitni sloj tla i veliki broj međusobno povezanih pukotina što omogućava brzu infiltraciju vode s površine uz slabo pročišćavanje (VUJNOVIĆ, 2010). Osim površinske infiltracije vode kroz tlo, voda u podzemlje može utjecati direktno kroz ponore, jame i ponikve. Voda se u krško podzemlje brzo infiltrira te se u krškom podzemlju kreće relativno

brzo kroz pukotine i podzemne kanale koji često nisu ispunjeni sekundarnim sedimentom i nema pročišćavanja te je vrijeme zadržavanja vode u podzemlju relativno kratko. Brza infiltracija i velika brzina toka kroz podzemlje uvjetuje veliki potencijal za onečišćenje. Onečišćivalo se lako infiltrira u podzemlje gotovo bez filtracije te se brzo širi vodonosnikom i na velike udaljenosti. Kako će se onečišćivalo širiti u krškom podzemlju ovisi o karakteristikama onečišćivala te podzemnoj pukotinskoj i kanalskoj mreži. Ponori jame i vrtače su kao direktna veza površine s podzemljem, posebno osjetljive točke krškog vodonosnog sustava te su nužne stroge mjere zaštite.

Oko 46 % površine Republike Hrvatske izgrađuju vapnenci i dolomiti (slika 1.3.) a i oko polovice stanovništva koristi pitku vodu iz krških vodonosnika te su kao takvi iznimno važni izvori pitke vode u Hrvatskoj.

Naprijed izneseno pokrenulo je ovaj projekt koji je dobrim dijelom nastavak istraživanja koje je Rudarsko-geološko naftni fakultet provodio za Hrvatske vode (DRAGIČEVIĆ, i dr.,: 1995, 1996, 1997, 1998, 1999 i 2002). U nastavku istraživanja pažnja je posvećena hidrogeološkoj potencijalnosti i kvantifikaciji zaliha podzemnih voda u navedenim područjima.

Istraživanja su provedena u područjima koja gravitiraju gusto naseljenim predjelima gdje je i potreba za vodom najveća. Obuhvaćeno je područje Žumberačkog i Samoborskog gorja, Zagrebačke gore i Kalničkog gorja.

Istraživanja su se sastojala od kabinetskog i terenskog dijela i to kako slijedi:

- 1) Prikupljanje, sistematizacija i valorizacija podataka dosadašnjih istraživanja
- 2) Geološko, geomorfološko i hidrogeološko rekognosciranje područja gdje su na površini razvijeni vodonosnici
- 3) Definiranje geoloških i hidrogeoloških okvira geneze, rasprostranjenja i strukturnog položaja vodonosnika
- 4) Izračun volumena vodonosnika
- 5) Procjena fizikalnih osobitosti vodonosnika
- 6) Određivanje glavnih hidrogeoloških parametara vodonosnika

- 7) Kvantificiranje zaliha i kakvoće podzemne vode u definiranim velikim hidrogeološkim strukturnim jedinicama
- 8) Odabir najizglednijih područja unutar velikih hidrogeoloških struktura iz kojih se najracionalnije može pridobiti podzemna voda za vodoopskrbu.

Rezultati koji su dobiveni ovim kompleksnim istraživanjima predstavljaju temelj za razumijevanje geneze vodonosnika, razumijevanju njegove geometrije i prostornog položaja. Krajnji rezultati istraživanja omogućili su izdvajanje najpovoljnijih područja za buduća detaljna istraživanja. U gorskim i prigorskim područjima gdje je manjak vode za vodoopskrbu, posebice u sušnim razdobljima, vrlo brzo se mogu započeti istraživati lokaliteti za nova crpilišta kvalitetne podzemne vode.

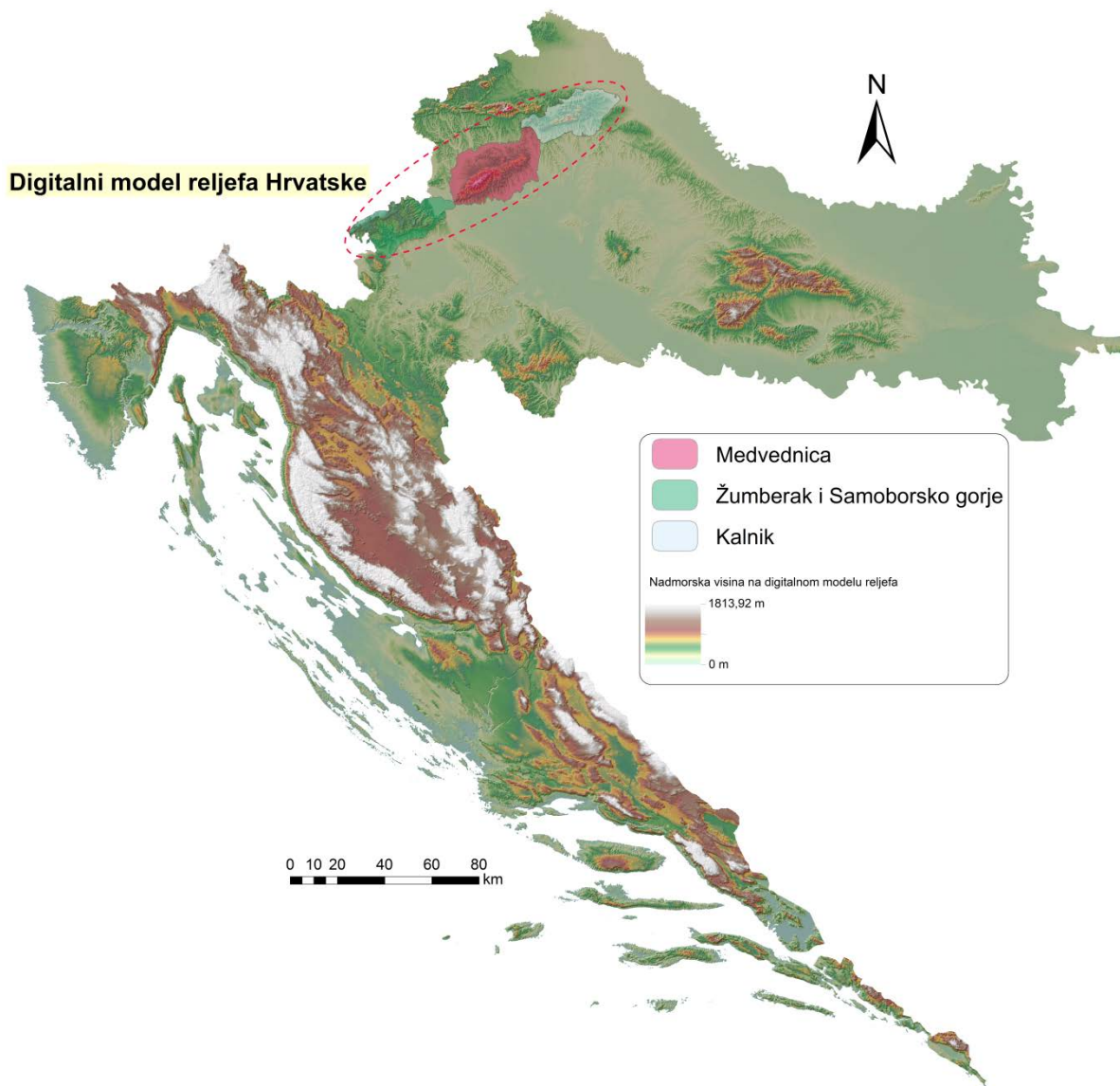
U ovom izvješću istraživanja i prikaz rezultata dobivenih istraživanjem strukturirani su u tri dijela, koji su povezani s posebnim regionalnim geološkim i hidrogeološkim odnosima:

- a) Žumberak i Samoborsko gorje
- b) Zagrebačka gora
- c) Kalničko gorje

Pri tome je način istraživanja i prikaz dobivenih rezultata isti za Zagrebačku goru i Kalnik, dok je za područje Žumberka i Samoborskog gorja korištena sofisticiranija metoda.

0.1. DEFINICIJA GORSKIH I PRIGORSKIH VODONOSNIKA

U područjima koja su obuhvaćena ovim istraživanjima (Žumberačko i Samoborsko gorje, Zagrebačka gora i Kalničko gorje (slika 0.3) široko su rasprostranjeni gorski i prigorski vodonosnici, kako na površini tako i u dubljim geološkim strukturama. To su prvenstveno **trijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik i badenski karbonatno-klastični vodonosnik**. Osim njih često dolaze i druge litostratigrafske jedinice s povoljnim hidrogeološkim osobitostima, ali ipak manje važne u regionalnim hidrogeološkim odnosima. To su: litostratigrafski članovi karbonatnih stijena jurske i kredne starosti, paleozojski mramori, metamorfni kompleksi i vulkanske stijene na Zagrebačkoj gori i u Kalničkom gorju, te paleogenske karbonatne breče Kalnika. Neogenski kompleksi, kada su razvijeni u facijesima klastičnih taložina također imaju karakteristike vodonosnika.



Slika 0.3. Digitalni elevacijski model Republike Hrvatske s označenim cjelokupnim područjem istraživanja (crvena elipsa) i svaka gora zasebno.

Ovom prigodom zbog regionalnog hidrogeološkog pristupa najveća pažnja posvećena je trijaskom dolomitno-vapnenačkom vodonosniku i badenskom karbonatno-klastičnom vodonosniku. Dakako da su u područjima gdje su značajnije prisutni drugi vodonosnici i oni uključeni u ukupne volumene vodonosnika, (npr. karbonatni litostratigrafski članovi jure i krede u Žumberačkom gorju).

0.1.1. Trijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik

Terenskim istraživanjima ustanovljeno je da se trijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik nalazi u vrlo zamršenim strukturnim odnosima. Bore i rasjedi velikih dimenzija

(dm, hm, km) daju temeljna strukturalna obilježja ovom vodonosniku. Odnos ovog vodonosnika prema izolatorskim stijenskim kompleksima vrlo je zamršen. U normalnom stratigrafskom slijedu on u svojoj podini ima široko rasprostranjeni donjotrijaski kompleks klastičnih stijena koji je u hidrogeološkom smislu vodonepropustan ili slabo vodopropustan. U krovini preko njega dolaze transgresivno i diskordantno raznovrsne taložne stijene najčešće neogenske starosti. Vrlo često transgresivno i diskordantno preko trijaskog dolomitno vapnenačkog vodonosnika naliježe badenski karbonatno-klastični vodonosnik koji u tome slučaju zajedno s njim čini jedinstvenu hidrauličku sredinu, odnosno jedinstveni vodonosnik. Ovakvi odnosi najperspektivniji su u hidrogeološkom smislu.

Debljina trijaskog dolomitno-vapnenačkog vodonosnika u razmatranim područjima procjenjuje se na više stotina metara (čak i preko 800 metara), što je ustanovljeno iz literaturnih podataka, snimanjem na terenu i izradom geoloških profila.

Horizontalno rasprostiranje ovog vodonosnika je u primarnim uvjetima njegovog nastanka, zaista impresivno. Ove su stijene primarno nastajale u području prostrane karbonatne platforme čije se horizontalno rasprostiranje moglo pratiti tisućama kilometara (od današnjih Portugala i Španjolske, preko Turske sve do Kine), a debljina istaloženih karbonatnih sekvencija nerijetko je prelazila tisuću metara.

Ovako shvaćeni sedimentacijski kompleks odlikovao se postojanom debljinom i lateralnim rasprostiranjem. Ove znanstveno utvrđene činjenice koje su konstantne poslužile su nam za kvantifikaciju volumena karbonatnih stijena koje su naknadnim dijagenetskim i tektogenetskim procesima pretvorene u grandiozne vodonosnike.

Petrografski sastav ovog vodonosnika je jednostavan. Najčešći litotipovi su ranodijagenetski dolomiti koji su naknadno izmijenjeni rekristalizacijskim procesima, te različiti tipovi plitkomorskih vapnenaca također naknadno izmijenjeni procesima rekristalizacije i dolomitizacije.

Što se tiče vrsta poroznosti koje su razvijene u ovom vodonosniku prisutne su i primarna i sekundarna.

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, tj nije istraživana 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 ovom gorskom vodonosniku. 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 procijenjene su promatranjem izdanaka u kamenolomima na 5 do 25 %. Njezina je uloga u hidrogeološkom smislu najznačajnija za nakupljanje podzemnih voda. U prilog značajnoj sekundarnoj poroznosti govore i brojni krški oblici razvijeni na površini ovog vodonosnika. Prisutne su vrtače što svjedoči o brzom vertikalnom poniranju vode u podzemlje. Zbog toga pojedine, ali ipak značajne dijelove možemo uvrstiti u krške vodonosnike.

Transmisivnost i vodopropusnost kao i neki drugi hidrogeološki parametri za sada nisu dovoljno proučavani u istraživanom prostoru. Samo za ilustraciju mogu poslužiti vrijednosti određene interpretacijom pokusnog crpljenja u nekim zdencima (primjer zdenca BV-1 u Vratnom-Kalnik, MAYER i dr., 1994.) gdje su utvrđene vrijednosti koeficijenta transmisivnosti između $T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ i $T = 5,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Kako je zdencem zahvaćen samo dio dolomitnog vodonosnika na dubini između 400 i 430,3 m ispod površine terena, može se dati i gruba procjena koeficijenta vodopropusnosti od oko $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, što približno odgovara srednje zrnomo pijesku (MAYER, i dr., 1994.).

Kako dolomitno vapnenački kompleks sudjeluje u vrlo složenim geološkim strukturama i pojavljuje se na značajnim dubinama, do otprilike tisuću pa i više metara, zbog toga on u većim dubinama sadrži toplu vodu, odnosno termomineralnu vodu koja se pojavljuje na termomineralnim vrelima i može se zahvatiti i bušenjem. Do koje dubine u pojedinim strukturama nalazimo hladnu vodu, odnosno kakvi su odnosi između hladne i tople vode, biti će istraživano u slijedećim fazama.

Geokemijske karakteristike vodonosnika uglavnom ovise o mjestu i načinu njegova postanka.

Dolomitno-vapnenački vodonosnik nastao je dugotrajnim taloženjem u plitkomorskim uvjetima. U takvim široko rasprostranjenim taložnim okolišima vladali su oksidacijski uvjeti što je uvjetovalo povoljne geokemijske odnose za podzemne vode koje se danas u njima nalaze. Prema podacima kojima raspolažemo radi se o visokokvalitetnim vodama hidrokarbonatnog tipa.

Na temelju gornjih podataka može se ocijeniti da se radi o izuzetno značajnom vodonosniku u kojemu su kroz geološku prošlost nakupljene značajne statičke zalihe podzemnih voda.

Dolomitno-vapnenački vodonosnik u ovim područjima napaja se infiltracijom oborinskih voda. Infiltracija do danas nije kvantificirana. Površina vodonosnika na više područja često doseže znatne veličine, i u pravilu je prekrivena tankim, razrahljenim površinskim pokrivačem od šumskog tla. Pretpostavlja se da veliki dio oborinskih voda prodire u podzemlje. U prilog toj pretpostavci govori činjenica da su u dolomitnim terenima vrlo rijetke vododerine koje bi ukazivale na intenzivno površinsko otjecanje. S obzirom na uspostavljenu ravnotežu između napajanja i zaliha kroz vrlo dugo razdoblje može se reći da su obnovljive zalihe podzemnih voda u ovom vodonosniku približno jednake godišnjoj količini istjecanja na izvorima vezanim uz dolomitno-vapnenački vodonosnik. Naime, na kontaktu vodonosnika s nepropusnim, uglavnom mlađim naslagama nalaze se brojni izvori. Ovi izvori predstavljaju mjesta preljevanja "viška" vode koji se tijekom godine stvori infiltracijom oborinskih voda.

Zamršeni strukturni odnosi u kojima se nalaze gorski vodonosnici ovih područja prikazani su detaljnije u nastavku. Njihov precizniji položaj i geometriju treba dalje istraživati geofizičkim metodama i strukturnim bušenjem.

0.1.2. Badenski karbonatno klastični vodonosnik

Ovaj je vodonosnik široko rasprostranjen, često s izdancima kilometarskih dimenzija, ali i sa čestim bočnim i vertikalnim prijelazima u litotipove nepovoljnijih hidrogeoloških svojstava. Geometrija i strukturni položaj ovog vodonosnika prvenstveno ovise o mjestu (paleoambijentu) i načinu njegovog postanka.

Odnos ovog vodonosnika prema izolatorskim stijenama vrlo je zamršen. On je u normalnom odnosu transgresivan i diskordantan na različite starije litostratigrafske članove. Od nepropusnih najčešći su različiti sedimentni sljedovi donjeg i srednjeg trijasa, te prebadenski krupnozrnasti do sitnozrnasti glinovito-laporoviti litotipovi. Vrlo često, a što je u hidrogeološkom smislu izrazito povoljno, stijene ovog vodonosnika u razmatranim područjima leže preko dolomitno-vapnenačkog vodonosnika srednjeg i gornjeg trijasa. Odmah treba istaknuti da područja s ovakvim geološkim, odnosno hidrogeološkim odnosima predstavljaju povoljna mjesta za nakupljanje podzemnih voda. U takvim područjima oba vodonosnika treba promatrati zajedno, kao jedinstvenu hidrauličku sredinu. U krovini vodonosnika dolazi široko rasprostranjeni i lako prepoznatljivi slijed sarmatskih sitnozrnastih laporovito-glinovito-pjeskovitih sedimenata.

Dakako da u recentnim strukturnim odnosima vrlo često susrećemo rasjedne kontakte ovog vodonosnika s vrlo različitim stijenskim kompleksima, kako po starosti tako i po petrografskom sastavu i hidrogeološkim svojstvima.

Petrografski sastav ovog vodonosnika, kako proizlazi iz samog naslova, vrlo je raznovrstan. U karbonatnom dijelu vodonosnika prevladavaju različiti tipovi plitkomorskih vapnenaca gotovo isključivo biogenog podrijetla. Prevladavaju biohermalni i biostromalni koralinacejsko-briozojsko-koraljni vapnenci kao i produkti njihovog razaranja energijom morske vode. Klastični dio vodonosnika predstavljaju najčešće bazalni polimiktni konglomerati i breče. Njihov sastav odgovara petrografskom sastavu podine na koju su transgredirali. U zamršenim paleogeografskim odnosima na relaciji kopno-obalna linija-plitko more često se susreću u različitim omjerima pomiješani litoklasti karbonatnog i klastičnog razvoja.

U vapnenačkom dijelu vodonosnika nazočne su sve vrste poroznosti, primarne i sekundarne karakteristične za vapnence. Od primarne poroznosti svakako treba na ovom mjestu istaknuti poroznost grebenske rešetke (u biohermama i biostromama koje nisu razorene dinamikom mora). Dakako da pojedini tipovi sekundarne poroznosti i u ovim vapnencima uvjetuju vrlo povoljne hidrogeološke karakteristike vodonosnika. To se prvenstveno odnosi na disolucijsku poroznost što je dovelo do stvaranja vrtača pa vodonosnik često ima krška obilježja.

U klastičnom dijelu vodonosnika zastupljena je primarna poroznost, a prevladavaju međuzrnska i unutarzrnska. U slučaju da su klasti povezani karbonatnim vezivom u njima može također biti razvijena sekundarna disolucijska poroznost.

Temperatura ovog vodonosnika za sada je malo poznata. Iz podataka dubokih bušotina znamo da se on može pojavljivati na dubinama od više stotina metara. Prema dostupnim podacima, kada se on nalazi zajedno s trijaskim dolomitno-vapnenačkim vodonosnikom može biti nosilac termalnih, odnosno termomineralnih voda, a one prirodnim putem i najčešće ističu iz njega. No poznati su brojni izvori i zdenci sa hladnom vodom iz ovog vodonosnika.

Badenski karbonatno-klastični vodonosnik nastao je u marinskim pretežno plitkovodnim sredinama koje su bile bogate kisikom i sa značajnom dinamikom mora, dakle u oksidacijskim uvjetima taloženja što mu i određuje temeljne geokemijske karakteristike. Zbog toga se vode koje se danas u njemu nalaze odlikuju visokom kakvoćom i pripadaju vodama hidrokarbonatnog tipa.

A. ŽUMBERAČKO I SAMOBORSKO GORJE



Sadržaj:

1.	UVOD.....	1
2.	PREGLED DOSADŠNJIH ISTRAŽIVANJA	3
3.	GEOGRAFSKA, GEOMORFOLOŠKA I KLIMATSKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 4	
3.1	Geografske i geomorfološke značajke	4
3.2.	Klimatske značajke.....	9
4.	GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	11
4.1	Litostratigrafske značajke.....	11
4.1.1.	Paleozoik.....	11
4.1.2.	Mezozoik.....	13
4.1.3.	Kenozoik.....	18
4.2.	Površinska raspodjela litostratigrafskih jedinica	23
4.3.	Strukturno-tektonske značajke.....	33
5.	HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	42
5.1.	Hidrogeološke značajke stijena	42
5.2.	Zaštita krških vodonosnika	55
5.3.	Slivovi i pripadni vodotoci i izvori Žumberka i Samoborskog gorja	57
6.	IZRADA KONCEPTUALNOG GEOLOŠKOG MODELA PODZEMLJA	62
6.1.	Analiza podataka položaja slojeva s ciljem pridobivanja optimalnih orijentacija geoloških profila i određivanje trasa profila	63
6.2.	Izrada poprečnih i uzdužnih geoloških profila.....	66
6.3.	Konstrukcija funkcionalnih volumena	69
6.4.	ZALIHE PODZEMNE VODE.....	72
7.	Izračun potencijalnih zaliha podzemne vode	72

7.1.	Metoda izračuna potencijalnih zaliha množenjem površine s debljinom.....	73
7.2.	Metoda izračuna potencijalnih zaliha podzemne vode na temelju 3D geološkog modela.....	76
7.3.	Vodna bilanca	80
8.	LITERATURA.....	83
8.1.	Objavljeni radovi.....	83
8.2.	Neobjavljeni radovi.....	86
8.3.	Internetski izvori	87
9.	PRILOZI	1

Popis slika:

Slika 1.1. Pojednostavljeni prikaz rasprostranjenosti krša na području Republike Hrvatske (Herak, 1991)	1
Slika 3.1. Digitalni model reljefa Žumberka i Samoborskog gorja.....	5
Slika 3.2. Vrtača kod sela Slani Dol (a); u selu Novo Selo Žumberačko (b).....	5
Slika 3.3. 3D prikaz morfologije Žumberka i Samoborskog gorja s speleološkim i hidrogeološkim objektima.	6
Slika 3.4. Karta gustoća vrtača i izvora Žumberka i Samoborskog gorja	8
Slika 3.5. Karta središnjih godišnjih oborina Žumberka i Samoborskog gorja (GAJIĆ-ČAPKA et al., 2003, FRANGEN, 2013).	9
Slika 3.6. Karta srednjih godišnjih temperatura zraka (ZANINOVIĆ et al., 2004, FRANGEN, 2013).	10
Slika 4.1. a) Izdanak gornjokrenog fliša; b) Teksture u gornjokrednom flišu (uz cestu između Gornje Vasi i Budinjaka)	17
Slika 4.2. a) i b) Izdanak „Scaglia“ globotrunanskih vapnenaca (nedaleko od sela Budinjak)	18
Slika 4.3. Udjeli površina pojedinih geoloških jedinica u površinskoj građi Žumberka i Samoborskog gorja.	25
Slika 4.4. Geološka karta istraživanog područja.	26
Slika 4.5. Regionalni shematizirani geološki poprečni profili 1-1' do 3-3'.	27
Slika 4.6. Regionalni shematizirani geološki poprečni profili 4-4' i 5-5'.	28
Slika 4.7. Regionalni shematizirani geološki uzdužni profili A-A' do C-C'.	29
Slika 4.8. Regionalni shematizirani geološki uzdužni profili D-D' do F-F'.	30
Slika 4.9. Regionalni shematizirani geološki uzdužni profili G-G' do I-I'.	31
Slika 4.10. Geološki stup Žumberka i Samoborskog gorja.	32
Slika 4.11. Rasjed s horizontalnim pomakom i tektonska breča na površini rasjedne plohe u selu Grdanjci.	34
Slika 4.12. Bore u mezozojskim naslagama (nedaleko od sela Budinjak).....	35
Slika 5.1. <i>Transformacija geološkog stupa u hidrogeološki stup (GOLDSCHIEDER & DREW, 2007).</i>	43
Slika 5.2. Hidrogeološka karta Žumberka i Samoborskog gorja.	44
Slika 5.3. Regionalni shematski hidrogeološki poprečni profili 1-1' do 3-3'.	45

Slika 5.4. Regionalni shematski hidrogeološki poprečni profili 4-4' i 5-5'	46
Slika 5.5. Regionalni shematski hidrogeološki uzdužni profili A-A' do C-C'	47
Slika 5.6. Regionalni shematski hidrogeološki uzdužni profili D-D' do F-F'	48
Slika 5.7. Regionalni shematski hidrogeološki uzdužni profili G-G' do I-I'	49
Slika 5.8. Transformacija litostratigrafskog stupa hidrogeološki stup Žumberka i Samoborskog gorja.	50
Slika 5.9. a) Dolomiti s pukotinama centimetarskih do decimetarskih dimenzija; b) Dolomiti s pukotinama metarskih dimenzija.	52
Slika 5.10. <i>Smanjenja poroznosti (lijevo) i koeficijenta okršavanja (desno) s dubinom (FORD & WILLIAMS, 2007).</i>	54
Slika 5.11. Vrlo tanki pokrivač tla preko: a) debelo uslojenih vapnenaca, nedaleko od sela Kordići; b) masivnih dolomita __gdje	56
Slika 5.12. Divlje odlagalište otpada na rubu ponikve	56
Slika 5.13. Izvorište Kupčine.....	57
Slika 5.14. Karta neposrednih slivova i njihovih najznačajnijih izvora i vodotoka na području istraživanja (prema VUJNOVIĆ, 2010).	58
Slika 5.15. Slap Sopot.	59
Slika 5.16. Karta glavnih slivova istraživanog područja.	61
Slika 6.1. Orijentacija optimalne ravnine za a) poprečni profil; b) uzdužni profil.	64
Slika 6.2. Rozeta dijagrami na kojima su položaji slojeva prikazani: a) pružanjem; b) smjerom nagiba.	64
Slika 6.3. Ulazni podaci za izradu geoloških profila	65
Slika 6.4. Proces konstrukcije profila: izrada topografskog profila, projekcija presječnica geoloških granica i rasjeda s trasom profila i projekcija položaja slojeva u blizini profila na profil.	66
Slika 6.5. Konstrukcija profila pomoću debljina zadanih u stratigrafskoj tablici.	67
Slika 6.6. Svi konstruirani profili i geološka karta prevučena preko DEM-a.	67
Slika 6.7 a i b. Konstrukcija 3D modela povezivanjem struktura između profila.	68
Slika 6.8. Prikaz 3D geološkog modela podzemlja Žumberka i Samoborskog gorja.....	69
Slika.6.9. Prikaz podine i krovine korištene za konstrukciju gornjotrijskog vodonosnika Vivodinskog bloka.	70
Slika 6.10. Prikaz modela gornjotrijskog Vivodinskog vodonosnika.	70

Slika 6.11. Modelirani svi vodonosnici svih blokova (boja bloka opisuje njegovu starost).	71
Slika 7.1. Karta površinske raspodjele vodonosnika u području Žumberka i Samoborskog gorja	75
Slika 7.2. Slikoviti prikaz metode umnoška površine i debljine vodonosnika	76
Slika 7.3. Karta „blokova“ vodonosnika izrađenih u 3D modelu podzemlja istraživanog područja.....	77
Slika 7.4. Prikaz 3D modela svih modeliranih vodonosnika Žumberka i Samoborskog gorja (boja vodonosnika označava starost).	78

Popis tablica:

Tablica 1. Površine i udjeli površina geoloških jedinica u Žumberačkoj i Samoborskoj gori.	24
Tablica 2. <i>Površine, udjeli površina i prosječne debljine razmatranih vodonosnika istraživanog područja</i>	55
Tablica 3. Izračun rezervi podzemne vode za krške vodonosnike.	74
Tablica 4. Prikaz procijenjenog pornog prostora raspoloživog za uskladištenje podzemne vode na temelju konstruiranog 3D geološkog modela s procijenjenim minimalnim, srednjim i maksimalnim poroznostima.	79
Tablica 5. Vrijednosti godišnjih gubitaka vode (ΔV) iz otvorenog hidrogeološkog sustava područja istraživanja, otjecajnih koeficijenata (c), bruto padalina (P), sumarna izdašnost izvora koji ne utječu u slivove hidroloških stanica (Q_{izvori}), ukupno godišnje istjecanje iz slivova Kupčine, Bregane, Lipovečke i Rudarske Gradne ($Q_{limnigrafi}$), te ukupna evapotranspiracija (E) (VUJNOVIĆ, 2010).	81

1. UVOD

Područje istraživanja (slika 1.1), obuhvaća Žumberak i Samoborsko gorje a površina mu je oko 586 km². Oko polovice ove površine zauzimaju karbonatne stijene, dolomiti i vapnenci no prevladavaju dolomiti.

Ovim istraživanja i analizom rezultata dobivenih pri tome definirani su regionalni geološki i hidrogeološki odnosi u istraživanom području te procijenjeni potencijalni volumeni pornog prostora u kojima se može uskladištiti podzemna voda u krškim vodonosnicima ovog područja. Istraživano područje karakterizirano je krškim i aluvijalnim vodonosnicima. Aluvijalni vodonosnici su predstavljeni uglavnom aluvijem Save no oni nisu razmatrani.



Slika 1.1. Pojednostavljeni prikaz rasprostranjenosti krša na području Republike Hrvatske (Herak, 1991)

Najviše podataka ranijih istraživanja ovih područja preuzeto je iz elaborata DRAGIČEVIĆ et al. (1997) te doktorskih disertacija VUJNOVIĆ (2010), FRANGEN (2013) i

diplomskog rada PAVIČIĆ (2014), u kojima su sintetizirana dosadašnja hidrogeološka istraživanja i opisane hidrogeološke značajke Žumberačkog i Samoborskog gorja.

Vodonosnici su peterodimenzionalna geološka tijela i za njihovu kvantifikaciju potrebno im je odrediti granice, odnosno geometriju (tri dimenzije odnosno duljina, širina i debljina) i prostorni položaj u podzemlju, te svakako vrijeme njihovog nastanka. Paleoambijent u kojem su nastajali zasigurno predstavlja vrlo značajnu dimenziju posebice sa stajališta hidrogeokemijskih uvjeta odnosno kakvoće vode koja se u njima nalazi.

Na temelju OGK listova Zagreb, Črnomelj i Novo Mesto mjerila 1:100 000 izrađena je digitalna geološka karta a pomoću nje i podataka objavljenih u elaboratu DRAGIČEVIĆ, et al. (1997) i disertacijama VUJNOVIĆ (2010) i FRANGEN (2013) napravljena je i digitalna hidrogeološka karta istraživanog područja. Sve karte su pomoću digitalnog modela terena rezolucije 25 m transformirane u 3D karte kako bi se mogle koristiti za izradu 3D modela podzemlja. 3D model podzemlja izrađen je u računalnom programu Midland Valley Move 2013, na Rudarsko geološko naftnom fakultetu. Na temelju 3D digitalne geološke karte izrađeno je 5 shematskih poprečnih geoloških profila s azimutom 76° i 9 uzdužnih shematskih geoloških profila azimuta 166°. Geološke strukture i formacije su između izrađenih profila interpolirane te je izrađen konceptualni pojednostavljeni 3D geološki model podzemlja istraživanog terena. Podzemno rasprostiranje vodonosnika određeno je na temelju izrađenog modela, a uz podatke o poroznosti vodonosnika, procijenjen je volumen pornog prostora raspoloživog za uskladištenje vode.

2. PREGLED DOSADŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Geologija Žumberka i Samoborskog gorja predmet je istraživanja od 18. stoljeća. Najstariji poznati geološki rad datira iz 1784. godine kada se HACQUET bavio pojavama bakra i željeza u Rudama kod Samobora. Prva značajna geološka istraživanja ovog područja izvodio je GORJANOVIĆ–KRAMBERGER (1894., 1894a) gdje je izdvojio gotovo sve stijene ovog područja i priložio preglednu geološku kartu područja. ŠUKLJE (1944) obrađuje stratigrafske odnose Samoborskog gorja. Zamršenom geološkom problematikom bavio se HERAK (1947) koji je raščlanio mezozojske naslage jugozapadnoga Žumberka. U razdoblju od 1966. do 1983. godine izrađene su Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 za područje Žumberka i Samoborskog gorja. U sklopu tog istraživanja je izrađeni su listovi Novo Mesto (PLENIČAR et al., 1975), Zagreb (ŠIKIĆ et al., 1977) i Črnomelj (BUKOVAC et al., 1984) s pripadajućim tumačima koji svojim obuhvatom pokrivaju glavninu istraživanog područja. Kako nisu napravljene novije karte za ovo područje, navedene karte poslužile su kao podloga za ovo istraživanje. O neotektonskim kretanjima u području istočnog Žumberka piše PRELOGOVIĆ (1969). Novi koncept u tumačenju strukturnih odnosa Žumberka i Samoborskog gorja dao je HERAK (1986, 1990, 1991). Primjenom mobilističkog pristupa predlaže zamjenu dotadašnjih dviju glavnih geotektonskih jedinica (Vanjski i Unutrašnji Dinaridi) s četiri paleoambijentalna i paleodinamska pojasa. Istraživano područje se prihvaćanjem tog pristupa nalazi u zoni kontakta Dinarika i na njega navučenog Superdinarika. HERAK (1991) daje veću važnost utjecaju tangencijalne (navlačne) tektonike na Žumberku i time dovodi u pitanje blokovsku interpretaciju predstavljenu na OGK listu Novo Mesto. Raščlambom trijaskih dolomita bave se BUKOVEC et al. (1995) i AVDIĆ (2000). Strukturne značajke Samoborskog gorja obrađuje TOMLJENović (2000 i 2002).

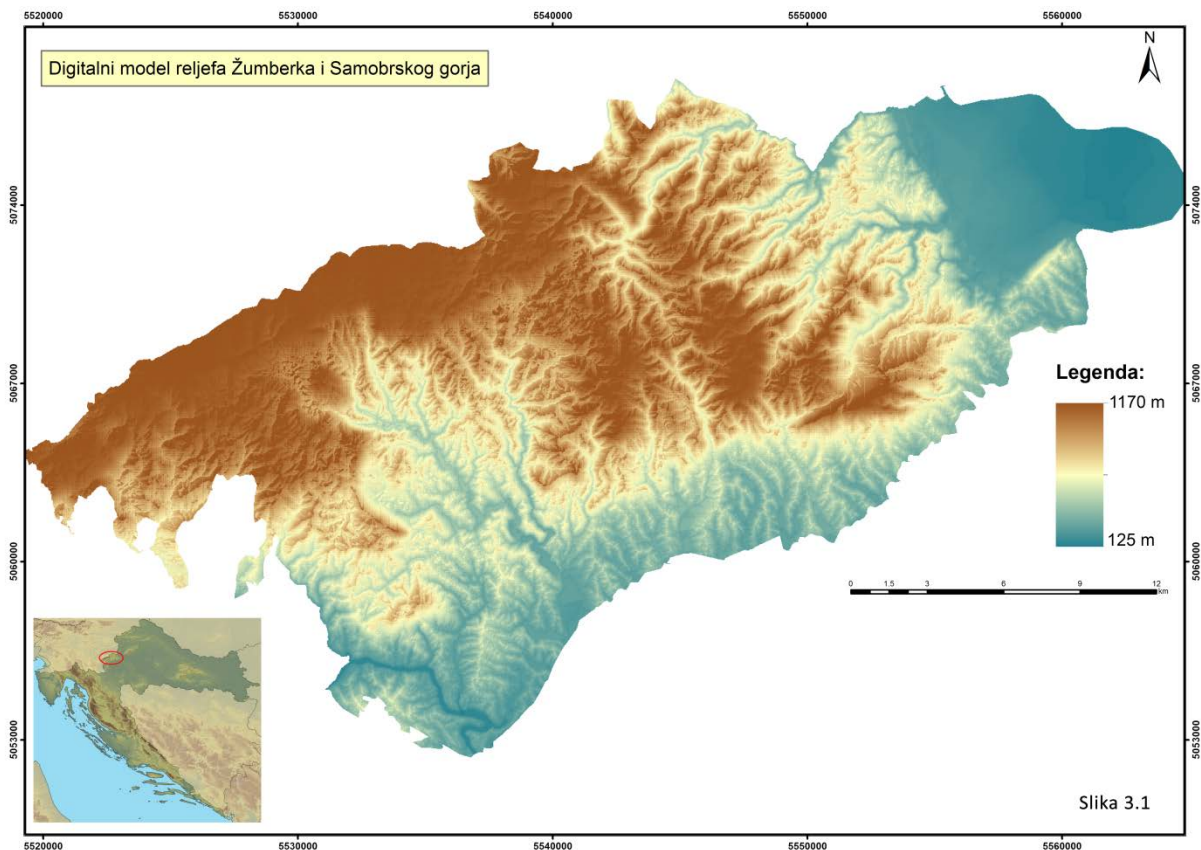
Hidrogeološka istraživanja provodila su se u puno manjem obimu nego geološka. FRANGEN (2013) od hidrogeoloških istraživanja značajna smatra hidrogeološku kartu SR Hrvatske 1:500.000 (ŠARIN et al., 1980), hidrogeološku kartu SR Hrvatske 1:200.000 list Celje (HRELIĆ et al., 1994), te projekt RGN fakulteta, Gorski i prigorski vodonosnici sjeverne Hrvatske (DRAGIČEVIĆ et al., 1997a, 1997b) u kojem su regionalno interpretirani vodonosni potencijali i hidrogeološke značajke Žumberka i Samoborskog gorja. Sintezu dosadašnjih hidrogeoloških radova na području Žumberka i Samoborskog gorja izradili su BRKIĆ et al.,

(2002), a na njihov rad nastavila se VUJNOVIĆ (2010) svojom disertacijom. VUJNOVIĆ (2010) navodi i radove koji su vezani za pojedine lokalitete gdje su hidrogeološka istraživanja provedena kako bi se osigurala vodoopskrba pojedinih naselja. Ističu se elaborati DELIĆA et al., (1973,1994) i ČAKARUN & KUHTA (1987), BAHUN (1994), DRAGIČEVIĆ & MAYER (1998). Na VUJNOVIĆ (2010) nastavlja se i disertacija FRANGEN (2013) u kojem su opisane značajke gornjokrednog krškog vodonosnika na području jugozapadnoga Žumberka kvantitativnim trasiranjem izvora Jaža i Obrv.

3. GEOGRAFSKA, GEOMORFOLOŠKA I KLIMATSKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

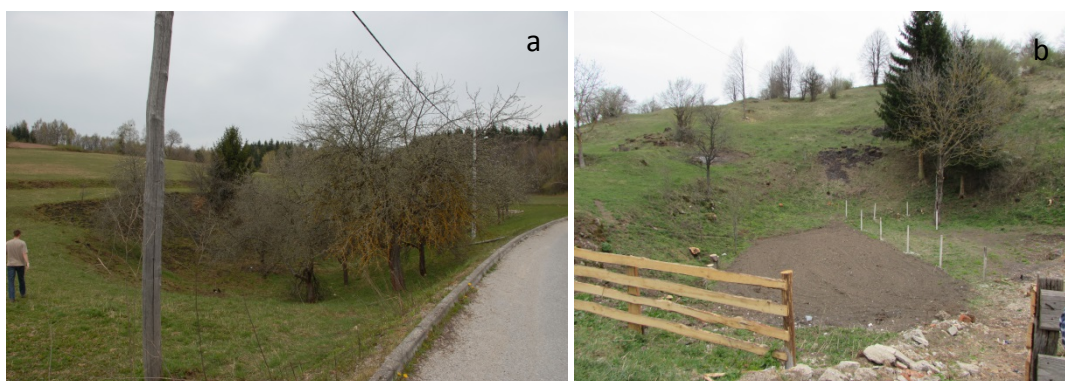
3.1 Geografske i geomorfološke značajke

Područje istraživanja obuhvaća Žumberak i Samoborsko gorje ukupne površine od 586 km² (slika 3.1). Žumberak i Samoborsko gorje su u geomorfološkoj literaturi svrstani u skupinu rasjedno-boranih gromadnih masiva mezozojskog nabiranja heterogenog tipa (BOGNAR, 1980). U osnovnom morfološkom ocrtu gorska trupina je asimetrična te se ističu strmiji sjeverni i sjeverozapadni od južnog i jugoistočnog dijela, gdje se ona u nizu izraženih stepeničastih nivoa postupno spušta prema zavalu Crne Mlake (BUZJAK, 2001) (slika 3.3).



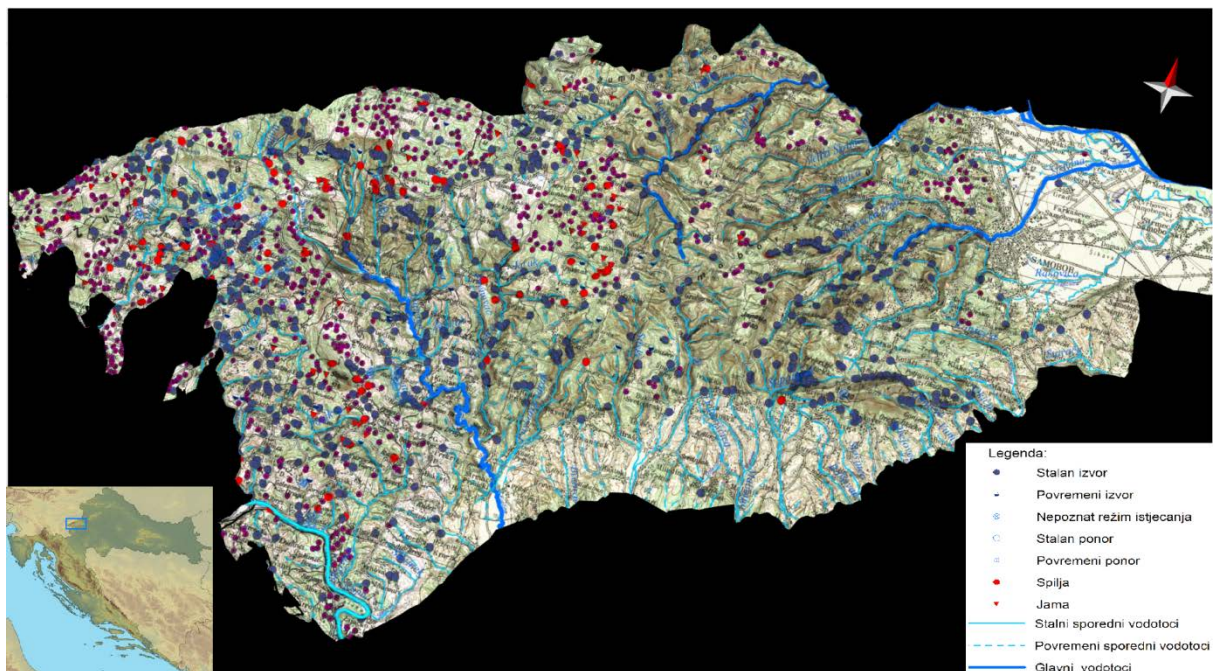
Slika 3.1. Digitalni model reljefa Žumberka i Samoborskog gorja.

Heterogenost reljefne strukture uvjetovana je zamršenošću geološke građe i tektonske strukture šireg područja (BUZJAK, 2001). Na terene zahvaćene okršavanjem (bez obzira na njegov intenzitet) otpada oko 90% teritorija Žumberka i Samoborskog gorja (BUZJAK, 2001). Na površini terena javljaju se razni krški oblici od kojih dominiraju vrtače (slika 3.2).



Slika 3.2. Vrtča kod sela Slani Dol (a); u selu Novo Selo Žumberačko (b).

Na smanjeni intenzitet okršavanja nailazi se na strmijim predjelima gdje nagibi padina povećavaju koeficijent površinskog otjecanja (npr. Japetić, Plešivica) (BUZJAK, 2001). Nešto je slabiji intenzitet okršavanja i može se primijetiti i u područjima izgrađenim od srednje i gornjotrijaskih dolomita i tamo gdje se javljaju nepropusne naslage (lapor, fliš i flišu slični sedimenti, rožnjak) (BUZJAK, 2001). S obzirom na glavne geomorfološke procese koji utječu na oblikovanje reljefa, na istraživanom području se izmjenjuju **krški** i **fluviokrški** reljef. Klasični krški reljef vezan je za dobro propusne kredne vapnence i breče varijabilne propusnosti u jugozapadnim i zapadnim dijelovima Žumberka. Taj prostor ima svojstva tipična za Dinarski krški reljef—brojne krške reljefne oblike, bezvodnu površinu, razgranatu podzemnu cirkulaciju vode i vrlo tanak sloj tla (BUZJAK, 2001). Fluviokrški reljef je vezan za slabije propusne naslage srednjeg i gornjeg trijasa (dolomiti) gdje je uz okršavanje izrazito i egzogeno modeliranje površine (BUZJAK, 2001). Uz podzemnu cirkulaciju postoji i mreža površinskih tokova s tektonski predisponiranim duboko usječenim uskim dolinama.



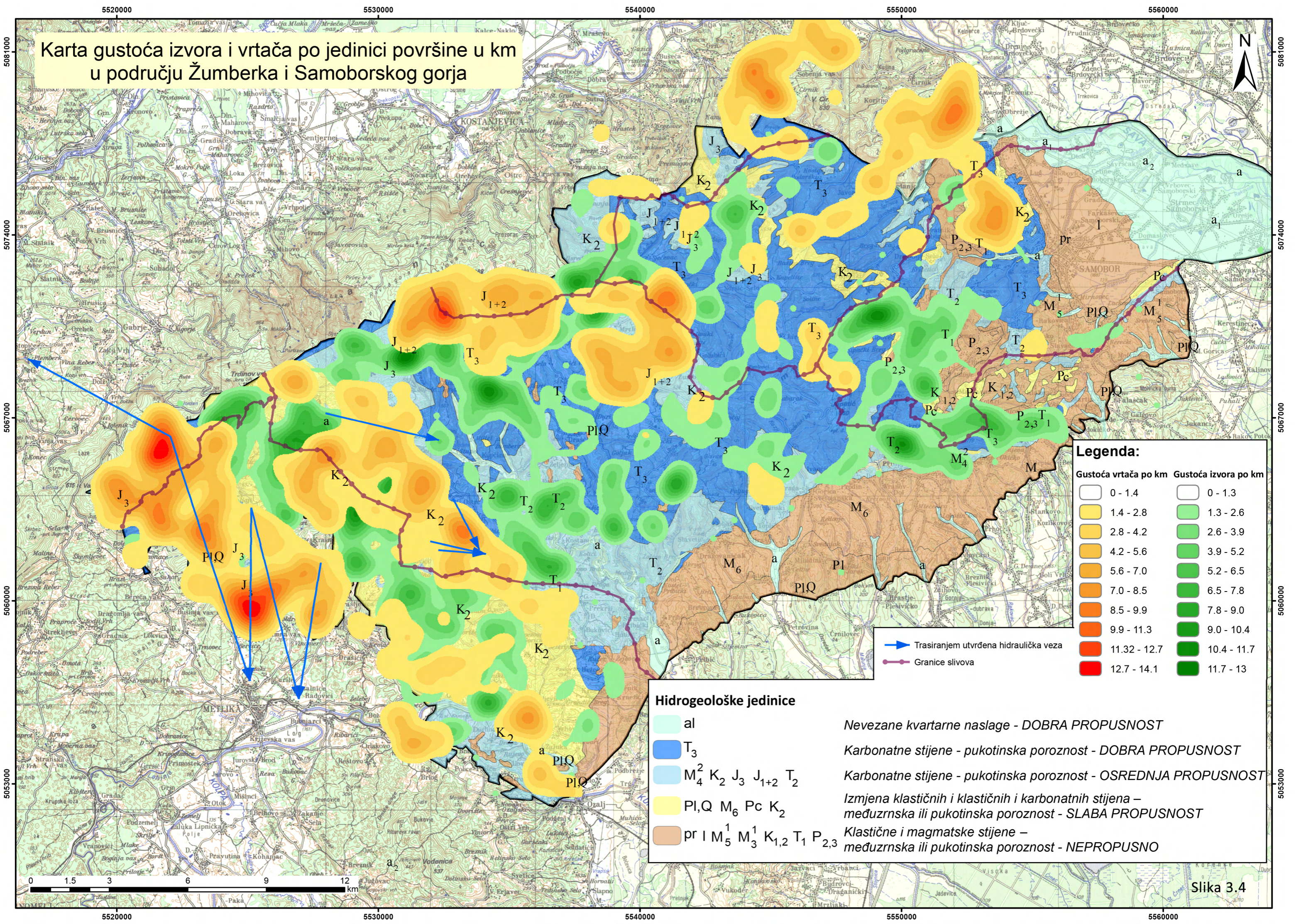
Slika 3.3. 3D prikaz morfolologije Žumberka i Samoborskog gorja s speleološkim i hidrogeološkim objektima.

Područje napajanja krškog podzemlja može se odrediti površinskom analizom raspodjele vrtača. Na temelju karte gustoće vrtača prikazane na slici 3.4 može se zaključiti da su najveće gustoće vrtača vezane za topografski najviše dijelove Žumberka i Samoborskog gorja tj. zapadnom dijelu Žumberka. Najveće gustoće vrtača u topografski najvišim

područjima omogućuju značajnu i brzu infiltraciju jer su to ujedno i područja s najvećim oborinama. S druge strane izloženost područja napajanja antropogenom onečišćenju ili zagađenju je smanjena a zaštitu je relativno jednostavno projektirati i izvesti.

Gustoće izvora (slika 3.4) pokazuju malo razvedeniju raspodjelu izvora na istraživanom području. Izvori se u području Žumberka često pojavljuju na kontaktu gornjokrednih vapnenaca i fliša. Na cijelom području Žumberka i Samoborskog gorja velika je gustoća izvora na kontaktima propusnih i nepropusnih naslaga. U Samoborskom gorju velika gustoća izvora vezana je i za kontakt paleogenskih i neogenskih nepropusnih stijena s srednje i gornjotrijaskim dolomitnim vodonosnicima. Na temelju usporedbe gustoća izvora i vrtača i podataka o izvedenim trasiranjima (slika 3.4) može se zaključiti da je generalni smjer toka podzemne vode u istraživanim slivovima SSZ-JJI. Karta gustoća izvora i vrtača napravljena je u ArcGIS 10 alatom *Kernel Density* koji spada u *Spatial Analyst Tools>Density* skupinu alata.

Karta gustoća izvora i vrtača po jedinici površine u km u području Žumberka i Samoborskog gorja



Legenda:

Gustoća vrtača po km	Gustoća izvora po km
0 - 1.4	0 - 1.3
1.4 - 2.8	1.3 - 2.6
2.8 - 4.2	2.6 - 3.9
4.2 - 5.6	3.9 - 5.2
5.6 - 7.0	5.2 - 6.5
7.0 - 8.5	6.5 - 7.8
8.5 - 9.9	7.8 - 9.0
9.9 - 11.3	9.0 - 10.4
11.32 - 12.7	10.4 - 11.7
12.7 - 14.1	11.7 - 13

- Trasiranjem utvrđena hidraulička veza
- Granice slivova

Hidrogeološke jedinice

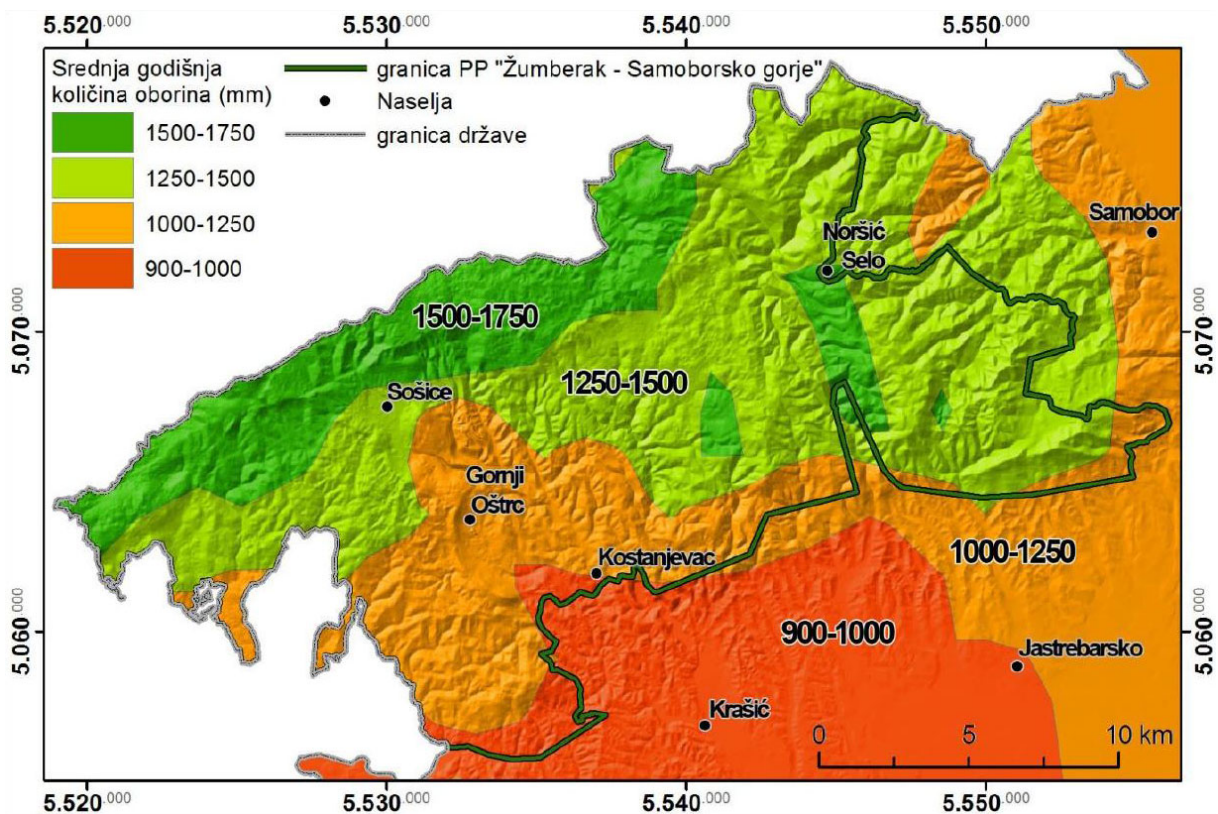
- al
- T₃
- M₄² K₂ J₃ J₁₊₂ T₂
- PI,Q M₆ P_c K₂
- pr I M₅¹ M₃¹ K_{1,2} T₁ P_{2,3}

Nevezane kvartarne naslage - DOBRA PROPUSNOST
 Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - DOBRA PROPUSNOST
 Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - OSREDNJA PROPUSNOST
 Izmjena klastičnih i klastičnih i karbonatnih stijena – međuzrsna ili pukotinska poroznost - SLABA PROPUSNOST
 Klastične i magmatske stijene – međuzrsna ili pukotinska poroznost - NEPROPUSNO

Slika 3.4

3.2. Klimatske značajke

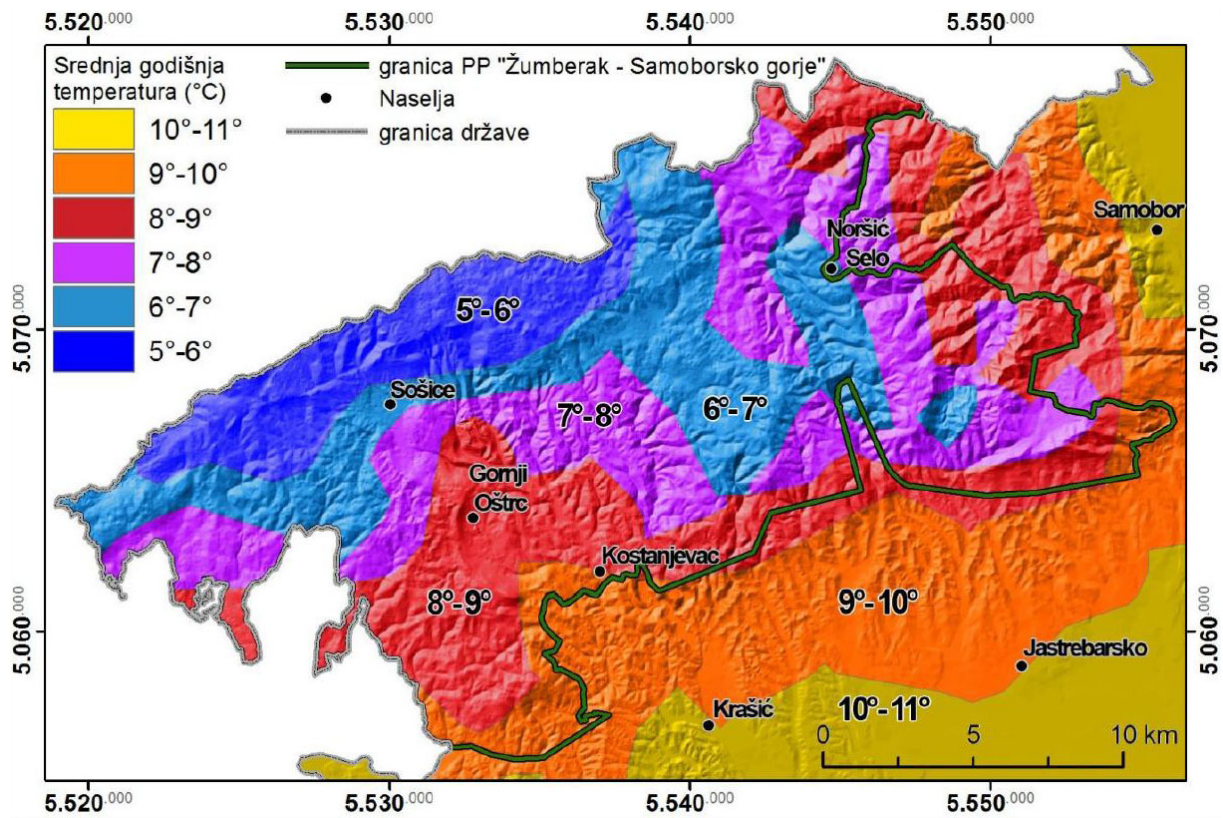
Područje Žumberka i Samoborskog gorja pripada umjerenom klimatskom pojasu. Morski utjecaj je na ovo područje bez obzira na malu udaljenost slab zbog planina Gorskog kotara na zapadu. Otvorenost prema Panonskog ravnici uvjetuje dominantan utjecaj kontinentalne klime (FRANGEN, 2013). Prema Köppenovoj podjeli klima se može svrstati u Cfbwx klimu tj. umjerenom toplom kišnom klimom bez suhog razdoblja s toplim ljetom (KÖPPEN, 1918; VUJNOVIĆ, 2010). Izraženi reljef uvjetuje nepravilnu raspodjelu temperature zraka i oborina kao što je prikazano na slikama 3.5 i 3.6. Srednja godišnja količina oborina za većinu istraživanog područja veća je od 1000 mm. Jedino se na istočnom dijelu Žumberka spušta na vrijednosti između 900 i 1000 mm. Trend povećanja oborina prati povećanje nadmorske visine.



Slika 3.5. Karta središnjih godišnjih oborina Žumberka i Samoborskog gorja (GAJIĆ-ČAPKA et al., 2003, FRANGEN, 2013).

Srednja godišnja temperatura zraka varira od 5 °C u nadmorski najvišim dijelovima Žumberka do 10 °C na krajnjem istoku Žumberka i Samoborskog gorja. Srednja siječanjska temperatura iznosi -1 °C u najnižim a ispod -2 °C u najvišim dijelovima Žumberka (FRANGEN, 2013).

Srednja srpanjska temperatura iznosi 20 °C u najnižim a 18 °C i manje u najvišim dijelovima Žumberka i Samoborskog gorja. Treba spomenuti da je 2011. godina na svim mjernim stanicama Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) na ovom području zabilježena kao rekordno sušna godina u vremenu od kada se na njima vrši mjerenje (FRANGEN, 2013).



Slika 3.6. Karta srednjih godišnjih temperatura zraka (ZANINOVIĆ et al., 2004, FRANGEN, 2013).

4. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Istraživano područje karakterizira vrlo zamršena geološka građa koja je rezultat različitih sedimentacijskih uvjeta kroz geološku prošlost, promjenjivih i kompleksnih tektonskih pokreta. Zamršena geološka građa vidljiva je u čestim horizontalnim i vertikalnim izmjenama različitih litotipova. Prikaz površinske geološke građe je načinjen na temelju listova OGK Zagreb, Črnomelj i Novo Mesto mjerila 1:100 000 te pripadajućih tumača.

4.1 Litostratigrafske značajke

U zamršenoj geološkoj građi sudjeluju raznovrsne stijene vrlo širokog stratigrafskog raspona, od perma do kvartara. Najstarije stijene na površini su permske starosti dok najmlađe stijene predstavljaju recentne aluvijalne taložine, proluvij i les.

4.1.1. Paleozoik

Sedimenti **srednjeg i gornjeg perma ($P_{2,3}$)**, otkriveni u Samoborskom gorju taloženi su u završnici hercinskog orogenetskog ciklusa. Najčešće su zastupani šejlovi, siltiti, subgrauvakni pješčenjaci, brečokonglomerati i kvarcni konglomerati. Za gornjeg perma, zapunjavanjem depresija, nastali su izolirani dijelovi bazena s lagunarnom karbonatno-evaporitnom sedimentacijom. Uz terigene klastite zastupljeni su vapnenci, dolomiti, anhidrit i gips. Gornjopermska starost ovog dijela naslaga dokazana je fosilima (amoniti, alge, foraminifere). Za stariji dio klastita pretpostavljena je srednjopermska starost. Na prijelazu perma u donji trijas u plitkim taložnim okolišima nastavljena je kontinuirana sedimentacija. Taloženi su šejlovi, siltiti, subarkozni pješčenjaci i gips, dok istovremeno neki predjeli kratkotrajno okopnjavaju.

Naslage mlađeg perma otkrivene su u središnjim dijelovima Samoborskog gorja. U Samoborskom gorju mogu se pratiti u izlomljenom pojasu od Mokrica do Pozorin potoka. Južnije su otkrivene u području Velikog Černeca, Ruda (Rudarske Gradne) i Brastovja. Manje

površine nalaze se u dolinama potoka Lipovečke Gradne i Konščice, i kao najjužniji poznati izdanci u području sela Poljanice i potoka Okićnice.

Permske naslage pretežno su pješčenjaci s prijelazima u kvarcne konglomerate i brečokonglomerate. Karakteristike permskih klastita općenito ukazuju na sličnost s poznatim permskim molasnim sedimentima. U području Breganskog Sela i doline Lipovečke Gradne, otkriveni su gornjopermski tamnosivi i sivi vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti s tankim proslojcima šejlova. Debljine slojeva se kreću od 3 do 40 cm. Uz karbonate su genetski vezane pojave naslaga gipsa, koje su otkrivene u dolinama Rudarske i Lipovečke Gradne, te u rasjednoj zoni na sjevernim padinama Plešivice. Rudarski radovi pokazuju da debljina permskih naslaga iznosi više od 350 m.

4.1.2. Mezozoik

Mezozojske stijene su otkrivene na velikom prostranstvu u istočnom Žumberku. Od mezozojskih stijena najveće površinsko rasprostiranje imaju gornjotrijaske (T_3) i gornjokredne (K_2) stijene.

Od mezozojskih stijena trijaski sedimenti imaju najveće rasprostiranje. Zastupljene su naslage donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa. U području Samoborskog gorja lagunarni sedimenti prijelaznog tipa ukazuju na kontinuiranu sedimentaciju na prijelazu iz perma u trijas, ali ima pokazatelja da je u nekim predjelima došlo i do kratkotrajnog okopnjavanja.

Donjotrijaski sedimenti (T_1) imaju najveće rasprostiranje u Samoborskom gorju. Mogu se pratiti uz prodore perma od Mokrica na sjeveru do Plešivice na jugu. HERAK (1956) je naveo gotovo sva nalazišta donjeg trijasa u Samoborskom gorju. Preostalo je još spomenuti lokalitete kod sela Mala Dolina, Brezje i Raje u bližoj okolini Mokrica. U sastav donjotrijaskih sedimenata ulaze pješčenjaci, siltiti, vapnenci, dolomitizirani vapnenci, dolomiti i kalcitični lapori. U starijem dijelu prevladavaju klastiti terigenog porijekla, dok su karbonatni sedimenti češći u mlađem dijelu naslaga.

Dolomitizacija je u mlađim vapnenačkim sedimentima jače izražena. Prisutni su varijeteti od djelomice dolomitiziranih vapnenaca do skoro čistih dolomita. U dolomitima se redovito naziru reliktna struktura bivših vapnenaca ili vapnenačke čestice biogenog porijekla. Može se pretpostaviti da debljina donjotrijaskih naslaga ne prelazi 250 m.

Naslage **srednjeg trijasa (T_2)** izdvojene su cjelovito. Pretežito ujednačen dolomitni razvoj s vrlo oskudnim fosilnim ostacima i malo litoloških repera, zatim zamršen tektonski sklop terena s fragmentarno otkrivenim srednjotrijaskim sedimentima, nisu omogućili zadovoljavajuće izdvajanje na katove. Starijem dijelu pripadaju dolomiti s otiscima i jezgrama neodredivih školjkaša. Može se pretpostaviti da su anizičke i dijelom donjoladiničke starosti. Na dolomitima kontinuirano, dijelom u rasjednom kontaktu leži nekoliko desetaka metara debela izmjena vapnenaca, lapora, šejlova, radiolarijskih rožnjaka i tufita. Ladinička starost ovih naslaga bila je od ranije poznata. U sjevernim područjima Samoborskog gorja srednjotrijaski sedimenti su otkriveni u predjelu Mokrice-Ribnica i između Gabrovice i

Stojdrage. Južnije se nalaze u razlomljenoj zoni Draganje Selo-Božnjačko Selo-Gregurić brijeg-Pozorin potok-Mali Črnc. Nadalje su otkriveni u dolini Lipovečke Gradne, širem području Cerja, dolini Konščice, te između Konščice i Okića. Neki od lokaliteta već su odavno poznati kao bogata nalazišta fosila (Gregurić brijeg). Najzastupljeniji litološki član srednjeg trijasa je dolomit. SALOPEK (1912, 1936) je iz cefalopodnih vapnenaca Gregurić brijega odredio bogatu donjoladiničku zajednicu amonita. U južnim predjelima istočnog Žumberka otkrivena su nova nalazišta srednjotrijaskih sedimenata. Jedno nalazište se nalazi na širem području Strmac-Sorževo-dolina Kupčine-potok Slapnica-Slavetić-Goljak. Drugo je između Vranov Dola i Malog Lipovca, a obuhvaća predjele od Ličeg potoka i doline Sopotnjaka do Lipovečke Gradne. U tim područjima dominantni litološki član su također dolomiti. U širem području Sorževa zastupljena su oba kata na što upućuje djelomice sačuvan kontinuirani slijed naslaga od donjeg do gornjeg trijasa. Maksimalna debljina srednjotrijaskih naslaga ne prelazi 500 m.

Gornjotrijaski dolomiti (T_3) su najznačajniji litološki element u strukturnoj (autohtonoj i alohtonoj) građi istočnog Žumberka. Rasprostranjeni su od Save i Krke na sjeveru, do linije Plešivica-Slavetić-Rude (Mačković Brdo) na jugu. Debljina se može procijeniti na oko 800 m. Količina CaCO_3 rijetko prelazi 10%. Svijetlosive do tamnosive su boje, što ovisi o sadržaju glinovite komponente. Pretežni dio dolomita odlikuje se jasno izraženom, ravnom laminacijom algalnog porijekla. Do dolomitizacije karbonata stromatolitskog porijekla najvjerojatnije je došlo u ranoj fazi dijageneze. Najmlađi dio gornjotrijaskih naslaga, na prijelazu u lijas, sastoji se od izmjene dolomita, sivih vapnenaca i dolomitiziranih vapnenaca.

Današnji raspored **jurskih sedimenata (J)** u sjeveroistočnom dijelu Žumberka ne odgovara primarnom položaju prvobitnog sedimentacijskog prostora, zbog prisutne kompresije stijenske mase za vrijeme tercijara. Unatoč strukturnim pomacima, jurski sedimenti svojim facijesnim karakteristikama i približno sačuvanim prostornim odnosima, jasno ukazuju na promjene paleogeografskih odnosa u rasponu lijas (plitkovodna sredina)-titon (pelagijal). Na istraživanom području Žumberka fosilima je dokazano prisustvo lijaskih, dogerskih i malmskih naslaga s prijelazom u donju kredu (titon-valendis). Vrlo mala debljina cjelokupnog slijeda jurskih sedimenata, koja uz maksimalni razvoj plitkovodnog lijasa (cca

150 m) ne prelazi 300 m. Osim naknadnih tektonskih redukcija, utvrđene su i stratigrafske praznine ("kondenzirana sedimentacija"). Jurske naslage otkrivene su na preko 40 odvojenih lokaliteta, čije se površine kreću od nekoliko desetaka kvadratnih metara do nekoliko kvadratnih kilometara.

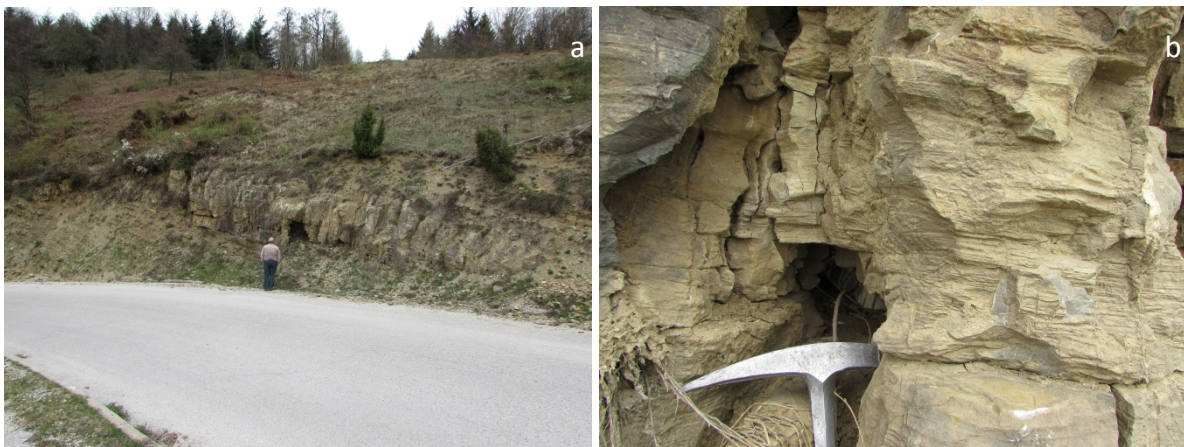
U istočnom Žumberku, kontinuirano na trijasu, približno do linije Dobeno-Čadar, sačuvani su ostaci plitkovodnih karbonatnih sedimenata **donje i srednje jure (J_{1+2})**. Na nekim lokalitetima utvrđene su praznine u sedimentaciji raspona gornji trijas-gornji lijas, koje navode na pretpostavku o postojanju razlomljenog vrlo plitkog podmorskog praga i mogućim okopnjelim predjelima. Također je zapaženo isključivanje lijaskih plitkovodnih naslaga u smjeru sjeveroistoka. Na području sela Stići, Rajići, Dane, Šimraki, debljina naslaga iznosi oko 150 m, dok sjeveroistočno na lokalitetima Gornja Pirošica, Izviri i Plešivica (730 m) i kod Noršić Sela iznosi svega nekoliko metara. Neznatni ostaci lijaskih karbonata mogu se još vidjeti na sjevernim padinama Golog Crnika. Osim na spomenutim lokalitetima lijaski plitkovodni sedimenti sačuvani su još u području sela Sičevac, Novo Selo, Planina i Gradec, gdje dolaze unutar kontinuiranog slijeda gornji trijas-donja jura. Najstarijem (donjem) dijelu lijasa pripadaju sivi dobro uslojeni dolomiti, dolomitični vapnenci i vapnenci. Mikritski tip vapnenaca, s rijetkim foraminiferama (verneuilinide, textularide, lituolide i dr.), te ostacima alge *Thaumatoporella parvovesiculifera* i drugim, ukazuje na vrlo plitku i zaštićenu sublitoralnu sredinu. U srednjem lijasu i dalje je zastupljena izrazito plitkovodna sedimentacija. Starost je dokumentirana bogatom asocijacijom mikrofosila. Početkom gornjeg lijasa, na razmatranom području počelo je paleogeografsko razbijanje trijasko-lijasko karbonatne "platforme" te njezine tektonske dezintegracije u veće ili manje blokove s formiranjem više dubljih bazenskih prostora. Na samom početku gornjeg lijasa, subsidencija u bazenu odvija se sporo, tako da se još talože dolomiti i oolitični vapnenci. Unutar njih ubrzo se zapaža silicifikacija, uz pojavu proslojaka radiolarijskih rožnjaka. Zatim prevladavaju pelagički sedimenti, koji se sastoje od izmjene mikrita, biomikrita i rožnjaka. Geneza breča vjerojatno je vezana za događaje na padinama intrabazenskih uzvišenja. Iznad breča slijede vapnenci i silificirani vapnenci u izmjeni s rožnjacima. Maksimalna debljina naslaga opisanog raspona g. lijas-doger iznosi oko 30 m.

Za vrijeme **starijeg malma (J_3)**, vjerojatno do kraja kimeridža, u dubljim predjelima bazena i dalje je nastavljena sedimentacija vapnenaca s pelagičkim školjkašima i rožnjacima. Prva pojava intrastratificiranih vapnenačkih klastita turbiditnog porijekla, unutar kontinuirane pelagičke serije, poslužila je za približno izdvajanje malmskog dijela sedimenata. Radi se o litokalkarenitima, ili rjeđe vapnenačkim brečama, koje se izmjenjuju s pelagičkim slojevima. Za gornjeg malma (titona) intrabazenska uzvišenja gube značaj i na cijelom prostoru se talože pelagički sedimenti. Titonski sedimenti su sačuvani, ili u kontinuitetu sa starijim jurskim naslagama u već navedenim područjima, ili leže direktno na gornjotrijaskim dolomitima. Tektonsko-erozijski ostaci rasprostranjeni su duž navlačenog kontakta na grebenima Osredak i Tuščak, u dolini između Tuščaka i sela Stojdrage, zatim od grebena Grandovica do zaseoka Izvir. Na manjim površinama sačuvani su nedaleko od Stankova. Pretežni dio gornjomalmskih naslaga sastoji se od izmjene tankoslojenih pelagičkih mikrita, biomikrita i rožnjaka. Podređeno dolaze uloženi litokalkareniti turbiditnog porijekla, a zapaženi su i tanki proslojci lapora. Debljina slojeva uglavnom varira od 5-10 cm.

Donjokredne stijene ($K_{1,2}$) su zastupljene vulkanogeno-sedimentnim kompleksom koji je izdvojen na temelju tektogenetske povezanosti sedimentacije i magmatizma. Postupno uz sedimentaciju, u nekoliko uzastopnih faza, nastupa magmatizam s diferencijatima od ultrabazičkih peridotita, preko gabra i dijabaza, do spilita i albitskih porfira. Te stijene su otkrivene u Samoborskom gorju, na području ograničenom lokalitetima Cerje, Kladje, Konščica, Okić, sjeverne padine Plešivice, Prekrižje i Brastovje. Sedimentna serija se uglavnom sastoji od izmjene pješčenjaka, šejlova, lapora, radiolarijskih rožnjaka i podređeno vapnenaca. U Samoborskoj gori zastupljeni su dijabazi i spiliti, uz rijetke prateće pojave piroklastita i vulkanskih breča. Spiliti, po broju pojava daleko nadmašuju dijabaze.

Na istočnom Žumberku **gornjokredni sedimenti (K_2)** imaju veće rasprostiranje nego što je prije bilo poznato. Transgresija je započela na razveden paleoreljef izgrađen uglavnom od trijaskih dolomita, jurskih vapnenaca i rožnjaka, samo u užem području Samoborskog gorja na permske i donjotrijaske klastite. Bazalne breče i konglomerati, debljine 1-3 m, nastali su pretaložavanjem stijena neposredne podloge (dolomiti, vapnenci i rožnjaci). Iznad

bazalnog dijela slijedi debela serija fliških sedimenata (slika 4.1) smeđosive do tamnosive boje, u kojoj prevladavaju kalcitični i glinoviti lapori, šejlovi i kalkareniti. Fosilni ostaci upućuju na cenomansku starost opisanih naslaga a s obzirom na slijed naslaga i smještaj nalazišta, moguće da je do transgresije došlo već pri kraju donje krede. Na istočnom Žumberku opisane naslage su otkrivene u tektonski komprimiranom pojasu od rijeke Krke do doline Lipovičke Gradne, zatim u područjima Slapinac-Šipački Brijeg, Ludvić Potok-Draganje Selo, Vrhovčak-Sv. Helena. Gornjokredni sedimenti kod sela Sutna južno od Krke, u tektonski izlomljenom pojasu od Novog sela do Sv. Jane i u jugozapadnom dijelu Plešivice imaju nešto drugačije litofacijsne karakteristike i većim dijelom pripadaju senonu.



Slika 4.1. a) Izdanak gornjokrednog fliša; b) Teksture u gornjokrednom flišu (uz cestu između Gornje Vasi i Budinjaka)

U spomenutim područjima na bazalnim sedimentima slijedi 10-20 metara uslojena izmjena vapnenačkih breča, kalkarenita, lapora i laporovitih vapnenaca. U slijedećih 20 do 30 metara, prevladavaju crvenkasti, ružičasti i sivi pločasti globotrunkanski vapnenci ili tzv. „Scaglia“ vapnenci (slika 4.2) s rožnjacima.



Slika 4.2. a) i b) Izdanak „Scaglia“ globotrunkanskih vapnenaca (nedaleko od sela Budinjak)

Iznad zone globotrunkanskih vapnenaca ponovno prevladavaju karbonatni klastiti i lapori, dok su kalcitični vapnenci s globotrunkanama podređeni. Na zapadnom Žumberku debljina vapnenačkih breča mjestimice doseže i do 100 m, a prema OGK list Novo Mesto naslage su u tektonskom kontaktu s trijasom u podini (VUJNOVIĆ, 2010). Na njima slijede vapnenci u izmjeni s laporom. Između sela Jezerine i Dvorišće Vivodinsko je izdvojen razvoj krede vrlo sličan flišu (VUJNOVIĆ, 2010). Maksimalna debljina gornjokrednih naslaga može se procijeniti na nekoliko stotina metara.

4.1.3. Kenozoik

Na istraživanom području od paleogenih stijena zastupljene su samo stijene **paleocena (Pc)**. Rasprostiranje na ovim terenima prvi puta dokazanih sedimenata starijeg paleogena, poklapa se prostorno s protezanjem stijena vulkanogeno-sedimentnog kompleksa starije krede. Veće ili manje površinske pojave na sjevernim padinama Sveto-Nedjeljskog brijega i u južnim predjelima Samoborskog gorja između Plešivice, Brastovja i Konščice. Tektonogenetski smještaj, facijesne karakteristike i transgresivan položaj na stijenama vulkanogeno-sedimentnog kompleksa, ukazuju na značajna tektonska zbivanja na prijelazu iz krede u paleogen i na jedinstvenost paleogenske sedimentacije na relaciji Medvednica-Samoborsko gorje. U Samoborskom gorju, uz neka lokalna obilježja, sedimenti uglavnom odgovaraju onima s Medvednice. Paleogenu pripadaju gotovo sve naslage, koje je HERAK (1956) opisao kao mladi nivo gornje krede. Bazalni dio naslaga predstavljen je rožnjačkim brečama i polimiktnim konglomeratima. Glavnina paleocenskih sedimenata sastoji se od sive, smeđe i crvenkastosmeđe obojenih lapora, silita i subgrauvaknih

pješčenjaka, unutar kojih također dolaze biokalkareniti i koraljno-algalni grebenski vapnenci. Kontinuitet sa starijim sedimentima i pretaloživanje paleocenskih vapnenaca, upućuje na pretpostavku, da je najmlađi dio klastita taložen u gornjem paleocenu s mogućim prijelazom u donji eocen. Iz detritičnih i grebenskih vapnenaca Samoborskog gorja određeni su brojni paleocenski fosili.

U istočnom dijelu Samoborskog gorja **neogenske** naslage su otkrivene sjeverozapadno i jugoistočno od Samobora gdje transgresivno leže preko permskih, trijaskih i gornjokrednih naslaga (TOMLJENović, 2002). Na istočnom rubu Samoborskog gorja su prekrivene aluvijalnim i proluvijalnim sedimentima te lesom.

Naslage **otnanga (M_3^1)** su rasprostranjene u istraživanom području u širem području Otruševca. Nastale su kao produkt intenzivne erozije izdignutog reljefa, koji je formiran predotnanškim tektonskim pokretima. Zbog toga leže diskordantno na podlozi te su karakterizirane velikim litološkim razlikama, gdje se pojedini članovi međusobno brzo izmjenjuju kako bočno tako i vertikalno. U bazi najčešće leže konglomerati ili brečokonglomerati s valuticama ili fragmentima krednih, jurskih, trijaskih i paleozojskih stijena. Najbrojnije su valutice rožnjaka i kvarca. Promjer valutica varira od nekoliko mm do 35 cm. Nesortirani konglomerati su najčešće veoma slabo vezani pa se trošenjem raspadaju u šljunke, koji predstavljaju značajan litološki član otnanških sedimenata. Unutar konglomerata i šljunaka dolaze leće ili proslojci glinovitih pijesaka i tinjčastih pjeskovitih glina. Tanji proslojci mrkog ugljena veoma su česti član otnanških sedimenata. U Žumberačkoj gori kod Grdanjaca ovaj je ugljen bio u eksploataciji, a ostao je sačuvan nakon erozije u "džepovima" trijaskih dolomita. Pretpostavlja se da debljina otnanških naslaga ne prelazi 100 m.

Marinske naslage **gornjeg badena (M_4^2)**, kao transgresivan član neogena, pokrivaju znatne površine terena. Na istočnom dijelu Žumberka nađene su južno i jugoistočno od Gazica, na širem području sela Velika Dolina i Otruševac, južno od Samobora te na

jugoistočnim padinama Žumberka u vidu tektonski ispresjecane zone od Bukovca na zapadu do Svete Nedjelje na istoku.

Gornjobadenske naslage su izgrađene pretežito od priobalnih i plitkovodnih marinskih sedimenata: breča, konglomerata, vapnenačkih pješčenjaka, litavca, litotamnijskog vapnenca te glinovito-pjeskovitih i vapnenačkih lapora. To su vapnenačke stijene, koje se genetski mogu podijeliti na sedimente nastale kao rezultat intenzivne organske aktivnosti, dok drugi tip nosi obilježja klastičnih naslaga s prisustvom terigenog materijala. Biogeni vapnenački sedimenti nastali su biogenim procesima posredstvom alga (Lithotamnium). To su gromadaste stijene, bijele, svijetlo sive i žućkastosive boje i vrlo porozne.

Drugi tip vapnenačkih sedimenata je uglavnom klastičnog karaktera. Unutar klastičnih sedimenata plitkomorskog razvoja, u bazi su česti krupnozrni klastiti (bazalne breče i brečokonglomerati). Rjeđe dolaze žućkasti kvarckalkareniti i nevezani pijesci, koji su mjestimično šljunkoviti. Sedimenti koji su taloženi u zaštićenim dijelovima morskog prostora karakterizirani su smanjenom količinom karbonata na račun glinovite komponente. Starost naslaga je dokazana brojnim nalazima fosila. Debljina badenskih sedimenata je različita i varira na pojedinim područjima. Najčešće se kreće u vrijednostima od 150-300 m.

Brakični sedimenti **donjeg sarmata (M_5^1)** su otkriveni od Svete Nedjelje do Rakovice, odakle se na jugoistočnim padinama Žumberka protežu dalje prema jugoistoku do Ivančića. Na Žumberku su nađene sarmatske naslage također na potezu Samobor-Rakovica. Naslage donjeg sarmata u osnovi leže transgresivno na gornjotrijaskim sedimentima. Izgrađene su od lapora, glinovitih lapora, vapnenaca i pješčenjaka. U nižim nivoima prevladavaju laporoviti vapnenci i vapnenački lapori. U gornjim dijelovima laporoviti vapnenci i vapnenački lapori izmjenjuju se s glinovitim laporima ili tankouslojenim (listićavim) laporima. Vapnenci su determinirani kao biokalkareniti, oolitični kalkareniti i pjeskovito-laporoviti vapnenci u kojima morfološke karakteristike detritusa i oolitične tvorevine ukazuju na dužu abraziju u nemirnim uvjetima plitkog obalnog pojasa. Ova se pojava ne može shvatiti generalno. Na nekim područjima kao što su jugoistočne padine Žumberka, sedimenti upućuju na mirnije uvjete sedimentacije. U vršnom dijelu slijeda prevladavaju dobro uslojeni laporoviti sedimenti s biljnim utruscima što upućuje na smirivanje sedimentacijskog prostora.

U obliku cjelovite zone na jugoistočnim padinama Žumberka, protežu se sedimenti **panona (M_6)**, od Rakitja na sjeveroistoku preko Sv. Jane do Novaković Gorice na jugozapadu. Na istočnim obroncima Žumberka nađene su na potezu Samobor-V. Rakovica. U osnovi leže konkordantno na naslagama donjeg sarmata. Ovdje je bazalni dio serije izgrađen od konglomerata, brečokonglomerata, vapnenačkih mikrobreča, krupnozrnih pješčenjaka, nevezanih pijesaka te podređeno proslojaka vapnenaca i leća pjeskovitih lapora. Na nekoliko lokaliteta su nađeni svijetlosivi, ili gotovo bijeli, pločasti laporoviti vapnenci i vapnenački lapori, koji su po svojim litološkim i paleontološkim karakteristikama istovjetni s donjopanonskim "**Croatica naslagama**". Mlađi horizonti su zastupljeni laporima s većom količinom pješčane i glinene komponente.

Dalje prema jugozapadu zona **gornjeg ponta (M_7^2)** se proteže jugoistočnim obroncima Žumberka od sela Gorice do Pribića. Gornjopontski sedimenti su potpuno prekrili donjopontske, pa su na cijelom području u direktnom kontaktu s gornjopanonskim naslagama. Pretežito su taloženi raznobojni pijesci ili pjeskoviti i glinoviti lapori. Rijede se javljaju ulošci glina, te sasvim podređeno, tanki proslojci pješčenjaka i leće pjeskovitih šljunaka. U bazi najčešće leže glinoviti ili pjeskoviti lapori, koji naviše prelaze u raznobojne, slabo vezane, glinovite pijeske ili glinovite siltove. Nevezani sedimenti su određeni kao pijesci, siltozni pijesci ili pjeskoviti siltovi s malim sadržajem glinovite komponente. Debljina gornjopontskih naslaga je različita i kreće se u rasponu od 100 do 400 metara.

Na sjevernoj strani pliokvartarne (**Pl, Q**) naslage Žumberka leže preko miocenskih naslaga kod Gazica, te kao manji erozijski ostaci kod Pirošice i Stojanskog Vrhca. Naslage pliokvartara su slatkovodni fluvijalno-jezerski sedimenti, molastog tipa, koji leže diskordantno na različitim članovima tercijara, mezozoika i paleozoika. To su bočni ekvivalenti gornjopaludinskih naslaga.

Za pliokvartarne naslage može se pretpostaviti da im maksimalna debljina u razmatranom području ne prelazi 150 metara.

Kvartarne naslage vrlo su male debljine ili površine te često nisu posebno izdvajane. Mogu se podijeliti na pleistocenske i holocenske. U pleistocenu su izdvojeni slijedeći genetski tipovi:, kopneni beskarbonatni les, aluvijalni nanos treće savske terase. U holocenu, aluvijalni nanos druge Savske terase, aluvijalni nanos prve Savske terase, proluvij, aluvij recentnih tokova Save, te potočni aluvij.

Pleistocen je predstavljen kopnenim **beskarbonatnim lesom (I)**. Pod pojmom beskarbonatni les izdvojeni su sedimenti lesnog porijekla, koji su pod utjecajem atmosferilija i djelomično podzemnih voda pretrpjeli pedogenetske promjene. Osnovna im je karakteristika vrlo mali postotak kalcijevog karbonata. U literaturi su ovi sedimenti poznati još pod nazivima: pseudoglej, beskarbonatni les i dr. Naslage kopnenog beskarbonatnog lesa sačuvane su na sjevernim i južnim padinama Brežičko-Samoborskog polja te na južnim obroncima Žumberka. Na mnogo mjesta ove naslage leže kao erozijski ostaci preko starijih stijena, ali zbog malih debljina ili površina nisu mogle biti posebno izdvojene na karti. Kopneni beskarbonatni les je žute, sivo-žute ili žutosmeđe boje. Debljina kopnenog beskarbonatnog lesa nije poznata, jer je taložena na vrlo izraženom reljefu.

Razdoblje **holocena** počinje **drugom savskom terasom (a_2)** koja je razvijena uz manje prekide duž čitavog toka rijeke Save na listu OGK Zagreb. Nastala je usijecanjem Save u aluvijalne sedimente, koje je prije nanijela. Sastoji se od izmjene krupnozrnih šljunaka i pijesaka. Količina pijeska u odnosu na šljunak povećava se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. u smjeru toka Save. Debljina naslaga druge savske terase dosta varira, jer su one taložene nakon intenzivne erozije. Isto tako na debljinu ovih naslaga znatno su utjecali neotektonski pokreti koji su bili vrlo intenzivni.

Na području Sv. Nedjelje i Samobora u podlozi šljunka i pijeska nalazi se prašinstvo pijesak, koji možda odgovara lesu.

Prva savska terasa (a_1) je razvijena duž čitavog toka rijeke Save. Nakon taloženja šljunka i pijeska koji čine drugu savsku terasu nastupila je faza erozije i denudacije. Sava se je usjekla u vlastite sedimente, kao što je bio slučaj kod druge i treće terase. Na mnogo mjesta

po čitavoj terasi vidljiva su stara savska korita. Visina terasnog odsjeka pretežno iznosi 1-1,5 m, a mjestimice varira od 0,5-2 m. Ova terasa ima manju širinu od prethodne i u ovoj terasi prevladava krupnozrni šljunak, koji je pomiješan s pijeskom, dok su slojevi čistog pijeska tanji i rjeđe se pojavljuju. Debljina aluvijalnog nanosa prve savske terase najčešće iznosi 10-25 m.

Proluvijalne naslage (*pr*) se nalaze u manjim površinama kod Samobora. Razvijene su uglavnom u obliku krupnozrnih slabo zaobljenih šljunaka, koji su pomiješani s pijeskom i glinom. U ovim naslagama nije nađena nikakva makro ni mikrofauna. Njihova debljina ne prelazi 10 m.

Pod nazivom **aluvijalni nanos recentnih tokova Save (*a*)** izdvojeni su sedimenti na području neposredno uz Savu, koje ona plavi za vrijeme višeg vodostaja i poplava. Odvojeno je 1-1,5 m visokim terasnim odsjekom od prve savske terase. Ovo područje izbrazdano je brojnim kanalima u kojima se mjestimice zadržava voda. U recentnom nanosu prevladava krupnozrni pijesak, dok je šljunak slabije zastupljen. U gornjim dijelovima pijesak ima mnogo ugljenog trunja, koje je nanijela rijeka Sava s područja slovenskih ugljenokopa.

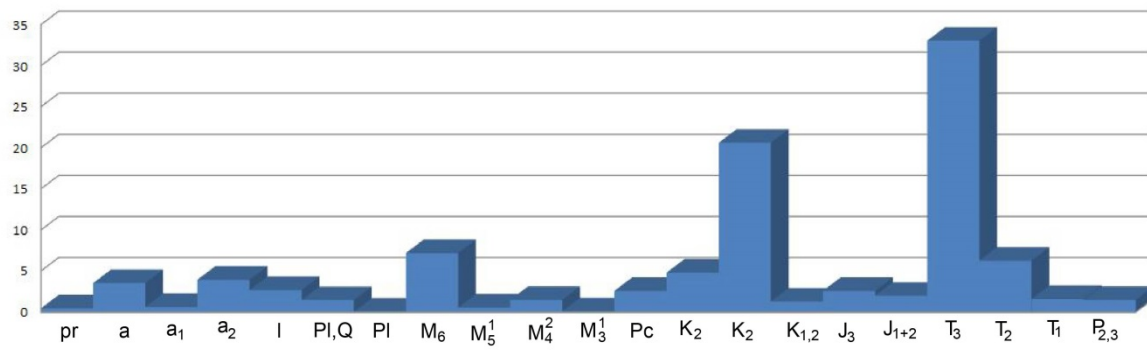
4.2. Površinska raspodjela litostratigrafskih jedinica

Površine i udjeli pojedinih geoloških jedinica u površinskoj građi Žumberka i Samoborskog gorja prikazani su u tablici 1 i na slici 4.3. U tablici 1 i na grafu na slici 4.3 je vidljivo da gornjotrijaski dolomiti dominiraju s 33 % udjela u građi površine terena, a prate ih gornjokredni vapnenci i fliš s 25 % udjela u površinskoj građi terena. Treba napomenuti da istraživano područje obuhvaća i prigorska područja oko Žumberka i Samoborskog gorja. Kada bi istraživano područje obuhvaćalo samo gorska područja ovih gora udjeli gornjotrijaskih dolomita i gornjokrednih naslaga bili bi veći. Geološka građa Žumberka i Samoborskog gorja prikazana je geološkom kartom (slika 4.4), poprečnim i uzdužnim geološkim profilima koji su izrađeni za potrebe 3D modela podzemlja (slike 4.5-4.9) te geološkim stupom (slika 4.10)

Tablica 1. Površine i udjeli površina geoloških jedinica u Žumberačkoj i Samoborskoj gori.

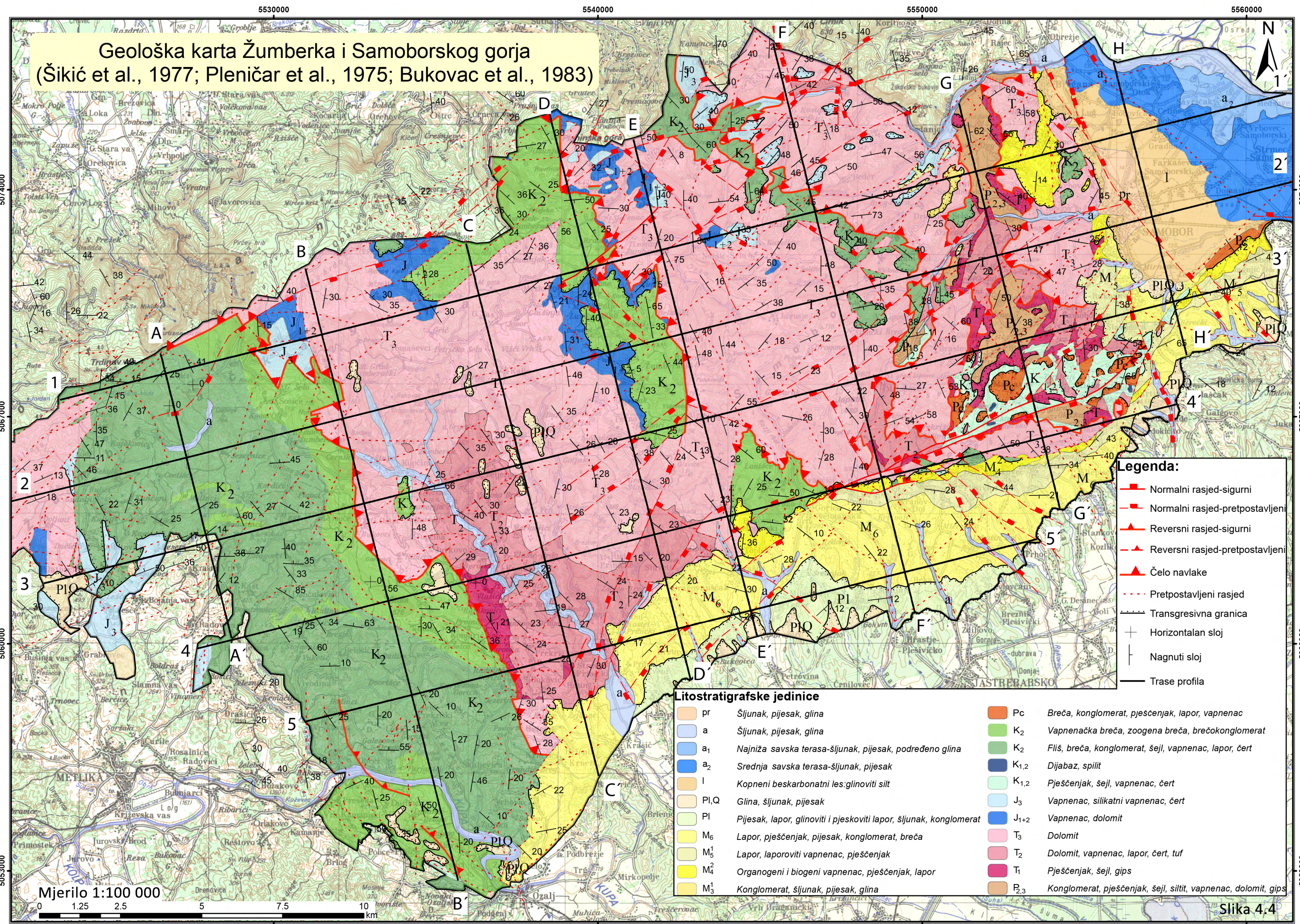
Era	Razdoblje	Geološka jedinica	Površina (m ²)	Površina (km ²)	Postotak (%)
Kenozoik	Holocen	pr	2688158	2.69	0.46
		a	20680368	20.68	3.53
		a₁	3664960	3.66	0.63
		a₂	23107846	23.11	3.94
	Pleistocen	I	15749594	15.75	2.69
	Pliocen i kvartar	PI,Q	8577606	8.58	1.46
	Pliocen	PI	10409568	10.41	1.78
	Neogen	M₆	42165633	42.17	7.20
		M₅¹	3195935	3.20	0.55
		M₄²	8678719	8.68	1.48
		M₃¹	496589	0.50	0,085
	Paleogen	Pc	15174272	15.17	2.59
Mezozoik	Kreda	K₂	149065197	149.07	25.44
		K₁₋₂	7524871	7.52	1.28
	Jura	J₃	15166770	15.17	2.59
		J₁₊₂	11717223	11.72	2.00
	Trijas	T₃	193755452	193.76	33.07
		T₂	36732265	36.73	6.27
		T₁	9240267	9.24	1.58
Paleozoik	Perm	P_{2,3}	8675773	8.68	1.48
		<i>Ukupna površina</i>	<i>586467066</i>	<i>586.47</i>	

Udjeli površina pojedinih litostratigrafskih jedinica



Slika 4.3. Udjeli površina pojedinih geoloških jedinica u površinskoj građi Žumberka i Samoborskog gorja.

Geološka karta Žumberka i Samoborskog gorja
(Šikić et al., 1977; Pleničar et al., 1975; Bukovac et al., 1983)



- Legenda:**
- Normalni rasjed-sigurni
 - - - Normalni rasjed-pretpostavljeni
 - ▲ Reversni rasjed-sigurni
 - - - Reversni rasjed-pretpostavljeni
 - ▲ Čelo navlake
 - - - Pretpostavljeni rasjed
 - Transgresivna granica
 - ⊕ Horizontalan sloj
 - ⊥ Nagnuti sloj
 - Trase profila

Litostratigrafske jedinice

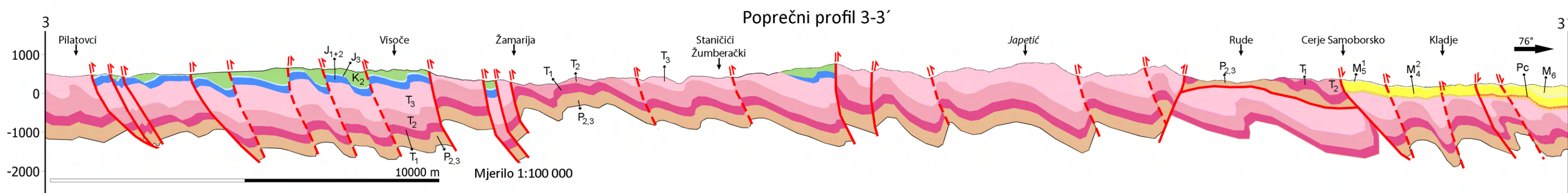
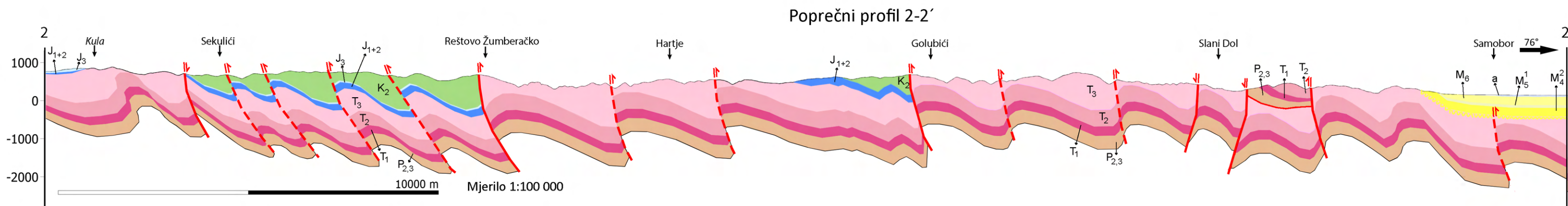
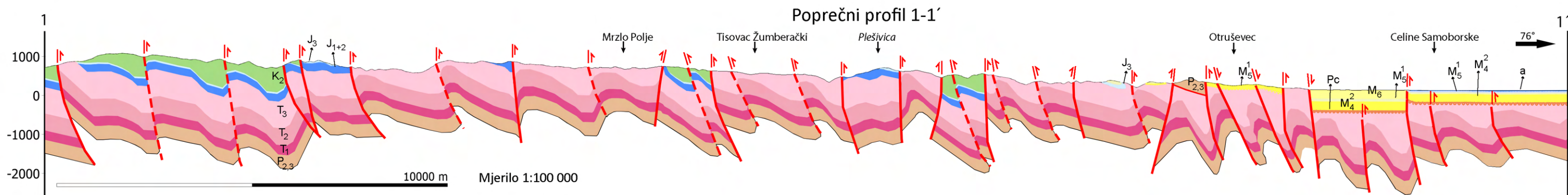
pr	Šljunak, pijesak, glina	Pc	Breča, konglomerat, pješčenjak, lapor, vapnenac
a	Šljunak, pijesak, glina	K ₂	Vapnenačka breča, zoogena breča, brečokonglomerat
a ₁	Najniža savska terasa-šljunak, pijesak, podređeno glina	K ₂	Fliš, breča, konglomerat, šejl, vapnenac, lapor, čert
a ₂	Srednja savska terasa-šljunak, pijesak	K _{1,2}	Dijabaz, spilitt
l	Kopneni beskarbonatni les:glinoviti silt	K _{1,2}	Pješčenjak, šejl, vapnenac, čert
PI,Q	Glina, šljunak, pijesak	J ₃	Vapnenac, silikatni vapnenac, čert
PI	Pijesak, lapor, glinoviti i pjeskoviti lapor, šljunak, konglomerat	J ₁₊₂	Vapnenac, dolomit
M ₆	Lapor, pješčenjak, pijesak, konglomerat, breča	T ₃	Dolomit
M ₅ ¹	Lapor, laporoviti vapnenac, pješčenjak	T ₂	Dolomit, vapnenac, lapor, čert, tuf
M ₄ ²	Organogeni i biogeni vapnenac, pješčenjak, lapor	T ₁	Pješčenjak, šejl, gips
M ₃ ³	Konglomerat, šljunak, pijesak, glina	P _{2,3}	Konglomerat, pješčenjak, šejl, siltit, vapnenac, dolomit, gips

Mjerilo 1:100 000

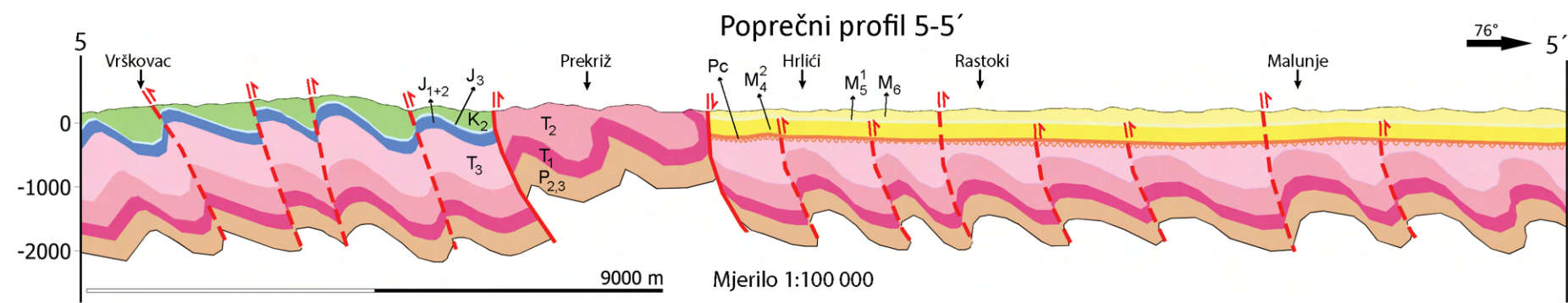
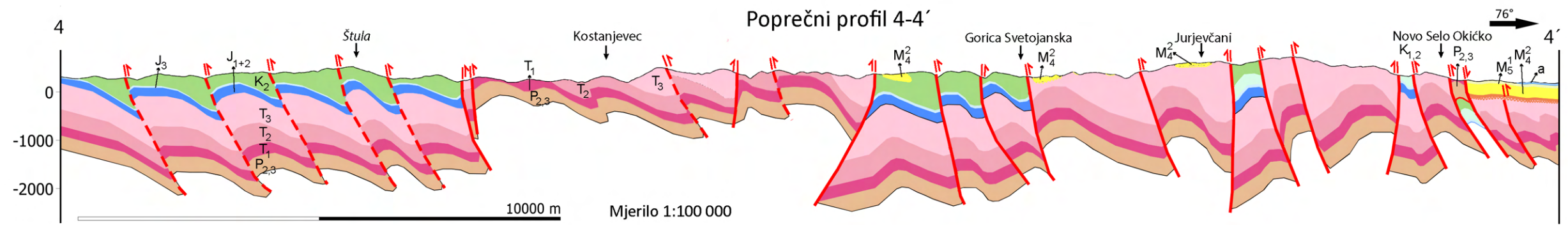


Slika 4.4

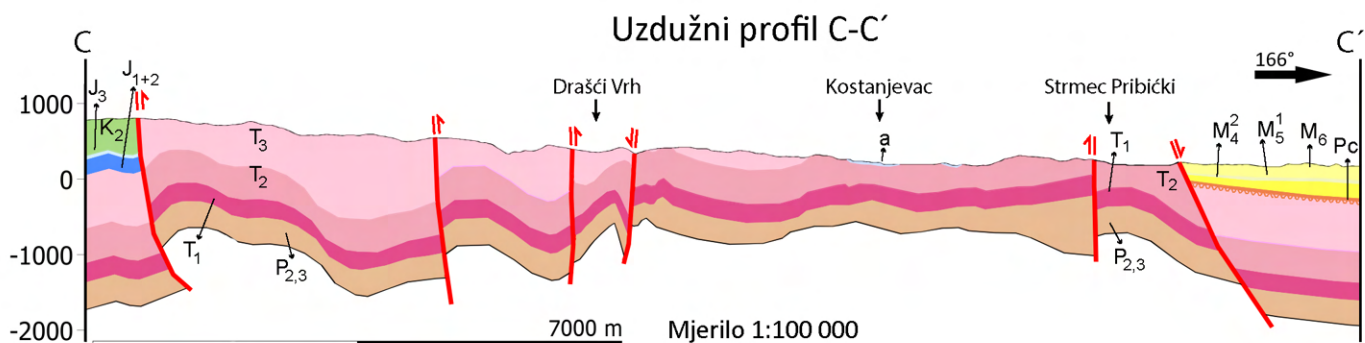
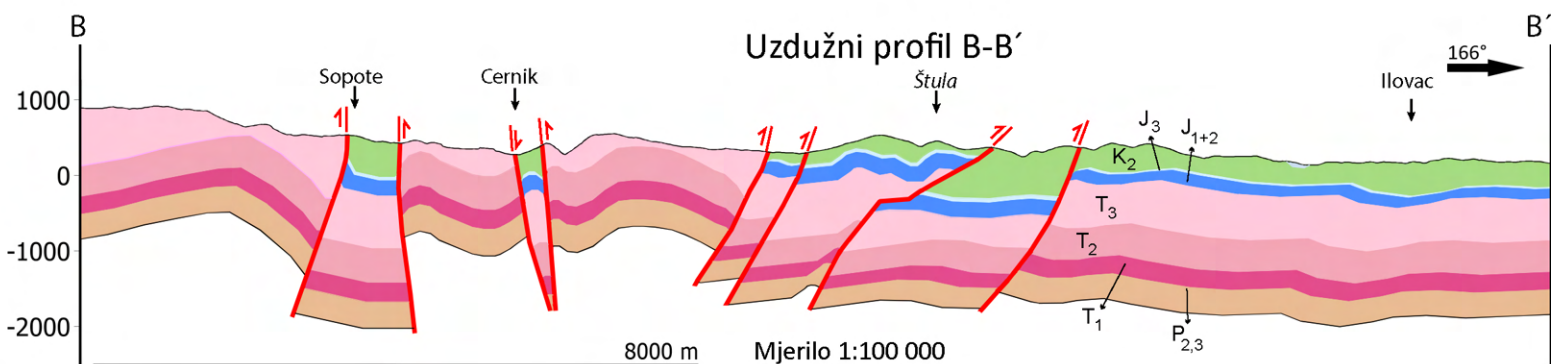
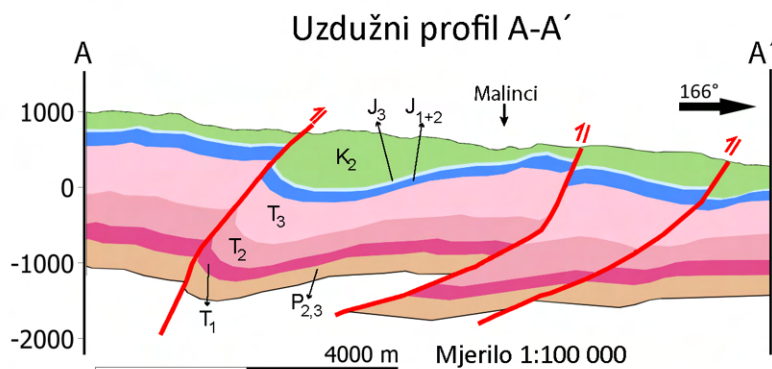
Regionalni shematski poprečni geološki profili 1-1' do 3-3'



Regionalni shematski poprečni geološki profili 4-4' i 5-5'

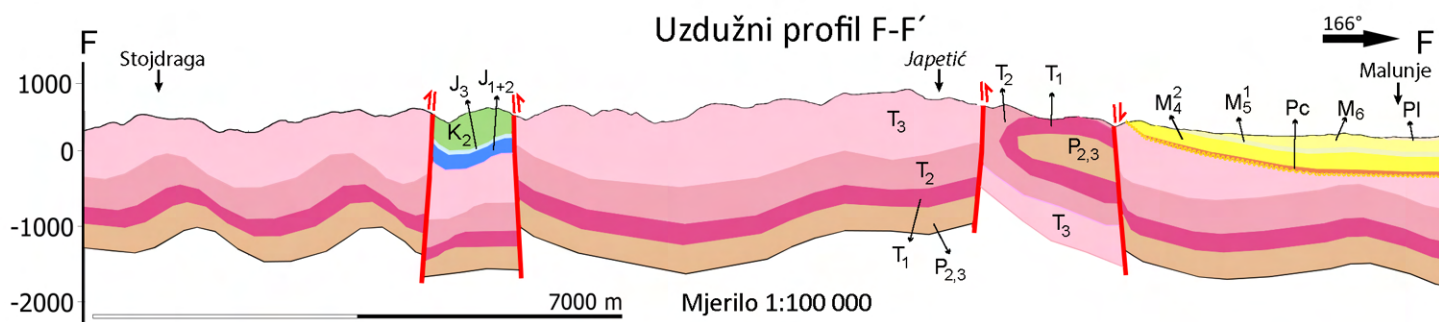
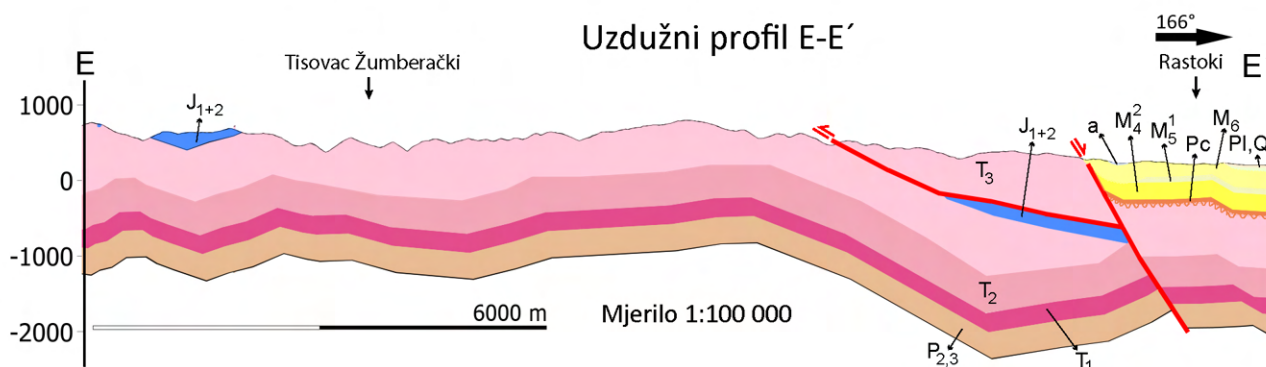
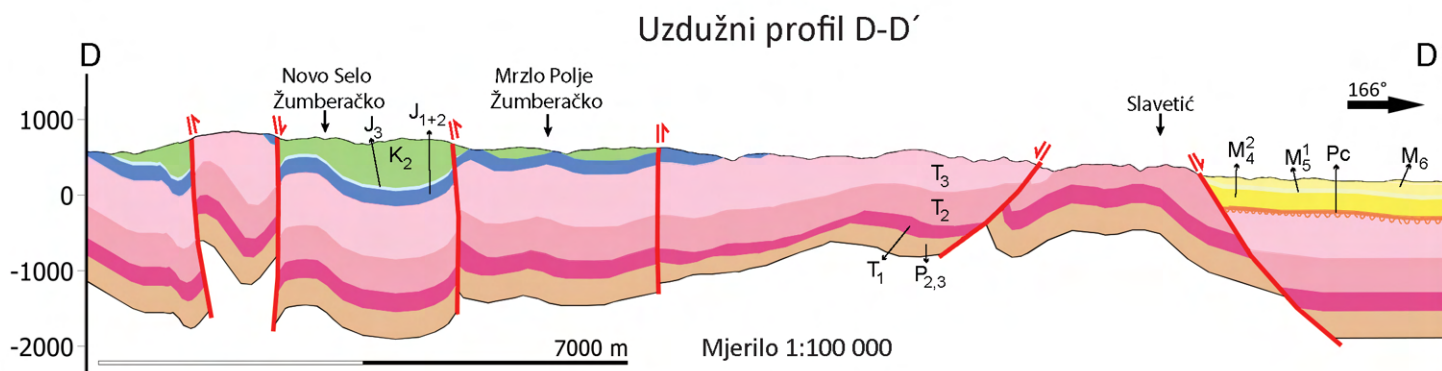


Regionalni shematski uzdužni geološki profili A-A' do C-C'



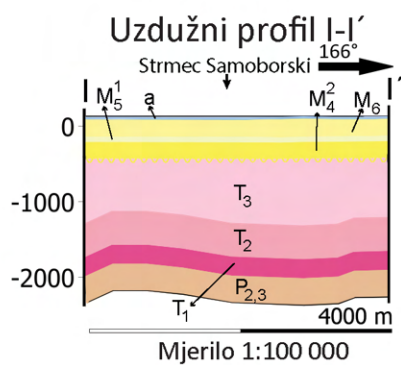
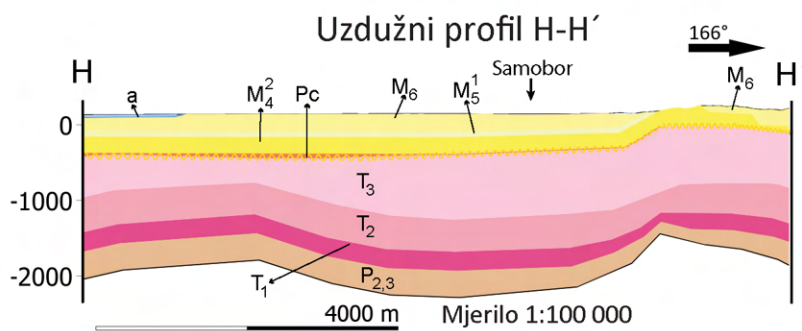
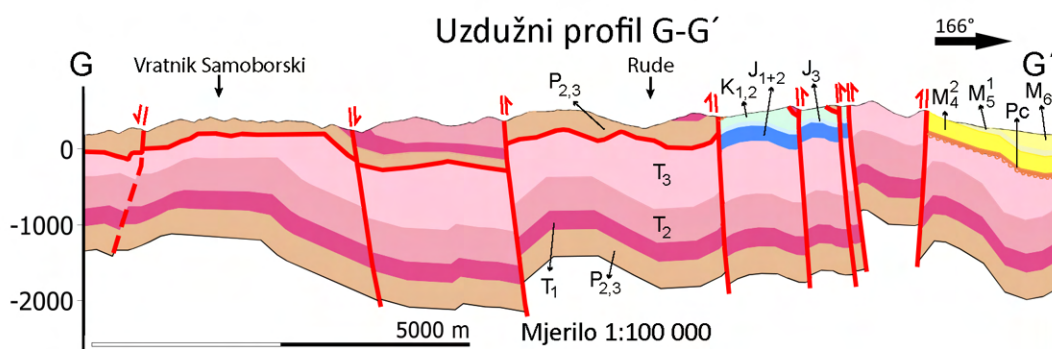
Slika 4.7

Regionalni shematski uzdužni geološki profili D-D' do F-F'



Slika 4.8

Regionalni shematski uzdužni geološki profili G-G' do I-I'



LITOSTRATIGRAFSKI STUP

STAROST	GRAFIČKI PRIKAZ	DEBLJINA (m)	TEKSTUALNI OPIS
KVARTAR	Holocen		10-20 Šljunci, pijesci i gline
			10-20 Šljunci, pijesci, podređeno gline
	Pleistocen		40-45 Šljunci i pijesci
			0,5-5 Vapnenački konglomerati
			15 Kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt
		oko 80 Barski les: siltozne gline	
PLIOCEN		Do 150 180-550	Izmjena šljunaka, pijesaka i glina s rijetkim lećama pješčenjaka i konglomerata Pijesci i pjeskovito glinoviti lapori s proslojcima pješčenjaka lećama šljunaka, glina i ugljena
	MIOCEN		150-300
		Do 100	Laporoviti vapnenci, vapneni, glinoviti i lapori
		150-300	Vapnenci, pješčenjaci, lapori, bazalne breče i konglomerati
		Do 80 Do 100	Lapori, pješčenjaci s ulošcima tufita Izmjena konglomerata, šljunaka, pijesaka i glina
		Do 80	Bazalne breče, konglomerati, pješčenjaci, lapori i vapnenci
KREDA	Gornja		300-1000 (?) Breče, konglomerati, šejlovi, lapori, turbiditi, vapnenci, rožnjaci
			Do 150 Grauvake, šejlovi, lapori, rožnjaci, podređeno vapnenci s izljevima bazičnih eruptiva (vulkanogeno-sedimentni kompleks)
JURA	Donja		Do 60 Pločasti, mjestimično silificirani vapnenci i rožnjaci
			200 Biomikritski i oolitski vapnenci i silificirani vapnenci i rožnjaci; u starijem dijelu podređeno dolomiti i dolomitizirani vapnenci
TRIJAS	Gornji		600-800 Vapneni dolomiti; u starijem dijelu proslojci i leće šejlova; u najmlađem dijelu vapnenci i dolomitizirani vapnenci
	Srednji		400-500 Uslojeni dolomiti; u starijem dijelu gromadasti dolomitizirani vapnenci; u mlađem dijelu ulošci vapnenca, lapora, šejlova, rožnjaka, tufova i tufita (izmjena)
	Donji		Do 250 Subarkoze, tinčasti siltiti, vapnenci; podređeno dolomiti, dolomitizirani vapnenci i lapori
PALEOZOIK	Perm		>350 Pješčenjaci, šejlovi, siltiti, kvarcni konglomerati i breče; u mlađem dijelu vapnenci, dolomiti i gips

4.3. Strukturno-tektonske značajke

Područje Žumberka i Samoborskog gorja je karakterizirano vrlo zamršenim strukturno-tektonskim odnosima. Istraživano područje pokrivaju tri lista OGK mjerila 1:100 000 te se interpretacije strukturno-tektonskih odnosa razlikuju. Na listovima OGK Zagreb i Črnomelj strukturni odnosi riješeni su tangencijalnom odnosno navlačnom tektonikom, dok je to na listu Novo Mesto riješeno radijalnom odnosno blokovskom tektonikom s normalnim rasjedima bez navlačenja.

PRELOGOVIĆ (1969) opisuje značajne neotektonske pokrete. Definirana su tri glavna rasjedna sustava:

- 1) Rasjedi smjera pružanja SI-JZ
- 2) Rasjedi smjera pružanja približno S-J
- 3) Rasjedi smjera pružanja SZ-JI

Prevladavaju rasjedi smjera pružanja SI-JZ. U području Stojdrage zabilježeno je skretanje rasjeda u smjer SSI-JJZ. U Samoborskom gorju značajni su rasjedi pružanja S-J (oko Stojdrage) a u Žumberačkom gorju rasjedi SZ-JI. Pretpostavlja se da je po ovim rasjedima došlo do vertikalnih pomaka. Najkompliciranija situacija je kod sukobljavanja pojedinih rasjednih sustava. Mjestimično dolazi i do horizontalnog pomaka (slika 4.3) na što ukazuje skretanje manjih rasjeda od generalnog pravca pružanja (npr. Samoborska gora, Stojdraga).



Slika 4.11. Rasjed s horizontalnim pomakom i tektonska breča na površini rasjedne plohe u selu Grdanjci.

TOMLIJENIĆ (2002) bilježi nekoliko deformacijskih događaja kroz geološku povijest u paleozojskim i mezozojskim naslagama Samoborskog gorja, kojih je rezultat recentni strukturni sklop:

1. Deformacijski događaj: paleocensko-eocensko boranje i reversno rasjedanje s translacijom krovine prema ZJZ:

Događaj je rezultirao stvaranjem reversnih rasjeda i bora (slika 4.12) te pratećih struktura koje su zabilježene u paleozojskim i mezozojskim naslagama Samoborskog gorja. U mezoskopskom mjerilu strukture ovog deformacijskog događaja čine reversni rasjedi s nagibom prema istoku i sjeveroistoku, lokalno razvijene smične zone, kompresijske dupleks strukture i sporadično bore pružanja SSZ.



Slika 4.12. Bore u mezozojskim naslagama (nedaleko od sela Budinjak).

2. Deformacijski događaj: Egerbunška-otnanska ekstenzija:

Rezultirala je stvaranjem megaskopskih listričkih normalnih rasjeda SSZ pružanja. Spomenuto normalno rasjedanje dobro se uočava na istočnim i jugoistočnim obroncima Samoborskog gorja. Proračun orijentacije glavnih osi paleonaprezanja na ovim rasjedima ukazuje na deformacijski događaj s ekstenzijom u smjeru SI i JZ .

3. Deformacijski događaj: karpatska ?, badensko-sarmatska ZSZ-ISI ekstenzija:

Ovim deformacijskim događajem stvorena je nova generacija konjugiranih normalnih rasjeda SI-pružanja, a rasjedi se jako dobro uočavaju u gornjotrijaskim dolomitima Samoborskog gorja. Ovi rasjedi često se pojavljuju zajedno s pružnim lijevim i desnim rasjedima SI odnosno SZ-pružanja, a pri tom dominiraju rasjedi lijevog karaktera koji se pojavljuju kao rasjedne zone koje omeđuju pojedine strukturne blokove s izrazitom ekstenzijom. Ovaj deformacijski događaj je reaktivirao i rasjede stvorene za vrijeme prethodnog deformacijskog događaja.

4. Deformacijski događaj: gornjomiocenska (gornjopontska) i recentna S-J odnosno SSZ-JJI kompresija:

Ovaj deformacijski događaj se najizrazitije odražava u strukturnoj građi istraživanog područja. Ovim događajem nastale su mnoge megaskopske strukture koje čine reversni rasjedi, kilometarske bore, pozitivne cvjetne strukture i *pop-up* strukture Z-I i ZJZ-ISI pružanja. Rubni rasjed megaskopskog mjerila se nalazi uz jugoistočni rub Samoborskog gorja. Aktivnost ovog rasjeda je trajala vjerojatno kroz cijeli neogen, a njegov kinematski karakter se mijenjao izmjenom ekstenzijskih i kompresijskih događaja.

Tektonske i strukturne jedinice koje su opisane u daljnjem tekstu preuzete su s OGK List Zagreb te iz pripadajućeg tumača. Na istraživanom području razlikuje se 5 tektonskih i 3 strukturne jedinice.

Tektonska jedinica „vulkanogeno-sedimentna zona“ nalazi se na južnim predjelima Samoborskog gorja između Rudarske Gradne i vršnog dijela Plešivice gdje su sačuvani dijelovi nekad cjelovitog vulkanogeno-sedimentnog kompleksa stijena, zasad determinirane starosti raspona apt-turon. Taj kompleks stijena, protezanja SI-JZ formiran je u zoni dubinskih razloma duž ruba paleozojske (hercinške) kristalinske strukture. Starost početka formiranja vulkanogeno-sedimentnog kompleksa stijena zasad još nije riješena. Uz moguću donjokrednu (aptsku) transgresiju, ostaje i pretpostavka genetske, vremenske i prostorne povezanosti s poznatom ofiolitskom zonom (doger-valendis) Unutrašnjih Dinarida, koja se iz sjeverozapadne Bosne proteže u Hrvatsku i može se pratiti od Dvora na Uni prema Karlovcu. Jursko-donjokredna ofiolitska zona ima dinarski smjer dok mlađa kredna vulkanogeno-sedimentna zona Medvednica-Samoborsko gorje ima već spomenuto pružanje SI-JZ. Do sukobljavanja tih tektonskih magmatsko-sedimentnih zona dolazi u području istočno-jugoistočno od Karlovca. Prema sjeveroistoku, preko Huma se očitava povezanost s vulkanogeno-sedimentnim kompleksom stijena Kalnika. Očito je da su kredni vulkanogeno-sedimentni kompleksi stijena Samoborskog gorja, Medvednice, Kalnika i južnih padina Ivanšćice bili genetski i vremenski vezani za izrazito tektonizirane dijelove jedinstvenog sedimentacijskog prostora. Egzistencija kredne vulkanogeno-sedimentne zone kao samostalne tektonske jedinice prema utvrđenim podacima kreće se u rasponu apt-paleogen.

U toku turona zahvaćena je emerzijom, koja traje do gornjeg senona, kad je zajedno s kristalinskim kopnom tek djelomice ponovno u dohvat transgresije. Obnavljanjem pokreta krajem senona, na širem prostoru vulkanogeno-sedimentne zone, formiran je izduženi relativno plitki bazen naslijeđene orijentacije SI-JZ sa sedimentacijom tijekom paleocena i vjerojatno donjeg eocena. Transgresijom su zahvaćeni i neki predjeli, koji su od turona egzistirali kao kopno. Od eocena na dalje, nakon intenzivnih tangencijalnih reversnih pokreta i navlačenja, vulkanogeno-sedimentna zona gubi značaj samostalne tektonske jedinice i većim dijelom ulazi u sastav novoformirane strukturne građe istočnog Žumberka.

Tektonska jedinica „autohton Žumberka“ zastupljena je u nizom razlomljenih zona u središnjem dijelu Samoborskog gorja od područja između Vranov Dola i Malog Lipovca preko doline Lipovečke Gradne kod Velikog Lipovca do Smerovišća (VUJNOVIĆ, 2010). U sastav autohtone, izrazito tektonizirane mase Žumberka ulaze stijene koje su stvarane u vremenskom intervalu od srednjeg perma do paleogena i koje danas leže u podlozi alohtonih elemenata, te nisu bile pomicanе u okviru savske orogenetske faze. Jezgra autohtona istočnog Žumberka je izgrađena od klastita mlađeg perma. Postupnim izdizanjem u gornjem permu, formirane su djelomice izolirane lagunarne sredine koje egzistiraju za vrijeme perma i trijasa. Stalno prisutna tektonska aktivnost omogućila je prodor hidrotermalnih otopina u gornjopermske stijene. Za ove procese vezan je nastanak rudnih ležišta. U donjem trijasu je uspostavljena plitkovodna marinska sedimentacija. Od anizika, uz ravnomjerno spuštanje bazena, ustalila se karbonatna sedimentacija, koja se s kraćim prekidima (ladinik, karnik) nastavila sve do srednjeg lijas. Značajniji su tektonski pokreti u toku ladinika, kad su nastali dubinski razlomi uz prateći submarinski vulkanizam. Na prijelazu trijasa u lijas (donja jura) došla je do izražaja tektonska diferencijacija sedimentacijskog prostora na relacijama karbonatna „platforma“ (pliće)–utonuli dijelovi kristalina (dublje). Rasjedima dinarskog smjera na prijelazu srednjeg u gornji lijas, počelo je razbijanje trijasko-lijaske karbonatne „platforme“. Dinarski prostor se dijeli na bazensku i šelfnu sedimentacijsku sredinu. Istraživano područje Žumberka postaje sastavni dio bazenskog prostora s izraženom pelagičkom sedimentacijom. Krajem valendisa ili početkom otriva unutrašnji dinarski prostor je zahvaćen pokretima izdizanja, koji su doveli do okopnjavanja i na području Žumberka. Uslijedile su promjene na strukturno-morfološkom planu i nastao je paleoreljef s otkrivenim permskim, trijaskim i jurskim sedimentima. U toku cenomana, a možda i ranije područje

Žumberka je ponovno zahvaćeno transgresijom (fliško-turbiditni tip sedimentacije). Uži dio Samoborskog gorja u to vrijeme (cenoman-turon) egzistira kao izdignuta strukturalna barijera, koja odvaja spomenuti prostor od tektogenetske zone vulkanogeno-sedimentnog kompleksa. U toku paleogena izdiže se područje istočnog Žumberka, a od eocena na dalje, nakon intenzivnih tektonskih pokreta, zajedno s vulkanogeno-sedimentnim kompleksom i kristalinom Medvednice tvori jedinstveno kopno.

Tektonska jedinica „Žumberačko-Medvednička navlaka“ je izgrađena od sedimenata trijasa, jure i krede, koji su u savskoj orogenetskoj fazi navučeni na autohtone stijene istočnog Žumberka i jugozapadnog dijela Medvednice. Široko je zastupljena u Samoborskom gorju i istočnom Žumberku do linije Prodin Dol-Tihočaj-Golubići-Novo Selo Žumberačko. Današnji izgled i prostranstvo navučene mase uvjetovani su naknadnim tektonskim i erozijskim procesima. Tako je došlo do odvajanja i djelomičnog razaranja navlake pa je smanjena njezina nekadašnja površina i volumen. Najvjerojatnija pretpostavka je da je Žumberačko-Medvednička alohtona masa nastala kao rezultat odvajanja i najvjerojatnije gravitacijskog premještanja mlađeg dijela serije mezozojskih sedimenata pod utjecajem tangencijalnih potisaka. Pretpostavlja se da su inicijator i prethodnica ovom navlačenju bili radijalni pokreti praćeni izdizanjem na području Hrvatskog Zagorja. Pod utjecajem tangencijalnih potisaka sa sjevera i sjeveroistoka došlo je unutar izdignute, litološki nehomogene serije sedimenata do diferencijalnog kretanja. Pokrenuta masa prekrila je autohtone, tektonikom i erozijom već ranije poremećene terene istočnog Žumberka i Medvednice. Zbog toga je podloga navlačenja izgrađena od stijena koje pripadaju stratigafskom rasponu od perma do paleogena. Navučeni sedimenti predstavljaju masu odvojenu od primarnog mjesta postanka, pa je veoma teško odrediti područje korjena navlake. Indikatore lokacije tog područja predstavljaju kredni sedimenti, koji su prilikom procesa navlačenja preneseni zajedno s njihovom primarnom podlogom sedimentacije. Iz toga slijedi da se područja u čijem sklopu leže kredne naslage na primarnom mjestu, mogu isključiti kao potencijalna područja izvora navlake. Geološka građa obrađenog područja i geološka situacija na širem prostoru ukazuju da se područje izvora, danas prekriveno neogenskim i kvartarnim sedimentima, nalazi najvjerojatnije u jugozapadnom dijelu Hrvatskog Zagorja i Marijagoričkim brdima. Na temelju udaljenosti čela navlake od područja korjena može se pretpostaviti da je iznos horizontalnog kretanja bio veći od 10 km.

Formiranje strukturalnih jedinica Žumberačko-Medvedničke navlake dovodi se u vezu s egzistencijom hipotetske otporne mase, koja je zaustavila kretanje alohtonih sedimenata na jug i jugozapad. Kako su potisci koji su izazvali horizontalne pokrete i dalje prisutni, došlo je u prvoj fazi do kompresije navučenih, krutih sedimenata. Slijedilo je njihovo intenzivno razlamanje i formiranje plićih tangencijalnih dislokacija, na kojima je došlo do naguravanja stražnjih ili središnjih dijelova navučene mase prema naprijed. Zbog toga je sama navlaka diferencirana u manje dijelove ili „ljuske“ koje su shvaćene kao strukturalne jedinice Japetić, Crnik i Vrhovčak.

Strukturalna jedinica „Japetić“ predstavlja alohtonu masu, čija jugozapadna granica predstavlja čelo navlake. U predgorju joj leži autohton Žumberka. Nastavak čela navlake prema jugoistoku prekriven je sedimentima neogena. Značajan rasjed sa sjeverozapadne strane Plešivice odvojio je, od primarno jedinstvenog pokrova, gornjotrijaske alohtone dolomite Plešivice i omogućio duboko otvaranje autohtonih gornjopermskih, krednih vulkanogeno-sedimentnih i paleogenskih stijena u podlozi. Sjeveroistočni dio te strukturalne jedinice ograničen je pozadinskom masom navučenog gornjotrijaskog dolomita, ispod kojeg se, u dubokim potočnim dolinama, otvaraju kredni sedimenti velikog tektonskog „poluokna“ Trebelnik. Dalje prema jugoistoku, navučeni sedimenti strukturalne jedinice Japetić djelomično su prekriveni alohtonom strukturalne jedinice Goli Crnik. Za tumačenje tektonskog položaja krednih naslaga Trebelnika može se pretpostaviti i drugo rješenje. Postoji mogućnost da su spomenute naslage bile sastavni dio alohtone mase strukturalne jedinice Japetić. U današnji položaj su u završnoj fazi navlačenja, kad je uslijed otpora prednjem frontu navlake, u pozadini došlo do pucanja i djelomičnog reversnog naližavanja trijasko karbonatne mase na sabijeni pojas krednih klastita.

Strukturalna jedinica „Goli Crnik“ se nadovezuje na prethodnu jedinicu i pokriva sjeveroistočni dio područja istraživanja. Zapadnu granicu ove "ljuske" tvori čelo navučenih sedimenata gornjeg trijasa i jure, koje zatvara tektonski pojas Trebelnika s istočne i sjeveroistočne strane. Dalje prema jugoistoku navučena masa Golog Crnika tektonski je superponirana strukturalnoj jedinici Japetić, budući da ju je naknadno djelomice prekrila s istočne strane leži na paleozoiku, trijasu i kredi Žumberačkog autohtona, dok je u produžetku na sjever navlačni kontakt maskiran transgresivnim sedimentima neogena. Sjeverna granica te tektonske jedinice također nije poznata budući da je prekrivena savskim aluvijem.

Strukturna jedinica „Vrhovčak“ prekriva autohtone stijene istočnog Žumberka. Pretpostavlja se da je zajedno s prethodno opisanim strukturnim jedinicama nekad predstavljala cjelovitu navučenu masu. Nakon njezine diferencijacije i formiranja strukturnih jedinica nižeg reda, autohtone stijene ove strukturne jedinice ležale su i na području između Samobora i Podsuseda. Razbijanje ove, primarno jedinstvene "ljuske" u dvije odvojene mase prouzročeno je spuštanjem njezinih centralnih dijelova duž mladih rasjeda na rubovima Zagorskog tercijarnog bazena i Savske potoline. Utonuli dijelovi prekriveni su mladim tercijarnim i kasnije kvartarnim sedimentima.

Tektonska jedinica „Savski tercijarni bazen“ čiji dio **strukturna jedinica „Depresija Crne Mlake“**, obuhvaća jugoistočne dijelove istraživanog područja na obroncima Plešivice. Neogenske naslage jugoistočnih obronaka Žumberka pripadaju sjeverozapadnom rubu ove depresije. U formiranju depresije sudjeluju rasjedi na jugoistočnim padinama Žumberka smjera sjeveroistok-jugozapad. Karakteristika područja su jači tektonski pokreti u pojedinim fazama taloženja neogenske serije sedimenata, koja ni u jednom profilu nije kompletno razvijena. Opetovano, ali intenzivnije spuštanje na istim ili paralelnim rasjedima smjera sjeveroistok-jugozapad odigralo se na prijelazu donjeg u gornji pont. U ovom slučaju jače je spuštanje jugozapadnih rubnih područja, na što ukazuju gornjopontski sedimenti koji su prekrivši starije neogenske članove, direktno nalegli čak i na predtercijarne stijene.

Krajnji istok područja istraživanja prekriva **tektonska jedinica „Savska depresija“**. Na području između Krškog na sjeverozapadu i Zagreba na jugoistoku leži dolina Save ispunjena nevezanim, aluvijalnim sedimentima. Postanak obrađenog dijela Savske potoline uvjetovan je tektonskim pokretima čija je aktivnost počela krajem pleistocena ili početkom holocena. Tada je na jugoistočnim padinama Žumberka, duž značajnih rubnih rasjeda dinarskog pružanja došlo do spuštanja blokova i djelomičnog razlamanja neogenskih donjopleistocenskih struktura prostorne orijentacije SI-JZ. Razorena su i uzvišenja između Podsuseda i Sv. Nedjelje. Ta tektonska aktivnost, zajedno s razlamanjem predtercijarnih stijena omogućila je stvaranje Zagrebačke depresije. Tada je izvršeno i najjače nasipavanje aluvijalnog materijala u ove nizinske prostore. Stvaranje rubnih terasnih odsjeka nastalih urezivanjem vodotoka u neogenske ili pretercijarne stijene kontrolirano je rasjedima koji leže uz bokove Savske doline. Rubni terasni odsjeci predstavljaju granicu ove tektonske jedinice

prema jugozapadu i sjeveroistoku i ujedno markiraju područje van kojega vode savskog toka nisu nikada doprle.

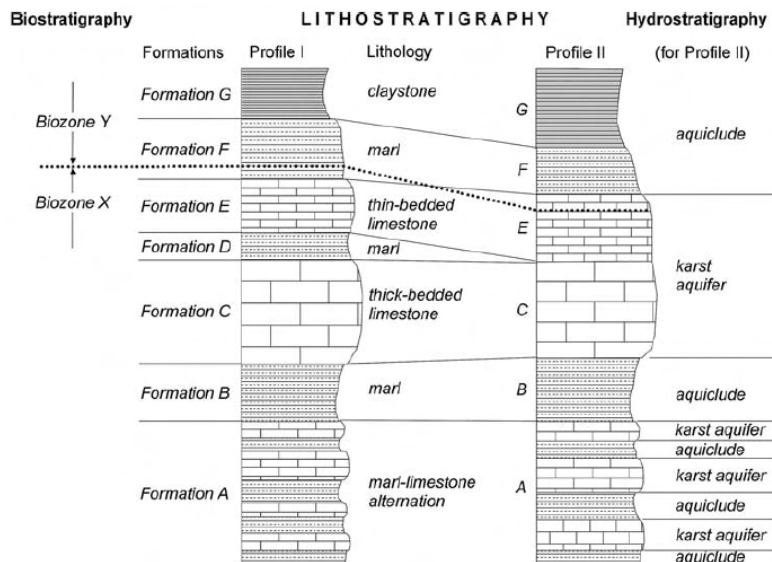
5. HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

5.1. Hidrogeološke značajke stijena

VUJNOVIĆ (2010) je u disertaciji na području parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“ načinila hidrogeološku klasifikaciju stijena na površini. Kriteriji za klasifikaciju su bili vrsta stijene, tip poroznosti, stupanj propusnosti, stupanj deformacije koje je stijena pretrpjela te vodene i morfološke pojave. U ovom radu načinjena je pojednostavljena hidrogeološka klasifikacija u kojoj su stijene razvrstane u tri grupe s različitim hidrogeološkim značajkama:

1. Nevezane kvartarne i pliocenske i pliokvartarne naslage
 - a) Dobre propusnosti
 - b) Vrlo male propusnosti
2. Karbonatne stijene
 - a) Dobre propusnosti
 - b) Osrednje propusnosti
 - c) Slabe propusnosti
3. Nevezane pliocenske i pliokvartarne stijene, izmjena klastičnih i karbonatnih stijena i magmatske stijene (slabo propusno do gotovo nepropusno)

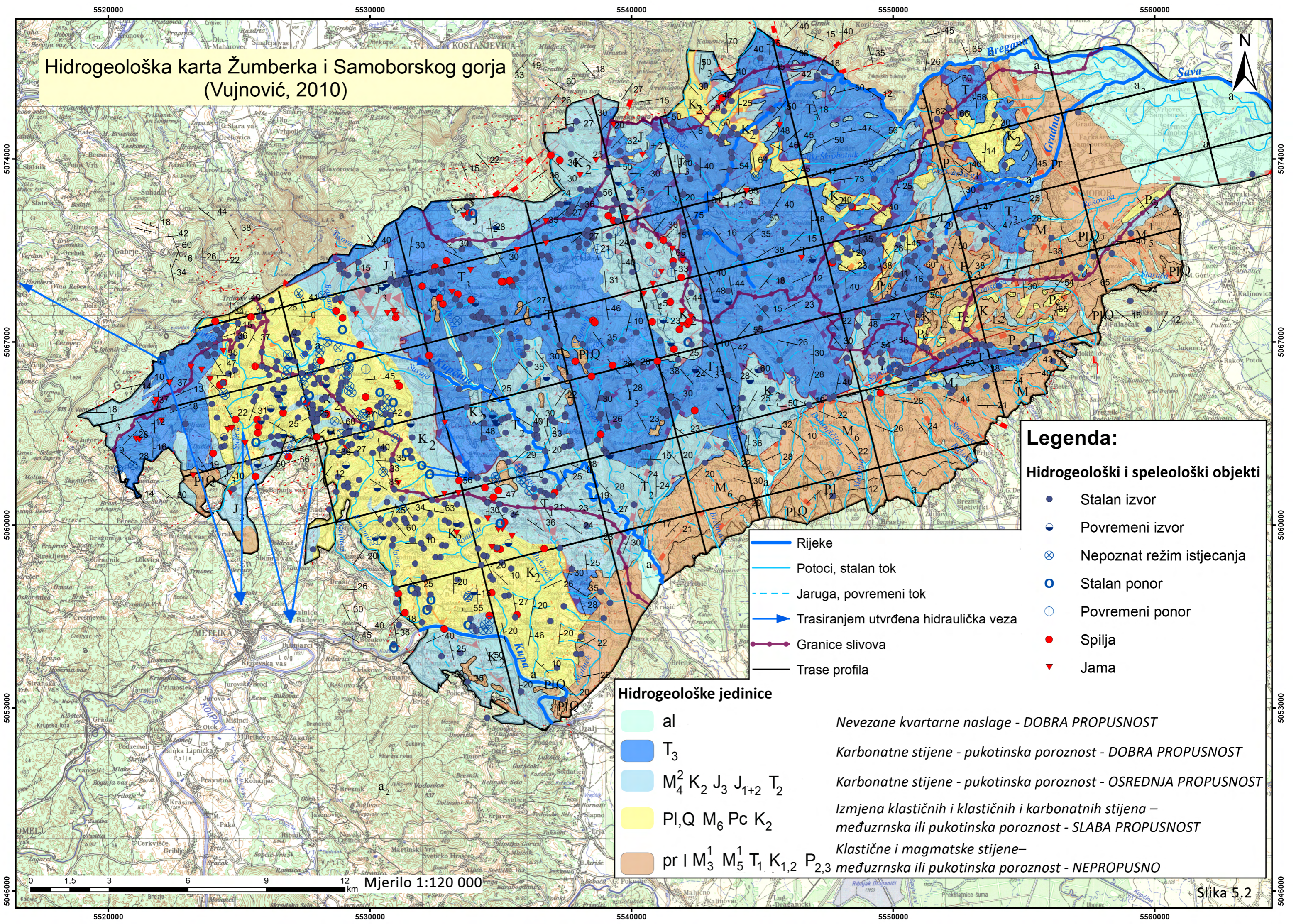
Raspodjela hidrogeoloških jedinica na površini i pod površinom prikazana je hidrogeološkom kartom (slika 5.2) i regionalnim shematskim hidrogeološkim profilima (slike 5.3-5.7). Da bi se moglo pristupiti izradi hidrogeološkog modela bilo je potrebno načiniti i transformaciju geološkog u hidrogeološki stup kao što je prikazano na slici 5.1 (GOLDSCHIEDER & DREW, 2007). Temelj za hidrogeološku podjelu nekog područja su primarno hidrogeološka svojstva pa se nekoliko litoloških formacija mogu transformirati u jednu hidrogeološku formaciju.



Slika 5.1. Transformacija geološkog stup u hidrogeološki stup (GOLDSCHIEDER & DREW, 2007).

Za transformaciju geološkog u hidrogeološki stup korištena je pojednostavljena hidrogeološka podjela površinskih stijena istraživanog područja načinjena na temelju VUJNOVIĆ (2010), a prikazana je na slici 5.8.

Hidrogeološka karta Žumberka i Samoborskog gorja (Vujnović, 2010)



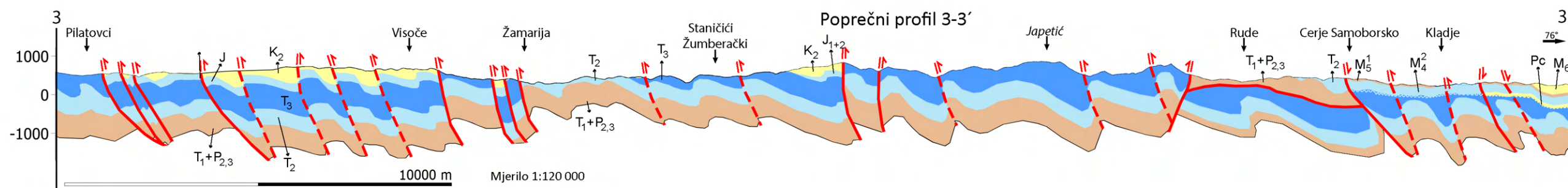
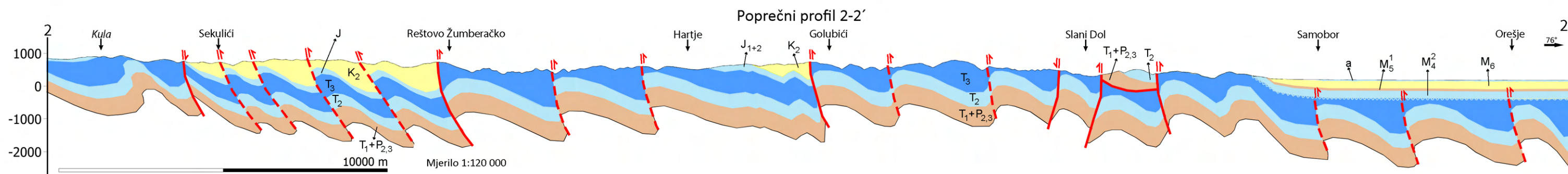
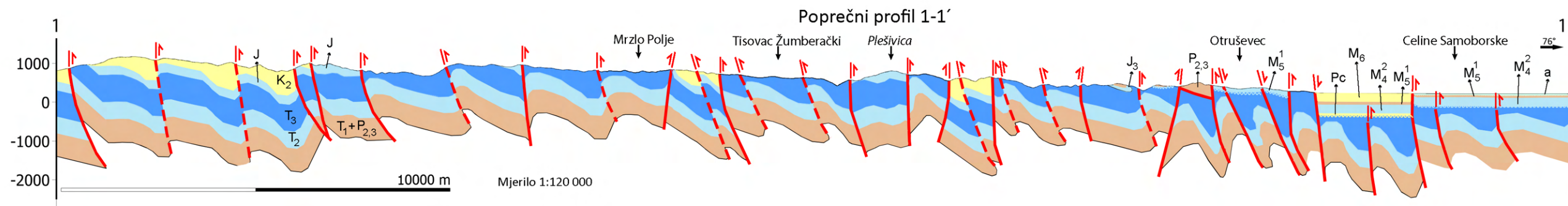
- ### Legenda:
- #### Hidrogeološki i speleološki objekti
- Stalan izvor
 - Povremeni izvor
 - ⊗ Nepoznat režim istjecanja
 - Stalan ponor
 - ⊕ Povremeni ponor
 - Spilja
 - ▼ Jama
- Rijeke
 - Potoci, stalan tok
 - - - Jaruga, povremeni tok
 - ▶ Trasiranjem utvrđena hidraulička veza
 - Granice slivova
 - Trase profila

- #### Hidrogeološke jedinice
- | | | |
|--|---|--|
| | al | Nevezane kvartarne naslage - DOBRA PROPUSNOST |
| | T ₃ | Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - DOBRA PROPUSNOST |
| | M ₄ ² K ₂ J ₃ J ₁₊₂ T ₂ | Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - OSREDNJA PROPUSNOST |
| | PI,Q M ₆ Pc K ₂ | Izmjena klastičnih i klastičnih i karbonatnih stijena – međuzrnska ili pukotinska poroznost - SLABA PROPUSNOST |
| | pr I M ₃ ¹ M ₅ ¹ T ₁ K _{1,2} P _{2,3} | Klastične i magmatske stijene – međuzrnska ili pukotinska poroznost - NEPROPUSNO |






Mjerilo 1:120 000

Slika 5.2

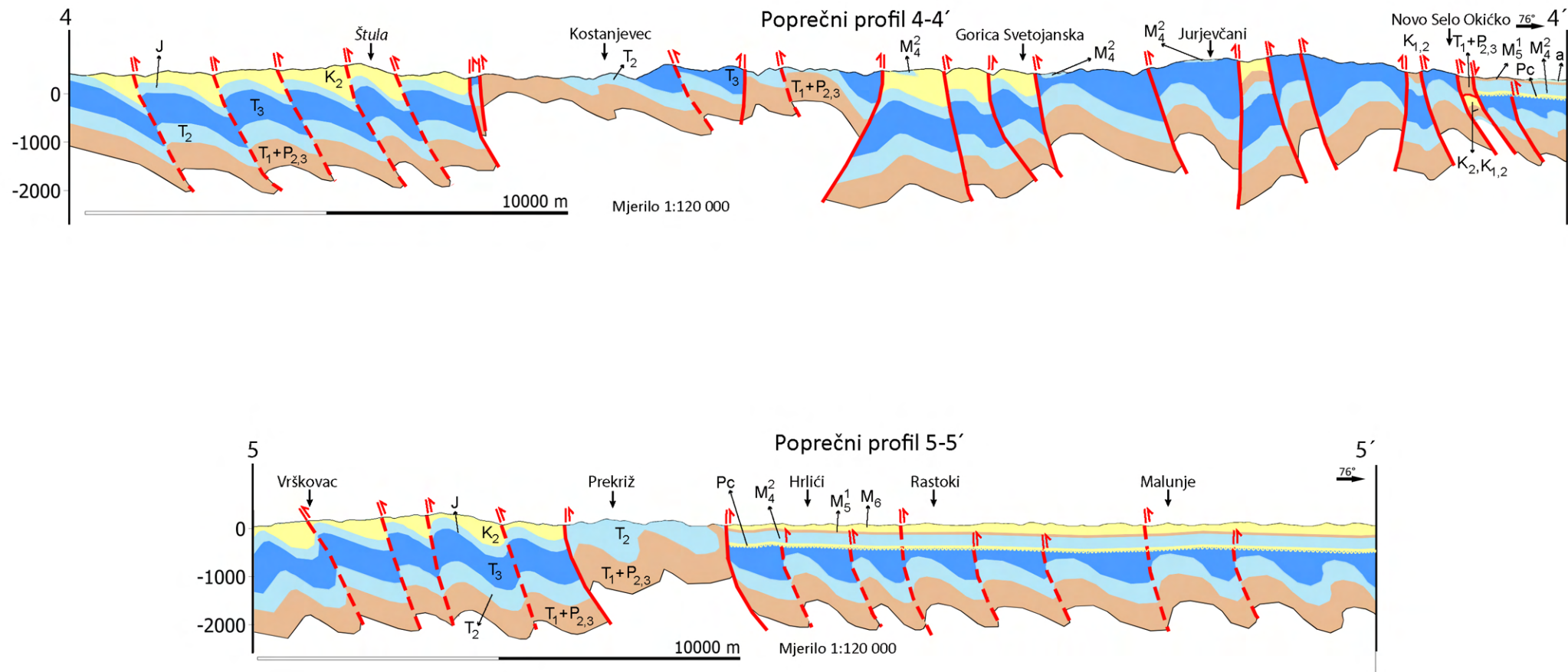
Regionalni shematski poprečni hidrogeološki profili 1-1' do 3-3'



Hidrogeološke jedinice

	al	Nevezane kvartarne naslage - DOBRA PROPUSNOST
	T ₃	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - DOBRA PROPUSNOST
	M ₄ ² K ₂ J ₃ J ₁₊₂ T ₂	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - OSREDNJA PROPUSNOST
	PI,Q M ₆ Pc K ₂	Izmjena klastičnih i klastičnih i karbonatnih stijena – međuzrnska ili pukotinska poroznost - SLABA PROPUSNOST
	pr I M ₃ ¹ M ₅ ¹ T ₁ K _{1,2} P _{2,3}	Klastične i magmatske stijene – međuzrnska ili pukotinska poroznost - NEPROPUSNO

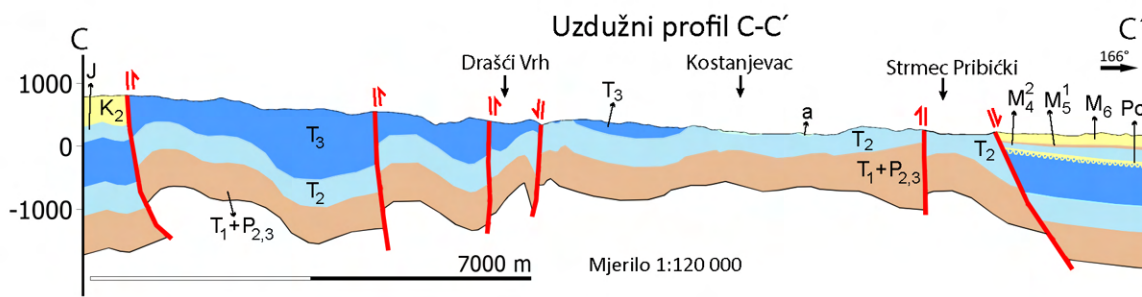
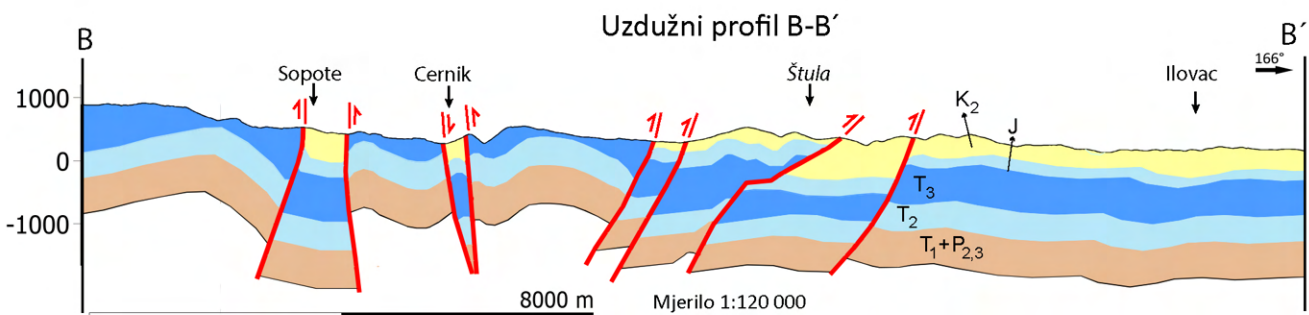
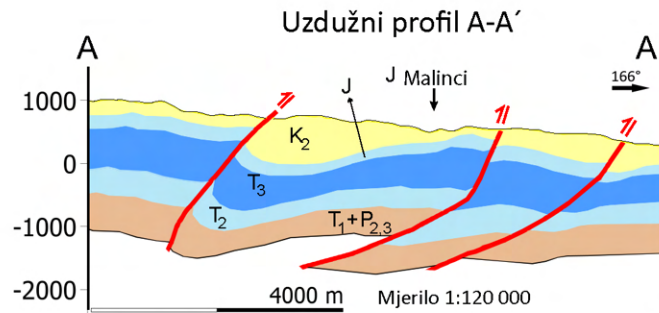
Regionalni shematski poprečni hidrogeološki profili 4-4' i 5-5'








Hidrogeološke jedinice

 al	Nevezane kvartarne naslage - DOBRA PROPUSNOST
 T ₃	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - DOBRA PROPUSNOST
 M ₄ ² K ₂ J ₃ J ₁₊₂ T ₂	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - OSREDNJA PROPUSNOST
 PI, Q M ₆ Pc K ₂	Izmjena klastičnih i klastičnih i karbonatnih stijena – međuzrnska ili pukotinska poroznost - SLABA PROPUSNOST
 pr M ₃ ¹ M ₅ ¹ T ₁ K _{1,2} P _{2,3}	Klastične i magmatske stijene – međuzrnska ili pukotinska poroznost - NEPROPUSNO

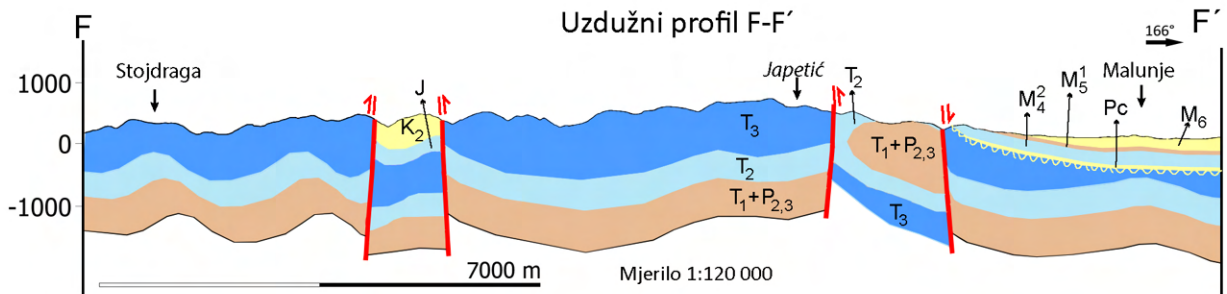
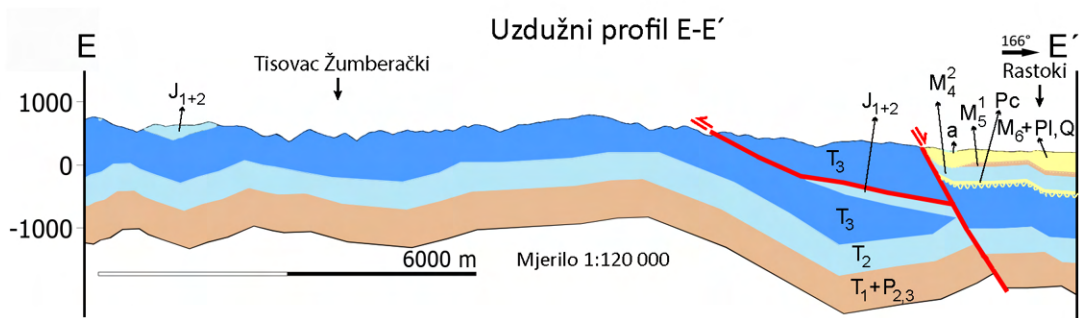
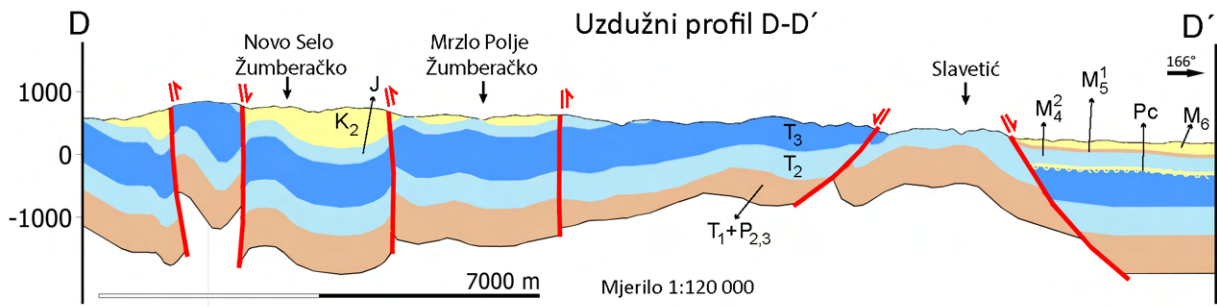
Regionalni shematski uzdužni hidrogeološki profili A-A' do C-C'






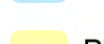

Hidrogeološke jedinice

 al	Nevezane kvartarne naslage - DOBRA PROPUSNOST
 T ₃	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - DOBRA PROPUSNOST
 M ₄ ² K ₂ J ₃ J ₁₊₂ T ₂	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - OSREDNJA PROPUSNOST
 Pl,Q M ₆ Pc K ₂	Izmjena klastičnih i klastičnih i karbonatnih stijena – međuzrnska ili pukotinska poroznost - SLABA PROPUSNOST
 pr I M ₃ ¹ M ₅ ¹ T ₁ K _{1,2} P _{2,3}	Klastične i magmatske stijene – međuzrnska ili pukotinska poroznost - NEPROPUSNO

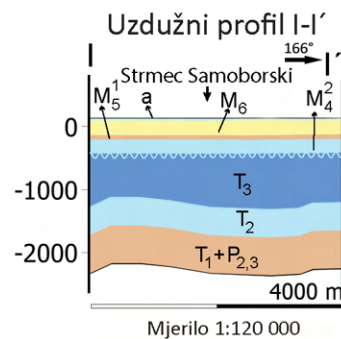
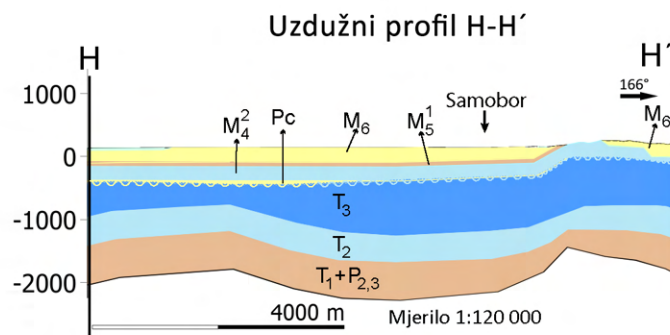
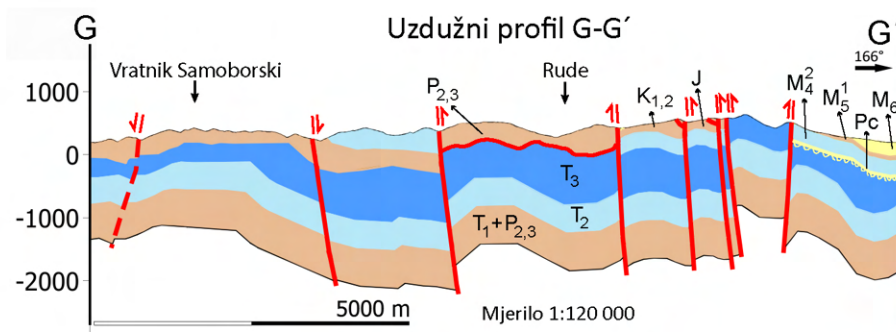
Regionalni shematski uzdužni hidrogeološki profili D-D' do F-F'



Hidrogeološke jedinice

	al	Nevezane kvartarne naslage - DOBRA PROPUSNOST
	T ₃	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - DOBRA PROPUSNOST
	M ₄ ² K ₂ J ₃ J ₁₊₂ T ₂	Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - OSREDNJA PROPUSNOST
	PI,Q M ₆ Pc K ₂	Izmjena klastičnih i klastičnih i karbonatnih stijena – međuzrnska ili pukotinska poroznost - SLABA PROPUSNOST
	pr I M ₃ ¹ M ₅ ¹ T ₁ K _{1,2} P _{2,3}	Klastične i magmatske stijene – međuzrnska ili pukotinska poroznost - NEPROPUSNO

Regionalni shematski uzdužni hidrogeološki profili G-G' do I-I'



Hidrogeološke jedinice

<ul style="list-style-type: none"> al T₃ M₄² K₂ J₃ J₁₊₂ T₂ Pl, Q M₆ Pc K₂ pr I M₃¹ M₅¹ T₁ K_{1,2} P_{2,3} 	<p>Nevezane kvartarne naslage - DOBRA PROPUSNOST</p> <p>Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - DOBRA PROPUSNOST</p> <p>Karbonatne stijene - pukotinska poroznost - OSREDNJA PROPUSNOST</p> <p>Izmjena klastičnih i klastičnih i karbonatnih stijena – međuzrnska ili pukotinska poroznost - SLABA PROPUSNOST</p> <p>Klastične i magmatske stijene – međuzrnska ili pukotinska poroznost - NEPROPUSNO</p>
---	---

LITOSTRATIGRAFSKI STUP

HIDROGEOLOŠKI STUP

STAROST	GRAFIČKI PRIKAZ	DEBLJINA (m)	TEKSTUALNI OPIS	
KVARTAR	Holocen	pr a	Šljunci, pijesci i gline	
		a ₁	Šljunci, pijesci, podređeno gline	
	Pleistocen	a ₂	Šljunci i pijesci	
		a ₃	Vapnenački konglomerati	
		I	Kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt	
lb	oko 80	Barski les: siltozne gline		
PLIOCEN	PI,Q	Do 150	Izmjena šljunaka, pijesaka i glina s rijetkim lećama pješčenjaka i konglomerata	
		PI	180-550	Pijesci i pjeskovito glinoviti lapori s proslojcima pješčenjaka lećama šljunaka, glina i ugljena
MIOCEN	M ₆	150-300	Vapneni lapori, podređeno laporoviti vapnenci, pijesci i pješčenjaci	
		M ₅ ¹	Do 100	Laporoviti vapnenci, vapneni, glinoviti i lapori
		M ₄ ²	150-300	Vapnenci, pješčenjaci, lapori, bazalne breče i konglomerati
		HIJATUS	Do 80	Lapori, pješčenjaci s ulošcima tufita
		M ₃ ¹	Do 100	Izmjena konglomerata, šljunaka, pijesaka i glina
PALEOCEN	Pc	Do 80	Bazalne breče, konglomerati, pješčenjaci, lapori i vapnenci	
KREDA	Gornja	K ₂	300-1000 (?)	Breče, konglomerati, šejlovi, lapori, turbiditi, vapnenci, rožnjaci
			Donja	K _{1,2}
JURA	J ₃	Do 60	Pločasti, mjestimično silificirani vapnenci i rožnjaci	
		J ₁₊₂	200	Biomikritski i oolitni vapnenci i silificirani vapnenci i rožnjaci; u starijem dijelu podređeno dolomiti i dolomitirani vapnenci
		Gornji	T ₃	600-800
Srednji	T ₂			400-500
Dolji	T ₁	Do 250	Subarkoze, tinčasti siltiti, vapnenci; podređeno dolomiti, dolomitizirani vapnenci i lapori	
		Perm	P ₂₊₃	>350

STAROST	GRAFIČKI PRIKAZ	DEBLJINA (m)	TEKSTUALNI OPIS	KATEGORIZACIJA		
KVARTAR	Holocen	pr a	Nevezane kvartarne naslage: međuzrnska poroznost DOBRA PROPUSNOST	ALUVIJALNI VODONOSNIK		
		a ₁				
Pleistocen	I	a ₂	Nevezane kvartarne i pliocenske naslage: međuzrnska poroznost SLABA PROPUSNOST	NEPROPUSNO		
		a ₃				
		lb				
PLIOCEN	PI,Q	180-700	Nevezane kvartarne i pliocenske naslage: međuzrnska poroznost SLABA PROPUSNOST	SLABOPROPUSNO		
		PI				
MIOCEN	M ₆	150-300	Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena: međuzrnska/pukotinska poroznost SLABA PROPUSNOST	SLABOPROPUSNO		
		M ₅ ¹	Do 100	Klastične stijene: pukotinska poroznost NEPROPUSNO	NEPROPUSNO	
		M ₄ ²	150-300	Karbonatne stijene: pukotinska poroznost OSREDNJA PROPUSNOST	VODONOSNIK	
		HIJATUS	Do 80			
		M ₃ ¹	Do 100	Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena: međuzrnska/pukotinska poroznost SLABA PROPUSNOST	SLABOPROPUSNO	
PALEOCEN	Pc	Do 80				
KREDA	Gornja	K ₂	300-1000 (?)	Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena: međuzrnska/pukotinska poroznost: SLABA PROPUSNOST	SLABOPROPUSNO	
			Donja	K _{1,2}	Do 150	Klastične stijene: pukotinska poroznost NEPROPUSNO
JURA	J ₃	Do 260	Karbonatne stijene: pukotinska poroznost OSREDNJA PROPUSNOST	KRŠKI VODONOSNIK		
		Gornji	T ₃	1000-1300	Karbonatne stijene: pukotinska poroznost DOBRA PROPUSNOST	KRŠKI VODONOSNIK
				Srednji	T ₂	
Dolji	T ₁	>500	Klastične i magmatske stijene: pukotinska poroznost NEPROPUSNO	NEPROPUSNO		
		Perm	P ₂₊₃			

Nevezane kvartarne naslage su predstavljene riječnim i potočnim nanosima. Ove stijene sastoje se od šljunaka i pijesaka. Karakterizirani su međuzrnskom poroznosti i dobre su propusnosti. U neposrednoj blizini parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje kod Krašića debljina aluvijalnog vodonosnika je 6 m (DRAGIČEVIĆ et al., 1997a).

Karbonatne stijene zauzimaju 45 % površine istraživanog područja (tablica 2). Karakterizirane su primarnom i sekundarnom i tercijarnom poroznošću. Uloga primarne poroznosti u hidrogeološkom smislu nije dovoljno poznata tj. nije istraživana, a prema podacima (ŠESTANOVIĆ, 1993) kreće se između 1-3 % (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Sekundarna poroznost ili postsedimentacijska poroznost široko je rasprostranjena u ovom gorskom vodonosniku. 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). Tercijarna poroznost je uz sekundarnu posebno važna za uskladištenje podzemne vode. Tercijarna poroznost razvija se otapanjem karbonatnih stijena tokom vode kroz pukotine. Znači jedan od osnovnih preduvjeta za razvoj tercijarne (kavernske) poroznosti je postojanje sekundarne poroznosti kroz koju teče voda i korozivnom i abrazivnim djelovanjem na stjenke pukotina ih širi. U istraživanom području vodonosnici su razvijeni u dolomitima i vapnencima a okršenost vapnenaca intenzivnija je nego okršenost dolomita te je tercijarna poroznost bolje razvijena u vapnencima. Prio izračunu volumena pornog prostora, efektivnom poroznošću se u ovom istraživanju smatrao zbroj tercijarne i sekundarne poroznosti koji sudjeluju u toku podzemne vode. Vrijednosti efektivne poroznosti procijenjene su promatranjem izdanaka u kamenolomima na 5-25% za dolomite, te je za vapnence uzeta neka karakteristična poroznost iz literature a procijenjena je na 5-35 %. Uloga sekundarne i tercijarne poroznosti u hidrogeološkom smislu je najznačajnija za akumulaciju podzemne vode (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Propusnost je uvjetovana litološkim sastavom i intenzitetom tektonskih deformacija pa se prema VUJNOVIĆ (2010) dijele na tri podgrupe:

- a) **Dobro propusne karbonatne stijene** koje predstavljaju tektonski razlomljeni, dijelom okršeni gornjotrijaski dolomiti. Otvoreni izdanci u kamenolomima pokazuju njihovu intenzivnu raspucanost po brojnim pukotinskim sustavima čime lokalno

moгу poprimiti svojstva stijena međuzrnske poroznosti (šljunaka). Efektivna poroznost gornjotrijaskih dolomita kreće se od 5-25% (DRAGIČEVIĆ et al, 1997). Veličina, duljina, gustoća razvijenih pukotina u dolomitima jako varira u prostoru. Na nekim područjima pukotine u dolomitima su decimetarskih dimenzija i velike gustoće (slika 5.9 a), dok na drugim mjestima pukotine mogu biti i metarskih dimenzija, vrlo otvorene i male gustoće kao na slici 5.9 b.



Slika 5.9. a) Dolomiti s pukotinama centimetarskih do decimetarskih dimenzija; b) Dolomiti s pukotinama metarskih dimenzija.

U rasjednim zonama je stijena milonitizirana. Za njih su vezani najznačajniji izvori ovog područja i one predstavljaju glavni vodonosnik. Transmisivnost i vodopropusnost kao i neki drugi hidrogeološki parametri za sada nisu dovoljno proučavani u istražnom području. Samo za ilustraciju mogu poslužiti vrijednosti određene interpretacijom pokusnog crpljenja u nekim zdencima izvedenim u sličnim hidrogeološkim jedinicama (primjer zdenca BV-1 u Vratnom na Kalniku) gdje su utvrđene vrijednost transmisivnosti $T=2,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ i $T=5,7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Kako je zdencem zahvaćen i dio dolomitnog vodonsnika na dubini između 400 i 430,3 m ispod površine terena, može se dati i gruba procjena koeficijenta vodopropusnosti $k=1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, što približno odgovara srednjezrnatom pijesku (MAYER et al., 1994; DRAGIČEVIĆ et al., 1997).

- b) **Osrednje propusne karbonatne stijene** su litotamnijiški vapnenci, kredne vapnenačke breče, jurski vapnenci i dolomiti te srednjotrijaski dolomiti.
- c) **Slabo propusne karbonatne stijene** čine permski vapnenci izdvojeni u dolini potoka Lipovečka Gradna

Važno je napomenuti da prema rezultatima trasiranja izvora Jaža u gornjokrednim vapnenačkim brečama, gornjokredni vapnenci i vapnenačke breče imaju veće propusnosti te je izvor Jaža izdašniji nego izvor Obrv koji se nalazi u gornjotijaskim dolomitima. Prema rezultatima FRANGEN (2013) gornjokredne vapnence i vapnenačke breče treba svrstati u kategoriju dobro propusnih stijena zajedno s gornjotrijskim dolomitima (FRANGEN, 2013). Mjerilo istraživanja VUJNOVIĆ (2010) je regionalno a FRANGEN (2013) lokalno i to treba uzeti u obzir. Takva propusnost može biti uvjetovana lokalnom tektonikom ili hidrogeološkim sklopom. Pridavanje takve hidrogeološke funkcije istim naslagama u drugim područjima mora biti potkrijepljeno dodatnim lokalnim istraživanjima (FRANGEN, 2013).

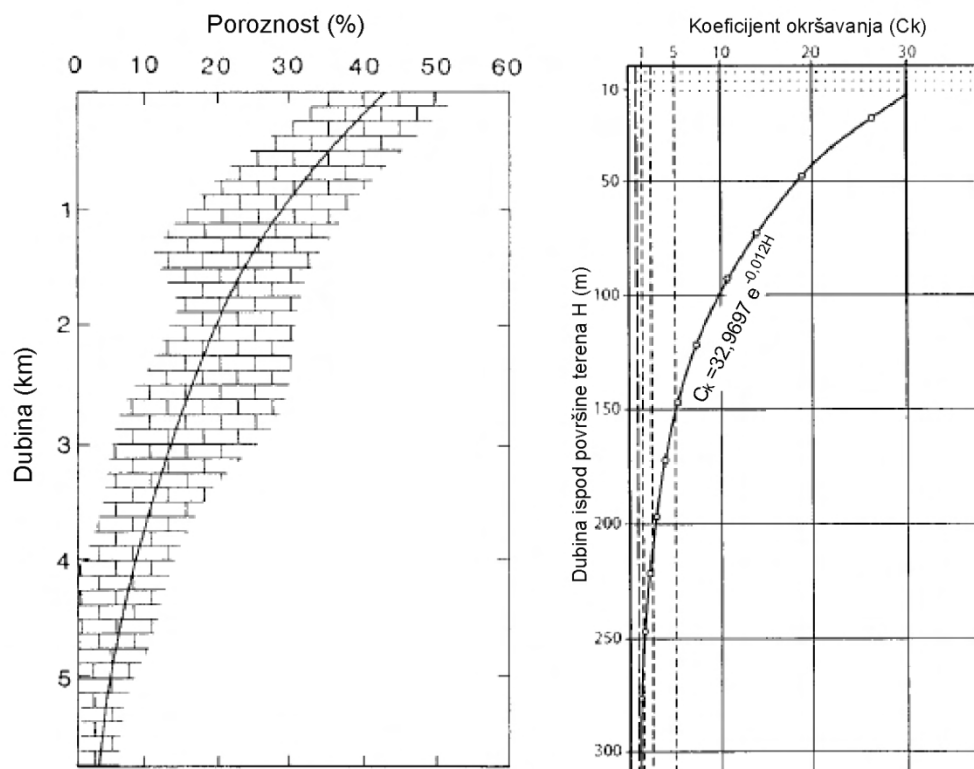
Izmjena klastičnih ili klastičnih i karbonatnih stijena je vezana za područja izgrađenih od panonskih vapnenačkih ili glinovitih lapora, paleocenskih vapnenačkih breča i gornjokrednih „fliških“ naslaga. (VUJNOVIĆ, 2010). Litološki sastav uvjetuje i tip poroznosti (međuzrnski ili pukotinski) no zbog nepropusnih slojeva koji prevladavaju, ove stijene su u cjelini slabo propusne.

Nevezane pliocenske i pliokvartarne naslage su predstavljene proluvijem (pr), lesom (l), pliokvartarnim (PI,Q) i pliocenskim (PI) sedimentima. Izgrađuju ih šljunci, pijesci, prah i gline, njihove kombinacije i izmjene. Međuzrnske su poroznosti i slabije propusnosti.

Magmatske i ostale klastične stijene su nepropusne. Grupu čine donjosarmatske, kredne, donjotrijaske i permske stijene. Voda se kroz ove stijene procjeđuje i akumulira nejednoliko samo kroz plitku trošnu zonu dokle i dopire njihova pukotinska poroznost (VUJNOVIĆ, 2010). Litološki sastav ove grupe čine pješčenjaci, siltiti, šejlovi, lapori, konglomerati, vapnenci, dolomiti i škriljavci.

Zadnje dvije grupe su zbog svoje slične hidrogeološke uloge spojene u jednu skupinu.

Vodonosnikom se smatra svaka stijena koja ima sposobnost uskladištiti i transportirati vodu, te se iz te stijene voda može ekonomski crpiti. Svaki vodonosnik je u prostoru ograničen gornjom, donjom te bočnim granicama. Donja granica vodonosnika često je nepropusna stijena u podini vodonosnika (FORD & WILLIAMS, 2007). Okršene karbonatne stijene mogu biti vrlo debele i mogu zalijegati u velike dubine te je teško odrediti stvarnu donju granicu vodonosnika (FORD & WILLIAMS, 2007). Donja granica se u takvim slučajevima postavlja na dubini gdje je okršenost naslaga u hidrogeološkom smislu beznačajna (FORD & WILLIAMS, 2007). Razlog tome je što se s porastom debljine i dubine uslijed kompakcije i tlaka okršenost a time i poroznost smanjuje s dubinom kao što je prikazano na slici 5.10.



Slika 5.10. Smanjenja poroznosti (lijevo) i koeficijenta okršavanja (desno) s dubinom (FORD & WILLIAMS, 2007).

Mjerilo ovog istraživanja je regionalno i ne postoje podaci o smanjenju poroznosti s dubinom ili podaci o lateralnim promjenama poroznosti koje mogu izražene kao što je ranije prikazano usporedbom dolomita s centimatarskim pukotinama velike gustoće i dolomita s metarskim pukotinama male gustoće. U izrađenim modelima granice vodonosnika postavljene na granicama s slabo propusnim ili nepropusnim stijenama neovisno o dubini i debljini te ta ograničenja treba uzeti u obzir.

Krški vodonosnici imaju veliki udio u površinskoj građi istraživanog područja (tablica 2). Ukupno 45 % površine terena je pokriveno krškim vodonosnicima od kojih dominiraju gornjotrijski dobropropusni dolomiti sa udjelom od 33 % u građi istraživanog područja. Već taj podatak dovoljno govori o važnosti ovih vodonosnika i o količinama vode koje se u njima mogu uskladištiti. Podzemno rasprostiranje ovih vodonosnika se nastavlja i ispod nepropusnih stijena te je njihov ukupni volumen u građi podzemlja još značajniji.

Tablica 2. Površine, udjeli površina i prosječne debljine razmatranih vodonosnika istraživanog područja.

Vodonosnici	Površina (m ²)	Površina (km ²)	Postotak (%)	Prosječna debljina (m)
M₄²	8678719	8.68	1.48	210
K₂	28142495	28.142495	4.58	?
J₃	15166770	15.17	2.59	280
J₁₊₂	11717223	11.72	2.00	100
T₃	193755452	193.76	33.07	900
T₂	36732265	36.73	6.27	500
Ukupno	266050429	266.05	45.40	1990

5.2. Zaštita krških vodonosnika

Jedan od važnih problema većine krških područja je slaba filtracija vode koja se infiltrira u podzemlje zbog vrlo tankog pokrivača tla (slika 5.11) koji često zna i potpuno nedostajati. Vrtače i ponori predstavljaju točke direktnog poniranja vode u podzemlje te ako im dno nije pokriveno nekim nevezanim sedimentom, predstavljaju točke najvećeg potencijala za onečišćenje ili zagađenje vodonosnika te na takve vrtače treba usmjeriti mjere zaštite. Osim potencijalnog onečišćenja ili zagađenja podzemne vode direktnim poniranjem u podzemlje, onečišćenje ili zagađenje u vodonosnik može doći i procjeđivanjem kroz tanko tlo ili okršene stijene na površini.



Slika 5.11. Vrlo tanki pokrivač tla preko: a) debelo uslojenih vapnenaca, nedaleko od sela Kordići; b) masivnih dolomita gdje

Okršene stijene pokrivaju velike površine Žumberka i Samoborskog gorja te je sloj tla tanak ili ga uopće nema pa velike probleme u zaštiti podzemnih voda predstavljaju divlja odlagališta otpada (slika 5.12). Iz takvih odlagališta onečišćivalo ili zagađivalo može se vrlo brzo infiltrirati u podzemlje samostalno ili pomoću oborina te zagađiti podzemnu vodu.



Slika 5.12. Divlje odlagalište otpada na rubu ponikve

Zaštita podzemne vode od ovakvih negativnih antropogenih utjecaja je teška jer je potrebno iznimno brzo reagirati pošto je vrijeme potrebno da onečišćivalo s površine dođe u podzemnu vodu vrlo kratko.

5.3. Slivovi i pripadni vodotoci i izvori Žumberka i Samoborskog gorja

Prema BRKIĆ et al. (2002) i VUJNOVIĆ (2010) na istraživanom području postoje 344 izvora od kojih 249 stalnih, 38 povremenih i 57 izvora nepoznatog režima istjecanja. Područje istraživanja nije jedinstveno drenažno područje već se može podijeliti u 5 slivova: Kupčina, Kupa, Bregana, Krka i Gradna (slika 5.14). Razvodnice slivova određene su na temelju topografskih karata i digitalnog modela reljefa izuzev zapadne granice sliva Kupčine. Dosad izvedenim trasiranjima u tom području utvrđeno je da hidrogeološka razvodnica ne odgovara topografskoj te je razvodnica pomaknuta prema zapadu u skladu s rezultatima trasiranja.

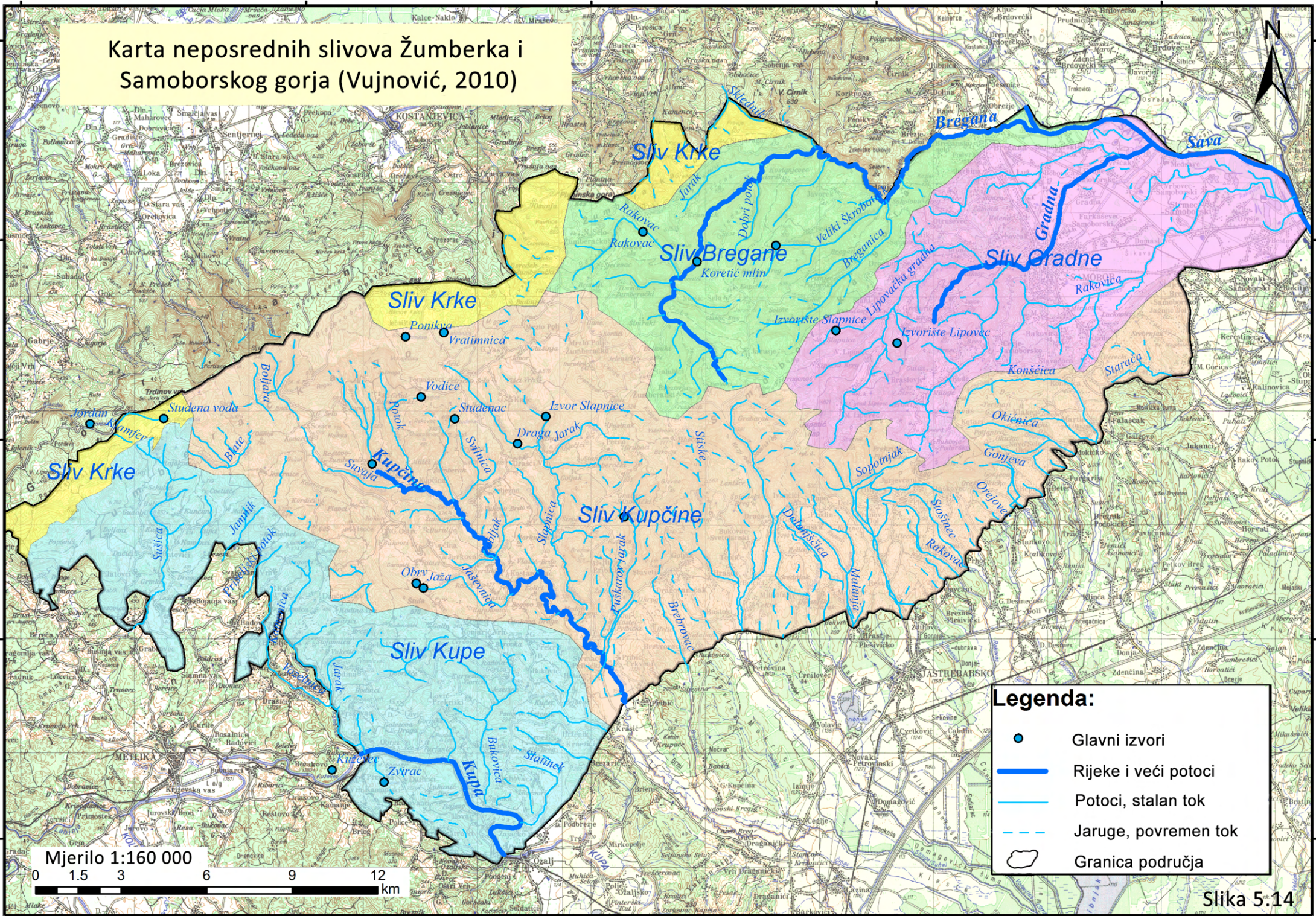
Istraživanim područjem dominira sliv Kupčine površinom od 260 km² i najduljom rijekom Kupčinom od 18 020 metra. Glavni vodonosnik sliva su srednje i gornjotrijaski dolomiti za koje su vezani i glavni izvori sliva no i cijelog istraživanog područja.

Najveće izvore predstavljaju izvorište Kupčine izdašnosti 103-1500 l/s (slika 5.13), Jaža (izdašnost 2-1011 l/s), Obrv (izdašnost 4,5-577 l/s), Studena (izdašnost 18 l/s), izvor Slapnice (izdašnost 27-310 l/s), izvor Draga (izdašnost 5-15 l/s) (VUJNOVIĆ, 2010, FRANGEN, 2013).



Slika 5.13. Izvorište Kupčine.

Karta neposrednih slivova Žumberka i Samoborskog gorja (Vujnović, 2010)



Slika 5.14

Cijelo istraživano područje pa i sliv Kupčine karakteriziraju mnoge krške forme (slika 5.15). Prema Buzjaku (2001, 2002, 2006) i Buzjak & Rašić (2003, 2004) u slivu su registrirane 1333 ponikve, 40 spilja, 23 jame, i 35 stalnih i povremenih ponora.



Slika 5.15. Slap Sopot.

Sliv Kupe površine je 107,1 km² i glavna rijeka u slivu je Kupa koja je na istraživanom području duljine 9 189 m. Veći dio površine sliva Kupe u istraživanom području pokriva gornjokredni fliš dok je ostatak uglavnom pokriven gornjokrednim vapnencima. U slivu Kupe zabilježene su 664 vrtače (BUZJAK, 2006), 23 spilje i 20 jama (BUZJAK, 2001,2002; BUZJAK & RAŠIĆ, 2003,2004) i 11 stalnih i povremenih ponora.

Sliv Gradne treći je po veličini površinom 106,7 km² s glavnom rijekom Gradnom duljine 11 547 m. Geološki podloga sliva je vrlo zamršena s najstarijim stijenama na površini permske starosti do recentnih aluvijalnih taložina. Glavni izvori sliva su Slapnica (izdašnost u

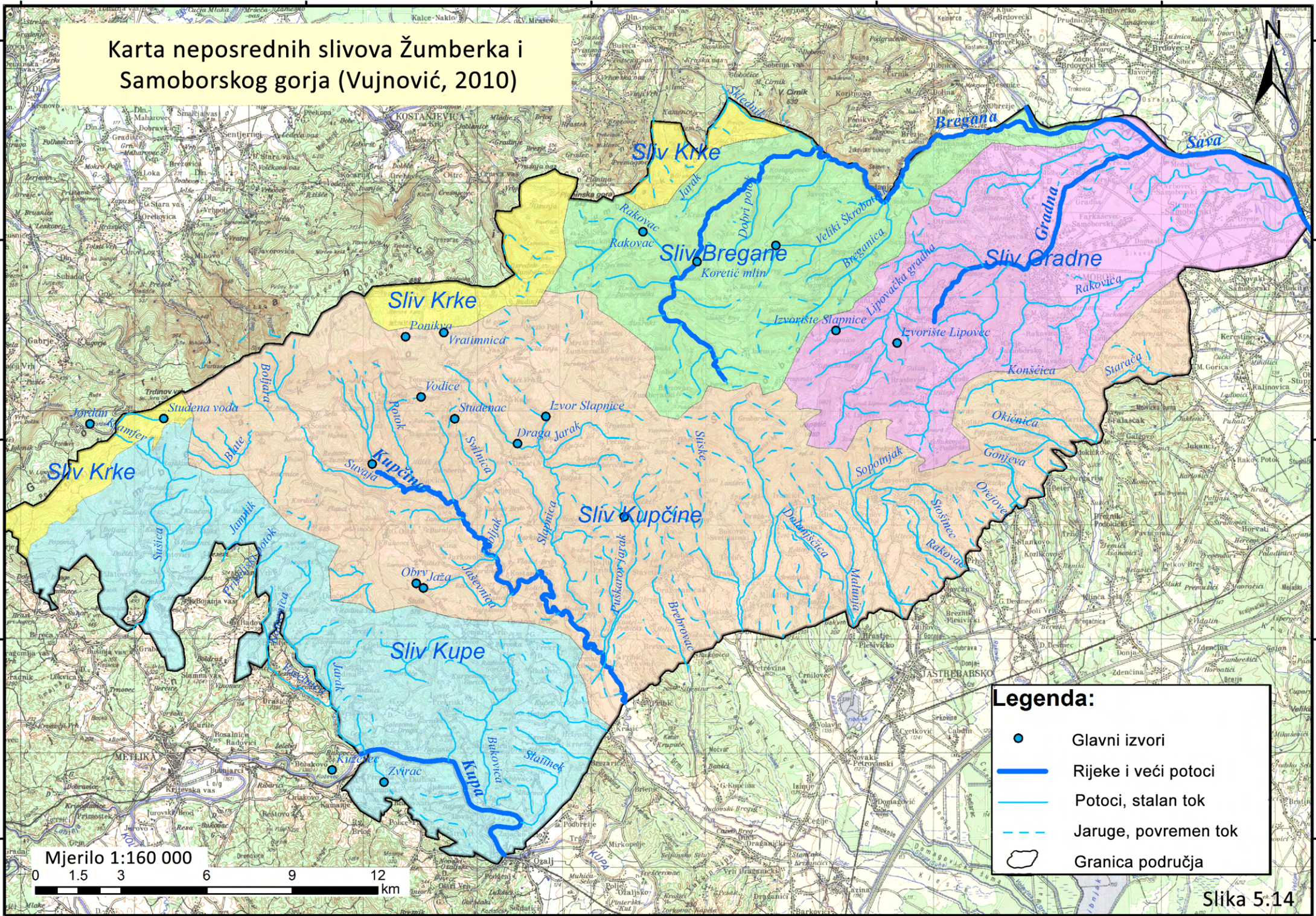
minimumu 50 l/s) i Lipovec (izdašnost u minimumu 20 l/s) i važni su za vodoopskrbu Samobora (VUJNOVIĆ, 2010).

Rječica Bregana duljine 24 149 m teče sjevernim i sjeverozapadnim dijelom istraživanog područja a napaja se s slivne površine od 79,7 km². Veći dio sliva je građen od gornjotrijaskih dolomita a ostatak površine prekrivaju jurski vapnenci i gornjokredni fliš. BUZJAK (2006) je zabilježio 436 vrtača u slivu, BUZJAK (2001, 2002) i BUZJAK & RAŠIĆ (2006,2007) su zabilježili 6 spilja , 9 jama te 9 stalnih i povremenih ponora.

Najmanju površinu prekriva sliv rijeke Krke, svega 32 km². Područje je dominantno izgrađeno od krednih i jurskih karbonata a podređeno od krednog fliša. U slivu su zabilježene 394 ponikve (BUZJAK, 2006), 4 spilje i 10 jama (BUZJAK, 2001,2002; BUZJAK & RAŠIĆ, 2003,2004) i 13 stalnih i povremenih ponora.

Nabrojenih 5 slivova mogu se grupirati u 2 regionalna sliva: slivovi Bregane i Gradne spadaju pod sliv Save (površine 367,2 km² na istraživanom području), a sliv Kupčine može se povezati s slivom Kupe (površine na istraživanom području 188,6 km²) (slika 5.16). Sliv Krke na istraživanom području zauzima malu površinu i nije značajan za provedeno istraživanje.

Karta neposrednih slivova Žumberka i Samoborskog gorja (Vujnović, 2010)



Slika 5.14

6. IZRADA KONCEPTUALNOG GEOLOŠKOG MODELA PODZEMLJA

Izrada 3D geoloških modela podzemlja je posljednjih 20-ak godina jako uznapredovala pogotovo u okviru naftne industrije no i u drugim granama geologije. Razvoj je potaknut intenzivnim razvojem računala i softvera za 3D vizualizaciju koji su strogo geološke namjene. Softveri omogućuju 3D izradu i pregled podzemlja, rekonstrukcije povijesti taloženja, pomaka po rasjedima i mnoge druge mogućnosti što značajno olakšava vizualizaciju, modeliranje i razumijevanje geoloških struktura te njihovog povijesnog razvoja od nastanka do položaja u kakvom se nalaze danas.

U hidrogeološkim istraživanjima krša 3D modeliranje se koristi zadnjih 10-ak godina s ciljem pridobivanja 3D prikaza krškog podzemlja u svrhu lakšeg i boljeg razumijevanja nastanka i razvoja krša. 3D geološke modele je lako transformirati u hidrogeološke na temelju hidrogeoloških značajki. Pomoću takvih modela uz dovoljno podataka o strukturama, pukotinskim sustavima, speleološkim objektima moguće je procijeniti oblik i gustoću podzemne kanalne i pukotinske mreže. Kako je nemoguće jednoznačno odrediti izgled podzemne kanalne mreže znanstvenici sve češće koriste stohastičke simulacije kojima daju veći broj jednakovjerojatnih rješenja. Time su se posebno bavili BORGHI et al. (2010) i FOURNILLON et al. (2010). Navedeni autori napominju da je modeliranje krškog podzemlja posebno složeno, jer da bi se dobio „realni“ model bilo bi potrebno modelirati sve procese spelogeneze te njihove promjene i razvoj kroz vrijeme. Kako je to nemoguće, modeli koje su izrađivali BORGHI i FOURNILLON temeljeni su na geološkom modelu podzemlja kakav je izrađen i u okviru ovog istraživanja te brojnih strukturno-geoloških, speleoloških, geomorfoloških mjerenja i podataka. Krajnji rezultat je stohastički model koji nudi određeni broj različitih jednakovjerojatnih modela podzemlja na temelju navedenih ulaznih podataka.

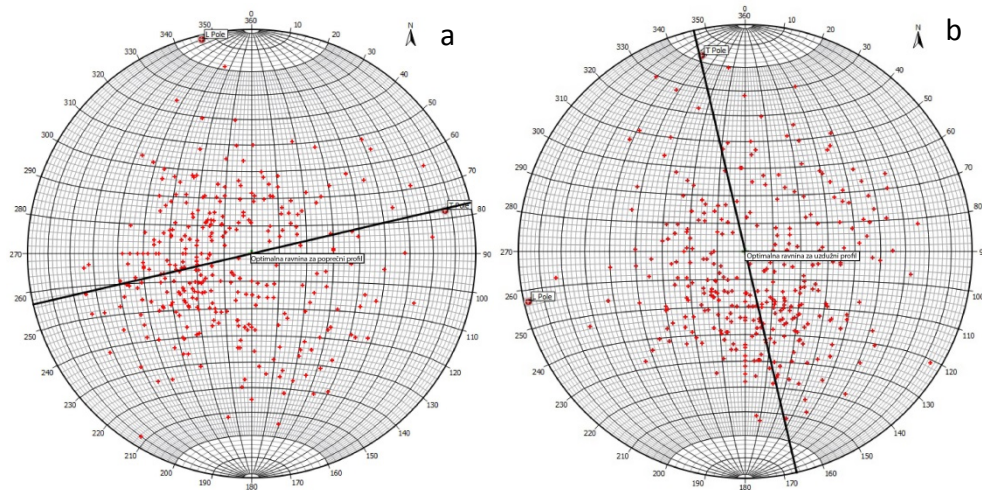
Model korišten za procjenu zaliha podzemne vode izrađen je u okviru diplomskog rada PAVIČIĆ, 2014 u softveru Midland Vallley Move 2013 na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu. Softver je strogo geološke namjene a ima veliki spektar mogućnosti koji se mogu koristiti u strukturnoj geologiji, sedimentologiji, petrofizici, geomehanici, naftnoj geologiji, hidrogeologiji i drugim granama geologije.

Ulazni podaci potrebni za izradu 3D modela podzemlja su digitalizirana geološka karta izrađena u ArcGIS-u i digitalni model terena. Digitalnu geološku kartu bilo je potrebno transformirati u 3D kartu. geološke granice, rasjedi, položaji slojeva uz DEM su zasebne skupine objekata koji se koriste za izradu geoloških profila. Cijeli postupak izrade modela sastoji se od sljedećih postupaka:

- Analiza podataka položaja slojeva s ciljem pridobivanja optimalnih orijentacija geoloških profila i određivanje trasa profila;
- Izrada topografskih profila i projekcija rasjeda, geoloških granica i položaja slojeva s karte na profile;
- Izrada poprečnih i uzdužnih profila;
- Povezivanje struktura između profila u plohe;
- Povezivanje ploha i prostora između ploha u volumen;

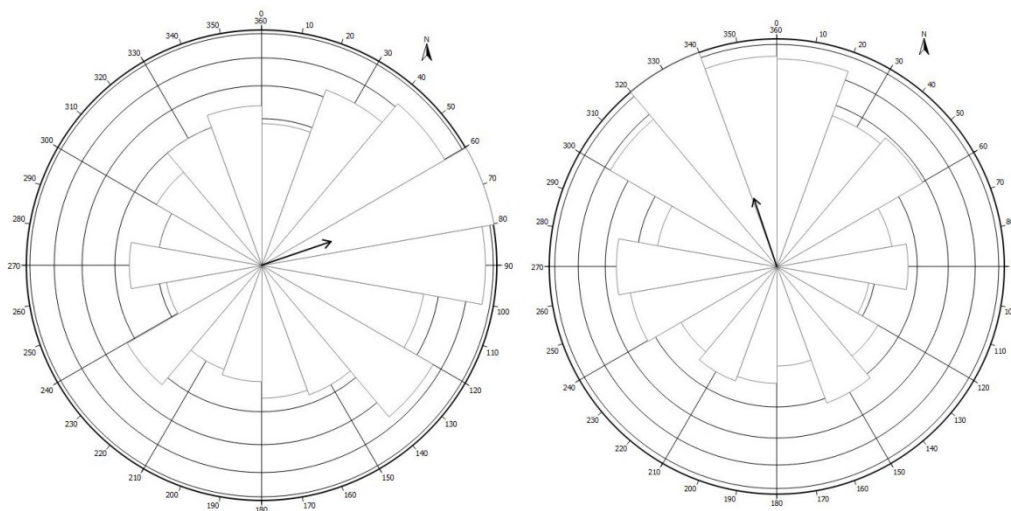
6.1. Analiza podataka položaja slojeva s ciljem pridobivanja optimalnih orijentacija geoloških profila i određivanje trasa profila

Postupak je obuhvaćao projiciranje digitaliziranih podatka o položajima slojeva preuzete sa OGK u stereografsku projekciju s ciljem određivanja optimalnog položaja poprečnih i uzdužnih profila s obzirom na pružanje struktura. Projekcije svih 339 položaja slojeva u stereografskoj projekciji prikazane su na slici 6.1. Na stereografskoj projekciji i rozeta dijagramu **(a)** položaji slojeva prikazani su pomoću kuta nagiba i pružanja, a na dijagramu **(b)** pomoću kuta nagiba i smjera nagiba.



Slika 6.1. Orientacija optimalne ravnine za a) poprečni profil; b) uzdužni profil.

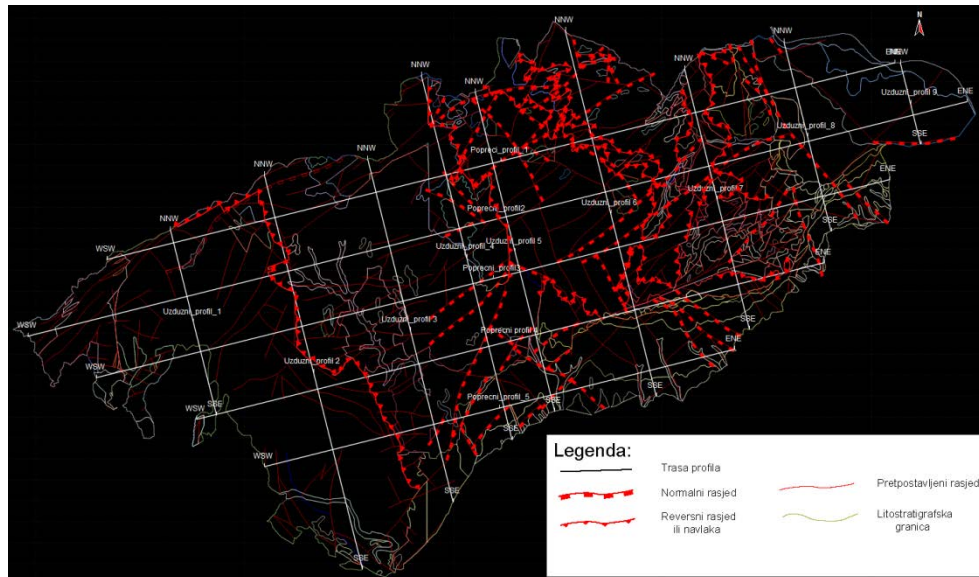
Na temelju stereografske analize kao optimalna orientacija poprečnih profila je ravnina pružanja 76° - 256° a za uzdužne profile 166° - 346° . Isti podaci prikazani su i rozeta dijagramima (slika 6.2) kako bi se jasnije vidio način određivanja orientacija optimalnih poprečnih i uzdužnih profila.



Slika 6.2. Rozeta dijagrami na kojima su položaji slojeva prikazani: a) pružanjem; b) smjerom nagiba.

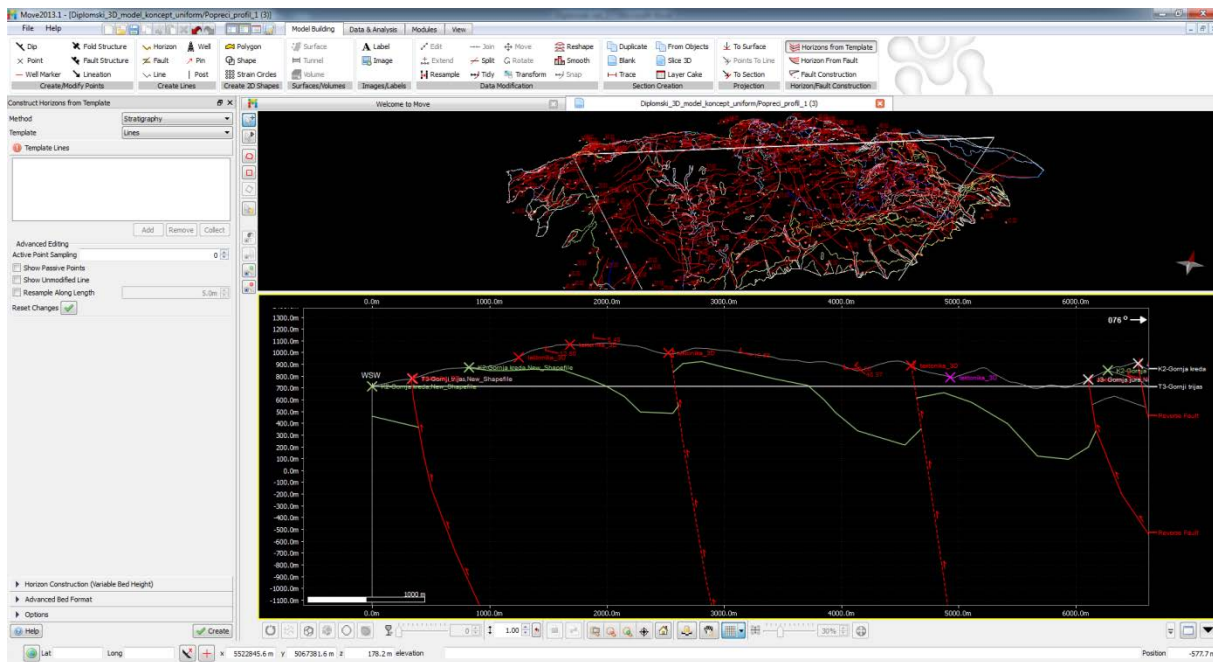
Trase profila određene su na temelju geološke karte i profili su postavljeni na jednaku međusobnu udaljenost koja je za poprečne profile 2,5 km a za uzdužne 5 km. Iznimka je uzdužni profil D-D' koji je izrađen kako bi u modelu lakše diskretizirali gornjokredne fliške naslage.

Ulazni podaci za konstrukciju profila su rasjedi, geološke granice i položaji slojeva preuzeti s listova OGK (slika 6.3).



Slika 6.3. Ulazni podaci za izradu geoloških profila (PAVIČIĆ, 2014)

Prije same konstrukcije profila bilo je potrebno softveru zadati stratigrafiju istraživanog područja koja je opisana u ranijim poglavljima. Uz stratigrafiju potrebno je zadati srednju debljinu stijena koja se koristi pri izradi profila. Konstrukcija profila započela je izradom topografskog profila na temelju DEM-a. Na topografski profil projicirana su presjecišta profila s geološkim granicama i rasjedima te položaji slojeva u blizini profila.

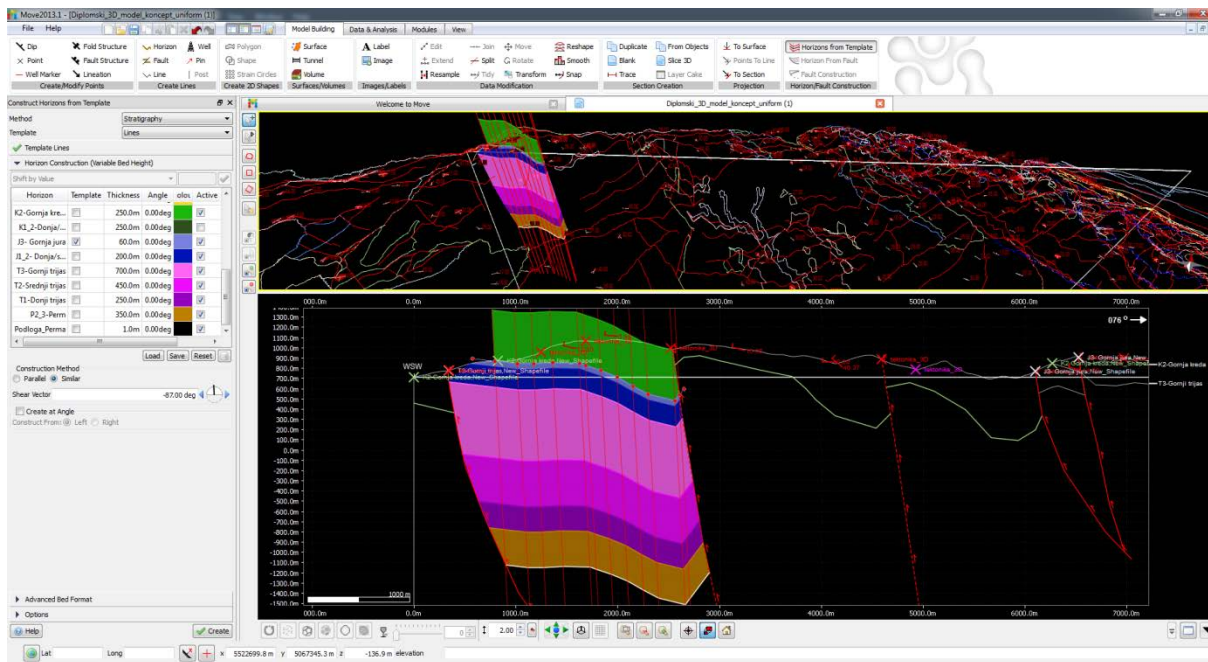


Slika 6.4. Proces konstrukcije profila: izrada topografskog profila, projekcija presječnica geoloških granica i rasjeda s trasom profila i projekcija položaja slojeva u blizini profila na profil (PAVIČIĆ, 2014).

Gustoća rasjeda na istraživanom području je velika (slika 6.3) te s odabranim brojem i rasporedom profila nije moguće konstruirati sve rasjede preuzete s listova OGK. Mjerilo istraživanja je regionalno te je konstruirani model regionalnog karaktera tako da je bilo potrebno pojednostaviti strukturni sklop. Na područjima gdje je velika gustoća manjih rasjeda, oni su zamjenjivani s pojedinačnim većim rasjedima.

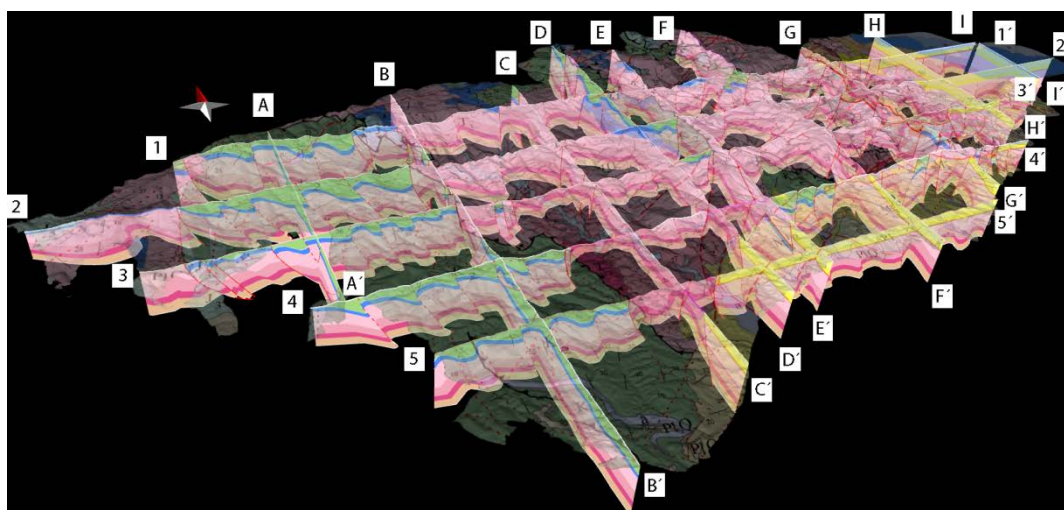
6.2. Izrada poprečnih i uzdužnih geoloških profila

Konstrukcija geoloških profila vrlo je slična klasičnom „ručnom“ načinu izrade profila (slika 6.4). Softver ima napredne mogućnosti da nakon definiranja jednog horizonta koji predstavlja geološku granicu, ostale izradi automatski pomoću debljina zadanih u stratigrafskoj tablici (slika 6.5). Osim već opisanih mogućnosti program nam nudi nekoliko automatiziranih načina izrade profila, kao što su paralelna konstrukcija ostalih horizonta ili pod određenim kutom smicanja što će izazvati prividno stanjenje naslaga u najslabijim dijelovima struktura i zadebljanje u sinklinalama i uz rasjede što je karakteristično za ljuskave strukture.



Slika 6.5. Konstrukcija profila pomoću debljina zadanih u stratigrafskoj tablici (PAVIČIĆ, 2014).

Nakon konstrukcije svih horizonata potrebno je urediti profile na način da se ukloni višak naslaga iznad površine terena i preko rasjeda. Konstruirani profili s transparentnom 3D geološkom kartom prikazani su na slici 6.6. Profili predstavljaju ulazni podatak za izradu 3D modela podzemlja.

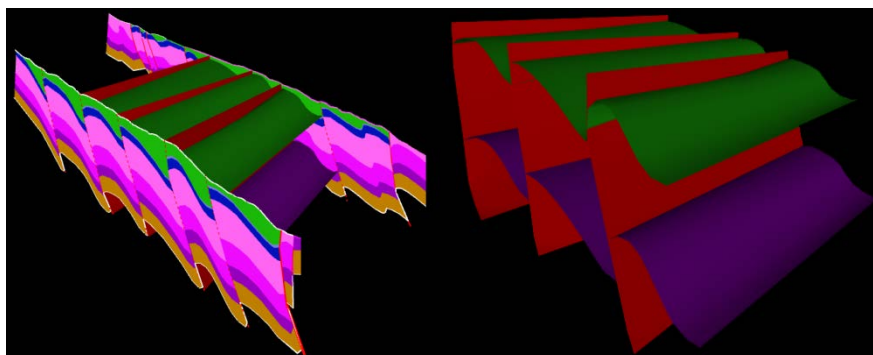


Slika 6.6. Svi konstruirani profili i geološka karta prevučena preko DEM-a (PAVIČIĆ, 2014).

Konstruirani geološki profili su temelj za konstrukciju 3D geološkog modela. Konstrukcija 3D modela iz geoloških profila obuhvaća povezivanje 1D strukturnih elemenata na pojedinim profilima kao što su linije rasjeda ili linija geoloških granica u dvodimenzionalna tijela, kao što su plohe koje predstavljaju podinu ili krovinu geoloških jedinica i rasjedne plohe (slika 6.7). Rasjedi su konstruirani *linearnom* metodom izrade plohe koji odabrane točke povezuje ravnim linijama, a između njih tvori plohu. Kako su plohe geoloških granica geometrijski složeniji oblici, korištene su sofisticiranije *Spline Curve* i *Delaunay Triangulation* metode izrade ploha.

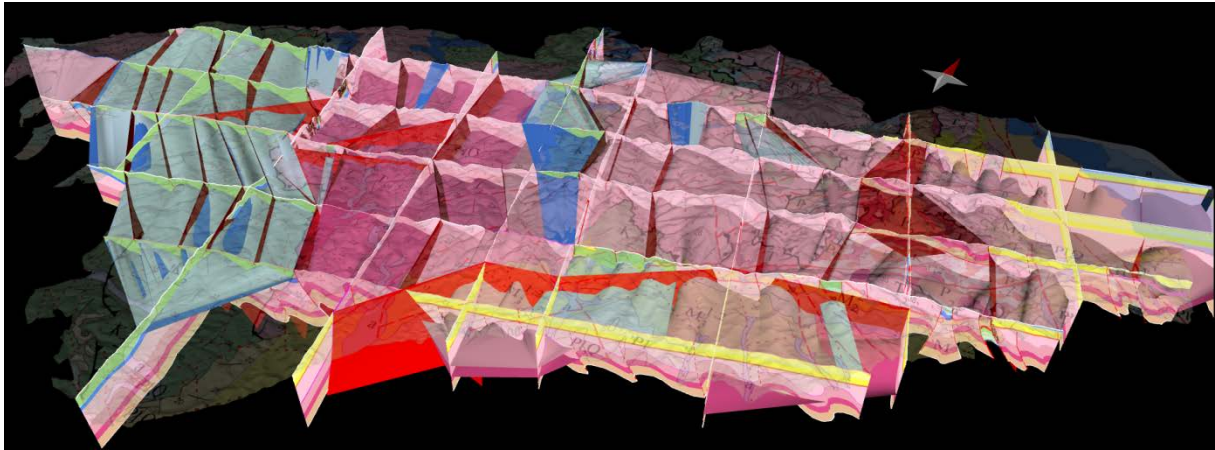
U računalnoj geometriji, *Spline Curve* je matematički pristup koji omogućuje korisniku da kontrolira oblik složenih ploha koristeći kontrolne točke na krivuljama. Kod izrade ovog modela, krivulje predstavljaju plohe na profilima, a kontrolne točke su točke na krivulji čijim pomicanjem u prostoru kontroliramo oblik krivulje. Rezultat povezivanja kontrolnih točaka između krivulja je ploha u prostoru, što je u slučaju izrade geološkog modela, podina ili krovina geološke jedinice.

Delaunay Triangulation je metoda povezivanja točaka kojom se između točaka konstruira trokutna mreža. Ova metoda maksimizira najmanji kut u mreži kako bi se izbjegli šiljasti kutovi, a time dobila kvalitetnija mreža i realnija ploha.



Slika 6.7 a i b. Konstrukcija 3D modela povezivanjem struktura između profila (PAVIČIĆ, 2014).

Opisanim metodama definiran je prostor između profila te konstruiran model podzemlja Žumberka i Samoborskog gorja (slika 6.8). Na modelu se jako dobro vidi da je podzemlje Žumberka i Samoborskog gorja jako borano i rasjedano te u zamršenim geološkim odnosima. Na slici 6.8 se vide i već spomenute ljuskave strukture koje na pojedinim mjestima dovode do prividnog poudvostručenja debljine naslaga što je izradom modela uzeto u obzir pri izračunu potencijalnih rezervi podzemne vode.

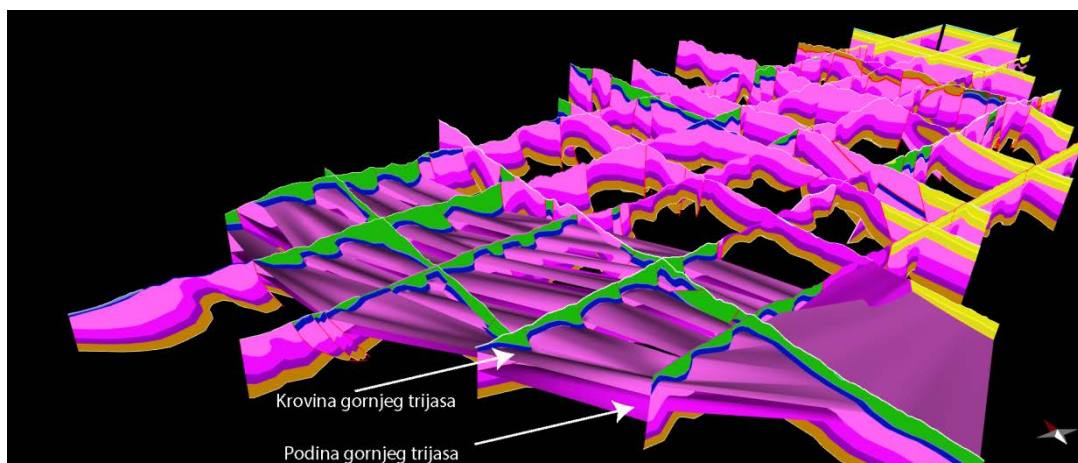


Slika 6.8. Prikaz 3D geološkog modela podzemlja Žumberka i Samoborskog gorja (PAVIČIĆ, 2014).

Model omogućuje različite 1D, 2D, 3D strukturne analize od kojih su neke opisane u diplomskom radu ZVONAR (2013). Moguća je procjena pomaka po rasjedima, definiranje područja najmanjeg i najvećeg stresa, procjenu erodiranog materijala i mnoge druge analize. Prilikom istraživanja bilo je potrebno definirati prostor između izrađenih ploha u funkcionalni volumen kako bi mu se mogao odrediti iznos.

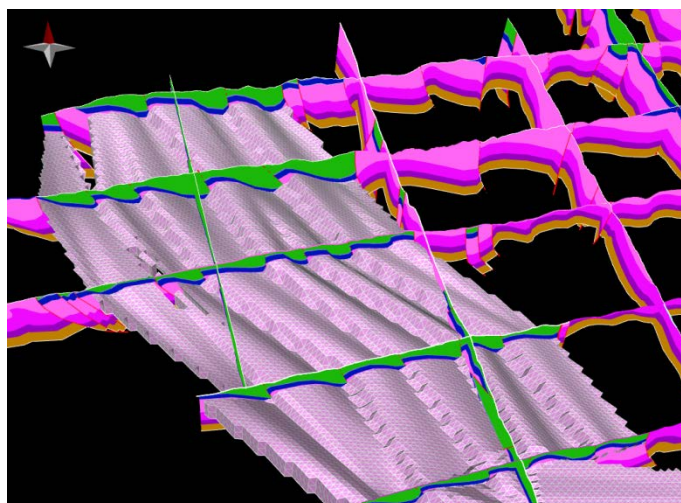
6.3. Konstrukcija funkcionalnih volumena

Da bi odredili volumen vodonosnika potrebno je definirati prostor unutar granica vodonosnika. Prvo je potrebno odrediti prostorne granice vodonosnika. Softveru je dovoljno odrediti prostorno rasprostiranje podine i krovine (slika 6.9).



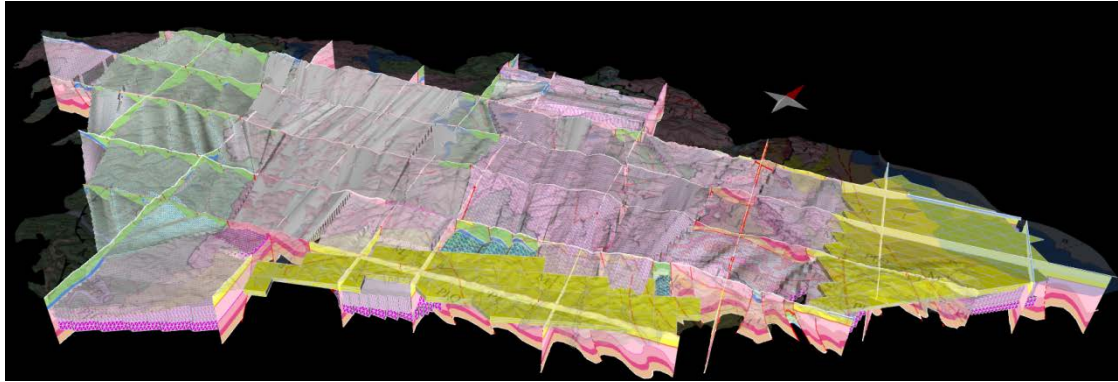
Slika.6.9. Prikaz podine i krovine korištene za konstrukciju gornjotrijeskog vodonosnika Vivodinskog bloka (PAVIČIĆ, 2014).

Bočne granice softver sam određuje na temelju rubova podine i krovine. Izrada modela vodonosnika dalje nastavlja se alatom *Volume > Create Volume Between Horizons > Tetravolume*. Rezultat je objekt u prostoru (slika 6.10) koji predstavlja vodonosnik.



Slika 6.10. Prikaz modela gornjotrijeskog Vivodinskog vodonosnika (PAVIČIĆ, 2014).

Ovaj proces je korišten za sve vodonosnike i za sve blokove. Blokovi su određeni na temelju poznatih hidrogeoloških značajki područja a prikazani su poglavlju 7. Volumen gornjokrednog vodonosnika nije modeliran u okviru ovog rada jer se malo zna o njegovim debljina, dubinama i kontaktima s krednim flišom i podzemnoj rasprostranjenosti. Modelirani svi vodonosnici svih blokova prikazani su na slici 6.11.



Slika 6.11. Modelirani svi vodonosnici svih blokova (boja bloka opisuje njegovu starost) (PAVIČIĆ, 2014).

6.4. ZALIHE PODZEMNE VODE

Zbog sve veće potražnje za pitkom vodom krški vodonosnici su sve značajniji za vodoopskrbu. Podzemna voda krških vodonosnika sjeverozapadne Hrvatske kao što su Žumberak i Samoborsko gorje, Medvednica i Kalnik predstavljaju strateške zalihe podzemne vode. O količinama vode koja se može potencijalno uskladištiti u ovim vodonosnicima govori i veliki udio okršenih stijena u površinskog građi ovih gorskih područja. Bez obzira na veliko površinsko rasprostiranje ovih vodonosnika vrlo je značajno i njihovo potpovršinsko rasprostiranje. U svrhu procjene ukupnog volumena vodonosnika (površinskog i potpovršinskog) izrađen je 3D geološki model podzemlja. Treba napomenuti da sam izračun volumena vodonosnika nije opterećen greškama, osim pogrešci koju računalo čini pri računanju. No izračun je uvjetovan mjerilom, geološkom interpretacijom (koja pogotovo u ovakvim geološki zamršenim područjima nikad nije jednoznačna), količinom ulaznih podataka itd. Osim točnosti interpretacije, točnost izračuna volumena vodonosnika ovisi i o gustoći poprečnih i uzdužnih profila. Točnost izračuna ovisi i o mjerilu istraživanja. Kako je ovo istraživanje regionalnog mjerila i pokriva površinu od 586 km² odabrana gustoća profila i izrađeni model dovoljno su precizni da definiraju regionalne geološke i hidrogeološke odnose i odrede okvirne vrijednosti potencijalnih zaliha podzemne vode. Na temelju ovog rada može se izdvojiti manje područje te ga detaljnije geološki i hidrogeološki obraditi.

7. Izračun potencijalnih zaliha podzemne vode

Za izračun zaliha podzemne vode korištene su dvije metode. Prva metoda temelji se na određivanju površinske raspodjele vodonosnika na istraživanom području te množenja površine s debljinom vodonosnika u cilju dobivanja volumena vodonosnika. Druga metoda temelji se na izrađenom geološkom modelu istraživanog podzemlja te volumena vodonosnika određenih iz modela.

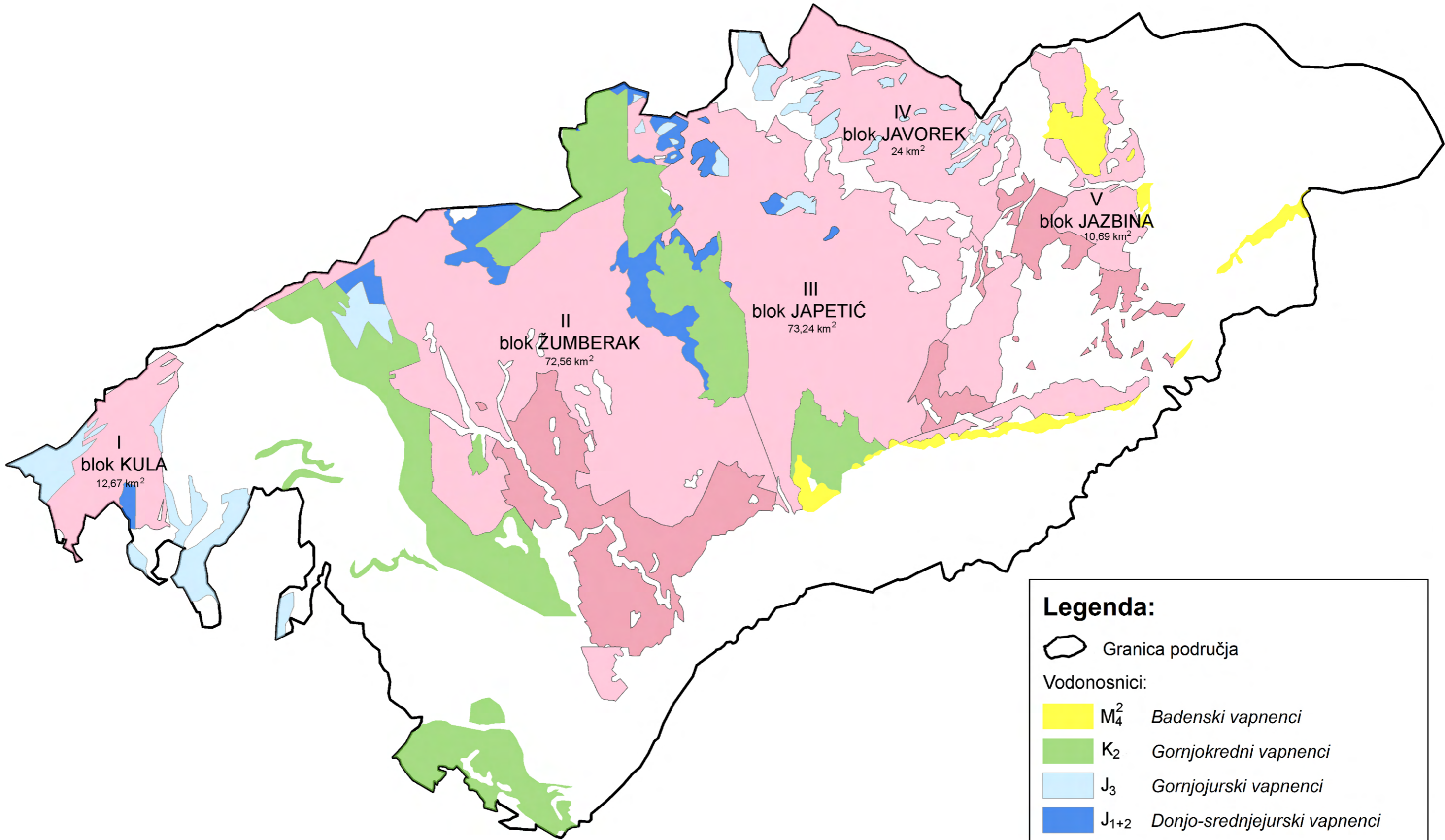
7.1. Metoda izračuna potencijalnih zaliha množenjem površine s debljinom

Prvi korak bio je izraditi kartu raspodjele vodonosnika na istraživanom području koji je prikazan na slici 7.1. Na temelju digitalne karte vodonosnika izrađene u ArcGIS-u svakom bloku određena je površina te su površine blokova istih geoloških jedinica zbrojene u jedinstvene površine za pojedine vodonosnike. Korištene su minimalne, srednje i maksimalne debljine preuzete sa listova OGK kako bi dobili interval volumena. Volumeni stijena su množeni s vrijednostima poroznosti da bi se dobio raspoloživi porni volumen, koji ako je potpuno saturiran je ujedno i volumen vode koji se može uskladištiti u tim stijenama. Poroznosti za dolomite preuzete su iz MAYER et al. (1994) gdje je određena poroznost dolomita na Kalniku. Kako su vapnenci prema VUJNOVIĆ (2010) svrstani u stijene osrednje propusnosti, dok je FRANGEN (2013) pokazao da gornjokredni vapnenci mogu imati i poroznosti veće od dolomita, poroznosti preuzete iz literature (SPITZ & MORENO, 1996) su u intervalu od 0,05-0,35. U tablici 3 prikazani su ulazni podaci te minimalni i maksimalni raspoloživi porni prostor. Kompletan izračun volumena pornog prostora s različitim intervalima poroznosti prikazan je u prilogu 1 na kraju rada.








Tablica 3. Izračun rezervi podzemne vode za krške vodonosnike.

Vodonosnik	Broj bloka	Naziv bloka	Površine blokova (km ²)	Min. debljina (m)	Sred. Debljina (m)	Max. debljina (m)	Min. volumen pornog prostora (km ³)	Max. volumen pornog prostora (km ³)
Miocenski vapnenci – M ₄ ²			8.379758	120	210	300	0.050278548	0.87987459
Gornjokredni vapnenci-K ₂			56.595311	200	200	200	0.56595311	3.96167177
Gornjojurski vapnenci - J ₃			15.045055	60	280	500	0.045135165	2.632884625
Srednje i donjojurski vapnenci-J ₁₊₂			11.560441	200	100	200	0.11560441	0.80923087
Gornjotrijaski dolomiti-T ₃	1	Kula blok	13	600	900	1200	0.3800559	3.800559
	2	Žumberak blok	73	600	900	1200	2.17688862	21.7688862
	3	Japetić blok	73	600	900	1200	2.19740211	21.9740211
	4	Javorek blok	24	600	900	1200	0.720057	7.20057
	5	Jazbina blok	11	600	900	1200	0.32079738	3.2079738
Srednjotrijaski dolomiti-T ₂			36.897001	400	500	600	0.73794002	5.53455015
UKUPNO							7.310112263	71.77022211

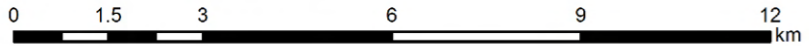
Karta raspodjele istraživnih vodonosnika
u Žumberačkom i Samoborskom gorju



Legenda:

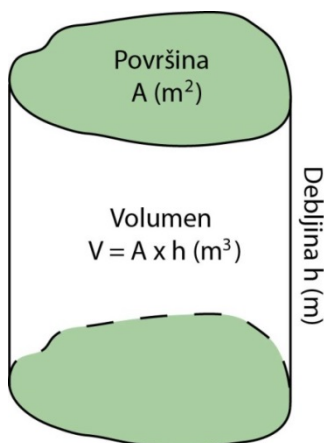
-  Granica područja
- Vodonosnici:
-  M₄² *Badenski vapnenci*
-  K₂ *Gornjokredni vapnenci*
-  J₃ *Gornjojurski vapnenci*
-  J₁₊₂ *Donjo-srednjejurski vapnenci*
-  T₃ *Gornjotrijaski dolomiti*
-  T₂ *Srednjetrijaski dolomiti i vapnenci*

Mjerilo 1:120 000



Slika 7.1

Ova metoda može dati samo orijentacijske vrijednosti volumena pornog prostora, jer je temeljena na umnošku površine i debljine (slika 7.2) i ne uzima u obzir geološke, hidrogeološke i strukturne značajke koje utječu na izgled i prostornu površinsku i potpovršinsku raspodjelu vodonosnika. To je glavni razlog zašto je razlika izračunatog minimalnog i maksimalnog pornog prostora tako velika.

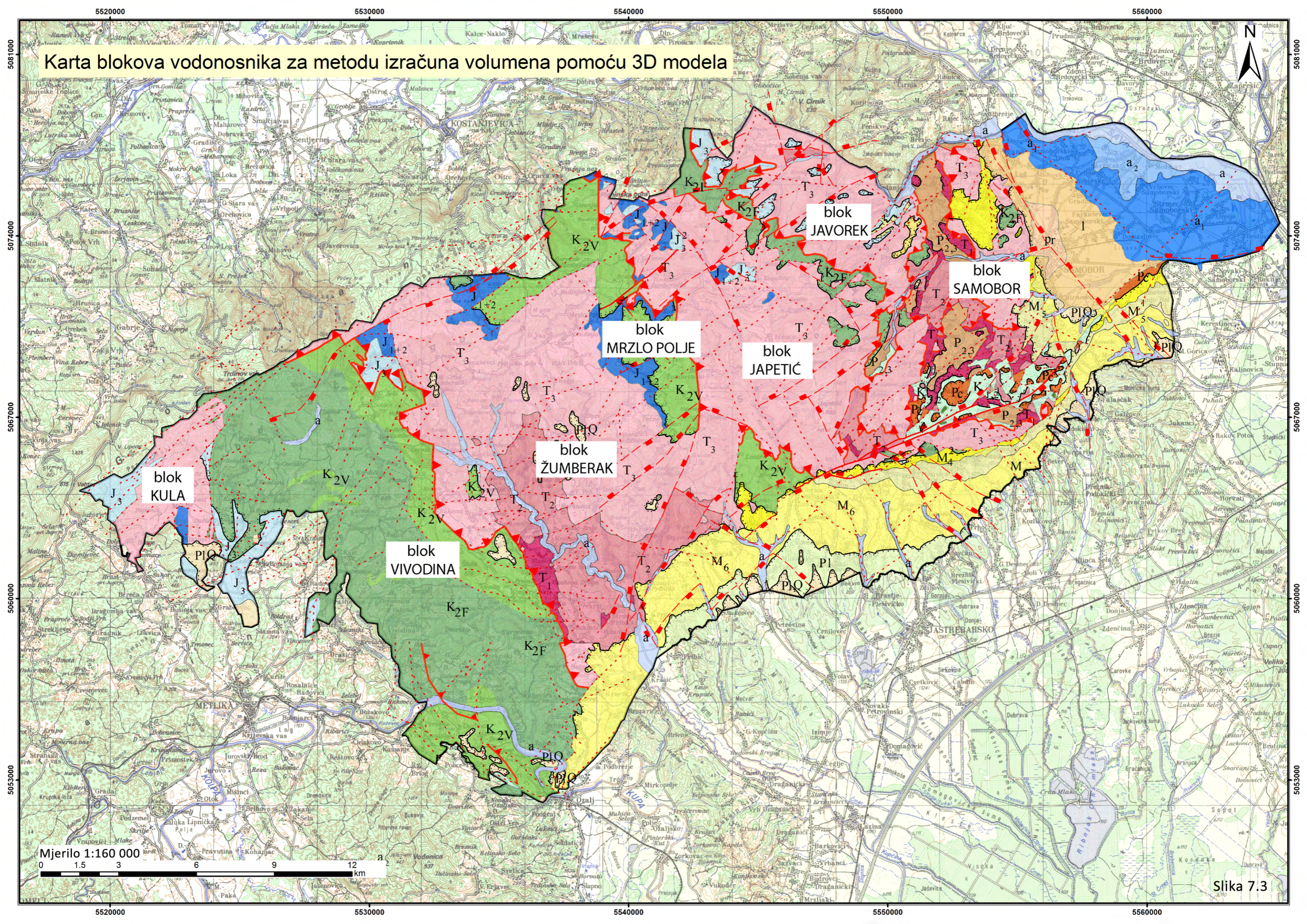


Slika 7.2. Slikoviti prikaz metode umnoška površine i debljine vodonosnika

7.2. Metoda izračuna potencijalnih zaliha podzemne vode na temelju 3D geološkog modela

Istraživano područje je geološki i hidrogeološki iznimno zamršeno, debljine vodonosnika variraju u prostoru što se može vidjeti na izrađenim geološkim profilima i 3D modelu te je potrebno korištenje sofisticiranije metode za preciznije definiranje raspoloživog pornog prostora za uskladištenje podzemne vode. Ova metoda se temelji na 3D geološkom modelu podzemlja te prostornom modeliranju vodonosnika. Kako je vodonosnik trodimenzionalno tijelo prvo treba definirati sve granice vodonosnika. U regionalnom mjerilu granice će predstavljati nepropusna podina/krovina (ili površina terena), rasjedi kao prednje zadnje ili bočne granice, geološke strukture, te granice samog modela tj. područja istraživanja. Područje istraživanja je kao i kod prethodne metode podijeljeno na „blokove“ samo što podjela nije ograničena na pojavu vodonosnika na površini (slika 7.3).

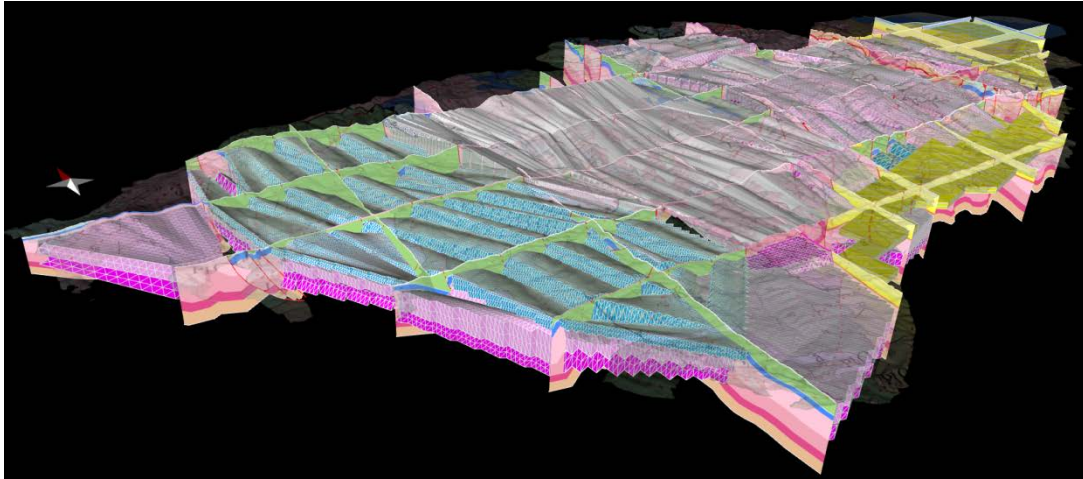
Karta blokova vodonosnika za metodu izračuna volumena pomoću 3D modela



Mjerilo 1:160 000

Slika 7.3

Nakon što su izrađeni modeli vodonosnika (slika 7.4) potrebno je očitati volumene svakog vodonosnika svakog bloka te pomnožiti ih s poroznostima da bi se dobio volumen pornog prostora raspoloživog za uskladištenje vode.



Slika 7.4. Prikaz 3D modela svih modeliranih vodonosnika Žumberka i Samoborskog gorja (boja vodonosnika označava starost) (PAVIČIĆ, 2014).

Izračun raspoloživog pornog prostora na temelju modela prikazan je u tablici 4. Ovaj izračun je opterećen pogreškama uzrokovanih mjerilom, geološkom interpretacijom, malim brojem ulaznih podataka, pogreškom računala itd.

Usporedbom rezultata dobivenih na temelju površinske raspodjele vodonosnika i modela može se vidjeti da su svi rezultati na temelju modela puno veći. Nekoliko je razloga za takav ishod. Glavni razlog je manjkavost prve metode zbog krive pretpostavke da je potpovršinsko rasprostiranje vodonosnika ograničeno njegovim površinskim rasprostiranjem. Trijaski vodonosnici imaju značajno površinsko ali i potpovršinsko rasprostiranje što se vidi na profilima i na modelu. Drugi važan razlog je što prva metoda potpuno isključuje geološke strukture u kojima se vodonosnici nalaze. Naime kako su ove stijene iznimno rasjedane i borane na nekim mjestima može doći do podvostručavanja debljine iste geološke jedinice, kao što je isto prikazano na profilima i na modelu te kod druge metode ulazi u izračun. Bez obzira na razlike u rezultatima korištenih metoda, vidljivo je da su potencijal za uskladištenje podzemne vode u području Žumberka i Samoborskog gorja ogroman.

Tablica 4. Prikaz procijenjenog pornog prostora raspoloživog za uskladištenje podzemne vode na temelju konstruiranog 3D geološkog modela s procijenjenim minimalnim, srednjim i maksimalnim poroznostima.

Vodonosnik	Broj bloka	Naziv bloka	Volumen stijene (m ³)	Volumen stijene (km ³)	Dolomiti 0.05; Vapnenci 0.05	Dolomiti 0.15; Vapnenci 0.20	Dolomiti 0.25; Vapnenci 0.35
					Min. volumen pornog prostora (km ³)	Sred. volumen pornog prostora (km ³)	Max. volumen pornog prostora (km ³)
Miocenski vapnenci-M₆			15017281038.24480	15.01728	0.750864052	3.003456208	5.256048363
Jurski vapnenci-J	1	Kula					
	2	Vivodina	20090133311.22510	20.09013	1.004506666	4.018026662	7.031546659
	3	Žumberak	500108050.15070	0.50011	0.025005403	0.10002161	0.175037818
	4	Mrzlo Polje	2196390673.72640	2.19639	0.109819534	0.439278135	0.768736736
	5	Japetić	2153486140.76640	2.15349	0.107674307	0.430697228	0.753720149
	6	Javorek	522405976.96970	0.52241	0.026120299	0.104481195	0.182842092
	7	Samobor					
		Svi blokovi	25462524153	25.46252415	1.273126208	5.092504831	8.911883453
Gornjotrijaski dolomiti-T₃	1	Kula	3215477936.20510	3.21548	0.160773897	0.48232169	0.803869484
	2	Vivodina	62671744809.75200	62.67174	3.13358724	9.400761721	15.6679362
	3	Žumberak	21832608998.02700	21.83261	1.09163045	3.27489135	5.45815225
	4	Mrzlo Polje	15714888563.85210	15.71489	0.785744428	2.357233285	3.928722141
	5	Japetić	47210652139.75260	47.21065	2.360532607	7.081597821	11.80266303
	6	Javorek	14014998017.42240	14.01500	0.700749901	2.102249703	3.503749504
	7	Samobor	35848544135.41390	35.84854	1.792427207	5.37728162	8.962136034
		Svi blokovi	2.00509E+11	200.5089146	10.02544573	30.07633719	50.12722865
Srednjotrijaski dolomiti-T₂	1	Kula	2666632938.31470	2.66663	0.133331647	0.399994941	0.666658235
	2	Vivodina	44700754402.85190	44.70075	2.23503772	6.70511316	11.1751886
	3	Žumberak	27875050339.98350	27.87505	1.393752517	4.181257551	6.968762585
	4	Mrzlo Polje	12162763635.36330	12.16276	0.608138182	1.824414545	3.040690909
	5	Japetić	39368823897.75150	39.36882	1.968441195	5.905323585	9.842205974
	6	Javorek	12560193511.80740	12.56019	0.628009676	1.884029027	3.140048378
	7	Samobor	30954019820.33930	30.95402	1.547700991	4.643102973	7.738504955
		Svi blokovi	1.70288E+11	170.2882385	8.514411927	25.54323578	42.57205964
	UKUPNO	Svi vodonosnici	3.9626E+11	396.2596773	20.56384792	63.71553401	106.8672201

7.3. Vodna bilanca

Vodna bilanca predstavlja pregled raspoložive vode temeljen na načelu da tijekom određenog vremenskog razdoblja ukupni višak vode u promatranom slivu ili vodnom objektu mora biti jednak zbroju ukupnog gubitka vode i neto promjene zaliha vode u slivu ili vodnom objektu (ŽUGAJ, 2000). Istraživano područje drenira pet slivova (slika 5.14). Određeni dio vode gubi se u susjednu državu Sloveniju, a dio vjerojatno odlazi u duboke dijelove vodonosnika kroz koje otječe van područja istraživanja te se istraživano područje smatra otvorenim vodnim sustavom (VUJNOVIĆ, 2010).

Jednadžba vodne bilance hidrološkog ciklusa računa se za određeno područje i vrijeme s početkom u t_0 i završetkom u t , a može se pisati u obliku (VUJNOVIĆ, 2010):

$$P = Q_0 + I + E \pm \Delta V/A (t_0, t)$$

P-bruto oborine

Q_0 -površinsko otjecanje

I-Infiltracija

E-isparavanje s površine terena, vodne površine, s lišća i vegetacije

ΔV -promjena volumena vode u slivu (podzemne vode i u površinskim tokovima)

A-površina sliva

t_0 -početno vrijeme mjerenja

t-konačno vrijeme mjerenja

Izračun vodne bilance za područje Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“ napravila je VUJNOVIĆ (2010) i ti su rezultati korišteni u ovom radu a prikazani u tablici 5.

Tablica 5. Vrijednosti godišnjih gubitaka vode (ΔV) iz otvorenog hidrogeološkog sustava područja istraživanja, otjecajnih koeficijenata (c), bruto padalina (P), sumarna izdašnost izvora koji ne utječu u slivove hidroloških stanica (Q_{izvori}), ukupno godišnje istjecanje iz slivova Kupčine, Bregane, Lipovečke i Rudarske Gradne ($Q_{limnigrafii}$), te ukupna evapotranspiracija (E) (VUJNOVIĆ, 2010).

	P ($10^6 \text{ m}^3/\text{god}$)	Q_{izvori} ($10^6 \text{ m}^3/\text{god}$)	$Q_{limnigrafii}$ ($10^6 \text{ m}^3/\text{god}$)	E ($10^6 \text{ m}^3/\text{god}$)	ΔV ($10^6 \text{ m}^3/\text{god}$)	c
Cijelo područje istraživanja	482	5.35	118	299	59.8	0.38
Područje istraživanja bez nepropusnih stijena	361	4.64	118	225	14.1	0.38

8. LITERATURA

8.1. Objavljeni radovi

1. AVDIĆ, R., GRGASOVIĆ, T., PAVELIĆ, D., ŠIMUNIĆ, A., KOVAČIĆ, M. (2000): Litostratigrafske jedinice donjeg trijasa na području Žumberka i Samoborske gore. Zbornik radova 2. Hrvatski geološki kongres Cavtat-Dubrovnik 2000, Zagreb, pp. 71-77
2. BAKALOWITZ, M. (2005): Karst groundwater: A challenge for new resources: Hydrogeology Journal 13 DOI 10.1007/s10040-004-0402-9.
3. BORGHI, A., RENARD, P., JENNI, S. (2010): How to Model Realistic 3D Karst Reservoirs Using a Pseudo-Genetic Methodology; Advanced Research in Karst Media, Springer, 251-255 str.
4. BUKOVAC, J., POLJAK, M., ŠUŠNJAR, M., ČAKALO, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Črnomelj L 33-91, Beograd.
5. BUKOVAC, J., POLJAK, M., ŠUŠNJAR, M., ČAKALO, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Črnomelj L 33-91, Beograd.
6. BUKOVAC, J., GRGASOVIĆ, T., GLOVACKI JERNEJ, Ž., JERINIĆ, G., GALOVIĆ, I., PRTOLIJAN, B., (1995): Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga jugozapadnog Žumberka u okviru radova na geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50 000. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa Opatija, Zagreb, pp. 137-143.
7. BUZJAK, N. (2006): Geomorfološke i speleomorfološke značajke Žumberačke gore i geoekološko vrednovanje endokrškog reljefa. Disertacija, PMF, Sveučilište u Zagrebu.
8. DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAYER, D., TOMLIJENIĆ, B. (1998): Mountain Aquifers of the Northwestern Croatia. XIXth Conference of Danube Countries, Osijek, 1998.
9. FORD, D., & WILLIAMS, P. (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology 2th edition. John Wiley and Sons Ltd, London, 562 str.
10. FOURNILLON, A., VISEUR, S., ARFIB, B., BORGOMANO, J., (2010): Insights of 3D Geological Modelling in Distributed Hydrogeological Models of Karstic Carbonate Aquifers; Advanced Research in Karst Media, Springer, 257-262 str.

11. FRANGEN, T. (2013): Određivanje značajki krškoga vodonosnika na području jugozapadnoga Žumberka kvantitativnim trasiranjem u različitim hidrološkim uvjetima. Doktorska disertacija, RGNF, Sveučilište u Zagrebu, 204 str.
12. GOLDSCHIEDER, N., DREW, D. (2007): *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor & Francis Group, London, 264 str.
13. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1894): *Geologija gore Samoborske i Žumberačke*. Rad JAZU, KNJIGA CXX, Zagreb, pp. 1-82.
14. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1894a): *Geološka prijedlogna karta gore Samoborske i Žumberka*, 1:75 000. JAZU, Zagreb.
15. HACQUET, B. (1784): *Oryctographia carniolica, oder physikalische Erdbeschreibung das Herzogthums Krain, Istrien und zum Theil der benachbarten Länder*. III Teil, Leipzig.
16. HERAK, M. (1947): Prilog stratigrafskom raščlanjivanju mezozojskih naslaga jugozapadnog dijela Žumberačke gore. *Geol. Vjesnik* 1., Zagreb, pp. 3-5.
17. HERAK, M. (1956): *Geologija Samoborskog gorja*. *Acta geologica* 1, JAZU, Zagreb.
18. HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. *Acta Geologica*, 16/1, (Prir.str. JAZU 53), Zagreb, pp. 1-42.
19. HERAK, M., JAMIČIĆ, D., ŠIMUNIĆ, A., BUKOVAC, J. (1990): The northern boundary of the Dinarides (Sjeverna granica Dinarida), *Acta Geologica*, 20/1, (Prirodoslovna istraživanja, 60), Zagreb, pp. 5-27.
20. HERAK, M. (1991): Dinaridi-mobilistički osvrt na genezu i strukturu. *Acta Geologica*, 21/2, (Prirodoslovna istraživanja, 63), Zagreb, pp. 1-83 (35-117).
21. HRELIĆ, Đ., ČAKARUN, I., ŠARIN, A. (1994): *Hidrogeološka karta Republike Hrvatske*, mjerilo 1: 200 000, list Celje-karta i tumač. *Inst. geol. istr.*, Zagreb.
22. MAYER, D., DRAGIČEVIĆ, I., URUMOVIĆ, K. (1994): *Analiza i reinterpretacija rezultata hidrogeoloških istraživanja na području općine Križevci*. Hidroprojekt-ing, Zagreb.
23. PARLOV, J. (2009): *Hidrogeologija krša*. Fakultetska skripta, RGNF, Sveučilište u Zagrebu.
24. PAVIČIĆ, I. (2014): *Regionalni geološki i hidrogeološki odnosi u području Žumberka i Samoborskog gorja s posebnim osvrtom na zalihe podzemnih voda*. Diplomski rad, RGNF, Sveučilište u Zagrebu, 85 str.

25. PLENIČAR, M., PREMUR, U., HERAK, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Novo Mesto L 33-79, Geološki zavod Ljubljana, Beograd.
26. PLENIČAR, M., PREMUR, U., HERAK, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, Tumač za list Novo Mesto L 33-79, Geološki zavod Ljubljana, Beograd.
27. PRELOGOVIĆ, E. (1969): Neotektonska kretanja u području između Orlice, Samoborske gore i Medvednice. Magistarski rad, PMF, Sveučilište u Zagrebu.
28. SALOPEK, M. (1918): O srednjem trijasu Gregurić-Brijega u Samoborskoj gori i o njegovoj fauni. Djela JAZU 20, Zagreb.
29. SALOPEK, M (1936): O Cefalopodnim vapnencima Gregurić Brijega u Samoborskoj gori. Prirodosl. Istraž. JAZU 20, Zagreb.
30. SPITZ, K., MORENO, J. (1996): A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. John Wiley and Sons, New York, 441 str.
31. ŠARIN, A., BAHUN, S., FRITZ, F., KRANJEC, V., URUMOVIĆ, K. (1980): Hidrogeološka karta SR Hrvatske, mjerilo 1:500 000. Tumač. Inst. Geol. Istr., Zagreb.
32. ŠESTANOVIĆ, S. (1993): Osnove inženjerske geologije. Udžbenici sveučilišta u Splitu.
33. ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Zagreb L 33-80, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
34. ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, Tumač za list Zagreb L 33-80, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
35. ŠUKLJE, F. (1944): Prilog stratigrafiji Samoborske gore. Vjesnik Hrvatskog Državnog Geološkog Zavoda i Hrvatskog geološkog muzeja, 1, Zagreb, pp. 104-106.
36. TIŠLIJAR, J. (1994): Sedimentne stijene, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga, 339 str.
37. TOMLJENOVIĆ, B. (2000): Kinematske značajke srednjemiocenske ekstenzije u području Samoborskog gorja. Zbornik radova 2. Hrvatskog geološkog kongresa Cavtat-Dubrovnik, Zagreb, pp. 433-440.
38. TOMLJENOVIĆ, B. (2002): Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja. Doktorska disertacija, RGNF, Sveučilište u Zagrebu.
39. VUJNOVIĆ, T. (2010): Hidrogeološke značajke Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“. Doktorska disertacija, RGNF, Sveučilište u Zagrebu.

40. ZVONAR, P. (2014): Izrada uravnoteženih geoloških profila pomoću računalne aplikacije Move. Diplomski rad, RGNF, Sveučilište u Zagrebu.

8.2. Neobjavljeni radovi

1. BAHUN, S. (1994): Hidrogeološki odnosi na području Sošica. Fond stručne dokumentacije PMF, Zagreb
2. BRKIĆ, Ž., KUHTA, M., SINGER, D. (2002): Geološka i hidrogeološka osnova Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“. Fond stručne dokumentacije Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, Slani Dol.
3. BUZJAK, N. (2001): Speleološke pojave Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, 1. dio. Fond stručne dokumentacije Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, Slani Dol.
4. BUZJAK, N. (2002): Speleološke pojave Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, 2. dio. Fond stručne dokumentacije Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, Slani Dol.
5. BUZJAK, N., & RAŠIĆ, I. (2003): Speleološke pojave Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, 3. dio. Fond stručne dokumentacije Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, Slani dol.
6. BUZJAK, N., & RAŠIĆ, I. (2004): Speleološke pojave Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, 4. dio. Fond stručne dokumentacije Parka prirode „Žumberak-Samoborsko gorje“, Slani dol.
7. ČAKARUN, I. & KUHTA, M. (1987): Inženjerskogeološka i hidrogeološka podloga idejom projektu brane „Koretići“. Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb.
8. DELIĆ, D. (1973): Konceptijsko rješenje vodoopskrbe dijela Žumberka. Fond stručne dokumentacije Direkcija za Savu-Zagreb, Odjeljak Karlovac
9. DELIĆ, D. & TOPOLKO, S (1994): Stanje i smjernice razvoja vodoopskrbe područja Žumberak. Fond stručne dokumentacije Javno vodoprivredno poduzeće Karlovac.
10. DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAYER, D., ŽUGAJ, R., TOMLJENOVIĆ, B. (1997): Gorski i prigorski vodonosnici sjeverne Hrvatske (izvješće o radovima u 1996. Godini). Fond stručne dokumentacije RGNF, Zagreb.

11. DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAYER, D., ŽUGAJ, R., TOMLJENOVIĆ, B. (1997a): Gorski i prigorski vodonosnici sjeverne Hrvatske (izvješće o radovima u 1997. Godini). Fond stručne dokumentacije RGNF, Zagreb.
12. DRAGIČEVIĆ, I. & MAYER, D.(1998): Elaborat o zonama sanitarne zaštite i mjerama zaštite izvora Rijeka, Bazgovka, Sošice, Mačine i Vratimnica (Žumberak). Fond stručne dokumentacije GEOECO-ING, Zagreb.

8.3. Internetski izvori

1. University of Auckland, New Zeland (2010): World Map of Carbonate Rock Outcrops v3.0. (http://web.env.auckland.ac.nz/our_research/karst/#karst1, 2.1.2014).
2. Aspen Global Change Institute, Hydrosphere (<http://www.agci.org/classroom/hydrosphere/>, 20.5.2014)

9. PRILOZI

Korištene vrijednosti poroznosti:	min	sred	max
Dolomiti (Mayer et al., 1994)-mjereno:	0.05	0.15	0.25
Vapnenci (Spitz & Moreno, 1996)-literatura	0.05	0.2	0.35

Vodonosnik	broj bloka	naziv bloka	površine blokova (m ²)	površine blokova (km ²)	min. debljina (m)	sred. debljina (m)	max. debljina (m)	min. volumen stijene (m3)	sred. volumen stijene (m3)	max. volumen stijene (m3)
Miocenski vapnenci -M ₆			8379758	8.379758	120	210	300	1005570960	1759749180	2513927400
Gornjokredni vapnenci-K2			56595311	56.595311	200	200	200	11319062200	11319062200	11319062200
Gornjojurski vapnenci -J3			15045055	15.045055	60	280	500	902703300	4212615400	7522527500
Srednje-donjojurski vapnenci-J1+2			11560441	11.560441	200	100	200	2312088200	1156044100	2312088200
Gornjotrijaski dolomiti-T3	1	Kula blok	12668530	12.66853	600	900	1200	7601118000	11401677000	15202236000
	2	Žumberak blok	72562954	72.562954	600	900	1200	43537772400	65306658600	87075544800
	3	Japetić blok	73246737	73.246737	600	900	1200	43948042200	65922063300	87896084400
	4	Javorek blok	24001900	24.0019	600	900	1200	14401140000	21601710000	28802280000
	5	Jazbina blok	10693246	10.693246	600	900	1200	6415947600	9623921400	12831895200
Srednjotrijaski dolomiti-T2			36897001	36.897001	400	500	600	14758800400	18448500500	22138200600

Prilog 1-1: Izračun volumena pornog prostora metodom množenja površine, debljine i poroznosti

min. volumen stijene (km3)	sred. volumen stijene (km3)	max. volumen stijene (km3)	Dolomiti 0.05; Vapnenci 0.05			Dolomiti 0.15; Vapnenci 0.20			Dolomiti 0.25; Vapnenci 0.35		
			min. volumen vode (m3)	sred. volumen vode (m3)	max. volumen vode (m3)	min. volumen vode (m3)	sred. volumen vode (m3)	max. volumen vode (m3)	min. volumen vode (m3)	sred. volumen vode (m3)	max. volumen vode (m3)
1.00557096	1.75974918	2.5139274	50278548	87987459	125696370	201114192	351949836	502785480	351949836	615912213	879874590
11.3190622	11.3190622	11.3190622	565953110	565953110	565953110	2263812440	2263812440	2263812440	3961671770	3961671770	3961671770
0.9027033	4.2126154	7.5225275	45135165	210630770	376126375	180540660	842523080	1504505500	315946155	1474415390	2632884625
2.3120882	1.1560441	2.3120882	115604410	57802205	115604410	462417640	231208820	462417640	809230870	404615435	809230870
7.601118	11.401677	15.202236	380055900	570083850	760111800	1140167700	1710251550	2280335400	1900279500	2850419250	3800559000
43.5377724	65.3066586	87.0755448	2176888620	3265332930	4353777240	6530665860	9795998790	13061331720	10884443100	16326664650	21768886200
43.9480422	65.9220633	87.8960844	2197402110	3296103165	4394804220	6592206330	9888309495	13184412660	10987010550	16480515825	21974021100
14.40114	21.60171	28.80228	720057000	1080085500	1440114000	2160171000	3240256500	4320342000	3600285000	5400427500	7200570000
6.4159476	9.6239214	12.8318952	320797380	481196070	641594760	962392140	1443588210	1924784280	1603986900	2405980350	3207973800
14.7588004	18.4485005	22.1382006	737940020	922425025	1106910030	2213820060	2767275075	3320730090	3689700100	4612125125	5534550150
UKUPNO:			7310112263	10537600084	13880692315	22707308022	32535173796	42825457210	38104503781	54532747508	71770222105

Prilog 1-2: Izračun volumena pornog prostora metodom množenja površine, debljine i poroznosti

Dolomiti 0.05; Vapnenci 0.05			Dolomiti 0.15; Vapnenci 0.20			Dolomiti 0.25; Vapnenci 0.35		
min. volumen vode (km3)	sred. volumen vode (km3)	max. volumen vode (km3)	min. volumen vode (km3)	sred. volumen vode (km3)	max. volumen vode (km3)	min. volumen vode (km3)	sred. volumen vode (km3)	max. volumen vode (km3)
0.050278548	0.087987459	0.12569637	0.201114192	0.351949836	0.50278548	0.351949836	0.615912213	0.87987459
0.56595311	0.56595311	0.56595311	2.26381244	2.26381244	2.26381244	3.96167177	3.96167177	3.96167177
0.045135165	0.21063077	0.376126375	0.18054066	0.84252308	1.5045055	0.315946155	1.47441539	2.632884625
0.11560441	0.057802205	0.11560441	0.46241764	0.23120882	0.46241764	0.80923087	0.404615435	0.80923087
0.3800559	0.57008385	0.7601118	1.1401677	1.71025155	2.2803354	1.9002795	2.85041925	3.800559
2.17688862	3.26533293	4.35377724	6.53066586	9.79599879	13.06133172	10.8844431	16.32666465	21.7688862
2.19740211	3.296103165	4.39480422	6.59220633	9.888309495	13.18441266	10.98701055	16.48051583	21.9740211
0.720057	1.0800855	1.440114	2.160171	3.2402565	4.320342	3.600285	5.4004275	7.20057
0.32079738	0.48119607	0.64159476	0.96239214	1.44358821	1.92478428	1.6039869	2.40598035	3.2079738
0.73794002	0.922425025	1.10691003	2.21382006	2.767275075	3.32073009	3.6897001	4.612125125	5.53455015
7.310112263	10.53760008	13.88069232	22.70730802	32.5351738	42.82545721	38.10450378	54.53274751	71.77022211

Prilog 1-3: Izračun volumena pornog prostora metodom množenja površine, debljine i poroznosti

B. ZAGREBAČKA GORA



Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. GEOGRAFSKE, GEOMORFOLOŠKE I KLIMATSKE ZNAČAJKE MEDVEDNICE.....	2
2.1. Geografske i geomorfološke značajke.....	2
2.2. Klimatske značajke.....	4
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE	6
3.1. Opis geoloških jedinica	6
3.1.1. Paleozoik.....	6
3.1.2. Meozoik	7
3.1.3. Kenozoik	11
3.2. Udjeli geoloških jedinica u površinskoj geološkoj građi Medvednice	17
3.3. Strukturni i tektonski odnosi	22
3.3.1. Recentni strukturni sklop Medvednice	24
3.3.2. D ₁ Deformacijski događaj: regionalni metamorfizam vrlo niskog do niskog stupnja (gornja jura-donja kreda; K/Ar 122-110 Ma)	30
3.3.3. D ₂ deformacijski događaj: kredno (post-albsko-pred-senonsko) boranje	31
3.3.4. D ₃ deformacijski događaj: paleocensko-eocensko boranje i reversno rasjedanje s translacijom krovine prema WSW.....	32
3.3.5. D ₄ deformacijski događaj: gornjopaleogenska-pred-otnanška rotacija Medvednice u smjeru kretanja kazaljki sata (CW) za 100°.....	33
3.3.6. D ₅ deformacijski događaj: egenburška ekstenzija otnanška ENE ekstenzija.....	35
3.3.7. D ₆ deformacijski događaj: karpatska ?, badensko-sarmatska WNW-ENE ekstenzija.....	36
3.3.8. D ₇ deformacijski događaj: srednjomiocenska (sarmatska-predanonska) kompresija (gornjosarmatska-pred-panonska) kompresija	37
3.3.9. D ₈ deformacijski događaj: gornjomiocenska (panonska-donjopontska) ekstenzija.....	37
3.3.10. D ₉ deformacijski događaj: gornjomiocenska (gornjopontska) i recentna N-S, odnosno NNW-SSE kompresija.....	37
4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE.....	40
4.1. Srednje i gornjotrijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik.....	48
4.2. Gornjokredni karbonatni vodonosnik.....	50

4.3.	Badenski karbonatno-klastični vodonosnik.....	50
5.	HIDROLOŠKA ANALIZA.....	52
6.	ZALIHE PODZEMNIH VODA.....	59
7.	LITERATURA:.....	62

Popis slika:

Slika 2.1. Digitalni model reljefa Zagrebačke gore	3
Slika 3.1. Rasjed u debeloslojenim dolomitima u kamenolomu Ivanec, u zapadnom dijelu Medvednice.....	8
Slika 3.2. Trijaski dolomiti u kamenolomu Ivanec, zapadni dio Medvednice.....	9
Slika 3.3. Litotamnijiški vapnenci u napuštenom kamenolomu „Bizek“	13
Slika 3.4. Dijagram udjela geoloških jedinica u površinskoj geološkoj građi Medvednice.....	18
Slika 3.5. Geološka karta Medvednice (ŠIKIĆ et al., 1972; BASCH 1976; ŠIMUNIĆ et al., 1978; ANIČIĆ & JURIŠA, 1981).	19
Slika 3.6. Geološki profili Medvednice.	20
Slika 3.7. Geološki stup Medvednice (ŠIKIĆ, et al., 1972; BASCH, 1976).....	21
Slika 3.8. A: Tektonska karta recentnog stanja s glavnom graničnim rasjedima između jugoistočnih Alpa, Dinarida i Panonskog bazena u Sloveniji i Hrvatskoj (iz MATOŠ 2014, prema TOMLJENIĆ & CSONTOS, 2001 i reference u radu). Pojednostavljena geotektonska karta Alpa, Karpata i Dinarida (iz MATOŠ et al, 2014; pojednostavljeno prema SCHMID et al, 2008; USTASZEWSKI et al, 2009).	23
Slika 3.9. Recentni strukturni sklop Zagrebačke gore.	28
Slika 3.10. Optimalne orijentacije poprečnih (a) i uzdužnih (b) profila na temelju stereografske analize 268 mjerenja položaja slojeva preuzetih s listova OGK za područje Medvednice.....	29
Slika 3.11. Optimalne orijentacije poprečnih i uzdužnih ravnina na temelju stereografske analize 66 mjerenja folijacija slojeva preuzetih s listova OGK za područje Medvednice.....	29
Slika 3.12. A: Podaci paleomagnetskih mjerenja u miocenskim naslagama jugozapadnog dijela Panonskog bazena i istočnih Alpa. B: Podaci paleomagnetskih mjerenja u miocenskim (narančaste strelice) i u gornjokredno-paleocenskim (crvene i crne strelice) naslagama na Medvednici. C;D i E prikazuju položaje prije otnanga i položaj tijekom paleocena i srenjeg eocena (?) (TOMLJENIĆ, 2002).	35
Slika 4.1. Hidrogeološka karta Medvednice (MIKLIN et al., 2009).	42
Slika 4.2. Hidrogeološki profili Medvednice.....	43
Slika 4.3. Transformacija geološkog u hidrogeološki stup (prema MIKLIN et al., 2009).....	44
Slika 4.4. Regionalni shematski profil uzduž Medvednice (a), s detaljnim kartama i profilima kamenoloma Jablanovac i Donje Orešje (b i c).	46
Slika 4.5. Raspucalost i rasjedanost trijaskih naslaga u kamenolomu Ivanec na jugozapadu Medvednice.....	47
Slika 4.6. Sinklinala u kamenolomu Ivanec, jugozapadni dio Medvednice.	47
Slika 5.1. Specifični bazni dotoci vodotoka Medvednice.	57
Slika 6.1. Slikoviti prikaz metode umnoška površine i debljine vodonosnika.	59

Popis tablica:

Tablica 1. Udjeli geoloških jedinica u površinskoj geološkoj građi Medvednice.....	18
Tablica 2. Podaci visina oborina za sedam meteoroloških stanica za različita razdoblja nakon 1961 te za razdoblje 1931-1960, te njihove razlike.....	54
Tablica 3. Srednji godišnji specifični bazni dotoci za 18 vodotoka Medvednice.....	55
Tablica 4. Vrijednosti slivnih površina, A, prosječnih godišnjih oborina, P, prosječnih protoka, Qsr i otjecajnih koeficijenata, c.	58
Tablica 5. Površine, postotni udjeli i minimalna, srednja i maksimalna debljina geoloških jedinica (preuzeto s listova OGK, i geoloških stupova) i volumeni pornog prostora pojedinih vodonosnika dobiveni množenjem volumena (izračunato množenjem površine i debljine) stijene s poroznosti. ...	60
Tablica 6. Rezultati izračuna volumena pornog prostora (korištene su poroznosti 5%, 15%, 25% za dolomite i 5%, 20% i 35%) korištenjem trapezoidalne metode izračuna volumena.....	61

1. UVOD

Većina gradova i mjesta u sjevernoj i sjeverozapadnoj Hrvatskoj napaja se vodom iz aluvijalnih vodonosnika Save, Drave, Dunava i njihovih slivnih vodotoka. Prednosti ovih vodonosnika su male dubine zalijeganja, rijetko dosežu 100 m, jednostavne geološke strukture u kojima se nalaze, lateralana rasprostranjenost i velika primarna (međuzrnska) poroznost. Zbog takvih svojstava istraživanja su nešto jednostavnija i jeftinija. Negativne strane ovih vodonosnika su niska kvaliteta podzemne vode koja može biti i geokemijski uvjetovana no u posljednje vrijeme je sve više rezultat antropogenog utjecaja i kontinuirano se smanjuje. Ovi vodonosnici vrlo su ranjivi na antropogena onečišćenja i zagađenja zbog niske nadmorske visine te razvijene poljoprivrede, industrije, velikih gradova i velikog broja stanovništva u tim područjima. Svi ovi parametri dovode do značajnog smanjenja kvalitete vode, a to će se nastaviti i u budućnosti. Uzevši sve nabrojeno u obzir osmišljen je projekt "Hidrogeološka potencijalnost gorskih i prigorskih vodonosnika sjeverne Hrvatske" koji bi kroz sustavna višegodišnja istraživanja dao alternativna rješenja za vodoopskrbu. Naime u gorama i planinama sjeverne i sjeverozapadne Hrvatske razvijeni su specifični vodonosnici koji su karakterizirani velikom debljinom, poroznošću te značajnom površinskom i potpovršinskom rasprostranjenošću. Ti specifični vodonosnici su nazvani gorski i prigorski vodonosnici. Zbog velikog volumena vodonosnika, te velike sekundarne poroznosti, može se pretpostaviti da se u tim vodonosnicima uskladištene i velike zalihe podzemne vode, koja bi se u budućnosti mogla koristiti za vodoopskrbu.

Pod gorskim i prigorskim vodonosnicima u najširem smislu podrazumijevamo sve stijene koje sudjeluju u geološkoj građi gorskih masiva, a u sebi sadrže iskoristive količine podzemne vode. Dakle to bi bili svi vodonosnici koji se nalaze izvan prostranih aluvijalnih ravnica i riječnih dolina (Drave, Save, Dunava, te doline Kupe, Krapine, Lonje ...) (DRAGIČEVIĆ, et al., 1996). Istraživanje je usmjereno na gorske i prigorske vodonosnike koji su razvijeni u sedimentnim stijenama, posebno karbonatnim stijenama i karbonat-klastičnim kompleksima, no treba napomenuti da se značajne količine vode mogu naći i u eruptivno-metamornim kompleksima. Površinsko rasprostiranje gorskih i prigorskih vodonosnika na Medvednici nije veliko. No, podaci s izdanaka, bušotina i seizmičkih profila ukazuju na mnogo veću rasprostranjenost ovih vodonosnika u podzemlju, zbog čega je ovo istraživanje geološki iznimno zahtjevno ali i izazovno.

2. GEOGRAFSKE, GEOMORFOLOŠKE I KLIMATSKE ZNAČAJKE MEDVEDNICE

2.1. Geografske i geomorfološke značajke

Planinski masiv Medvednice pruža se sjeveroistočno od ušća rijeka Save i Krapine do doline rijeke Lonje (slika 2.1). Sa sjevera je omeđena područjem Hrvatskog Zagorja, a s juga i jugozapada poplavnom dolinom rijeke Save u najzapadnijem dijelu posavske ravnice. Pripada među gore savsko-dravskog međurječja, sporadične gorske masive što strše u pretežito ravničarskom kraju zbog čega ih se naziva „otočnim gorama“ (njem. *Inselgebirge*; DIENER, 1902) (TOMLJENović, 2002). U regionalnom mjerilu okružena je gorama Ivanščicom i Kalnikom na sjeveru, Bilogorom na istoku i Moslavačkom gorom na jugozapadu. Na jugoistočnim obroncima gore smješten je glavni grad Republike Hrvatske, Zagreb.

Najviši vrhovi Medvednice nalaze se u SZ dijelu područja gdje je najviši vrh, Sljeme (1032 m) (slika 2.1). Većina reljefnih oblika Medvednice je rezultat je padinskih gravitacijskih procesa (MATOŠ, et al., 2014). Dominiraju puzanje i klizanje, pogotovo u dijelovima gdje miocenski lapori i gline dolaze u kontakt s krupnoklastičnim neogenskim i predneogenskim stijenama (VRSALJKO et al., 2011; MIHALIĆ et al., 2011). U područjima gdje površinu izgrađuju gornjotrijaski te gornjobadenski karbonati razvijen je krški do fluviokrški reljef s površinskim krškim formama u obliku vrtača (slika 2.1). CUKOVIĆ, 1996 je u svom magistarskom radu razlučio četiri tipa krša u području Medvednice i Hrvatskog zagorja. Trijaski dubinski, trijaski površinski, trijasko-gornjobadenski i gornjobadenski krš. Među njima nema uvijek jasnih, oštih granica no bitno se razlikuju po genezi, razvijenim krškim oblicima i hidrogeološkoj funkciji.

5570000

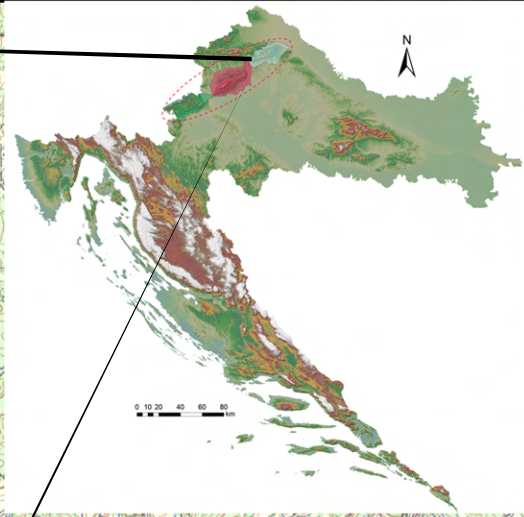
5580000

5590000

5600000

5610000

Digitalni model reljefa Zagrebačke gore



5102000

5095000

5088000

5081000

5074000

5102000

5095000

5088000

5081000

5074000

BEDEKOVČINA

ZLATAR BISTRICA

MARIJA BISTRICA

Donje Orešje

Strmec (556 m)

Piševec (431 m)

ZELINA

Rog (742 m)

Oštrec (737 m)

Čučerje

Sijeme (1030 m)

Ivanec Bistranski

Srednjak (400 m)

Kostanjek

ZAGREB

Nadmmorska visina m. n.m.

1031,33

113,724

- Vrhovi
- Naselja
- ⊕ Bušotine
- Glavni vodotoci
- Stalni potoci
- - - Povremeni potoci
- Izvori
- Vrtace
- Granica istraživanog područja

Mjerilo 1:130 000



Slika 2.1.

5570000

5580000

5590000

5600000

5610000

2.2. Klimatske značajke

Medvednica, u odnosu na okolne nizinske krajeve, ponaša se kao „otok“ u klimatološkim svojstvima, s više oborina, nižim temperaturama, trajanju i količini snježnog pokrivača.

Područje Medvednice nalazi se u temperaturnoj zoni u kojoj se temperatura zraka smanjuje za 0,5°C na svakih 100 metara. Prema karakteristikama godišnjeg hoda oborine Medvednica ima obilježje kontinentalnog oborinskog režima s maksimumom oborina u toplom dijelu godine (IV-IX) mjesec.

Relativna vlažnost zraka je najviša u hladnom dijelu godine i u pravilu je veća na postajama s većom nadmorskom visinom zbog nižih temperatura, ali i bujnije vegetacije.

Srednja godišnja temperatura zraka je na Medvednici 6,2°C, a u Zagrebu 11,4°C. Srednja temperatura ljetnih mjeseci u prosjeku je za 6°C niža od onih u Zagrebu. Prosječno ima 15 dana ispod -10°C, a 8 dana ima godišnje prosječni dnevni maksimum veći od 25°C, a samo jedan dan iznad 30°C.

Najhladniji mjesec je siječanj sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka -3,1°C. Najtopliji mjesec je srpanj s prosječnom temperaturom 15,2°C.

Insolacija je puno veća od one u Zagrebu, otprilike za 100 sati godišnje. Ta je razlika prisutna u hladnom dijelu godine od listopada do ožujka kada je više magle u Zagrebu. Više vedrine na Medvednici nego u gradu, dobar su razlog za ugodne zimske izlete.

Godišnja količina oborina na Medvednici je veća oko 50% u odnosu na Zagreb (Zagreb 844 mm, Sljeme 1238 mm, Kraljičin zdenac 1159 mm, Fakultetsko dobro 1142 mm).

Prosječan broj dana s injem je 40 (Zagreb 4). Srednji godišnji broj dana s padanjem snijega na vrhu Medvednice iznosi 54 dana. Snijeg najčešće pada u siječnju i veljači. Dominantni vjetrovi su sjevernjak i sjeveroistočnjak. Broj dana s jakim vjetrom iznosi 91 (Zagreb 26) i znatno su češći u hladnom dijelu godine, a broj dana s olujnim vjetrom iznosi 21 (Zagreb 2), također u hladnijem dijelu godine.

Broj dana s relativnom vlagom koja je veća od 80% najveći je na Puntijarki (158 dana godišnje) i smanjuje se smanjenjem nadmorske visine, npr. na postaji Zagreb-Grič taj broj iznosi 67 dana godišnje.

Na svim postajama najviše grmljavinskih dana ima u toplom dijelu godine (od travnja do rujna), kada su često vezani uz pljuskove. Grmljavinski dani su najbrojniji u lipnju (Puntijarka 7).

Šume Medvednice stradale su od velikih šteta u studenom 1980. god. kada je katastrofalni ledolom poharao šume (uglavnom je stradala bukva), a kasnije u veljači 1983. god. uslijedile su velike štete uslijed

vjetroloma (velike štete na jeli). Posljedice jednog takvog vjetroloma još se mogu vidjeti na području Adolfovca.

Klimatološki podaci preuzeti su sa:

http://www.pp-medvednica.hr/Medvednica_hr/Medvednica_priroda_klima.htm (10.11.2014)

Gdje se kao izvor podataka spominje elaborat: "Prostorni plan područja posebnih obilježja Parka prirode Medvednica-Polazišta i ciljevi prostornog uređenja.

3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE

3.1. Opis geoloških jedinica

Opis geoloških jedinica načinjen je prema osnovnoj geološkoj karti OGK mjerila 1:100 000 listovima Zagreb i Ivanić Grad (ŠIKIĆ et al., 1977, BASCH, 1981), pripadajućim tumačima (ŠIKIĆ et al., 1979; BASCH, 1983) te disertaciji TOMLIJENIĆ, 2002 na kojima se nalazi najveći dio istraživanog područja. U geološkoj građi Medvednice sudjeluju raznovrsne stijene vrlo širokog stratigrafskog raspona, od devona (?) do holocena. Recentni strukturni sklop ukazuje ne vrlo zamršenu geološku građu.

Stijene paleozoika izgrađuju središnje dijelove Medvednice. Unutar kompleksa paleozojskih stijena izdvojeni su metamorfiti devon-karbona (?), donjeg perma (?) i klastično-karbonatne naslage mlađeg perma (?).

3.1.1. Paleozoik

U **devon-karbon (D,C(?))** svrstane su stijene niskog stupnja metamorfizma otkrivene na području Medvednice. Na terenu se mogu razlikovati zeleni škriljavci s nekim obilježjima magmatita, od ostalih škriljavaca, s više ili manje sačuvanih karakteristika sedimenata. Prostorni odnosi navedenih stijena upućivali su na pretpostavku da se radi o metamorfoziranom vulkanogeno-sedimentnom kompleksu. Mineraloško-petrološkim analizama je potvrđeno je da su paleozojske stijene metamorfozirane djelovanjem regionalnog metamorfizma pod P-T uvjetima grinšist facijesa do zone gornjih mikašista.

Unutar serije parametamorfita mjestimično se nađu sedimenti s vrlo slabo izraženim metamorfizmom. Tu spadaju šejlovi, siltiti, grauivake, grauivakni konglomerati i brečokonglomerati. O starosti metamorfnog kompleksa postoje različita mišljenja no prema dosadašnjim podacima najvjerojatnija pretpostavka je da se radi o devon-karbon starosti u rasponu devon-karbon.

Na sjevernim padinama Medvednice u području Puštelice gore i Reke potoka, otkrivena je **donjopermska (P₁(?))** serija niskometamorfoziranih sedimenata, koja se donekle razlikuje od opisanog metamorfnog kompleksa devon-karbonske starosti. Osnovna karakteristika je veće prisustvo karbonatnih stijena i često vrlo žive crvene i zelene boje metamorfoziranih klastita. Najčešći litološki član su različiti varijeteti mramora s prijelazima u mramorne škriljavce. S njima se izmjenjuju različiti škriljavci od kojih dominiraju kvarc-sericitski i kvarc-kloritski. Za cijeli kompleks metamorfita Medvednice može se

pretpostaviti da primarno obuhvaća kontinuirani slijed naslaga devon-donji perm, koje su potom bile zahvaćene jedinstvenim procesom regionalne metamorfoze u okviru hercinske orogeneze.

U području Križevne Bukve i Zlatoka potoku na sjeveroistoku Medvednice leže magmatiti izgrađeni od kiselih do neutralnih efuzivnih i intruzivnih stijena čiji je postanak vezan za submarinske izljeve, ili utiskivanje magme u zoni plitkih intruzija. Intruzivi su primarno izgrađeni od kvarcdiorita, zelenkaste do zelenosive boje. Mjestimično su metamorfozirani do stupnja facijesa zelenih škriljavaca pa im je struktura djelomično granoblastična ili lepidoblastična. Od efuziva najčešći su kvarckeratofiri, rijede keratofiri, zelene, zelenkastosive boje. Odnos opisanih magmatskih stijena s okolnim donjopermskim (?) parametamorfita i donjotrijaskim sedimentima zbog velike pokrivenosti terena nije utvrđen. Transgresivno na njima leže gornjobadenske naslage.

3.1.2. Mezozoik

Mezozojske stijene generalno pokrivaju jugozapadni i sjeveroistočni dio Medvednice. Od mezozojskih stijena na površini Medvednice nalaze se stijene donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa te donje i gornje krede.

Sedimenti **donjeg trijasa (T_1)** otkriveni su u okolici Slanog potoka na jugozapadnom dijelu Medvednice. Na sjeveroistočnom dijelu Medvednice otkrivene su erozijom u širem području potoka Bistrica. Također izgrađuju zonu tektonskog karaktera, koja se pruža od Laza prema I-JI do sela Velika Gora. Naslage donjeg trijasa također su izložene na površini u širem području Zakićnice. Njihov odnos prema paleozojskim metamorfita nije jasan. Najvjerojatnije je transgresivan budući da u cijelom području nisu nađeni gornjopermski sedimenti. U sastav donjotrijaskih sedimenata ulaze pješčenjaci, siltiti, vapnenci, dolomitizirani vapnenci, dolomiti i kalcitični lapori. U starijem dijelu prevladavaju klastiti terigenog porijekla, dok idući prema srednjem trijasu raste udio karbonatne komponente. Starost naslaga dokazana je provodnim fosilima mekušaca *Myacites fassansis* i *Naticella costata*. Debljina im doseže i do 350 m.

Sedimenti **anizika (T_2)** pokrivaju vršne dijelove brda Pleševica (431) sjeverozapadno od sela Velika Gora na sjeverozapadnom dijelu Medvednice. U srednji su trijas svrstani i dolomiti u području Družanica-Bradovec, a na srednjotrijasku starost ukazuju proslojci i ulošci tamnosivih vapnenaca, šejlova, rožnjaka i piroklastita. Sačuvani su kao manji erozijski ostatak koji leži konkordantno na donjotrijaske naslage. Najzastupljeniji član srednjeg trijasa je dolomit, slijede ga dolomitični vapnenci i kalcitični dolomiti. Karbonati ladinika pokrivaju površinu južno od Šagudovca, gdje izgrađuju sjevernu polovicu brda Kum (396)

i djelomično padine doline potoka Burnjak. Kao manja pojava otkriveni su erozijom ispod krednih klastita u potoku Laz. Najčešći član ladinika su dolomiti različitih nijansi sive boje. Gromadasti su ili debelo uslojeni, mjestimično zdrobljeni-brečasti. Krupnokristalični su, šećerasta habitusa ili gusti-sitnozrnati. Trošenjem nastaje dolomitni pijesak-grus. U izmjeni s dolomitima dolaze mikritski vapnenci zelenkastosive ili žutosive boje. Teško je odrediti njihovu stvarnu debljinu pošto nigdje nije otvoren kontakt ladiničkih i starijih stijena. Pretpostavlja se da debljina anizičkih i ladiničkih naslaga ne prelazi 500 m.



Slika 3.1. Rasjed u debelouslojenim dolomitima u kamenolomu Ivanec, u zapadnom dijelu Medvednice.



Slika 3.2. Trijaski dolomiti u kamenolomu Ivanec, zapadni dio Medvednice.

Gornjotrijaski sedimenti (T_3) prisutni su u građi jugozapadnog dijela Medvednice. U području između Podsuseda, Ivanca Bistranskog i doline potoka Vrapče, otkriveni su na nekoliko većih i manjih površina (slika 3.1 i 3.2). Prema OGK list Zagreb, debljina im se procjenjuje do 800 m. Treba napomenuti da se ta debljina vjerojatno odnosi na Žumberak gdje T_3 prekriva puno veće površine. Debljine gornjeg trijasa na Medvednici su vjerojatno nešto manje. Prema OGK listu Ivanić Grad debljina na području Kuma ne prelazi 200 m.

Osnovna karakteristika izdvojenog **krednog ($K_{1,2}$)** vulkanogeno-sedimentnog kompleksa je u tektogenetskoj povezanosti sedimentacije i magmatizma. Postupno uz sedimentaciju, u nekoliko opetovanih faza, pojavljuje se magmatizam s diferencijatima od ultrabazičnih peridotita, preko gabra i dijabaza, do spilita i albitskih porfira. Na sjeverozapadnim padinama Medvednice otkriven je širi pojas ovih stijena u području od Reke i Vidak potoka na sjeveroistoku, do Dubovac potoka na jugozapadu. Dalje na jugozapad, zajedno sa senonskim i paleogenskim sedimentima, gube se pod alohotnim trijasom Podbjelke i Zakičnice. Iste stijene rasprostranjene su na površini od Mesnice prema istoku do Mrzlaka i dalje prema sjeveroistoku do kote 696. Nađeni su i u gornjem dijelu korita Slanog potoka. Široko su rasprostranjeni u području Šagudovca od sela Samci na zapadu do potoka Laz. Izgrađuju ih različiti pješčenjaci, šejlovi, lapori, rožnjaci i kalkareniti u međusobnoj izmjeni. Kontakti sa starijim stijenama najčešće su tektonski, no u

jugozapadnom dijelu Medvednice u području Gmajne šume nađeni su uslojeni grauvakni pješčenjaci čiji je prostorni položaj, u odnosu na paleozojske škrljavce, najvjerojatnije normalan-transgresivan. Najrasprostranjeniji član sedimentnih stijena apt-turonske starosti su uslojeni ili rijeđe neuslojeni pješčenjaci, determinirani kao grauvake i subgrauvake, šejlovi, lapori, radiolaritski rožnjaci i podređeno vapnenci. Debljina sedimenata krednog vulkanogeno-sedimentnog kompleksa stijena iznosi više od 300 m.

Magmatske stijene na sjeverozapadnim padinama Medvednice prostorno su vezane isključivo za područja taloženja sedimenata iz vulkanogeno-sedimentnog kompleksa. Magmatske stijene ove starosti nalaze se i na sjevernim padinama jugozapadnog dijela Medvednice. Magmaatske stijene starosti apt-turon mogu se svrstati u sljedeće grupe: ultrabazične stijene, gabroidi, spiliti, dijabazi, efuzivi i piroklastične stijene. Sve ove stijene predstavljaju produkte povezanih procesa jedinstvenog magmatizma. Najzastupljeniji su dijabazi i spiliti, te predstavljaju 95 % svih prisutnih magmatita Medvednice.

Sedimenti **santon-mastrihta (K_2^3)** leže na jugozapadnom dijelu Medvednice u području Križnog Hrasta, Koprivnjaka, sjeverozapadno od Roga i kao manji erozijski ostatak na južnoj strani Rušovskog brega. U zapadnom dijelu Medvednice gornjosenonski sedimenti transgresivno okružuju paleozoik središnjeg grebena. Nešto veće površine, također djelomično tektonski ograničene, prisutne su u području Vrapče i Mikulić potoka. Na sjeveroistočnom dijelu Medvednice nađeni su u području kote 465, odakle se protežu prema istoku do Donjeg Orešja. Otkriveni su erozijom ispod transgresivnih tercijarnih sedimenata južno od brda Graci (kota 347). Taloženi su transgresivno na starije stijene-paleozojske škrljavce i djelomično apt-turonski vulkanogeno-sedimentni kompleks. Mlađim tektonskim pokretima narušen je njihov primarni položaj. Zbog toga su kontakti senonskih stijena s starijim stijenama često tektonski. Bazalni dio senonskih naslaga čine breče i polimiktni konglomerati s valuticama promjera 1-15 cm koje su najčešće izgrađene od paleozojskih škrljavaca. Na konglomeratima leže pelagički sedimenti, predstavljeni centimetarski uslojenim crvenim i sivim vapnencima mikritskog i biomikritskog tipa, u izmjeni s isto tako uslojenim glinovitim vapnencima i siltoznim laporima. Mlađi dio senonskih sedimenata predstavljen je fliškom serijom klastita koja je okarakterizirana izmjenom lapora, siltita, grauvaknih i subgrauvaknih pješčenjaka. U završnim dijelovima fliške serije sedimenata leže gromadasti ili slabo uslojeni bioklastični vapnenci. U završnom dijelu flišolikih naslaga susreću se metarske pojave turbiditnih sedimenata i pojave gromadastih do uslojenih bioklastičnih vapnenaca (*Globotrunkanski tzv. Scaglia vapnenci*). Ove stijene sadrže ostatke rudista i drugih školjkaša, puževa, koralje, alge, te krupnije foraminifere mastrihta (*Orbitoididae*). U senonskim klastitima Medvednice nije uočen detritus koji bi potjecao iz područja karbonatne "platforme". Na temelju fosilnog sadržaja utvrđeno je da pripadaju mastrihtu. Ukupna debljina senonskih sedimenata ne prelazi 250 m.

3.1.3. Kenozoik

Najstarije stijene kenozoika su klastiti paleogenske starosti nakon čega nastupa stratigrafska praznina do početka otnanga. Najmlađi sedimenti kenozoika su recentne aluvijalne, proluvijalne i deluvijalne taložine.

Paleocenski marinski sedimenti (**Pc**) nađeni su u centralnom dijelu Medvednice, gdje u obliku manjih erozijskih ostataka leže na grebenu iznad izvorišta potoka Bidrovec kao i na području Pepelačke i Križnog Hrasta. Veće ili manje površinske pojave sačuvane su duž SZ padina Medvednice od potoka Voda u Rakovi Nogi do grebena Podbjelke. Teško ih je izdvajati od mlađeg dijela senonske serije sedimentata, zbog međusobno velikih litoloških sličnosti. Odnos paleocenskih stijena sa starijim je najvjerojatnije transgresivan no na listu OGK Ivanić Grad nije sa sigurnošću utvrđen te postoji realna mogućnost kontinuiranog prijelaza iz senona u paleocen. Tektogenetski smještaj, facijesne karakteristike i transgresivan položaj na stijenama vulkanogeno-sedimentnog kompleksa, ukazuju na značajna tektonska zbivanja na prijelazu krede u paleogen i na jedinstvenost paleogenske sedimentacije na u području Medvednice i Samoborskog gorja. Na Medvednici osnovnu masu paleogenskih sedimentata predstavljaju sivi i smeđosivi glinoviti do pjeskoviti lapori u izmjeni sa subgrauvaknim pješčenjacima. Unutar opisane serije klastičnih sedimentata mogu se, iako rijetko naći sivi, debelouslojeni ili gromadasti, biogeni i bioklastični vapnenci. Procijenjeno je da debljina paleocenskih sedimentata ne prelazi 50 m.

Neogenski sedimenti u području Medvednice taloženi su od otnanga do pontaa. Izdvajanje pojedinih članova slijeda neogenskih naslaga izvršeno je pretežito na temelju faunističkih podataka.

Slatkovodne naslage **otnanga** (**M₃¹**) rasprostranjene su na jugoistočnim padinama gdje se u obliku gotovo cjelovite zone protežu od sela Dešćevec na jugozapadu do šireg područja potoka Nespeš na sjeveroistoku. Duž sjeverozapadnih obronaka pružaju se od južnih padina Tepčine Špice prema sjeveroistoku do brijega Tuhel Kum. Obje su zone međusobno povezane na širem području sela Planina. Kao manje površine otkrivena erozijom ispod badenskih sedimentata nalaze se u potoku Bistrica, i desnom pritoku potoka Laz, kao erozijski ostatak u širem području Kladišćice, te u jugozapadnom dijelu na Podbjelki (kota 586). Naslage otnanga taloženje su diskordantno na stariju podlogu koju često predstavljaju stijene paleozoika. Izgrađuju ih različiti klastični sedimenti, od krupnozrnatih konglomerata preko konglomeratičnih pješčenjaka, pijesaka, pjeskovitih lapora, sve do pjeskovitih i siltoznih glina. Karakteristika ovih klastita je njihova česta lateralna i vertikalna izmjena. U višim dijelovima leže proslojci uslojenih vapnenaca a mjestimično su nađene i leće smeđeg ugljena. Opisane naslage ne sadrže karakteristične fosile

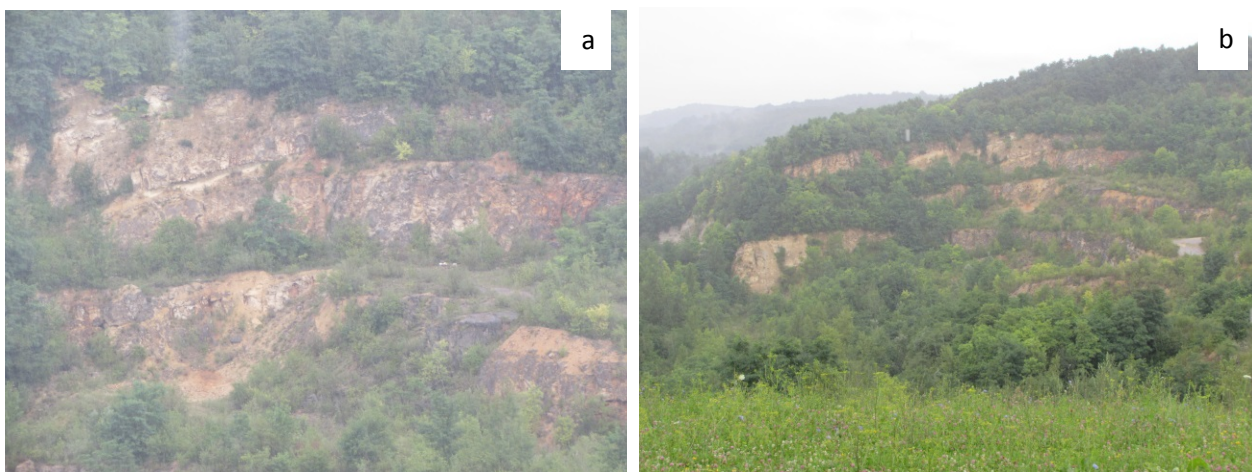
pa je njihova stratigrafska pripadnost određena superpozicijski. Prema podacima s OGK lista Ivanić Grad, debljina otnanških sedimenata je 280 m, dok prema tumaču OGK lista Zagreb, debljina im ne prelazi 100m.

Marinski sedimenti **karpata (M_3^2)** protežu se jugoistočnim padinama Medvednice od sela Trnave prema sjeveroistoku do Moravče potoka. Na sjeverozapadnim padinama otkrivene su između Laza i Tuhel Kuma te sjeverno od Tepčine Špice. Kao manje pojave nađene su južno od Lipnjaka i na lijevom boku Slanog potoka. Taložene su diskordantno na sedimente otnanga. Izgrađuje ih klastična serija sedimenata predstavljena konglomeratima i konglomeratičnim pješčenjacima, pješčenjacima, laporima, glinama, i tufovima u međusobnoj izmjeni. Karpatska starost dokazana je brojnim nalazima karakterističnih vrsta pretežito bentičkih foraminifera. Debljina karpatskih sedimenata iznosi oko 150 m.

Dugački pojas **donjobadenskih (M_4^1)** sedimenata pruža se jugoistočnim padinama od Markuševca na jugozapadu do Biškupca potoka i potoka Topličica na sjeveroistoku. U području između Goranca i Vejalnice, zbog značajne debljine i povijanja naslaga širina pojasa mjestimično iznosi i 3500 m. Na sjevernim padinama Medvednice u području Pušterlice leže transgresivno na paleozojskim naslagama ili su omeđeni reversnim rasjedima. U nastavku se povijaju prema sjeveroistoku i sežu do šireg područja Laza, gdje diskordantno prekrivaju karpatske sedimente. Kod Selovca pokrivaju direktno kredne, vulkanogeno-sedimentni kompleks. Djelomično su u tektonskom kontaktu s krednim, vulkanogeno-sedimentnim kompleksom kao i donjopontskim sedimentima. Na širem području Medvednice donjobadenske naslage pokazuju karakteristike transgresije, ne samo položajem u odnosu na karpatske naslage, nego i sastavom izrazito planktonske mikrofaune. Donjobadenske sedimente izgrađuju vapnenačke stijene, koje su razvijene kao svijetli, pločasti, mjestimično lginoviti vapnenci ili kalcitični lapori, litotamnijski vapnenci i bioklastični kalcitični pješčenjaci u međusobnoj izmjeni. Debljina donjobadenskih sedimenata iznosi 470 m.

Marinske naslage **gornjeg badena (M_4^2)** (slika 3.3) na površini su izložene u okolici Šagudovca, između Samca i Pasanske Gorice te nedaleko od potoka Blana. Prekrivaju značajne površine sjeveroistočnog dijela Medvednice, protežući se od Podgorja i Laza na zapadu sve do Biškupca i Donjeg Orešja na istoku. Kao manji erozijski ostaci sačuvani su na grebenu južno od potoka mala Reka i južno od Križevne Bukve. Na jugoistočnim padinama Medvednice prekrivaju brdo Sv. Barbare, južno od Čučerja. Leže na dolomitima jugozapadnog dijela Medvednice, na jugoistočnim padinama kod Mikulića i sjeveroistočno od Gračana. Osnovna karakteristika im je da se talože transgresivno na stijene u podlozi. U području Medvednice i Šagudovca, diskordantno pokrivaju stijene paleozojske, trijaske i kredne starosti a kod brijega Sv. Barbare, transgresivno pokrivaju karpatske naslage. Gornjobadenske naslage izgrađene su najčešće od sedimenata u

čijem sastavu dominira karbonatna komponenta. Pretežito su to stijene taložene u plitkom, priobalnom području gdje su se stvarali različiti klastični i organogeni sedimenti, predstavljeni brečama, konglomeratima, vapnencima, pješčenjacima i laporima. Najčešći litološki član su bijeli, sivožučkasti, pretežito gromadasti, organogeni, litotamnijski vapnenci. Od njih je izgrađeno gotovo cijelo područje rasprostiranja gornjobadenskih naslaga. Uz njih ali mnogo rjeđe dolaze i vapnenci s ljušturama brojnih makrofosila-**litavci**. U izmjeni s vapnencima česte su pojave proslojaka svijetlosivih i žučkastih, bioklastičnih pješčenjaka ili sivih kalcit-kvarcnih pješčenjaka, u kojima je cement od kristalastog kalcita a čestice su pretežito kvarcne (do 70 %).



Slika 3.3. Litotamnijski vapnenci u napuštenom kamenolomu „Bizek“.

Na sjeverozapadnoj strani Medvednice, južno od Bistrice potoka u području Podgorja, taloženi su sedimenti mirnije, zaštićene sredine. U izmjeni s uslojenim, bioklastičnim, vapnenačkim pješčenjacima ovdje leže sivi i žučkasti, pjeskoviti ili glinoviti, mjestimično ugljenoviti lapori i sive laporovite gline. Gornjobadenska starost opisanih naslaga dokazana je nalazima mikrofosilne zajednice foraminifera. Također nađeni su i ostaci makrofosila kao što su ljušture školjkaša (*Pecten*, *Ostrea*). Debljina gornjobadenskih naslaga u okolici Podgorja doseže i do 250 m, dok je na istoku kod Biškupca i Donjeg Orešja, znatan dio ovih sedimenata erodiran pa njihova debljina ne prelazi 100 m.

Brakični sedimenti **donjeg sarmata (M_5^1)** na jugoistočnim padinama Medvednice tvore zonu koja se proteže od Mikulića do Podsuseda. Prekrivena je savskim aluvijem južno od Podsuseda. Spomenuta zona ponovno je otkrivena na površini od Svete Nedjelje do Rakovice. Također se nalaze na površini od potoka Markuševac prema istoku do Vugrovca, gdje povijajući u smjeru sjeveroistoka sežu do sela Markovići. Manje pojave donjosarmatskih naslaga nalaze se i u desnom boku korita potoka Topličice kod Zeline i u

širem području sela Donje Orešje. Prekrivaju i dijelove sjeverozapadnih obronaka Medvednice, sjeverno od Lipnjaka i Hrenovog Koča. Otkrivene su u području Laza, u krilima sinklinale kod Podgorja, i južno od Samca (okolica Šagudovca). Naslage donjeg sarmata leže konkordantno na gornjobadenskim naslagama. Na jugozapadnom dijelu Medvednice djelomično ingresivno pokrivaju dolomite trijasa. Izgrađene su od lapora, glinovitih lapora, vapnenaca i pješčenjaka. U starijim dijelovima prevladavaju glinoviti vapnenci i kalcitični lapori. U donjosarmatskim naslagama nađena je vrlo bogata, provodna mikro i makrofauna. Debljina donjosarmatskih naslaga doseže do 40 m.

Relativno uzak pojas **donjopanonskih (M_6^1)**, brakičnih sedimenata proteže se jugoistočnim obroncima Medvednice, gdje se može pratiti od Bačuna na jugozapadu sve do šire okolice Donjeg Orešja na sjeveroistoku. Na jugoistočnim padinama tvore zonu koja se proteže od Podsuseda do Krvarića. Dalje prema sjeveroistoku nalaze se kod Mikulića i Blizneca, a na sjevernoj strani nađeni su u okolici Stubičkih Toplica. Na sjeverozapadnoj strani Medvednice nađene su sjeverno od Lipnjaka, Hrenovog Koča i Košćevićvog brijega. U nastavku prema sjeveroistoku pokrivaju površine u široj okolici sela Laz te u području Podgorja. Na temelju litoloških i paleontoloških karakteristika, donjopanonski sedimenti razvijeni su u tipičnom facijesu tzv. *Croatica naslaga*. Slijede kontinuirano na donjosarmatske sedimente. Česte su i pojave njihovog ingresivnog zalijeganja pa u tom slučaju leže diskordantno na različitim predtercijarnim stijenama. Izgrađene su gotovo isključivo od kalcitičnih lapora, koji s povećanjem karbonatne komponente prelaze u glinovite vapnence. To su svijetlosive, žućkastosive i smeđosive centimetarski ili rjeđe decimetarski uslojene, sitnozrnate stijene, neravnih slojnih površina. Stratigrafska pripadnost im je potvrđena makrofosilima (*Radix croatica* itd.). Debljina donjopanonskih naslaga doseže do 170 m.

Na jugoistočnim padinama Medvednice, **gornjopanonski sedimenti (M_6^2)** protežu se od Bačuna prema istoku do Vugrovca, odakle, povijajući u smjeru sjeveroistoka, i sežu do Moravča. Izgrađuju krila i djelomično jezgru prevrnutu sinklinale Stubičkog Podgorja, sjeverno od Medvednice, kao i jezgru sinklinale kod Podgorja. Gornjopanonski sedimenti otkriveni su u obliku zone od Kostanjeka do Blizneca. Na sjevernoj strani Medvednice nađeni su zapadno od Stubičkih toplica. Kaspibrakični sedimenti gornjeg panona svojim litološkim i paleontološkim karakteristikama odgovaraju facijesu tzv. *banatica naslaga*. Taloženi su konkordantno preko donjopanonskih naslaga. Zbog tektonskih pokreta mjestimice je narušen njihov kontinuirani slijed na donjopanonske sedimente pa mjestimično u okolici Šagudovca, leže ingresivno preko badenskih naslaga ili krednog vulkanogeno-sedimentnog kompleksa. Važno je napomenuti da su zbog tektonskih pokreta različitog predznaka gornjopanonski sedimenti zapadnog dijela spomenutih obronaka Medvednice istovremeno bili u regresiji. Izgrađene su isključivo od različitih lapora, unutar kojih se mogu pratiti svi prijelazi od kalcitičnih do glinovitih. Regresivnoj fazi pripadaju konglomerati, šljunci, pijesci i

pješčenjaci između Kostanjeka i Vrapče potoka, koji se vertikalno i lateralno izmjenjuju s tipičnim kalcitičnim laporima gornjeg panona. Gornjopanonska starost ovih naslaga dokazana je fosilima (npr. *Congeria banatica*) na velikom broju lokaliteta. Procijenjena debljina gornjopanonskih naslaga varira od 150 do 300 m.

Sedimenti **donjeg pont**a (M_7^1) protežu se jugoistočnim obroncima Medvednice od Stenjevca do potoka Bliznec na jugozapadu te sve do doline rijeke Lonje na sjeveroistoku. Na sjevernim obroncima leže u široj okolini Stubičkog Podgorja i Kepelščaka. Leže i u jezgri prevrnute sinklinale Stubičkog Podgorja sjeverno od Medvednice. Na sjeverozapadnim, nižim obroncima Medvednice pojavljuju se mjestimično ispod pliocenskog pokrivača šireg područja Jakovlja, Krušljeva sela i Oroslavlja. Kaspibrakični sedimenti donjeg pont

taloženi su u osnovi konkordantno preko gornjopanonskih, međutim duž jugoistočnih obronaka Medvednice, na potezu od Moravča do Donjeg Orešja, ingresivno naliježu na donjopanonske sedimente. Po svojim litološkim i paleontološkim karakteristikama odgovaraju tipičnom facijesu tzv. *abichi naslaga*. Najčešći litološki član donjopontskih sedimenata predstavljen je sivim, plavičastim, zelenkastosivim, žućkastim glinovitim laporima, s prosječnim sadržajem glinovite komponente od oko 70 %. Slojevitost je rijetko izražena, pretežito su gromadasti i neuslojeni. S daljnjim povećanjem glinovite komponente prema vršnim dijelovima donjopontskih sedimenata glinoviti lapori prelaze u laporovite gline. Pripadnost ovih sedimenata donjopontskoj starosti potvrđena je nalazom mikrofaune na brojnim lokalitetima. Nađeni su u provodni školjkaši *Paradacna abichi* po kojima je litostratigrafski član dobio ime. Debljina donjopontskih sedimenata procjenjuje se između 80 i 150 m, dok na jugoistočnim padinama Medvednice iznosi oko 210 m.

Naslage **gornjeg pont**a (M_7^2) na jugoistočnim obroncima Medvednice protežu se od sela Remete prema ISI sve do doline Lonje te od Bačunskog brijega do Vrapča. Dalje na istok ovi sedimenti izgrađuju i južne obronke Kalnika. Na sjevernoj i sjeveroistočnoj strani, gornjopontski sedimenti otkriveni su u području Pustodola i Stubičkog Podgorja kao i manje pojave ispod gornjopliocenskog pokrivača od potoka Dedina na jugu do okolice Oroslavlja na sjeveru. Sedimenti gornjeg pont

a, litološkim i paleontološkim karakteristikama odgovaraju tzv. *rhomboidea naslagama*. Taložene su kontinuirano na donjopontske naslage. Izgrađene su pretežito od pijesaka i rjeđe siltova dok se drugi litološki članovi javljaju podređeno. Gornjopontska starost naslaga dokazana je nalazima makrofosila (*Congeria coriatica*, *Congeria rhomboidea* itd.). Debljina gornjopontskih naslaga na Medvednici varira u prostoru, u rasponu od 100 do 400 m.

Sedimenti **gornjeg pliocena** (PIQ) predstavljaju najmlađe neogenske sedimente koje izgrađuju dijelove jugoistočnih, sjevernih i sjeverozapadnih (okolica Slanog potoka) obronaka Medvednice. Kao manja

pojava nađene su jugoistočno od Samca. Na jugoistočnim niskim obroncima leže u širem prostoru između Remeta i potoka Čučerje. U nastavku prema istoku i sjeveroistoku protežu se sve do šireg područja sela Hrastje i doline rijeke Lonje, ali se mogu pratiti samo fragmentirano, budući da su djelomično pokriveni pleistocenskim eolskim sedimentima. Istočno od toka Lonje, otkrivene su erozijom u koritu potoka Bukovec. Gornjopliocenske (levantske) naslage su slatkovodni, proluvijalni i fluvijalno-jezerski sedimenti molasnog tipa, koji predstavljaju bočne ekvivalente mlađeg dijela paludinskih naslaga i eventualno prelaze u stariji kvartar. Taloženi su diskordantno na stariju, erodiranu podlogu koju najčešće predstavljaju pontski sedimenti sastavljeni od šljunaka, pijesaka, siltova i podređeno glina. Gornjopliocenska starost opisanih sedimenata nije paleontološki potvrđena. Određena je na temelju superpozicije i usporedbe s litološki istovjetnim naslagama okolnih područja. Debljina gornjopliocenskih naslaga ne prelazi 150 m.

Izdvajanje kvartarnih naslaga načinjeno je prema genetskim tipovima sedimenata. Na mnogo mjesta nisu izdvajane zbog vrlo male debljine ili površine. Mogu se podijeliti na pleistocenske i holocenske naslage. U pleistocen su uvršteni sedimenti eolsko-akvatičkog tipa, a u holocen tvorevine aluvijalnog te podređeno deluvijalno-proluvijalnog facijesa.

Naslage **kopnenog prapora (I)** sačuvane su na najnižim jugoistočnim obroncima Medvednice, sve od sjevernog dijela zagrebačkog, gradskog područja na jugozapadu, do Zeline i Šalovca na sjeveroistoku, te u dolini rijeke Krapine. Taloženi su diskordantno na erodiranu podlogu, izgrađenu od pliocenskih naslaga. Produkt su eolskog nanošenja čestica siltoznih dimenzija na tadašnje kopnene površine. Istaloženi su glinoviti siltovi, koji kasnije uslijed djelovanja atmosferilija i podzemne vode prelaze u fosilno tlo. Sedimenti kopnenog prapora su slabovezane stijene, izgrađene pretežito od čestica dimenzija silta (73 %). Prosječna zastupljenost čestica granulometrijskog područja glina iznosi 17 %, a pijeska 13 %. Kopneni beskarbonatni les je žute, sivožute ili žutosmeđe boje, često prošaran svijetlim glinovitim prugama poligonalnog oblika. Debljina kopnenog prapora prema podacima bušotina na strukturi Križ iznosi 30 m, ali je mjestimično moguća i veća debljina.

Deluvijalne i proluvijalne (dpr) naslage holocena nalaze se u manjim količinama na južnim i zapadnim padinama Medvednice. Izdvojene su na potezu sjevernog dijela zagrebačkog, gradskog područja, do Sesveta. Kao uske zone izdužene tvorevine nalaze se u podnožju morfoloških uzvišenja kod Dugog Sela. Litološki sastav im je u direktnoj vezi s izvornim stijenama koje se nalaze u njihovom neposrednom zaleđu. Zbog veoma kratkog transporta i višestrukog obnavljanja procesa erozije i sedimentacije, ove su naslage najčešće kaotične. Razvijene su uglavnom u obliku krupnozrnatih, slabo zaobljenih šljunaka, koji su

pomiješani s pijeskom i glinom. U ovim naslagama nije nađena nikakva marko ili mikrofauna. Debljina im ne prelazi 10 m.

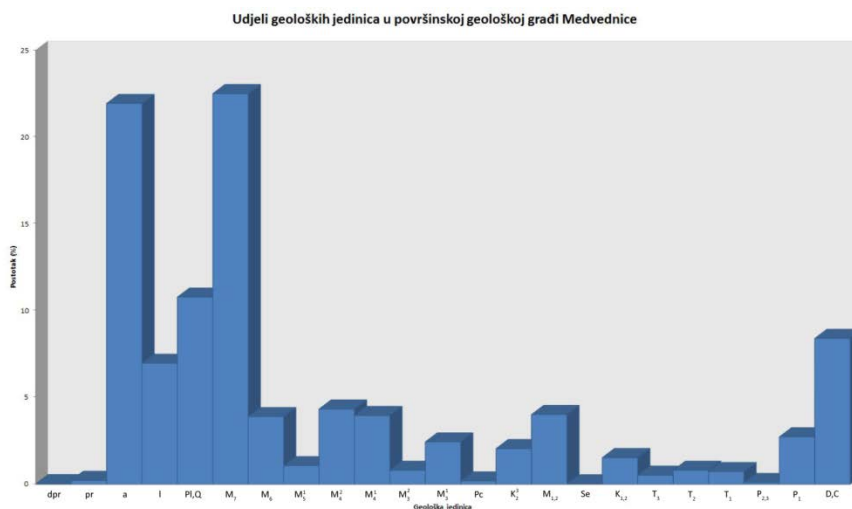
Aluvijalne naslage (a) mogu se podijeliti na aluvijalni nanos recentnih tokova Save, Krke, Krapine te potočni aluvij. Kako aluvijalne naslage nisu predmet ovog istraživanja, svi kategorije su ujedinjene pod naziv aluvijalne naslage. Nastale su kao produkt akumulacijskog i erozijskog djelovanja vodenih tokova za vrijeme holocena. Litološki sastav im je vrlo heterogen, a generalno mogu se razlikovati sedimenti izgrađeni pretežito od krupnozrnatih fragmenata od onih koji su izgrađeni pretežito od sitnozrnatih čestica. Od krupnozrnatog nanosa izgrađene su i potočne doline planinskih tokova Medvednice. Sitnozrnati aluvijalni sedimenti izgrađuju doline rijeka Lonje i Krapine. U njihovu sastavu dominiraju zaglinjeni pijesci i siltovi, koji potječu od nevezanih gornjopontskih i mlađih pleistocenskih pijesaka, kao i eolskih pijeska pleistocena.

3.2. Udjeli geoloških jedinica u površinskoj geološkoj građi Medvednice

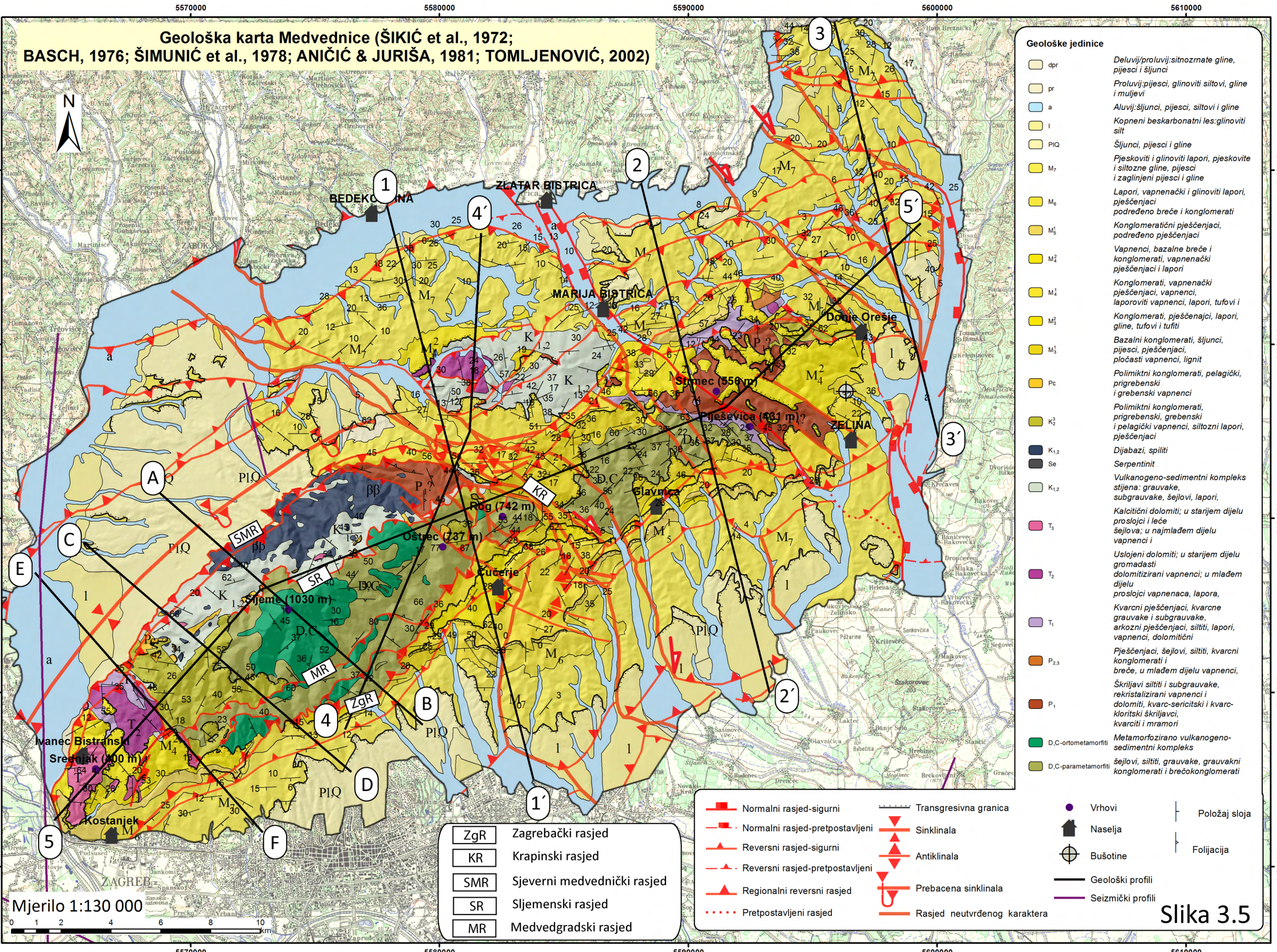
Od opisanih geoloških jedinica, u geološkoj građi površine Medvednice najzastupljeniji su pontski sedimenti s 22,48 % (tablica 1; slika 3.4) u geološkoj građi površine Medvednice. Po udjelu u površinskoj građi druga najznačajnija jedinica su aluvijalni sedimenti s 21,92 % (tablica 1; slika 3.4). Najznačajniji su aluvijalni sedimenti Krapine i Bedenice, zatim slijede aluviji manjih vodotoka. Od ostalih jedinica značajni udio imaju i pliokvartarni sedimenti s 10,77 %. i metamorfiti D-C s 8,39 % (tablica 1; slika 3.4). Od gorskih vodonosnika na površini je najzastupljeniji gornjobadenski vodonosnik s 4,33 %. Zatim slijede gornjokredni s 2,06 % te trijas (T_2 i T_3) s 1,32 % (tablica 1; slika 3.4). Više je puta spomenuto da mala zastupljenost ovih vodonosnika na površini ne znači da ih je imalo u podzemlju. To se posebice odnosi na trijaske vodonosnike. Njihova velika potpovršinska rasprostranjenost prikazana je na geološkim profilima (slika 3.6).

Tablica 1. Udjeli geoloških jedinica u površinskoj geološkoj građi Medvednice.

Geološka jedinica	Površina (km ²)	Postotak (%)
dpr	0,25	0,03
pr	1,89	0,23
a	183,44	21,92
l	58,31	6,97
Pl,Q	90,18	10,77
M₇	188,18	22,48
M₆	32,60	3,90
M₅¹	8,98	1,07
M₄²	36,26	4,33
M₄¹	33,11	3,96
M₃²	6,74	0,80
M₃¹	20,39	2,44
Pc	1,62	0,19
K₂³	17,20	2,06
K_{1,2}	33,59	4,01
Se	0,22	0,03
K_{1,2}	12,84	1,53
T₃	4,37	0,52
T₂	6,71	0,80
T₁	6,11	0,73
P_{2,3}	0,84	0,10
P₁	22,84	2,73
D,C	70,26	8,39
UKUPNO	836,92	100,00
VODONOSNICI	47,34	5,66



Slika 3.4. Dijagram udjela geoloških jedinica u površinskoj geološkoj građi Medvednice.



Geološka karta Medvednice (ŠIKIĆ et al., 1972; BASCH, 1976; ŠIMUNIĆ et al., 1978; ANIČIĆ & JURIŠA, 1981; TOMLJENOVIĆ, 2002)

Geološke jedinice

dpr	Deluvij/proluvij: sitnozmate gline, pijesci i šljunci
pr	Proluvij: pijesci, glinoviti siltovi, gline i muljevi
a	Aluvij: šljunci, pijesci, siltovi i gline
l	Kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt
PIQ	Šljunci, pijesci i gline
M ₇	Pjeskoviti i glinoviti lapori, pjeskovite i siltodne gline, pijesci i zaglinjeni pijesci i gline
M ₆	Lapori, vapnenački i glinoviti lapori, pješčenjaci
M ₅	podređeno breče i konglomerati
M ₄	Konglomeratni pješčenjaci, podređeno pješčenjaci
M ₃	Vapnenci, bazalne breče i konglomerati, vapnenački pješčenjaci i lapori
M ₂	Konglomerati, vapnenački pješčenjaci, vapnenci, laporoviti vapnenci, lapori, tufovi i gline, tufovi i tufti
M ₁	Bazalni konglomerati, šljunci, pijesci, pješčenjaci, grebrenski, pločasti vapnenci, lignit
Pc	Polimiktni konglomerati, pelagički, prigrebenski i grebrenski vapnenci
K ₂	Polimiktni konglomerati, prigrebenski, grebrenski i pelagički vapnenci, siltovni lapori, pješčenjaci
K _{1,2}	Dijabazi, spiliti
Se	Serpentinit
K _{1,2}	Vulkanogeno-sedimentni kompleks stijena: grauvake, subgrauvake, šejlovi, lapori, Kalcični dolomiti; u starijem dijelu proslojci i leće šejlova; u najmlađem dijelu vapnenci i
T ₃	Uslojeni dolomiti; u starijem dijelu gromadasti dolomitizirani vapnenci; u mlađem dijelu proslojci vapnenaca, lapora,
T ₂	Kvarcni pješčenjaci, kvarcne grauvake i subgrauvake, arkozni pješčenjaci, siltiti, lapori, vapnenci, dolomitični
T ₁	Pješčenjaci, šejlovi, siltiti, kvarcni konglomerati i breče, u mlađem dijelu vapnenci, Škriljavi siltiti i subgrauvake, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, kvarc-sericitski i kvarc-kloritski škriljavci, kvarciti i mramori
P _{2,3}	Metamorfizirano vulkanogeno-sedimentni kompleks
P ₁	šejlovi, siltiti, grauvake, grauvakni konglomerati i brečokonglomerati
D,C-ortometamorfiti	
D,C-parametamorfiti	

ZgR	Zagrebački rasjed
KR	Krapinski rasjed
SMR	Sjeverni medvednički rasjed
SR	Sljemenski rasjed
MR	Medvedgradski rasjed

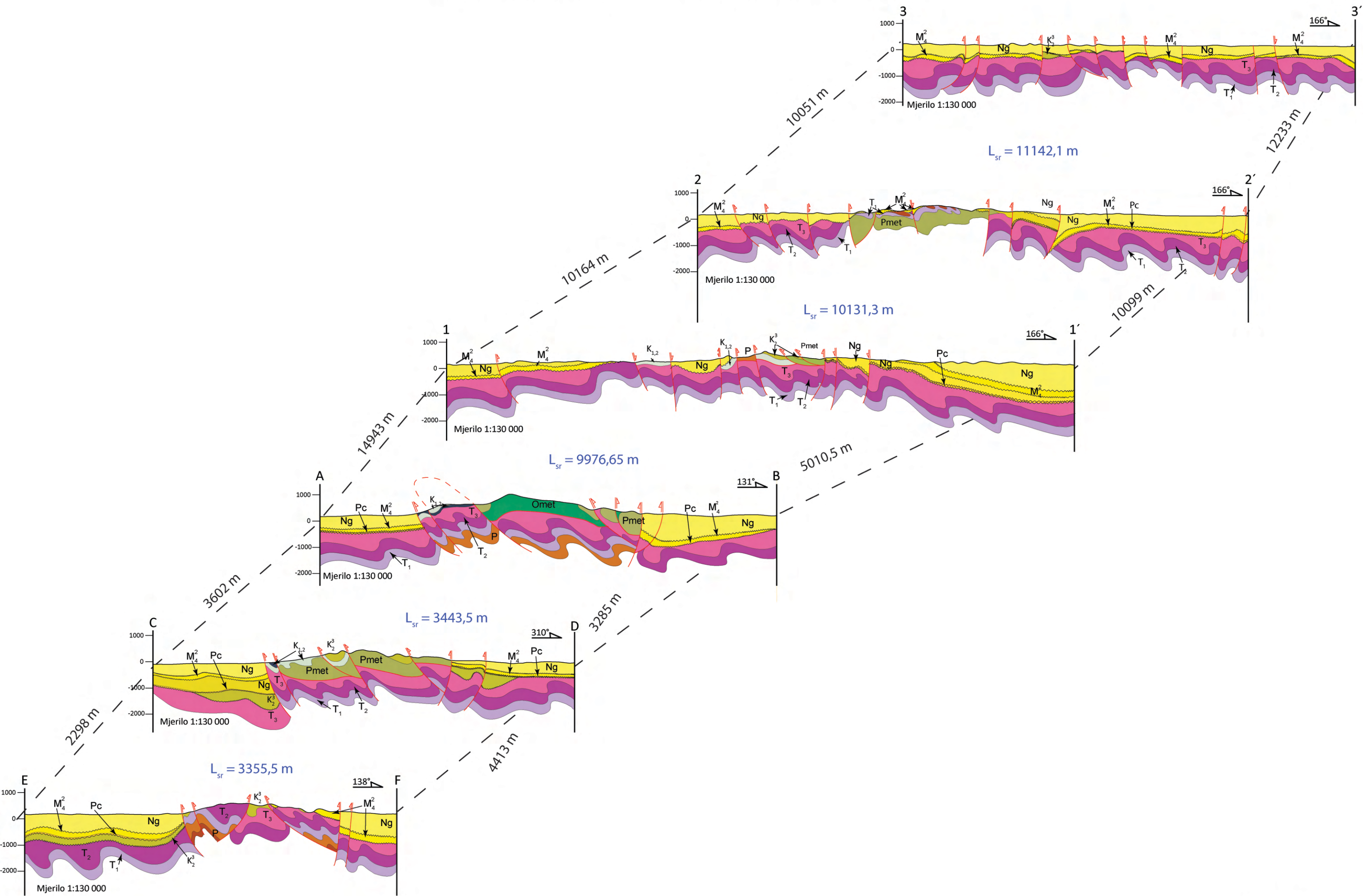
Normalni rasjed-sigurni	Transgresivna granica
Normalni rasjed-pretpostavljeni	Sinklinala
Reversni rasjed-sigurni	Antiklinala
Reversni rasjed-pretpostavljeni	Prebacena sinklinala
Regionalni reversni rasjed	Rasjed neutvrđenog karaktera
Pretpostavljeni rasjed	

●	Vrhovi	┆	Položaj sloja
▲	Naselja	┆	Folijacija
⊕	Bušotine		
—	Geološki profili		
—	Seizmički profili		

Mjerilo 1:130 000

Slika 3.5

Regionalni shematski geološki profili Medvednice



Slika 3.6

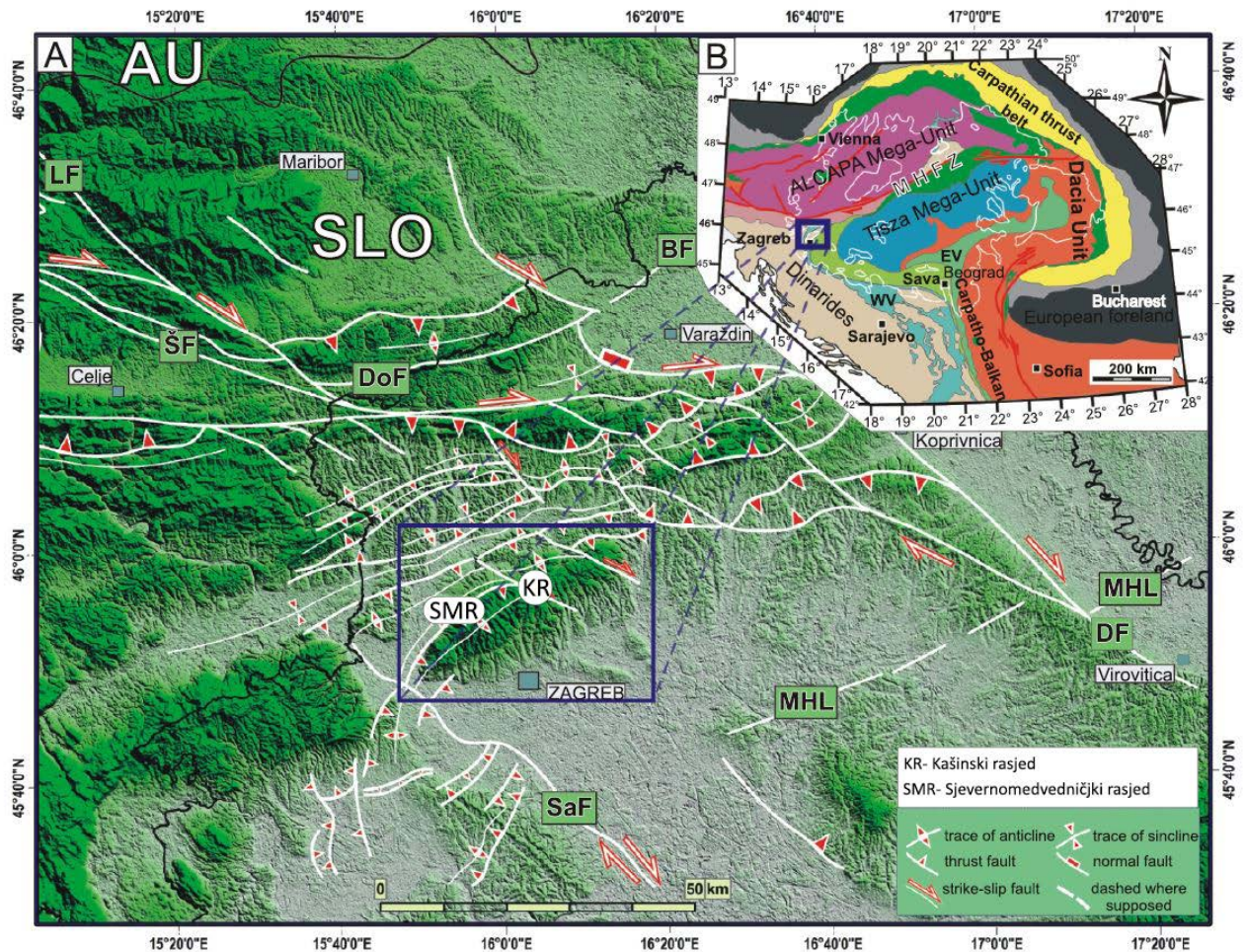
GEOLOŠKI STUP MEDVEDNICE

STAROST	GRAFIČKI PRIKAZ	Debljina (m)	TEKSTUALNI OPIS	
Holocen		do 20	Sitnozrnate gline, pijesci i šljunci; Šljunci, pijesci, siltovi i gline; Pijesci, glinoviti siltovi, gline i muljevi	
Pleistocen		15	Kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt	
NEOGEN		70	Šljunci, pijesci i gline	
	Pont 	490	Pjeskoviti i glinoviti lapori, pjeskovite i siltozne gline, pijesci i zaglinjeni pijesci; <i>Congeria rhomboidea</i> Lapori, glinoviti lapori, gline i pijesci; Paradčna abichi	
	Panon 	370	Lapori, kalcitni i glinoviti lapori, pješčenjaci; <i>Congeria banatica</i> kalcitni lapori, pješčenjaci, podređeno breče i konglomerati; <i>Radix coriatica</i>	
	Donji sarmat 	40	Konglomeratni pješčenjaci, podređeno pješčenjaci i lapori	
	Gornji baden 	250	Vapnenci, bazalne breče i konglomerati, vapnenački pješčenjaci i lapori	
	Donji baden 	470	Konglomerati, vapnenački pješčenjaci, vapnenci, glinoviti vapnenci, lapori, tufovi i tufiti	
	Karpat 	150	Konglomerati, pješčenjaci, lapori, gline, tufovi i tufiti	
	Otrnang 	280	Bazalni konglomerati, šljunci, pijesci, pješčenjaci, pločasti vapnenci, lignit	
	Paleogen		50	Polimiktni konglomerati, pelagički prigrebenski i grebenski vapnenci
	KREDA	Gornja 	250	Polimiktni konglomerati, prigrebenski, grebenski i pelagički vapnenci, siltozni lapori, pješčenjaci
Donja 		300	Vulkanogeno-sedimentni kompleks stijena: grauvske, subgrauvske, šejlovi, lapori, rožnjaci, kalkareniti; <i>Orbitolina sp.</i> , <i>Miliolidae</i>	
Gornji 		600-800	Kalcitni dolomiti; u starijem dijelu proslojci i leće šejlova; u najmlađem dijelu vapnenci i dolomitizirani vapnenci	
TRIJAS	Srednji 	400-500	Uslojeni dolomiti; u starijem dijelu gromadasti dolomitizirani vapnenci; u mlađem dijelu proslojci vapnenača, lapora, šejlova, rožnjaka, tufova i tufta	
	Donji 	350	Kvarcni pješčenjaci, kvarcne grauvske i subgrauvske, arkozni pješčenjaci, siltiti, lapori, vapnenci, dolomitni vapnenci, dolomiti	
	PERM		>350	Pješčenjaci, šejlovi, siltiti, kvarcni konglomerati i breče, u mlađem dijelu vapnenci, dolomiti i gips
		?	Škriljavi siltiti i subgrauvske, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, kvarc-sericitski i kvarc-kloritski škriljavci, kvarciti i mramori	
Devon-Karbon 		>650	Metamorfizirani vulkanogeno-sedimentni kompleks: Parametamorfiti: albit-kvarc-klorit-sericit-kalcitni škriljavci, kvarciti, mramori, filiti, šejlovi, grauvske, subgrauvske, kvarcni pješčenjaci Ortometamorfiti: zeleni škriljavci, plagioklas-kvarc-klorit-epidot-aktinolit-coisit-ortoškriljavci	

3.3. Strukturni i tektonski sklop

Medvednica je jedna od „otočna gora“ SZ Hrvatske okružena JI Alpama, SZ Dinaridima te Panonskim bazenom (slika 3.8). Današnja geološka građa, strukturni sklop i reljef Medvednice, osim sedimentacije i erozije rezultat su dugotrajne tektonske aktivnosti koja se odvijala kroz nekoliko faza, gdje su se postupno izmjenjivali ekstenzijski i kompresijski režimi naprezanja. Zbog pliocenske i kvartarne kompresije, Medvednica se u tih oko 5,5 milijuna godina izdignula za 1500-2000 m, te sada na površini imamo izložene neogenske i predneogenske tektonske i stratigrafske jedinice okružene pliocenskim i kvartarnim sedimentima (MATOŠ et al., 2014). Tektonska aktivnost i danas postoji te je ovo područje prema rezultatima dosadašnjih istraživanja svrstano u tektonski aktivno područje s godišnjim izdizanjem od 0,023 mm/god (prema podacima iz VRABEC, 1999) i horizontalnim pomacima po rasjedima od 0,004/0,46 mm/god (VERBIČ, 2005). U centralnom dijelu Medvednice određeno je izdignuće za vrijeme kvartara od 0,17-0,4 mm/god (KUK et al., 2000). Današnja brdovita morfologija Medvednice i Zagorskih gora (koje se nastavljaju u Sloveniju) rezultat su postojanja kasnomiocenskih i kvartarnih bora i „pop-up“ struktura (iz MATOŠ, et al, 2014; prema TAKŠIĆ, 1965; ŠIMUNIĆ et al., 1983; TOMLJENović & CSONTOS, 2001). U finalnoj fazi formiranja ovih bora za vrijeme najkasnijeg miocena (prije oko 6 milijuna godina) to se odvijalo pod S-J i SZ-JI kompresijom (MATOŠ et al., 2014). Spomenute bore u rasjedi rotirani su zbog desnih (*engl. dextrial*) pomaka po regionalnim SI-JZ rasjedima. Nastavak tektonske aktivnosti u pliocenu i kvartaru vidi se u boranju pliocenskih i kvartarnih naslaga uz rasjed na sjevernim obroncima Medvednice (MATOŠ et al., 2014). Uslijed posljednje miocen-kvartar deformacije, strukturni položaj miocenskih sedimenata intenzivno se mijenja po pružanju Medvednice. U SI dijelu, uz Kašinski rasjed (KR na slikama 3.5 i 3.9), miocenski sedimenti diskordantno prekrivaju oba krila antiforne i kut nagiba im je paralelan kutu nagiba krila antiforne (MATOŠ et al., 2014). Na SZ dijelu podloga miocena je diskordantno izložena na JI padinama, na nadmorskoj visini između 200 i 400 m, dok na SZ padini izbiva s površine.

Na temelju analize DEM-a određeno je da je tektonsko izdizanje koncentrirano duž JZ ruba SZ dijela Medvednice (SZ segment sjevernog medvedničkog rasjeda) (slike 3.5, 3.8-oznaka SMR; i 3.9-oznaka 14) te uz usku zonu Kašinskog rasjeda (slika 3.8) koji dijeli Medvednicu na SI i JZ dio (MATOŠ et al., 2014). Ti rezultati se slažu s dotadašnjom interpretacijom tektonski aktivnih područja (pogledati radove KUK et al., 2000; TOMLJENović & CSONTOS, 2001; VERBIČ, 2005). Kašinski rasjed do sad je interpretiran kao rasjed s desnim horizontalnim pomakom (*engl. dextrial strike slip*) (prema PRELOGOVIĆ 1998; TOMLJENović & CSONTOS, 2001; TOMLJENović et al., 2008). MATOŠ et al (2014) ukazuje na mogući normalni pomak po tom rasjedu na temelju lokalnih razlika u reljefu.



Slika 3.8. A: Tektonska karta recentnog stanja s glavnom graničnim rasjedima između jugoistočnih Alpa, Dinarida i Panonskog bazena u Sloveniji i Hrvatskoj (iz MATOŠ 2014, prema TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001 i reference u radu).
 Pojednostavljena geotektonska karta Alpa, Karpata i Dinarida (iz MATOŠ et al, 2014; pojednostavljeno prema SCHMID et al, 2008; USTASZEWSKI et al, 2009).

Legenda oznaka na slici ___: BF–Balaton rasjed, DF–Dravski rasjed, DoF–Donat rasjed, LF–Labot rasjed, MHL–Mid-Hungarian line, SaF–Savski rasjed, ŠF–Šoštanjski rasjed

U regionalnim okvirima, Medvednica zajedno s Kalnikom, Ivanšćicom i Samoborskim gorjem uvršteni su u granično područje uklinjeni u zoni neposrednog dodira Alpa na sjeveru, Tisije na istoku i Vanjskih Dinarida na jugozapadu, odnosno u granično područje prijelaza Unutrašnjih Dinarida u Zagorsko-srednjotransdanubijsku zonu (TOMLJENOVIĆ, 2002; PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ, 1998). Granice ovog područja prema Alpama obilježava Periadriatski lineament, odnosno njegovi južni ogranci (Savski i Šoštanjski rasjedi) (FODOR et al., 1998; TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001), prema Tisiji Zagreb-Zemplin lineament (TOMLJENOVIĆ, 2002; PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ, 1998), te prema Vanjskim Dinaridima čelo Savske navlake (HERAK, 1999) (slika 3.8). Ovakav specifičan položaj na granici triju geotektonskih jedinica, karakteristično se održava u trokutastoj geometriji ovog graničnog područja, uz promjenu pružanja glavnih pred-

neogenskih tektonostratigrafskih jedinica koje u odnosu na dominantno, sjeverozapadno pružanje Dinaridima, pokazuje nagli otklon u sjeveroistočno i istočno pružanje izraženo na Medvednici, odnosno Kalniku i Ivanščici (TOMLJENović, 2002).

3.3.1. Recentni strukturni sklop Medvednice

Opisani recentni strukturni sklop odnosi se na područje cijele sjeverozapadne Hrvatske, što obuhvaća osim istraživanih gora i Zagorske gore (Strahinčica, Ivanščica i Ravna gora). U okviru istraživanja priložene su karte recentnog strukturnog sklopa Medvednice i Kalnika. U tekstu su opisane i strukture izvan područja istraživanja pošto područja istraživanja ne prate strogo granice strukturnih jedinica.

Obuhvaćeno područje nalazi se u prostoru sučeljavanja tri regionalne strukturne jedinice Panonskog bazena. Njihovim neposrednim granicama pružaju se najvažniji rasjedi strukturnog sklopa. Rasjedi su reversni, predstavljeni širokim zonama. To su: Periadriatik–Drava rasjed (1) pružanja Z-I do ZSZ-JI i vergencije prema S, te Zagrebački rasjed (2) pružanja SI-JZ i vergencije prema JI.

Obuhvaćeni strukturni sklop većinom pripada Zapadnom rubnom dijelu Panonskog bazena. Izdvajaju se dvije strukturne jedinice predstavljene uzdignutim reversnim strukturama: Strahinčica–Ivanščica–**Kalnik** (1) (Struktura Kalnik vidi se na karti recentnog strukturnog sklopa Kalnika) i Žumberačka gora–**Medvednica** (3) (Medvednički dio strukture vidi se na karti recentnog strukturnog sklopa Medvednice). Svaka od navedenih gora izdvaja se i kao samostalna velika struktura. Granicama strukturnih jedinica i velikih struktura pružaju se reversni rasjedi suprotnih vergencija. I ti su rasjedi predstavljeni relativno širokim zonama. Između navedenih strukturnih jedinica postoje nizovi lokalnih uzdignutih reversnih struktura. Osobito se ističu pojedine lokalne strukture unutar kojih do površine ili neposredno ispod površine prodiru paleozojske i mezozojske stijene. Te su strukture označene važnijima, jer su prodori navedenih stijena uvjetovani njihovim položajem u strukturnom sklopu. Odvojene su strukture: Strogača–Zlatar (5), Orehovec–Kalačka (6), te unutar jedinice Žumberačka gora–Medvednica (3) Zelina–Križevci (7), nastavak Medvednice prema SI i Marija Gorica (8).

Između velikih i važnijih lokalnih uzdignutih struktura, ali i pojedinih nizova lokalnih struktura pružaju se spuštene strukture. Stisnute su između reversnih rasjeda suprotnih vergencija. Najvažnije spuštene strukture predstavljaju podbazene. Izdvojeni su: Mihovljanski podbazen (7), Zagorski podbazen (8), Križevački podbazen (9) i Stubički podbazen (10).

Za uočavanje dinamike nastanka pojedinih struktura i rasjeda najprije je potrebno istaknuti položaj obuhvaćenog područja u regionalnom strukturnom sklopu. Zapadni rubni dio Panonskog bazena (2), komu pripada najveći dio obuhvaćenog područja, nalazi se u ukliještenom položaju prema pomacima u

Dinaridima i Istočnim Alpama. To uvjetuje transpresiju prostora. To znači kompresiju prostora uz generalni desni tektonski transport kompleksa stijena koje izgrađuju Zapadni rubni dio Panonskog bazena (1). Ključni su pomaci prostora prema jugoistoku. Tim pomacima odupiru se veliki kompleksi stijena veće gustoće koji se nalaze blizu površine u Južnom rubnom dijelu Panonskog bazena (3). To su poglavito granitne stijene u široj okolini Vrbovca i paleozojski škriljavci i karbonati u Pokuplju. Stoga unutar strukturne jedinice Žumberačka gora–**Medvednica** (3) nastaje izražena kompresija prostora. Kompresija prostora prisutna je i u zaleđu te jedinice.

U nastanku velikih struktura unutar jedinice Strahinčica–Ivančica–Kalnik (1) bitan je položaj Periadriatik–Drava rasjeda (1). Rasjed je regionalnog pružanja i zapadno od obuhvaćenog područja graniči Julijskim i Istočnim Alpama. Sve do Rogateca i Đurmaneca duž zone rasjeda postoje izraženi desni horizontalni pomaci krila. Međutim, u prostoru Strahinčice, Ivančice i Kalnika postoje znatni kompleksi stijena veće gustoće koji se odupiru pomacima u krilima promatranog rasjeda. Stvara se kompresija prostora uz oblikovanje reversnih struktura. Pojavljuje se promjena pravca pružanja Periadriatik–Drava rasjeda (1) i nastaju dva kraka koji okružuju prostor u kojem se nalaze kompleksi stijena veće gustoće bliže površini. Između spomenuta dva kraka rasjeda stvaraju se kompresijske „pop-up“ strukture. Južni krak Periadriatik–Drava rasjeda (1) predstavlja rasjed Krapina–Kalnik (4), koji se prvotno spojio s glavnom zonom Periadriatik–Drava rasjeda (1) vjerojatno kod Virja. Zbog kompresije prostora u Strahinčici, Ivančici i Kalniku u recentnom strukturnom sklopu na površini se nalaze karbonatne stijene, ali i dijabazi, spiliti, andeziti i bazalti. U recentnom strukturnom sklopu ističe se glavni ogranak rasjeda koji se pruža između Ivaneca i Virja zbog pomaka Ivančice (3) i Kalnika (4) u recentnom strukturnom sklopu taj je rasjed promjenljivog pružanja, pa i karaktera.

Za ocjenu recentne tektonske aktivnosti izravno mogu poslužiti položaji, pružanja i odnosi pojedinih struktura i rasjeda, te osobito orijentacija maksimalnog kompresijskog stresa i pomaci struktura u zonama rasjeda. Zapaža se da su najvažniji rasjedi uvijek predstavljeni zonama paralelnih rasjeda. Rasjedi se zapažaju i unutar zona, ali i paralelno s glavnim rasjedima. To su većinom ogranci koji se s najvažnijim rasjedima spajaju u dubini. Položaji pojedinih rasjeda u prostoru izravno se uočavaju u priloženim dubokim seizmičkim refleksijskim profilima.

Najvažnije su tri ključne odlike strukturnog sklopa. Najprije je prisutna promjena orijentacije maksimalnog kompresijskog stresa i to idući od Medvednice (5) do Ivančice (2) u lijevo. Podaci su slijedeći: Medvednica 0-180°, Zlatar Bistrica 355-175°, Marija Gorica i Križevci 350-170°, Brežice i Gotalovec 345-165°, te Ivančica uz zonu Periadriatik–Drava rasjeda (1) kod Tužnog 340-160°. Orijetacija maksimalnog kompresijskog stresa utječe na pomake struktura i njihovih dijelova. Pri tom je važno uočiti da je prisutna poprečna i dijagonalna orijentacija stresa naspram pružanja struktura i rasjeda. To rezultira poprečnim i dijagonalnim pomacima struktura u krilima rasjeda. Uz to se uočava da pojedini najvažniji rasjedi strukturnog sklopa pokazuju promjenljivi pravac pružanja, primjerice: Periadriatik–Drava rasjed (1), rasjed

Krapina–Kalnik (4), rasjed Lobor–Novi Marof (11), rasjed i Zagrebački rasjed (2). Nadalje u čitavom strukturnom sklopu postoje nizovi rasjeda sustava SZ–JI do SSZ–JJI, mjestimice i S–J. Rasjedi sijeku strukturne jedinice, velike i lokalne strukture. Najuočljivije su široke zone tih rasjeda u području Medvednice (5). Osobito se ističu pomaci pojedinih zona najvažnijih rasjeda sklopa. Njihovi pomaci su uvijek u desno. To znači da duž rasjeda spomenutog sustava prevladava desna horizontalna komponenta pomaka krila. Naposljetku navedene promjene pružanja najvažnijih rasjeda sklopa, desni pomaci struktura duž rasjeda sustava SZ–JI, SSZ–JJZ, mjestimice S–J i ustanovljeni smjerovi pomaka struktura u zonama rasjeda ukazuju da je prisutna retrogradna rotacija dijelova strukturnih jedinica i struktura. Najvažnije je naglasiti da se rotacija događa u uvjetima kompresije prostora. Pri tom su ključni odnosi između prisutne izražene kompresije prostora unutar strukturne jedinice Žumberačka gora–Medvednica (3) koja se pruža u zoni dodira Zapadnog i Južnog rubnog dijela Panonskog bazena i oblikovanja struktura u širem prostoru pružanja Periadriatik–Drava rasjeda (1) duž zone dodira Centralnog (1) i Zapadnog rubnog dijela Panonskog bazena (2).

Za cjelovito uočavanje strukturnih odnosa obuhvaćenog sklopa potrebno je navesti najvažnije osnovne podatke o prisutnim strukturama i rasjedima.

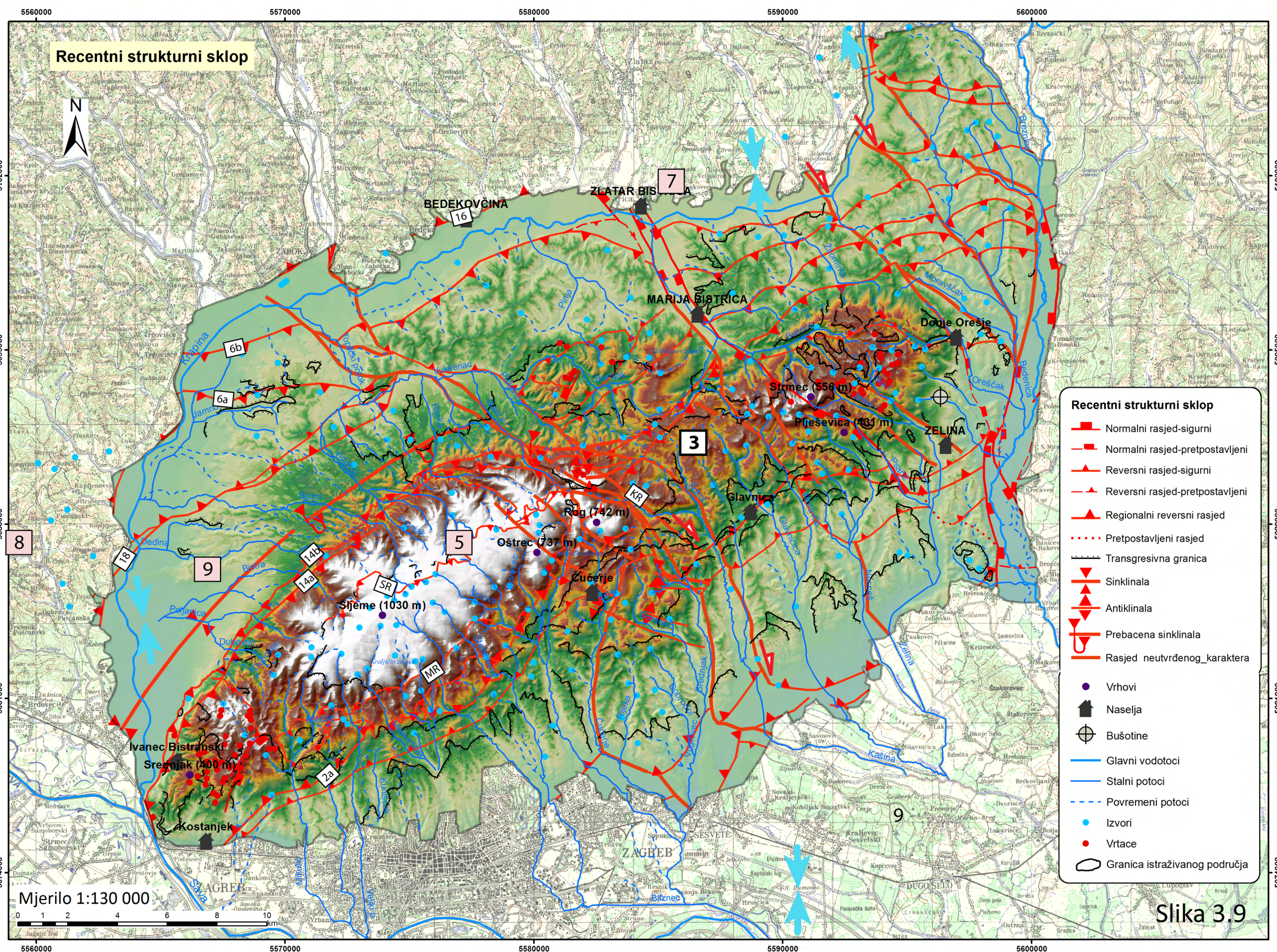
Periadriatik–Drava rasjed (1) predstavljen je zonom reversnih rasjeda širine do 2,5 km i vergencije prema S i SI. Najčešći su nagibi između 70° i 80°. Skokovi podinske plohe neogenskih naslaga dosižu kod Ludbrega 3000 m, a kod Koprivničkih Brega 4000 m. Glavni ogranak promatranog rasjeda ograničava Ivančicu i Kalnik (3) sa sjeverne strane. Promjenljivog je nagiba između 60° i 80°, ali i karaktera zbog rotacije navedenih velikih struktura. Rasjed Krapina–Kalnik (4) predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema J. Širina zone uz Kalnik iznosi 0,5–1,0 km. Najčešći su nagibi oko 70°. Rasjed Lobor–Novi Marof (11) pruža se duž južnog, jugoistočnog krila Ivančice (2). Zona reversnih rasjeda vergencije prema JJI dosiže širinu 1,5 km kod Topličice. Nagibi su promjenljivi, između 58° i 83°. Rasjed Maretić–Ljubeščica (12) pruža se duž sjevernog krila Kalnika (3). U zoni širine do 0,5 km reversni rasjedi vergencije prema S promjenljivog su nagiba između 50° i 80°. Odlika velikih struktura Ivančice i Kalnika (3) jesu nizovi reversnih rasjeda suprotnih vergencija koji su paralelnog pružanja rubnim rasjedima struktura. Ti rasjedi odvajaju najistaknutije dijelove struktura. Važni su i rasjedi sustava SZ–JI. Osobito se ističe zona rasjeda pružanja gotovo S–J u dolini Bednje kod Novog Marofa. Zamjetno je širenje prostora između normalnih rasjeda, jer je promatrana zona paralelna orijentaciji kompresijskog stresa.

Između Periadriatik–Drava rasjeda (1) i njegovog glavnog ogranka nalazi se niz reversnih struktura. Glavna odlika jest kompresija prostora, što se razabire po skokovima duž reversnih rasjeda suprotnih vergencija koje dosižu 2000 m. Ipak, najveća kompresija prisutna je u prostoru Varaždinskotopličkog gorja (2). Pojavljuju se reversni rasjedi paralelni glavnoj zoni Periadriatik–Drava rasjeda (1) gdje nastaju najveća naprezanja zbog rotacije Ivančice i Kalnika (3).

Strukture između Ivančice, Kalnika (3) i Medvednice (5) jesu, zbog kompresije prostora, stisnute i uske, a duž najistaknutijih dijelova rasjedi su reversni suprotnih vergencija. Uzdizanje stijena veće gustoće je znatno, pa se oko Mihovljana nalaze izdanci trijaskih karbonatnih stijena. U Mihovljanskom (6), Zagorskom (7) i Križevačkom (8) podbazenu debljine neogensko–kvartarnog kompleksa stijena veće su od 2000 m, a kod Zlatar Bistrice i 2500 m. Skokovi duž rasjeda koji graniče podbazenima su znatni, između 1500 m i 2500 m. Najčešći nagibi tih rasjeda jesu između 60° i 80°. Još se ističu i nizovi rasjeda sustava SZ–JI, SSZ–JJI do S–J koji sijeku strukture, te osobito široke zone u dolini rijeke Krapinice, te između Zlatara i Zlatar Bistrice.

U strukturnom sklopu ističe se Medvednica (5). Predstavlja uzdignutu strukturu pružanja SI–JZ. Najvažniji je Zagrebački rasjed (2), predstavljen zonom reversnih rasjeda vergencije prema IJI i širine 2-7 km. Unutar zone postoje paralelni rasjedi, a JJI od glavne zone pružaju se i ogranci istih značajki. Najčešći nagibi su između 65° i 85°. Skokovi podinske plohe neogenskih naslaga uz Savski bazen (7) veći su od 2500 m. Sa sjeverozapadne strane Medvednica (5) je ograničena rasjedom Bistra–Laz–Bisag tj sjevernim medvedničkim rasjedom (14 na slici 3.9. i SMR na slikama 3.5 i 3.8). Rasjed je reversnog karaktera, vergencije prema SZ i širine zone do 1 km. Skokovi podinske plohe neogenskih naslaga dosežu 2500 m. U Medvednici (5) se ističe i rasjed sustava SZ–JI između Stubice i Kašine (Kašinski rasjed), koji odvaja dva glavna strukturna bloka Medvednice (5). Radi se o zoni širine do 1,5 km uz prevladavanje desnih horizontalnih pomaka krila.

Rasjed Kostanjevica–Brežice–Orosolavje–Križevci (6) graniči strukturnoj jedinici Žumberačka gora–Medvednica (3). Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema SZ i S širine do 3,5 km. Prosječni nagib iznosi 60-75°. Skokovi podinske plohe neogenskih naslaga u Zagorskom podbazenu (7) dosižu 2500 m.



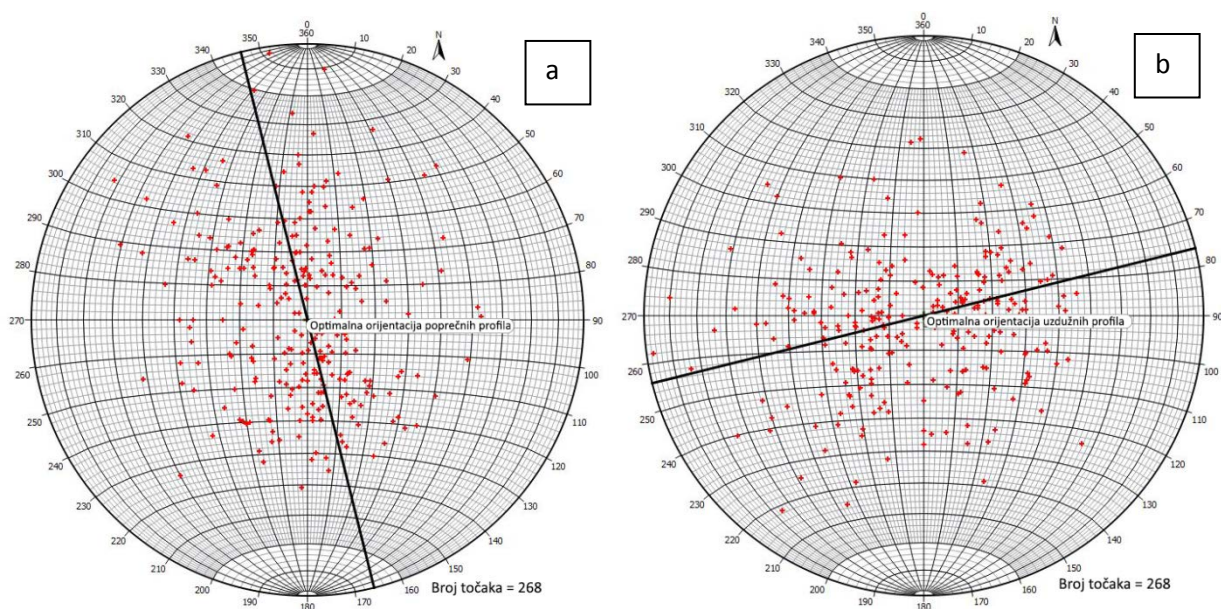
Recentni strukturni sklop

- Recentni strukturni sklop**
- ▬ Normalni rasjed-sigurni
 - ▬ Normalni rasjed-pretpostavljeni
 - ▴ Reversni rasjed-sigurni
 - ▴ Reversni rasjed-pretpostavljeni
 - ▴ Regionalni reversni rasjed
 - ⋯ Pretpostavljeni rasjed
 - Transgresivna granica
 - ▾ Sinklinala
 - ▴ Antiklinala
 - ▾ Prebacena sinklinala
 - ▬ Rasjed neutvrdenog_karaktera
 - Vrhovi
 - Naselja
 - ⊕ Buštine
 - Glavni vodotoci
 - Stalni potoci
 - - - Povremeni potoci
 - Izvori
 - Vrtace
 - Granica istraživanog područja

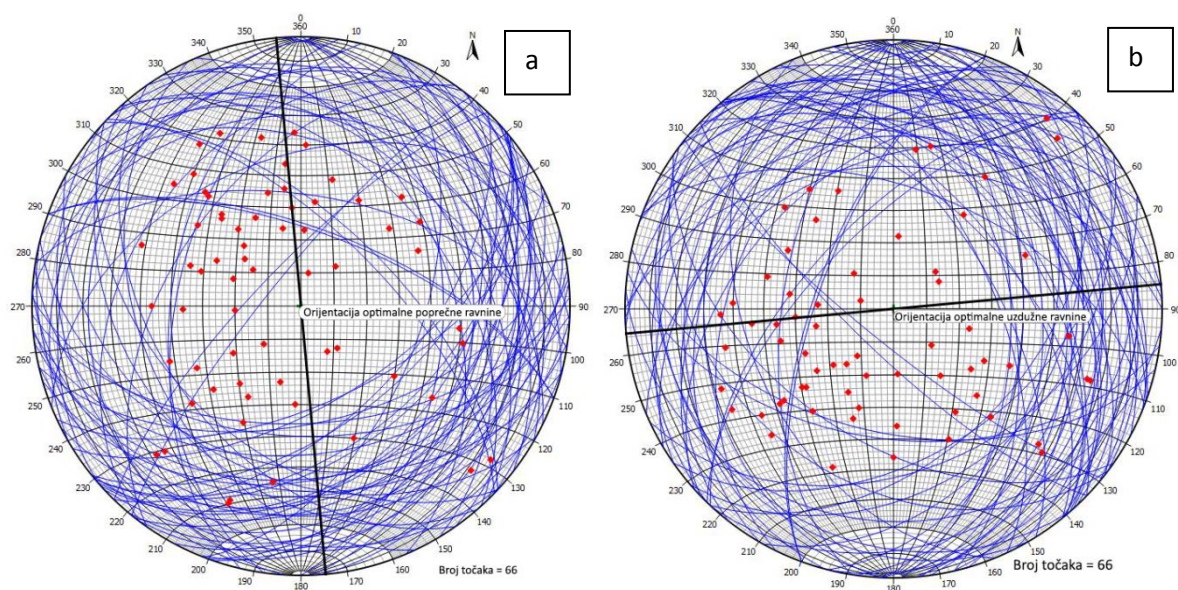
Mjerilo 1:130 000

Slika 3.9

Na temelju podataka o mjerenjima položaja slojeva (266 mjerenja) (slika 3.10) te mjerenja folijacija (66 mjerenja) (slika 3.11), preuzetih s listova OGK za istraživano područje, načinjena je stereografska analiza kako bi se odredile optimalne orijentacije poprečnih i uzdužnih profila (slika 3.10). Optimalna orijentacija poprečnih profila je 166-346°, a uzdužnih, 76-256° (slika 3.10). Zanimljivo je da je optimalna orijentacija poprečnih profila na Medvednici okomita u odnosu na optimalnu orijentaciju poprečnih profila na Žumberku i Samoborskom gorju.



Slika 3.10. Optimalne orijentacije poprečnih (a) i uzdužnih (b) profila na temelju stereografske analize 268 mjerenja položaja slojeva preuzetih s listova OGK za područje Medvednice



Slika 3.11. Optimalne orijentacije poprečnih i uzdužnih ravnina na temelju stereografske analize 66 mjerenja folijacija slojeva preuzetih s listova OGK za područje Medvednice

Područje Medvednice tektonski iznimno je zamršeno što je već prikazano na geološkoj karti i geološkim profilima. U ovom radu bit će ukratko opisan položaj Medvednice u regionalnim okvirima na temelju najnovijih znanstvenih radova te njezine strukturne značajke na temelju disertacije TOMELJNOVIĆ, 2002.

U daljnjim potpoglavljima biti će ukratko opisane strukturne značajke Medvednice preuzete iz TOMLJENOVIC, 2002.

3.3.2. D₁ Deformacijski događaj: regionalni metamorfizam vrlo niskog do niskog stupnja (gornja jura-donja kreda; K/Ar 122-110 Ma)

Najstariji D₁ deformacijski događaj obilježava stvaranje sinmetamorfne S₁ folijacije i L₁ lineacije (LS strukturni sklop) koje su u ovom radu prepoznate kao najstarije penetrativne strukture u deformacijskoj sekvenciji niskometamornog kompleksa Medvednice. Ovaj je deformacijski događaj rezultirao lokalnom pojavom milonita zabilježenih u para i u ortometamornim stijenama, uz lijepo razvijene mikrostrukture monoklinske simetrije (većinom "pressure shadow" strukture s mineralima klorita oko porfiroklasta albita, porfiroblasta aktinolita i kloritoida, sigma-klasti kvarca i kalcita, "mica-fish" strukture, smične mikrozone C'-tipa i asimetrični budeni) koje sve potvrđuju ne-koaksijalni, posmični karakter D₁ deformacijskog događaja, uz smicanje krovine u smjeru sjeveroistoka, promatrano u recentnom geografskom koordinatnom sustavu. Međutim ako se u obzir uzme naknadna, post-D₁ rotacija strukturnog bloka Medvednice te regionalna rotacija Jadranske mikroploče, obje utvrđene na temelju paleomagnetskih i GPS mjerenja (iz TOMLJENOVIC, 2002; MARTON et al., 2002, CALAIS et al., 2002), primarna orijentacija smicanja krovine bila bi u smjeru sjevera-sjeverozapada (vidi u narednom tekstu ovog poglavlja). Na temelju recentnih strukturnih odnosa zapaženih na Medvednici teško je ocijeniti da li je D₁ smicanje posljedica regionalnog deformacijskog događaja ekstenzijskog ili kompresijskog karaktera. U ovom sam radu pretpostavio drugo navedenu mogućnost vjerojatnijom i to zbog dva razloga. Prvo stoga što se čini da je u središnjem dijelu Medvednice gdje su niskometamorfne stijene sustavno uzorkovane, pojava milonitnih stijena učestalija u jugozapadnom dijelu te postaje manje zastupljena idući dalje prema sjeveroistoku. U ovom dijelu niskometamornog kompleksa lineacija izduženja pokazuje preferirani nagib prema jugozapadu pa se stoga, uzevši u obzir ove činjenice, može očekivati da bi se idući u smjeru tektonskog transporta krovine prema sjeveroistoku postupno prešlo iz domene duktilno deformiranih niskometamornih stijena u domenu manje duktilnih, pa konačno i kataklastično deformiranih stijena. Drugo stoga što bi se pretpostavljeni kompresijski regionalno-metamorfni D₁ događaj, putem povratne rotacije u prvotnu orijentaciju, dobro uklopio u regionalni tektonski okvir obilježen obduciranjem ofiolita tijekom gornje jure i donje krede (BABIC, et al., 1979; ŽUPANIĆ, et al., 1981; HALAMIC 1998; PAMIC et al., 1998). Prema tome D₁ deformacijski događaj moguće je povezati s obduciranjem navlake(a) ofiolita preko istočnog ruba Jadranske

mikroploče. Dobro izraženo pružanje duljih osi mezoskopskih budena i lećastih do sferoidalnih blokova zabilježeno u ofiolitnom kompleksu središnjeg dijela Medvednice moguće je također povezati s istim posmičnim D1 događajem. U ovako pretpostavljenom tektonskom scenariju niskometamorfni kompleks Medvednice nalazio bi se u strukturnoj poziciji ispod navlake(a) ofiolita, dosegovši pri tom P-T uvjete niskometamornog regionalnog metamorfizma tijekom gornje jure odnosno u donjoj kredi (K/Ar 122-110 Ma).

3.3.3. D₂ deformacijski događaj: kredno (post-albsko-pred-senonsko) boranje

D₂ deformacijski događaj rezultirao je stvaranjem F₂ bora u stijenama niskometamornog kompleksa Medvednice koje recentno pokazuju NE-pružanje. D₂ boranje pratilo je i formiranje S₂ klivaža osne plohe, odnosno krenulacijskog klivaža te L₂ lineacije presjeka između folijacije i klivaža i L₂ "pencil" struktura. Duž krila i u zonama maksimalne zakrivljenosti mezoskopskih F₂ bora često su razvijene i manje parazitske bore s karakteristično varijabilnom simetrijom idući iz krila prema zonama maksimalne zakrivljenosti F₂ bora. Osi F₂ bora paralelne su s L₁ lineacijom izduženja stvorenom tijekom prethodnog D₁ deformacijskog događaja. Promatrane u mjerilu cjelokupno otkrivenog niskometamornog kompleksa Medvednice mezoskopske F₂ bore pokazuju preferiranu orijentaciju unutar pojedinih strukturnih domena ukazujući na taj način na F₂ boranje kilometarskog mjerila. Najizrazitiju kilometarsku D₂ boru predstavlja antiforma Sljeme locirana u središnjem dijelu Medvednice. Orijentacija ploha S₁ folijacije, izraziti, preferirani jugozapadni nagib osi F₂ mezoskopskih bora i L₂ lineacije presjeka te varijacija u simetriji mezoskopskih F₂ bora u ovom dijelu niskometamornog kompleksa ukazuju na postojanje megaskopske kilometarske antiforme koja tone prema jugozapadu s nagibom od 30° prema azimutu 220°. Prema sjeverozapadu i jugoistoku antiforma Sljeme je omeđena Sljemenskim (slika 3.5 i 3.9-oznaka SR) i Medvedgradskim rasjedom (slika 3.5 i 3.9-oznaka MR), reversnim rasjedima jugoistočnog smjera nagiba, po kojim je niskometamorfna podloga dovedena u strukturni položaj preko primarno transgresivnog gornjokredno-paleocenskog pokrova, što ukazuje da je ovo rasjedanje uslijedilo nakon gornjeg senona, odnosno nakon D₂ boranja. Nakon rekonstrukcije u strukturni položaj prije reversnog rasjedanja i prije gornjosenonske transgresije strukturni položaj metamornog kompleksa je u jezgri antiforme, odnosno strukturno ispod ofiolitnog kompleksa Medvednice koji je reliktno sačuvan u jezgri sinforme locirane na sjeverozapadu. Korelativni strukturni položaj ofiolitnih stijena iznad niskometamornih stijena zabilježen je i u dubokoj bušotini u središnjem dijelu Hrvatskog zagorja.

Nakon povratne rotacije u primarnu orijentaciju, D₂ megaskopske i mezoskopske strukture pružaju se prema sjeveru-sjeverozapadu te ukazuju na D₂ deformacijski događaj koji obilježava kompresija po pružanju WSW-ENE. Starost D₂ deformacijskog događaja pretpostavlja se u razdoblju od alba do senona.

3.3.4. D₃ deformacijski događaj: paleocensko-eocensko boranje i reversno rasjedanje s translacijom krovine prema WSW

D₃ deformacijski događaj rezultirao je stvaranjem reversnih rasjeda i bora te pratećih struktura koje su zabilježene u stijenama niskometamornog kompleksa te u gornjokredno-paleocenskim naslagama Medvednice (D₁(KZ-Pc)). U gornjokredno-paleocenskim naslagama na Medvednici tijekom ovog deformacijskog događaja stvorene su najstarije penetrativne mezoskopske deformacijske strukture, lijepo razvijene u hemipelagičkim mikritima Scaglia-tipa i u turbiditnim sekvencijama gornjokredno-paleocenske starosti. Ove strukture čine zatvorene do izoklinalne bore NW-vergencije, klivaž osne plohe, lineacija presjeka između slojevitosti i klivaža i "pencil" strukture paralelne s osima bora. Mezoskopske bore su na izdancima gotovo u pravilu reducirane reversnim rasjedima, često razvijenim kao set blisko razmaknutih rasjednih ploha čineći na taj način zone kinematski korelativne sa smičnim zonama obilježenim duktilnom i krtom deformacijom. Sve zajedno dovode do formiranja kompresijskih dupleks struktura i mezoskopskih ljustaka, sigmoidalnog boranja klivaža i slojevitosti, lokalno uz budiniranje i formiranje Riedelovih smičnih ploha i ešaloniranih tenzijskih pukotina. Sve ove strukture ukazuju na progresivni ne-koaksijalni deformacijski događaj obilježen tektonskim transportom prema sjeverozapadu promatrano u recentno geografskom koordinatnom sustavu. U jugozapadnom dijelu Medvednice osi mezoskopskih bora, lineacija presjeka slojevitosti i klivaža pokazuju preferirani nagib prema jugozapadu pod kutom od 30° prema azimutu 210° ukazujući time na megaskopsko D₃ boranje u ovom dijelu Medvednice. Ovo se boranje dobro iskazuje na profilima kroz Medvednicu kao set zbijenih do izoklinalnih sinklinala koje tonu prema jugozapadu, od kojih su dvije reducirane i rasjednute Sljemenskim, odnosno Medvedgradskim rasjedom (slike 3.5 i 3.9). Između sinklinala zapaža se otvorenija kilometarska antiklinala formirana iznad antiforme Sljeme. Nakon povratne rotacije u primarnu orijentaciju, megaskopske i mezoskopske strukture nastale tijekom D₃ deformacijskog događaja pružaju se prema sjeveru-sjeverozapadu, ukazujući time na ne-koaksijalni D₃ deformacijski događaj obilježen tektonskim transportom u smjeru zapada-jugozapada.

Ostaje objasniti recentni strukturni položaj korelativnih trijasko-krednih naslaga u jugozapadnom dijelu Medvednice. Ove naslage nalaze se iznad gornjokredno-paleocenskih naslaga, iznad ofiolitnog i niskometamornog kompleksa Medvednice. Ovi su profili načinjeni uz pretpostavku da se izrazito jugozapadno tonjenje osi mezoskopskih bora, lineacije presjeka i „pencil“ struktura, zabilježeno u niskometamornim stijenama i u gornjokredno-paleocenskim naslagama u središnjem dijelu Medvednice, zadržava isti kut nagiba (30°) dalje prema jugozapadu. Valja međutim reći da se i prije kontakta između trijaskih i gornjokredno-paleocenskih naslaga preferirani jugoistočni nagib slojnih ploha u gornjokredno-paleocenskim naslagama mijenja u nagib prema sjeveroistoku i jugozapadu, odnosno pružaju se praktički paralelno s ovim kontaktom. Mezoskopske bore u gornjokredno-paleocenskim naslagama zabilježene uz sam kontakt orijentirane su subhorizontalno s pružanje sjever-jug. Promjena pružanja slojeva i bore ove orijentacije ukazuju na moguće naknadno naguravanje jugozapadnog bloka Medvednice preko

gornjokredno-paleocenskih naslaga, a ne navlačni odnos među ovim jedinicama. Stoga smatram da se recentni odnos među trijaskim i gornjokredno-paleocenskim naslagama kakav se zapaža u ovom dijelu Medvednice ne može sa sigurnošću interpretirati kao rezultat navlačenja. Starost D_3 deformacijskog događaja pretpostavlja se kroz vrijeme paleocena i eocena premda valja pretpostaviti mogućnost i njegova ranijeg začetka uz kulminaciju tijekom paleocena te daljnji progresivni napredak prema zapadu, odnosno jugozapadu u područje Vanjskih Dinarida.

3.3.5. D_4 deformacijski događaj: gornjopaleogenska-pred-otnanska rotacija Medvednice u smjeru kretanja kazaljki sata (CW) za 100°

D_4 deformacijski događaj pretpostavljen je na temelju podataka prikupljenih dvama različitim, ali kompatibilnim metodama: strukturnom analizom i paleomagnetskim mjerenjima. Završetak prethodnog i početak novog D_4 deformacijskog događaja utvrđen je strukturnom analizom na izdancima gornjokredno-paleocenskih naslaga na Medvednici kojom je utvrđena naredna generacija penetrativnih mezoskopskih struktura ($D_{2(1<2-Pc)}$). Ovu generaciju čine rasjedi NE-pružanja stvoreni tijekom prethodnog deformacijskog događaja (D_3) koji su reaktivirani iz prethodno reversnih s translacijom krovine u smjeru sjeverozapada, u pružne, desne rasjede s translacijom krovine prema jugozapadu. Osim na plohama ovih rasjeda desni karakter smicanja u smjeru jugozapada zabilježen je na praktički svim različito orijentiranim setovima penetrativno razvijenih ploha u gornjokredno-paleocenskim naslagama (plohama slojeva, klivaža, ranije stvorenim smičnim plohama), uz dominaciju ploha s istočnim, odnosno sjeveroistočnim pružanjem. Na svim ovim plohama zabilježene su dobro očuvane strije koje nedvojbeno ukazuju na izrazito desni karakter smicanja ostvaren po ovim plohama. Ova izrazita promjena iz prethodno reversnog u naknadno pružno smicanje može se pretpostaviti kao posljedica rotacije strukturnog bloka unutar stabilnog polja paleonaprezanja, kao posljedica rotacije polja paleonaprezanja oko stabilnog strukturnog bloka, odnosno kombinacijom oba procesa. Ovaj tip struktura nije zabilježen u mlađim, neogenskim stijenama pa je stoga i njegova starost pretpostavljena u razdoblju nakon paleocena, odnosno prije otnanga.

Podaci paleomagnetskih mjerenja koja su načinjena u miocenskim i gornjokrednim naslagama na Medvednici i u okolnom bližem i širem području pokazuju sljedeće značajke (slika 3.12).

U miocenskim naslagama Medvednice te u području sjeverne Hrvatske (u Hrvatskom zagorju i u Slavoniji) utvrđena je umjerena rotacija u smjeru obrnutom od kretanja kazaljki sata (CCW) (MARTON, et al., 1999; 2002) koja je moguće posljedica dvaju rotacijskih događaja. Mlađi događaj post-pontske, moguće pliocenske (?) starosti pouzdano je utvrđen na većem broju izdanaka u srednjomiocenskim i gornjomiocenskim naslagama koje pokazuju prosječnu deklinaciju prema azimutu 330° (slika 3.12 A i B). Na mogući stariji rotacijski događaj (moguće tijekom karpata) ukazuju deklinacije u naslagama otnanga koje su pretežito prema azimutu $325-315^\circ$. Vrlo slična orijentacija deklinacije zabilježena je u miocenskim naslagama i u širem regionalnom području prema sjeveru i sjeveroistoku (slika 3.12 A; MARTON et al., 1992)

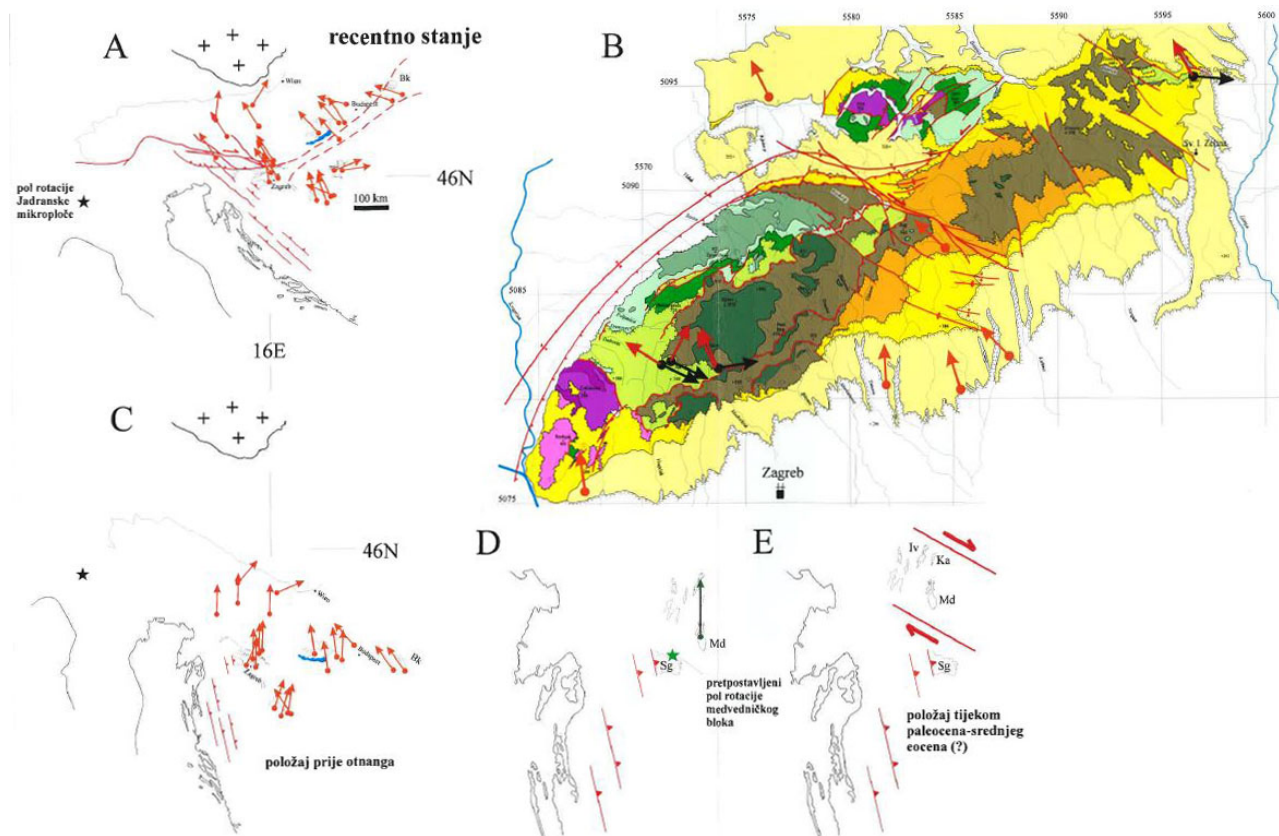
te i u eocenskim fliškim naslagama Istre (slika 3.12 A; MARTON et al., 1995). Ovakva regionalna, podudarna orijentacija deklinacija u eocenskim i miocenskim naslagama zabilježena u ovom regionalnom području interpretira se kao posljedica rotacije Jadranske mikroploče za oko 35° obrnuto od kretanja kazaljke sata (CCW) u vremenu nakon srednjeg miocena (MARTON et al., 2002). Recentna rotacija ove mikroploče u odnosu "*stabilnu Europu*" također je utvrđena na temelju seizmičkih podataka i GPS mjerenja, oko pola lociranog u području zapadnih Alpa (ANDERSON & JACKSON, 1987; CALAIS et al., 2002).

Podaci paleomagnetnih mjerenja dobiveni u gornjokredno-paleocenskim naslagama na Medvednici pokazuju sljedeće značajke. Komponente zabilježene pri nižim temperaturnim vrijednostima "deblokiranja" (tj. komponente naknadne, post-taložne magnetizacije stijena) pokazuju deklinacije sukladne s onim dobivenim mjerenjem u miocenskim naslagama Medvednice i šireg okolnog područja (slika 3.12 B, narančaste strelice). Na temelju ovoga se pretpostavlja da je ova naknadna magnetizacija gornjokredno-paleocenskih naslaga izvršena nakon taloženja ovih naslaga, ali prije završne post-pontske-pliocenske (?) CCW rotacije ovog i okolnog regionalnog područja. Komponente zabilježene pri visokim temperaturnim vrijednostima (tj. komponente vjerojatne primarne magnetizacije) pokazuju prosječnu deklinaciju prema azimutu 100° (slika 3.12 B, crne strelice), što ukazuje na značajnu CW rotaciju Medvednice u vremenu nakon paleocena, a prije otnanga.

Radi povratne rotacije medvedničkog bloka u prvotnu orijentaciju za vrijeme paleogena, najprije sam rotirao cijelo regionalno područje u kojem je u miocenskim i eocenskim naslagama zabilježena sjeverozapadna orijentacija deklinacija (slika 3.12 A), uz pretpostavku da je ona posljedica CCW rotacije Jadranske mikroploče za oko 35°, oko pola lociranog u zapadnim Alpama (45.36°N | 9.10°E, CALAIS et al., 2002; slika 3.12 C). Kao rezultat ove povratne rotacije recentno dinaridsko pružanje NW-SE, promijenilo se u NNW-SSE. Nakon toga, povratnom rotacijom medvedničkog bloka za kut od 100° CCW da bi se kompenzirala utvrđena CW rotacija, ovaj je blok dovedenu gotovo idealno paralelno pružanje s pružanjem Dinarida (slika 3.12 D). Za ovu drugu povratnu rotaciju koristio sam pol lociran sjeverno od Samoborskog gorja pod pretpostavkom da ono nije hitnije promijenilo svoju prvotnu orijentaciju u odnosu na Dinaride. NNW-SSE pružanje D₃ struktura u ovom području za koje je pretpostavljeno da su nastale u razdoblju od paleocena do eocena (vidi u prethodnom dijelu ovog poglavlja) podržava ovakav izbor.

Da bi se objasnila značajna CW rotacija medvedničkog bloka u vremenu nakon paleocena a prije otnanga, pretpostavio sam daje ovaj blok, zajedno s ostalim blokovima gorskih masiva koji se recentno nalaze južno od Periadrijatskog lineamenta (npr. Ivanščica, Kalnik i drugi), primarno bio lociran još sjevernije, nakon čega je otkinut sa sjevernog ruba Dinarida te potom i rotiran u smjeru kretanja kazaljki na satu unutar Zagorsko-srednjotransdanubijske smične zone, omeđene na sjeveru sa Periadrijatskim lineamentom (slika 3.12 E). Rotacijom i smicanjem unutar ove smične zone moguće je objasniti i zabilježenu pojavu reaktiviranja praktički svih ranije penetrativno razvijenih ploha u gornjokredno-paleocenskim naslagama (D₂(KZ-Pc)). Promatrano u regionalnom tektonskom okviru, ova rotacija vremenski odgovara ekstruziji

Alcapa bloka iz područja Alpa dalje prema istoku (gornji eocen-oligocen do donji miocen; CSONTOS et al., 1992; FODOR et al., 1998).



Slika 3.12. A: Podaci paleomagnetskih mjerenja u miocenskim naslagama jugozapadnog dijela Panonskog bazena i istočnih Alpa. B: Podaci paleomagnetskih mjerenja u miocenskim (narančaste strelice) i u gornjokredno-paleocenskim (crvene i crne strelice) naslagama na Medvednici. C; D i E prikazuju položaje prije otnanga i položaj tijekom paleocena i srednjeg eocena (?) (TOMLJENVIĆ, 2002).

3.3.6. D₅ deformacijski događaj: egenburška ekstenzija otnanška ENE ekstenzija

D₅ deformacijski događaj rezultirao je stvaranjem megaskopskih, listričkih, normalnih rasjeda NNW-pružanja (D₁(Ng)) zabilježenih interpretacijom seizmičkih profila u području Hrvatskog zagorja i u Karlovačkog podbazena. Donjomiocenska starost ovog deformacijskog događaja utvrđena je na temelju starosti sin-tektonskih klastičnih naslaga čija je starost određena na temelju bušotinskih podataka. Ovim je deformacijskim događajem u području Hrvatskog zagorja formirano nekoliko polugraba te središnja, simetrična tektonska graba u Karlovačkom podbazenu. Na temelju pretežita NNW-pružanja ovih normalnih rasjeda uz pretpostavku da je po njima ostvaren normalan pomak okomit na pružanje pretežiti smjer ekstenzije tijekom D₅ deformacijskog događaja pretpostavljen je prema istoku-sjeveroistoku.

Kinematski kompatibilan set konjugiranih normalnih rasjeda zabilježen je na izdancima bazalta i serpentinita na sjevernom rubu Medvednice te i u srednje i gornjotrijaskim naslagama otkrivenih na istočnom i jugoistočnom rubu Samoborskog gorja ($D_2(Pz-Mz)$). Proračun orijentacije glavnih osi paleonaprezanja na ovim rasjedima ukazuje na deformacijski događaj s ekstenzijom u smjeru sjeveroistoka i jugozapada. Na temelju zabilježenih strukturnih značajki i starosti sin-tektonskih klastičnih naslaga, D_5 deformacijski događaj predstavlja u području istraživanja najstariji, odnosno prvi deformacijski događaj ekstenzijskog karaktera tijekom kojeg je ostvareno inicijalno otvaranje bazenskih prostora u ovom dijelu Panonskog bazena. Moguće je da je izrazita ekstenzija u smjeru istoka-sjeveroistoka djelomice bila i posljedicom nasuprotno orijentirane kompresije na što ukazuju podaci strukturne analize u području Slovenije. U tom je području duž Periadrijskog lineamenta zabilježen značajan desni pomak koji je interpretiran kao posljedica NNW-SSE kompresije i istovremene, nasuprotno orijentirane ekstenzije također tijekom donjeg miocena (FODOR et al., 1998).

3.3.7. D_6 deformacijski događaj: karpatska ?, badensko-sarmatska WNW-ENE ekstenzija

D_6 deformacijskim događajem je u području istraživanja stvorena nova generacija konjugiranih normalnih rasjeda NE-pružanja zabilježena interpretacijom seizmičkih profila u Hrvatskom zagorju i u Karlovačkom podbazenu te strukturnom analizom na izdancima. Ovi se rasjedi često pojavljuju zajedno s pružnim lijevim i desnim rasjedima NE-, odnosno NW-pružanja, pri tom uz dominaciju rasjeda lijevog karaktera koji se pojavljuju kao rasjedne zone koje omeđuju pojedine strukturne blokove s izrazitom ekstenzijom. D_6 deformacijski događaj reaktivirao je i normalne rasjede stvorene tijekom prethodnog D_5 deformacijskog događaja, na što ukazuje značajna razlika u debljinama srednjomicenskih naslaga u krovinskim u odnosu na podinska krila ovih rasjeda. Prema tome, D_6 deformacijski događaj obilježava istovremena aktivnost normalnih rasjeda NNW-i NE-pružanja, prvih i ranije stvorenih u središnjim dijelovima taložnih bazena, drugih i naknadno stvorenih na njihovim rubovima. Ovakav raspored različito orijentiranih i istovremeno aktivnih normalnih rasjeda može se objasniti ekstenzijom u smjeru WNW i ESE (odnosno općenito W-E) uz kombinaciju normalne i dijagonalne komponente pomaka po ovim rasjedima. Alternativna interpretacija pretpostavlja mogućnost aktivnosti različito orijentiranih rasjeda tijekom dviju sukcesivnih etapa ekstenzije, najprije W-E, a nakon toga i NW-SE. D_6 deformacijski događaj rezultirao je daljnjim širenjem ranije stvorenih bazenskih prostora te otvaranjem novih, omeđenih lijevim rasjedima NE-pružanja. Ovi novostvoreni bazenski prostori prema obliku, rasporedu rasjeda i njihovim kinematskim karakteristikama pokazuju korelativne značajke s bazenima tipa romboidnih graba (pull-apart) stvorenih duž lijevih transtenzijskih rasjednih zona. Postojanje ovih zona pretpostavljeno je već i ranije prema PRELOGOVIĆ et al., (1995) i TOMLJENOVIĆ (2000) da bi se objasnila kinematika srednjomiocenske ekstenzije u području sjeverno od Medvednice. Promatrana u širem regionalnom prostoru, D_6 deformacijski događaj odgovara slomu ranije jedinstvenog Alcapa bloka na njegov istočnoalpski i panonska-

karpatski dio, odnosno jednoj od glavnih ekstenzijskih faza u razvoju Panonskog bazenskog sustava (FODOR et al., 1998, 1999).

3.3.8. D₇ deformacijski događaj: srednjomiocenska (sarmatska-predanonska) kompresija (gornjosarmatska-pred-panonska) kompresija

D₇ deformacijski događaj ovim je radom prepoznat jedino na seizmičkim profilima kao varijacija u debljini srednjomiocenskih naslaga koja je pretpostavljena kao posljedica diferencijalnog izdizanja i erozije ovih naslaga krajem srednjeg miocena. Razlog izdizanja jednim dijelom je i reversno rasjedanje predneogenske podloge i srednjomiocenskih naslaga preko kojih diskordantno leže gornjomiocenske naslage, a koje nisu zahvaćene ovim rasjedanjem. Ove rasjede nije bilo moguće pouzdano korelirati među seizmičkim profilima. Ipak, D₇ kompresijski događaj najvjerojatnije je bio mnogo izraženiji nego što je to bilo moguće prepoznati na profilima budući da je i izrazito oplićavanje i promjena dotada marinsko-brakične (sarmat) u kaspibrakičnu sredinu (panon) pouzdano dokumentirana i regionalno i u području istraživanja (VRSALJKO, 1999).

3.3.9. D₈ deformacijski događaj: gornjomiocenska (panonska-donjopontska) ekstenzija

Ovim je deformacijskim događajem obnovljena ekstenzija po ranije stvorenim normalnim rasjedima (D₅ i D₆) što naročito vrijedi za rubne rasjede u središnjem dijelu Karlovačke uleknine. Rasjedi se često pojavljuju u parovima tvoreći cvjetne strukture koje i u slučaju naknadne inverzije, uz rekonstrukciju prvotnih strukturnih odnosa pokazuju normalni karakter pomaka. S obzirom na orijentaciju i raspored rasjeda aktivnih tijekom ovog deformacijskog događaja pretpostavlja se da je njima ostvarena ekstenzija u različitim smjerovima (ENE-WSW, odnosno NW-SE) kao posljedica širenja bazenskih prostora formiranih tijekom donjeg i srednjeg miocena. Ovaj ekstenzijski događaj tijekom kojeg je akumulirana debela serija gornjomiocenskih naslaga, praktički bez novoformiranih rasjeda izrazito ekstenzijskog karaktera, najvjerojatnije je posljedica regionalne, post-riftne, termalne subsidencije bazenske podloge zabilježene gotovo u cijelom prostoru Panonskog bazenskog sustava (ROYDEN et al., 1983; HORVATH et al., 1988; LANKREIJER, 1998).

3.3.10. D₉ deformacijski događaj: gornjomiocenska (gornjopontska) i recentna N-S, odnosno NNW-SSE kompresija

D₉ deformacijski događaj najizrazitije se odražava u recentnoj strukturnoj građi istraživanog područja. Ovim su događajem nastale brojne megaskopske strukture koje čine reversni rasjedi, kilometarske bore pozitivne cvjetne strukture i „pop-up“ strukture W-E do WSW-ENE-pružanja. Iako zabilježene u cijelom području istraživanja, ove su strukture izraženije u području sjeverno od Medvednice. Najizraženije D₉

megaskopske strukture čine Konjščinska sinklinala i sinklinala Zaprešić-Stubičko Podgorje. Sinklinala Zaprešić-Stubičko Podgorje nalazi se uz sam sjeverozapadni rub Medvednice. Izrazito tone prema jugozapadu kao što je prikazano na tri paralelno orijentirana profila kroz Medvednicu (slika 3.5. A-B; C-D; E-F) i doseže do najveće dubine u području Zaprešića, gdje je predneogenska podloga procijenjena na dubini koja prelazi preko 2000 m. Jugoistočno krilo ove sinklinala omeđeno je i rasjednuto Sjevernim rubnim medvedničkim rasjedom, što uz sjeveroistočni rub središnjeg dijela Medvednice dovodi do reversnog rasjedanja i prebačenih odnosa u ovom krilu sinklinala (slika 3.5).

Megaskopske strukture W-E do WSW-ENE-pružanja su po pružanju karakteristično rasjednute desnim rasjedima NW-pružanja. Ovi rasjedi pokazuju karakterističan ešalonirani raspored u odnosu na istočni ogranak Periadrijatskog lineamenta pa moguće predstavljaju prateće Riedelove smične zone formirane uz ovaj rasjed, odnosno unutar transpresijske zone formirane u graničnom području Alpa, Dinarida i jugoistočnog dijela Panonskog bazena. Kašinski rasjed, kojim je predneogenska jezgra Medvednice rasjednuta u dva bloka, kinematski odgovara ovom tipu rasjeda.

Promatrane u cjelini, megaskopske strukture stvorene tijekom D9 deformacijskog događaja ukazuju na dominantnu kompresiju s pružanjem N-S, odnosno NNW-SSE. Tijekom istog događaja vjerojatno su nastale i centimetarske i decimetarske koljeničaste bore zabilježene u stijenama niskometamorfog kompleksa Medvednice, u gonjokredno-paleocenskim naslagama koje svojom orijentacijom i nagibom osnih ploha također ukazuju na kompresijsko polje paleonaprezanja s orijentacijom najdulje kompresijske osi približnog pružanja N-S.

Sjeverno od područja istraživanja ovaj posljednji kompresijski deformacijski događaj rezultirao je transpresijom duž Periadrijatskog lineamenta te po njemu pratećim rasjedima NNW-pružanja (POLINSKI & EISBACHER, 1992; FODOR et al., 1998; PLACER, 1999). Kinematski karakter ovih rasjeda također potvrđuje kompresiju N-S, odnosno NNW-SSE pružanja. Isto polje naprezanja predodređuju i recentnu tektonsku i seizmotektonsku aktivnost u ovom području o čemu svjedoče podaci seizmotektonskih istraživanja potresnih mehanizama prikupljenih u posljednje vrijeme (HERAK et al., 1995; PRELOGOVIĆ et al. 1998; TOMLJENOVIĆ et al., 2001).

Strukturna analiza u predneogenskim i neogenskim stijenama Medvednice, Samoborskog gorja i u njihovoj okolini omogućila je prepoznavanje devet deformacijskih događaja. Povezivanje pojedinih događaja s glavnim fazama u regionalnom tektonskom razvoju zasada je tek približno pretpostavljeno.

Tri starija deformacijska događaja moguće je vezati uz geodinamski razvoj Dinarida. Najstariji (D_1) je rezultirao stvaranjem niskometamorfog kompleksa Medvednice tijekom donje krede. Pretpostavlja se da označava regionalni kompresijski događaj povezan s obduciranjem ofiolita u smjeru sjevera-sjeverozapada,

dijagonalno preko istočnog ruba Jadranske mikroploče. Naredni (D_2) deformacijski događaj za koji se pretpostavlja da je otpočeo u albu, odnosno nakon što je u niskometamorfnim stijinama stvorena milonitna folijacija i lineacija, rezultirao je mezoskopskim i megaskopskim boranjem ovih stijena, ali vjerojatno i stijena ofiolitnog kompleksa. Ovo boranje vjerojatno je posljedica promjene orijentacije kompresijske osi više prema zapadu. Ista orijentacija kompresije zadržana je i tijekom narednog deformacijskog događaja (D_3) kojim je ovaj događaj rezultirao i najstarijim penetrativno razvijenim kompresijskim strukturama u gonjokreno-palocenskim naslagama na Medvednici. Recentno bitno drugačija orijentacija ovih struktura interpretirana je kao posljedica narednog deformacijskog događaja (D_4) kojim je najvjerojatnije nakon eocena a prije otnanga medvednički strukturni blok najprije odvojen, a potom i rotiran za oko 100° unutar Periadrijske, odnosno Zagorsko-srednjotransdanubijske smične zone.

Egenburško-otnanški ekstenzijski događaj (D_5) prepoznat je kao najstariji ekstenzijski događaj kojim je počelo otvaranje neogenskih graba i polugraba u ovom području, s ekstenzijom u smjeru ENE po listričkim normalnim rasjedima NNW-pružanja. Rasjedi stvoreni tijekom ovog ekstenzijskog događaja reaktivirani su narednim ekstenzijskim događajem tijekom srednjeg miocena (D_6) uz novostvorene konjugirane normalne rasjede NE-pružanja. Nakon kraćeg perioda inverzije krajem sarmata (D_7) ekstenzija je obnovljena u panonu (D_8) po starijim normalnim rasjedima, u manjoj mjeri ostvarena je i duž novostvorenih rasjeda koji ne pokazuju izrazito ekstenzijski karakter već najčešće čine cvjetne strukture. Posljednji (D_9) kompresijski događaj najizrazitije se odražava u recentnoj strukturnoj građi područja istraživanja. Brojne megaskopske kilometarske strukture koje čine reversni rasjedi, bore, pozitivne cvjetne strukture i pružni rasjedi, stvoreni su u kompresijskom polju naprezanja s orijentacijom najdulje osi naprezanja približnog pružanja N-S, odnosno NNW-SSE.

4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Hidrogeološke značajke Medvednice rezultat su dviju glavnih morfohidrografskih jedinica (MIKLIN, et al., 2009):

- a) Gorski masiv
- b) Neogenski prigorski pojas

Stijene su podijeljene na dvije glavne skupine (BRKIĆ & ČAKARUN, 1988; SLIŠKOVIĆ & ŠARIN, 1999):

- 1) Propusne (dobra, osrednja propusnost)
- 2) Nepropusne (slaba propusnost, nepropusno)

Niskometamorfne stijene paleozoika i klastične stijene donjeg trijasa te efuzivne stijene smatraju se **nepropusnim** (pješčenjaci, siltiti, lapori, konglomerati, škriljavci, metamorfozirani vapnenci) (MIKLIN, et al., 2009). Važno je napomenuti da u efuzivnim stijenama također lokalno može biti značajnije količine podzemne vode, te ove stijene treba s oprezom svrstavati u nepropusne, no u regionalnom razmatranju su nepropusne..

Sjeverozapadni dio Medvednice izgrađen je prvenstveno od trijaskih dolomita i badenskih litotamnijskih vapnenaca u kojima su razvijene krške morfološke forme (vrtače i izvori) (slika 2.1). Koncentrirano (točkasto) poniranje vode dominira u odnosu na difuzno (MIKLIN, et al., 2009).

Neogesko pribrdsko područje uključuje i rub paleozojskog masiva Medvednice. Jugoistočni dio izgrađen je prvenstveno od miocenskih karbonata. Na površinama izgrađenim od karbonata, poniranje vode u podzemlje dominira u odnosu na površinsko otjecanje (MIKLIN, et al., 2009). Na površini postoje krške forme. Izvori su često vezani za kontakte s paleozojskom nepropusnim ili panonskim slabopropusnim stijenama (MIKLIN, et al., 2009). Karakteristika miocenskih sedimenata je česta izmjena slabopropusnih i nepropusnih jedinica. Unutar navedenih jedinica mogu biti razvijeni i lokalni manji vodonosnici u obliku leća ili proslojaka pješčenjaka, breča, konglomerata, pijesaka i vapnenaca (MIKLIN, et al., 2009). Sedimenti gornjeg ponta uključuju značajne pješčane proslojke. Izražena heterogenost, od krupnozrnatih do sitnozrnatih pijesaka, siltova i glina dovodi do velike prostorne varijabilnosti propusnosti. Zbog lateralne i vertikalne heterogenosti litološkog sastava klastičnih serija neogenskih sedimenata, na njih se ne može

ozbiljno računati u svrhu vodoopskrbe. *Rhomboidea* naslage bočno prelaze u sedimente donjeg pontaa, izgrađene od lapora, glina i pijesaka. Pojave stalnih izvora su rijetke, no povremeni izvori su česti (MIKLIN, et al., 2009). Sedimenti gornjeg pliocena (*Pl,Q*) su uglavnom nevezani ili slabovezani sedimenti niske propusnosti (intergranularna poroznost) (MIKLIN, et al., 2009). Na površini se prostiru se po sjeverozapadnim obroncima Medvednice. Recentne šljunčane i pješćane taložine (aluvij) karakterizirane su velikom međuzrnskom poroznosti i velikom propusnosti. Kako je ovo istraživanje koncentrirano na uglavnom na karbonatne vodonosnike, točnije gorske vodonosnike, aluvij neće biti detaljnije razmatran. Deluvij i proluvij su također karakterizirani velikom poroznosti i propusnosti no zbog male debljine i površine ne bi ih ovom prigodom smatrali vodonosnicima.

U svrhu istraživanja na području Medvednice izdvojeno je 5 hidrogeoloških jedinica koje su prikazane na hidrogeološkoj karti (slika 4.1), hidrogeološkom stupu (slika 4.3) te hidrogeološkim profilima (slike 4.2). Hidrogeološke jedinice podijeljene su na:

1) **a**-Kvartarni šljunčani pjeskoviti sedimenti uz primjese gline-**DOBRA PROPUSNOST**

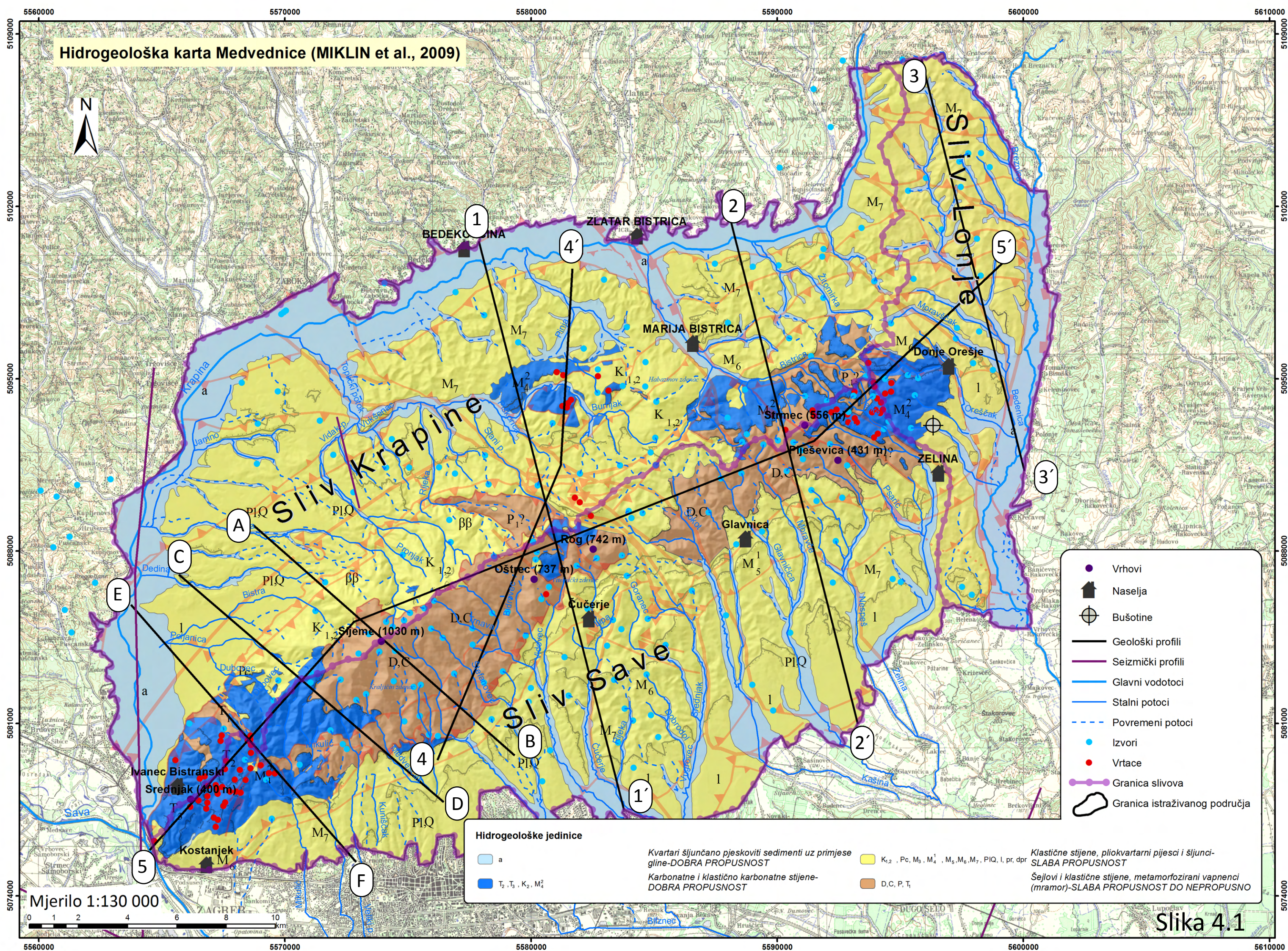
2) **T_{2,3}, M₄², K_{2,3}**-karbonatne stijene i karbonatno-klastični kompleks-**DOBRA PROPUSNOST**

3) **d, pr, Pl,Q, M₇, M₆, M₅, M₄¹, Pc, K_{1,2}**-Klastične stijene i pliokvartarne gline i šljunci-**SLABA DO VRLO NISKA PROPUSNOST**

4) **K_{1,2}, Se**-Eruptivne stijene i šejlovi-**VRLO NISKA PROPUSNOST DO NEPROPUSNO**

5) **T₁, P, D,C**-Šejlovi i klastične stijene, metamorfozirani vapnenci (mramor)-**NISKA PROPUSNOST DO NEPROPUSNO**

U gorske i prigorske vodonosnike Medvednice, koji su predmet istraživanja, spadaju srednje i gornjotrijaski dolomiti (**T_{2,3}**), gornjobadenski karbonatno-klastični kompleks (**M₄²**) te karbonatne i klastične stijene gornje krede (**K_{2,3}**). Važno je napomenuti da se lokalno značajne količine vode mogu nalaziti i u metamorfnim kompleksima te efuzivnim stijenama. Karakter istraživanja je regionalni te takve pojave neće biti detaljno analizirane u ovoj fazi istraživanja. U geološkom smislu sedimentne stijene koje čine gorske vodonosnike širokog su vremenskog raspona i petrografski su raznovrsne (DRAGIČEVIĆ et al., 1996).



Hydrogeološka karta Medvednice (MIKLIN et al., 2009)



Hydrogeološke jedinice

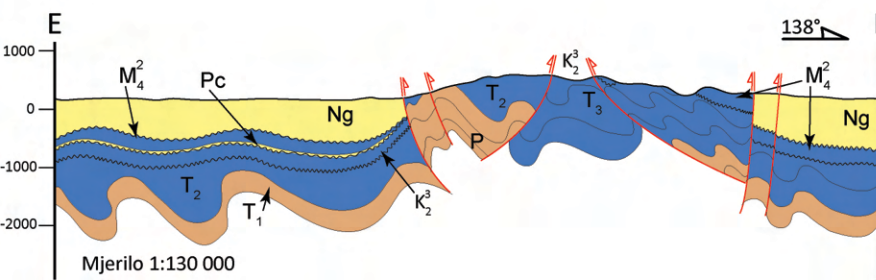
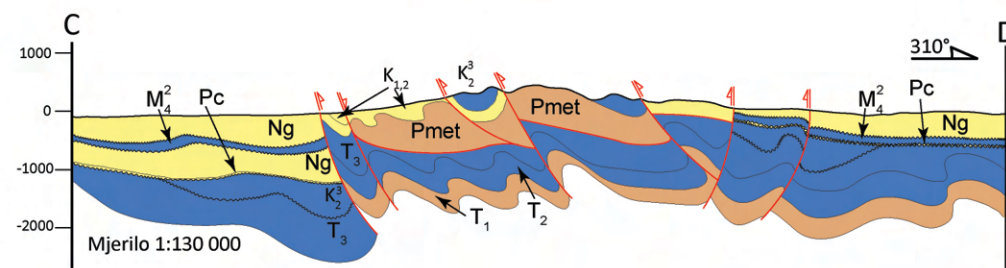
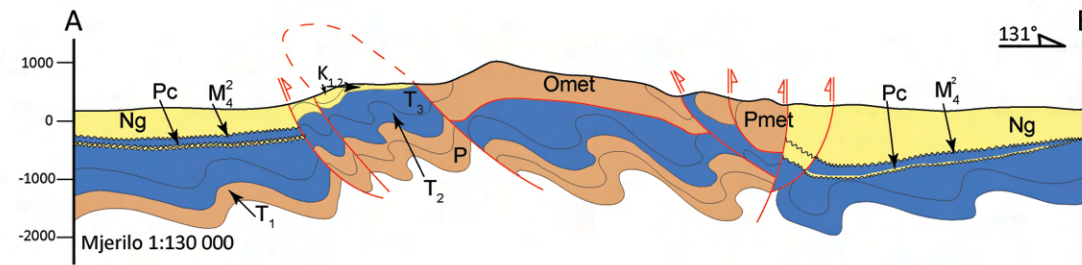
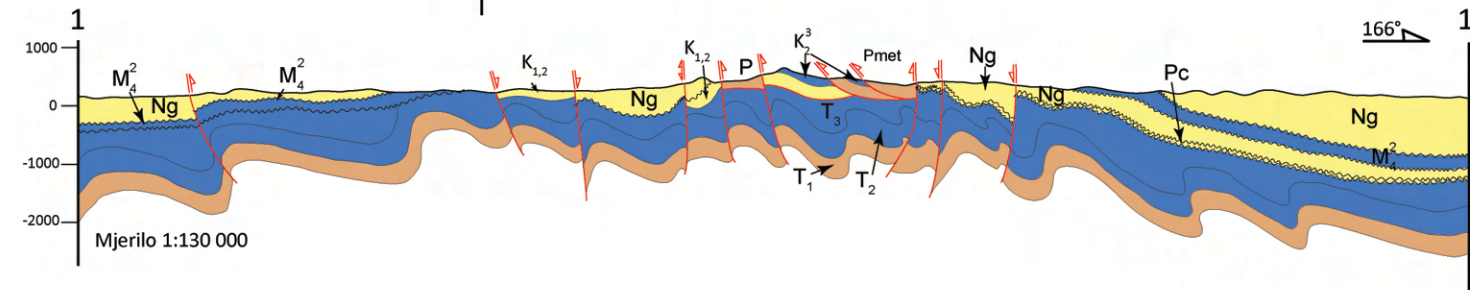
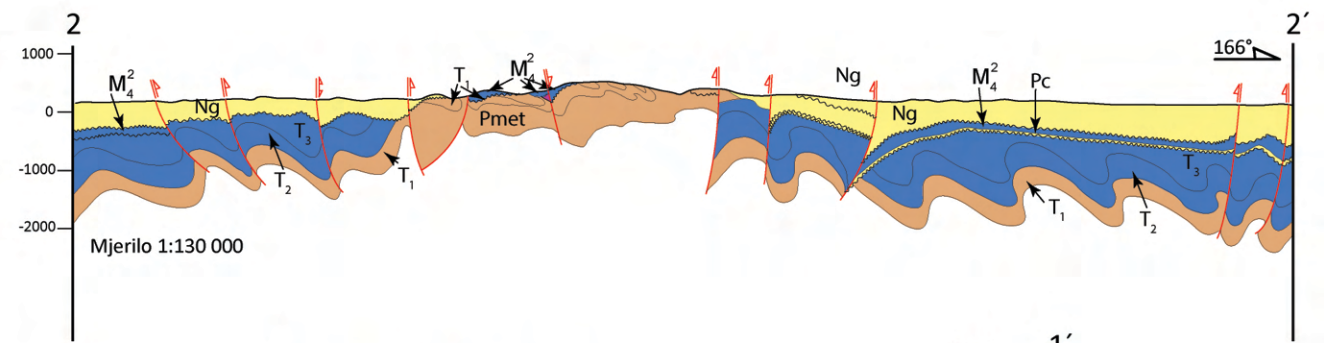
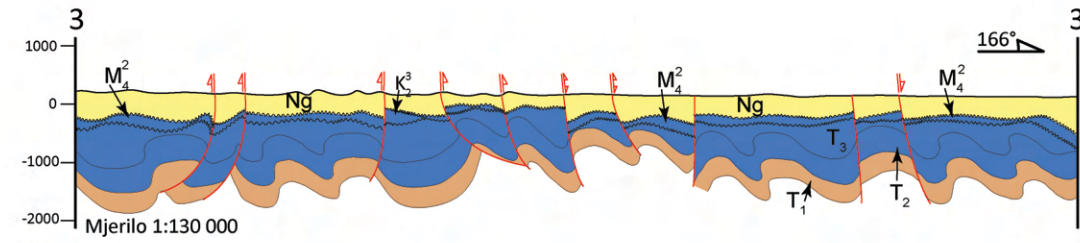
- | | | | |
|---|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> a T₂, T₃, K₂, M₄² | <p><i>Kvartari šljunčano pjeskoviti sedimenti uz primjese gline-DOBRA PROPUSNOST</i></p> <p><i>Karbonatne i klastično karbonatne stijene-DOBRA PROPUSNOST</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> K_{1,2}, Pc, M₃, M₄¹, M₅, M₆, M₇, PIQ, I, pr, dpr D.C, P, T₁ | <p><i>Klastične stijene, pliokvartarni pijesci i šljunci-SLABA PROPUSNOST</i></p> <p><i>Šejlovi i klastične stijene, metamorfizirani vapnenci (mramor)-SLABA PROPUSNOST DO NEPROPUSNO</i></p> |
|---|---|--|---|

- Vrhovi
- Naselja
- Bušotine
- Geološki profili
- Seizmički profili
- Glavni vodotoci
- Stalni potoci
- Povremeni potoci
- Izvori
- Vrtace
- Granica slivova
- Granica istraživanog područja

Mjerilo 1:130 000

Slika 4.1

Regionalni shematski hidrogeološki profili Medvednice



GEOLOŠKI STUP MEDVEDNICE

STAROST	GRAFIČKI PRIKAZ	Debljina (m)	TEKSTUALNI OPIS
Holocen		do 20	Sitnozrnate gline, pijesci i šljunci; Šljunci, pijesci, siltovi i gline; Pijesci, glinoviti siltovi, gline i muljevi
Pleistocen		15	Kopneni beskarbonatni les: glinoviti silt
NEOGEN		70	Šljunci, pijesci i gline
		490	Pjeskoviti i glinoviti lapori, pjeskovite i siltodne gline, pijesci i zaglinjeni pijesci; <i>Congeria rhomboidea</i> Lapori, glinoviti lapori, gline i pijesci; Paradchna abichi
		370	Lapori, kalcitični i glinoviti lapori, pješčenjaci; <i>Congeria banatica</i> kalcitični lapori, pješčenjaci, podređeno breče i konglomerati; <i>Radix coriatica</i>
		40	Konglomeratični pješčenjaci, podređeno pješčenjaci i lapori
		250	Vapnenci, bazalne breče i konglomerati, vapnenački pješčenjaci i lapori
		470	Konglomerati, vapnenački pješčenjaci, vapnenci, glinoviti vapnenci, lapori, tufovi i tufiti
		150	Konglomerati, pješčenjaci, lapori, gline, tufovi i tufiti
		280	Bazalni konglomerati, šljunci, pijesci, pješčenjaci, pločasti vapnenci, lignit
		50	Polimiktni konglomerati, pelagički prigrebenski i grebenski vapnenci
		KREDA	
300	Vulkanogeno-sedimentni kompleks stijena: grauuvake, subgrauuvake, šejlovi, lapori, rožnjaci, kalkareniti; <i>Orbitalina sp.</i> , <i>Miliolidae</i>		
600-800	Kalcitični dolomiti; u starijem dijelu proslojci i leće šejlova; u najmlađem dijelu vapnenci i dolomitizirani vapnenci		
TRIJAS		400-500	Uslojeni dolomiti; u starijem dijelu gromadasti dolomitizirani vapnenci; u mlađem dijelu proslojci vapnenaca, lapora, šejlova, rožnjaka, tufova i tufita
		350	Kvarcni pješčenjaci, kvarcne grauuvake i subgrauuvake, arkozni pješčenjaci, siltiti, lapori, vapnenci, dolomitični vapnenci, dolomiti
PERM		>350	Pješčenjaci, šejlovi, siltiti, kvarcni konglomerati i breče, u mlađem dijelu vapnenci, dolomiti i gips
		?	Škriljavi siltiti i subgrauuvake, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, kvarc-sericitski i kvarc-kloritski škriljavci, kvarciti i mramori
Slika 4.3 Devon-Karbon		>650	Metamorfizirani vulkanogeno-sedimentni kompleks: Parametamorfiti: albit-kvarc-klorit-sericit-kalcitni škriljavci, kvarciti, mramori, filiti, šejlovi, grauuvake, subgrauuvake, kvarcni pješčenjaci
		>650	Ortometamorfiti: zeleni škriljavci, plagioklas-kvarc-klorit-epidot-aktinolit-coisit-ortoškriljavci

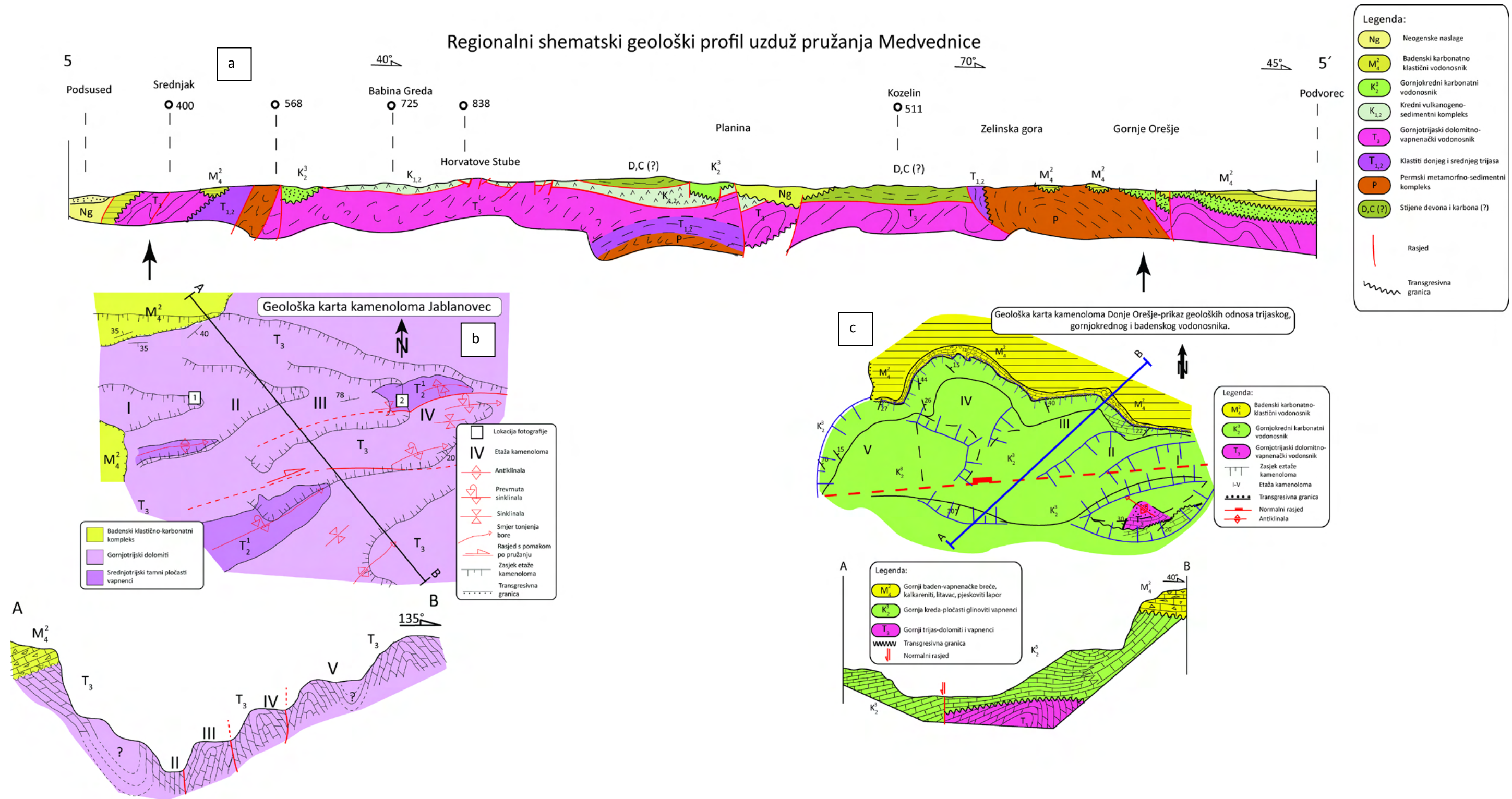
HIDROGEOLOŠKI STUP MEDVEDNICE

STAROST	GRAFIČKI PRIKAZ	Debljina (m)	HIDROGEOLOŠKA ULOGA
Holocen		do 20	ALUVIJALNI VODONOSNIK/ SLABOPROPUSNO
Pleistocen		15	ALUVIJALNI VODONOSNIK/ SLABOPROPUSNO
NEOGEN		70	SLABOPROPUSNO
		490	
		370	
		40	KARBONATNO-KLASTIČNI VODONOSNIK
		250	SLABOPROPUSNO
		470	
		150	
		280	
		50	KARBONATNO-KLASTIČNI VODONOSNIK
		KREDA	
300	SLABOPROPUSNO		
600-800	KARBONATNI VODONOSNIK		
TRIJAS		400-500	KARBONATNI VODONOSNIK
		350	NEPROPUSNO
PERM		>350	
		?	
Slika 4.3 Devon-Karbon		>650	NEPROPUSNO
		>650	

Prema površinskoj raspodjeli, na Medvednici, najznačajniji je gornjobadenski karbonatno-klastični kompleks, a slijede ga srednje i gornjotrijaski dolomiti te karbonati i klastiti gornje krede. Potpovršinska rasprostranjenost im je značajno veća nego površinska što je prikazano na geološkim profilima. Razlog tome je vrlo zamršen strukturni i tektonski sklop koji je rezultat nekoliko regionalno poznatih i intenzivnih tektonskih faza koje su se odvijale kroz geološku prošlost. Osim tektonske evolucije, razlog male površinske rasprostranjenosti trijaskih stijena je što su pokrivne negoneskim stijenama (primjer. crpilište „Zelina“).

Prigorski vodonosnici su kompleksi sedimentnih stijena veoma heterogenog sastava, koji se nalaze na mjestima gdje značajniji gorski vodotoci ulaze u prostrane ravnice (DRAGIČEVIĆ et al., 1996). To su zapravo sedimentacijski konusi odnosno aluvijalne prigorske lepeze nastale donosom značajnijih količina krupnoklastičnih taložina vodom tekućicom iz gorskog zaleđa (DRAGIČEVIĆ et al., 1996). Široko su rasprostranjeni u podnožjima gorskih masiva i zbog znatnog prisustva krupnoklastičnih sedimenata su hidrogeološki značajni.

Nekoliko puta se u elaboratu spominje kompleksni strukturni i tektonski sklop u kojem se istraživani vodonosnici nalaze. To se najbolje može pokazati na primjeru u lokalnom mjerilu u kamenolomu dolomita Jablanovec na jugozapadnim obroncima Medvednice. Sirovina koja se eksploatira su srednje i gornjotrijaski dolomiti i vapnenci, a njihovi površinski odnosi prikazani su na detaljnoj geološkoj karti kamenoloma (slika 4.4 b i c), geološkom profilu 5-5' (slika 4.4 a) te slikama 4.5 i 4.6. Na svim navedenim prikazima može se jasno vidjeti da je današnje stanje u kojem se ove stijene nalaze rezultat vrlo intenzivnih kompresijskih naprezanja. Na geološkom profilu (slika 4.4 a) i slici 4.6 vide se vrlo velike, gotovo izoklinalne i prebačene bore.



Slika 4.4. Regionalni shematski profil uzduž Medvednice (a), s detaljnim kartama i profilima kamenoloma Jablanovac i Donje Orešje (b i c).



Slika 4.5. Raspucalost i rasjedanost trijaskih naslaga u kamenolomu Ivanec na jugozapadu Medvednice.



Slika 4.6. Sinklinala u kamenolomu Ivanec, jugozapadni dio Medvednice.

Ovakvi izdanci, podaci iz bušotina, te seizmički profili, s područja Medvednice i njene okolice potvrđuju da je podzemno rasprostiranje trijaskog vodonosnika mnogo veće i značajnije nego površinsko te

otvaraju mogućnost da su površinske pojave trijasa na različitim krajevima Medvednice u podzemlju možda povezane te tvore jedinstvenu cjelinu.

4.1. Srednje i gornjotrijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik

Srednje i gornjotrijaski karbonatni vodonosnik (slika 3.5: slika 4.4 a i b) izgrađuje krajnje jugozapadni dio istraživanog područja, te male površine u sjevernom i sjeveroistočnom dijelu Medvednice. U površinskoj geološkoj građi istraživanog područja (istraživano područje prostire se šire od samog masiva Medvednice pa bi bilo pogrešno reći samo Medvednice) sudjeluju s 1,32 %, odnosno pokrivaju 11,07 km² površine. Bez obzira na relativno mali udio u površinskoj građi, može se pretpostaviti njihovo značajno potpovršinsko rasprostiranje (slika 3.6; slika 4.4). U prilog tomu ide i činjenica da postoje bušotine koje su nabušile srednje i gornjotrijaske stijene koje su diskordantno prekrivene neogenskim sedimentima. U normalnom stratigrafskom slijedu, podinu vodonosnika čini široko rasprostranjeni permotrijaski kompleks klastičnih stijena koji se u hidrogeološkom smislu smatra nepropustan. U krovini najčešće preko njega leže transgresivno i diskordantno naslage gornje krede ili neogena. (DRAGIČEVIĆ et al, 1997). Uglavnom se radi o nepropusnim do slabopropusnim naslagama koje se mogu smatrati izolatorima. Petrografski sastav trijaskog dolomitno-vapnenačkog vodonosnika je jednostavan. Najčešći litotipovi su ranodijagenetski dolomiti koji su naknadno izmijenjeni rekristalizacijskim procesima, te različiti tipovi plitkomorskih vapnenaca, također naknadno izmijenjeni procesima rekristalizacije i dolomitizacije. Trijaski karbonatni kompleks okarakteriziran je platformskom karbonatnom sedimentacijom, što je omogućilo više manje taloženje debelog slijeda karbonatnih naslaga. Što se tiče poroznosti razvijene u ovom vodonosniku prisutne su primarna i sekundarna.

Primarna ili sinsedimentacijska poroznost u vapnencima i dolomitima razvijena je u više tipova (poroznost biogene skeletne rešetke, unutarzrska i međuzrska poroznost, fenestralna i sklonišna poroznost) (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Uloga ove poroznosti u hidrogeološkom smislu, tj koliko i kako sudjeluje u toku podzemne vode, nije dovoljno istražena. Prema dostupnim podacima (ŠESTANOVIĆ, 1993) kreće se od 1-3 %.

Sekundarna ili postsedimentacijska poroznost široko je rasprostranjena u ovom gorskom vodonosniku. Na temelju terenskih podataka i podataka iz prethodnih istraživanja može se sa sigurnošću reći da su razvijeni brojni tipovi sekundarne poroznosti (interkristalna, moldička, šupljinska, prslinska, poroznost trošenja ...). Vrijednosti efektivne poroznosti procijenjene su na temelju promatranja izdanaka na 5-25 %. Njezina je uloga u hidrogeološkom smislu najznačajnija za nakupljanje i tok podzemne vode. Transmisivnost i vodopropusnost kao i drugi hidrogeološki parametri nisu mjereni no kao ilustracija mogu poslužiti podaci pokusnog crpljenja zdenca BV-1 u Vratnom na Kalniku gdje su utvrđene vrijednosti transmisivnosti između $T=2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ i $T=5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Kako je zdencem zahvaćen samo dio dolomitnog

vodonosnika na dubini između 400 i 430,3 m ispod površine terena, može se dati samo gruba procjena koeficijenta vodopropusnosti od oko $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, što približno odgovara srednjezrnatom pijesku (DRAGIČEVIĆ et al., 1997; MAYER et al., 1994).

Temperatura vodonosnika je veoma važna karakteristika. Dolomitočno-vapnenački vodonosni kompleks se nalazi u vrlo zamršenim geološkim strukturama i pojavljuje se na dubinama ispod 2000 m. Zbog toga u većim dubinama vodonosnik sadrži toplu vodu, odnosno termomineralnu vodu koja se pojavljuje na brojnim termomineralnim vrelima ili je zahvaćena dubokim bušotinama, odnosno zdencima. Do koje dubine se u pojedinim strukturama nalazi hladna podzemna voda, odnosno kakvi su odnosi između hladne i tople vode bit će istraženo u sljedećim fazama. Mjesto i način postanka vodonosnika je važan parametar, jer su time uglavnom predodređene geokemijske karakteristike vodonosnika, o čemu direktno ovisi kakvoća vode. Dolomitno-vapnenački vodonosnik nastao je dugotrajnim taloženjem u plitkomorskim uvjetima. U takvim široko rasprostranjenim taložnim okolišima, vladali su oksidacijski uvjeti, što je rezultiralo povoljnim geokemijskim odnosima za podzemne vode koje se danas u njima nalaze (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Prema dosadašnjim podacima može se reći da se radi o visokokvalitetnoj vodi, hidrokarbonatnog tipa (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Na temelju navedenih podataka može se reći da su u ovim vodonosnicima uskladištene velike zalihe statične no i dinamičke podzemne vode. Da se radi o staroj podzemnoj vodi pokazuju rezultati analize apsolutne starosti podzemne vode u bušotini u Vratnom, za koju je utvrđeno da je stara 4500 ± 170 godina (DRAGIČEVIĆ et al., 1997).

Dolomitno-vapnenački vodonosnik se u području Medvednice uglavnom napaja infiltracijom oborinskih voda (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Infiltracija do danas nije kvantificirana. Površina vodonosnika na više mjesta dože i nekoliko km^2 , u pravilu je prekrivena tankim, rahlim površinskim pokrivačem od šumskog tla, pretpostavlja se da veliki dio oborinskih voda ponire u podzemlje. U prilog toj pretpostavci ide činjenica da su na dijelovima površine terena izgrađenim od srednje i gornjotrijaskih dolomita rijetke vododerine, ali i česte vrtače (slika 2.1). Vrtače ukazuju na dominantno koncentrirano poniranje vode u podzemlje. S obzirom na uspostavljenu ravnotežu između napajanja i zaliha kroz vrlo dugo razdoblje, može se reći da su obnovljive zalihe podzemne vode približno jednake godišnjoj količini istjecanja na izvorima vezanim za dolomitno-vapnenački vodonosnik. Na kontaktu vodonosnika s nepropusnim, uglavnom mlađim naslagama nalaze se brojni izvori izdašnosti između 0,1 i 20-ak l/s. Ovi izvori predstavljaju mjesta preljevanja "viška" vode koja se tijekom godine akumulira u vodonosniku, infiltracijom oborinskih voda (DRAGIČEVIĆ et al., 1997).

4.2. Gornjokredni karbonatni vodonosnik

Ovaj je vodonosnik relativno slabo poznat zbog pojavljivanja na malim površinama te složenog strukturnog sklopa u kojem se nalazi (Slika 4.4 a i c). U površinskoj građi istraživanog područja sudjeluje s 2,05 % odnosno 17,2 km². Odnos prema izolatorskim stijenama je zbog male površinske rasprostranjenosti, dosta nepoznat. Na temelju dostupnih podataka, zna se da je često u transgresivnom i diskordantnom odnosu s dolomitno-vapnenačkim vodonosnikom srednjeg i gornjeg trijasa, što je veoma povoljno u hidrogeološkom smislu. U tom slučaju ova dva vodonosnika mogu se promatrati kao jedna cjelina (Slika 4.4 a i c) (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). U normalnom stratigrafskom odnosu preko ovog vodonosnika transgresivno i diskordantno naliježu različiti članovi neogenskih sedimenata.

4.3. Badenski karbonatno-klastični vodonosnik

Ovaj je vodonosnik široko rasprostranjen, često s izdancima kilometarskih dimenzija, ali i sa čestim bočnim i vertikalnim prijelazima u litotipove nepovoljnih hidrogeoloških svojstava. U površinskoj geološkoj građi sudjeluje s 4,32 % odnosno 36,2 km². Badenski karbonatno-klastični vodonosnik je transgresivan na različite stratigrafske članove stijena u podlozi. Od nepropusnih stijena, najčešće su različiti paleozojski sedimenti ili metamorfni kompleksi, zatim sedimentni i vulkanogeno-metamorfni slijed donjeg trijasa, kredni vulkanogeno-sedimentni slijedovi i fliški kompleks te predbadenski sitnozrnati glinovito-laporoviti litotipovi (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Često, a u hidrogeološkom smislu izrazito povoljno, stijene ovog vodonosnika leže preko dolomitno-vapnenačkog vodonosnika srednjeg i gornjeg trijasa (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). U krovini dolazi široko rasprostranjeni i lako prepoznatljivi slijed sarmatskih sitnozrnatih laporovito-glinovito-pjeskovitih sedimenata. U recentnim strukturnim odnosima veoma često susrećemo rasjedne kontakte ovog vodonosnika s veoma različitim stijenskim kompleksima. Petrografski sastav ovog vodonosnika kako proizlazi iz samog naslova, je veoma raznovrstan (DRAGIČEVIĆ, et al., 1997). U karbonatnom dijelu vodonosnika prevladavaju različiti tipovi plitkomorskih vapnenaca, gotovo isključivo biogenog porijekla. Prevladavaju biohermalni i biostromalni koralinacejsko-briozojsko-koraljni vapnenci, kao i produkti njihovog razaranja energijom morske vode (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Klastični dio vodonosnika predstavljaju najčešće polimikni konglomerati i breče. Gornjobadenski karbonatni kompleks je rezultat je transgresije nakon tektonske aktivnosti vezane za alpsku orogenezu. Kako je badenski vodonosnik poremećen uglavnom samo neotektonskim pokretima, gornjobadenske naslage manje su poremećene u odnosu na trijasku. U vapnenačkom dijelu vodonosnika nazočne su sve vrste poroznosti, primarne (poroznost grebenske rešetke) i sekundarne za vapnence (DRAGIČEVIĆ, et al., 1997). U klastičnom dijelu vodonosnika prevladava primarna poroznost (međuzrnska, unutarzrnska). U slučaju kada su klastiti

povezani karbonatnim vezivom, može biti razvijena disolucijska sekundarna poroznost (DRAGIČEVIĆ et al., 1997).

Badenski karbonatno-klastični vodonosnik nastao je u marinskim, pretežito plitkovodnim sredinama koje su bile bogate kisikom i značajnijom dinamikom mora, dakle u oksidacijskim uvjetima taloženja što mu određuje temeljne geokemijske karakteristike (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Zato se vode koje se danas nalaze u vodonosniku odlikuju visokom kakvoćom i pripadaju vodama hidrokarbonatnog tipa. Temperatura ovog vodonosnika je za sada malo poznata. Iz podataka dubokih bušotina zna se da se ovaj vodonosnik može nalaziti i na dubinama od više stotina metara (DRAGIČEVIĆ et al., 1997). Prema dostupnim podacima kada je badenski vodonosnik transgresivan na srednje i gornjotrijaski vodonosnik, u njemu se mogu nalaziti termalne, odnosno termomineralne vode, a one prirodnim putem i najčešće istječu iz njega (DRAGIČEVIĆ 1997). Poznati su i mnogi izvori i zdenci s hladnom vodom iz ovog vodonosnika. Kako se radi o djelomično karbonatnom vodonosniku, i u ovim stijenama na površini mogu biti izražene krške forme u obliku vrtača, što ukazuje na koncentrirano, točkasto poniranje vode u podzemlje.

5. ZNAČAJKE GLAVNIH SLIVOVA

Područje Medvednice podijeljeno je na tri glavna sliva (slika 5.1, tablica 2). Svaki od slivova može se podijeliti na manje slivove (vidjeti u MATOŠ et al., 2014), no za potrebe ovog istraživanja nije bilo potrebno. Područje je podijeljeno na slivove Save, Lonje i Krapine. Važno je napomenuti da slivovi Krapine i Lonje u regionalnijem mjerilu spadaju pod sliv Save.

Tablica 2. Slivovi, njihove površine (km²), glavni vodotoci te duljine glavnih vodotoka (m).

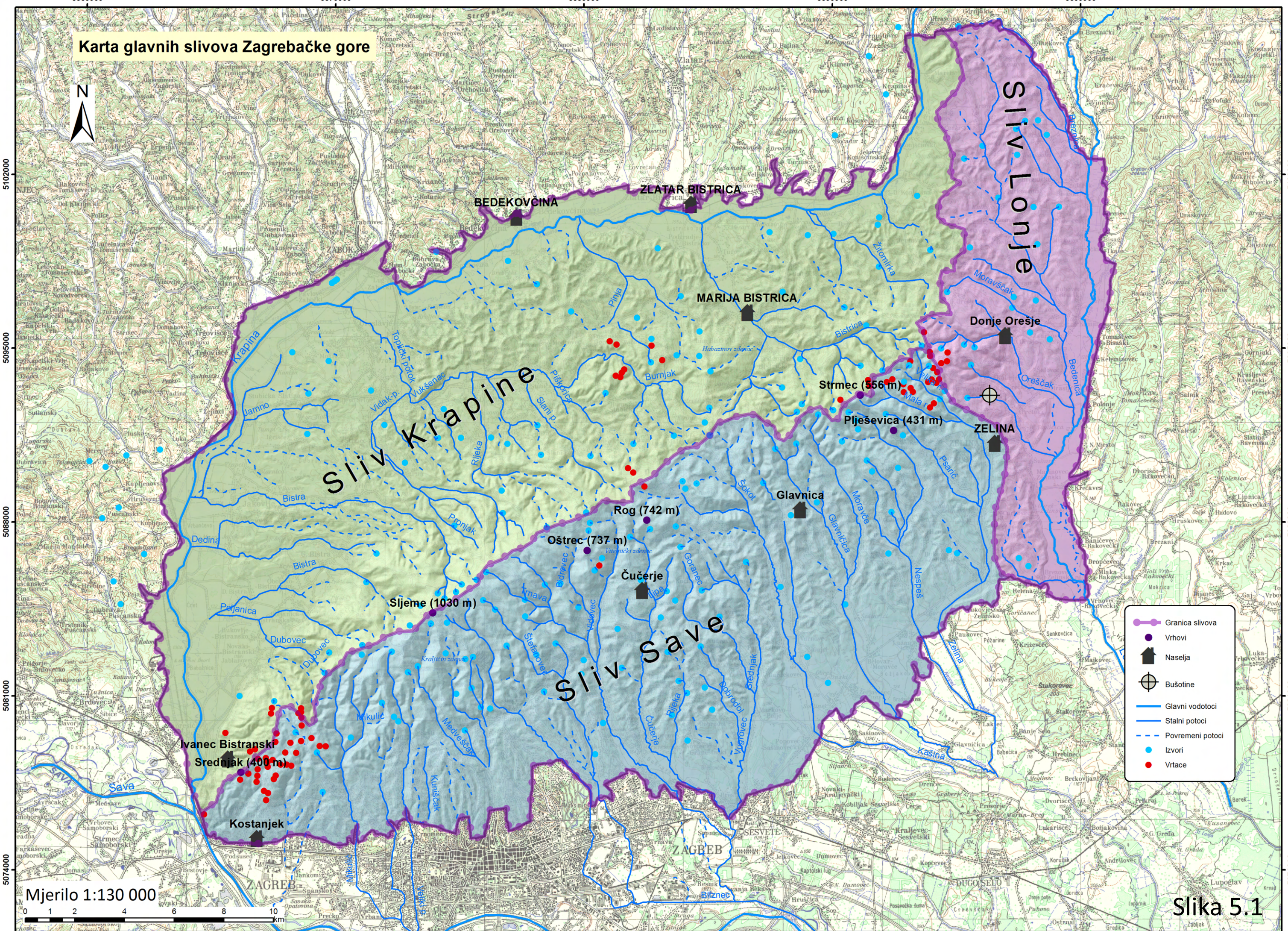
Naziv sliva	Površina sliva (km ²)	Duljina glavnog vodotoka (m)
Sliv Save	321,50	0 (ne prolazi istraživanim područjem)
Sliv Lonje	109,47	22452,8
Sliv Krapine	399,2	59257

Najveći sliv istraživanog područja je sliv Krapine s površinom od gotovo 400 km². Najveći dio površine sliva izgrađen je od aluvijalnih, pliokvartarnih i pontskih sedimenata. Jugozapadna granica sliva izgrađena je od trijaskih, badenskih i krednih vodonosnika. Idući prema istoku, površinu sliva izgrađuju prvo metamorfni kompleks, permski klastiti te badenski i donjomiocenski sedimenti. Područje oko jugozapadne granice izgrađuju uglavnom badenski vodonosnici. Pojava ponikvi koncentrirana je na pojave vodonosnika na jugozapadnoj i jugoistočnoj granici te u tim područjima dominira koncentrirano poniranje vode u podzemlje. Kako nisu izvedena trasiranja, teško je govoriti u kojem smjeru teče podzemna voda koja točkasto ponire u tim područjima. Zapadnu, sjevernu i sjeveroistočnu granicu izgrađuju aluvijalni sedimenti rijeke Krapine čije je duljina unutar područja sliva 59257 m.

Drugi po veličini je sliv Save, površine 321,5 km². Rijeka Sava ne teče istraživanim područjem, no teku njezine značajne pritoke od kojih je vrijedno spomenuti Mikulić, Kunišćak, Čučerjak, Vidovec, Vugrovec, Glavničica, Nespeš, Kašina i Psarić. Površinu uglavnom izgrađuju stijene pontske, pliokvartarne i sarmatske starosti. Zapadnu i sjeverozapadnu granicu izgrađuju gornjotrijaski, badenski i kredni vodonosnici. Sjeverna granica uglavnom je izgrađena od metamorfita, badena te donjeg miocena, dok su u području sjeveroistočne granice prisutni gornjobadenski vodonosnici. Za karbonatne stijene vezane su i pojave vrtača (zapadna i sjeveroistočna granica sliva).

Sliv Lonje, površine km², najmanji je glavni sliv istraživanog područja. Rijeka Lonja glavi je vodotok sliva, duljine 22452,8 m. Sliv pokriva krajnje istočni dio istraživanog područja. Geološka građa relativno je jednostavna, dominiraju sedimenti ponts, lesa i aluvija, dok središnji dio zapadne granice izgrađuje badenski karbonatno-klastični kompleks u kojem su i razvijene krške forme, u obliku ponikvi.

Karta glavnih slivova Zagrebačke gore



- Granica slivova
- Vrhovi
- Naselja
- Bušotine
- Glavni vodotoci
- Stalni potoci
- Povremeni potoci
- Izvori
- Vrtace

Mjerilo 1:130 000

Slika 5.1

6. HIDROLOŠKA ANALIZA

Za razmatrano područje Medvednice na raspolaganju su podaci opažanih visina oborina na sedam meteoroloških stanica: Zagreb-Borčec, Kraljičin Zdenac, Sljeme, Puntijarka, Zagreb-Maksimir, Čučerje i Kašina. Izvor podataka su Godišnjaci Saveznog hidrometeorološkog zavoda koji postoje za osamnaestogodišnje razdoblje od 1961. do 1978. godine. Osnovni podaci za razmatrane meteorološke stanice su u tablici 3.

Tablica 3. Podaci visina oborina za sedam meteoroloških stanica za različita razdoblja nakon 1961 te za razdoblje 1931-1960, te njihove razlike.

Meteorološka stanica	Nadmorska visina (m)	Razdoblje obrade mjesečnih visina oborina (god.)	Prosječna god. visina oborine u razdoblju opažanja (mm)	Prosječna godišnja visina oborine (1931-1960) (mm)	Razlika godišnjih visina oborina (%)
Zagreb-Borčec	220	1969-1978	968	-	-
Kraljičin Zdenac	525	1964-1965	1352	1195	13,2*
Sljeme	999	1961-1972	1356	1238	9,5
Puntijarka	1023	1961-1978	1239	-	-
Zagreb-Maksimir	123	1961-1978	861	870	-1
Čučerje	246	1961-1978	985	-	-
Kašina	205	1961-1978	897	-	-

* dvogodišnja opažanja na meteorološkoj postaji Kraljičin Zdenac su prekratka za usporedbu s nizom od 30 godina.

Na stanici Zagreb-Borčec postoji niz podataka od 1969. godine, na Kraljičinom Zdencu cjeloviti su podaci samo u 1964. i 1965. godini, a za stanicu Sljeme postoji niz do 1972. godine. Ostale četiri stanice: Puntijarka, Zagreb-Maksimir, Čučerje i Kašina imaju podatke od opažanja za svih 18 godina. Pri tom je za stanicu Čučerje trebalo provesti nadopunu za visinu oborine u lipnju 1965. godine.

U tablici 4 su vrijednosti srednjih godišnjih specifičnih baznih dotoka razmatranih vodotoka Medvednice u vlažnoj, približno srednjoj i sušnoj godini. Grafički prikaz srednjih godišnjih specifičnih baznih dotoka q_b za karakteristične godine u ovisnosti od površina slivova A (m^2) je na slici 6.1. Na osnovi tog prikaza zaključuje se da je moguće usvojiti da se područje Medvednice tretira kao jedna regija. Parovi razmatranih vrijednosti imaju veliko rasipanje, ali se ništa pravilnije ne dobije ako se razmatra zasebno vodotoke zapadnog, južnog i istočnog dijela Medvednice.

Za maksimalne od srednjih godišnjih specifičnih baznih dotoka može se izvesti zakonitost:

$$q_{bmax} = 32,26 \times A^{-0,45} \quad \text{s koeficijentom korelacije } r=0,63;$$

za minimalne od srednjih godišnjih specifičnih baznih dotoka:

$$q_{bmax} = 9,49 \times A^{-0,41} \quad \text{s koeficijentom korelacije } r=0,59;$$

a za srednje godišnje specifične bazne dotoke (od hidrograma za približno srednje godine):

$$q_{bmax} = 15,98 \times A^{-0,38} \quad \text{s koeficijentom korelacije } r=0,57;$$

gdje su dimenzije q_b (l/s/km²), a A (km²).

Tablica 4. Srednji godišnji specifični bazni dotoci za 18 vodotoka Medvednice.

Red. br.	Vodotok	Profil	Veličina sliva A (km ²)	Broj godina N	Srednji godišnji specifični bazni dotoci					
					Maksimalni		Približno osrednji		Minimalni	
					Godina	q_{bmax} (l/s/km ²)	Godina	q_{bar} (l/s/km ²)	Godina	q_{bmin} (l/s/km ²)
1	Dedina	Jakovlje	5,6	8	1984	15,5	1985	8,2	1988	5,9
2	Bistra	Donja Bistra	15,38	11	1981	13,7	1989	4,5	1990	3,6
3	Poljanica	Poljanica	3,85	8	1984	39	1989	13	1990	6,58
4	Vrapčak	Gornje Vrapče	11,1	21	1970	15,1	1984	8,2	1990	5,3
5	Vrapčak	Zagreb	14,9	30	1962	8,6	1979	7,2	1968	1,4
6	Kustošak	Kustošija I	6,2	12	1979	8,7	1989	4	1988	3,1
7	Čnomerec	Frateršćica I	6,7	30	1964	10,7	1961	9,9	1990	3
8	Medveščak	Mihaljevac	14,15	20	1980	809	1986	6,8	1990	5,1
9	Bliznec	Bliznec Rebar	4,97	22	1981	15,1	1986	9,7	1988	6,4
10	Štefanovec	Zagreb	14,45	23	1965	10	1976	4,8	1961	2,4
11	Trnava	Trnava	9	8	1983	8,4	1984	5,2	1990	3,2
12	Trnava	Slanovec I	23	8	1985	9,8	1984	5,8	1990	3,4
13	Trnava	Granešina	29	22	1965	14,8	1977	9,4	1968	3,3
14	Vidovec	Slanovec	8	13	1980	9,6	1979	7,5	1978	4,9
15	Rijeka	Sesvete	26,22	13	1989	4,5	1986	1,9	1983	1,2
16	Vugrov potok	Sesvete	30	3	1989	4,9	1988	3,4	1990	2,9
17	Kašina	Gornja Kašina	19,43	11	1989	7,9	1986	5,1	1990	2,7
18	Kašina	Popovec	35	8	1980	7,7	1988	5,1	1990	2,9

Vrijednosti koeficijenta korelacije za izvedene zakonitosti pokazuju da se radi o slabim korelacijskim vezama s velikim rasipanjem ulaznih proračunskih podataka. Prema tome, ove zakonitosti mogu poslužiti isključivo kao orijentacija. Za zaključivanja o raspoloživim vodnim količinama zanimljive su anvelopne krivulje najvećih i najmanjih od srednjih godišnjih specifičnih baznih dotoka, koje su određene na temelju dva ekstremna podatka:

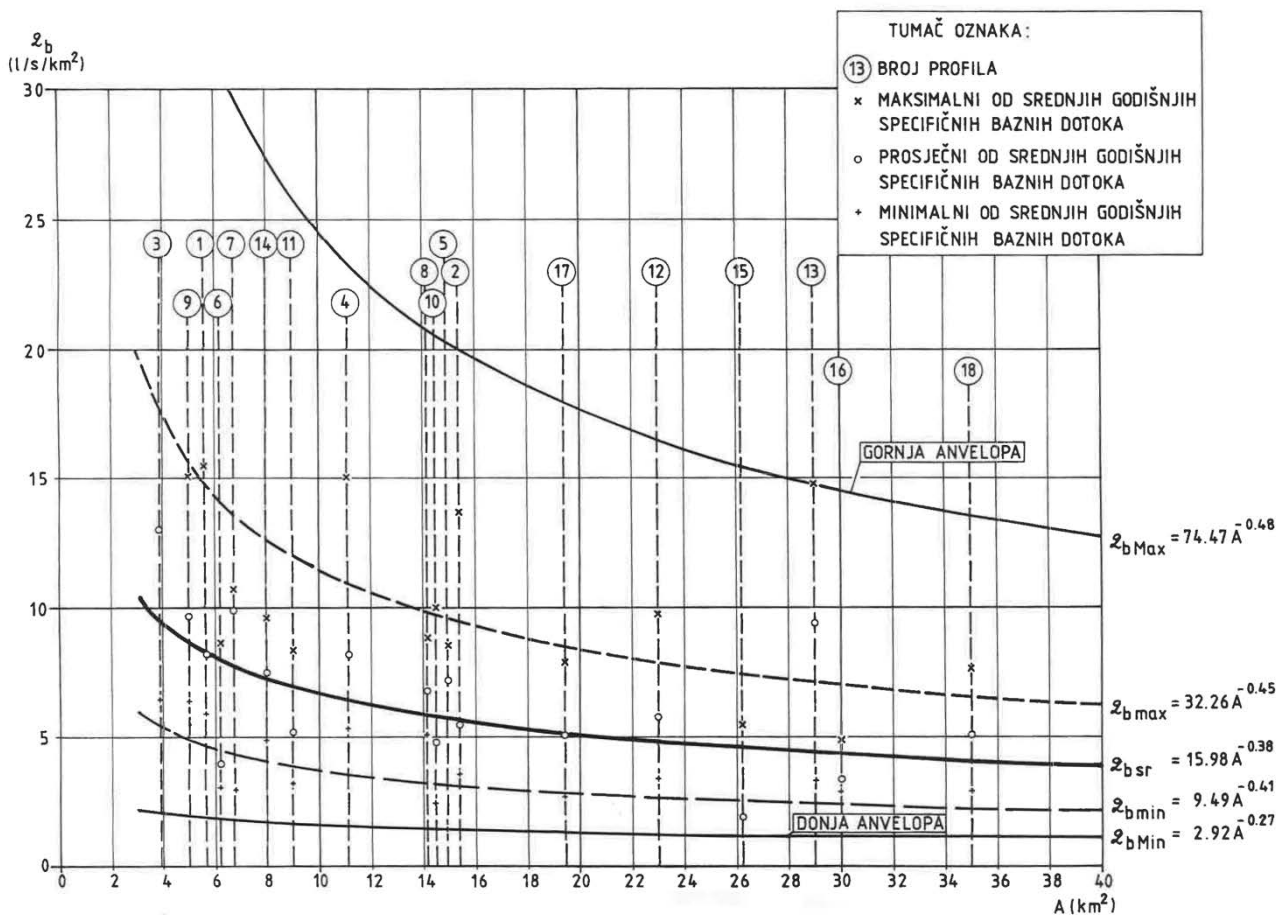
$$q_{bmax} = 74,47 \times A^{-0,48}$$

$$q_{bmin} = 2,92 \times A^{-0,27}$$

q_b (l/s/km²); A (km²)

koje su prihvatljive za slivove od 3 do 40 km².

Znatno rasipanje ulaznih proračunskih podataka uvjetovano je prvenstveno zbog obrade različitih godina-koje su ekstremne ili najbliže prosjeku razdoblja obrade, a razdoblja obrade se po duljinama međusobno značajno razlikuju. Slabo izraženi trendovi kod većine razmatranih nizova ne ukazuju na mogućnost naglih promjena-naročito smanjivanja dotoka. A ujedno je ustanovljeno da su razmatrani nizovi uglavnom dovoljno dugi za obradu. No, u budućnosti bi bilo poželjno, na osnovi većeg broja podataka od novih hidroloških opažanja i mjerenja, provjeriti i potvrditi ovdje izvedene zakonitosti. Kod korištenja predloženih zakonitosti treba imati na umu činjenicu da su one izvedene za prosječne godišnje specifične bazne dotoke. Za raspodjelu dotoka unutar godine, naročito u vlažnim godinama karakteristično je da su u hladnijem dijelu godine dotoci vode znatno veći nego u toplom razdoblju godine.



Slika 6.1. Specifični bazni dotoci vodotoka Medvednice.

Veličine bruto oborina P koje padnu na sliv, određene na osnovi navedenih podloga treba shvatiti orijentacijski (kolona 6, tablica 4).

U tablici 5 su za analizirane hidrometrijske profile prikazane vrijednosti slivnih površina A (kolona 5), prosječnih godišnjih oborina P (kolona 6), prosječnih protoka Q_{sr} (kolona 7) i otjecajnih koeficijenata c (kolona 8). Otjecajni koeficijent srednjih voda c određen je na temelju općenitog izraza:

$$c = \frac{Q_{sr} \times 31,54}{A \times P}$$

gdje su jedinice za Q_{sr} (m^3/s); A (km^2); P (mm); a 31,54 je vremenska konstanta za preračunavanje. Vrijednosti otjecajnih koeficijenata srednjih voda iz tablice 5, radi načina na koji su određene treba shvatiti isključivo kao orijentaciju. Vrijednosti c se kreću u rasponu od $c=0,18$ (Rijeka, Sesvete) do $c=0,56$ (Poljanica, Poljanica) i one su općenito razmjerno niske. Različita razdoblja obrade i promjenljivost visina prosječnih oborina unutar razmatranog područja-koju nije bilo moguće obuhvatiti na temelju sadašnjih podataka značajni su razlozi međusobne neusklađenosti veličina otjecajnih koeficijenata c . No, koeficijenti otjecanja u 8. koloni tablice 5 ukazuju na jedan teži problem, a to je općenito pitanje jesu li protoci u pojedinim profilima realno određeni. Ranija iskustva iz Vodoprivrednih osnova Zagreba od 1967. i 1981. godine također ukazuju na, u određenoj mjeri nepouzdanost podatke.

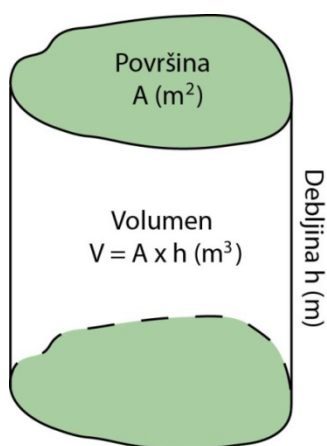
Tablica 5. Vrijednosti slivnih površina, A, prosječnih godišnjih oborina, P, prosječnih protoka, Qsr i otjecajnih koeficijenata, c.

Redni broj	Vodotok	Profil	Veličina		Bruto oborina P (mm)	Prosječni protok Qsr (m ³ /s)	Otjecajni koeficijent c
			sliva A (km ²)	Razdoblje			
1	Dedina	Jakovlje	5,6	1983-1990	1100	0,092	0,47
2	Bistra	Donja Bistra	15,38	1980-1990	1020	0,188	0,38
3	Poljanica	Poljanica	3,85	1983-1990	1090	0,075	0,56
4	Vrapčak	Gornje Vrapče	11,1	1970-1990	1020	0,117	0,33
5	Vrapčak	Zagreb	14,9	1961-1990	1020	0,173	0,36
6	Kustošak	Kustošija I	6,2	1978-1990	950	0,046	0,25
7	Črnomerec	Frateršćica I	6,7	1961-1990	960	0,084	0,41
8	Medveščak	Mihaljevac	14,15	1971-1990	980	0,141	0,32
9	Bliznec	Bliznec Rebar	4,97	1969-1990	1130	0,063	0,37
10	Štefanovec	Zagreb	14,45	1961-1983	1120	0,14	0,27
11	Trnava	Trnava	9	1983-1990	1100	0,064	0,21
12	Trnava	Slanovec I	23	1983-1990	1080	0,226	0,29
13	Trnava	Granešina	29	1961-1982	1070	0,338	0,34
14	Vidovec	Slanovec	8	1978-1990	950	0,078	0,32
15	Rijeka	Sesvete	26,22	1978-1990	930	0,142	0,18
16	Vugrov potok	Sesvete	30	1988-1990	920	0,183	0,21
17	Kašina	Gornja Kašina	19,43	1980-1990	1040	0,158	0,25
18	Kašina	Popovec	35	80-84, 88-90	980	0,266	0,24

Zbog svega iznesenog rezultati ove studije mogu se jedino prihvatiti kao orijentacija koju je u daljnjem radu, nakon prikupljanja dovoljno pouzdanih podataka, neophodno provjeriti i na taj način verificirati.

7. ZALIHE PODZEMNIH VODA

Zalihe podzemnih voda izračunate su dvjema metodama. Prva, jednostavna metoda (ista kao kod Žumberka i Samoborskog gorja), temelji se na umnošku površine vodonosnika, debljine preuzete s geološkog, odnosno hidrogeološkog stupa te poroznosti. Jednostavnost metode daje nam zalihe velike pouzdanosti tj. minimalne zalihe vode unutar promatranih vodonosnika. Razlog tome je što prilikom izračuna ovom metodom, koristi se samo površinska raspodjela vodonosnika (slika 7.1), ne uzimaju se u obzir potpovršinska raspodjela i strukture. Strukturni sklop je iznimno važan u područjima planina i gora jer su stijene često bile/još uvijek su izložene snažnim kompresijskim naprezanjima koje mogu uzrokovati i poudvostručenje debljina, a time i povećanje zaliha podzemne vode.



Slika 7.1. Slikoviti prikaz metode umnoška površine i debljine vodonosnika.

Ovu metodu treba uzeti samo orijentacijski jer ne daje realne rezultate s obzirom na navedene nedostatke. Glavna prednost metode je što daje „sigurne“ tj. najmanje moguće vrijednosti zaliha podzemne vode. Zalihe manje od dobivenih ovom metodom nerealno je očekivati s obzirom da se pouzdano zna da se vodonosnici značajno više rasprostiru potpovršinski nego površinski.

Tablica 6. Površine, postotni udjeli i minimalna, srednja i maksimalna debljina geoloških jedinica (preuzeto s listova OGK, i geoloških stupova) i volumeni pornog prostora pojedinih vodonosnika dobiveni množenjem volumena (izračunato množenjem površine i debljine) stijene s poroznosti.

	Površina (km ²)	Postotak (%)	Min. Debljina (m)	Sred. Debljina (m)	Max. Debljina (m)	Min. volumen pornog prostora (km ³)	Sred. volumen pornog prostora (km ³)	Max. volumen pornog prostora (km ³)
M₄²	36,26	4,33	250	250	250	0,45	1,81	3,17
K₂³	17,20	2,06	250	250	250	0,22	0,86	1,51
T₃	4,37	0,52	600	700	800	0,13	0,46	0,87
T₂	6,71	0,80	400	450	500	0,13	0,45	0,84
UKUPNO	47,34	7,71	1500	1650	1800	0,93	3,59	6,39

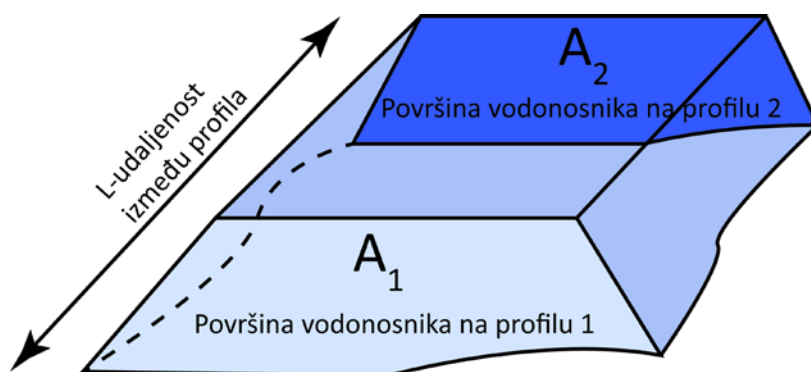
Iz tablice 6 vidljivo je da su minimalne zalihe podzemne vode koje se mogu očekivati 0,93 km³ a maksimalne 6,39 km³. Kako su maksimalne/minimalne vrijednosti dobivene korištenjem maksimalnih/minimalnih debljina i maksimalnih/minimalnih poroznosti, može se reći da su te vrijednosti nerealne. Tako da se može zaključiti da korištenjem ove metode, uz sve njezine mane, realne vrijednosti volumena pornog prostora u gorskim i prigorskim vodonosnicima Medvednice mogu procijeniti na 3,6 km³.

Kao što je već više puta spomenuto, ovakav izračun dovoljan samo ilustrativno, te je korištena druga metoda izračuna zaliha podzemnih voda. Da bi odredili potpovršinsko rasprostiranje vodonosnika potrebno je načiniti geološke profile kako bi rekonstruirali geološku građu podzemlja.

Za precizniji izračun zaliha podzemne vode za područje Medvednice koristi će se metoda temeljne na određivanju volumena vodonosnika između regionalnih shematskih profila Medvednice, te množenja tog volumena s vrijednostima poroznosti kako bi se dobio porni prostor dostupan za uskladištenje podzemne vode. Da bi se izračunao volumen vodonosnika potrebno je izračunati površinu presjeka vodonosnika na profilima i pomnožiti ju s udaljenosti između profila. Površina poprečnog presjeka može se izračunati na više načina, ručno ili softverski. Prikazana metoda naravno ne daje pravi volumen stijena u podzemlju Medvednice, ne samo zbog velike ovisnosti rezultata od interpretacije na geološkim profilima već i zbog značajnih pojednostavljenja pri izračunu i udaljenost između profila, čime se zanemaruju neke lokalne strukture. Cilj je bio dobiti red veličine u kojima se kreću volumeni vode kako bi se ukazalo na veliki hidrogeološki potencijal gorskih područja.

Metoda je temeljena na trapezoidalnoj metodi izračuna volumena. Iako presjeci vodonosnika na geološkim profilima ne odgovaraju trapezoidima (slika 7.2), aproksimacija je valjana pri ovako regionalnim mjerilima i pri grubim procjenama. Korištena je sljedeća jednadžba za izračun volumena stijene između geoloških profila (slika 3.5 i 3.6):

$$V = L \times \frac{A_1 + A_2}{2} \text{ (km}^3\text{)}$$



Slika 7.2. Shematski prikaz izračuna volumena primjenom trapezoidalne formule.

Za udaljenosti profila je uzeta srednja vrijednost udaljenosti krajnjih točaka susjednih profila. Takav odabir udaljenosti između profila opterećuje izračun određenom pogreškom, no zanemarivom s obzirom na cilj izračuna i mjerilo istraživanja. Precizniji izračun mogao bi se dobiti izradom 3D modela podzemlja kao u slučaju Žumberka i Samoborskog gorja, a to bi se radilo u sljedećoj fazi istraživanja.

Tablica 7. Rezultati izračuna volumena pornog prostora (korištene su poroznosti 5%, 15%, 25% za dolomite i 5%, 20% i 35%) korištenjem trapezoidalne metode izračuna volumena.

Vodonosnik	Volumen stijene (km ³)	Volumen pornog prostora (km ³)		
		D: 5%; V:5%	D: 15%; V:20%	D: 25%; V:35%
M ₄ ²	32,8	0,2	6,6	11,5
K ₂ ³	6,3	0,1	1,3	2,2
T ₃	211,5	10,6	31,7	52,9
T ₂	202,8	10,1	30,4	50,7
Ukupno	453,3	21,0	69,9	117,2

Rezultati pokazuju drastično veće volumene pornog prostora u vodonosnicima Medvednice dobivenih na temelju računa trapezoidnom formulom (tablica 7) u odnosu na množenje površinske

rasprostranjenosti s debljinom. Volumeni na Medvednici čak premašuju volumene izračunate za Žumberak i Samoborsko gorje gdje je površinska rasprostranjenost vodonosnika puno veća. Razlog tome je ukupna površina istraživanog područja Medvednice 837 km² a Žumberka i Samoborskog gorja, 586 km². To se na prvi pogled ne čini kao opravdani razlog za dobivanje ovako velikih brojeva, no temeljna pretpostavka za provedeno istraživanje je da su glavni predmet istraživanja, trijaski karbonatni vodonosnici nastali na karbonatnom šelfu Pangea-e za vrijeme otvaranja oceanskog prostora Tethysa. Prema nekim autorima, u to vrijeme istaloženo je i preko 2 km karbonata. Vodeći se tom pretpostavkom tako velika karbonatna platforma, tektonski modificirana nalazi se djelomično na površini a većim dijelom u podzemlju prekrivena stijenama različite starosti i postanka. Trijaskih karbonata na površini Medvednice nema puno, no njihova pojava na površini i u bušotini BV-1 kod Zeline dokazuju da ih u podzemlju sigurno ima. Prema tome uzeta površina istraživanja direktno utječe na dobivene rezultate.

8. LITERATURA:

ANDERSON, H. & JACKSON, J. (1987): Active tectonic in the Adriatic region.- Royal Astronom. Soc., Geophys. J., 91, 937-983

BABIĆ, LJ., ZUPANIĆ, J. & CRNJAKOVIĆ, M. (1979): Prepoznavanje dviju jedinica unutar „klasitita s ofiolitima“ Ivanšćice i uloga magmatskog pojasa i aktivnog kontinentalnog ruba pri njihovom postanku.- Zbornik radova 3.god. znan. skupa sekcije za primjenj. geol., geofiz., geokem., Znan. savjeta za naftu, JAZU, Stub. Toplice, 115-123.

BASCH, O. (1983): Osnovna geološka karta, 1:100 000, list Ivanić Grad. Savezni geološki zavod, Beograd.

BASCH, O. (1983): Tumač za osnovnu geološku kartu, 1:100 000, list Ivanić Grad. Savezni geološki zavod, Beograd.

BELAK M., PAMIĆ J., KOLAR-JURKOVŠEK T., PECKAY Z., KARAN D. (1995): Alpinski regionalno metamorfni kompleks Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska). In: Hrv. geol. kongres (eds. I. Vlahović, I. Velić and M. Šparica). Zbornik radova 1 (1): 67–70. Hrvatski geološki institut Zagreb.

BRKIĆ, Ž. & ČAKARUN, I. (1998): Osnovna hidrogeološka karta, mjerilo 1:100 000. List "Zagreb". Hrvatski geološki institut, Zagreb.

CALIS, E., NOCQUET, J.M., JOUANNE, F. & TARDI, M. (2002): Current strain regime in the Western Alps from continuous Global Positioning System measurements. 1996-2001.-Geology, 30, 7, 651-654, Boulder.

DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAYER, D., ŽUGAJ, R., TOMLJENVIĆ, B. (1996): Gorski i prigorski vodonosnici sjeverne Hrvatske (izvješće o radovima u 1995. godini). Fond stručne dokumentacije RGNF, Zagreb.

DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAYER, D., ŽUGAJ, R., TOMLJENVIĆ, B. (1997): Gorski i prigorski vodonosnici sjeverne Hrvatske (izvješće o radovima u 1996. Godini). Fond stručne dokumentacije RGNF, Zagreb.

FODOR L., JELEN B., MÁRTON E., SKABERNE D., ÈAR J., VRABEC M. (1998): Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault: implications for Alpine-Carpathian extrusion models. *Tectonics*, 17: 690–709.

HALAMIĆ J., SLOVENEK D., KOLAR-JURKOVŠEK T. (1998): Triassic pelagic limestones in pillow lavas in the Orešje quarry near Gornja Bistra, Medvednica Mt. (Northwest Croatia). *Geologia Croatica*, 51: 33–45.

HALAMIĆ J., GORIČAN Š., SLOVENEK D., KOLAR-JURKOVŠEK T. (1999): Middle Jurassic radiolarite-clastic succession from the Medvednica Mt. (NW Croatia). *Geologia Croatica*, 52: 29–57.

HERAK, M., HERAK, D., MARKUŠIĆ, S. (1995): Fault plane solutions for earthquakes (1956-1995) in Croatia and neighboring regions. *-Geofizika*, 12, 43-56, Zagreb.

HORVÁTH, F., DÖVÉNYI, P., SZALAY, Á. & ROYDEN, L.H. (1988): Subsidence, thermal, and maturation history of the Great Hungarian Plain.- U: ROYDEN L.H. & HORVÁTH, F. (eds.): *The Pannonian Basin-A study in basin evolution*. Amer. Ass. Petr. Geol. Mem., 45, 355-372, Tulsa.

KUK V., PRELOGOVIĆ E., SOVIĆ I., KUK K., ŠARIRI K. (2000): Seismological and seismo-tectonical properties of the wider Zagreb area. *Građevinar*, 52: 647–653.

LANKREIJER, A. (1998): Rheology and basement control on extensional basin evolution in Central and Eastern Europe: Variscan and Alpine-Carpathian-Pannonian tectonics.-Doktorska disertacija, Sveučilište Virje, 158 pp. Amsterdam.

MÁRTON, E., PAGÁC, P. & TÚNYI, I. (1992): Paleomagnetic investigations on Late Cretaceous-Cenozoic sediments from the NW part of the Pannonian Basin.- *Geo. Carpathica*, 43, 363-369, Bratislava.

MÁRTON, E., DROBNE, K., CIMERMAN, F., ČOSKOVIĆ, V. KOŠNIR, A. (1995): Paleomagnetism of Latest Maastrichtian Trough Oligocene rocks in Istria (Croatian), the Karst region, and S of the Sava fault (Slovenia).- U: Vlahović, I., Velić, I. & Šparica, M. (eds.): *zbornik radova 1. Hrv. Geol. Kongr., 2. Inst. Geol. Istr.*, 355-360, Zagreb.

MARTON, E., PAVELIĆ, D., TOMLJENVIĆ, B., PAMIĆ, J. & MARTON, P. (1999): First paleomagnetic results on Tertiary rocks from Slavonian mountains in the southern Pannonian basin, Croatia.-*Geol. Carpathica*, 50/3, 273-279, Bratislava.

MÁRTON E., PAVELIĆ D., TOMLJENVIĆ B., AVANIĆ R., PAMIĆ J., MÁRTON P. (2002): In the wake of a counter clockwise rotating Adriatic microplate: Neogene paleomagnetic results from Northern Croatia. *International Journal of Earth Sciences*, 91:514–523.

MATOŠ, B., TOMLJENVIĆ, B., TRENC, N. (2014): Identification of tectonically active areas using DEM: a quantitative morphometric analysis of Mt. Medvednica, NW Croatia. *Geological Quarterly*, 2014.

MAYER, D., DRAGIČEVIĆ, I., URUMOVIĆ, K., (1994): Analiza i reinterpretacija rezultata hidrogeoloških istraživanja na području bivše općine Križevci. *Hidroprojekt-ing*, Zagreb.

MIHALIĆ S., BERNAT S., HAMASAKI E., GERBER N. (2011): Historical landslides in the City of Zagreb (Croatia): analysis of existing data. 2nd PROJECT WORKSHOP on Risk Identification and LandUse Planning for Disaster Mitigation of Land slides and Floods (Book of Proceedings), University of Rijeka, Rijeka.

MIKLIN, Ž., JURAK, V., SLIŠKOVIĆ, I., DOLIĆ, M. (2009): Heursitički pristup geotehničkog hazarda u parku prirode Medvednica. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, vol 21, str 1-10, Zagreb.

PAMIĆ, J., TOMLJENVIĆ B. (1998): Basic geological data from the Croatian part of the Zagorje-Mid-transdanubian Zone. *Acta Geol. Hung.*, 41/4, 389-400.

PLACER, L. (1999): Structural meaning of the Sava folds.-*Geologija*, 411, 191-221, Ljubljana.

POLINSKI, R.K. & EISBACHER, G.H (1992): Deformational partitioning during polyphase, oblique convergence in the Karawanken Mountains, southeastern Alps – *J. Struct. Geol.*, 6/4, 439-442.

PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B., DRAGAŠ, M., (1995): Dinamika nastana struktura južnog dijela Panonskog bazena.- U: Vlahović, I., Velić, I. & Šparica, M (eds.): *Zbornik radova 1. Hrv geol. Kongr., 2. Inst. Geol. Istr.*, 481-486, Zagreb

PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., DRAGAŠ, M & LUČIĆ, D. (1998): Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin.- *Tectonophysics*, 297, 283-293

ROYDEN, L.H., HORVATH, F., NAGYMAROSY, A. & STEGENA, L. (1983): Evolution of the Pannonian basin System 2. Subsidence and thermal history.-*Tectonics*, 2, 91-137.

SCHMID S.M., BERNOULLI D., FÜGENSCHUH B., MATENCO L., SCHEFER S., SCHUSTER R., TISCHLER M., USTASZEWSKI K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101:139–183.

ŠLIŠKOVIĆ, I. & ŠARIN, A. (1999): Osnovna hidrogeološka karta, mjerilo 1:100 000. List "Ivanić Grad". Hrvatski geološki institut, Zagreb.

ŠESTANOVIĆ, S. (1993): Osnove inženjerske geologije. Udžbenici Sveučilišta u Splitu.

ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M. & HEĆIMOVIĆ, I. (1983): Osnovna geološka karta, mjerilo 1:100 000, list Varaždin L 33-69, Inst. Geol. Istraž. Zagreb (1978), sav. Geol. Zav., Beograd.

ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M. & HEĆIMOVIĆ, I. (1981): Tumač za osnovnu geološku kartu, mjerilo 1:100 000, list Varaždin L 33-69, Inst. Geol. Istraž. Zagreb (1978), sav. Geol. Zav., Beograd.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1978): Osnovna geološka karta, 1:100 000, list Zagreb. Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1979): Tumač za osnovnu geološku kartu, 1:100 000, list Zagreb. Savezni geološki zavod, Beograd.

TAKŠIĆ A. (1965): Tectonics of Upper Oligocene deposits in Northwestern Croatia. *Acta geologica*, 5, Prirodoslovna istraživanja, JAZU, 35: 269–285.

TOMLJENOVIĆ, B. & CSONTOS, L. (2001): Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia). *Int J Earth Science (Geol Rundsch)*, 90, 560-578.

TOMLJENOVIĆ, B. (2002): Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja. Doktorska disertacija, RGNF, Sveučilište u Zagrebu.

TOMLJENOVIĆ B., CSONTOS L., MÁRTON E., MÁRTON P. (2008): Tectonic evolution of northwestern Internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, North Croatia. *Geological Society Special Publications*, 298:145–167.

USTASZEWSKI K., SCHMID S.M., LUGOVIĆ B., SCHUSTER R., SCHALTEGGER U., BERNOULLI D., HOTTINGER L., KOUNOV A., FÜGENSCHUH B., SCHEFER S. (2009): Late Cretaceous intraoceanic magmatism in the internal Dinarides (northern Bosnia and Herzegovina): implication for the collision of the Adriatic and European plates. *Lithos*, 108: 106–125.

VERBIČ T. (2005): Quaternary stratigraphy and neotectonics of the Eastern Krško Basin, Part 2: Neotectonics. *Razprave IV. Razreda SAZU*, 46-1: 171–216.

VRABEC M. (1999): Style of postsedimentary deformation in the Plio-Quaternary Velenje basin, Slovenia. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 8: 449–463.

VRSALJKO, D. (1999): The Pannonian Paleoecology and Biostratigraphy of Molluscs from Kostanjek-Medvednica Mt., Croatia.-Geol. Croat., 52/1, 9-27, Zagreb.

VRSALJKO D., MIHALIĆ S., BOŠNJAK M., KRKAČ M. (2011): Lithostratigraphical investigations of the Kostanjek landslide wider area: review of existing data and planned activities. 2nd PROJECT WORKSHOP on Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods (Book of Proceedings), University of Rijeka, Rijeka.

ZUPANIČ, J., BABIĆ, LJ., & CRNJAKOVIĆ, M. (1981): Bazenski klastiti donje krede (Oštrc formacija) Ivanščice u sjevernoj Hrvatskoj.- Acta geol., 11/1, JAZU Zagreb, 1-44.

http://www.pp-medvednica.hr/Medvednica_hr/Medvednica_priroda_klima.htm (10.11.2014)