



**RGNF**

Sveučilište u Zagrebu  
**RUDARSKO-GEOLOŠKO-  
NAFTNI FAKULTET**  
HR-10002 Zagreb  
Pierottijeva 6, P.P. 390



KLASA:  
URBROJ:

## OBRAZLOŽENJE MENTORA

U Zagrebu, lipanj 2022.

Kolegice Katarina Mišić i Ivana Dergez su tijekom dosadašnjeg studiranja na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu pokazale veliki interes za sudjelovanjem u terenskim strukturno-geološkim istraživanjima ali i uz istraživanja vezana za 3D modeliranje podzemlja. Kao vanjski suradnici malen na europskom znanstvenom projektu **GeoERA – HotLine: Mapping and Assessment of Geothermal Plays in Deep Carbonate Rocks – Cross-domain Implications and Impacts** (<https://www.hgi-cgs.hr/hotlime/>) pod vodstvom dr.sc. Staše Borović (viša znanstvena suradnica Hrvatskog geološkog instituta - HGI) predložili smo kolegicama Mišić i Dergez da se priključe istraživačkom timu odnosno provođenju istraživanja.

Shodno navedenome, uz naše mentorstvo te obzirom na njihova predznanja i iskazani interes, kolegice Mišić i Dergez posvetile su se provedbi dijela istraživačkih radnji na projektu, a koje su uključivale strukturnu interpretaciju seizmičkih refleksijskih profila koje je HGI-u i RGN fakultetu ustupila Agencija za ugljikovodike RH, zajedno sa svim relevantnim geološkim podacima. Prije svega radi se o podacima dubokih istražnih i proizvodnih bušotina na području Karlovačke i zapadnog dijela Savske depresije.

Glavni cilj njihova rada je interpretacija tektonske evolucije zapadnog ruba Panonskog bazena, odnosno Karlovačke depresije i zapadnog dijela Savske depresije tijekom negena i kvartara. Interpretacija tektonske evolucije je utemeljena na izrađenom 3D geološkom modelu te strukturnim kartama po podlozi neogenskih naslaga kao i granicama panonskih, pontskih te pliokvartarnih naslaga. Interpretacija je provedena kartiranjem pripadajućih seizmičkih refleksa pomoću računalnog programa Move 2019 koji je doniran RGN fakultetu od tvrtke Petroleum Experts.

Temeljna svrha izrade 3D geološkog modela je bila stvaranje podloge za strukturno-geološku interpretaciju tektonske aktivnosti istraživanog područja kroz neogen i kvartar. Izrađeni model je neophodan u karakterizaciji geotermalnog vodonosnika na području Zagreba, odnosno razradi strategije korištenje geotermalnog polja Zagreb te procjeni potencijala pojedinih lokacija za pridobivanje i korištenje geotermalnih voda.

Rad je napisan na 59 stranica, podijeljen je 7 poglavlja, sadrži 38 slika, 1 tablicu, 5 priloga te sadrži 50 literaturna navoda i 2 web adrese. Mišljenja smo da je rad napisan je u skladu s općim uputama za pisanje i opremanje radova koji se podnose na natječaj za Rektorovu nagradu, da zadovoljava sve kriterije izvrsnosti te ga sa zadovoljstvom predlažemo za Rektorovu nagradu u akademskoj godini 2021/22 .

**SRETNNO!**

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš

Mentor:

dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
ZAVOD ZA GEOLOGIJU I GEOLOŠKO INŽENJERSTVO

KATARINA MIŠIĆ, univ. bacc. ing. geol.

IVANA DERGEZ

3D GEOLOŠKI MODEL PODZEMLJA KARLOVAČKE DEPRESIJE I ZAPADNOG  
DIJELA SAVSKE DEPRESIJE S OSVRTOM NA GEOTERMALNI POTENCIJAL

Zagreb, 2022



*Rad je izrađen na Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv.prof. dr. sc. Bojana Matoša i dr.sc. Ivica Pavičića, višeg asistenta, u sklopu međunarodnog znanstvenog projekta GeoERA – HotLime: Mapping and Assessment of Geothermal Plays in Deep Carbonate Rocks – Cross-domain Implications and Impacts voditeljice dr.sc. Staše Borović, više znanstvene suradnice Hrvatskog geološkog instituta. Studentski rad je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022.*

Zagreb, 2022

## Zahvala:

*Zahvaljujemo mentorima izv. prof. dr. sc. Bojanu Matošu i dr. sc. Ivici Pavičiću, višem asistentu, na predloženoj temi, ukazanom povjerenju, velikoj pomoći i strpljenju prilikom izrade ovog rada.*

*Veliko hvala voditeljici projekta dr. sc. Staši Borović, znanstvenoj suradnici Hrvatskog geološkog instituta na ukazanoj prilici i povjerenju, stručnim savjetima i diskusiji tijekom provođenja istraživanja.*

*Zahvala Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na ustupljenom prostoru te tvrtki Petroleum Experts na doniranom računalnom programskom paketu Move 2019.*

## Izjava o nepovezanosti radova

Sukladno Pravilniku i odredbama o Rektorovoj nagradi RGN fakulteta autorice rada i mentori izjavljuju da prijavljeni rad za Rektorovu nagradu nije povezan s radovima druge namjene (npr. diplomski rad, završni rad, seminarski rad) odnosno da isti predstavlja individualni znanstveni rad izrađen i prijavljen isključivo za Rektorovu nagradu.

Autorica:



---

Katarina Mišić, univ. bacc. ing. geol.

Autorica:



---

Ivana Dergez

Mentor:



---

izv. prof. dr. sc. Bojan Matoš

Mentor:



---

dr. sc. Ivica Pavičić, viši asistent

## **SAŽETAK:**

U ovom radu opisana je strukturna interpretacija seizmičkih podataka iz Karlovačke depresije i zapadnog dijela Savske depresije. Površina istraživanog područja obuhvaća 2860 km<sup>2</sup>. Strukturna interpretacija napravljena je na temelju površinskih geoloških podataka te geofizičkih podataka koji su objedinili 22 bušotine te 36 refleksijska seizmička profila dobivenih od Agencije za ugljikovodike RH. Obrada i interpretacija podataka provedene su na RGN fakultetu Sveučilišta u Zagrebu pomoću računalnog programa Move 2019. Strukturnom intepretacijom površinskih i geofizičkih podataka izrađen je trodimenzionalni geološki model podzemlja sa modeliranim rasjednim plohama te strukturnim plohama po podlozi neogena te krovinskim stratigrafskim horizontima. Izrađeni strukturni model predstavlja bazni model za daljnja hidrogeološka istraživanja geotermalnog potencijala Karlovačkog i Zagrebačkog područja s aspekta modeliranja protoka termalnih voda u podzemlju te izdvajanja potencijalnih lokacija za pridobivanje termalnih voda u turističke i gospodarske svrhe.

**KLJUČNE RIJEČI:** 3D geološki model, Karlovačka i Savska depresija, strukturna interpretacija, geofizički podaci, geotermalni potencijal, Petroleum Expert - Move

## **ABSTRACT:**

This study describes structural interpretation of seismic data from the Karlovac Depression and the western part of the Sava Depression. The investigated area covers 2860 km<sup>2</sup>. Here, conducted structural interpretation was performed based on surface data and available geophysical data which combined 22 wells and 36 seismic reflection profiles obtained from Croatian Hydrocarbon Agency. Data processing and interpretation were performed at the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering of the University of Zagreb using the software Move 2019. Structural interpretation of surface and geophysical data resulted in three-dimensional geological model of the subsurface with models of fault surfaces and structural depth surfaces of Neogene units and hangingwall stratigraphic horizons. The created structural model is a principal model for further hydrogeological research of the geothermal potential of Karlovac and Zagreb areas from the aspect of modeling the flow of thermal waters in the underground and selection of potential locations for exploration of thermal waters for tourist and economic purposes.

**KEY WORDS:** 3D geological model, Karlovac and Sava depression, structure interpretation, geophysical data, geothermal potential, Petroleum Expert - Move

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA.....	3
2.1.	Geografske i klimatološke značajke.....	3
2.2.	Geomorfološke značajke .....	4
3.	KRATKI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	5
4.	GEOLOŠKE ZNAČAJKE.....	7
4.1.	Geološke jedinice Panonskog bazenskog sustava miocenske i kvartarne starosti.....	8
4.1.1.	Barski sedimenti (b) .....	8
4.1.2.	Aluvij velikih rijeka (aR) i aluvij manjih vodotoka (a).....	8
4.1.3.	Deluvij – proluvij (dpr) .....	9
4.1.4.	Kopneni beskarbonatni les (l).....	9
4.1.5.	Pont (M <sub>7</sub> ).....	9
4.1.6.	Panon (M <sub>6</sub> ).....	10
4.1.7.	Sarmat (M <sub>5</sub> ).....	10
4.1.8.	Baden (M <sub>4</sub> ).....	11
4.1.9.	Otnang (M <sub>2</sub> ).....	12
4.2.	Geološke jedinice podloge Panonskog bazenskog sustava .....	12
4.2.1.	Paleocen (Pc) .....	12
4.2.2.	Mlađa kreda (K <sub>2</sub> ) .....	13
4.2.3.	Dijabazi i spiliti mlađe krede (ββ) .....	13
4.2.4.	Malm (J <sub>3</sub> ).....	14
4.2.5.	Serpentiniti (Se) .....	14
4.2.6.	Lijas i doger (J <sub>1+2</sub> ) .....	14
4.2.7.	Mlađi trijas (T <sub>3</sub> ).....	15
4.2.8.	Srednji trijas (T <sub>2</sub> ) .....	16

4.2.9. Stariji trijas ( $T_1$ ).....	17
4.2.10. Permotrijas (P,T).....	17
4.2.11. Srednji i mlađi perm ( $P_{2,3}$ ).....	17
4.2.12. Stariji perm ( $P_1?$ ).....	18
4.2.13. Devon, karbon – (D,C?).....	18
4.3. Strukturne značajke područja istraživanja.....	19
4.4. Opis potencijalnih vodonosnika (Slika 7).....	21
4.4.1. Trijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik.....	21
4.4.2. Badenski karbonatno klastični vodonosnik.....	22
5. TRODIMENZIONALNI GEOLOŠKI MODEL ISTRAŽIVANOG PODRUČJA ...	25
4.1. Opis ulaznih podataka.....	25
5.1.1. Podaci s površine terena.....	25
5.1.2. Podaci iz podzemlja – bušotine i refleksijski seizmički profili.....	28
5.1.3. Izrada 3D geobaze podataka.....	31
5.2. Postupak izrade 3D geološkog modela područja.....	32
5.2.1. Usklađivanje seizmičkih i bušotinskih podataka.....	32
5.2.2. Interpretacija seizmičkih profila.....	34
5.2.3. Izrada modela rasjednih ploha.....	37
5.2.4. Izrada modela ploha geoloških granica.....	38
5.2.5. Konverzija <i>Vrijeme-Dubina</i> .....	40
6. REZULTATI.....	42
6.1. Vremensko-strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga.....	42
6.2. Vremensko-strukturna karta po podlozi panonskih naslaga.....	43
6.3. Vremensko-strukturna karta po granici starijeg i mlađeg pontaa.....	43
6.4. Vremensko-strukturna karta po podlozi pliokvartarnih naslaga.....	44
7. RASPRAVA I ZAKLJUČAK.....	53
LITERATURA.....	55

Popis slika:

Slika 1. Geografski položaj istraživanog područja (preuzeto s <i>Google Earth Pro</i> ). .....	3
Slika 2. Karta reljefa istraživanog područja ( <i>Izvor: <a href="https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp">https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp</a></i> ). .....	4
Slika 3. Izdanak razlomljenih dolomita iz Formacije Slapnica (dolina Slapnice). .....	16
Slika 4. Izdanak Glavnih dolomita (cesta od izvora Slapnice prema selu Kalje). .....	16
Slika 5. Rasjedi kao dio geotektonskog sklopa šireg Zagrebačko-Karlovačkog područja (prema TOMLJENović i CSONTOS, 2001). .....	19
Slika 6. Prikaz Savske suturne zone koja prati Savsku depresiju, a čini tektonski šav između Europske i Jadranske mikroploče (preuzeto iz USTASZEWSKI i dr., 2010). .....	20
Slika 7. Geološki stup istraživanog područja s naznačenim geotermalnim vodonosnicima (preuzeto iz PAVIČIĆ, 2018). .....	24
Slika 8. Podloga za digitalizaciju sačinjena od mozaika listova Osnovnih geoloških karata Novo Mesto, Zagreb, Ivanić-Grad, Karlovac i Sisak (PLENIČAR i dr., 1976; ŠIKIĆ i dr., 1978; BASCH, 1983; BENČEK i dr., 2014; PIKIJA, 1987). .....	26
Slika 9. Točkasti, linijski i poligonski podaci digitalizirani sa listova Osnovnih geoloških karata. ....	27
Slika 10. Digitalizirane geološke jedinice, geološke granice i položaji slojeva na temelju osnovnih geoloških karata koje su korištene u ovom radu za područje istraživanja. ....	28
Slika 11. Tabela pregled litostratigrafskih jedinica (preuzeto iz MLINARIĆ, 1995). ....	29
Slika 12. Primjer podataka o devijacijama bušotine (preuzeto iz MLINARIĆ, 1995). ....	29
Slika 13. Shematski prikaz kronostratigrafskih i litostratigrafskih jedinica te pripadajućih EK-markera u području Savske depresije. Dijagram prikazuje i vrijeme glavnih tektonskih faza za vrijeme neogena i kvartara te taložne megacikluse Savske depresije (prema RÖGL, 1996; SAFTIĆ dr., 2003; PAVIČIĆ, 2018). .....	30
Slika 14. 3D geobaza u softveru <i>Move 2019</i> sa raspoloživim ulaznim podacima (digitalni model reljefa, geološka karta površine terena te bušotinski i seizmički podaci). ....	31
Slika 15. Primjer interpretiranog seizmičkog refleksijskog profila 6 – 6' s projiciranim bušotinama i presječnicama s drugim seizmičkim refleksijskim profilima. ....	34
Slika 16. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotaznog markera <i>Tg</i> koji odgovara podlozi neogenskih naslaga. ....	35



Slika 17. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotažnog markera $R_{s7}$ koji odgovara podlozi panonskih naslaga.....	35
Slika 18. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotažnog markera $Z$ koji odgovara granici starijeg i mlađeg ponta.....	35
Slika 19. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotažnog markera $\alpha$ koji odgovara granici podloge pliokvartarnih naslaga $\alpha$ . ....	36
Slika 20. Prostorni prikaz interpretacija svih odabranih geoloških granica te tragova rasjeda na refleksijskim seizmičkim profilima. ....	36
Slika 21. Modelirani rasjedi strukturnog sklopa istraživanog područja. ....	37
Slika 22. Modelirani rasjedi strukturnog sklopa istraživanog područja iz bokocrta. ....	38
Slika 23. 3D model strukturne plohe po podlozi neogenskih naslaga. ....	38
Slika 24. 3D model strukturne plohe po podlozi panonskih naslaga. ....	39
Slika 25. 3D model strukturne plohe po granici starijih i mlađih pontskih naslaga. ....	39
Slika 26. 3D model strukturne plohe po podlozi pliokvartarnih naslaga. ....	39
Slika 27. 3D geološki model istraživanog područja s svim interpretiranim plohama i ulaznim podacima. ....	40
Slika 28. Graf odnosa dubine i dvostrukog vremena putovanja. ....	40
Slika 29. Graf odnosa dvostrukog vremena putovanja i brzine. ....	41
Slika 30. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 8 – 8'.....	45
Slika 31. Interpretirani seizmički refleksijski profil 8 – 8' s označenim rasjedima (crveni tragovi) i stratigrafskim jedinicama.....	46
Slika 32. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 23 – 23'.....	47
Slika 33. Interpretirani seizmički refleksijski profil 23 – 23' s označenim rasjedima (crveni tragovi), bušotinama B-15, B-16 i B-17 te stratigrafskim jedinicama.....	48
Slika 34. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 27 – 27'.....	49
Slika 35. Interpretirani seizmički refleksijski profil 27 – 27' s označenim rasjedima (crveni tragovi), bušotinom B-17 i stratigrafskim jedinicama.....	50
Slika 36. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 36 – 36'.....	51
Slika 37. Interpretirani seizmički refleksijski profil 36 – 36' s označenim rasjedima (crveni tragovi), bušotinom B-19 i stratigrafskim jedinicama.....	52
Slika 38. Geotermalni gradijent na području Republike Hrvatske (preuzeto iz KUREVIJA i dr., 2014). ....	54

Popis tablica

Tablica 1. Osnovni podaci o korištenim bušotinama. ....33

Popis priloga:

Prilog 1. Pojednostavljena geološka karta istraživnog područja

Prilog 2. Karta dubina po elektrokarotažnom markeru  $Tg$

Prilog 3. Karta dubina po elektrokarotažnom markeru  $Rs7$

Prilog 4. Karta dubina po elektrokarotažnom markeru  $Z$

Prilog 5. Karta dubina po elektrokarotažnom markeru  $\alpha$

## 1. UVOD

U području Panonskog bazena u Hrvatskoj, od sredine prošlog stoljeća pa do danas, tvrtka INA Naftaplin Zagreb (kasnije INA Industrija nafte d.d, Zagreb) izradila je brojna geofizička i geološka istraživanja te izbušila veliki broj bušotina u svrhu pronalaska novih i razrade postojećih ležišta ugljikovodika te kasnije i geotermalnih vodonosnika. Snimljena je vrlo gusta mreža refleksijskih seizmičkih profila, praćenih istražnim i razradnim bušotinama na temelju kojih se nastojala rekonstruirati dubinska geološka građa ovog dijela Panonskog bazena, a time i pronaći lokacije potencijalnih, novih ležišta. Iako je time prikupljena značajna količina geofizičkih i geoloških podataka, saznanja o dubinskoj geološkoj građi u pravilu su objavljivani u relativno rijetko i sporadično, djelomično u doktorskim disertacijama, diplomskim i magistarskim radovima na studijima geologije Sveučilišta u Zagrebu, a djelomično i u znanstvenim radovima. Većina znanstvenih publikacija vezana je za litostratigrafski i strukturni razvoj određenog dijela Panonskog bazena (npr. SAFTIĆ i dr., 2003; TOMLJENović i CSONTOS, 2001) te njegov naftnogeološki potencijal (npr. LUČIĆ i dr., 2001) dok su radovi o geotermalnom potencijalu i iskoristivosti geotermalne energije sporadični (npr. BOROVIĆ i dr., 2020; KUREVIJA i dr., 2010).

Hidrotermalni sustavi u razlomljenim i okršenim karbonatnim stijenama spadaju u najperspektivnije geotermalne vodonosnike u Europi. Istraživanja dubokog podzemlja smatraju se kao visokorizična ulaganja, osobito u niskoentalpijske sustave, gdje je potrebno bušenje na dubinama i većim od 3 km kako bi se pridobile vode zadovoljavajuće temperature za korištenje geotermalne energije. Da bi se smanjio rizik takvih zahtjevnih i financijski skupih geotermalnih zahvata, ključno je povećati saznanja o geološkim uvjetima koji određuju prostornu raspodjelu i obnovljivost potencijalnih resursa. Učinkovitost geotermalnih sustava u dubokim karbonatnim vodonosnicima ovisi o količini podzemne vode koji je često određen rasjednim strukturama i okršavanjem te poroznosti geotermalnih vodonosnika. 2018 godine kao dio istraživačkog programa EU Horizon 2020 započeo je međunarodni znanstveni projekt ***GeoERA – HotLime: Mapping and Assessment of Geothermal Plays in Deep Carbonate Rocks – Cross-domain Implications and Impacts*** pod vodstvom dr. sc. Staše Borović, više znanstvene suradnice Hrvatskog geološkog instituta. Osnovni ciljevi projekta bili su identificirati generičke strukturne

čimbenike u dubokim karbonatnim geotermalnim vodonosnicima, usporedbom geoloških uvjeta i njihovog strukturnog sklopa, kao i usporedbom podataka dubokih bušotina i njihovih petro-i hidrofizičkih karakteristika iz 11 pokusnih područja diljem Europe. Jedino Hrvatsko pokusno područje obuhvaća područje Geotermalnog polja Zagreb. Geotermalno polje Zagreb regionalno-geološki se nalazi u zapadnom dijelu Savske depresije koja pripada hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Zapadno se još nalazi i Karlovačka depresija koja je od Savske odvojena strukturom Vukomeričkih gorica. U Karlovačkoj depresiji također je otkriven veliki potencijal za pridobivanje geotermalne energije (KUREVIJA i dr., 2010).

S obzirom na geološke uvjete te sadašnju i buduću važnost geotermalnih sustava za središnju Hrvatsku, svrha ovog rada je bila izrada baznog 3D geološkog modela podzemlja Karlovačke depresije te zapadnog dijela Savske depresije na temelju geofizičkih i bušotinskih podataka. Geofizički podaci korišteni u ovom radu čine 36 seizmička profila koji pokrivaju područje površine 2860 km<sup>2</sup>. Također, na raspolaganju su bili i podaci o 22 bušotine koje su činili lokacija bušotine, geološki stup bušotine, devijacija te dubine elektrokarotažnih markera. Obrada i interpretacija podataka provedene su na RGN fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo pomoću računalnog programa Move 2019 doniranog fakultetu od tvrtke Petroleum Experts.

Rezultantni 3D geološki model predstavlja bazni podatak koji se može koristiti u znanstvene i stručne svrhe npr. za procjenu geotermalnog potencijala istraživanog područja, strukturne analize pomaka po rasjedima, analizama vremena i intenziteta tektonske aktivnosti, za preciznije određivanje potencijalnih lokacija budućih istražnih bušotina, procjenu dubina i prognoznih geoloških stupova budućih istražnih bušotina što značajno može smanjiti troškova istraživanja.

## 2. GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA

### 2.1. Geografske i klimatološke značajke

Područje istraživanja nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske te obuhvaća 2860 km<sup>2</sup>. U širem smislu obuhvaća Karlovačku depresiju na jugu i jugozapadu te zapadni dio Savske depresije na istoku i sjeveroistoku (Slika 1). Čini ga nizinsko područje od Karlovca na zapadu, do Sesveta na istoku te sela Vukmanić i Utinja na jugu. Na sjeveru obuhvaća južne obronke Žumberačkog i Samoborskog gorja te Medvednice. Od većih gradova ističu se grad Zagreb i Ivanić-Grad na istoku, te Karlovac na zapadu. Rijeka Sava, koja prolazi istočnim dijelom istraživanog područja predstavlja važan hidrogeološki element i ima važan hidrogeološki te gospodarski značaj za središnji dio Hrvatske. Od većih vodotoka ističu se rijeka Kupa, Korana, Dobra i Mrežnica na zapadu. Potencijalno važan gospodarski element su i niz termalnih izvora od kojih su najpoznatiji Čateške i Stubičke Toplice, Sv. Helena i Sv. Jana (ŠIKIĆ i dr., 1972). Klimatske značajke su karakteristično kontinentalnog tipa, promjenjiva cirkulacija atmosfere tipična je za umjerene geografske širine i raznolikost vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine. Veće srednje godišnje temperature zraka (12°C) uočavaju se, osim u najistočnijim predjelima Hrvatske, na području Zagreba zbog utjecaja toplinskog otoka grada. Najniže srednje godišnje temperature zraka od 6°C pojavljuju se u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske na vršnom području Žumberačke gore (ZANINOVIĆ i dr., 2008).

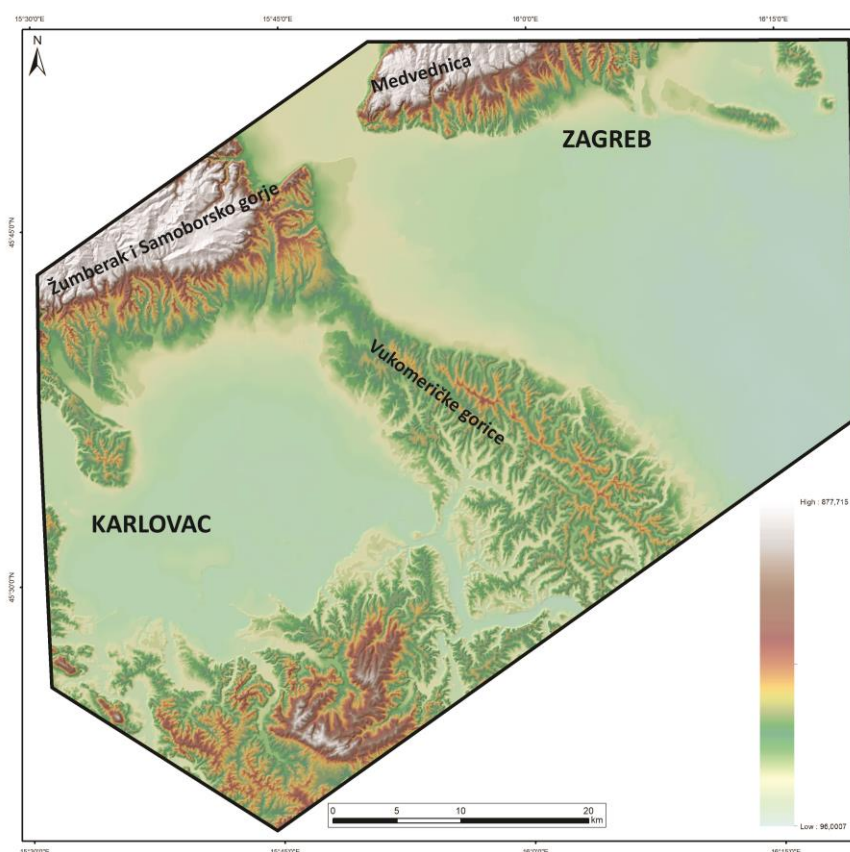


Slika 1. Geografski položaj istraživanog područja (preuzeto s Google Earth Pro).

## 2.2. Geomorfološke značajke

Morfološki, teren se može podijeliti u tri dijela: gorsko područje, gorsko prigorje te nizinsko zaravnjeno područje (Slika 2). Gorsko područje predstavlja terene, čije su nadmorske visine preko 300 m, u koje ubrajamo jugozapadni dio Medvednice s najvišim vrhom Sljeme 1035 m, južne predjele Žumberka (s najvišim vrhom Sv. Gera visine 1178 m, sjeverno od istraživanog područja)

Gorsko prigorje je vezano na rubne prijelazne dijelove Medvednice i Žumberka, te još tu ubrajamo i brdovite terene Vukomeričkih gorica. Nizinsko zaravnjeno područje čine riječne doline rijeka Save, Kupe, Korane, Mrežnice i Dobre. Najviša nadmorska visina istraživanog područja je 871 m.n.m. u području Žumberka Samoborskog gorja te Medvednice, a najniža 96 m.n.m. U dolini Save.



Slika 2. Karta reljefa istraživanog područja (Izvor: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>).

### 3. KRATKI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja je do sada bilo predmet mnogobrojnih tematski geoloških istraživanja koja su intenzivno započela u drugoj polovici 20. st. Većina geoloških istraživanja bila je usmjerena na naftnogeološka te hidrogeološka istraživanja koja su za cilj imala otkrivanje ugljikovodika, termalne i podzemne vode.

Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja razmatrane su u sklopu znanstvenih istraživanja koje je provodio TOMLJENVIĆ (2000 i 2002), dok su strukturne značajke neogensko-kvartarnih struktura Karlovačke depresije bile opisane u radu TOMLJENVIĆ i CSONTOS (2001). Sedimentologiju i stratigrafiju Panonskog bazenskog sustava opisali su PAVELIĆ i KOVAČIĆ (2018). PAVIČIĆ (2018) provedenim istraživanjem definirao je tipove i genezu te kvantificirane iznose pojedinih tipova poroznosti u litofacijesima i tektofacijesima svih formacija mlađe trijaskih dolomita Žumberka koji se nalaze u podlozi neogenskih naslaga istraživanog područja. Tektonska evolucija hrvatskog dijela Panonskog bazena je podijeljena na predriftnu fazu koja je vezana uz završnu koliziju Jadranske mikroploče i Europe duž Savske zone, sin-riftnu fazu koja je trajala od donjeg miocena do srednjeg miocena i vezana je uz otvaranje Panonskog bazena, te postriftnu fazu koja je trajala od srednjeg miocena do kvartara, a vezana je uz kompresijske pokrete u Panonskom bazenu (vidi SAFTIĆ i dr., 2003). Nadalje, PAVIČIĆ i dr. (2019) pišu o interpretaciji tektonske evolucije zapadnog dijela Savske depresije. U ovom radu predstavljeni su rezultati opsežnog strukturnog istraživanja zapadnog dijela Savske depresije i pruža uvid u tektonsku evoluciju istraženog područja. CVETKOVIĆ i dr. (2019) napravili su karte koje ilustriraju važnost kartiranog intervala za regionalno planiranje budućnosti i istraživanja vezana uz geoenergiju. Prva hidrogeološka istraživanja geotermalnog potencijala područja istraživanja započela su 1995. godine izradom glavnog rudarskog projekta geotermalnog polja Zagreb (ZELIĆ i dr., 1995).

Područje Žumberka zahvaćeno je i u regionalno geološkom radu DRAGIČEVIĆ i VELIĆ (2002) koji opisuju paleogeografske značajke sjeveroistočnog ruba Jadranske karbonatne platforme, gdje spada i područje Žumberka. Strukturne značajke Samoborskog gorja, Karlovačke depresije i padina Žumberka obrađuju TOMLJENVIĆ i CSONTOS (2001) i TOMLJENVIĆ (2000 i 2002).



Hidrogeološka istraživanja provodila su se u puno manjem obimu nego geološka. Od hidrogeoloških istraživanja važna su ona koja su rezultirala hidrogeološkom kartom SR Hrvatske 1:500.000 (ŠARIN i dr., 1980), te stručni hidrogeološki projekti RGN fakulteta (DRAGIČEVIĆ i dr., 1997a, 1997b) u kojima su regionalno interpretirani vodonosni potencijali i hidrogeološke značajke Žumberka i Samoborskog gorja. Geotermalni potencijal Karlovačkog područja opisuje KUREVIJA i dr. (2010), a istraživanja Geotermalnog polja Zagreb te glavni rudarski projekt izradio je MLINARIĆ i dr., 1995.

## 4. GEOLOŠKE ZNAČAJKE

Istraživano područje karakterizira kompleksna geološka građa koja je rezultat poligenetskih sedimentacijskih uvjeta kroz višefaznu tektonsku evoluciju (Prilog 1 - Pojednostavljena geološka karta istraživnog područja). Zamršena geološka građa vidljiva je u čestim horizontalnim i vertikalnim izmjenama različitih geoloških članova u izdvojenim litostratigrafskim jedinicama. U ovom radu, prikaz površinske geološke građe načinjen je temeljem do sada objavljenih radova u istraživnom području, a koje obuhvaća listove osnovnih geoloških karata Karlovac (BENČEK i dr., 2014), Zagreb (ŠIKIĆ i dr., 1978), Ivanić-Grad (BASCH, 1983), Sisak (PIKIJA, 1987), Črnomelj (BUKOVAC i dr., 1984) te Novo Mesto (PLENIČAR, 1976). Uz navedene listove korišteni su i tumači pripadajućih osnovnih geoloških karata (ŠIKIĆ i dr., 1979; BASCH, 1983; PIKIJA, 1987; PLENIČAR, 1977; BUKOVAC, 1984; MAGAŠ i dr., 2014). U ovom radu geološki odnosi na priloženoj karti su nadopunjeni novijim podacima koji su objavljeni u radovima TOMLJENVIĆ I CSONTOS (2001), TOMLJENVIĆ (2002), GRGASOVIĆ (1998), PRTOLJAN (2001) i PAVIČIĆ (2018).

Shodno navedenoj kompleksnosti površinske građe, opis geoloških jedinica prikazan je ovdje prema dvjema osnovnim karakteristikama podzemlja, a koje čine (idući od strukturno/stratigrafski mlađih prema starijim):

- 1) Naslage kvartarne i miocenske starosti u Karlovačkoj depresiji te zapadnom dijelu Savske depresije koje predstavljaju ispunu Panonskog bazena te
- 2) Geološke jedinice koje se nalaze u podlozi miocenskih naslaga, a predstavljene su različitim tipovima stijena mezozojske i paleozojske starosti

#### **4.1. Geološke jedinice Panonskog bazenskog sustava miocenske i kvartarne starosti**

##### ***KVARTAR***

##### **4.1.1. Barski sedimenti (b)**

Barski sedimenti (b) izdvojeni su na širem prostoru Karlovačke depresije u dolini rijeke Kupe, u najnižim dijelovima doline Save, odnosno u području toka Odre i Lonje, na nekoliko mjesta u dolini Kupe, na površinama sjeverno i sjeveroistočno od korita Save te između južnih obronaka Kalnika i strukture Križ. Njihovi talozi su gline i glinoviti siltovi te se uz njih akumulira organogeni mulj u kojem su živjeli ili žive tipični predstavnici stagnofilne barske malakofaune. Debljina im je mala i ne prelazi 1 m (MAGAŠ i dr., 1990; BASCH, 1983; PIKIJA, 1986).

##### **4.1.2. Aluviji velikih rijeka (aR) i aluviji manjih vodotoka (a)**

Aluvijalno-barske naslage (aR) rasprostranjene su u području Karlovačke depresije a vezane su za rijeke Koranu, Kupu, Mrežnicu i Dobru te u području Savske depresije za rijeku Savu. Generalni stup naslaga počinje s relativno dobro sortiranim pijescima u kojima dolaze leće ili proslojci šljunka. Zatim slijede sivoplave masne gline, na kojima leže dobro sortirani, sitnozrnati pijesci. Njima u krovini dolazi sloj debljine do 1 m glinovito-šljunkovitih pijesaka s ugljevitim glinama, tresetom, fosilnim drvljem i bogatom malakološkom asocijacijom iz linijskih i stacionarnih voda. Dok je vršni dio stupa izgrađen od zaglinjenih pijesaka u izmjeni sa siltoznim i pjeskovitim glinama u kojima dolaze leće sitnozrnih pijesaka. Maksimalne debljine naslaga u depresiji Crna mlaka su oko 10 m (MAGAŠ i dr., 1990).

Aluvijalni talozi (a) manjih vodotoka rasprostranjeni su u cijelom istraživanome području, karakteriziran je šljuncima u kojima dolaze manje leće i proslojci krupnozrnatih pijesaka te glina. Dolinu rijeke Lonje i potočne doline južnih obronaka Kalnika izgrađuju sitnozrni, aluvijalni sedimenti u čijem sastavu dominiraju zaglinjeni pijesci i siltovi (ŠIKIĆ i dr., 1979; MAGAŠ i dr., 1990; BASCH, 1983; PIKIJA, 1986).

#### 4.1.3. Deluvij – proluvij (dpr)

Deluvijalno-proluvijalnim (dpr) sedimentima na istraživanom području pokrivene su površine na potezu od sjevernog zagrebačkog područja do Sesveta te obuhvaća Zelinsku depresiju između Šašinovca i doline Nespeš potoka, kod Dugog Sela, Štakorovca i sjeveroistočno od Ivanić-Grada. Rasprostranjeni su i na potezima Lazi – Peščenica – Poljana; Stari Farkašić – Letovanički Lug; Blatnjak – Viduševac; Majske Poljane – Graberje – Glinska Poljana; Petrinja – Hrastovica i Viničko Polje – Stankovac te u području Petrovca, Blinjskog Kuta, Novog Selišta, Novog Frakašića i Stankovca. Za ove sedimente karakteristična je loša sortiranost i djelomična kaotičnost, a u njihovom sastavu zastupljeni su različiti litološki elementi u rasponu silt – pijesak – šljunak – blokovi. Procjenjuje se da debljina deluvijalno-proluvijalnih sedimenata ne prelazi 10 m (BASCH, 1983; PIKIJA, 1986).

#### 4.1.4. Kopneni beskarbonatni les (I)

Naslage kopnenog beskarbonatnog lesa (I) rasprostranjene su u jugozapadnom dijelu sinklinale Brežina – Veliko Trgovišće, na sjevernim i južnim padinama Brežičko – Samoborskog polja, na niskim obroncima Medvednice uz dolinu rijeke Krapine te na južnim obroncima Žumberka. Rasprostranjeni su i od sjevernog dijela zagrebačkog, gradskog područja na jugozapadu, do Zeline i Šalovca na sjeveroistoku, kod Dugog Sela, Glavničice i Štakorovca te sjeveroistočnom rubnom dijelu Vukomeričkih gorica. To su sedimenti lesnog porijekla koji imaju vrlo mali postotak kalcijevog karbonata. Kopneni beskarbonatni les su izgrađene od čestica dimenzija silta te manje zastupljenih čestica glina i pijeska. Debljina im varira, a procjenjuje se da ne prelazi 30 m (ŠIKIĆ i dr., 1979; BASCH, 1983; PIKIJA, 1986).

### **NEOGEN**

#### 4.1.5. Pont (M<sub>7</sub>)

Naslage pontu su podijeljene u naslage starijeg i mlađeg pontu. Iako se pont više ne koristi u stratigrafskoj klasifikaciji, naslage pontu zapravo pripadaju mlađem panonu, zbog toga što je pont izdvojen u svim tipovima ulaznih podataka (OGK listovi mjerila 1:100 000, bušotine), pont kao jedinstvena jedinica je zadržan i u ovom radu.

Naslage starijeg pontu neznatnog su rasprostiranja izdvojene su kao manje pojave u krajnjem sjeverozapadnom dijelu lista Karlovac, jugozapadno od Krašića. Najvjerojatnije su neporemećeni dijelovi ovih naslaga u razvojnom kontinuitetu s naslagama panona.

Litogenetski pripadaju izmjeni pjeskovitih, glinovitih i rjeđe kalcitičnih lapora s pijescima. Debljina im u ovom rubnom pojasu Savske potoline nije veća od 270 m (MAGAŠ i dr., 2014).

Naslage mlađeg ponta u sedimentacijskom smislu kontinuirano prelaze iz naslaga starijeg ponta s tendencijom „širenja“ na starije komplekse. Najveći dio mlađe pontskih naslaga tvore sitnozrnati tinjčasti pijesci s raznim vrstama laminacija te kosom i unakrsnom slojevitošću. Lamine su izgrađene od listićavih lapora. Kao proslojci u pijescima dolaze pjeskoviti i glinoviti tinjčasti lapori, zatim tanki proslojci pješčenjaka, subgrauvaknog tipa i vrlo slabo vezani karbonatni konglomerati. U zasjeku Kupe kod sela Podbrežje unutar pjeskovitih i glinovitih lapora otkrivene su pojave ugljena. Sadržaj makrofaune sigurno ukazuje na slatkovodnu do slabije brakičnu sredinu sedimentacije u mlađem pontu. Evidentirane razlike u debljini u neporemećenim paketima imaju raspon od 40 do 430 m (MAGAŠ i dr., 2014).

#### 4.1.6. Panon (M<sub>6</sub>)

Naslage panona transgresivno naliježu na naslage badena i sarmata. Uslojenost im je dobro izražena, pa se debljine slojeva kreću od 5 – 20 cm. Pretežan dio naslaga pripada kalcitičnim laporima. Najstarije dijelove stupa obično izgrađuju krupnozrnati pretežno karbonatni pijesci s proslojcima slabo vezanih šljunaka debljine do 15 m. Vrlo su rijetki sitnozrni konglomerati i pješčenjaci tipa karbonatnog litoarenita, izgrađeni iz dobro zaobljenih karbonatnih zrna. Znatan dio naslaga sastoji se od sitnozrnih pijesaka u izmjeni s pjeskovitim, glinovitim i kalcitičnim laporima. Najveća debljina ovih naslaga kreće se u rasponu od 250 do 270 m (PIKIJA, 1984).

#### 4.1.7. Sarmat (M<sub>5</sub>)

Paleogeografske osobitosti prostora uvjetovale su dvojaki razvoj sarmatskih naslaga. Osnovno obilježje daje mu grebensko-biolititni facijes, izgrađen od skeleta briozoa, algi i koralja. Vapnenci često sadrže kamene jezgre ili moldičke šupljine u obliku izvornih školjkaša (PIKIJA, 1987). Drugom tipu razvoja odgovaraju sarmatske naslage južnog i jugoistočnog dijela lista. Tamo je zapažen kontinuitet u razvoju iz marinskog mlađeg badena u brakične naslage sarmata nešto dubljeg mora. To je prvenstveno značajno za šire područje sela Čremušnica i Trstenica. Međutim, prostori šireg područja Utinje izgrađeni su od sarmatskih naslaga koje pripadaju tipičnom facijesu delte. U prevladavajućim pijescima mjestimično se nalaze i sitnozrni šljunci. Viši dijelovi razvoja

sadrže listićavo uslojene glinovite siltove gline i siltozne finouslojene gline. Općenito je značajan nedostatak karbonatne komponente (JURIŠA, 1977). Veća količina litoidnih čestica, slaba sortiranost i nedovoljna zaobljenost zrna ukazuje na relativno kratak transport. Brakičnom razvoju sarmata pripadaju nešto mlađi horizonti s mikrofossilnom zajednicom zastupljenom dominirajućim ostrakodima. Pješčenjaci su slabije zastupljeni. Dolaze uloženi u pijescima, a izmjenjuju se s pjeskovitim laporima. Lapor se javljaju vrlo često u intenzivnoj izmjeni sa pijescima i pješčenjacima, različite debljine slojeva (do 20 cm). U sarmatskim naslagama česte su pojave uslojenih (5 – 50 cm) pjeskovitih i laporovitih vapnenaca. Debljina ovih naslaga je oko 100 m (MAGAŠ i dr., 2014).

#### 4.1.8. Baden (M<sub>4</sub>)

Badenske naslage transgresivne su na raznolike stijene u podlozi. U neporemećenom slijedu transgresivne su na klastite otnanga što ukazuje na stratografsku prazninu za vrijeme karpata jer stijene karpatske naslage nigdje nisu izdvojene sa sigurnošću. Uz značajnu rasprostranjenost karakterizira ih izrazito heterogeni litološki sastav i česte vertikalne i horizontalne izmjene litofacijesa. Heterogeni litološki sastav badena ukazuje na priobalne i plitkovodne marinske taložne okoliše u kojima se formiraju klastične stijene (s prisustvom terigenog materijala) i biogene, odnosno bioklastične stijene karbonatne osnove. Uglavnom dominiraju pjeskovite, laporovite i karbonatne komponente. Obično kalcitični pješčenjaci u vršnim dijelovima stupa prelaze u litotamnijske vapnenice. Znatno su slabije zastupljeni konglomerati i šljunci. Glinovita komponenta prvenstveno je značajna za mlađe dijelove badenskih naslaga. Lapor, ako su deblje uslojeni ponegdje uz znatne količine pijeska sadrže valutice i ulomke starijih stijena, pa često i dolomitnog sastava. Javljaju se također kao proslojci (3 – 8 cm) ili kao listićavo uslojeni paketi u pijescima. Vrlo značajna biogena komponenta su litotamnijski vapnenici. Nastali su biogenim procesima alge *Lithotamnium*. Gromadastog su izgleda, neizražene slojevitosti, a sadrže primjese pijeska i gline u šupljinama između gusto akumuliranih biogenih fragmenata velike čvrstoće. Vrlo rijetko se javlja litavac, bioklastična komponenta vapnenca s većim sadržajem organogenog detritusa: koralinacea, foraminifera, briozoa i moluska. Debljina cijelog litološki heterogenog kompleksa badena iznosi najviše 300 m (MAGAŠ i dr., 2014).

#### 4.1.9. Otnang (M<sub>2</sub>)

Slatkovodni sedimenti otnanga konstatirani su u brojnim lokalitetima geomorfološki značajne sjeverne rubne zone Petrove gore te u prigorskim područjima Žumberačke i Samoborske gore. U transgresivnom su odnosu sa starijim naslagama podloge. Jednim su dijelom prekrivene naslagama mlađeg neogena i kvartara. Otnanške naslage karakterizira velika raznolikost facijesa i brza promjena litoloških jedinica, bilo u vertikalnom ili horizontalnom smislu. Bazu im najčešće izgrađuju konglomerati ili brečokonglomerati. Iste stijene ulaze u sastav i viših dijelova stupa, gdje trošenjem zbog labilne veze kalcitnoglinovitog cementa prelaze u šljunak. Upravo ova litološka jedinica vrlo često dominira u sastavu otnanških naslaga, zajedno s pijescima, koji su jače ili slabije zaglinjeni. Uz konglomerate vrlo često dolaze pješčenjaci, uslojeni, slabije vezani i trošni, pretežno sive boje. To su po svom sastavu grauivake i subgrauivake angularna i listićava detritusa povezanog kalcitnim matriksom. Mogu sadržavati proslojke ili leće pjeskovitih lapora i glina. U glinama je vrlo česta pojava tanjih ili debljih proslojaka smeđeg ugljena. Najvjerojatnije pripadaju starijem dijelu razvoja otnanga. Na ovaj zaključak upućuje i litološka korelacija s razvojem otnanga u drugim lokalitetima Hrvatske. Srednja vrijednost debljine ovog kompleksa naslaga kreće se od 150 do 180 m (MAGAŠ i dr., 2014).

## 4.2. Geološke jedinice podloge Panonskog bazenskog sustava

### **PALEOGEN**

#### 4.2.1. Paleocen (Pc)

Rasprostranjenje na listu Zagreb (ŠIKIĆ i dr., 1978) prostorno se poklapa s protezanjem stijena vulkanogeno-sedimentnog kompleksa starije krede. Duž sjeverozapadne padine Medvednice, na sjevernim padinama Sv. Nedeljskog brijega i u južnim predjelima Samoborskog gorja sačuvane su veće ili manje površinske pojave ovih naslaga. Osnovnu masu paleogenskih sedimenata na Medvednici predstavljaju sivi i smeđastosivi glinoviti i pjeskoviti lapori u izmjeni sa subgrauivakim pješčenjacima. Najznačajniji član, sivi fosiliferni biogeni i bioklastični vapnenci, dolaze unutar terigenih klastita kao decimentarski do metarski ulošci i proslojci, ili kao gromadasti grebenski vapnenci biohermnog tipa (ŠIKIĆ i dr., 1979). Pješčenjaci postepeno prelaze u sitnozrne, polimiktne konglomerate. Najmarkantniji paleocenski litološki član lista Sisak su grebenski,

uglavnom masivni vapnenci, s koraljima i algama kao najznačajnijim biogenim sastojcima te dijelom uslojeni detritični vapnenci, mjestimično s nešto terigenog detritusa (PIKIJA, 1987).

## **KREDA**

### 4.2.2. Mlađa kreda (K<sub>2</sub>)

Na istočnom Žumberku mlađe kredni sedimenti imaju veće rasprostiranje nego što je bilo poznato. Na razveden paleoreljef izgrađen uglavnom od trijaskih dolomita, jurskih vapnenaca i rožnjaka, izvršena je transgresija. Debela serija flišolikih sedimentata u kojoj prevladavaju karbonatni i glinoviti lapori, šejlovi i kalkareniti slijedi iznad bazalnog dijela. S njima se u izmjeni nalaze tankopločasti vapnenci i rožnjaci, nepravilni ulošci nesortiranih karbonatnih breča prisutni su mjestimice do 20 cm (ŠIKIĆ i dr., 1979). Najveće rasprostranjenje mlađe krednih naslaga lista Karlovac ima vulkanogeno sedimentni kompleks, gdje s klastitima dolaze magmatske stijene (dijabazi, spiliti i keratofiri). Fliške i „scaglia“ naslage znatno su slabije otvorene u mlađoj kredi. Debljina ovih naslaga ne prelazi 300 m. Kod sela Penića otvorene su naslage karbonatnog fliša senona (K<sub>2</sub><sup>3</sup>) koje su dio turbiditnog facijesa koji čini izmjena konglomerata, kalkarenita, kalklutitskih pješčenjaka i silitnih lapora (MAGAŠ i dr., 1990). Dominantni litološki član lista Sisak su sivi do crvenkasti vapnenci i laporoviti vapnenci mikritskog tipa poznati pod nazivom *Scaglia*. Zastupljeni su još kalkareniti, kvarcni kalkareniti, šejlovi i tufozne stijene, južno i jugoistočno od Gornjih Mokrica registrirani su izdanci rastrošenih eruptiva, spilita (PIKIJA, 1986).

### 4.2.3. Dijabazi i spiliti mlađe krede (ββ)

Na sjeverozapadnim padinama Medvednice dijabazi i spiliti tvore prividno cjelovitu površinu oko 11 km<sup>2</sup>, na kojoj se mjestimice nalaze manji ostaci starijih krednih klastita. Prema ŠIKIĆ i dr. (1979), duž Zagrebačke rasjedne zone poznata kao 'Zagrebačka lomna zona' do plitkih intruzija i efuzija dolazilo je u nekoliko uzastopnih faza na što ukazuju pojave piroklastičnih stijena i promjene teksturno-strukturnih osobina. Dijabazi, u obliku dajkova, silova i nekova ili manjih masiva, dolaze kao brojne pojave unutar sedimentata. Najčešće su homogene teksture, ali se mjestimice u rubnim dijelovima nađu i mandulaste teksture, koje se češće zapažaju kod spilita.



## **JURA**

### **4.2.4. Malm (J<sub>3</sub>)**

Tijekom starijeg malma, na području lista Zagreb, u dubljim predjelima bazena i dalje je nastavljena sedimentacija vapnenaca. Talože se pelagički sedimenti, koji se pretežno sastoje od izmjene pelagičkih mikrita, biomikrita i rožnjaka. Rožnjaci su zastupljeni u obliku slojeva, leća i nodula (ŠIKIĆ i dr., 1979). Na području lista Karlovac naslage mlađe jure su tek djelomično vidljive pa je time debljina ovih sedimenata nepoznata (MAGAŠ i dr., 1990).

### **4.2.5. Serpentiniti (Se)**

Serpentiniti srednje i mlađe jure se javljaju u formi tijela metarskih ili dekametarskih dimenzija unutar klastita jurske dijabaz-rožnjačke serije u širem području Abeza (Trepča). S obzirom da su nastali potpunom serpentinizacijom peridotita, nemaju relikte primarnih minerala – olivina i piroksena. Piroksenski peridotiti, primarne stijene, djelomično su imali granularnu ili granuloblastičnu strukturu ili djelomično kataklastično-tektonitsku strukturu. Relativno su bogati aluminijem što je vidljivo iz visoke rezistentnosti akcesornog spinela i njegove svijetle boje (MAGAŠ, 2014).

### **4.2.6. Lijas i doger (J<sub>1+2</sub>)**

U istočnom Žumberku, kontinuirano na trijasu, sačuvani su ostaci plitkovodnih karbonatnih sedimenata starijeg i srednjeg lijasa. Dobro uslojeni dolomiti, dolomitični vapnanci i vapnenci pripadaju najstarijem dijelu lijasa. U srednjem lijasu zastupljena je plitkovodna sedimentacija, a karbonatna serija sastoji se od izmjene kalkarenita, biokalkarenita, mikrita. Početkom mlađeg lijasa započelo je tektogeneza trijasko-lijaske karbonatne platforme čime je formiran dublji bazenski prostor. Talože se dolomiti i oolitični vapnenci unutar kojih se ubrzo zapaža silicifikacija, a zatim pelagički sedimenti koji se sastoje od izmjene mikrita, biomikrita i rožnjaka. Debljina naslaga nije svugdje jednaka, a maksimalna debljina iznosi 30 m (ŠIKIĆ i dr., 1979).

## **TRIJAS**

Od mezozojskih stijena, trijaske naslage imaju najveće rasprostiranje. U području Samoborskog gorja lagunarni sedimenti prijelaznog tipa ukazuju na kontinuiranu sedimentaciju na prijelazu iz perma u trijas, ali ima pokazatelja da je istovremeno u nekim predjelima došlo do okopnjavanja (ŠIKIĆ i dr., 1979).

#### 4.2.7. Mlađi trijas (T<sub>3</sub>)

Prema PAVIČIĆ (2018) naslage formacije *Slapnica* (Slika 3) predstavljene su dolomitima, a mjestimično se javljaju proslojci slabo litificiranih šejlova. Proslojci siltoznih i pjeskovitih šejlova pojavljuju se rjeđe, a mjestimično se javlja visok udio organske tvari (kerogena). Dolomiti su „ranodijagenetski“. Mjestimično su rekristalizirani u kristalasti dolomit, boja stijene na prijelomu je uglavnom siva, u nekim dijelovima naslaga i tamno siva do crna. Dobro su uslojeni i imaju jasno izražene slojne plohe koje su pretežno ravne ili blago neravne. Mjestimično se javljaju valovita i lećasta slojevitost. Debljina slojeva varira, najčešće se kreće između 20 i 50 cm. Debljina naslaga formacije *Slapnica* iznosi oko 340 m (Prilog 1 - Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja).

Prema PAVIČIĆ (2018) naslage formacije *Glavnog dolomita* (Slika 4) izgrađuju središnji dio Žumberka. Debljina naslaga formacije *Glavnog dolomita* iznosi oko 960 m (Prilog 1 - Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja). Donja granica formacije predstavljena je pojavljivanjem masivnih dolomita s karakterističnim finovalovitim, gotovo vodoravnim stromatolitima. Na gornjoj granici formacije stromatoliti izostaju i pojavljuju se uslojeni dolomiti često s horizontalnom laminacijom. U gornjem dijelu izdvojen je član *Kalje* dolomitnih intraformacijskih breča čija debljina na području stratotipova iznosi oko 60 m.

Prema PAVIČIĆ (2018) naslage formacije *Posinak* otkrivene su od Petričnog Sela i Mrzlog Polja Žumberačkog do mjesta Pećno i Posinak. Debljina ove formacije iznosi oko 270 m (Prilog 1 - Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja). Donju granicu formacije predstavlja prestanak pojavljivanja breča iz člana *Kalje* i početak pojavljivanja uslojenih dolomita s često izraženom horizontalnom laminacijom dok je gornja granica označena pojavom vapnenaca donje jure (formacija *Rajići*). Formacija *Posinak* retske je starosti. Određena je superpozicijski jer se nalaze iznad formacije *Glavnih dolomita* čiji je vršni dio nedvojbeno retske starosti.



Slika 3. Izdanak razlomljenih dolomita iz Formacije Slapnica (dolina Slapnice).



Slika 4. Izdanak Glavnih dolomita (cesta od izvora Slapnice prema selu Kalje).

#### 4.2.8. Srednji trijas ( $T_2$ )

Najzastupljeniji litološki član srednjeg trijasa je dolomit. Na prisustvo ladinika unutar dolomitnog razvoja ukazuju ulošci i tanje zone fosilifernih vapneno-klastičnih sedimenata (ŠIKIĆ i dr., 1979). U južnim predjelima istočnog Žumberka, u širem području Sorževa, zastupljena su oba kata. Na srednjotrijasku starost na Medvednici ukazuju ulošci i proslojci vapnenaca, šejlova, rožnjaka i piroklastita (ŠIKIĆ i dr., 1979). Srednjotrijaske piroklastične

stijene, često nazivane 'pietra verde', određene su kao izmjenjeni kristaloklastični i kristalovitroklastični tufovi, radiolarijski tufni peliti i vapnoviti tufovi. Maksimalna debljina naslaga je 500 m. Karbonatni sedimenti ladinika ( $T^2_2$ ) leže južno od Šugovca. Debljina ne prelazi 200 m. Tamnosivi sitnozrnati dolomit lista Karlovac otkriven je na zapadnim pristranima Loskunjske gore (ŠIKIĆ i dr., 1979).

#### 4.2.9. Stariji trijas ( $T_1$ )

Starijetrijaski sedimenti imaju najveće rasprostiranje na Samoborskom gorju. Na Medvednici su naslage starijeg trijasa otkrivene u širem području Zakičnice. U sastav starijih trijaskih sedimenata ulaze pješčenjaci, siltiti, vapnenci, dolomitizirani vapnenci, dolomiti i vapnoviti lapori. U starijem dijelu prevladavaju klastiti terigenog porijekla, dok su karbonatni sedimenti češći u mlađem dijelu naslaga (ŠIKIĆ i dr., 1979). Debljina naslaga na listovima Zagreb i Ivanić-Grad je u rasponu od 250 do 350 m. Naslage starijeg trijasa na listu Karlovac su predstavljene izmjenom terigenih i karbonatnih klastičnih sedimenata taloženih u uvjetima plitkog mora. U gornjem dijelu sedimentacijske sukcesije prevladavaju siltiti mikriti, siltitni i pjeskoviti dolomitični mikriti te mikriti s laminama crvenkastog, siltnog lapora i karbonatičnog šejla. Debljina naslaga procjenjuje se na 500 – 700 m (MAGAŠ i dr., 2014).

## **PALEOZOIK**

#### 4.2.10. Permotrijas (P,T)

U dolini Lipovečke Gradne u dužini oko 2 km, kontinuirano na karbonatima gornjeg perma, preko 1 – 2 m debele prijelazne zone šupljikavih dolomita, slijedi serija klastita s pojavama gipsa. Na klastite tektonski naliježu mlađetrijaski dolomiti. U seriji su zastupani tipovi grauvakih i subarkoznih pješčenjaka, siltiti, šejlovi i gips koji je primarno uložen u šejlove i siltite (ŠIKIĆ i dr., 1979).

#### 4.2.11. Srednji i mlađi perm ( $P_{2,3}$ )

U središnjim dijelovima Samoborskog gorja i Marijagoričkih brda otkrivene su naslage srednjeg i starijeg perma. Pretežno su zastupljeni pješčenjaci s prijelazima u kvarcne konglomerate i brečokonglomerate, dok šejlovi i siltiti dolaze kao ulošci i proslojci unutar pješčenjaka. Starije permski vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti s tankim proslojcima šejlova otkriveni su u području Breganskog Sela i doline Lipovečke Gradine. Dolomiti s

anhidritom i gipsom uloženi su unutar orudnjenih klastita. Debljina permskih naslaga ne iznosi više od 350 m (ŠIKIĆ i dr., 1979). Naslage mlađeg paleozoika su na području lista Karlovac reprezentirane fliškim razvojem terigeno klastičnih stijena u vidu polimiktnih konglomerata, grauvaknih pješčenjaka, tinjčastih siltita i šejlova. Osim ovih stijena javljaju se i karbonatni klastiti u vidu intraklastičnih biokalkarenita. Debljina permskih naslaga ne iznosi više od 350 m (MAGAŠ i dr., 2014).

#### 4.2.12. Stariji perm (P<sub>1</sub>?)

Na sjevernim padinama jugozapadnog dijela Medvednice otkrivena serija niskometamorfoziranih sedimenata, parametamorfita, karakterizirana većim prisustvom metamorfoziranih, karbonatnih stijena. Stijene izrazito škriljave teksture, određene kao škriljavci, izgrađene su od kvarca, klorita, sericita i kalcita, dok stijene sa slabo izraženim metamorfnim promjenama predstavljaju slejtovi, siltiti, škriljave subgrauvake i kvarcni pješčenjaci. Utjecaj procesa metamorfoze nije uočen na kalcit-kvarcnim siltitima i sitnozrnim pješčenjacima. Debljina parametamorfita donjeg perma procijenjena je na maksimalno 450 m (BASCH, 1983).

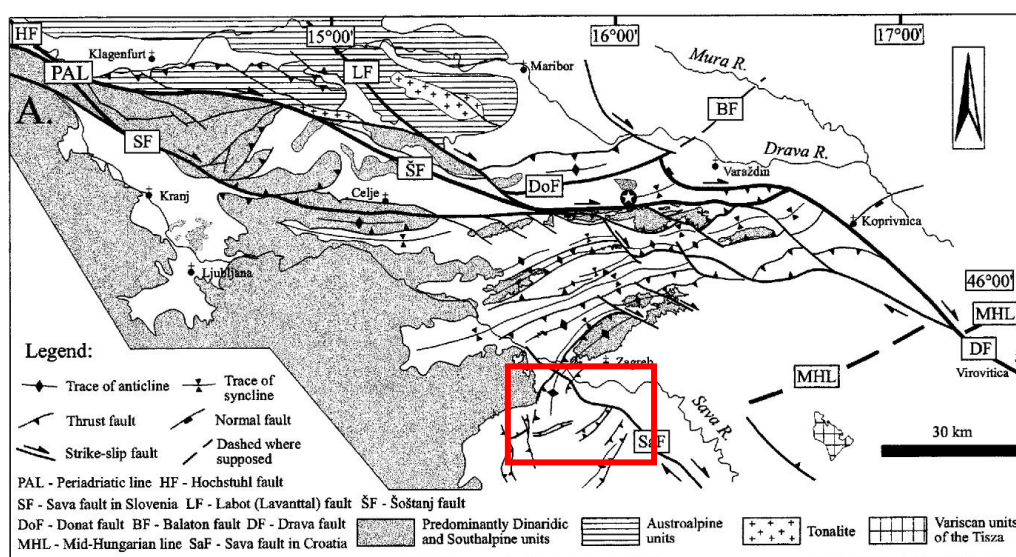
#### 4.2.13. Devon, karbon – (D,C?)

Stijene paleozoika izgrađuju središnje dijelove Medvednice, Samoborskog gorja (krajnji istočni dio Žumberka) i Marijagoričkih brda. Na području Medvednice, naslage devona-karbona?, svrstane su u stijene niskog stupnja metamorfizma (ŠIKIĆ i dr., 1979). Glavna masa ortometamorfita, tipičnih zelenih škriljavaca, leži na jugozapadnom dijelu Medvednice. U centralnim i jugoistočnim dijelovima jugozapadnog dijela Medvednice leže parametamorfiti podijeljeni u dvije grupe. Stijene iz zone zelenih škriljavaca pripadaju prvoj grupi, a nastale su pretežno iz pelitskih i pelitsko-siltoznih sedimenata. U drugoj grupi su stijene s vrlo slabo izraženim ili neizraženim promjenama, okarakterizirane niskim stupnjem metamorfizma. Debljina devonsko karbonskih stijena Medvednice veća je od 650 m. Prilikom istražnih bušenja za naftu i plin, na više lokaliteta područja Savske potoline lista Sisak, nabušene su u podlozi tercijara različite metamorfne stijene. Najčešće determinirane kao kvarc-kloritski škriljavci (PIKIJA, 1987).

### 4.3. Strukturne značajke područja istraživanja

Sa strukturno-geološkog gledišta Zagrebačko – Karlovačko područje čini JZ rubni dio Panonskog bazena, odnosno kontaktno područje geomorfoloških cjelina Žumberka, Samoborskog gorja te Medvednice na sjeveru te Karlovačke i Savske depresije na jugozapadu i jugoistoku, a koje razdvaja nisko pobrđe Vukomeričkih gorica (PRELOGOVIĆ i dr. 1998; TOMLJENOVIC i CSONTOS, 2001). Kao granično područje između Jadranske mikroploče i Tisije područje istraživanja je imalo dinamičan razvoj kroz mezozoik i kenozoik što je rezultiralo kompleksnom geološkom građom površine i podzemlja (SAFTIĆ i dr. 2003).

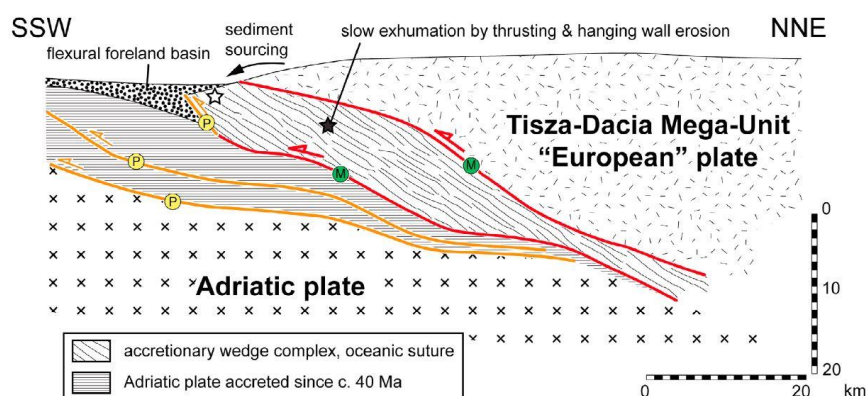
Uz nastanak Alpsko-Dinaridskog orogenetskog pojasa kao posljedica kolizije Jadranske mikroploče i Europske ploče, veže se i nastanak regionalnih rasjednih zona od kojih su važna *Periadrijska rasjedna linija* (engl. Periadriatic line – PAL), *Srednje - Mađarska rasjedna zona* (engl. Middle Hungarian Zone – MHZ), *Savski te Dravski rasjed* (TOMLJENOVIĆ i CSONTOS, 2001; Slika 5). Izuzev spomenutih rasjeda, u razmatranju lokalnog geotermalnog potencijala važni su i rasjedi koji su nastali u istom vremenskom razdoblju, ali dominantno tijekom kenozoika, a to su *Medvednička rasjedna zona*, *Savska rasjedna zona* te *Južni rubni rasjed Panonskog bazena* koji zapravo označava zapadni rubni rasjed Karlovačke depresije (Slika 5).



Slika 5. Rasjedi kao dio geotektonskog sklopa šireg Zagrebačko-Karlovačkog područja (prema TOMLJENOVIC i CSONTOS, 2001).



Osim nastanka orogenog pojasa Dinarida te regionalnih i lokalnih rasjednih sustava, kao posljedica tektonske evolucije i završne kolizije Jadranske mikroploče i Europske ploče vežemo i niz tektonskih i deformacijskih procesa koji su započeli tijekom trijasa procesima riftanja, a trajali su kroz juru i kredu omogućujući dugotrajnu karbonatnu sedimentaciju (VLAHOVIĆ i dr., 2005). Procesi taloženja su bili vrlo dinamični, a iako dominantno karbonatna, sedimentacija je obuhvaćala i periodički druge vrste sedimentnih stijena, ali i magmatskih i metamornih kao posljedica navlačenja struktura, subdukcije i drugih kolizijskih procesa koji su u konačnici doveli do stvaranja Savske suturne zone između Jadranske mikroploče i Europskog kopna (Slika 6; vidi USTASZEWSKI i dr., 2010).



Slika 6. Prikaz Savske suturne zone koja prati Savsku depresiju, a čini tektonski šav između Europske i Jadranske mikroploče (preuzeto iz USTASZEWSKI i dr., 2010).

Premda je primarna kolizija između Jadranske mikroploče i Europske ploče završila tijekom paleogena, procesi konvergencije su doveli i do danjih tektonskih promjena koje su uzrokovale i ekstenziju i formiranje Panonskog bazenskog sustava. Formiranje Panonskog bazena vezano je uz stvaranje zalučnog (engl. back-arc) bazena, tj. Panonskog bazena u kojem se tijekom neogena i kvartara nataložio debeli slijed naslaga, koji ponegdje i premašuje 6000 m (SAFTIĆ i dr., 2003). Taloženje debelog slijeda naslaga bilo je uvjetovano riftnom tektonikom duž normalnih listričkih rasjeda, a koje je započelo početkom miocena (približno 23 milijuna godina) odnosno stvaranjem sustava dubokih tektonskih graba i polugraba u Panonskom bazenu, kao posljedica izdizanja astenosfere i povećanja geotermalnog gradijenta odnosno stanjivanja kore (VELIĆ i dr., 2002). Procesi riftinga obilježeni su i andezitnim vulkanizmom na području sjeverno od Zagreba gdje se na površini i u bušotinama nalaze prvenstveno vulkanoklastiti. Promjenom polja naprezanja i tektonskih režima u plaštu tijekom srednjeg miocena (približno 11 milijuna

godina) hlađenje litosfere bilo je popraćeno termalnom subsidencijom a koja je uvjetovala daljnje taloženje i produbljivanje Panonskog bazena (SAFTIĆ i dr., 2003; PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018).

Izvorišta materijala su u isto vrijeme bila okolna gorja (npr. Žumberačko i Samoborsko gorje) te otočne gore (npr. Medvednica, Ivanščica, Kalnik, Slavonske planine) (SAFTIĆ i dr., 2003). Završetak razvoja Panonskog bazena tijekom kraja miocena, pliocena i kvartara (približno od 6 milijuna godina do danas) obilježava kompresija duž pravca S-J. što je dovelo do reaktivacije postojećih rasjeda u vidu reversnih te *strike-slip* lijevih/desnih rasjeda, uz inverziju i izdizanje bazenskih struktura. Primjer takve izdignute strukture su i Vukomeričke gorice koje nalazimo kao pozitivnu strukturu između Karlovačke i Savske depresije duž Savskog rasjeda.

#### **4.4. Opis potencijalnih vodonosnika (Slika 7)**

##### **4.4.1. Trijaski dolomitno-vapnenački vodonosnik**

Terenskim istraživanjima u području Žumberačkog gorja ustanovljeno je da se trijaski (odnosi se na dolomite i vapnence srednjeg i mlađeg trijasa) dolomitno-vapnenački vodonosnik nalazi u vrlo kompleksnim strukturnim odnosima. Rasjedi, rasjedne zone i blage bore daju temeljna strukturna obilježja ovom geotermalnom vodonosniku. U normalnom stratigrafskom slijedu u podini vodonosnika se nalazi starije trijaski kompleks klastičnih stijena koji je u hidrogeološkom smislu vodonepropusan ili slabo vodopropusan. U krovini se transgresivno i diskordantno nalaze raznovrsne taložne stijene najčešće neogenske starosti. Vrlo često se transgresivno i diskordantno preko trijaskog dolomitno vapnenačkog kompleksa nalazi badenski karbonatno-klastični vodonosnik. Također krovinu vodonosnika mogu predstavljati i mlađe kredni vapnenci i vapnenčke breče no njihov hidraulički odnos je još uvijek nejasan. Na temelju stratigrafskih odnosa prikazanima u GRGASOVIĆ (1998) i PAVIČIĆ (2018), debljina srednje i mlađe trijaskih dolomita procjenjuje se na preko 1500 m.

Taložna i dijagenetska poroznost u vapnencima i dolomitima razvijena je u više tipova: poroznost biogene skeletne rešetke, unutarzrnska i međuzrnska poroznost, fenestralna i sklonišna poroznost (DRAGIČEVIĆ, 1997a). Fenestralna i sklonišna poroznost mogu biti vrlo značajne pri razvoju sekundarne poroznosti jer dolomitizacija



može značajno povećati propusnost ovog u pravilu slabopropusnog tipa poroznosti (MOORE, 2001). Uloga primarne poroznosti u hidrogeološkom smislu za sada nije dovoljno poznata, tj. nije istraživana u ovim vodonosnicima. Pretpostavlja se da je njezina uloga u razvoju sekundarne poroznosti za vrijeme dijageneze bila vrlo značajna. Prema dostupnim podacima (PAVIČIĆ, 2018) kreće se u rasponu od 0,1 i 5 %.

Sekundarna poroznost ili postsedimentacijska poroznost hidraulički je najznačajniji tip poroznosti ovog vodonosnika. Na temelju podataka terenskih istraživanja kao i literaturnih podataka može se sa sigurnošću reći da su razvijeni brojni tipovi ove poroznosti (interkristalna, moldička, šupljinska, kanalna, špiljska, prslinska, brečna, poroznost trošenja; DRAGIČEVIĆ, 1997a). Vrijednosti efektivne poroznosti na temelju DFN modela iznosi od 1 do 17 % (PAVIČIĆ, 2018). 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 dolomitno-vapnenački kompleks izgrađuje složene geološke strukture i pojavljuje se na značajnim dubinama, do otprilike tisuću pa i više metara, u većim dubinama karbonatni kompleks sadrži geotermalnu vodu koja se pojavljuje na geotermalnim vrelima (Sv. Jana) i može se zahvatiti i bušenjem.

#### 4.4.2. Badenski karbonatno klastični vodonosnik

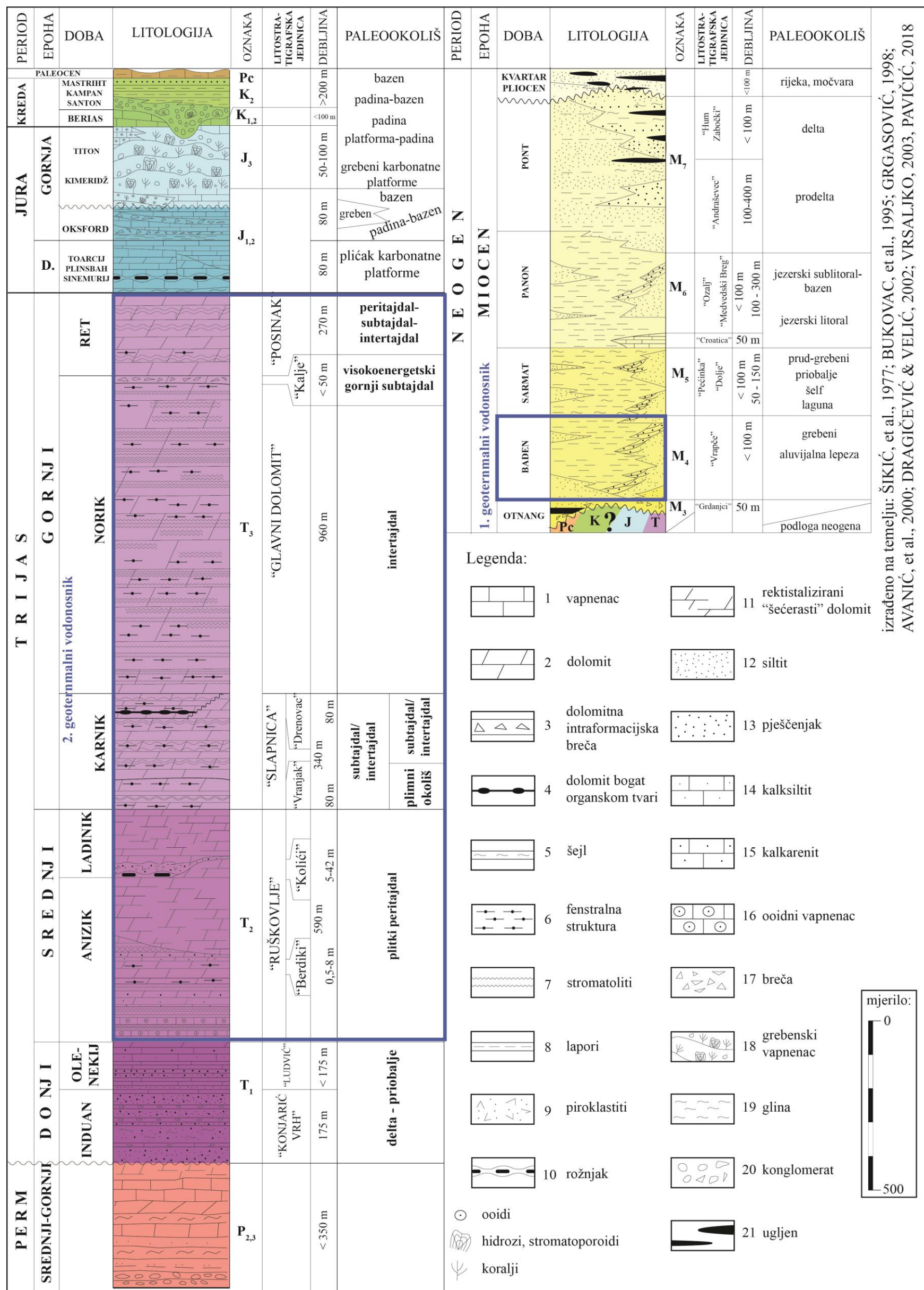
Badenski karbonatno klastični vodonosnik široko rasprostranjen, često s izdancima kilometarskih dimenzija, ali i sa čestim bočnim i vertikalnim prijelazima u litotipove nepovoljnijih hidrogeoloških svojstava. Geometrija i strukturni položaj ovog vodonosnika prvenstveno ovise o mjestu (paleoambijentu) i načinu njegovog postanka (DRAGIČEVIĆ, 1997a).

Odnos ovog vodonosnika prema izolatorskim može biti vrlo kompleksan. On je u normalnom odnosu transgresivan i diskordantan na različite starije geološke jedinice. Od nepropusnih najčešći su različiti sedimentni sljedovi starijeg i srednjeg trijasa, te prebadenski krupnozrnasti do sitnozrnasti glinovito-laporoviti litotipovi (DRAGIČEVIĆ, 1997a). Vrlo često, a što je u hidrogeološkom smislu izrazito povoljno, stijene ovog

vodonosnika mjestimično leže preko dolomitno-vapnenačkog vodonosnika srednjeg i mlađeg trijasa. U krovini vodonosnika dolazi široko rasprostranjeni i lako prepoznatljivi slijed sarmatskih sitnozrnastih laporovito-glinovito-pjeskovitih sedimenata te mjestimično recentne aluvijalne naslage (DRAGIČEVIĆ, 1997a).

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 s kojom su u transgresivnom kontaktu.

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  $\text{Ca} - \text{HCO}_3$  facijesu (DRAGIČEVIĆ i dr., 1997).



Slika 7. Geološki stup istraživanog područja s naznačenim geotermalnim vodonosnicima (preuzeto iz PAVIČIĆ, 2018).

izrađeno na temelju: ŠIKIĆ, et al., 1977; BUKOVAC, et al., 1995; GRGASOVIĆ, 1998; AVANIĆ, et al., 2000; DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2002; VRSALJKO, 2003; PAVIČIĆ, 2018

## 5. TRODIMENZIONALNI GEOLOŠKI MODEL ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Trodimenzijski geološki model istraživanog područja načinjen je na temelju površinskih geoloških podataka te geofizičkih podataka koji su objedinili 22 bušotine te 36 refleksijska seizmička profila. Površinski geološki i strukturni podaci izdvojeni na listovima Osnovne geološke karte (položaji slojeva, orijentacije rasjeda), lokacije bušotina, trase refleksijskih seizmičkih profila kao i dostupni digitalni model reljefa rezolucije 25 m georeferencirani su te uneseni u 3D bazu podataka koja je izrađena u softveru *Move*.

### 4.1. Opis ulaznih podataka

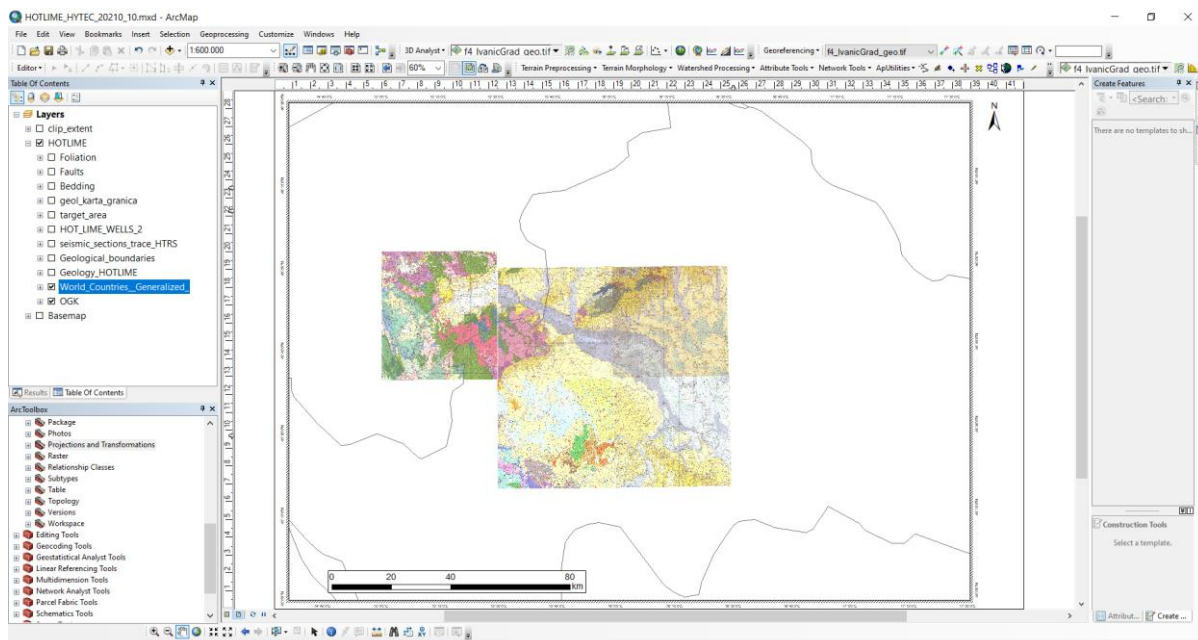
U inicijalnoj fazi, priprema ulaznih podataka sastojala se od sakupljanja dostupne literature temeljem kojih je izrađena digitalna baza podataka u programskom paketu ESRI ArcGIS 10.8. Prostorna baza podataka sadržavala je informacije s površine terena (digitalni model reljefa, geološke jedinice, rasjedi te položaji slojeva, lokacije bušotina i trase refleksijskih seizmičkih profila) kao i podatke iz podzemlja kao što su dubina predneogenske podloge, stratigrafskih horizonata u neogenskom slijedu, dubine važnijih geoloških granica, zakoni brzina i sl.

#### 5.1.1. Podaci s površine terena

Geografski informacijski sustav (GIS) računalni je sustav koji služi za pohranu, vizualizaciju, kvantitativnu analizu te upravljanje prostornim podacima (MACH & PETSCHKE, 2007). Za digitalizaciju karata u radu je korišten ArcGIS 10.8. softverski sustav opće namjene koji je razvio ESRI. To je opsežna i integrirana tehnologija softverske platforme za izgradnju operativnog GIS-a. ArcGIS sastoji se od četiri ključna softverska dijela: geografski informacijski model za modeliranje aspekata stvarnog svijeta; komponente za pohranu i upravljanje geografskim podacima u datotekama i bazama podataka; skup gotovih aplikacija za stvaranje, uređivanje, manipuliranje, kartiranje, analizu i širenje geografskih podataka; i zbirka web usluga koje pružaju sadržaj i mogućnosti (podatke i funkcije) umreženim softverskim klijentima

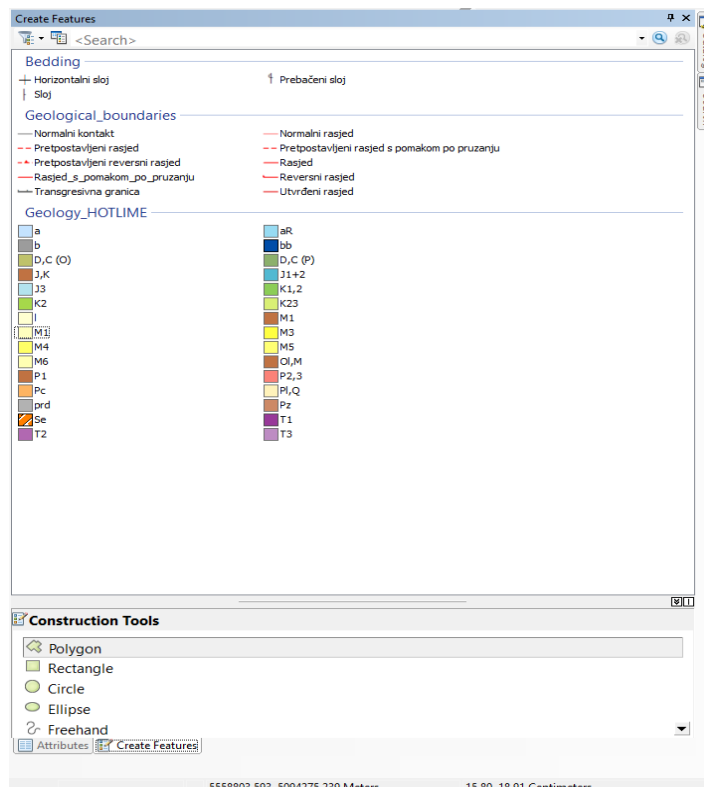
([https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-0-387-35973-1\\_68](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-0-387-35973-1_68)).

Podloge koje su korištene u ovom radu za digitalizaciju bile su Osnovne geološke karte Novo Mesto, Zagreb, Ivanić-Grad, Karlovac i Sisak (Slika 8).



Slika 8. Podloga za digitalizaciju sačinjena od mozaika listova Osnovnih geoloških karata Novo Mesto, Zagreb, Ivanić-Grad, Karlovac i Sisak (PLENIČAR i dr., 1976; ŠIKIĆ i dr., 1978; BASCH, 1983; BENČEK i dr., 2014; PIKIJA, 1987).

Digitalizacija i georeferenciranje prostornih podataka je najčešći oblik prikupljanja ulaznih geoloških podataka koji se shodno njihovoj gustoći i obliku mogu pretvoriti u vektorski i/ili rasterski oblik. Vektorskom digitalizacijom digitaliziraju se točkasti/linijski/poligonski podaci koji se nakon transformacije u geodetski koordinatni sustav mogu koristiti za prostorne analize. Rasteri u drugu ruku se dobivaju digitalizacijom posebnom rasterskom digitalizatoru pri čemu se postojeće karte skeniraju i dodaju im se pripadajuće numeričke vrijednosti piksela. U ovom radu, geološke karte predstavljaju rasterske podatke koje su nastale digitalnim izrezivanjem po unutarnjem rubu i njihovim georeferenciranjem u koordinatni sustav *MGI Balkans 5* (Prilog 1 - Pojednostavljena geološka karta istraživanog područja), dok je u radu korišten aktualni referentni geografski koordinatni sustav *HTRS96 TM* (Slika 9).

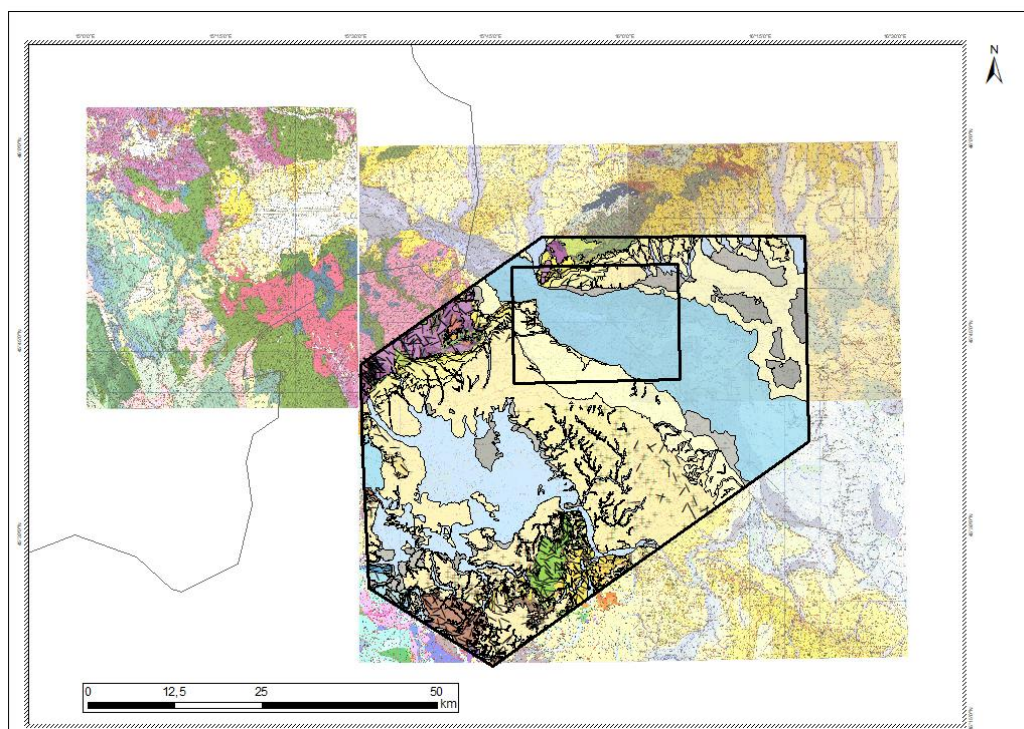


Slika 9. Točkasti, linijski i poligonski podaci digitalizirani sa listova Osnovnih geoloških karata.

U ovom radu dominantno vektorske podatke čine točkasti podaci definirani veličinom, bojom i simbolom, a predstavljaju položaje slojeva koji mogu biti horizontalni, prebačeni ili nagnuti pod određenim kutom. Korištenjem alata *Editor* simboli se rotiraju čime se u atributnoj tablici automatski pridružuje smjer nagiba svakog sloja dok je kut nagiba potrebno upisati. Poligoni su definirani debljinom i bojom granične linije, bojom ispune punih poligona, bojom pozadine poligona sa šrafurama i bojom točkica ili crta prilikom korištenja poligona sa šrafurama (Slika 10). Geološke granice digitalizirane su u obliku poligona. Digitalizacija je provedena pomoću alata *Editor*, odnosno odabirom određene geološke jedinice te njenim iscrtavanjem pomoću alata *Construction* → *Polygon*. Linijski podaci definirani su bojom, tipom i debljinom linije. Linijama su iscrtane geološke granice (normalne i transgresivne) i rasjedi (normalni i reversni). U alatu *Editor* korištena je opcija *Trace* kojom se prate već postojeće značajke i na taj način se iscrtavaju linije.

Na karti se nalaze i bušotine i tragovi profila čiji podaci su interpretirani u sklopu 3D modeliranja.





Slika 10. Digitalizirane geološke jedinice, geološke granice i položaji slojeva na temelju osnovnih geoloških karata koje su korištene u ovom radu za područje istraživanja.

#### 5.1.2. Podaci iz podzemlja – bušotine i refleksijski seizmički profili

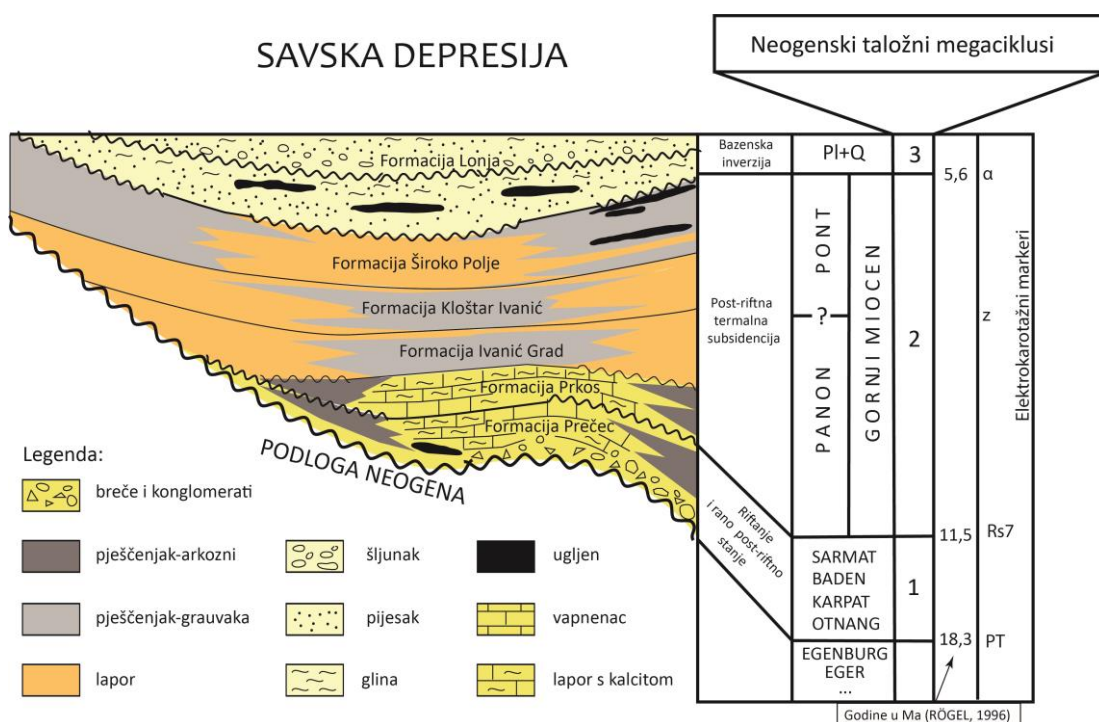
Bušotinski podaci, interpretirani za potrebe ovog projekta, dobiveni su iz Agencije za ugljikovodike RH. Analizirani su podaci iz ukupno 22 bušotine. Iz izvještaja o izvedbi bušotina bilo je važno izdvojiti: koordinate, konačnu dubinu, devijaciju te dubine određenih horizonata odnosno geoloških granica (Slika 11 i 12).





U ovoj fazi istraživanja, za potrebe izrade 3D geološkog modela, u bušotinama su izdvojeni sljedeće geološki važne granice odnosno korelacijski horizonti (prema MALVIĆ i SAFTIĆ, 2008) (vidi Sliku 13):

- 1) Podloga pliokvartarnih naslaga – EK marker  $\alpha$
- 2) Podloga mlađi i stariji pont (u današnjim stratigrafskim okvirima to odgovara granici mlađeg i starijeg panona) – EK marker Z
- 3) Podloga panonskih naslaga – EK marker Rs7
- 4) Podloga miocenskih naslaga – EK marker Tg/PT



Slika 13. Shematski prikaz kronostratigrafskih i litostratigrafskih jedinica te pripadajućih EK-markera u području Savske depresije. Dijagram prikazuje i vrijeme glavnih tektonskih faza za vrijeme neogena i kvartara te taložne megacikluse Savske depresije (prema RÖGL, 1996; SAFTIĆ dr., 2003; PAVIČIĆ, 2018).

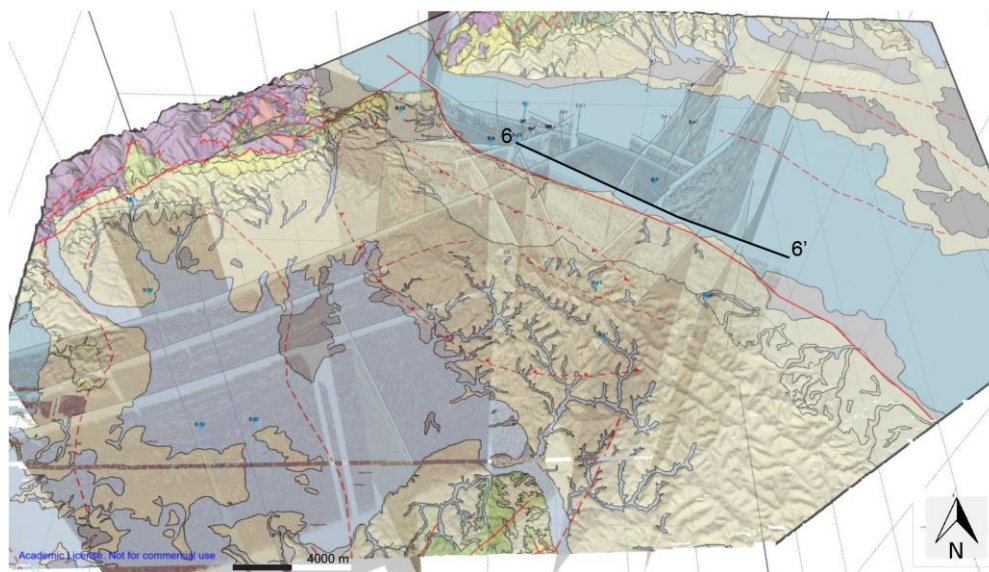
Navedene geološke granice izdvojene su za sve raspoložive bušotine iz dostupnih geoloških izvještaja (Slika 11) kao i za podatke koji su definirani u disertaciji VRSALJKO (2003). Nadalje, izdvojene geološke granice predstavljaju promjene u tektonskoj evoluciji hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava pa time čine set važnih informacija u modeliranju podzemlja te izdvajanju tektonskih obilježja područja istraživanja.

Izdvojene geološke granice unesene su u program *Move* gdje su se iste mogle vizualizirati i analizirati u 3D prikazu (Slika 14) .

### 5.1.3. Izrada 3D geobaze podataka

Sve ulazne podatke trebalo je georeferencirati u *MGI Balkans 5* koordinatni sustav kako bi se podaci mogli ubaciti u *Petroleum Experts Move*, softver za 3D geološko modeliranje (Slika 14). Navedeni koordinatni sustav je korišten s razlogom jer su dobivene trase refleksijskih seizmičkih profila bile projicirane u navedenom koordinatnom sustavu. Izrađena 3D geobaza je inicijalno obuhvaćala digitaliziranu geološku kartu istraživanog područja na temelju digitaliziranih listova Osnovne geološke karte, mjerila 1:100 000 (listovi Zagreb, Ivanić-Grad, Sisak, Karlovac, Novo Mesto), dok su rasjedi digitalizirani na temelju zbira postojećih strukturno-geoloških istraživanja među kojima izdvajamo radove TOMLJENović i CSONTOS (2001), TOMLJENović (2002), PROTOLJAN (2001) i PAVIČIĆ (2018) te na temelju rezultata dobivenih u okviru provedenih istraživanja.

U bazu su unesene i lokacije bušotina te trase preuzetih refleksijskih seizmičkih profila. Za potrebe izrade dubinskog modela, unesen je i digitalni model reljefa istraživanog područja u rezoluciji 25 m koji je preuzet sa stranica Američke svemirske agencije (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>).



Slika 14. 3D geobaza u softveru *Move* 2019 sa raspoloživim ulaznim podacima (digitalni model reljefa, geološka karta površine terena te bušotinski i seizmički podaci)

## 5.2. Postupak izrade 3D geološkog modela područja

Trodimenzionalni geološki model istraživanog područja izrađen je u *Move*, računalnom programu za strukturno modeliranje i analizu. *Move* se koristi za integraciju i interpretaciju podataka, izradu presjeka i 3D geološkog modela, strukturne module za 2D i 3D kinematičko modeliranje, modeliranje sloma stijena, geomehaničko modeliranje, analizu stresa te sedimentološko modeliranje. Podržava kombiniranje preko 100 različitih formata podataka (digitalne modele površine terene, seizmičke podatke, razne formate slika i dr.). U programu se mogu integrirati podaci iz drugih programa kao što su *Petrel*, *GIS*, *Surfer*, *Eclipse* te pomoću profila i karata prikazati promatrani teren i struktura u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom obliku. Izrada trodimenzionalnog modela je jedna od važnijih funkcija programa *Move* te se sastoji od četiri koraka: definiranje stratigrafskog stupa, unos ulaznih podataka, digitalizacija postojećih profila ili izrada novih geoloških profila i interpolacija točkastih/linijskih podataka za izradu ploha geoloških granica i rasjeda u 3D. Stratigrafija je definirana geološkim granicama koje su izdvojene na bušotinama (Slika 13).

### 5.2.1. Usklađivanje seizmičkih i bušotinskih podataka

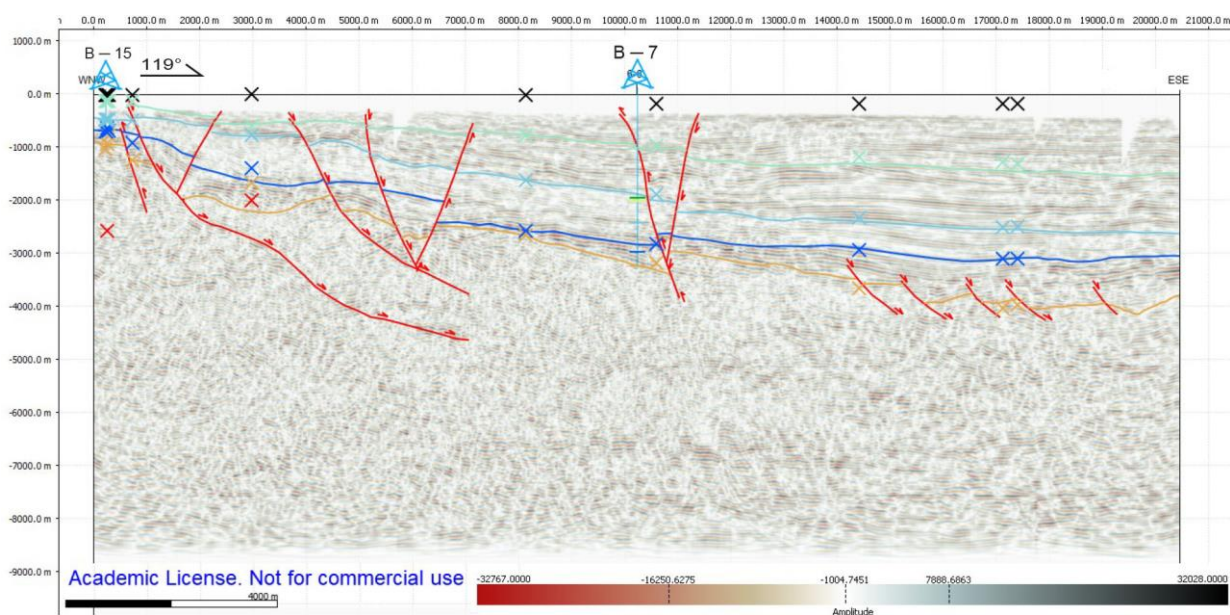
Nakon što su u 3D bazu podataka uneseni podaci iz bušotine (Tablica 1) i uneseni seizmički refleksijski profili, bilo je potrebno definirati seizmičke korelacijske horizonte. Na svaki seizmički refleksijski profil projicirana je bušotina koja se nalazi u njegovoj blizini. Kako bi se seizmički i bušotinski podaci uskladili potrebno ih je imati u istom mjerilu, stoga su bušotinski podaci pretvoreni iz dubinskog u vremensko mjerilo pomoću zakona brzina.

**Tablica 1. Osnovni podaci o korištenim bušotinama. Tablica prikazuje dubine bušotina prikazanih u metrima (m) do sljedeće geološki važnih granica odnosno korelacijskih horizonta: Tg/PT – predneogenska podloga; Rs7 – podloga panona; Z – podloga mlađeg i starijeg pontaa;  $\alpha$  – podloga pliokvartara.**

Naziv	X -HTRS96	Y-HTRS96	Površina terena (m)	Maksimalna dubina (m)	Dubina doTg/PT (m)	Dubina do Rs7 (m)	Dubina do Z (m)	Dubina do $\alpha$ (m)
B-1	463860,09	463860,09	133,56	1095,50	/	1005	764	367
B-2	454186,03	454186,03	118,80	1635	/	619	424	94
B-3	455965,71	455965,71	116	897,50	/	/	/	/
B-4	455776,04	455776,04	116,04	1133,78	1062	880	655	257
B-5	453998,06	453998,06	116,58	1508,70	1230	821	504	164
B-6	454584,26	454584,26	117,56	1076,50	996	846	601	235
B-7	462637,53	462637,53	142	1936	1856	1747	1522	929
B-8	451678,31	451678,31	119,75	950	/	790	510	90
B-9	456910,34	456910,34	115,23	1057,50	/	845	653	259
B-10	445311,97	445311,97	144,88	1311,40	850	450	285	188
B-11	466492,29	466492,29	115,174	1834	/	1560	1490	860
B-12	466166,39	466166,39	108,54	1753,60	/	/	1750	860
B-13	464242,34	464242,34	109,74	2202,20	/	1740	1449	882
B-14	458173,02	458173,02	115,87	1594,30	/	/	787	319
B-15	453468,76	453468,76	118,73	832,70	/	733	581	233
B-16	458047,66	458047,66	/	/	863	765	627	388
B-17	458172,73	458172,73	/	/	953	855	/	/
B-18	435039,12	435039,12	/	/	2500	1352	1110	410
B-19	430550,44	430550,44	/	/	1560	1375	1200	273
B-20	437997,98	437997,98	/	/	1597,70	1225	897	322
B-21	428180,99	428180,99	/	/	787	350	188	/
B-22	464953,30	464953,30	/	/	/	1296	1087	674

### 5.2.2. Interpretacija seizmičkih refleksijskih profila

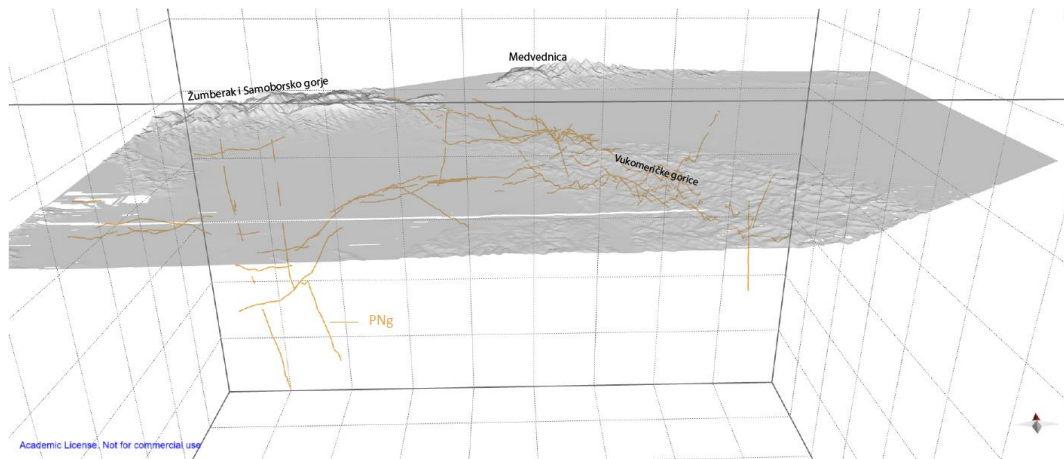
Interpretacija seizmičkih refleksijskih profila provedena je pomoću alata *Horizon* i *Fault* u okviru alatne trake *Model Bulding* → *Create Lines*. Pomoću funkcije *Horizon* interpretirani su elektrokarotažni markeri *Tg* (Slike 15 i 16), *Rs7* (Slike 15 i 17), *Z* (Slike 15 i 18) i  $\alpha$  (Slike 15 i 19) koje korelativno odgovaraju podlozi neogenskih naslaga, podlozi panonskih naslaga, granici starijih i mlađih pontskih naslaga te podlozi pliokvartarnih naslaga. U prvoj fazi interpretacije, spomenute geološke podloge interpretirane su zasebno na svakom seizmičkom refleksijskom profilu. Da bi se osiguralo da interpretacije međusobno odgovaraju bilo je potrebno napraviti presječnice interpretacija na svim profilima koji se međusobno sijeku (Slika 15).



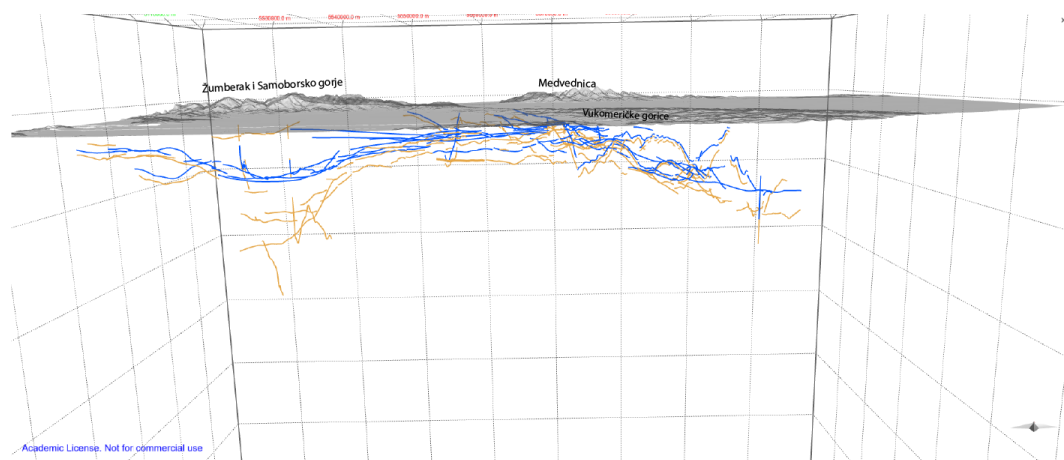
Slika 15. Primjer interpretiranog seizmičkog refleksijskog profila 6 – 6' s projiciranim bušotinama i presječnicama s drugim seizmičkim refleksijskim profilima.

U područjima gdje presječnice interpretacija nisu odgovarale, bilo je potrebno provesti dodatne korekcije i reinterpretaciju. Takav iterativni postupak je proveden sve dok interpretacije nisu međusobno odgovarale u prostoru (Slike 16-19). Rasjedi su interpretirani kao prekidi i pomaci seizmičkih refleksa u prostoru i vremenu, a time i geoloških granica (Slika 15).

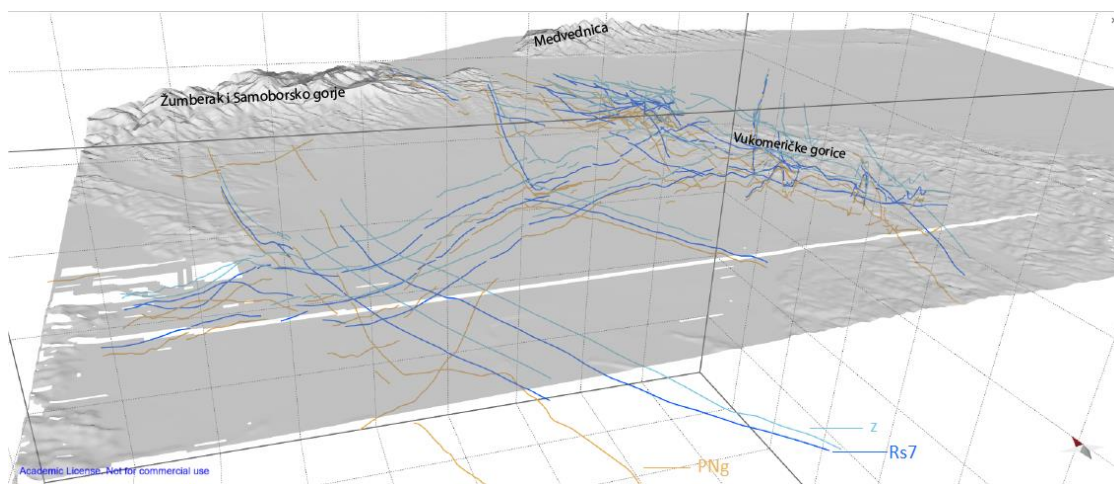




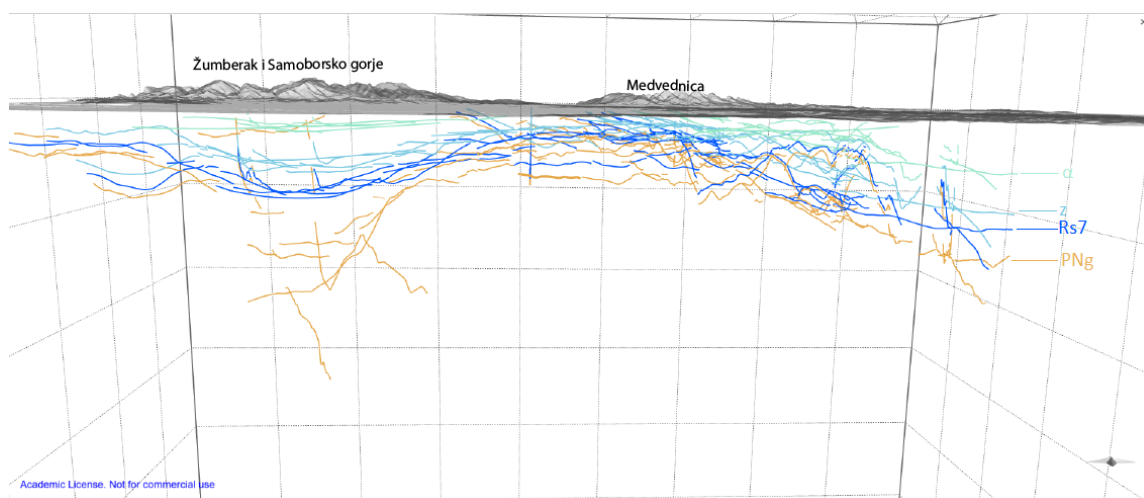
Slika 16. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotaznog markera *Tg* koji odgovara podlozi neogenskih naslaga.



Slika 17. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotaznog markera *Rs7* koji odgovara podlozi panonskih naslaga.

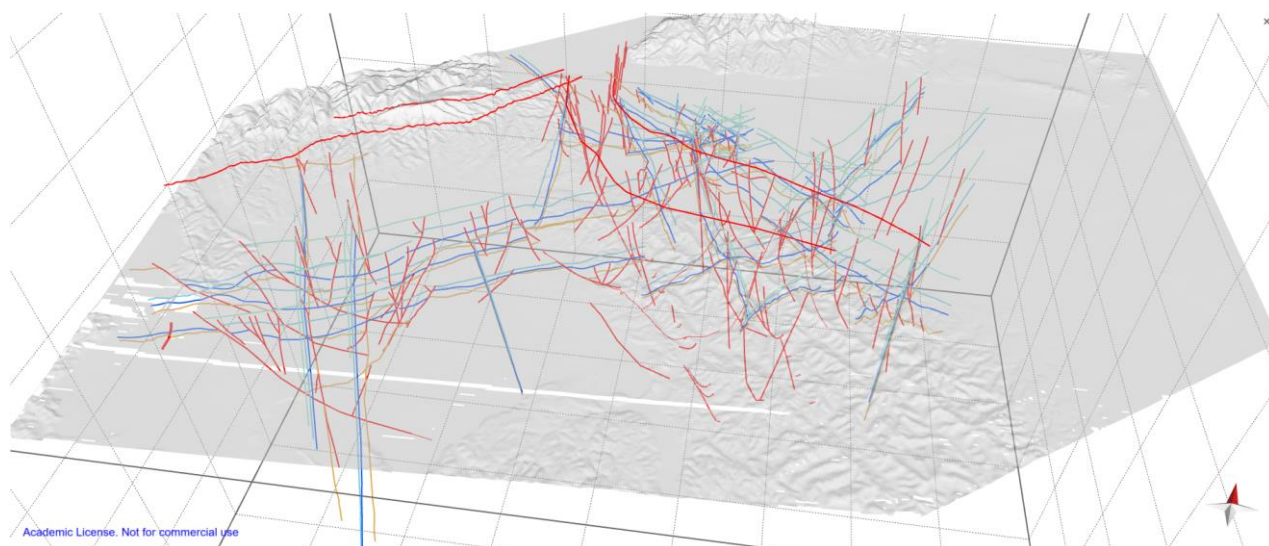


Slika 18. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotaznog markera *Z* koji odgovara granici starijeg i mlađeg pona



Slika 19. Prostorni prikaz interpretacije elektrokarotažnog markera  $\alpha$  koji odgovara granici podloge pliokvartarnih naslaga  $\alpha$ .

Interpretacija rasjeda provedena je pomoću alata *Fault* u okviru alatne trake *Model Bulding* → *Create Lines*. Kod strukturne interpretacije rasjeda bilo je važno kontinuirano pratiti njihovu prostornu rasprostranjenost te na taj način usmjeravati strukturnu interpretaciju. Dio seizmičkih profila i dobivenih rezultata interpretacija koji su korišteni u radovima TOMLJENović i CSONTOS (2001) i u TOMLJENović (2002) korišteni su i u ovom radu.



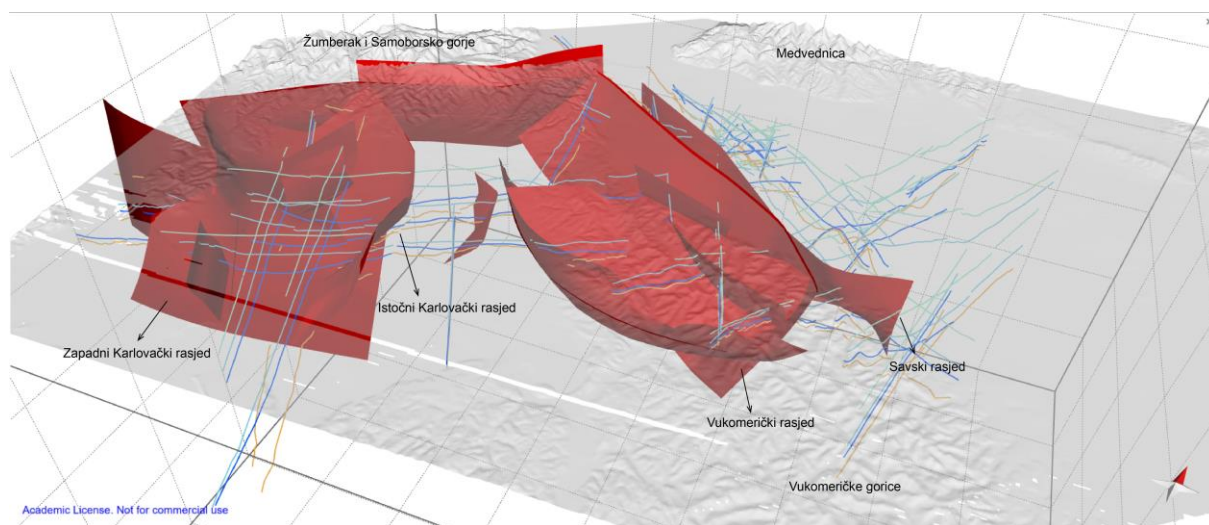
Slika 20. Prostorni prikaz interpretacija svih odabranih geoloških granica te tragova rasjeda na refleksijskim seizmičkim profilima.

Završna faza u ovom dijelu rada, prije izrade ploha je bila kontrola provedene strukturne interpretacije na svim profilima, na presjecima.

### 5.2.3. Izrada modela rasjednih ploha

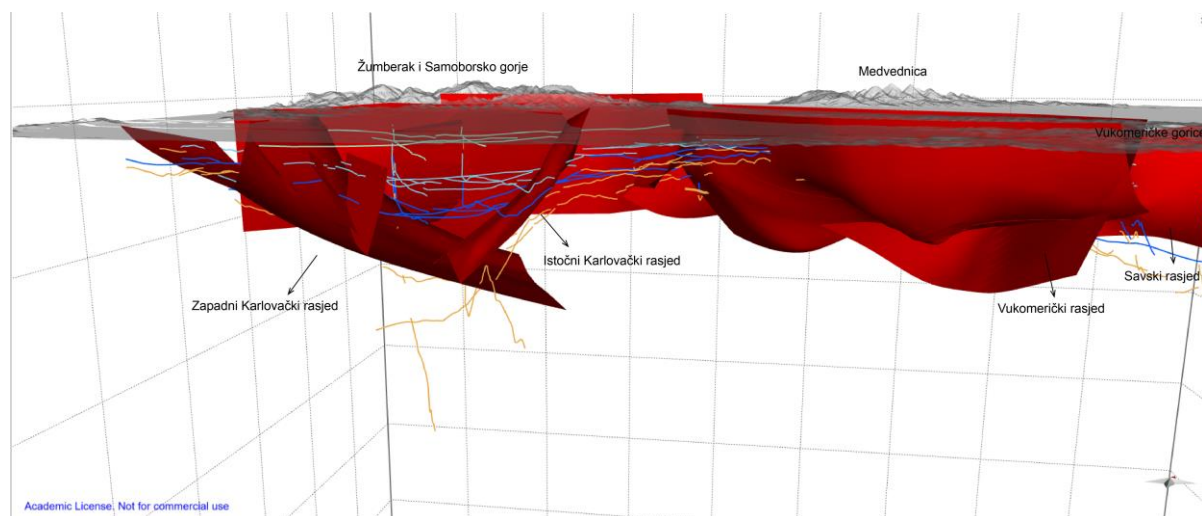
Da bi se konstruirali 3D modeli rasjednih ploha u ovome radu bilo je potrebno tragove istovjetnih rasjeda koji su uočeni na različitim seizmičkim refleksijskim profilima, interpolacijskim algoritmima povezati u jedinstvene plohe. U ovoj fazi istraživanja bilo je ključno modelirati glavne rasjede strukturnog sklopa koji se mogu pratiti na tri ili više seizmičkih refleksijskih profila. Algoritam korišten za modeliranje rasjednih ploha je *Spline Curve* pogodan za linijske podatke na paralelnim do približno paralelnim profilima. U računalnoj geometriji, *Spline Curve* označava matematički pristup koji omogućuje korisniku da kontrolira oblik složenih ploha koristeći kontrolne točke (engl. „nods“) na krivuljama. Kod izrade ovog modela krivulje predstavljaju tragovi rasjeda na seizmičkim refleksijskim profilima.

U radu je modelirano ukupno **17** rasjednih ploha, od kojih se ističe *Žumberački rasjed* pružanja približno I–Z, a nalazi se u podnožju Žumberka i Samoborskog gorja. Isti čini tektonsku granicu mezozojskih stijena Žumberka te neogenskih naslagama nizinskog područja. Od važnijih rasjeda ističe se i *Zapadni Karlovački, Istočni Karlovački, Vukomerički te Savski rasjed* (Slika 21 i 22). Generalno pružanje rasjeda je SZ–JI, *Zapadni i Istočni Karlovački rasjed* zatvaraju Karlovačku depresiju (Slika 21 i 22), dok *Savski rasjed* čini tektonsku granicu u zapadnom dijelu Savske depresije.



Slika 21. Modelirani rasjedi strukturnog sklopa istraživanog područja.

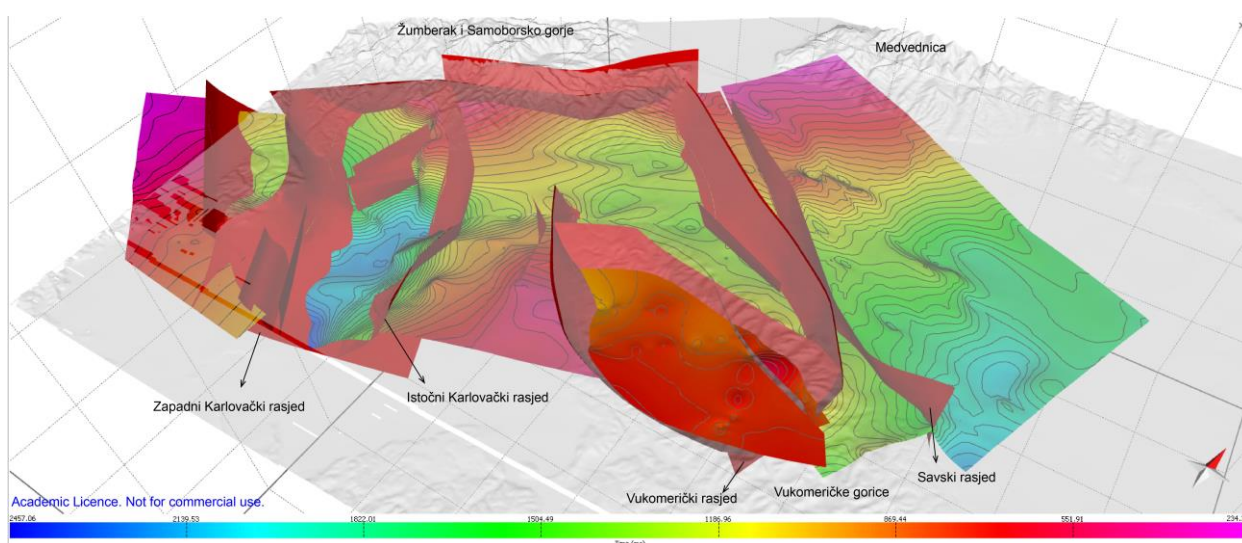




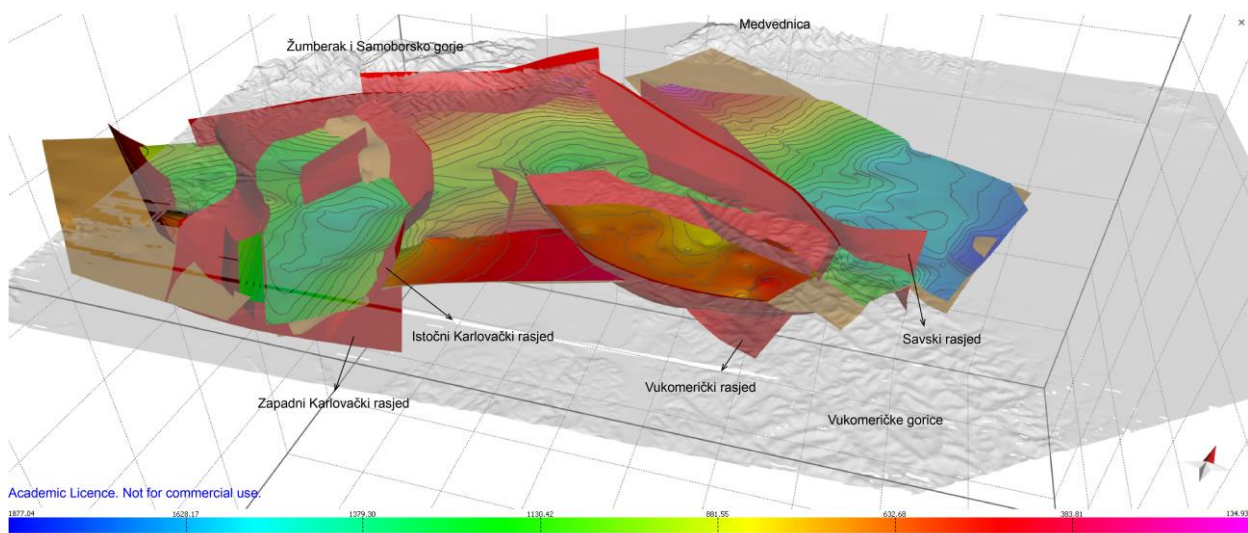
Slika 22. Modelirani rasjedi strukturnog sklopa istraživanog područja iz bokocрта.

#### 5.2.4. Izrada modela ploha geoloških granica

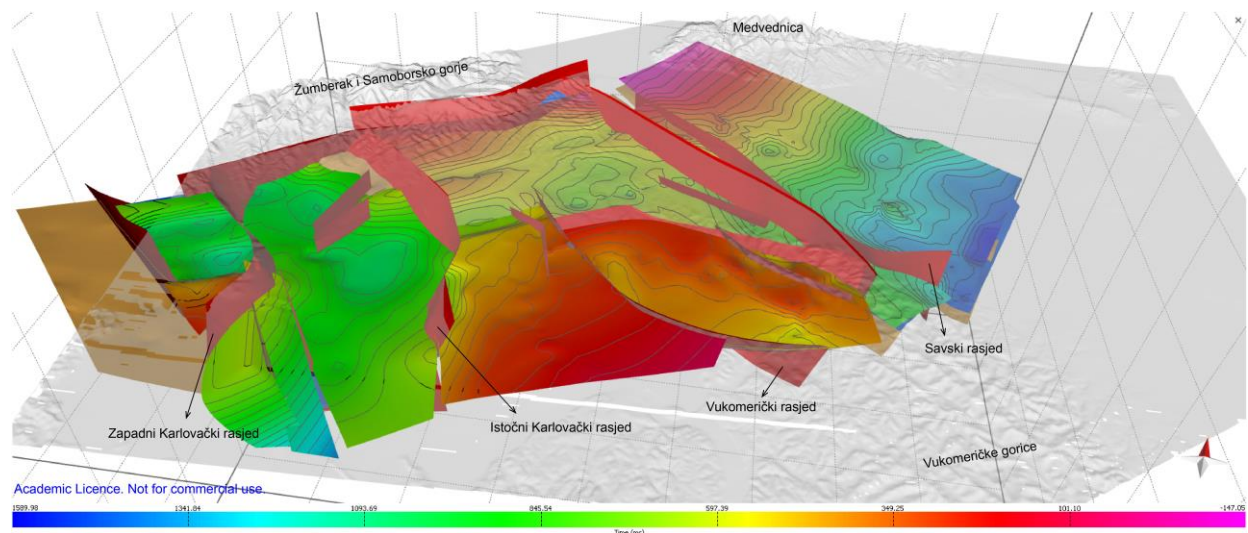
Trodimenzionalni modeli ploha načinjeni su na način da su izdvojeni setovi interpretacija između pojedinih rasjednih ploha. Korišteni algoritmi za izradu ploha su *Inverse Distance Weight (IDW)* i *Ordinary Kriging* s automatskom izradom variograma. Ove su metode detaljno opisane u knjizi „Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka“ autora MALVIĆ (2008). Kako su plohe međusobne presječene i pomaknute rasjedima za sva četiri modelirana horizonta konstruirano je **48 ploha** (vidi Slike 23-27).



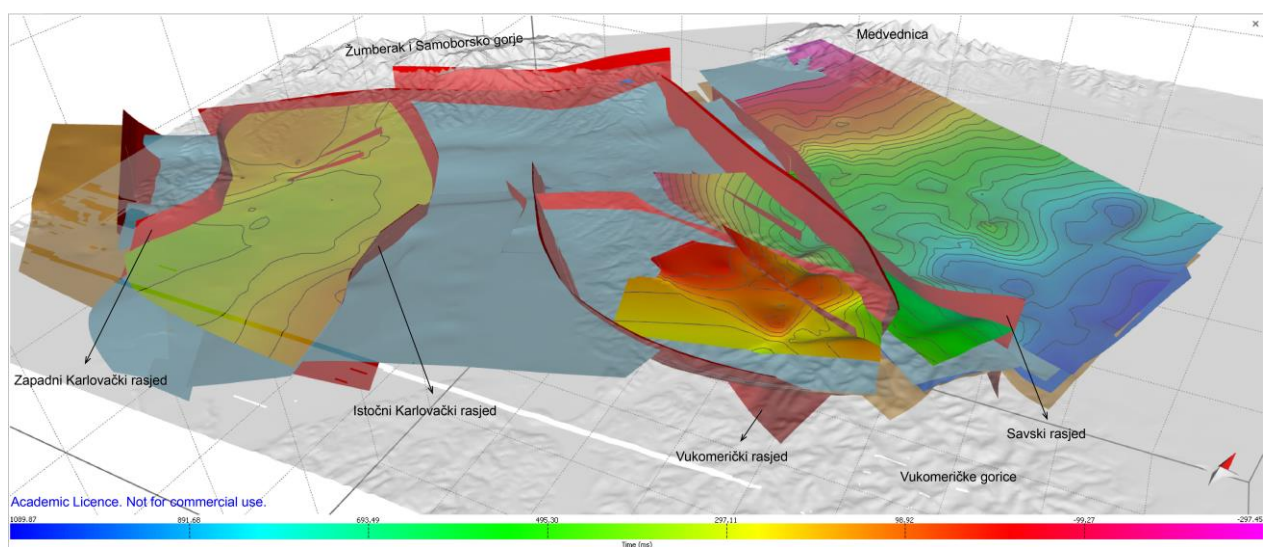
Slika 23. 3D model strukturne plohe po podlozi neogenskih naslaga.



Slika 24. 3D model strukturne plohe po podlozi panonskih naslaga.

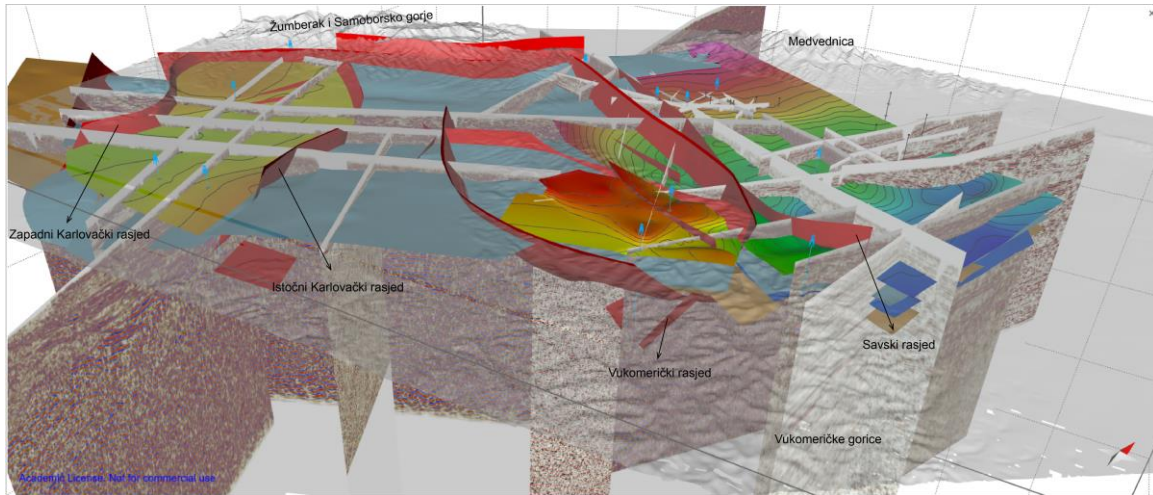


Slika 25. 3D model strukturne plohe po granici starijih i mlađih pontskih naslaga.



Slika 26. 3D model strukturne plohe po podlozi pliokvartarnih naslaga.

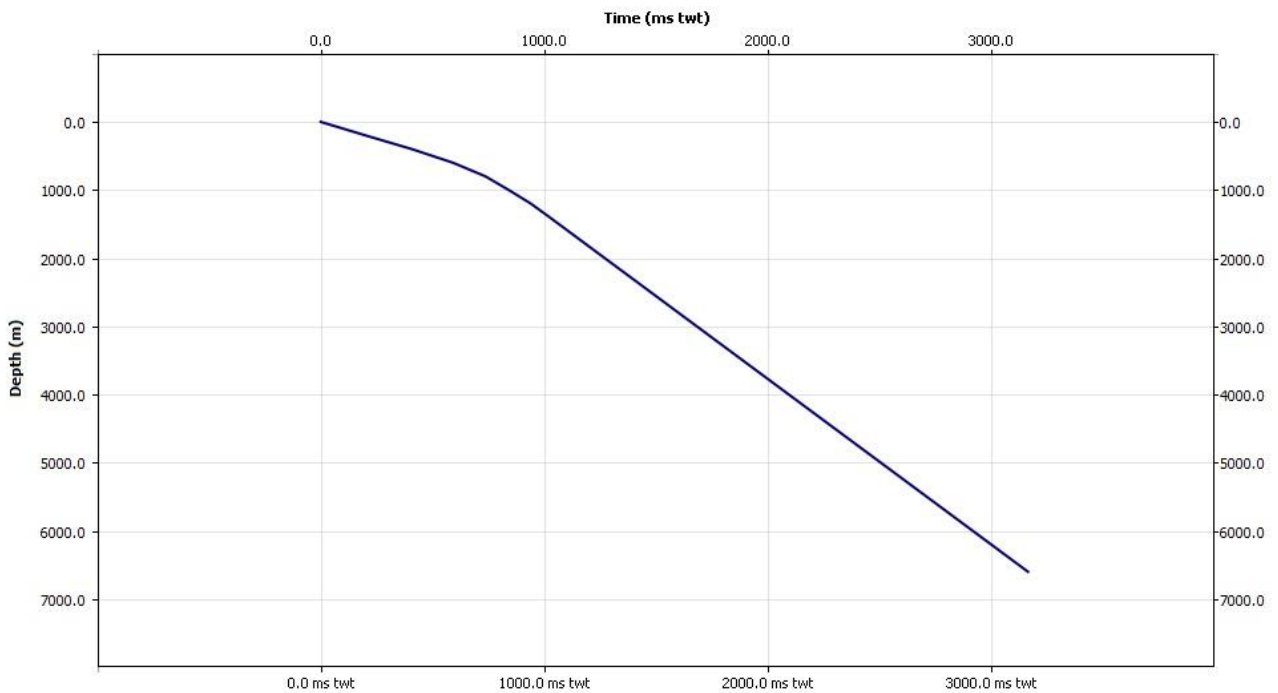




Slika 27. 3D geološki model istraživanog područja s svim interpretiranim plohama i ulaznim podacima.

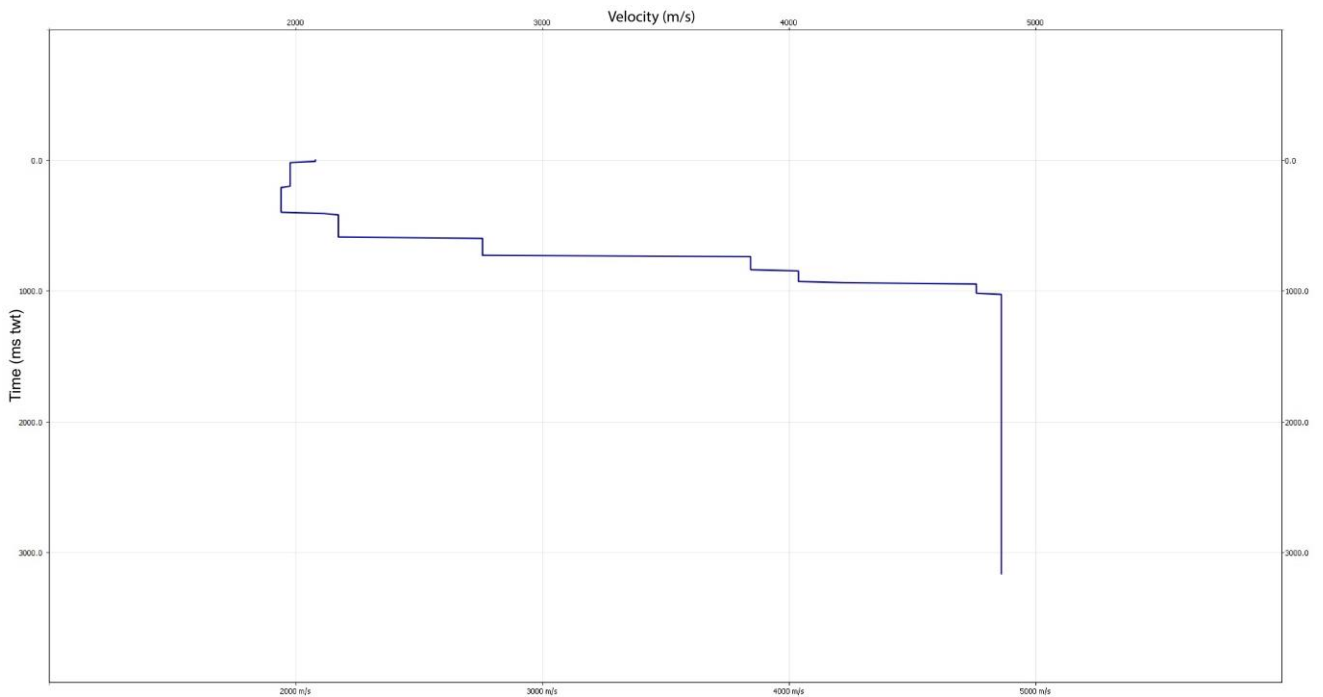
### 5.2.5. Konverzija Vrijeme-Dubina

Kako su seizmički refleksijski profili u vremenskom mjerilu (ms) odnosno u mjerilu dvostrukog vremena putovanja seizmičkog vala (engl. "two way travel-time" TWT) prvo je pomoću zakona brzina bušotinske podatke bilo potrebno pretvoriti u vremensko mjerilo kako bi se mogla provesti seizmička interpretacija. Na slici 28 prikazan je graf odnosa dubine i dvostrukog vremena putovanja.



Slika 28. Graf odnosa dubine i dvostrukog vremena putovanja.

Seizmički refleksijski profili s interpretacijama su nadalje konvertirani pomoću alata *2D Depth Conversion* i to pomoću zakona brzina koji je projiciran na profil ili s najbliže bušotine (Slika 29). Tako su dobiveni interpretirani seizmički profili (Slike 30-37) koji su u dubinskom mjerilu. Ostatak modela u ovoj fazi nije pretvoren u dubinsko mjerilo jer je 3D dubinsko-vremenska konverzija znatno zahtjevniji proces te predstavlja radni zadatak u sljedećoj fazi istraživanja.



Slika 29. Graf odnosa dvostrukog vremena putovanja i brzine.

## 6. REZULTATI

Rezultat ovog istraživanja je konstruiran 3D geološki model područja karlovačke depresije i zapadnog dijela Savske depresije. Model sadrži **17** glavnih rasjeda strukturnog sklopa te ukupno **48** strukturnih segmenata strukturnih ploha koje pripadaju **četiri stratigrafska horizonta**: podlozi neogenskih naslaga, podlozi panonskih naslaga, granici donji i gornji pont te podlozi pliokvartarnih naslaga. Rezultati su prikazani na četiri vremensko-strukturne karte (Prilozi 2-5) te četiri reprezentativna interpretirana seizmička refleksijska profila. Pomaci po rasjedima izraženi su u metrima jer su seizmički refleksijski profili u finalnoj fazi konvertirani u dubinsko mjerilo.

### 6.1. Vremensko-strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga

Podloga neogenskih naslaga najdublja je modelirana granica i dubinski interval se nalazi u rasponu od 240 ms neposredno južno od Žumberačkog i Samoborskog gorja i Medvednice do 2500 ms u području Karlovačke depresije (Slike 31 i 37). Na ovoj karti mezozojske i paleozojske stijene izdanjuju na površini u području Žumberačkog i Samoborskog gorja te Medvednice koja se nalazi u samom sjevernom dijelu istraživanog područja. U području Vukomeričkih gorica, podloga neogenskih naslaga nalazi se na dubini od 550 ms do 1800 ms (Prilog 2 - Karta dubina po elektrokarotažnom markeru  $T_g$ ). Neznačajniji rasjedi koji presijecaju i pomiču podlogu neogenskih naslaga su *Istočni i Zapadni Karlovački rasjedi*, *Vukomerički rasjed* i *Savski rasjed*. Pomak po *Zapadnom Karlovačkom rasjedu* mjestimično je veći od 1200 m (Slika 31) dok je pomak u istočnom dijelu Karlovačke depresije ostvaren na nekoliko rasjednih ploha (*R-3*, *R-4* i *R-5-Istočni Karlovački rasjed*) te iznosi preko 2000 m. U području Vukomeričkih gorica dominira *Vukomerički rasjed* se u sjevernom dijelu rasjeda vidi normalni karakter pomaka a u južnom reversni što generalno ukazuje na pomak po pružanju. Najznačajniji rasjed istočnog dijela područja istraživanja je *Savski rasjed*, koji je rubni rasjed Savske depresije te također ima značajnu komponentu pomaka po pružanju. Dubine podloge neogenskih stijena u Savskoj depresiji u istraživanom području dosežu oko 2000 ms.

## 6.2. Vremensko-strukturalna karta po podlozi panonskih naslaga

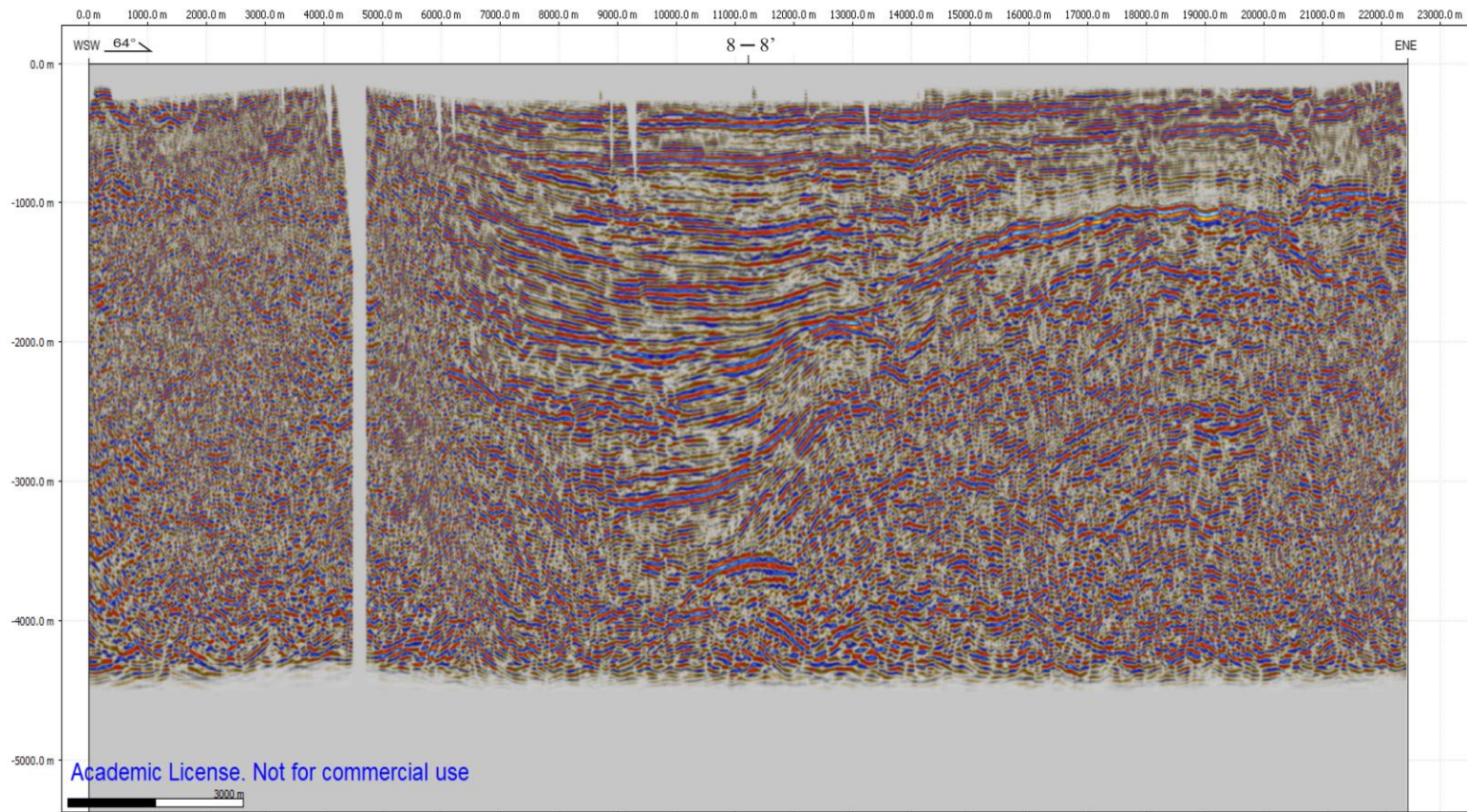
Ploha podloge panonskih naslaga je u dubinskom rasponu od 135 ms u sjevernom dijelu područja istraživanja do 1900 ms u krajnjem jugoistočnom dijelu područja istraživanja u Savskoj depresiji (Prilog 3 - Karta dubina po elektrokarotaznom markeru *Rs7*). Pomaci po svim rasjedima, posebice po Istočnom i *Zapadnom Karlovačkom rasjedu* su značajno manji nego na podlozi neogenskih naslaga. Pomaci po *Zapadnom Karlovačkom rasjedu* kreću se od svega 50ak m do oko 400 m. Ostali rasjedi imaju uglavnom manje zabilježene pomake. U području Karlovačke depresije dubine plohe nalaze se u rasponu od 110 do 1400 ms. U području Vukomeričkih gorica od 1400 do svega 400 ms. Tako veliki raspon dubina rezultat je pomaka po reversnim rasjedima u južnom dijelu istraživanog područja (Slike 34 i 35). U području Savske depresije najmanje su dubine u sjevernom području na granici s Medvednicom a najveće u krajnjem južnom i jugoistočnom području gdje dosežu i do 1900 ms. Pomaci po pružanju mogu se uočiti na *Vukomeričkom i Savskom rasjedu* međutim zbog specifičnosti nemogućnosti odredbe horizontalnog pomaka po rasjedima vrijednosti pomaka ovdje nisu navedene

## 6.3. Vremensko-strukturalna karta po granici starijeg i mlađeg pontaa

Ploha podloge starije pontskih naslaga je u dubinskom rasponu od 100 ms u jugoistočnom dijelu područja istraživanja do 1400 ms u jugozapadnom dijelu područja istraživanja u Karlovačkoj depresiji (Prilog 4 - Karta dubina po elektrokarotaznom markeru *Z*). Pomaci po svim rasjedima, poglavito po *Istočnom i Zapadnom Karlovačkom rasjedu* su značajno manji nego na podlozi neogenskih i panonskih naslaga. Najveći pomak od oko 50-ak m vidljiv je na *Istočnom Karlovačkom rasjedu*. Na seizmičkom refleksijskom profilu 36 – 36' (Slike 36 i 37) vidljivo je da je debljina naslaga najveća u Karlovačkoj depresiji, te da je kontinuirana idući prema sjeveroistoku. U području Karlovačke depresije dubine kartirane plohe nalaze se u rasponu od 850 do 1400 ms. U području Vukomeričkih gorica od 100 do 350 ms. Istočno od *Savskog rasjeda*, u području Savske depresije dubine dosežu do 1350 ms.

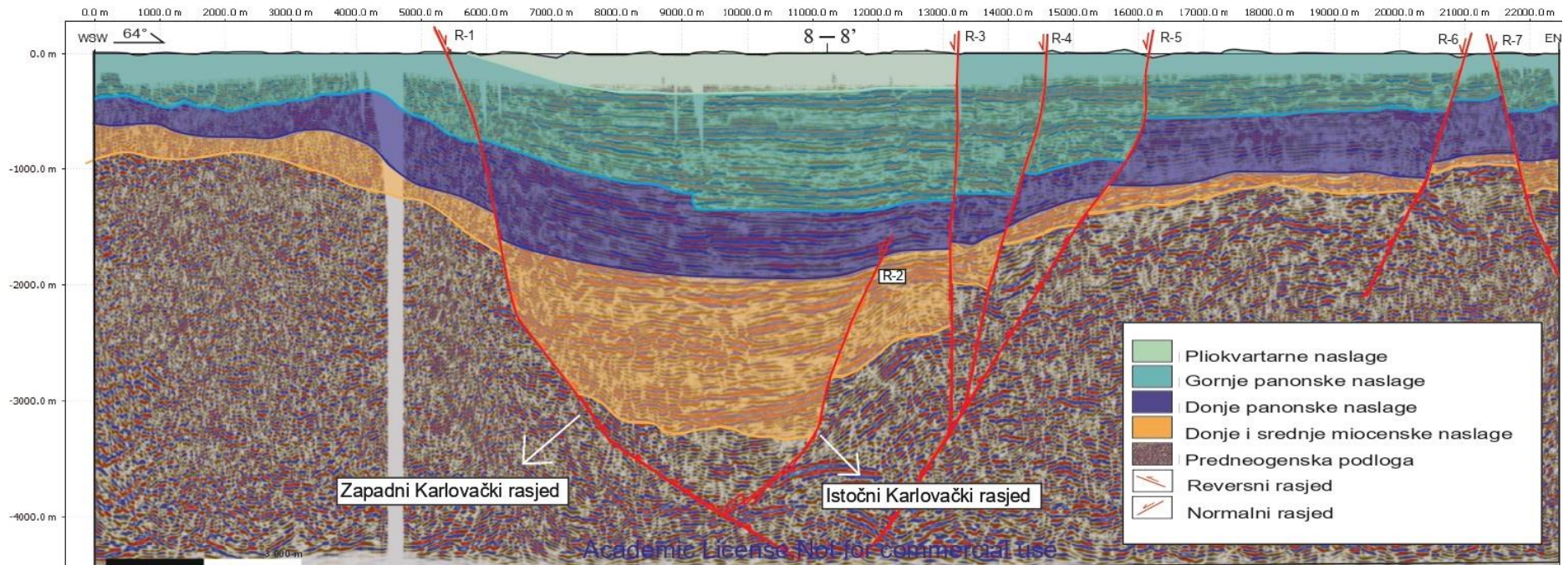
#### **6.4. Vremensko-strukturalna karta po podlozi pliokvartarnih naslaga**

Podloga pliokvartarnih naslaga najplića je modelirana granica i dubinski interval se nalazi u rasponu od 100 ms u području Vukomeričkih gorica do 850 ms u jugoistočnom dijelu područja istraživanja u Savskoj depresiji (Slike 32 i 33; Prilog 5 - Karta dubina po elektrokarotaznom markeru  $\alpha$ ). Podloga pliokvartarnih naslaga istočno od Karlovačke depresije izlazi na površinu te nije bilo moguće napraviti plohu u tom području. U odnosu na ostale podloge, pomaci po rasjedima su znatno manji. Na seizmičkom refleksijskom profilu 8 – 8' vidljivo je da je debljina naslaga najveća u Karlovačkoj depresiji, dok zapadno i istočno od nje naslage izdanjuju na površinu (Slike 30 i 31).



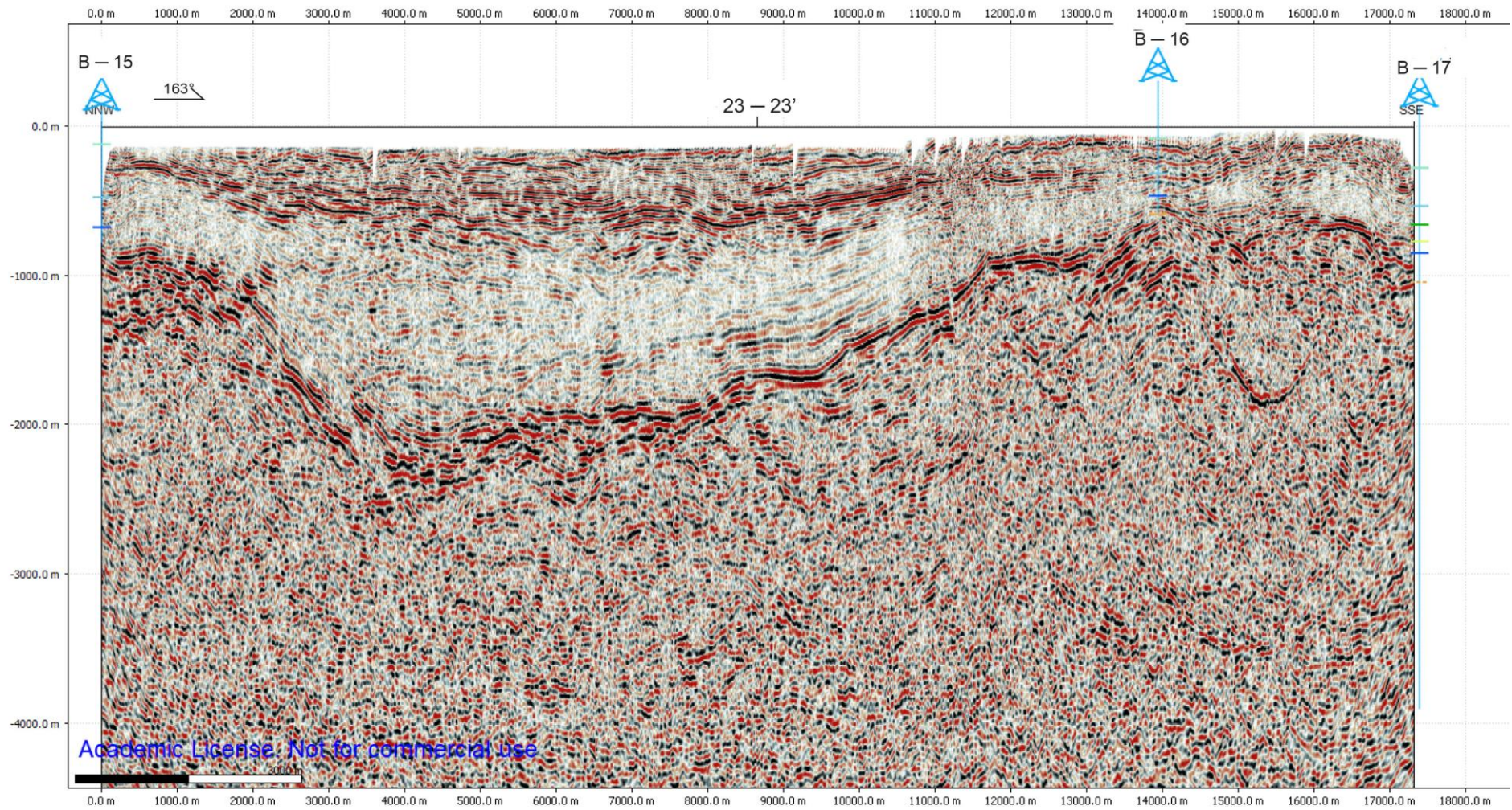
Slika 30. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 8 – 8'.





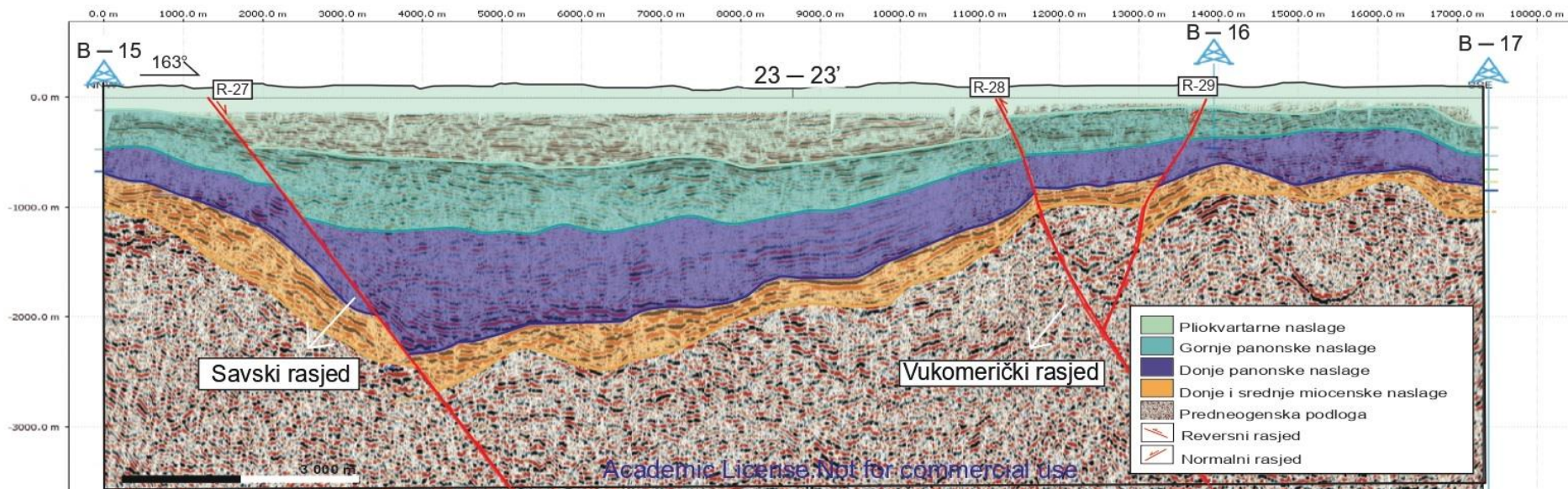
Slika 31. Interpretirani seizmički refleksijski profil 8 – 8' s označenim rasjedima (crveni tragovi) i stratigrafskim jedinicama.



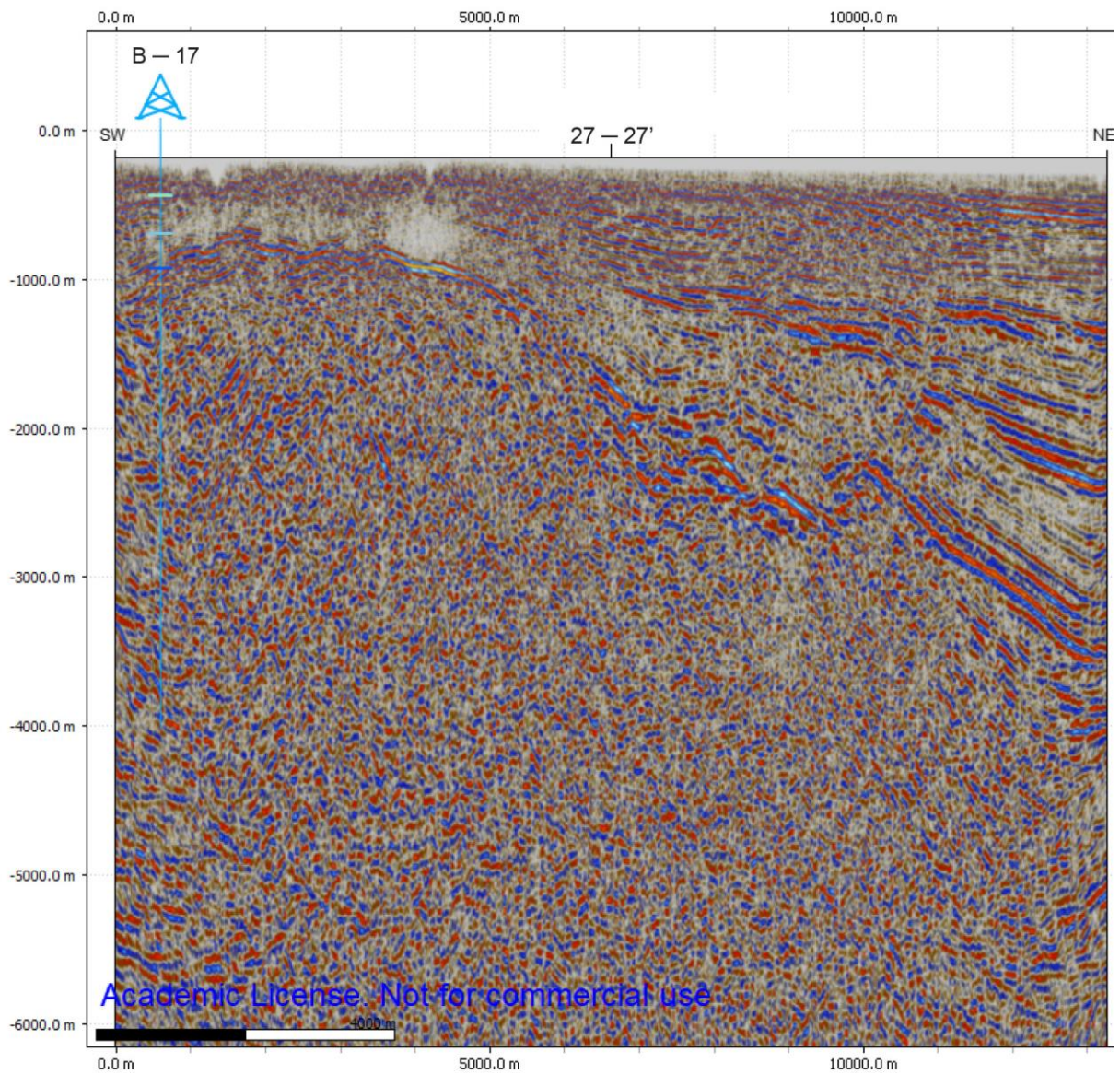


Slika 32. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 23 – 23'.



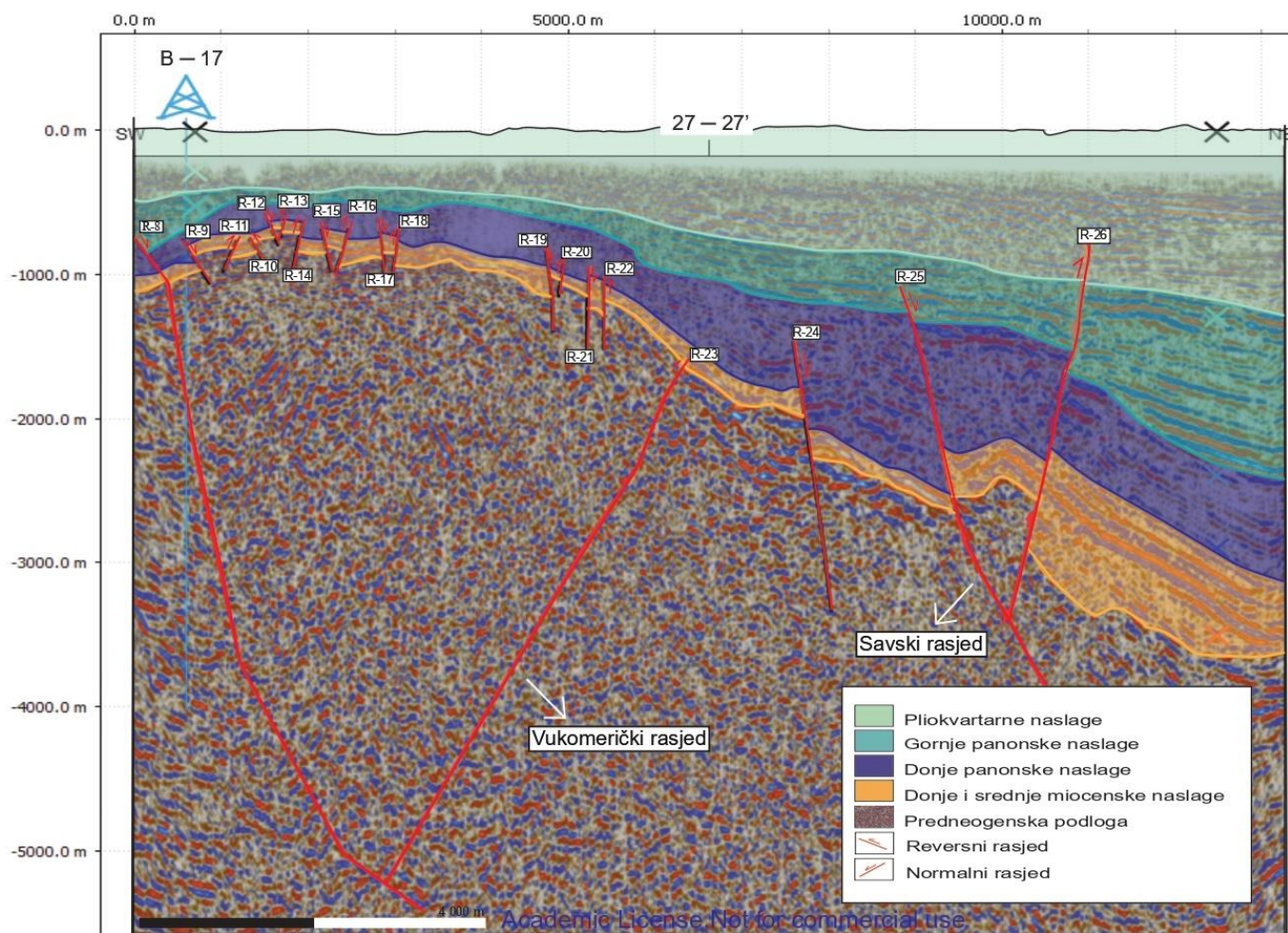


Slika 33. Interpretirani seizmički refleksijski profil 23 – 23' s označenim rasjedima (crveni tragovi), bušotinama B-15, B-16 i B-17 te stratigrafskim jedinicama.

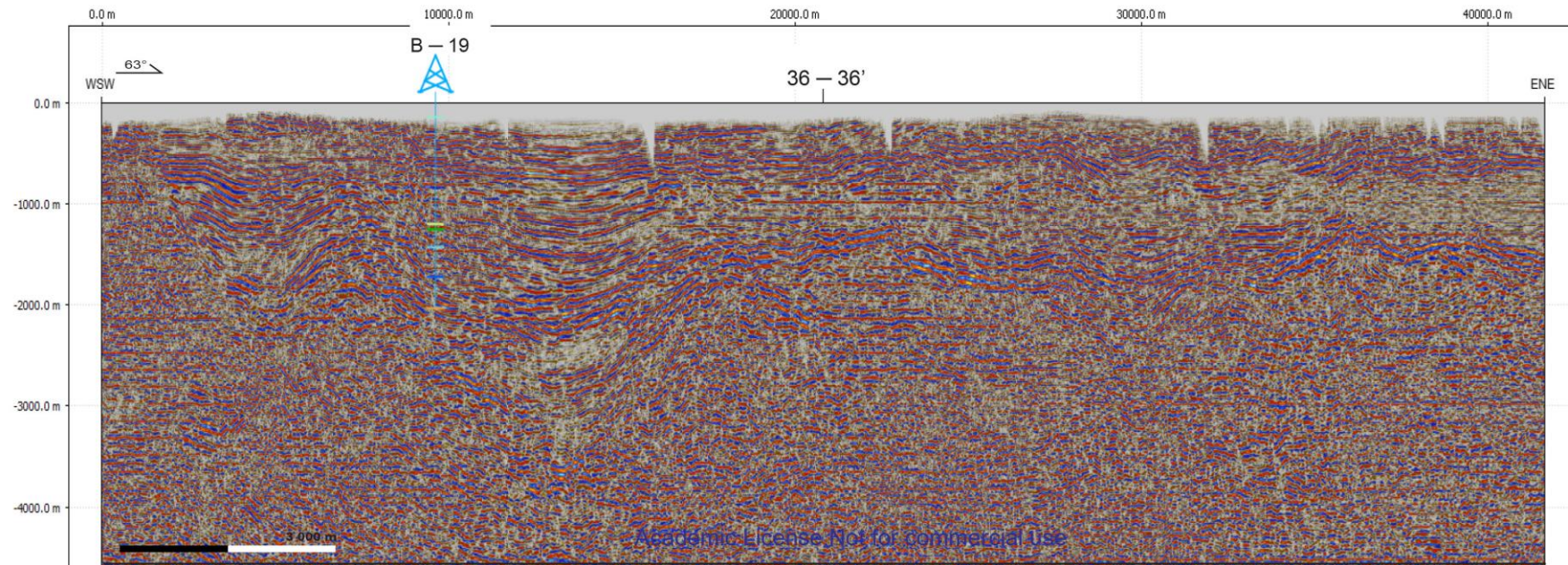


Slika 34. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 27 – 27'.



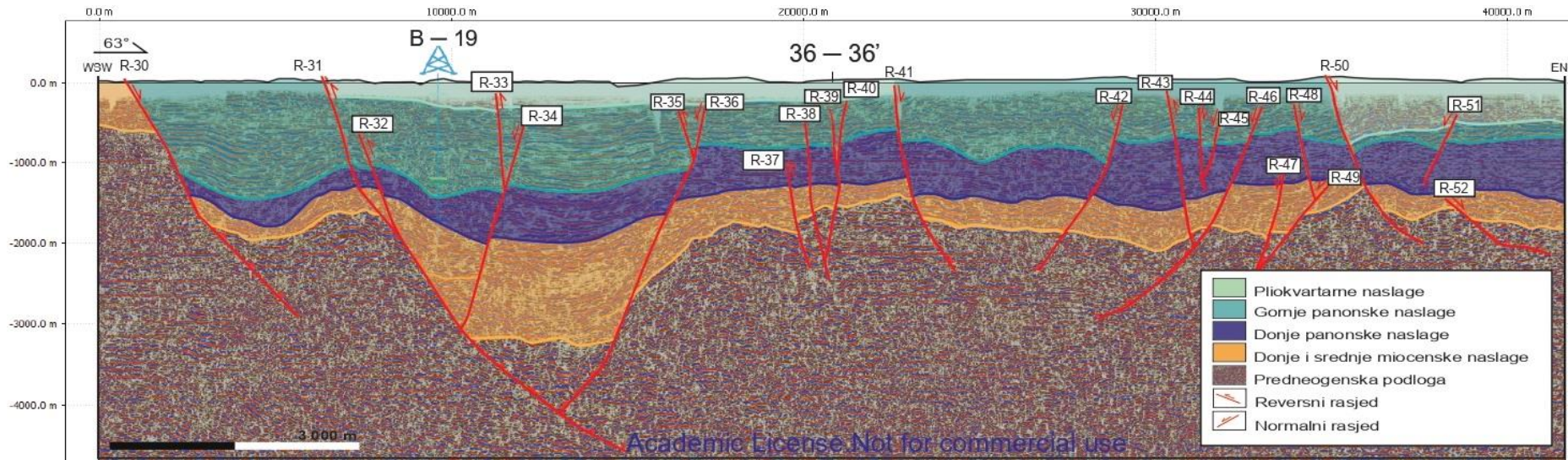


Slika 35. Interpretirani seizmički refleksijski profil 27 – 27' s označenim rasjedima (crveni tragovi), bušotinom B-17 i stratigrafskim jedinicama.



Slika 36. Neinterpretirani/izvorni seizmički refleksijski profil 36 – 36'.





Slika 37. Interpretirani seizmički refleksijski profil 36 – 36' s označenim rasjedima (crveni tragovi), bušotinom B-19 i stratigrafskim jedinicama.

## 7. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

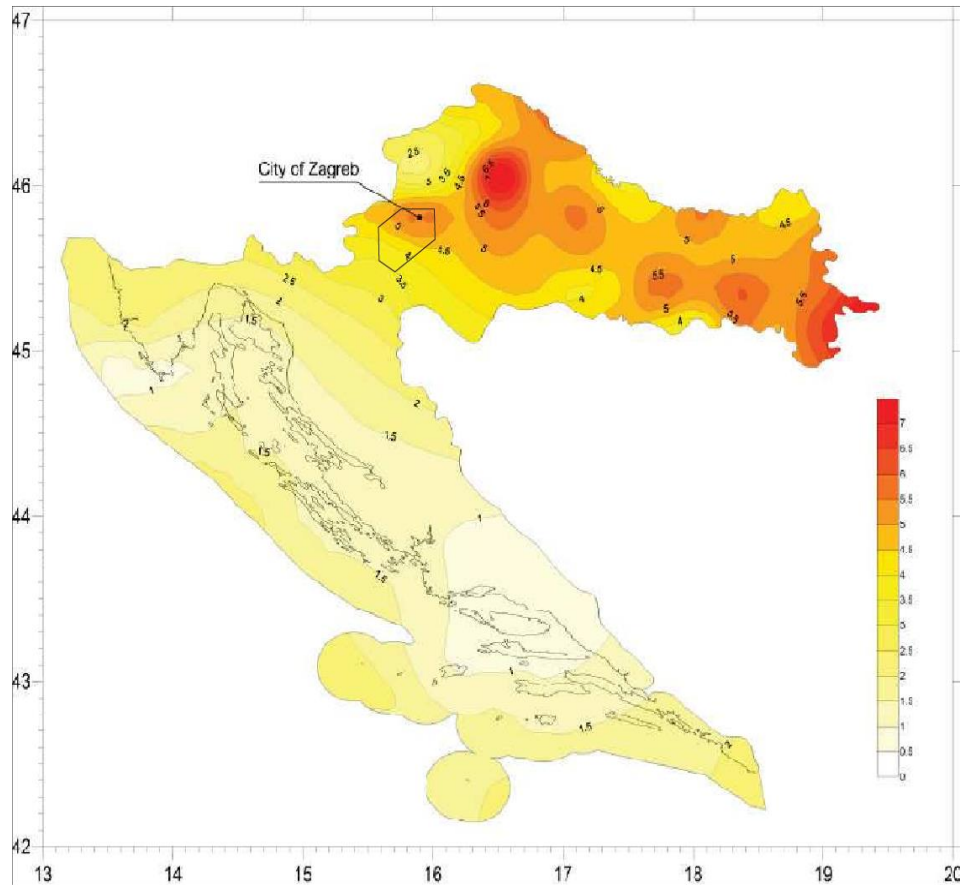
Izrađeni 3D geološki model podzemlja Karlovačke depresije te zapadnog dijela Savske depresije ukazuje na kompleksnu kinematsku evoluciju istraživanog područja. S obzirom na dubinsku i površinsku distribuciju naslaga predneogenske podloge kao i varijabilne debljine neogenske ispune možemo zaključiti da su **Žumberački, Karlovački, Vukomerički te Savski rasjed** imali važnu ulogu u evoluciji istraživanog područja. Uz mjestimično relativne pomake koji su bili u rasponi od 100 m pa gotovo 2000 m u navedenim depresijama nalazimo lokalne mikrodepresije koje su ispunjene debelim slijedom naslaga. Najveću važnost u otvaranju taložnog prostora tijekom donjeg i srednjeg miocena imaju **Karlovački (segmenti rasjeda) i Savski rasjed** čija su pružanja SZ–JI. U polugrabama i grabama koji su ti rasjedi formirali imamo taloženje debelog slijeda naslaga. Iako inicijalno normalni rasjedi, duž spomenutih rasjeda se javljaju i reversni rasjedi koji ukazuju na tektonsku reaktivaciju i inverziju struktura tijekom gornjeg miocena, što je posljedica promjene polja naprezanja. Nadalje, kako rezultat imamo stvaranje reversnih rasjeda, ali i antiklinalnih struktura kao što su to Vukomeričke gorice. Uz reversne rasjede imamo i značajnu *strike-slip* tektoniku koja je rezultat geometrije rasjeda i orijentacije polja naprezanja odnosno pomake po pružanju.

Geotermalna energija je energija na koju ne utječe sunčeva radijacija i sezonske varijacije već geotermalni gradijent, odnosno povećanje temperature s dubinom. Na području istraživanja (Slika 38) geotermalni gradijent iznosi između 3,5°C/100 m u okolici Karlovca i 6°C/100 m na području Zagreba (KUREVIJA i dr., 2014).

Razmatrajući izrazitu tektonsku razlomljenost područja u kombinaciji s visokim geotermalnim gradijentom, ali i visokopropusnim vodonosnicima odnosno visokom hidrauličkom vodljivosti dominantno dolomitno-vapnenačkog kompleksa trijasko i badenske starosti možemo zaključiti da Karlovačka depresija i zapadni dio Savske depresije predstavlja geotermalno područje visokog potencijala. Iz izrađenog baznog 3D modela kao i znanja o dubinama i debljinama naslaga trijaskih dolomita i badenskih karbonatnih naslaga koji čine regionalni facijese u području istraživanja možemo zaključiti da njihova prostorna distribucija daje izrazitu potencijalnost za njihovo buduće iskorištavanje u smislu geotermije odnosno za pridobivanje termalnih voda u turističke, ali i gospodarske svrhe. Održivo korištenje termalnih voda mogu snažno utjecati na



ekonomski razvoj područja istraživanja, povećanje životnog standarda lokalnog stanovništva, ali i prijeko potrebno smanjenje emisije stakleničkih plinova, a time i utjecaj na klimatske promjene.



Slika 38. Geotermalni gradijent na području Republike Hrvatske (preuzeto iz KUREVIJA i dr., 2014).

## LITERATURA

BASCH, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Ivanić-Grad L33–81. – Geološki zavod, Zagreb (1980); Savezni geološki institut, Beograd, 66 str.

BASCH, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 list Ivanić-Grad (L33-96). Savezni geološki zavod, Beograd.

BENČEK, Đ., BUKOVAC, J., MAGAŠ, N., ŠIMUNIĆ, AN. (2014): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100 000 list Karlovac (L33-92). Hrvatski geološki institut, Zagreb.

BOROVIĆ, S., POLA M., PAVIČIĆ. I. & ŠPELIĆ, M. (2020): Utilization of Vintage Hydrocarbon Exploration Data in Geothermal Research: the Case Study of Zagreb Geothermal Field (Croatia). Proceedings World Geothermal Congress 2020 Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020.

BUKOVAC, J., ŠUŠNJAR, M., POLJAK, M. & ČAKALO, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Črnomelj L33–91. – Geološki zavod, Zagreb; Geološki zavod, Ljubljana (1972–1983); Savezni geološki institut, Beograd (1983).

BUKOVAC, J., ŠUŠNJAR, M., POLJAK, M., ČAKALO, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Črnomelj L33–91. – Geološki zavod, Zagreb; Geološki zavod, Ljubljana (1983); Savezni geološki institut, Beograd, 63 str.

CVETKOVIĆ, M., MATOŠ, B., RUKAVINA, D., SAFTIĆ, B. i dr. (2019): Geoenergy potential of the Croatian part of Pannonian Basin: insights from the reconstruction of the pre-Neogene basement unconformity

DRAGIČEVIĆ I., PRELOGOVIĆ, E., PAVELIĆ, D., VRANJKOVIĆ, A., PAVIČIĆ, I., ŠIPEK, S. (2014): Hidrogeološka potencijalnost gorskih i prigorskih vodonosnika sjeverne Hrvatske, stručni elaborat, 235 str. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

DRAGIČEVIĆ, I. & VELIĆ, I. (2002): The Northeastern margin of the Adriatic Carbonate Platform. *Geologia Croatica* 55/2, 185-232. Zagreb.

DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAYER, D., TOMLJENOVIĆ, 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., TOMLJENOVIĆ, B. (1997): Gorski i prigorski vodonosnici sjeverne Hrvatske (izvješće o radovima u 1997. godini). Fond stručne dokumentacije RGNF, Zagreb.

DRAGIČEVIĆ, I., PRELOGOVIĆ, E., PAVELIĆ, D., VRANJKOVIĆ, A., PAVIČIĆ, I. (2014): Hidrogeološka potencijalnost gorskih i prigorskih vodonosnika sjeverne Hrvatske. Fond stručne dokumentacije RGNF-a, Zagreb.

KOVAČIĆ, M. (2002): Causes of a positive geothermal anomaly in the Zagreb area. PhD thesis. University of Zagreb - Faculty of mining, geology and petroleum engineering, 102 p.

KUREVIJA, T., VULIN, D. (2010): Određivanje statičke temperature tla kao dijela vrjednovanja plitkih geotermalnih potencijala

KUREVIJA, T., VULIN, D., MACENIĆ, M. (2014): Impact of geothermal gradient on ground source heat pump system modeling. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 28 (1): 39-45.

LUČIĆ, D., SAFTIĆ, B., KRIZMANIĆ, K., PRELOGOVIĆ, E., BRITVIĆ, V., MESIĆ, I., TADEJ, J. (2001). The Neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia. Marine and Petroleum Geology 18, 133-147.

MACH, R., PETSCHKE, P. (2007): Visualization of Digital Terrain and Landscape Data. Springer, Švicarska

MAGAŠ, N., BUKOVAC, J., BENČEK, Đ. (2014): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100.000, Tumač za list Karlovac L33-92. – Hrvatski geološki institut, Zagreb, 71 str.

MALVIĆ, T. (2008): Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. Sveučilišni udžbenik, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu.

MALVIĆ, T., SAFTIĆ, B. (2008): Dubinsko kartiranje (vježbe). Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 46.

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

MLINARIĆ, Ž., ZELIĆ, M., ČUBURIĆ, S., KULENOVIĆ, I., KUŠEK, M., MARČAN, B., PAPPO, D., FRČO, D., VUČEMILOVIĆ, M., KOVAČEVIĆ, Z. (1995): Glavni rudarski projekt geotermalnog polja Zagreb. INA – industrija nafte d.d. Zagreb, Zagreb, 161 str.

MOORE, C.H. (2001): Carbonate Diagenesis and Porosity. 335 p. Elsevier Science B.V. Amsterdam, Netherlands.

PAVELIĆ, D., KOVAČIĆ, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia)

PAVIČIĆ, I. (2018): Geneza, prostorna raspodjela i kvantifikacija poroznosti žumberačkih gornjotrijanskih dolomita

PAVIČIĆ, I., RUKAVINA, D., MATOŠ, B., TOMLJENOVIĆ, B. (2019): Interpretation of the tectonic evolution of the western part of the Sava Depression: structural analysis of seismic attributes and subsurface structural modeling

PIKIJA, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Sisak L33–93. – Geološki zavod, Zagreb (1986); Savezni geološki institut, Beograd, 55 str.

PIKIJA, M., (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 list Sisak (L33-93). Savezni geološki zavod, Beograd.

PLENIČAR, M., PREMURU, U., HERAK, M. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Novo Mesto L33–79. – Geološki zavod, Ljubljana, (1963–1969); Savezni geološki institut, Beograd (1975).

PLENIČAR, M., PREMURU, U. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Novo Mesto L33–79. – Geološki zavod, Ljubljana (1970); Savezni geološki institut, Beograd, 61 str.

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(1-4), 283–293.

PRTOLJAN, B., (2001): Relationships of the thrust-fold and horizontal mechanisms of the Mt. Žumberak part of the Sava nappe in the northwestern Dinarides. West Croatia. *Acta Geologica Hungarica* 44, 67–80.

RÖGL, F., (1996): Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitt. Gessel. Geol. Bergb. Österr.*, 41, 65–73.

SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANÓ, O., JUHÁSZ, G. & IVKOVIĆ, Ž. (2003): Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary). *Geologia Croatica*, 56/1, 101-122.

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, 1, 139-183

ŠARIN, A., BAHUN, S., FRITZ, F., KRANJEC, V., URUMOVIĆ, K. (1980): Hidrogeološka karta SR Hrvatske, mjerilo 1:500 000. Tumač. Inst. Geol. Istr., Zagreb.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Zagreb L33–80. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Savezni geološki institut, Beograd, 81 str.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 list Zagreb (L38-80). Savezni geološki zavod, Beograd.

TOMLJENOVIĆ, B. (2000): Kinematske značajke srednjemiocenske ekstenzije u području Samoborskog gorja. Zbornik radova 2. Hrvatskog geološkog kongresa Cavtat-Dubrovnik, Zagreb, pp. 433-440.

TOMLJENOVIĆ, B., CSONTOS, L. (2001): Neogene–Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac basins, Croatia). *International Journal of Earth Sciences* 90, 560–578.

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

USTASZEWSKI, K., KOUNOV, A., SCHMID, S. M., SCHALTEGGER, U., KRENN, E., FRANK, W., FÜGENSCHUH, B. (2010): Evolution of the Adria-Europe plate boundary

in the northern Dinarides: From continent-continent collision to back-arc extension. *Tectonics* Vol. 29, TC6017, doi:10.1029/2010TC002778, 1-34.

VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, J., KOCH, G., MATIČEC, D. (2002): Palaeogeographic Variability and Depositional Environments of the Upper Jurassic Carbonate Rocks of Velika Kapela Mt. (Gorski Kotar Area, Adriatic Carbonate Platform, Croatia). *Geologia Croatica* 55/2, 121/138.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M., VRBANAC, B. (2012): Reservoir geology, hydrocarbon reserves and production in the Croatian part of the Pannonian Basin System. *Geologia Croatica* 65(1), 91-101.

VERBOVŠEK, T. (2009): Extrapolation of fractal dimensions of natural fracture networks from one to two dimensions in dolomites in Slovenia. *Geosciences Journal*. Vol 13, No. 4, p 343-351. Association of Korean Geoscience Societies and Springer, 2009.

VERBOVŠEK, T. (2008): Factors influencing the hydraulic properties of wells in dolomite aquifers of Slovenia. *Hydrogeology Journal* 16, 779–795. <https://doi.org/10.1007/s10040-007-0250-5>

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 220, Issues 3–4, 333-360.

VRSALJKO, D. (2003): Biostratigrafija miocenskih naslaga Žumberačkog i Samoborskog gorja na temelju mekušaca. Doktorska disertacija, PMF, Zagreb

ZANINOVIĆ, K., GAJIĆ-ČAPKA, M., PERČEC TADIĆ, M. i dr. (2008): Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990, 1971–2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

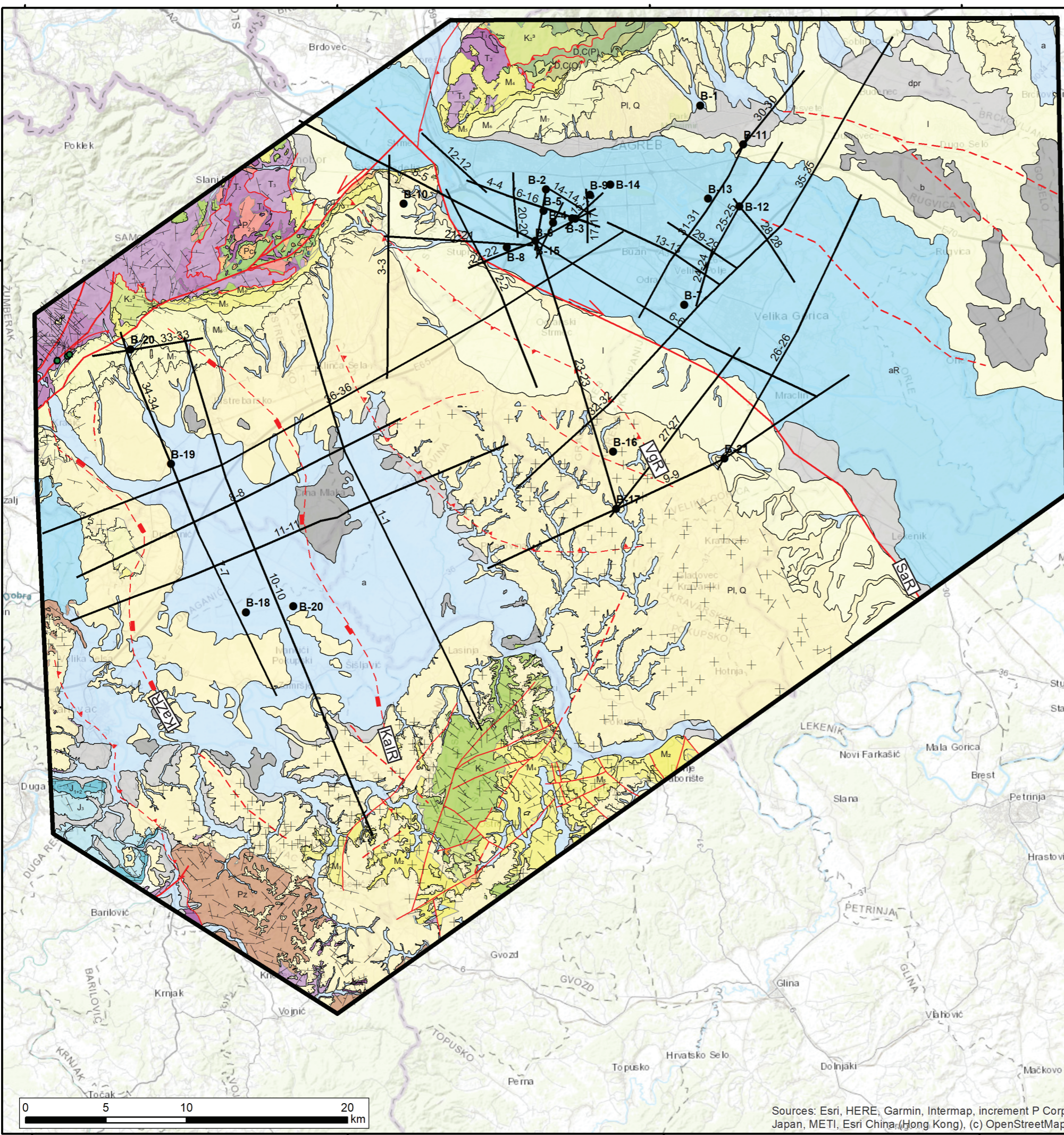
ZELIĆ, M., ČUBRIĆ, S., KULENOVIĆ, I., KUŠEK, M., MARČAN, B. i dr. (1995): Main mining design of the Zagreb Geothermal Field. INA plc., Zagreb. (in Croatian)

Web izvori:

[https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-0-387-35973-1\\_68](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-0-387-35973-1_68)  
(27.3.2022.)

<https://www.petex.com/products/move-suite/move/> (29.3.2022.)





# LEGENDA

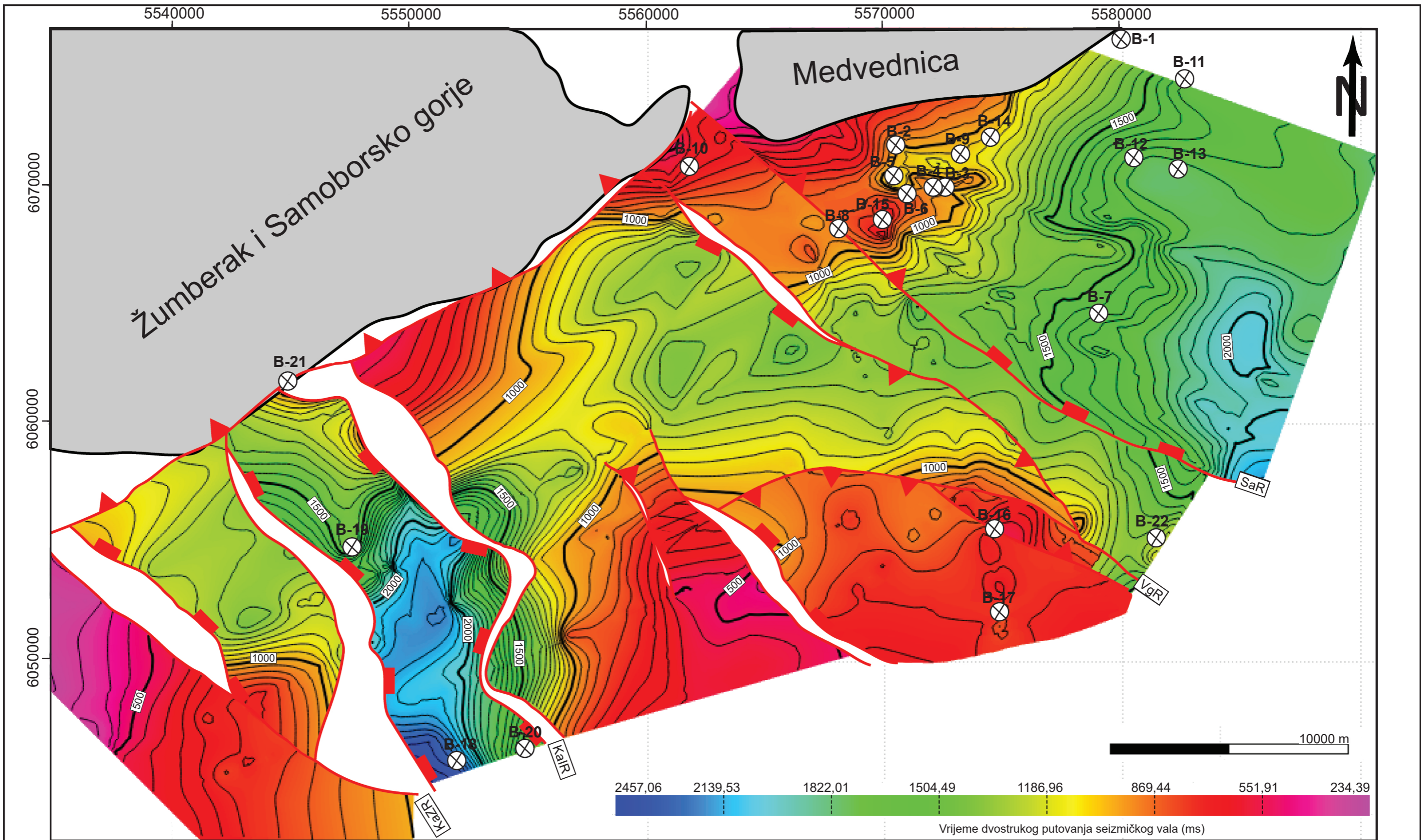
<b>a</b>	Aluvij: šljunci, pijesci i gline	<b>T<sub>2</sub></b>	Dolomiti, podređeno vapnenci, lapori, roznjaci, tufovi, tufti
<b>aR</b>	Aluvijalno-barski sedimenti: gline, pijesci, šljunci, povodanj; silt, pijesak, mulj, aluvij mrtvaja: silt, gline, pijesci, organogeni mulj	<b>T<sub>1</sub></b>	Pješčenjaci, siltiti, vapnenci, podređeno dolomiti i vapnoviti lapori
<b>dpr</b>	Deluvij-proluvij: silozne gline, pijesci, šljunci	<b>P<sub>2,3</sub></b>	Brečokonglomerati, konglomerati, pješčenjaci, šejli, siltiti, vapnenci, dolomiti, gips
<b>b</b>	Barske tvorevine: mulj, gline, silt	<b>Pz</b>	Kvarcni konglomerati, pješčenjaci, siltiti, crni šejlovi
<b>l</b>	Kopneni barski les: glinoviti silt	<b>D,C(O)</b>	Ortometamorfiti: zeleni škriljci, metamorfozirani gabri, dijabazi, doleriti
<b>PI, Q</b>	Šljunci, pijesci, gline, pješčenjaci, konglomerati	<b>D,C(P)</b>	Parametamorfiti: škriljave grauvake, siltiti, vapnenci, dolomiti, filiti, muskovit-kiritski i kvarc-muskovitski škriljci
<b>M<sub>7</sub></b>	Kompleks pontskih naslaga		Geotermalno polje Zagreb
<b>M<sub>6</sub></b>	Vapnoviti lapori, pijesci, pješčenjaci, konglomerati, vapnenci, gline		Horizontalni sloj
<b>M<sub>5</sub></b>	Pijesci, pješčenjaci, šljunci, konglomerati, gline, lapori		Sloj
<b>M<sub>4</sub></b>	Pjeskovito-vapnenački lapori, gline, pijesci, pješčenjaci, šljunci, konglomerati, bioklastični vapnenci		Prebačeni sloj
<b>M<sub>3</sub></b>	Pijesci, pješčenjaci, lapori		Normalna granica
<b>M<sub>2</sub></b>	Pijesci, šljunci, pješčenjaci, konglomerati, lapori, gline, vapnenci, ugljeni		Transgresivna granica
<b>Pc</b>	Fliš: mikrobreče, litoarentski pješčenjaci, siltiti i glinoviti lapori		Normalni rasjed
<b>K<sub>3</sub><sup>2</sup></b>	Fliš: tufovi litoarenti, pelitski tufovi, peliti i Scaglia facies: pločasti mikriti, kalcitni peliti i lapori		Pretpostavljeni normalni rasjed
<b>K<sub>3</sub></b>	Vulkanogeno-sedimentni kompleks: siltiti, siltitni šejli, grauvake, sitnozmatni konglomerati, radiolariti i magmatske stijene		Reversni rasjed
<b>ββ</b>	Dijabazi i spliti		Pretpostavljeni reversni rasjed
<b>J<sub>1</sub></b>	Pločasti mikriti s pelagičkom mikrofaunom i roznjacima		Rasjed s pomakom po pružanju
<b>Sé</b>	Serpentiniti		Pretpostavljeni rasjed s pomakom po pružanju
<b>J<sub>1+2</sub></b>	Vapnenci, vapnenačke breče, silificirani vapnenci, roznjaci, podređeno dolomiti		Bušotina
<b>T<sub>3</sub></b>	Dolomiti, podređeno vapnenci, dolomitni vapnenci, šejli		1-1 Trasa profila

Glavni rasjedi satrukturnog sklopa:  
**KaZR** - Karlovački zapadni rasjed  
**KaIR** - Karlovački istočni rasjed  
**VgR** - Vukomerički rasjed  
**SaR** - Savski rasjed

IZRAĐIVAČ: RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU		DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent	NAZIV RADA: 3D GEOLOŠKI MODEL PODZEMLJA KARLOVAČKE DEPRESIJE I ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE S OSVRTOM NA GEOTERMALNI POTENCIJAL	
IZRADILI: Katarina Mišić, univ. bacc.ing. geol. Ivana Dergez	IZVORI: PLENIČAR, 1976; ŠIKIĆ et al, 1978; BASCH, 1983; BUKOVAC et al, 1984; PIKIJA, 1987; PRTOLOJAN, 1998; TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001; TOMLJENOVIĆ, 2002; BENČEK et al, 2014; PAVIČIĆ 2018	
MJEROLO: 1:250.000	NAZIV PRILOGA: POJEDINSTAVLJENA GEOLOŠKA KARTA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	PRILOG: 1

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community





Legenda:

- B-19** Bušotina
- Reversni rasjed
- Normalni rasjed
- Rasjedna ploha (skok po rasjedu)
- Bušotina
- Izohora - dubina u dvostrukom vremenu putovanja seizmičkog vala (ms)

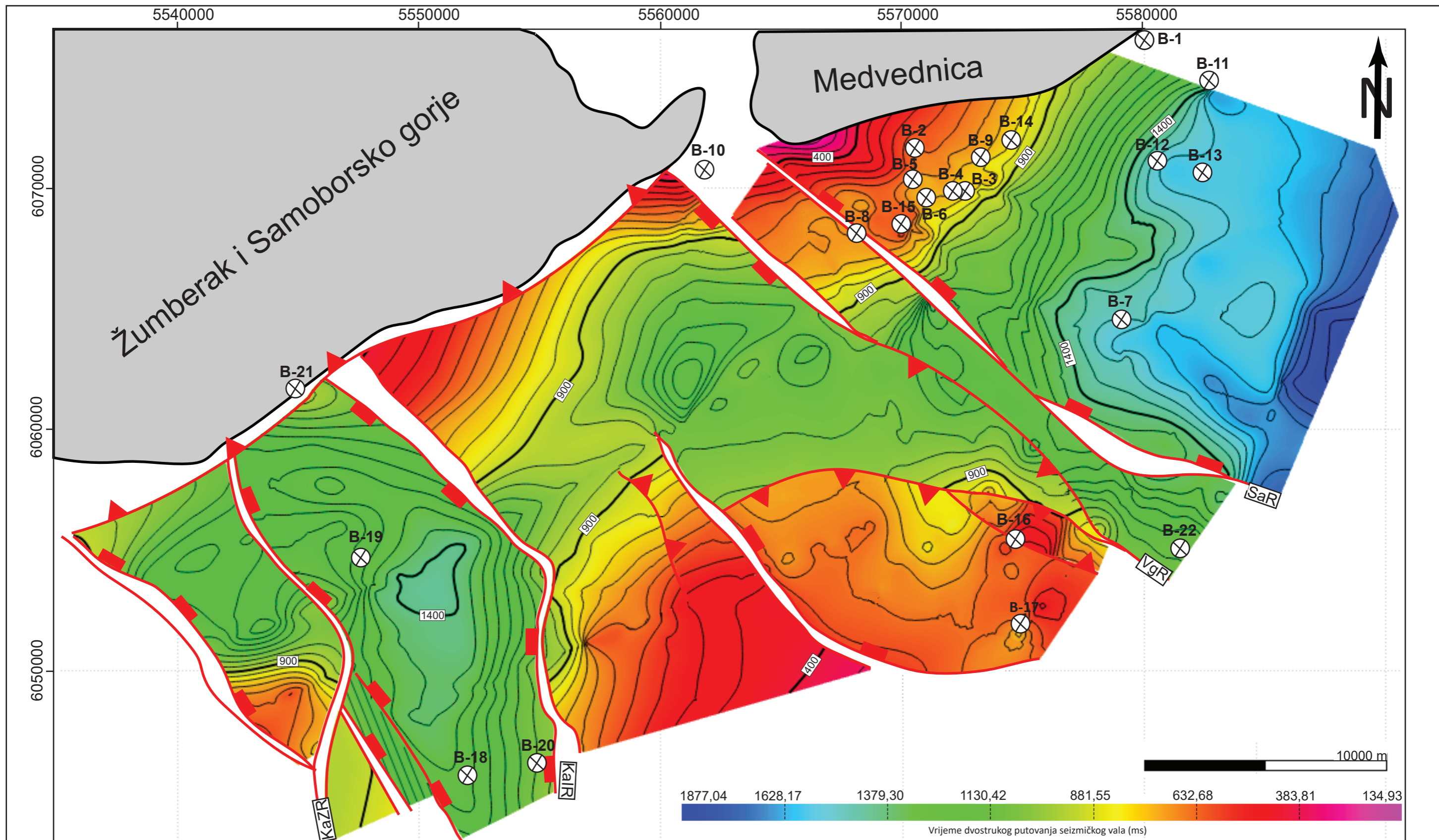
Academic License. Not for Comercial use

Glavni rasjedi satrukturnog sklopa:

- KaZR** - Karlovački zapadni rasjed
- KaIR** - Karlovački istočni rasjed
- VgR** - Vukomerički rasjed
- SaR** - Savski rasjed

IZRAĐIVAČ: 	RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent	NAZIV RADA: <b>3D GEOLOŠKI MODEL PODZEMLJA KARLOVAČKE DEPRESIJE I ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE S OSVRTOM NA GEOTERMALNI POTENCIJAL</b>	
IZRADILI: Katarina Mišić, univ. bacc.ing. geol. Ivana Dergez	MJERILO: 1:155.000	NAZIV PRILOGA: KARTA DUBINA PO ELEKTROKAROTAŽNOM MARKERU TG PRILOG: 2





Legenda:

- B-19 Bušotina
- Reversni rasjed
- Normalni rasjed
- Rasjedna ploha (skok po rasjedu)
- Izohora - dubina u dvostrukom vremenu putovanja seizmičkog vala (ms)

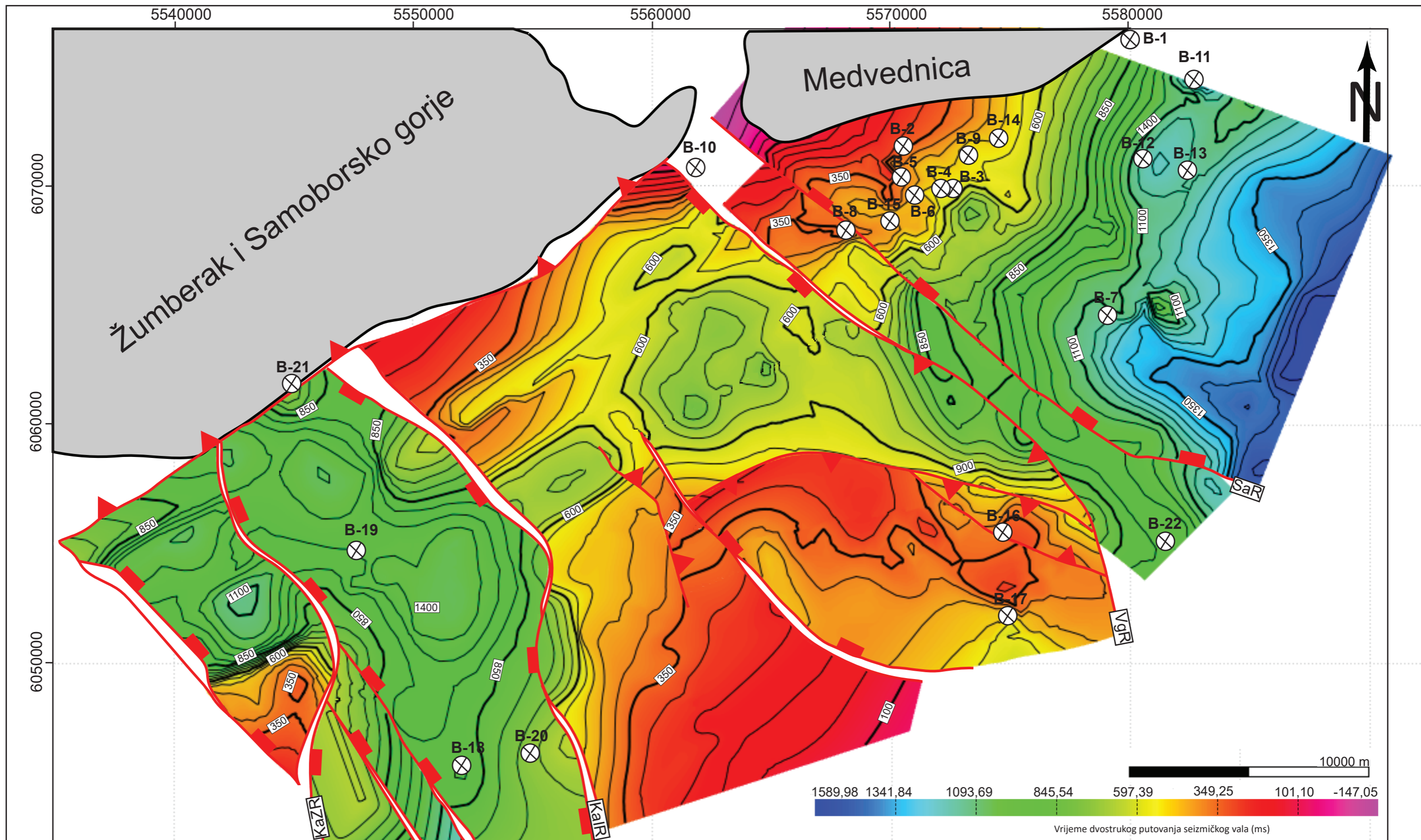
Academic License. Not for Comercial use

Glavni rasjedi satrukturnog sklopa:

- KaZR** - Karlovački zapadni rasjed
- KalR** - Karlovački istočni rasjed
- VgR** - Vukomerički rasjed
- SaR** - Savski rasjed

IZRADIVAČ: 	<b>RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b>	DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent	NAZIV RADA: <b>3D GEOLOŠKI MODEL PODZEMLJA KARLOVAČKE DEPRESIJE I ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE S OSVRTOM NA GEOTERMALNI POTENCIJAL</b>	
IZRADILI: Katarina Mišić, univ. bacc.ing. geol. Ivana Dergez	NAZIV PRILOGA: KARTA DUBINA PO ELEKTROKAROTAŽNOM MARKERU RS7	
MJERILO: 1:155.000	PRILOG: 3	





Legenda:

- B-19** Bušotina
- Reversni rasjed
- Normalni rasjed
- Rasjedna ploha (skok po rasjedu)
- Bušotina
- Reversni rasjed
- Normalni rasjed
- Rasjedna ploha (skok po rasjedu)
- Izohora - dubina u dvostrukom vremenu putovanja seizmičkog vala (ms)

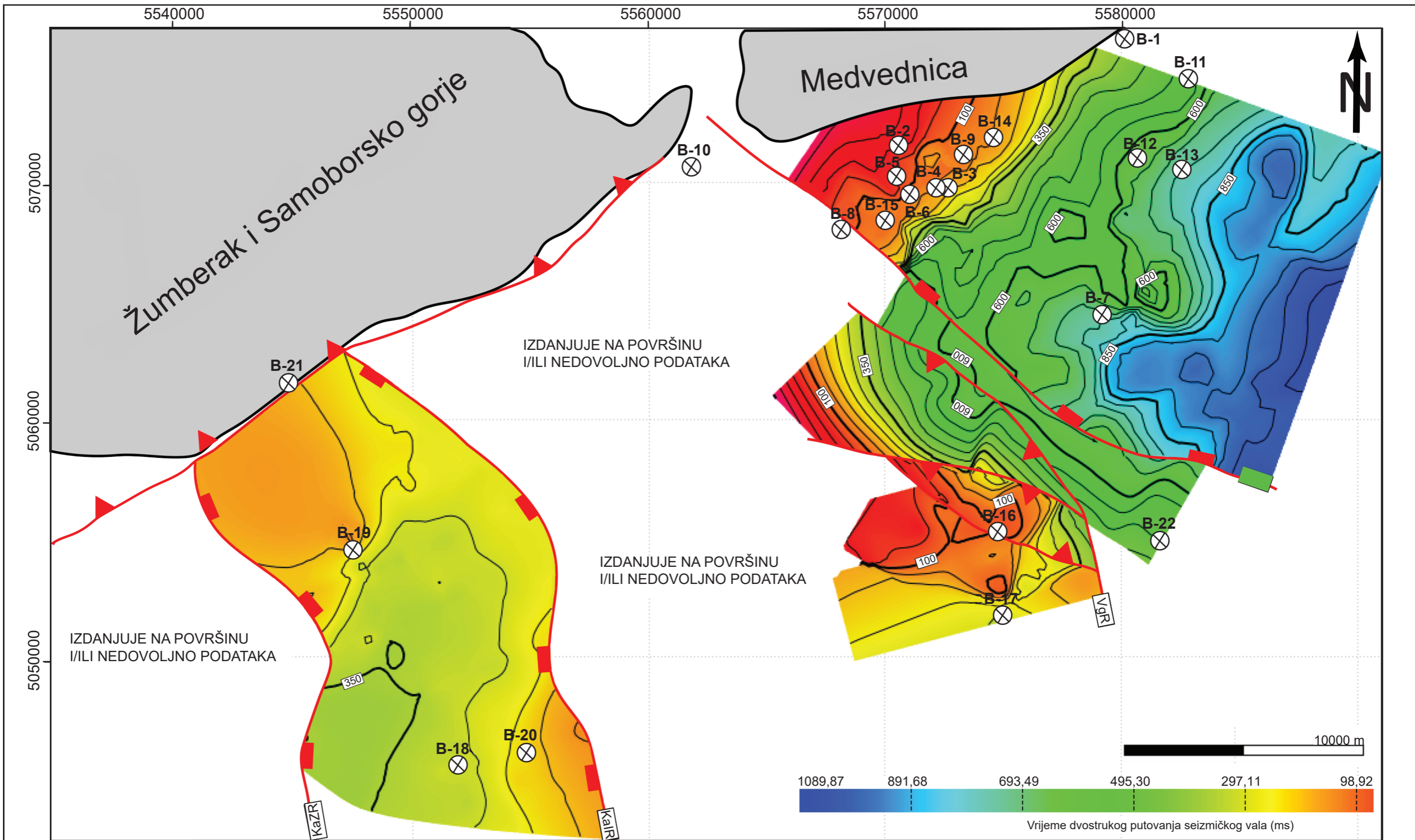
Glavni rasjedi satrukturnog sklopa:

- KaZR** - Karlovački zapadni rasjed
- KaIR** - Karlovački istočni rasjed
- VgR** - Vukomerički rasjed
- SaR** - Savski rasjed


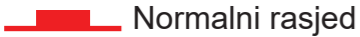

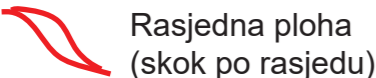

Academic License. Not for Comercial use

IZRAĐIVAČ: 	RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent	NAZIV RADA: 3D GEOLOŠKI MODEL PODZEMLJA KARLOVAČKE DEPRESIJE I ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE S OSVRTOM NA GEOTERMALNI POTENCIJAL	
IZRADILI: Katarina Mišić, univ. bacc.ing. geol. Ivana Dergez	MJERILO: 1:155.000	PRILOG: 4





Legenda:

- B-19**  Bušotina
-  Normalni rasjed
-  Reversni rasjed
-  Rasjedna ploha (skok po rasjedu)
-  Izohora - dubina u dvostrukom vremenu putovanja seizmičkog vala (ms)

Glavni rasjedi satrukturnog sklopa:

- KaZR** - Karlovački zapadni rasjed
- KaIR** - Karlovački istočni rasjed
- VgR** - Vukomerički rasjed
- SaR** - Savski rasjed

Academic License. Not for Comercial use

IZRADIVAČ: 	<b>RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET</b> <b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b>	DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: izv.prof.dr.sc. Bojan Matoš dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent	NAZIV RADA: <b>3D GEOLOŠKI MODEL PODZEMLJA KARLOVAČKE DEPRESIJE I ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE S OSVRTOM NA GEOTERMALNI POTENCIJAL</b>	
IZRADILI: Katarina Mišić, univ. bacc.ing. geol. Ivana Dergez	NAZIV PRILOGA: KARTA DUBINA PO ELEKTROKAROTAŽNOM MARKERU α	
MJERILO: 1:155.000	PRILOG: 5	