

C. KALNIČKO GORJE



Sadržaj:

1.	UVOD	185
2.	GEOGRAFSKE I GEOMORFOLOŠKE I KLIMATSKE ZNAČAJKE	186
3.	GEOLOŠKA GRAĐA.....	188
3.1.	Meozoik.....	189
3.2.	Kenozoik	191
4.	TEKTONIKA.....	202
4.1.	Tektonska jedinica: horst kalničkog gorja	203
4.2.	Strukturna jedinica: antiforma Ljubelja	204
4.3.	Strukturna jedinica: navlaka (?) Kalnika–(prema ŠIMUNIĆ et al., 1978)	204
4.4.	Strukturna jedinica: strukturni blok kalničko prigorje.....	205
5.	HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE KALNIKA.....	207
6.	GLAVNI SLIVОВИ	216
7.	ZALIHE PODZEMNIH VODA.....	219
8.	LITERATURA	222

Popis slika:

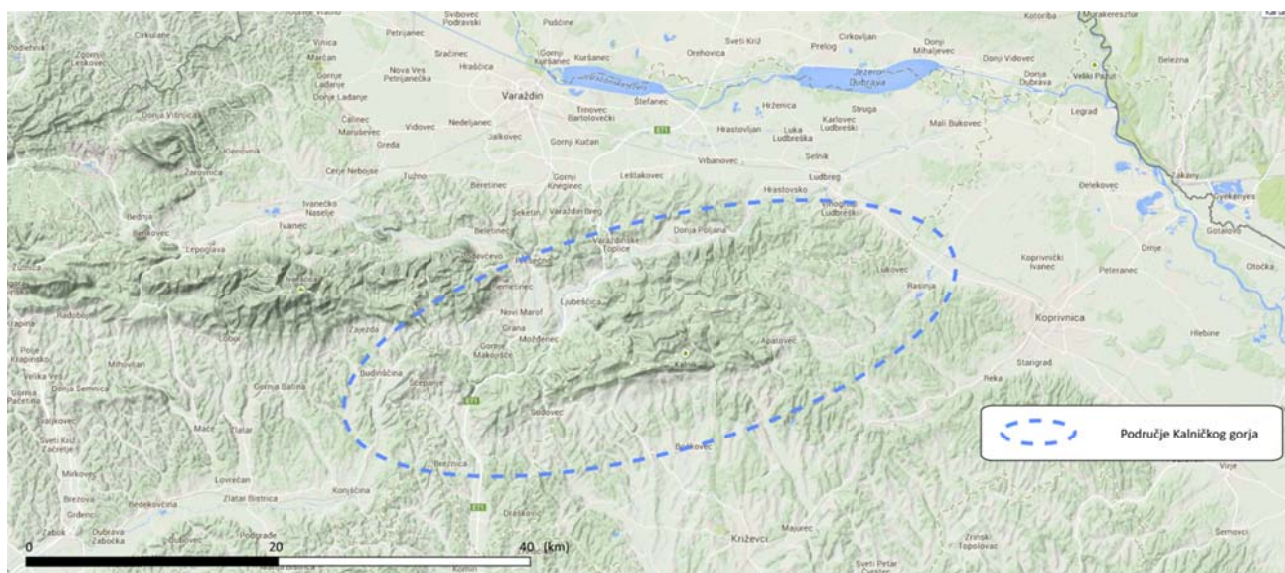
Slika 1.1. Satelitska snimka Kalničkog gorja (Google Earth, 8.11.2014).....	185
Slika 2.1. Digitalni model Kalničkog gorja,(poboljšan Swiss hillshade modelom u softveru ArcGIS) s označenim izvorima i vodotocima.....	187
Slika 3.1.Udio geoloških jedinica u površinskoj građi Kalničkog gorja.	189
Slika 3.2. Transgresivni kontakt gornjobadenskih vapnenaca (desno od granice) i trijaskih dolomita (lijevo od granice) u kamenolomu	190
Slika 3.3. Izdanak paleogenskih breča (stari grad Kalnik, odmah pored planinarskog doma Kalnik) .	191
Slika 3.4. Detalj: rasjed u paleogenkim brečama na izdanku s slike 3.3 (stari grad Kalnik, odmah pored planinarskog doma Kalnik).	192
Slika 3.5. Bazalni dio paleogenskih karbonatnih breča (područje starog grada Kalnika, nedaleko od planinarskog doma Kalnik)	192
Slika 3.6. Izdanak na kojem je vidljiv kontakt bazalnih karbonatnih breča gornjeg badena i gornjobadenskih vapnenaca (kamenolom Vojnovec Kalnički).....	194
Slika 3.7. 1 sa slike 3.6- gornjobadenski vapnenci; 2 sa slike 3.6-gornjobadenkse bazalne breče	194
Slika 3.8. Slojevitost gornjobadenskih litotamnijskih vapnenaca u Brezničkom Humu.....	195
Slika 3.9. Siparišni materijal koji nastaje kao rezultat trošenja badenskih vapnenaca (hipsometrijski malo niže od planinarskog doma „Kalnik“).	198
Slika 3.10. Geološka karta istraživanog područja (ŠIMUNIĆ et al., 1978; HEĆIMOVIĆ, 1994).	199
Slika 3.11. Shematski regionalni poprečni geološki profili Kalnika.	200
Slika 3.12. Geološki stup Kalnika (ŠIMUNIĆ et al., 1978).	201
Slika 4.1. Rasjedna ploha u gornjobadenskim naslagama (breče konglomerati i vapnenci), u kamenolomu Vojnovec Kalnički.	202
Slika 4.4.2. Odlomak stijene koja sadrži rasjednu plohu u badenskim vapnencima (ukazuje na mladu tektoniku-postbadensku), hipsometrijski malo niže od planinarskog doma „Kalnik“.	203
Slika 4.3. Recentni strukturni sklop.	206
Slika 5.1. Disolucijska poroznost u litotamnijskim vapnencima gornjeg badena (kamenolom Vojnovec Kalnički).	208
Slika 5.2. bHidrogeološka karta Kalničkog gorja (prema MRAZ et al., 2008).	211
Slika 5.3. Hidrogeološki profili Kalničkog gorja	212
Slika 5.4. Transformacija iz geološkog u hidrogeološki stup Kalnika.	213
Slika 5.5. Crpilište „Vratno“.....	214
Slika 5.6. Izvor nekoliko metara ispod planinarskog doma „Kalnik“.....	215
Slika 6.1. Karta glavnih slivova Kalnika.....	218

Popis tablica:

Tablica 1. Udjeli geoloških jedinica u površinskoj geološkoj građi Kalnika.	188
Tablica 2. Površine glavnih slivova s duljinama njihovih glavnih vodotoka unutar sliva.	219
Tablica 3. Izračun pornog prostora gorskih vodonosnika Kalnika, izračunate množenjem površine i debljine vodonosnika.	220
Tablica 4. Izračun pornog prostora gorskih vodonosnika Kalnika izračunate pomoću kulisnog dijagrama.....	220

1. UVOD

Kalničko gorje (slika 1.1) treća je gora obuhvaćena istraživanjem. Površina istraživanog područja je 533,25 km², i pokriva greben Kalnika te njegove prigorske prostore. Bez obzira što u površinskoj geološkoj građi Kalnika, glavni vodonosnici, trijaski dolomiti ne sudjeluju u velikom udjelu, štoviše, sudjeluju sporadično, njihova potpovršinska rasprostranjenost je vrlo velika. Za područje Kalnika, kao i cijeli sjeverozapadni dio Hrvatske vrijedi početna pretpostavka istraživanja da su vodonosnici taloženi za vrijeme trijasa na prostranom šelfnom prostoru Pangea-e, te da je za to vrijeme istaloženo nerijetko preko tisuću metara vapnenaca i dolomita. Radi se o regionalnoj karbonatnoj platformi, postojane debljine na širokim prostorima koja može, mjestimično biti razlomljena u blokove tektonskim procesima i/ili naknadnim vulkanizmom.



Slika 1.1. Satelitska snimka Kalničkog gorja (Google Earth, 8.11.2014).

Na temelju takve već utvrđene pretpostavke, i podatka iz bušotina (primjer: crpilište „Vratno“) cilj istraživanja bio je procijeniti red veličine zaliha podzemne vode, primarno u trijaskim, no i drugim gorskim vodonosnicima od kojih u geološkoj građi Kalnika sudjeluju badenski vapnenci i paleogenske karbonatne breče. Zbog velike i postojane debljine trijaskih vodonosnika, u njima se očekuje i najveći volumen pornog prostora, koji ako je potpuno saturiran vodom, predstavlja zalihe podzemne vode. Da je podzemlje saturirano vodom, govore nam podaci o izvorima, jer na izvorima istječe „višak“ vode iz podzemlja. Metoda procjene zaliha podzemne vode, tj. volumena pornog prostora, ista je kao i za Zagrebačku goru.

2. GEOGRAFSKE I GEOMORFOLOŠKE I KLIMATSKE ZNAČAJKE

Kalničko gorje (slike 1.1, 2.1) smješteno je u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, većim dijelom u Varaždinskoj, a manjim dijelom u Koprivničko-Križevačkoj županiji. Bilo planine, pružanja I-Z dužine je oko 40ak kilometara a širine 10 km. Najviši vrh je Vranilac, 643 m te Peca, 624 m, vrijedno je i spomenuti vrhove, Pusta Barbara (460 m), Ljuba Voda (546 m), i Ljubelj (558 m). Od većih mjesta, s zapadne strane nalaze se grad Novi Marof, s sjeverne strane, općina Ljubeščica i Varaždinske Toplice, na sjeverozapadu, grad Ludbreg, južno grad Križevci te istočno grad Koprivnica.

Greben Kalnika izdužen je u smjeru I-Z s morfološki strmim padinama i dolinama. Razvedena morfologija prisutna je sjeverno i južno od središnjeg grebena Kalnika. Sjeverno područje izgrađeno je od krednih i donjomiocenskih sedimenata a područje južno od karbonatne "jezgre" masiva izgrađuju mlađe neogenske naslage. U odnosu na Medvednicu i Žumberak i Samoborsko gorje, na površini Kalnika nisu razvijene krške forme u obliku ponikvi. Izvori su, može se reći raspoređeni uniformno oko središnjeg grebena, s napomenom da ih je najmanje na sjevernim obroncima (slika 2.1).

Šire područje Križevaca uključujući i masiv Kalnika, pripadaju pojasu umjerene kontinentalne klime, sa značajkama prijelaznog područja između kontinentalne, mediteranske i alpske klime (MRAZ et al., 2008). Srednja siječanjska temperatura je -1,6 °C, a u najvišim dijelovima Kalnika -2,0 °C. Srednja srpanjska temperatura odraz je utjecaja kontinentalne klime i iznosi 20,7 °C u nizinskim dijelovima dok je nešto niža u gorskim dijelovima Kalničkog gorja. Na području Kalnika srednje godišnje oborine ponekad prelaze 1100 mm, a u nizinskim područjima maksimalno iznose 880 mm (MRAZ et al., 2008). Pod dominantnim utjecajem kontinentalne klime više je oborina u razdoblju travanj-rujan nego u hladnijem dijelu godine. Glavni minimum je u zimskim mjesecima, a maksimum u ljetnom razdoblju (MRAZ et al., 2008).

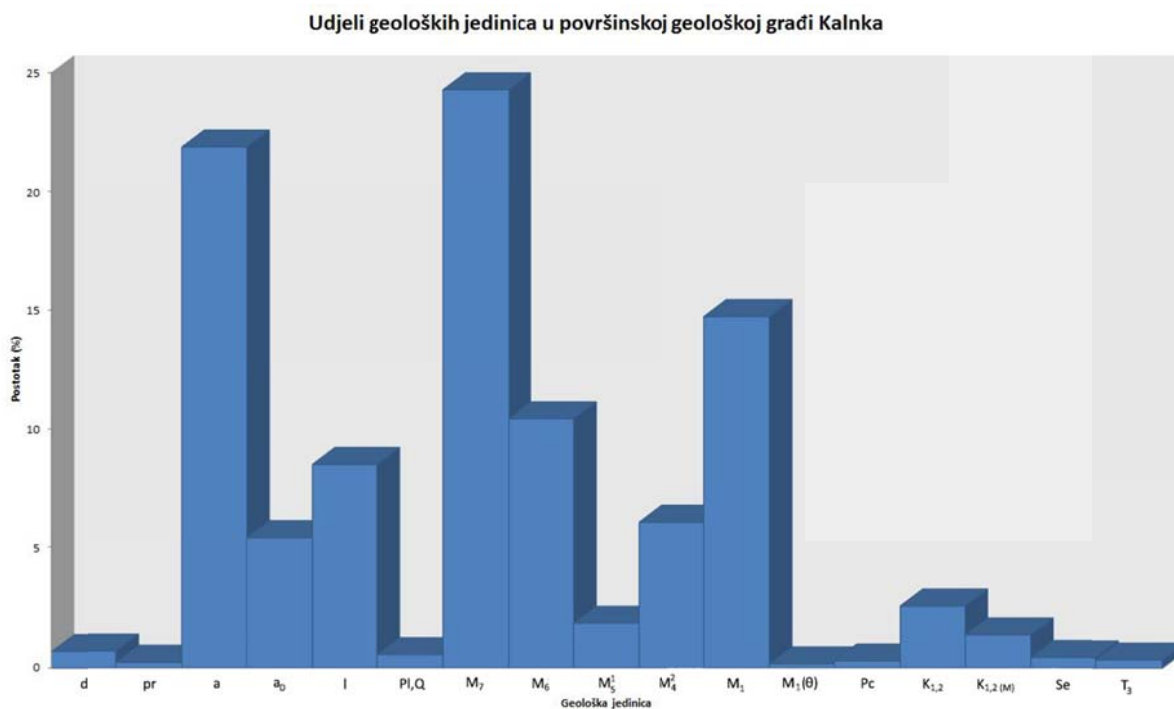
Slika 2.1. Digitalni model Kalničkog gorja, (poboljšan Swiss hillshade modelom u softveru ArcGIS) s označenim izvorima i vodotocima.

3. GEOLOŠKA GRAĐA

U geološkoj građi Kalnika na površini su prisutne stijene od gornjeg trijasa do najmlađih aluvijalnih, proluvijalnih i deluvijalnih taložina. Geološka građa i opis geoloških jedinica preuzet je s lista OGK mjerila 1:100 000, Varaždin (ŠIMUNIĆ et al., 1978) te disertacije (HEĆIMOVIĆ, 1995). S geološke karte (slika 3.10), tablice 1, i slike 3.1 vidljivo je da u površinskoj građi sudjeluju najviše pontski, s 24 %, i aluvijalni sedimenti s 21 %. Od vodonosnika u površinskoj građi dominantni su badenski vapnenci s 6 %, dok su trijaski i paleogenski vodonosnici zastupljeni s manje od 1 %. Mali udio tih vodonosnika u površinskoj građi nikako ne znači da tih vodonosnika nema u podzemlju, jer su oni prekriveni neogenskim sedimentima (o čemu nam govore podaci iz bušotina, npr. crpilište „Vratno“). Za prikaz građe podzemlja, ali i izračun volumena vodonosnika načinjeni su geološki profili (slika 3.11) te geološki stup Kalnika (3.12).

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

Geološka jedinica	Površina (km ²)	Postotak (%)
d	3,72	0,70
pr	1,21	0,23
a	116,79	21,89
a _D	29,22	5,48
I	45,54	8,53
PI,Q	2,93	0,55
M ₇	129,53	24,27
M ₆	55,74	10,45
M ₅ ¹	9,92	1,86
M ₄ ²	32,68	6,12
M ₁	78,74	14,76
(θ)	0,87	0,16
Pc	1,51	0,28
K _{1,2}	13,77	2,58
K _{1,2(M)}	7,33	1,37
Se	2,30	0,43
T ₃	1,83	0,34
Ukupna površina	533,62	100,00
Površina vodonosnika	36,01	6,75



Slika 3.1. Udio geoloških jedinica u površinskoj građi Kalničkog gorja.

3.1. Mezozoik

Mezozojske stijene izgrađuju male dijelove središnjeg dijela masiva Kalnika. Najstarije mezozojske naslage su naslage **srednjeg i gornjeg trijasa (T_{2,3})** (slika 3.2). Sastoje se od gromadastih i debelouslojenih sivih vapnenaca i dolomita. Vapnenci su određeni kao algalni biomikriti, fosiliferni i peletski mikriti. U slijedu vapnenaca nerijetko se pojavljuju slojevi i leće dolomita čija debljina varira od nekoliko metara do nekoliko desetaka metara. Određeni su pretežito kao intraklastični i sitnozrnati dolomiti, dok se stromatolitni dolomiti rjeđe pojavljuju.



Slika 3.2. Transgresivni kontakt gornjobadenskih vapnenaca (desno od granice) i trijaskih dolomita (lijevo od granice) u kamenolomu

Raznovrsne stijene kredne starosti ($K_{1,2}$) izgrađuju centralne dijelove Kalnika. U kredu su uvrštene naslage ofiolitnog melanža alb-cenomanske starosti te serpentiniti i vulkaniti. Naslage vulkanogeno-sedimentnog kompleksa prvi je opisao GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1908). Ostatke vulkanogeno-sedimentnog kompleksa iz različitih nivoa nalazimo u području gora SZ Hrvatske. U bazi dominiraju krupnozrnati sedimenti u odnosu na sitnozrnate koji prevladavaju u višim horizontima. Sedimentacija sitnije zrnatog materijala ukazuje na smanjen donos terigenog materijala. U njima se u području Kalnika nalaze uložene veće mase eruptiva s mjestimičnim jastučastim formama koje ukazuju na podmorske izljeve. Na području Kalnika najčešće su zastupljeni: silicijski šejlovi koji se ponekad izmjenjuju s pješčenjacima, i radiolarijskim vapnencima te izmijenjenim staklastim tufovima. Vapnenci su tanko uslojeni, sive ili sivožute boje, jako su borani, a izmjenjuju se sa šejlovima i rožnjacima. Nisu širokog rasprostiranja već se pojavljuju lokalno u pojedinačnim izdancima. Unutar navedenih krednih naslaga pojavljuju se olistoliti različitih stijena decimetarskih i dekametarskih dimenzija. To su srednjezrnati kalcitni dolomiti i stromatolitni vapnenci i dolomiti srednjeg i gornjeg trijasa, onkolitski i sitnozrnati vapnenci donje jure (lijas), vapnenci s filamentima i radiolarijama gornje jure (malm), sitnozrnati vapnenci s kalpionelama i radiolarijama starosti titon-valnedis. Starost olistolita je uglavnom paleontološki dokazana. Oni se pojavljuju u centralnom dijelu Kalnika između Mostišća, Ljuba Vode i Pece. Među olistolite treba uvrstiti i dekametarske pojave serpentinita koji se pojavljuju u južnom Kalniku.

Serpentinit (Se) je nađen na 2 mala i međusobno udaljena izdanka. Uz serpentinite na Kalniku dolaze i vulkanogeno-sedimentne stijene, a na njima leže dolomitno-vapnenačke breče gornje krede i paleocena.

Velike mase bazičnih eruptiva izdvojene su u centralnom dijelu Kalnika. Eruptivi su genetski vezani za kredni vulkanogeno-sedimentni kompleks. Odnos s sedimentima je najčešće tektonskog karaktera. Na području Kalnika u eruptivima su uočene jastučaste forme koje ukazuju na podmorske izljeve. Na temelju petrografskih i kemijskih analiza izdvajaju se dijabazi, spilitizirani dijabazi, spiliti, gabri i lave.

3.2. Kenozoik

Naslage kenozoika pokrivaju najveću površinu istraživanog područja.

Predjele južnog Kalničkog grebena izgrađuju **paleocensko-eocenske (Pc,E)** (slike 3.3, 3.4, 3.5) **karbonatne breče**, a protežu se u zoni širine i do 500 m. Idući prema zapadu tri manje pojave ovih breča nalaze se na potezu Vojnovec-Deklešanec. U sastavu breča dominiraju fragmenti i blokovi trijaskih vapnenaca i dolomita (slike 3.3, 3.4, 3.5). Na slikama i u tekstu često je stavljen upitnik pored starosti ovih breča, to je iz razloga što im starost nije jednoznačno određena.



Slika 3.3. Izdanak paleogenskih breča (stari grad Kalnik, odmah pored planinarskog doma Kalnik)



Slika 3.4. Detalj: rasjed u paleogenskim brečama na izdanku s slike 3.3 (stari grad Kalnik, odmah pored planinarskog doma Kalnik).



Slika 3.5. Bazalni dio paleogenskih karbonatnih breča (područje starog grada Kalnika, nedaleko od planinarskog doma Kalnik)

Najstarije neogenske naslage na području Kalnika su **eger-egenburške (M₁)** starosti. Naknadnim istraživanjima (MIKNIĆ, 1993) utvrđeno je da dio naslaga koje su u OGK list Varaždin interpretirane kao M₁, zapravo spadaju u otnang (M₃). HEĆIMOVIĆ, 1995, također navodi da su unutar tih naslaga određene i naslage karpata. Kako nije provedeno detaljno kartiranje, sve navede stijene svrstane su u donji miocen (HEĆIMOVIĆ, 1995). Neprekinuta zona ovih naslaga može se pratiti istočno od Lonjice, uz sjeverne padine Kalnika do Drenovca. U centralnom dijelu Kalnika donjomiocenske naslage čine usku boranu zonu na potezu Kalnička greda-Bela Gorica, a zapadno prema Brezničkom Humu tonu pod mlađe naslage. Donjomiocenske paraličke naslage primarno leže diskordantno na starijoj podlozi a nastale su kao produkt intenzivne erozije reljefa koji je nastao za vrijeme paleogenske kompresije. Znatna varijabilnost litofacijesa i okoliša u lateralnom i vertikalnom smjeru te sinsedimentacijski vulkanizam ukazuju na značajnu tektonsku aktivnost za vrijeme njihovog nastanka. Dominantan litološki član su grublji klastiti, pijesci, pješčenjaci, konglomerati i šljunci a zastupljeni su i lapori, gline, tufovi i ugljen. Donjomiocenske naslage sadržavaju i marinsku i brakičnu mikro i makrofaunu. Debljina donjomiocenskih naslaga prema OGK list Varaždin procjenjuje se do 500 m, no HEĆIMOVIĆ, 1995, debljinu donjomiocenskih naslaga procjenjuje na preko 1000 m.

Naslage **gornjeg badena (M₄²)** (slike 3.2 i 3.6, 3.7, 3.8) transgresivno pokrivaju starije stijene u podlozi i svojim većim dijelom okružuju okolne stijene. Krajem badena potpuno su prekivale "otočne gore" o čemu svjedoče izolirani erozijski ostaci u području Kalnika. Značajne površine gornjobadenske naslage zauzimaju u području Breznički Hum (slika 3.8)-Velišće-Čanjevo-Bela Gorica a istočno od Vojnovca (slike 3.6 i 3.7) protežu se u obliku kontinuiranog pojasa u južnim padinama Kalnika. Gornjobadenske naslage karakteriziraju sedimenti nastali u različitim okolišima zone neritika uz naglašenu ulogu biogenih elemenata u toku sedimentacije. Prevladavaju vapnenci: biogeni i pjeskoviti vapnenci, glinoviti vapnenci i kalcitični lapori, podređeno konglomerati, breče, pješčenjaci i pijesci. Bazu badena u pravilu izgrađuju konglomerati i (slika 3.7/2) breče debljine od nekoliko do više desetaka metara, mjestimično s proslojcima slabo kalcitičnih i kvarcnih pješčenjaka. Konglomerati su mjestimično zastupljeni u višim nivoima gornjeg badena. To su sitnozrnati konglomerati izgrađeni od zaobljenih i subzaobljenih valutica a vezivo je sublitoarenitskog tipa. Biogeni vapnenci su najzastupljeniji član gornjeg badena (slika 3.7/1).



Slika 3.6. Izdanak na kojem je vidljiv kontakt bazalnih karbonatnih breča gornjeg badena i gornjobadenskih vapnenaca (kamenolom Vojnovec Kalnički).



Slika 3.7. 1 sa slike 3.6- gornjobadenski vapnenici; 2 sa slike 3.6-gornjobadenkse bazalne breče

Gromadaste su i dobro uslojene, bijele, svijetlosive i žućkastosive boje. Kod svih varijeteta ovih stijena dominiraju akumulirani ili slabo transportirani biogeni sastojci (ostatci algi, krinoida, foraminifera, školjkaša) a od litogenih primjesa determinirani su: kvarc, feldspati, muskovit, eruptivi i pješčenjaci. Vezivo je kalcitno, mjestimično s primjesama gline i limonita. Biogeni vapnenci sadrže 85-96 % ostataka organizama. Pripadnost ovog litostratigrafskog člana gornjem badenu vrlo je dobro dokumentirana makro i mikro fosilima.



Slika 3.8. Slojevitost gornjobadenskih litotamnijskih vapnenaca u Brezničkom Humu.

Naslage **donjeg sarmata (M_5^1)** slijede kontinuirano na gornji baden. Na sjevernim obroncima Kalnika su u inverznom položaju na potezu Kapela Kalnička-Glavica, dok se na južnim obroncima prostiru u obliku uskih zona u području naselja Obrež, Deklešanec, Visoko i Radešić. Naslage sarmata taložene su u brakičnom okolišu čiji začetci datiraju iz gornjeg badena. Na većem dijelu područja ove naslage karakterizira uniformnost bio i lito facijesa. U litološkom sastavu dominiraju pločasti glinoviti i listićavi vapnenci, pjeskoviti vapnenci, kalcitični lapori, glinoviti i bituminozni lapori. Glinoviti vapnenci, kalcitični lapori i lapori su pretežito žućkaste, žućkastosive i smeđosive boje, uglavnom dobro uslojeni do pločasti. Međusobno se razlikuju po udjelu vapnenačke komponente koja varira od 57-89 %, a karakterističan je i sadržaj dolomita. Debljina sarmatskih sedimenata obično iznosi 30-50 m a mjestimično doseže i do 100 m.

Naslage **panona (M₆)** slijede kontinuirano i konkordantno na sarmatu. Po biofacijesnom na čitavom a po litofacijesnom na većem dijelu svog rasprostiranja, donjopanonske naslage odgovaraju tzv. "*Croatica*" naslagama. Sjeverno od Kalnika donji panon je u inverznom položaju na potezu Kalnička-Kapela-Glavica. Južno od Kalnika donjopanonski sedimenti zastupljeni su na području naselja Deklešanec, Sudovec, Visoko i Radešić. Dominantan litološki član u donjem panonu su glinoviti vapnenci i kalcitični lapori, a podređeno su zastupljeni lapori i izmjena pješčenjaka i lapora. Glinoviti vapnenci i kalcitični lapori su pločaste stijene neravnih slojnih ploha žućkaste do svjetlosive boje, a međusobno se razlikuju po sadržaju karbonatne komponente koja varira u rasponu od 73-92 %. Sjeverno od Kalnika razlomljena zona naslaga gornjeg panona može se pratiti od Ćurilovca preko Ljubeščice i Ključa do Moždenca a zapadno od te zone gornji panon je razvijen u području naselja Makojišće i Kraljevec. Južno od Kalnika pruža se kontinuirana zona različite širine od sela Kalnik preko Gornje Rijeke i Visokog do Kračevca, gdje skreće prema sjeverozapadu i prelazi preko doline Lonje. Gornji panon razvijen je u dva osnovna facijesa. Na južnim obroncima Kalnika izgrađuju ga različiti lapori uz neznatno učešće pješčenjaka. Ovaj facijes odgovara tzv. "*banatica*" naslagama. Drugi litofacijes se odlikuje učestalom ritmičkom izmjenom pješčenjaka, pijesaka siltova, siltita, lapora i rijetko konglomerata. Između ova dva facijesa ne zapaža se oštra granica. Lapori i kalcitični lapori facijesa "*banatica*" naslaga su žućkaste do sivosmeđe boje, a slijede kontinuirano na "*croatica*" naslagama. U nižem dijelu su jače kalcitični i decimetarski do metarski uslojeni a idući u više nivoe uslojenost je slabije izražena kao i sadržaj karbonatne komponente. "*Flišoliki*" facijes karakteriziraju sljedovi izgrađeni od pješčane i laporovite komponente, debljina im je pretežito od nekoliko cm do nekoliko dm a rijetko ima i dekametarske dimenzije. Debljina gornjopanonskih naslaga varira s obzirom na facijes. U području južno od Kalnika debljina se procjenjuje na oko 200 m, sjeverno od Kalnika mogu dosežati i do 600-700 m.

Sedimenti **ponta (M₇)** slijede kontinuirano i konkordantno na gornjem panonu. Južno od Kalnika pojas donjeg ponta pruža se od Potoka Kalničkog preko Dropkovca i Kostanjevca do Viničnog. Donjopontski sedimenti taloženi su u kaspibrakičnoj sredini U područjima gdje je gornji panon razvijen u facijesu "*banatica*" naslaga, one kontinuirano prelaze u "*abichi*" lapore uz postupni pad karbonatne komponente. Lapori su plavičastosive i žućkastosive boje, djelomično uslojeni a sadrže do 50 % CaCO₃. U mlađim slojevima javljaju se proslojci siltoznih pijesaka obično žućkaste boje. „Flišoliki“ facijes gornjeg panona također prelazi kontinuirano u donji pont. Ovdje granični dio karakteriziraju siltozni slabo uslojeni lapori u kojima se zajedno javljaju provodni fosili iz oba stratigrafska člana ili pjeskoviti djelomično uslojeni lapori koji se izmjenjuju s pijescima. Dok mjestimično u bazi donjeg ponta prevladavaju pijesci po karakteristika gotovo identični onima u gornjem panonu. U mlađim dijelovima donjeg ponta zastupljeni su pretežito dobro uslojeni pjeskoviti lapori i slabovezani siltiti unutar kojih se zapažaju proslojci pijeska i pješčenjaka. Lapore karakterizira koncentracija listićavih minerala uz slojne plohe. Iz opisanih naslaga određena je i karakteristična mikrofauna. Debljina naslaga donjeg ponta procjenjuje se na 200-400 m. U području Kalničkog prigorja naslage gornjeg ponta zauzimaju površinu omeđenu lokalitetima Radojišće, Bisag, Galdišće, Vukšinec, Drobkovec, Potok, Hrgovec, Fodrovec, Kapela, Beketinec. Naslage gornjeg ponta slijede

kontinuirano na naslagama donjeg pontaa a po bio i litofacijsnim karakteristikama odgovaraju "rhomboidea" naslagama. U litološkom sastavu dominiraju slabo vezani sedimenti. Prevladavaju pješčenjaci, lapori, gline i šljunci. U Kalničkom prigorju prisutni su i eksploatibilni slojevi lignita. Sedimenti gornjeg pontaa bogati su makrofaunom kaspibrakične sredine a najznačajniji su školjkaši. Sedimenti gornjeg pontaa izmjereni su južno od Kalnika u debljini od 500-650 m a u ostalom području njihova se debljina procjenjuje na 200-400 m.

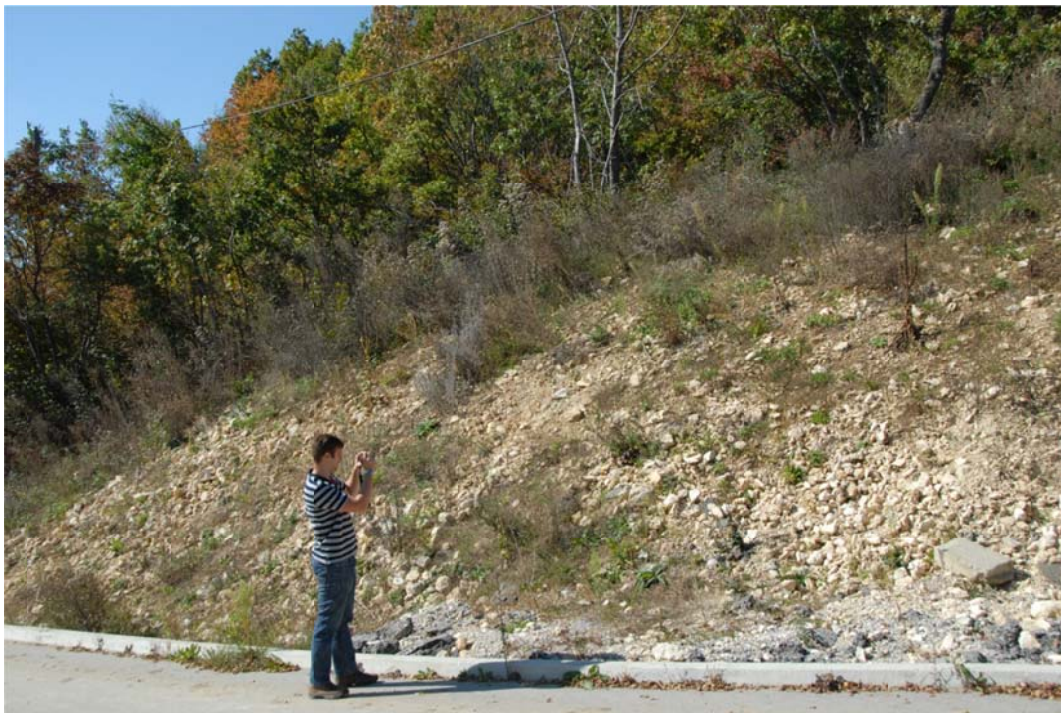
Naslage **plio-kvartara (PIQ)** su klasični fluvio-jezerski sedimenti molasnog tipa koji su taloženi direktno na starije naslage. Izgrađeni su pretežito od pijesaka i šljunaka unutar kojih dolaze leće i proslojci glina. Pijesci su dominantan član ovih naslaga. Prema veličini zrna oni su određeni kao siltozni pijesci ili pjeskoviti siltovi. Boja im je različita, a najčešće su bijeli, sivosmeđi i crveni. Debljina im jako varira, ali ne prelazi 100 m.

Od kvartarnih naslaga izdvojene su pleistocenske i holocenske. U pleistocenu su izdvojeni genetski tipovi: les i proluvij, a u holocenu, dravski aluviji, aluvij recentnih tokova, proluvij i deluvij. Naslage lesa rasprostranjene su na južnim padinama Kalnika. **Les (I)** je eolski sediment taložen u gornjem pleistocenu a leži diskordantno preko naslaga različite starosti. To je stijena koju izgrađuju čestice veličine silta, sitnozrnog pijeska i gline. Granulometrijski je određen kao pjeskoviti silt, glinoviti silt i pjeskovito-glinoviti silt. Boja im je žuta do smeđa a često je prošaran sivim glinovitim prugama. U lesu je nađena brojna fauna kopnenih mekušaca. Pretpostavlja se da ukupna debljina pleistocenskih naslaga ne prelazi 150 m. Debljina lesa je do 30 m. Proluvijalni sedimenti nalaze se na južnim padinama Kalnika kod sela Kalnik. Taložene su bujičnim nanošenjem krupnoklastičnog materijala u jezero. Kada je akumulacija krupnoklastičnog materijala prestala taložili su se pijesak i silt. Debljina proluvijalnih naslaga varira u intervalu 10-120 m.

U dolini rijeke Drave istaložene su velike količine šljunka i pijeska. Prema URUMOVIĆU (1971) debljina šljunkovito-pjeskovitog horizonta raste od zapada prema istoku, a kod Preloga iznosi i preko 100 m. Ovako velike količine šljunka i pijeska transportirane su za vrijeme pleistocenskih interglacijala i interstadijala te u holocenu. Visina terasnog odsjeka opada u smjeru toka vode. Šljunci sadrže valutice različitog petrografskog sastava. Prevladavaju valutice metamorfnih i eruptivnih stijena u odnosu na valutice sedimentnih stijena. Šljunkoviti pijesci sadrže do 45 % šljunaka i dobro su sortirani. Pijesci su srednjezrnati i dobro sortirani, homogenog granulometrijskog sastava. Siltozni pijesci sadrže do 20 % silta, a srednje su sortirani.

Aluvijalni sedimenti recentnih rijeka i potoka (a, a₀) prekrivaju velike površine istraživanog područja. Sastav tih sedimenata je heterogen. Razlikuju se krupnozrasti sedimenti Drave od sitnije zrnatih sedimenata ostalih tokova. Krupnozrasti sedimenti Drave su šljunci, pijesci te šljunkoviti pijesci dok su aluviji ostalih tokova, siltozni pijesci, pjeskoviti siltovi, glinoviti siltovi te rjeđe sitnozrasti šljunci. **Deluvijalni sedimenti (d)** izdvojeni su na padinama blagih brežuljaka na južnom rubu Dravske depresije. Oni su nastali pretaloživanjem produkata trošenja matičnih stijena, a uglavnom se sastoje od fragmenata tih stijena u izmjeni sa siltom.

Bitno je napomenuti da osim ovih sitnozrnatih sedimenata koji se prema ŠIMUNIĆ et al., 1978 i HEĆIMOVIĆ, 1995 najčešće opisuju u geološkoj građi Kalničkog gorja obilaskom terena utvrđeni su konglomerati i breče za koje se može pretpostaviti da su kvartarne starosti i nisu ekvivalent već opisanim paleogenkim brečama. Što se tiče breča na južnim obroncima Kalnika (slika 3.9), one su nastale kao rezultat trošenja badenskih vapnenaca.



Slika 3.9. Siparišni materijal koji nastaje kao rezultat trošenja badenskih vapnenaca (hipsometrijski malo niže od planinarskog doma „Kalnik“).

Slika 3.10. Geološka karta istraživanog područja (ŠIMUNIĆ et al., 1978; HEĆIMOVIĆ, 1994).

Slika 3.11. Shematski regionalni poprečni geološki profili Kalnika.

Slika 3.12. Geološki stup Kalnika (ŠIMUNIĆ et al., 1978).

4. TEKTONIKA

Područje istraživanja je bilo borano u okviru štajerske i rodanske orogenetske faze, koje su u ovim područjima bile vrlo intenzivne. Štajerska faza potpuno je uništila stare strukture, pa se o starijim tektonskim pokretima može govoriti tek nakon detaljnijih analiza. Na starije tektonske pokrete upućuju pojave metamorfnih stijena, pojave eruptiva, nagle promjene u sedimentaciji, erozijsko-diskordantne granice (slika 3.10) i slično.

Rasjedi označeni na karti nastali su za vrijeme tercijara i kvartara (slike 3.10 i 4.3). Najveće izdizanje odnosno spuštanje terena događalo se za vrijeme gornjeg pliocena i kvartara. Tada je uz vertikalne i subvertikalne rasjede započelo glavno izdizanje Kalnika i spuštanje Dravske depresije. Dokaz da je ovo područje bilo/još uvijek je, tektonski aktivno u posljednjih 15ak milijuna godina su rasjedne plohe u badenskim vapnencima (slika 3.10), koje su mogle nastati jedino nakon što su vapnenci istaloženi, znači postbadenske starosti, dok relativno česti potresi ukazuju da radijalna kretanja još uvijek traju. Što se tiče recentnog strukturnog sklopa (slika 4.3), vrijedi opis recentnog strukturnog sklopa Medvednice, pa ga nije potrebno prepisivati i ovdje (pogledati pod istoimeno poglavlje u elaboratu **b) Zagrebačka gora**).



Slika 4.1. Rasjedna ploha u gornjobadenskim naslagama (breče konglomerati i vapnenci), u kamenolomu Vojnovec Kalnički.



Slika 4.4.2. Odlomak stijene koja sadrži rasjednu plohu u badenskim vapnencima (ukazuje na mladu tektoniku-postbadensku), hipsometrijski malo niže od planinarskog doma „Kalnik“.

Prema OGK, list Varaždin i HEĆIMOVIĆ, 1995, u području Kalnika susreću se vrlo zamršeni strukturni odnosi. Navedeni autori opisuju jednu tektonsku i tri strukturne jedinice. Sažet opis jedinica dat je u daljnjim potpoglavljima.

4.1. Tektonska jedinica: horst kalničkog gorja

Horst Kalničkog gorja predstavlja izdignuto područje u jugoistočnom dijelu lista OGK Varaždin. Radi preglednosti i lakšeg opisivanja ovo područje podijeljeno je u tri strukturne jedinice. U ovoj tektonskoj jedinici izrađeni su rezultati tektonske aktivnosti koja se događala tijekom srednjeg miocena, srednjeg i gornjeg pliocena i kvartara. Njezino prvo formiranje kao jedinstvene tektonske cjeline zbilo se u srednjem miocenu kada je uslijed naprezanja osi S-J došlo do navlačenja krednih i paleogenskih naslaga na klastite donjeg miocena, koji su ujedno bili jako borani. Badenska transgresija potpuno je prekrila cijelo područje, a marinska sredina taloženja zadržala se do pliocena. U gornjem panonu došlo je do djelomičnog izdizanja, što je dovelo do sedimentacije različitih facijesa sa sjeverne i južne strane Kalničkog gorja (PIKIJA et al. 1981). U donjem pliocenu je ponovno stvoren jedinstveni bazen u kojem su taloženi pijesci, gline i lapori istovrsnog petrografskog sastava što dokazuje da je Kalničko gorje izdignuto kasnije. Mlađi neogenski sedimenti bili su borani u srednjem pliocenu. Prilikom boranja Kalničko je gorje predstavljalo jezgru, za koju se ne može sa sigurnošću reći dali se odupirala tangencijalnim naprezanjima ili ih je sama stvarala. Boranje,

prevrtanje slojeva kao i reversno rasjedanje sa sjeverne i južne strane Kalničkog gorja idu u prilog drugoj pretpostavci. Konačnu a možda i najznačajniju ulogu kod izdizanja ove tektonske jedinice imali su radijalni pokreti u gornjem pliocenu i kvartaru kada je Kalnik izdignut za nekoliko stotina metara.

4.2.Strukturna jedinica: antiforma Ljubelja

Strukturna jedinica dobila je naziv po Ljubelju (558 m), najvišem vrhu na sjevernom dijelu Kalničkog gorja. Proteže se u smjeru I-Z, od Drenovca do D. Kraljevca. S južne je strane navlačnom granicom odvojena od strukturne jedinice navlaka Kalnika. Antiformu izgrađuju dominantno donjomiocenske klastične naslage. Od starijih stijena pojavljuju se samo trijaski dolomiti i vapnenci, dok su mlađe neogenske naslage sačuvane pretežito sa sjeverne i južne strane strukture. Nastala je kombiniranim djelovanjem tangencijalnih i radijalnih pokreta. Veća poremećenost donjomiocenskih naslaga od gornjomiocenskih i pliocenskih te njihove erozijsko-diskordantne granice, potvrđuju pretpostavku, da je jezgra antiforme nastala za vrijeme štajerske orogenske faze. Tijekom gornjeg neogena bila je potpuno preplavljena morem na što upućuju gornjobadske, sarmatske i panonske naslage u centralnom dijelu antiforme. Ovi sedimenti su važni za dokumentiranje početka neotektonskog izdizanja. Sigurno je da je izdizanje trijaskih dolomita i vapnenaca strukturne jedinice Ljubelj počelo nakon boranja sarmatskih i donjopanonskih lapora s kojima su u neposrednom rasjednom kontaktu. Promatranjem sjeverne granice ove strukturne jedinice dobiva se dojam su njezini pojedini dijelovi pomaknuti prema sjeveru. Na to upućuje i povinuta os sinklinale Lobor-Zaježda-Ključ, koja se nalazi sjeverno od ove jedinice.

4.3.Strukturna jedinica: navlaka (?) Kalnika–(prema ŠIMUNIĆ et al., 1978)

Strukturna jedinica navlaka Kalnika je neotektonskim pokretima izdignuta, a dobila je naziv po 643 m visokom vrhu Kalnik. Glavni smjer pružanja jedinice je I-Z. Od ostalih strukturnih jedinica odvojena je navlačnom granicom te reversnim i normalnim rasjedima. Zamršene je geološke i tektonske građe. Sastoji se od dvije ljske, između kojih se nalazi stisnuta donjomiocenska sinklinala. Sjeverna ljska izgrađena je od krednih klastita s eruptivima u kojima se sporadično pojavljuju blokovi trijaskih, jurskih i krednih stijena. Pojavljivanje ovih blokova teško je objasniti. Pojava ovih blokova na Kalniku može se objasniti raspadanjem južne ljske koju izgrađuju dolomitno-vapnenačke breče, samo što bi trebalo pretpostaviti da je bila navučena nekoliko kilometara prema sjeveru na kredne kalstite. Breče izgrađuju južni greben Kalničkog gorja. Sa sjeverne strane odvojene su navlačnom granicom, a s južne strane, reversnim rasjedom od ostalih dijelova strukture. Prema istoku i zapadu tonu pod gornjobadske naslage. One ponekad sadrže, dekameterske i hektometerske blokove trijaskih vapnenaca i dolomita. Sastav fragmenata u brečama

ukazuje na radialne pokrete u eocenu, najvjerojatnije u okviru Pirenejske orogenetske faze. Tada je uslijed naglog spuštanje odnosno izdizanja došlo do stvaranja velike razlike u reljefu, što je uzrokovalo naglo povećanje denudacije i erozije. Slabo izražena slojevitost ukazuje na vodenu sredinu sedimentacije, a nezaobljenost fragmenata na kratak transport. Treba naglasiti da u brečama nema fragmenata neposredne podloge što je još jedan pokazatelj da breče nisu taložene na mjestu na kojem se danas nalaze. U podlozi se nalaze serpentiniti, serpentinitne breče, spiliti i kredni klastiti. Tangencijalni potisci u srednjem pliocenu rezultirali su stvaranjem sekundarne bore s južne strane ove strukturne jedinice, koja je najbolje izražena kod Vojnovca. Glavno izdizanje Kalničkog gorja odnosno spuštanje Kalničkog prigorja događalo se tijekom gornjeg pliocena i pleistocena. Na to ukazuju velike količine pliocensko-kvartarnih šljunaka, pijesaka i glina, koji su taloženi u najnižim dijelovima Kalničkog prigorja.

4.4. Strukturna jedinica: strukturni blok kalničko prigorje

Kalničko prigorje sastoji se od velikog broja brežuljaka čija visina ne prelazi 300 m. Granicu s ostalim strukturnim jedinicama predstavljaju normalni rasjedi. Teren izgrađuju naslage mlađeg neogena i kvartara. Uz sjeverni rub slojevi su blago nagnuti prema jugu, a u centralnom dijelu su horizontalni ili nagnuti u svim smjerovima što je uzrokovano rasjedima. Na terenu nisu primijećene veće bore što navodi na pretpostavku da je ovo područje borano u srednjem pliocenu. Nalazi plio-kvartarnih krupnozrnatih sedimenata dokazuju postojanje slatkvodnih jezera u koje je donasan krupnoklastični materijal s obližnjih planina. Teren je presjecan brojim rasjedima pružanja SI-JZ i SZ-JI. To su uglavnom mlađi rasjedi, čiji pomak treba vezati uz tektonske pokrete u srednjem pliocenu, a najveća aktivnost im je bila u kvartaru. Na terenu je dosta markantan rasjed pružanja S-J koji je rijeka Lonja koristila za stvaranje svog korita.

Slika 4.3. Recentni strukturni sklop.

5. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE KALNIKA

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. To bi bili svi oni vodonosnici koji se nalaze izvan prostranih aluvijalnih ravnica i riječnih dolina (Drave, Save, Dunava, te dolina Kupe, Krapine, Lonje ...) (DRAGIČEVIĆ, et al, 1996). Istraživanja su usmjerena na komplekse sedimentnih stijena koje izgrađuju gorske masive jer se u njima nalaze najveće količine podzemne vode, no to ne isključuje da se značajne količine podzemne vode mogu nalaziti i u magmatskim i metamorfnim stijenama.

U području Kalnika mogu se prema hidrogeološkim značajkama izdvojiti tri osnovne hidrogeološke cjeline koje definiraju hidrogeološke odnose i vodonosnike (MRAZ et al, 2008):

- 1) Sjeverno rubno područje Kalnika, izgrađeno pretežno od nepropusnih i slabopropusnih klastičnih stijena kredne i donjomiocenske starosti. Generalno predstavljaju hidrogeološku barijeru, lokalno se unutar ovih stijena mogu nalaziti vodonosnici (veće mase eruptiva npr.).
- 2) Masiv Kalnika izgrađen je pretežito od propusnih klastično-karbonatnih stijena paleogena i badena (vodonosnici)
- 3) Južno Kalničko priobalje koje izgrađuju pretežito slabopropusne stijene neogena i kvartara.

U području Kalnika izdvojeno je 5 hidrogeoloških jedinica (MRAZ et al., 2008):

- 1) **Pg, M₄², i T₃**–trijaski dolomiti i vapnenci, paleogenske i gornjokredne breče, litotamnijski vapnenci (slike 5.1 i 5.2b) konglomerati, pješčenjaci i lapori–**DOBRA PROPUSNOST:**

Masiv Kalnika izgrađen je od paleogenskih karbonatnih breča (slike 3.3, 3.4, 3.5) i gornjobadenskih breča, konglomerata, litotamnijskih vapnenaca (slike 3.6, 3.7, 3.8, 5.1), pješčenjaka i lapora (MRAZ et al, 2008). Paleogenske vapnenačko-dolomitne breče tektonski su jako razlomljene, na površini većim dijelom okršene i dobro propusne, te imaju funkciju vodonosnika (osim lapora) u dubljim dijelovima masiva. Hidrogeološki odnosi u smislu kolektorskog potencijala formiranja vodonosnika najpovoljniji su u područjima neposrednog kontakta gornjobadenskih vapnenačkih i krupnoklastičnih stijena i paleogenskih karbonatnih breča (MRAZ et al., 2008).



Slika 5.1. Disolucijska poroznost u litotamnijskim vapnencima gornjeg badena (kamenolom Vojnovec Kalnički).

Istjecanje podzemne vode iz masiva Kalnika uvjetovali su hidrogeološki odnosi središnjeg karbonatnog grebena i južnog neogenskog pribrežja (MRAZ, et al., 2008). Kapaciteti ovih izvora uglavnom ne prelaze 1 l/s u kišnom razdoblju, a u sušnom izdašnosti se smanje na 0.1 l/s i manje, a povremeno i presušuju (MRAZ et al., 2008). Zbog povoljnog visinskog položaja svi značajniji izvori su zahvaćeni i koriste se za lokalnu vodoopskrbu naselja pod Kalnikom u hidrološki povoljnim razdobljima. Na potezu od Vratna do Osijeka Vojakovačkog, odnosno vodotoka Glogovnice, veći dio masiva Kalnika prekriven je naslagama krupnozrnatih pješčenjaka i brečokonglomerata gornjeg badena. Ove stijene prekrivaju masiv Velikog brda, Mihalja i Apatovca na krajnjem istočnom dijelu Kalnika (MRAZ et al., 2008). One su vodopropusne, s visokom infiltracijom površinskih voda, mjestimice i kroz krške morfološke pojave uočene na terenu u izvorišnom dijelu potoka Stankovac (vrtače, sufozije). Za lokalnu vodoopskrbu iz ovog vodonosnika koristi voda iz kaptaže "Pod bregom" na južnoj strani grebena Mihalja i kaptaže "Plandište" kod Grujica. Na sjevernoj strani masiva je kaptaža "Mihalj", koja se ne koristi za vodoopskrbu.

- 2) **a_D, a, pr, d, l**—recentne aluvijalne, proluvijalne, deluvijalne taložine i les **DOBRA DO SLABA PROPUSNOST**: Postoji više manjih kvartarnih aluvijalnih i proluvijalnih vodonosnika na širem području Kalnika, međutim samo je onaj u dolini Kamešnice, na području Vratna, zahvaćen za vodoopskrbu kopanim zdencem BKV-1 (MRAZ et al., 2008). Tamo je Kamešnica izlaskom iz kanjona naglo gubila energiju, što je rezultiralo taloženjem gruboklastičnih naslaga. Litološki sastav nije

ujednačen, već se zapažaju promjene kako u vertikalnom slijedu naslaga tako i lateralno, što je posljedica promjena položaja korita Kamešnice ali i klimatoloških uvjeta tijekom kvartara.

3)

4) **M₅, M₆, M₇, P₁, Q**–neogenski i pliokvartarni laporoviti vapnenci, lapori, pješčenjaci i pijesci–**SLABA PROPUSNOST:**

Izvori iz masiva koji se pojavljuju neposredno na kontaktu s neogenskim sedimentima na južnom pribrežju Kalnika dreniraju manji dio podzemnih voda (MRAZ et al., 2008). Veći dio vode akumulirane u masivu Kalnika drenira se u nižim dijelovima Kalničkog pribrežja. Izvori se pojavljuju kao okna u kvartarnom nanosu vodotoka, u podini kojeg su neogenski lapori i vapnenački lapori (MRAZ et al., 2008). Na tim mjestima voda iz dubljeg karbonatnog vodonosnika pod pritiskom izvire iz podzemlja kroz tektonske pukotine duž rasjednih zona, a na kontaktu sa slabo propusnim do nepropusnim panonskim ili pontskim sedimentima. Duž uzdužnih rasjeda spuštene su slabije propusne naslage panona i ponta, koje onemogućavaju ili znatno usporavaju podzemno otjecanje vode dalje u smjeru juga (MRAZ et al., 2008). Dotok termalne vode iz paleogenskog vodonosnika kroz tektonski razlomljene zone neogenskih naslaga u aluvijalni kvartarni vodonosnik Kamešnice zabilježen je 70-tih godina prošlog stoljeća (MRAZ et al., 2008). Ta je pojava potaknula daljnja istraživanja i izvedbu istražno eksploatacijske bušotine BV-1 dubine 452 m. U donjem intervalu od 400 do 430,30 m nabušene su trijasko kataklazirane dolomitne breče iz kojih se danas prosječno crpi 45 l/s.

5) **K_{1,2}**–kredni bazični efuzivi–**SLABA PROPUSNOST:**

Bazični eruptivi središnjeg dijela Kalnika i na području Apatovca genetski su vezani uz kredni vulkanogeno-sedimentni kompleks. Odnos prema sedimentima je većinom tektonskog karaktera (MRAZ et al., 2008; iz ŠIMUNIĆ & ČAKARUN, 1984). Eruptivi kao cjelovita, čvrsta tijela pružali su otpore tijekom tektonskih pokreta, što je dovelo do poremećaja i prekida primarnih odnosa s okolnim sedimentima. Od bazičnih eruptiva najčešće se pojavljuju dijabazi, spilitizirani dijabazi i spiliti. Na području Apatovca dijabazi su nositelji mineralne vode, poznate "Kapljice". Hidrogeološke istražne bušotine (MRAZ et al., 2008; iz CAPAR, 1974/75.) izvedene na području pojave dijabaza i prirodnog mineralnog vrela utvrdile su razlomljene intervale s mineralnom vodom do dubine od 60 m. Izveden je zdenac kojem je utvrđena izdašnost od $Q = 0.5$ l/s. U sklopu istraživanja za punionicu izvorske vode tvrtke Badel tijekom 2007. godine na području Grujica izvedena je istražna bušotina koja je nabušila vodonosnik krednih dijabaza s arteškom vodom povišene (> 1000 mg/l) mineralizacije (MRAZ et al., 2008).

5) $M_{1,0}$ $K_{1,2}$ —Kredni i donjomiocenski klastični sedimenti—**NEPROPUSNO**:

Klastične kredne naslage prekrivaju samo manje površine središnjeg dijela Kalničkog grebena, dok se u dubljim dijelovima masiva može pretpostaviti njihovo znatno rasprostiranje. Sastoje se od šejlova s grauvakama, rožnjaka i tankopločastih vapnenaca, pješčenjaka, lapora i silita, te mjestimičnih proboja vulkanita-dijabaza i spilita. Klastični sedimenti donjeg miocena protežu se duž cijelog sjevernog rubnog dijela masiva Kalnika, nastali kao produkt erozije i denudacije izdignutog reljefa. Značajna je hidrogeološka funkcija ovog dubokog, u cjelini nepropusnog klastičnog kompleksa u odnosu na vodonosne stijene središnjeg Kalničkog masiva. U neposrednom kontaktu duž njegove sjeverne strane on formira hidrogeološku barijeru podzemnim vodama koje infiltriraju kroz propusne stijene u dublje dijelove masiva, i sprječava ili znatno usporava komunikaciju podzemnih voda prema sjeveru.

Unutar navedenih hidrogeoloških jedinica (preuzeto iz MRAZ et al., 2008) izdvojeni su sljedeći vodonosnici:

- a) Paleogenski karbonatni vodonosnik (kalničke breče)
- b) Badenski karbonatno-klastični vodonosnik
- c) Kvarterni vodonosnik Kamešnice
- d) Vodonosnik krednih eruptiva ($K_{1,2}$)

Ovdje treba istaknuti da u citiranim interpretacijama nedostaje trijaski karbonatni vodonosnik ($T_{2,3}$), koji je vrlo malo prisutan na površini ali u geološkoj građi podzemlja zauzima vrlo značajno mjesto (ustanovljeno bušenjem-Vratno).

Za prikaz hidrogeoloških karakteristika Kalničkog gorja načinjena je hidrogeološka karta (slika 5.2), hidrogeološki profili (slika 5.3) te hidrogeološki stup (slika 5.4). Transformacija geološke karte profila i stupa u hidrogeološke načinjena je po istom principu kao za Žumberačku i Samoborsku goru (elaborat **a**) **Žumberačko i Samoborsko gorje**)

Slika 5.2. Hidrogeološka karta Kalničkog gorja (prema MRAZ et al., 2008).

Slika 5.3. Hidrogeološki profili Kalničkog gorja

Slika 5.4. Transformacija iz geološkog u hidrogeološki stup Kalnika.

Podzemna voda izlazi na površinu na brojim izvorima (133) (slike 2.1, 5.3, 5.7), a najznačajnija eksploatacija odvija se na crpilištima Vratno (slika 5.6) i Trestenik te s crpilišta Pavlovec-Dubrovec (MAYER et al., 1994). Također su na istraživanom području registrirane i pojave mineralne vode (Apatovac) i termalne vode (Križevci) (MAYER et al., 1994). Većina izvora javlja se na kontaktima propusnih i nepropusnih naslaga. Većina stalnih izvora javlja se na južnim padinama Kalnika (južnije od linije Melski breg-Drenovac-Kraljevčica-Bračev vrh-Gradec), te na istočnim obroncima u široj zoni Apatovca. Južna granica područja u kojem se javljaju stalni izvori ide crtom koja spaja naselja Kostanjevec Riječki-Gornji Vukovec-Popovec Kalnički-Potok Kalnički-Kamešnica-Osijek Vojakovački (MAYER et al., 1994). Radi se uglavnom o izvorima gravitacijskog tipa. Povremeni izvori nalaze se na terenu s nadmorskim visinama iznad 350 m. n.m., a posebno su brojni između Jasenovog brijega i Medskog brda (sjeverno od Vratnog) (MAYER et al., 1994). Prema MAYER et al., 1994, na istraživanom području, hidrogeološkim je istraživanjima evidentirano 112 stalnih i 67 povremenih izvora. Procijenjena je i izdašnost izvora koja za stalne iznosi oko 100 l/s, a za povremene, nešto preko 20 l/s (MAYER et al., 1994). Izdašnosti pojedinih izvora u pravilu ne prelaze 1 l/s.



Slika 5.5. Crpilište „Vratno“.

Prema MAYER et al., 1994, s obzirom na kapacitet najznačajniji su sljedeći izvori:

izvor br. 22 južno od G. Rijeke, izdašnost = 12,5 l/s

izvor br. 113 jugoistočno od sela Kalnik, izdašnost = 7,4 l/s

izvor br. 114 sjeverno od Potoka Kalničkog, izdašnost = 8,2 l/s

izvor br. 117 južno od Šoprana, izdašnost = 6,0 l/s

izvor br. 181 istočno od brda Mihalj, izdašnost = 3,4 l/s

izvor br. 183 sjeverozapadno od Apatovca, izdašnost = 4,0 l/s

izvor br. 194 južno od Carinca, izdašnost = 5,5 l/s.



Slika 5.6. Izvor nekoliko metara ispod planinarskog doma „Kalnik“.

Najveći značaj svih ovih izvora ne leži u mogućnosti njihovog kaptiranja nego što njihova pojava ukazuje na mogućnost zahvaćanja podzemne vode iz gorskih vodonosnika, dubokim zdencima (MAYER et

al., 1994). Sigurno je da većina izvorske vode potječe iz gorskih vodonosnika, točnije trijaskog vodonosnika. Ako je istjecanje vode na izvoru „višak“ tada u gorskim vodonosnicima Kalničkog gorja postoji sezonski „višak“ od 100 l/s a to je 3153600000 litara godišnje, ili 315 360 m³ godišnje. Zanimljiv je i podatak iz MRAZ, et al., 200 da je ukupna izdašnost najznačajnijih izvora na potkalničkom pribrežju, na području od Gornje Rijeke do Kamešnice, za vrijeme “srednjih voda” je 24-25 l/s. Za vrijeme “malih voda” ona iznosi 14-15 l/s, a za vrijeme “velikih voda” 30-40 l/s (MRAZ, 2004.). Ove zalihe mogu se smatrati „sezonskim“ zalihama, i mogu predstavljati minimalnu količinu vode koja se može crpiti iz ovih vodonosnika. Naravno crpljenje može pozitivno utjecati na obnavljanje podzemnih voda, u smislu povećanja hidrauličkog gradijenta, a to bi izazvalo i veću infiltraciju. Zahvaćanjem podzemne vode iz „statičkih“ rezervi, tj. iz dubljeg dijela vodonosnika gdje se voda giba vrlo sporo ili se ne giba, povećalo bi efektivnu poroznost, no o tome u daljnjim poglavljima.

6. GLAVNI SLIVОВИ

Glavne sabirnice površinskih voda su potoci **Bednja, Lonja, Gliboki potok, Glogovnica, Črnc, Kamešnica** i **Krapina**. Za navedene vodotoke određene su topografske razvodnice i površine slivova prikazana na slici 6.1i tablici 2. Značajni su još vodotoci Šokot, Deklešanec (“Pesji potok”), Klenovec, Salnik i Koruška. Najveći sliv ima Bednja s značajnim pritokama Ljuba, Črnkovec, Segovina i Hruškovec. Površina sliva Bednje unutar istraživanog područja iznosi 195,91 km², a duljina Bednje unutar područja iznosi 40460 m. Bez obzira na svoju veličinu sliv Bednje ima najmanji broj izvora po jedinici površine. To i odgovara konstataciji da su izvori koncentrirani uglavnom na granicama propusnih i nepropusnih stijena a sliv Bednje uglavnom površinski izgrađuju nepropusne naslage miocena uz manje pojave trijaskih i badenskih gorskih vodonosnika.

Sljedeći po veličini je sliv Lonje, površine 84,82 km² te najdužim vodotokom rijekom Lonjom, duljine unutar sliva 7570 m. Sliv Lonje također je građen uglavnom od miocenskih sedimenta, pontskih, panonskih i eger-egenburških klasitita, te od badenskih vapnenaca. Na kontaktu badenskih vapnenaca i miocenskih nepropusnih naslaga pojavljuje se većina izvora.

Nešto manje površine od Lonjskog sliva je sliv Glibokog potoka, površine 81,4 km², s glavnim vodotokom Glibokim potokom, duljine unutar sliva 12092 m. Za sliv Glibokog potoka može se reći da ima veliku gustoću pojavljivanja izvora. Izvori se uglavnom pojavljuju u recentnim sedimentima aluviju i lesu. Na temelju toga može se zaključiti da se ispod ovih recentnih sedimenata nalaze i badenski vodonosnici ali i ostale miocenske nepropusne naslage, te se izvori vrlo vjerojatno pojavljuju na njihovim kontaktima. osim

recentnih aluvija i lesa, u sjeverozapadnom dijelu sliva na površini se nalaze i donjosarmatski sedimenti, dok u jugoistočnom pontski pijesci.

Sliv Kamešnice, površine je 58,08 km², a glavni vodotok Kamešnica je duljine 11869 m unutar sliva. Pritoke koje je vrijedno spomenuti su Drenovčak, Kalnički i Rakov potok. Ovi su potoci bujičnog karaktera, pogotovo u gornjem dijelu sliva, a značajka su im velike oscilacije vodostaja (MRAZ et al, 2008). U nizvodnom dijelu toka, u potočnim dolinama, oni su nanijeli i odložili veće količine krupnozrnatog i sitnozrnatog nanosa (MRAZ et al., 2008). Sliv Kamešnice litološki dosta heterogen no gustoća izvora relativno mala. Izvori su uglavnom koncentrirani na kontaktu paleogenskih breča i krednih sedimenata s nepropusnim donjomiocenskim naslagama. Važno je napomenuti za ovaj sliv da se unutar njegovih granica nalazi i crpilište Vratno. Iz podataka bušotine BV-1, na površini su eger-egenburške naslage, koje prelaze u paleocenske karbonatne breče ispod kojih se nalaze vjerojatno kredni pješčenjaci te ispod trijaski dolomiti. Ovo je vrlo važan podatak jer ukazuje da bez obzira što trijasa nema na površini u krugu većem od 6 km, u podzemlju on postoji, i u ovoj bušotini probušen je na 400 m. Taj podatak podupire početnu pretpostavku koja je nekoliko puta iznesen u radu, o velikoj potpovršinskoj rasprostranjenosti ovog vodonosnika.

Sljedeći je po veličini sliv Glogovnice, površine 54,11 km². Duljina glavnog vodotoka sliva, Glogovnice je 12802 m. Gustoća pojavljivanja izvora unutar sliva je uglavnom rijetka osim u centralnom dijelu, gdje se gotovo svi izvori pojavljuju na kontaktu badenskih vapnenaca i eger-egenburških sedimenata. Nekoliko izvora javlja se u u južnom dijelu sliva u pontskim naslagama i može se pretpostaviti da se radi o vodi iz badenskih vodonosnika koje pontski i možda panonski sedimenti transgresivno preklapaju.

Sliv Črnca površine je 45,30 km² (vodotok Črnec duljine 8036 m), karakteriziran je najvećom gustoćom izvora od svih slivova. Izvori su koncentrirani u sjeverozapadnom dijelu sliva na granici s slivom Lonje. Smještanjem izvora na geološku kartu može se vidjeti da su gotovo svi izvori koncentrirani na kontaktu badenskih i paleogenskih vodonosnika i nepropusnih naslaga, miocenskih klasitita, ili krednih stijena. U geološkoj građi sliva, dominiraju pontske naslage mjestimično pokrivene aluvijem manjih vodotoka, Keke, Grabovca, Klenivca, Vranče te glavnog vodotoka sliva Črnca.

Najmanji po površini u području istraživanja je sliv Krapine, površine 13,60 km², a duljina Krapine u istraživanom području je 8146 m. Naravno da je sliv izvan istraživanog područja mnogo veći te je ovim istraživanjem zahvaćen samo njegov mali dio. Sliv Krapine nalazi se na samom sjeverozapadu istraživanog područja, geološki građen različitim članovima miocenske starosti te recentnim aluvijalnim sedimentima. U području sliva i nema puno izvora, prvenstveno jer sliv prekriva ravničarko područje, tj sam rub istraživanog područja s niskim nadmorskim visinama. Time je taj sliv za ovo istraživanje kako pokriva sami sjeverozapadni rub, ima najmanje značenje.

Slika 6.1. Karta glavnih slivova Kalnika.

Tablica 2. Površine glavnih slivova s duljinama njihovih glavnih vodotoka unutar sliva.

Sliv	Površina sliva (km ²)	Duljina glavnog vodotoka (m)
Glogovnica	54,11	12802
Kamešnica	58,08	11869
Črnec	45,30	8036
Bednja	195,91	40460
Gliboki potok	81,44	12092
Krapina	13,60	8146
Lonja	84,82	7570
Ukupno	533,25	100975

Bez obzira što je najveća koncentracija izvora upravo u neposrednoj blizini samog masiva Kalnika, znači sjeverni rub sliva Črnca, sjeveroistočni rub sliva Lonje te jugozapadni rub sliva Bednje, taj dio područja ne bi trebao biti glavni predmet budućih istraživanja. Jasno je da bi ponašanje izvora i njihova reakcija na različite hidrološke prilike bila od velike važnosti za razumijevanje toka podzemne vode u gorskim vodonosnicima, izdašnosti pojedinačnih izvora prema podacima MAYER et al., 1994, i MRAZ et al., 2008, su dosta male i za vodoopskrbu nedovoljne. Zato bi se buduća istraživanja trebala usmjeriti na područja koja su prekrivena miocenskim sedimentima, što će biti detaljnije objašnjeno u zaključku.

7. ZALIHE PODZEMNIH VODA

Zalihe podzemnih voda izračunate su dvjema metodama kao i kod izračuna zaliha Medvednice. Prva, jednostavna metoda, temelji se na umnošku površine vodonosnika, i debljine preuzete s geološkog, odnosno hidrogeološkog stupa te poroznosti. Metoda je opisana pri izračunu zaliha podzemne vode u području Žumberka i Samoborskog gorja te Medvednice, pa u ovom poglavlju nije detaljnije opisivana. Rezultati izračuna mogu se vidjeti u tablici 3:

Tablica 3. Izračun pornog prostora gorskih vodonosnika Kalnika, izračunate množenjem površine i debljine vodonosnika.

Vodonosnik	Površina (km ²)	Min. debljina (m)	Sred. debljina (m)	Max. debljina (m)	Min.	Sred.	Max.
					volumen pornog prostora (km ³)	volumen pornog prostora (km ³)	volumen pornog prostora (km ³)
M₄²	32,68	200	300	400	0,33	1,96	4,57
Pc	1,51	300	350	400	0,02	0,11	0,21
K_{1,2}	7,33	150	200	250	0,05	0,29	0,64
T₃	1,83	100	200	300	0,01	0,05	0,14
UKUPNO	43,34	750	1050	1350	0,41	2,41	5,56

Iz tablice 3 vidljivo je da su minimalne zalihe podzemne vode koje se mogu očekivati 0,41 km³ a maksimalne 5,56 km³. Prema ovoj metodi Kalnik ima najmanje zalihe podzemne vode u usporedbi s Medvednicom i Žumberkom i Samoborskim gorjem. Na iznose zaliha podzemne vode izračunate pomoću ove metode utječu samo površine vodonosnika i debljine, oba podatka koja su preuzeta s OGK. Druga metoda daje nešto bliže vrijednosti onima koje su dobivene za Medvednicu i Žumberak i Samoborsko gorje jer uzima u obzir pretpostavljeno veliko potpovršinsko rasprostiranje trijaskih karbonatnih vodonosnika.

Za precizniji izračun zaliha podzemne vode za područje Medvednice koristi će se metoda temeljne na određivanju volumena vodonosnika između regionalnih shematskih profila Kalnika, te množenja tog volumena s vrijednostima poroznosti kako bi se dobio porni prostor dostupan za uskladištenje podzemne vode. Korištena je ista formula kao kod Medvednice, pa nije detaljnije opisivana. Prema rezultatima (tablica 4) vidljivo je da minimalni realno očekivani volumen pornog prostora u svim vodonosnicima 15,98 km³, a najveći, 88,06 km³. Rezultati su manji od rezultata koji su dobiveni za Medvednicu i Žumberak i samoborsko gorje prvenstveno zbog manje površine istraživanog područja no i manje debljine trijaskih vodonosnika koje su preuzete s geološkog stupa OGK Varaždin.

Tablica 4. Izračun pornog prostora gorskih vodonosnika Kalnika izračunate pomoću kulisnog dijagrama.

Vodonosnik	Volumen stijene (km ³)	Volumen pornog prostora (km ³)		
		D: 5%; V:5%	D: 15%; V:20%	D: 25%; V:35%
M₄²	75,45	3,77	15,09	26,41
Pc	5,95	0,30	1,20	2,08
T₃	142,30	7,11	21,34	35,57
T₂	95,97	4,80	14,40	23,99
UKUPNO	319,67	15,98	52,02	88,06

Kada se usporede vrijednosti dobivene objema metodama, za sve tri gore, može se zaključiti da se najveće zalihe podzemne vode nalaze u području Žumberka i Samoborskog gorja, na što najviše ukazuje velika površinska rasprostranjenost vodonosnika. Na rezultate Kalnika i Medvednice dosta je utjecala veličina površine istraživanog područja, no i grublji izračun. treba napomenuti kako je zadatak bio procijeniti u regionalnom mjerilu zalihe podzemnih voda navedenih triju gora i okarakterizirati hidrogeološki potencijal ovih područja za daljnja istraživanja, brojem koji opisuje red veličine zaliha podzemne vode. U sve tri gore može se zaključiti da je potencijal iznimno velik i to treba biti poticaj za daljnja detaljnija geološka i hidrogeološka istraživanja.

8. LITERATURA

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

CAPAR, A. (1974/75): Vodoistražni i vodozahvatni radovi Apatovac. Fond Geofizike, Zagreb.

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908): Geologijska pregledna karta kraljevine Hrvatske i Slavonije. Zagreb. izd. geol. povj. u Zagrebu, Zagreb

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908): Geologijska pregledna karta kraljevine Hrvatske i Slavonije. Tumač geologijskoj karti Zagreb. Nakl. Kralj. zemalj. vlade. odjel unutarnjih poslova, II, 75, Zagreb

HEĆIMOVIĆ, I. (1995): Tektonski odnosi šireg područja Kalnika, doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

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

MIKNIĆ, M. (1993): Mikropaleontološke analize uzoraka miocenskih sedimenata s profiula na kalniku. Fond stručne dokumentacije. IGI, Zagreb.

MRAZ, V. (2004): Vodoistražni radovi na području grada Križevaca. Hidrogeološka istraživanja – I faza. Fond HGI, 62/04, Zagreb.

MRAZ, V., MARKOVIĆ, T., LARVA, O. (2008): Hidrogeološka i hidrokemijaska obilježja masiva Kalnika. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, vol. 20. str 13-25. Zagreb, 2008.

PIKIJA, M., ŠIMUNIĆ, AL., ŠIMUNIĆ, AN. (1981): Miocenske naslage sjevernog pobočja Kalnika. Bilten LMGK Rud. geol. fak.. 3, 243-250, Beograd

ŠIMUNIĆ, AN., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I. (1982): Osnovna geološka karta, list Varaždin, L 33-69, mjerilo 1:100 000. Geol. zavod Zagreb, sav. geol. zavod Beograd, Beograd.

ŠIMUNIĆ, AN., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I. (1981): tumač za osnovnu geološku kartu, list Varaždin, L 33-69, mjerilo 1:100 000. Geol. zavod Zagreb, sav. geol. zavod Beograd, Beograd.

ŠIMUNIĆ, A., & ČAKARUN, I. (1984): Hidrogeološki odnosi sjevernog dijela općine Križevci. Fond HGI, 185/84, Zagreb.

URUMOVIĆ, K. (1971): O kvartarnom vodonosnom kompleksu u području Varaždina. Geol. Vjesnik, 24, 183-191, Zagreb.

PRIJEDLOZI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

Provedeno istraživanje regionalnog je karaktera, te predstavlja podlogu za daljnja detaljnija istraživanja u krupnijem mjerilu. Kvantifikacijom pukotinskog prostora, na temelju 3D modela i kulisnih dijagrama dat je red veličine mogućih zaliha podzemne vode. Bez obzira na vrlo velike iznose koji su dobiveni za sve tri gore, važno je razumjeti da se voda u gorskim vodonosnicima ne nalazi svugdje, nego u određenim strukturama koje su povoljne za nakupljanje podzemne vode. Jedan od ciljeva istraživanja bio je i odrediti takve strukture te dati lokacije za buduća istraživanja. Karte s prijedlozima budućih istraživanja date su na priložima A, B i C.

Prijedlozi budućih istraživanja za područje Žumberačke i Samoborske gore

U području Žumberačkog i Samoborskog gorja predloženo je sedam područja za daljnja istraživanja (prilog A), označeni slovima A-G. Iz priloga se vidi da su prijedlozi budućih istraživanja vezani za značajne reversne rasjede (A-E), pojave badenskih vodonosnika koji transgresivno naliježu na trijasko vodonosnike (E i F) te time čine jedinstvenu hidrauličku cjelinu. Područje G također je vrlo potencijalno ne samo zbog velikog rasprostiranja vodonosnika na površini te njihovog kontakta s nepropusnim naslagama perma i neogena nego i zbog velike gustoće izvora uz rasjede pružanja I-Z što direktno upućuje na postojanje „viška“ podzemne vode, koja istječe na izvorima.

Prijedlozi budućih istraživanja za područje Zagrebačke gore

Za područje Zagrebačke gore, predložene su četiri lokacije budućih istraživanja (prilog B), označene slovima A-D. Sva predložena područja nalaze se na mjestima gdje se vodonosnici nalaze na površini ili plitko pod površinom prekriveni neogenskim nepropusnim naslagama. Unutar predloženim područja težnja bi se stavila na kontakte vodonosnika s nepropusnim stijenama jer su najčešće na tim mjestima vodonosnici u povoljnim geološkim strukturama, te plitko pod površinom. Izvori na kontaktima nepropusnih neogenskih naslaga i vodonosnika ukazuju na potencijal predloženih lokacija.

Prijedlozi budućih istraživanja za područje Kalničkog gorja

Na Kalničkom gorju izdvojeno je šest potencijalnih lokacija za daljnja detaljnija istraživanja (prilog C), označeni slovima od A-F. Sva predložena područja vezana su za površinske pojave vodonosnika no detaljnija istraživanja koncentrirala bi se na kontaktima vodonosnika i nepropusnih naslaga neogena. Posebno je interesantno cijelo južno prigorsko područje Kalnika, prekriveno neogenskim slabopropusnim stijenama (D,

E). Pojave badenskih vodonosnika morfološki malo više ukazuje da je ispod slabopropusnih neogenskih naslaga, vodonosnik na relativno maloj dubini.

ZAKLJUČAK

Kompleksna geološka građa Žumberka i Samoborskog gorja, Medvednice i Kalnika privlači pažnju geologa već više od 100 godina. Zamršenost geološke građe vidi se već i iz raspona starosti stijena na površini terena koji se kreće od perma (?) do recentnih aluvijalnih taložina te se očituje i u strukturnom sklopu. Obim hidrogeoloških istraživanja u ovim područjima puno je manji od drugih geoloških istraživanja. Hidrogeološka istraživanja rade se zadnjih 30-ak godina počevši s osnovnom hidrogeološkom kartom mjerila 1:500 000 (ŠARIN et al., 1980). Za vodoopskrbu sjeverozapadne Hrvatske uglavnom se koristi podzemna voda iz aluvijalnih vodonosnika Save i Drave, ponešto Kupe i Krapine (DRAGIČEVIĆ et al., 1998). Kvaliteta vode u tim vodonosnicima je lošija zbog prirodnih geokemijskih uvjeta ili je degradirana antropogenim utjecajem. Aluvijalni vodonosnici zbog svojeg položaja na nižim nadmorskim visinama su puno izloženiji antropogenom utjecaju nego gorski vodonosnici. Svi ovi čimbenici ukazuju da će važnost i značaj „krških“ vodonosnika gorskih područja sjeverozapadne Hrvatske u bližoj budućnosti biti sve veći.

Cilj je istraživanja predviđenim u ovom projektu da se modernim geološkim, hidrogeološkim i geomorfološkim istraživačkim metodama definira u regionalnom mjerilu geološke i hidrogeološke značajke područja triju istraživanih gora.

Za potrebe rješavanja jednog od projektnih zadataka, kvantifikacija zaliha podzemne vode u gorskim vodonosnicima Žumberka i Samoborskog gorja načinjen je geološki 3D model podzemlja (PAVIČIĆ, 2014), dok su za Medvednicu i Kalnik načinjeni kulisni dijagrami. Na temelju volumena određenih iz 3D geološkog modela, kulisnih dijagrama i podataka o poroznosti koji su preuzeti iz objavljenih radova i stručnih elaborata, procijenjen je volumen efektivnog pornog prostora koji ako je potpuno saturiran predstavlja i potencijalne zalihe podzemne vode.

Za izračun potencijalnih zaliha podzemne vode korištene su dvije metode. Prva se temelji na umnošku površine vodonosnika i njegove debljine koji su preuzeti iz listova OGK. Ovim izračunom dobile su se samo orijentacijske vrijednosti jer zbog jednostavnosti metode ne uzimaju se u obzir geološke strukture u kojima se vodonosnici nalaze te se ne uzimaju volumeni vodonosnika koji se nalaze u podzemlju a prekriveni su nepropusnim stijenama. Dobivene vrijednosti volumena pornog prostora koji ako je saturiran vodom predstavlja zalihe podzemne vode, te se iznosi za svaku goru dosta razlikuju. Najveći volumen dobiven je za Žumberak i Samoborsko gorje, $7,3 \text{ km}^3$ s poroznosti vapnenaca i dolomita od 5 %. Tako veliki iznos je uvjetovan velikom površinskom rasprostranjenosti vodonosnika. Medvednica i Kalnik imaju puno manje površine s vodonosnicima te su rezultati puno manji, $0,93 \text{ km}^3$ za Medvednicu i $0,41 \text{ km}^3$ za Kalnik. Prednost ove metode je što daje određenu pouzdanost jer je površinsko rasprostiranje vodonosnika kao i

njegova debljina relativno siguran podatak pa je vrijednost najmanjeg volumena pornog prostora pouzdana.

Druga metoda temeljena je na izračunu volumena vodonosnika na temelju izrađenog 3D geološkog modela podzemlja (Žumberak i Samoborsko gorje) i kulisnih dijagrama (Medvednica i Kalnik). Ovom metodom dobiveni su dosta ujednačene vrijednosti volumena za sve tri gore. Najveći volumen dobiven je za Medvednicu, 21 km³, za Žumberak, 20,56 km³ i najmanji za Kalnik 15 km³. Kako je geološka interpretacija zasnovana na činjenici da su glavni vodonosnici, trijaski dolomiti i vapnenci, taloženi za šelfnom prostru pasivnog ruba Pangea-e za vrijeme otvaranja Tetyskog oceana, te da je mjestimično istaloženo preko 2 km karbonata i za očekivati je bilo da će razlika između izračunatih volumena prvom i drugom metodom biti za red veličine, te da će volumeni dobiveni na temelju geološkog modela i kulisnih dijagrama biti relativno ujednačeni.

Glavni razlog dosta većih vrijednosti volumena je da se drugom metodom ne zanemaruje volumen vodonosnika u podzemlju koji je prekriven nepropusnim naslagama. Kako je konstruiran geološki model/kulisni dijagrami podzemlja, ovom metodom su u izračun volumena uključene i geološke značajke podzemlja i strukture. Istraživano područje je geološki zamršeno, stijene su iznimno borane i rasjedane te su za vrijeme kompresijskih režima naprezanja stvorene ljuskave strukture u kojima može doći do prividnog udvostručenja debljine. Prednost ove metode su realnije vrijednosti volumena jer uzimaju više parametara u izračun. S druge strane metoda je opterećena geološkom interpretacijom na temelju malog broja ulaznih podataka i regionalnim mjerilom istraživanja. Velika razlika između najmanje i najveće vrijednosti potencijalnih zaliha isključivo je uvjetovana velikim rasponom poroznosti.

Drugi problem mjerila je hidrauličko opisivanje pukotinskog prostora. Pukotinski prostor je diskontinuiran u prostoru kao što je prikazano ranije u radu. Gustoću i geometriju pukotina kao i njihov prosotni raspored kontroliraju geološki procesi a njihovu ulogu kontroliraju hidrogeološki uvjeti (BAKALOWITZ, 2005). Da bi se pukotine i pukotinski i kanalski sustav mogao hidraulički opisati potrebno je uzeti te faktore u obzir. BORGHI et. al (2010) navodi kako da bi se precizno opisala pukotinska i kanalska mreža krškog podzemlja potrebno je opisati i modelirati sve fizičke, kemijske i speleogenetske procese koji su formirali to krško područje. To znači da je potrebno rekonstruirati sve procese koji su kroz geološku prošlost sudjelovali u nastanku i razvoju istraživanog krškog područja. Kako je to nemoguće pribjegava se drugim rješenjima u rekonstrukciji krškog podzemlja. Da bi se točno opisao tok kroz krško podzemlje potrebno je znati geometriju kanalske i pukotinske mreže ali i pojedinih pukotina. No ovakva razmatranja rade se u okviru makroskopskog i lokalnog mjerila. U regionalnim razmatranjima osrednjavanja su dovoljno velika da se izbjegavaju ovakvi problemi. Zato je i poroznost gornjotrijaskih dolomita koja je procijenjena na 5-25 %, za ovo mjerilo valjana. Na temelju istraživanja u regionalnom mjerilu mogu se projektirati istraživanja u lokalnom mjerilu te kroz ta istraživanja detaljnije opisati hidrogeološke parametre i tok podzemne vode.

Ovo istraživanje trebalo bi biti podloga za daljnja detaljnija istraživanja u kojima bi se detaljnije opisala efektivna poroznost odnosno, preciznije opisali tipovi poroznosti i kvantificirale vrijednosti poroznosti.

Zbog sve veće potrebe za pitkom vodom gorski vodonosnici su sve interesantniji za vodoopskrbu. Osim velike količine vode koja se u takvim vodonosnicima može uskladištiti a time i crpiti, voda iz gorskih vodonosnika je često visoke kvalitete. Rezultati ovog rada daju uvid u količinu a time i značaj količine vode koja se potencijalno može uskladištiti u gorskim vodonosnicima Žumberka i Samoborskog gorja, Medvednice i Kalnika. Daljnja istraživanja mogu se usmjeriti na detaljnije analiziranje pojedinih vodonosnika na istraživanom području. Mjerilo treba svesti s regionalnog na lokalno te preciznije odrediti granice pojedinih vodonosnika. Detaljnim speleološkim, geomorfološkim i strukturno-geološkim istraživanjima mogu se dobiti važni podaci o rasporedu, gustoći, genezi pukotina, šupljina i podzemnih speleoloških objekata na temelju čega bi se preciznije mogla definirati podzemna mreža kanala i pukotina. Na mjestima gdje vodonosnik ima duboko zalijeganje bilo bi korisno probušiti cijeli vodonosnik tj. definirati podinu vodonosnika. Kod debelo uslojenih krških vodonosnika, i/ili vodonosnika s dubokim zalijeganjem podina ne mora biti nepropusna stijena u podlozi nego može biti i vodonosna stijena kojoj je na određenoj dubini okršenost hidrogeološki beznačajna uslijed velikog tlaka i kompakcije. Dubina takve podine vodonosnika jedino se može odrediti bušenjem.

Geomorfološke značajke, reljef i klima omogućuju infiltraciju velike količine oborinskih voda u podzemlje. Velike debljine vodonosnika i velike vrijednosti poroznosti, koja za gornjotrijaske dolomite varira od 5 % do 25% omogućuje uskladištenje velike količine vode a time su ovi vodonosnici danas posebno značajni za uskladištenje strateških zaliha podzemne vode. U sjeverozapadnoj Hrvatskoj danas se većina vodoopskrbe temelji na crpljenju iz aluvijalnih vodonosnika Save i Drave. Kako su ti vodonosnici smješteni u topografski niskim područjima, veliki je potencijal za njihovo antropogeno onečišćenje i zagađenje što postupno dovodi do degradacije kvalitete podzemne vode.

Područja napajanja gorskih vodonosnika smještena su topografski najvišim područjima gora te je potencijal za njihovo zagađenje mali. Područje napajanja je relativno lako identificirati te je projektiranje i provođenje zaštite također jednostavno. Uzimajući u obzir sve navedene čimbenike, potencijal ovih vodonosnika za vodoopskrbu u budućnosti je velik te se može očekivati sve veći interes za daljnja istraživanja.