

# Strukturna građa područja Petrove gore

---

**Mišić, Katarina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:071799>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

STRUKTURNA GRAĐA PODRUČJA PETROVE GORE

Diplomski rad

Katarina Mišić

GI448

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/209  
URBROJ: 251-70-15-22-2  
U Zagrebu, 1. 12. 2022.

**Katarina Mišić, studentica**

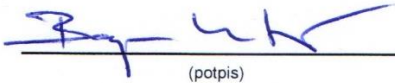
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/209, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 10. 11. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### STRUKTURNA GRAĐA PODRUČJA PETROVE GORE

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv. prof. dr. sc. Bojan Matoš nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora Dr. sc. Ivica Pavičić.

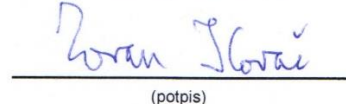
Mentor:

  
(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Bojan Matoš

(titula, ime i prezime)

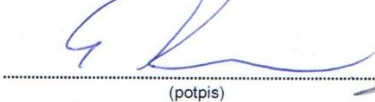
Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

  
(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

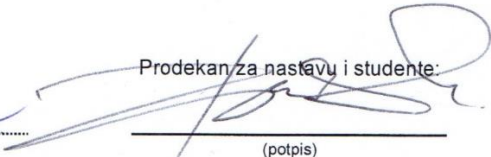
Komentor:

  
(potpis)

Dr. sc. Ivica Pavičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

  
(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

*Zahvala...*

*...mentoru izv. prof. dr. sc. Bojanu Matošu na predloženoj temi. Hvala na svim savjetima i prenesenom znanju. Veliko hvala na strpljenju i razumijevanju koje je imao za mene.*

*...komentoru dr. sc. Ivici Pavičiću na nesebičnoj pomoći ne samo tijekom izrade ovog rada već i tijekom studiranja. Hvala na svim prijedlozima i savjetima oko izrade modela.*

*...višoj znanstvenoj suradnici, dr. sc. Staši Borović na ukazanom povjerenju i datoj prilici da sudjelujem na istraživačkim projektima HotLime i HyTheC. Predavanjem na 6. hrvatskom geološkom kongresu potaknula je moju zainteresiranost za geotermiju.*

*...dr. sc. Marcu Poli, Mirji Pavić i Ivanu Kosoviću na svojoj pomoći prilikom terenskog rada.*

*...prijateljima koji su studentske dane učinili nezaboravnima.*

*...mojoj obitelji koja uvijek bila veliki oslonac i neizmjerena podrška.*

## STRUKTURNA GRAĐA PODRUČJA PETROVE GORE

Katarina Mišić

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

**Sažetak:** Strukturno-geološka istraživanja koja su prikazana u ovom diplomskom radu dio su projektnih aktivnosti na HRZZ znanstveno-istraživačkom projektu *HyTheC*. Cilj ovog rada bio je na temelju postojećih te novoprikupljenih podataka u sklopu strukturno-geoloških istraživanja prikazati strukturno-geološke odnose u podzemlju na području istraživanja. Prikupljeni strukturni podaci organizirani su u GIS bazu podataka, korišteni su za izradu geoloških profila te su prikazani stereografskim prikazom pomoću računalnog programa. Strukturna građa podzemlja analizirana je kroz šest geoloških profila koji su okomiti na strukture. Profili su korišteni za izradu konceptualnog 3D modela koji je izrađen u programu *Petroleum Experts Move*. Na temelju provedenih istraživanja i prikupljenih podataka mogu se izdvojiti tri kinematske faze koje su utjecale na razvoj istraživnog područja. Tijekom gornjokredne kompresijske faze nastajali su sustavi reversnih rasjeda, tijekom miocena, u fazi ekstenzije, nastali su sustavi normalnih rasjeda dok su u završnoj fazi tijekom gornjeg miocena, pliocena i kvartara, u fazi kompresije, reaktivirani reversni rasjedi, a normalni rasjedi su tektonski invertirani. Kinematske faze imale su značajan utjecaj na geotermalni razvoj područja. S obzirom na inicijalnu subdukciju, odnosno suturiranje duž Savske suturne zone i stanjenu koru, može se pretpostaviti da se dio topline rasjednim sustavima iz Savske suturne zone prenosi prema trijaskom vodonosniku koji periklinalno okružuje permske naslage Petrove gore.

**Gljučne riječi:** HRZZ HyTheC, Petrova gora, Panonski bazen, geotermalna energija, 3D strukturno modeliranje, *Petroleum Experts Move*

**Diplomski rad sadrži:** 55 stranica, 44 slike, 5 tablica, 31 literaturni navod

**Jezik izvornik:** hrvatski

**Diplomski rad pohranjen:** Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,  
Pierottijeva 6, Zagreb

**Mentor:** Dr. sc. Bojan Matoš, izvanredni profesor, RGNF

**Komentor:** Dr. sc. Ivica Pavičić, RGNF

**Pomoć pri izradi:** Dr. sc. Staša Borović, viša znanstvena suradnica, HGI

**Ocjenjivači:** Dr. sc. Bojan Matoš, izvanredni profesor, RGNF  
Dr. sc. Marko Cvetković, izvanredni profesor, RGNF  
Dr. sc. Duje Smirčić, docent, RGNF

**Datum obrane:** 16. prosinca 2022. godine

STRUCTURAL ANALYSIS OF PETROVA GORA

Katarina Mišić

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Geology and Geological Engineering

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

**Abstract:** The structural-geological research presented in this Thesis is a part of the activities of the HRZZ scientific project HyTheC. The objectives of this work were focused on determination of structural relations of the study area subsurface based on existing and newly collected as a part of project structural-geological investigations. The collected structural data were organized into a GIS database, used to construct geological cross-sections and presented using stereographic projection. The structure of the subsurface was analyzed through six constructed geological profiles oriented perpendicular to the structures. Geological profiles were used to construct a conceptual 3D model in the *Petroleum Experts Move* software. Based on the collected data, three kinematic phases can be distinguished that influenced the development of the research area. During the Upper Cretaceous compressional phase, reverse fault systems were created, whereas in the Miocene extension phase, normal fault systems were created. During the Upper Miocene, Pliocene and Quaternary, in the third phase, the compression phase, reverse and normal faults were structurally reactivated and tectonically inverted. Kinematic phases had a significant impact on the geothermal development of the area. Considering the initial subduction depth and the thinned crust, it can be assumed that the heat from the Sava Suture Zone is transferred via fault systems towards the Triassic aquifer that periclinally surrounds the Permian deposits of Petrova gora.

**Keywords:** HRZZ HyTheC, Petrova Gora, Panonnian Basin, geothermal energy, 3D structural modeling, *Petroleum Experts Move*

**Thesis contains:** 55 pages, 44 figures, 5 tables, 31 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

**Supervisor:** Associate Professor Bojan Matoš, PhD

**Co-supervisor:** Senior Researcher Ivica Pavičić, PhD

**Tech. assistance:** Senior Scientific associate at Croatian Geological Survey Staša Borović, PhD

**Reviewers:** Associate Professor Bojan Matoš, PhD  
Associate Professor Marko Cvetković, PhD  
Assistant Professor Duje Smirčić, PhD

**Date od defense:** December 16, 2022.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	3
3. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	4
3.1. STRATIGRAFSKE I SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE .....	4
3.1.1. Devon (D) .....	6
3.1.2. Karbon (C) .....	6
3.1.3. Perm (P) .....	7
3.1.4. Permotrijas (P, T).....	8
3.1.5. Trijas (T) .....	9
3.1.6. Jura (J).....	10
3.1.7. Kreda (K) .....	12
3.1.8. Paleocen, eocen – oligocen (Pc, E – Ol) .....	13
3.1.9. Miocen (M) .....	13
3.1.10. Pliocen, kvartar (Pl, Q) .....	15
3.1.11. Kvartar .....	15
3.2. TEKTONSKA EVOLUCIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	16
4. METODE ISTRAŽIVANJA .....	21
4.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA .....	21
4.2. KABINETSKI RAD .....	22
4.2.1. Izrada GIS baze podataka .....	22
4.2.2. Strukturna analiza i interpretacija .....	26
4.2.3. Konstrukcija geoloških profila.....	26
4.2.4. Izrada strukturno-geološkog 3D modela.....	28
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	29
5.1. REZULTATI TERENSKIH STRUKTURNIH MJERENJA .....	29

5.1.1. Slojevitost .....	29
5.1.2. Pukotine .....	30
5.1.3. Rasjedi.....	31
5.2. KONSTRUIRANI STRUKTRNO-GEOLOŠKI PROFILI .....	35
5.2.1. Strukturno-geološki profil TO-1 .....	36
5.2.2. Strukturno-geološki profil TO-2 .....	29
5.2.3. Strukturno-geološki profil TO-3 .....	31
5.2.4. Strukturno-geološki profil TO-4 .....	33
5.2.5. Strukturno-geološki profil TO-5 .....	35
5.2.6. Strukturno-geološki profil TO-6 .....	37
5.3. STRUKTURNI MODEL PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....	39
5.3.1 Izrada trodimenzionalnog modela.....	39
5.3.2 Hidrotermalni potencijal područja istraživanja - debljina i volumen trijaskog vodonosnika .....	43
6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK .....	48
7. LITERATURA .....	53



## POPIS SLIKA

Slika 1.1 Karta geotermalnih gradijenata na području kontinentalne Hrvatske (preuzeto iz Macenić (2020)).....	1
Slika 2.1 Karta područja istraživanja izrađena u QGIS-u. Podlogu čine Open Street Map ( <a href="https://www.openstreetmap.org/#map=11/45.2297/16.1575&amp;layers=Y">https://www.openstreetmap.org/#map=11/45.2297/16.1575&amp;layers=Y</a> ) i DEM ( <a href="https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-eu-dem">https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-eu-dem</a> ) .....	3
Slika 3.1 Geološka građa područja istraživanja prema Osnovnim geološkim kartama SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova Črnomelj (Bukovac i dr., 1984), Karlovac (Benček i dr., 2014), Sisak (Pikija, 1987), Ogulin (Velić & Sokač, 1982), Slunj (Korolija i dr., 1980), Bosanski Novi (Šikić, 1988) i Geološke karte SFR Jugoslavije mjerila 1: 500 000 (Savezni geološki zavod, 1970) .....	4
Slika 3.2 Kompozitni geološki stup područja istraživanja izrađen na temelju Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova Karlovac (Benček i dr., 2014), Sisak (Pikija, 1987), Slunj (Korolija i dr., 1980) i Bosanski Novi (Šikić, 1988) .....	5
Slika 3.3 Izmjena šejlova i pješčenjaka na jugozapadnim obroncima Trgovske gore . Lokacija – X-5622887,96; Y-5010497,12.....	6
Slika 3.4 Izdanak permskih pješčenjaka na Petrovoj gori. Lokacija – X-5561221,90; Y-5019677,72.....	7
Slika 3.5 Fragmenti crvenih pješčenjaka. Lokacija – X-5561262,45; Y-5010439,61.....	8
Slika 3.6 A. Kataklažirani vapnenci u kombinaciji s rožnjacima i klastitima. Lokacija – X-5547884,60; Y-5014733,60 B. Karbonati gornjeg trijasa, nalazi se na lokaciji 20 m sjevernije od lokacije A. Lokacija – X-5548000,79; Y-5014972,79.....	9
Slika 3.7 Transgresivni kontakt gornjojurskih i kredno-paleocenskih naslaga. Gornjojurski dolomiti (lijevo) prekriveni su tera rossom (desno). Lokacija – X-5547432,49; Y-5014434,59.....	11
Slika 3.8 Pješčenjaci gornje krede. Lokacija – X-5574853,95; Y-5013141,39.....	12
Slika 3.9 Tektonska karta Alpsko-dinaridskog pojasa te okolnih tektonostratigrafskih jedinica koje su nastali na Jadranskoj mikroploči (Schmid i dr., 2020)...15	15
Slika 3.10 A Distribucija naslaga karbonatnih platformi u središnjem Sredozemlju. B Karta lokacije koja prikazuje recentnu distribuciju naslaga Jadranske karbonatne platforme. C Shematski prikaz koji prikazuje glavne događaje prije odvajanja AdCP-a (Vlahović i dr., 2005).....	16

Slika 3.11 Shematski serijski presjeci koji prikazuju tektonsku evoluciju Jadranske mikroploče u odnosu na Alpsko-Dinaridski orogeni sustav (Schmid i dr., 2008).....	17
Slika 3.12 Shematska geodinamička rekonstrukcija unutarnjih Dinarida tijekom gornje jure–krede (Nirta i dr., 2020).....	18
Slika 3.13 Strukturna karta rasjednih zona između Alpa, Dinarida i Panonskog bazena (preuzeto iz Tomljenović i Csontos, 2001).....	19
Slika 4.1 Dio terenskog dnevnika s prikazom nekoliko točaka opažanja koje su arhivirane u MS Excel bazi podataka.....	20
Slika 4.2 Prikaz GIS baze podataka na kojoj je prikazana ortofoto podloga s trasama konstruiranih geoloških profila te prikupljenim terenskim točkama opažanja (izvor ortofoto podloge: <a href="https://geoportal.dgu.hr/">https://geoportal.dgu.hr/</a> ).....	21
Slika 4.3 GIS atributna tablica za terenska mjerenja provedena u ožujku 2022. godine.....	22
Slika 4.4 Digitalizirane litostratigrafske jedinice, geološke granice i rasjedi na temelju mozaika Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova Črnomelj (Bukovac i dr., 1984), Karlovac (Benček i dr., 2014), Sisak (Pikija, 1987), Ogulin (Velić & Sokač, 1982), Slunj (Korolija i dr., 1980), Bosanski Novi (Šikić, 1988) te Geološka karta SFR Jugoslavije mjerila 1:500 000 (Savezni geološki zavod, 1970).....	23
Slika 4.5 Stereonet sučelje (lijevo) (Allmendinger, 2019). Win-Tenskor sučelje (desno) (prema Delavux, 2018).....	24
Slika 4.6 Adobe Illustrator (2020) sučelje.....	25
Slika 4.7 Digitalizirana geološka karta s trasama konstruiranih geoloških profila te lokacijama točaka opažanja na kojima su vršena strukturna mjerenja.....	25
Slika 4.8 Petroleum Experts Move 2019 sučelje.....	27
Slika 5.1 Slojevitost prikazana tragovima ravnina u programu Stereonet 10. Prosječne orijentacije osi bora označene su crvenim kružićima.....	28
Slika 5.2 Pukotine prikazane polovima ravnina uz izrađeni konturni dijagram te s izdvojenim prosječnim orijentacijama pukotinskih setova u programu Stereonet 10.....	29
Slika 5.3 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprežanja za reversne rasjede. Na slici lijevo nalazi se sintetski žarišni mehanizam kojem su PBT metodom proračunate glavne osi paleonaprežanja. Na slici desno nalazi se beach-ball dijagram proračunat R. Dihedron metodom.....	31
Slika 5.4 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprežanja za prvu skupinu normalnih rasjeda. Na slici lijevo nalazi se sintetski žarišni mehanizam kojem su PBT metodom proračunate glavne osi paleonaprežanja. Na slici desno nalazi se beach-ball dijagram proračunat R. Dihedron metodom.....	32
Slika 5.5 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprežanja za drugu skupinu normalnih rasjeda. Na slici lijevo nalazi se sintetski žarišni mehanizam kojem su PBT metodom proračunate glavne osi paleonaprežanja. Na slici desno nalazi se Beach-ball dijagram proračunat R. Dihedron metodom.....	33
Slika 5.6 Strukturno-geološki profil TO-1 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda.....	29
Slika 5.7 Strukturno-geološki profil TO-2 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda.....	30
Slika 5.8 Strukturno-geološki profil TO-3 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda.....	32
Slika 5.9 Strukturno-geološki profil TO-4 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda.....	34
Slika 5.10 Strukturno-geološki profil TO-5 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda.....	36
Slika 5.11 Strukturno-geološki profil TO-6 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i	

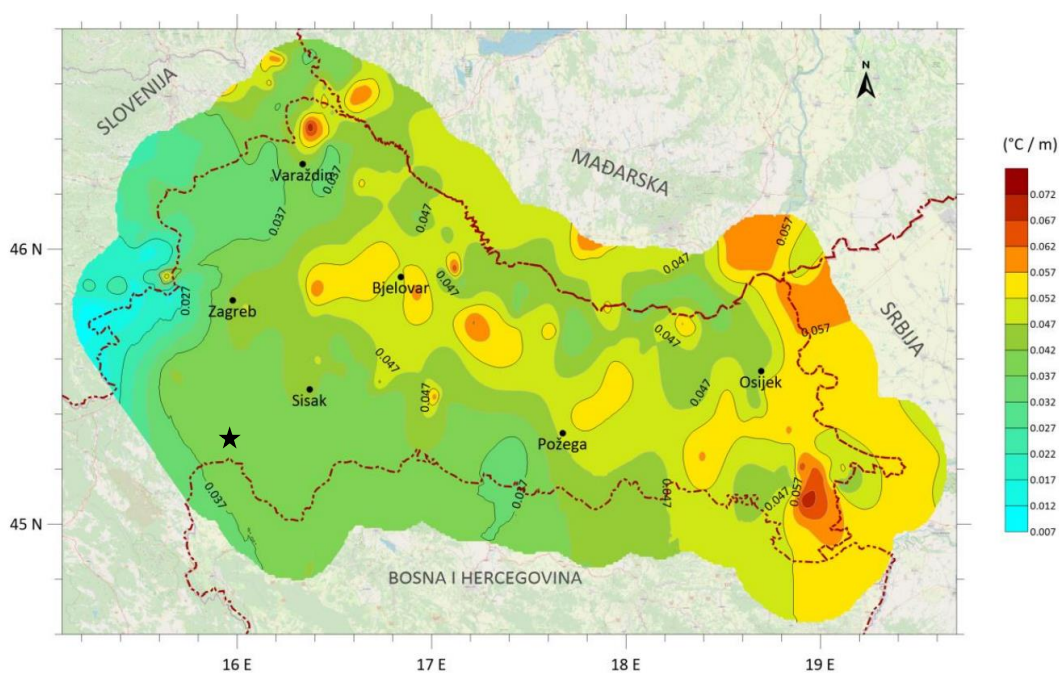
rasjeda.....	38
Slika 5.12 Ulazni podaci za 3D modeliranje podzemlja.....	39
Slika 5.13 Geološki stup naslaga pomoću kojeg su kreirani horizonti na geološkim profilima.....	40
Slika 5.14 Primjer digitaliziranja horizonata i rasjeda na geološkom profilu TO-5....	41
Slika 5.15 Kreiranje 3D strukturno-geološkog modela: a.-linijski digitalizirani geološki profili, b.-kreirane rasjedne plohe, c.-kreirane plohe horizonata, d.-cjelokupni 3D model.....	42
Slika 5.16 Proces izračuna debljine vodonosnika.....	43
Slika 5.17 Izračunate debljine trijaskog vodonosnika.....	44
Slika 5.18 Proces izrade volumena.....	45
Slika 5.19 Kreirani volumeni trijaskog vodonosnika.....	45
Slika 6.1 Fault-bend-fold geometrija rasjedanja s dupleks strukturom na lokaciji X-5548430,59; Y-5012195,77. Gornja slika prikazuje izdanak gornjojurskih vapnenaca s rožnjacima. Donja slika prikazuje skicu orijentacije rasjeda i slojeva sa stereogramima (crno-orijentacije slojeva, crveno-orijentacije rasjeda).....	49
Slika 6.2 Strukturno-geološka karta područja istraživanja s prikazanim tragovima rasjeda dobivenim 3D modeliranjem.....	50
Slika 6.3 Rekonstruirana krovina perma na području istraživanja.....	51

## POPIS TABLICA

Tablica 4.1 Dio terenskog dnevnika s prikazom nekoliko točaka opažanja koje su arhivirane u MS Excel bazi podataka.....	20
Tablica 5.1 Proračunate vrijednosti $\sigma_1$ , $\sigma_2$ , $\sigma_3$ osi za reversne rasjedne plohe. R – azimut i kut nagiba, Ls – orijentacija lineacija strija, I – reversni pomak, S – lijevi, D – desni, X – nije određen pomak.....	30
Tablica 5.2 Proračunate vrijednosti P, B, T osi za normalne rasjedne plohe. R – azimut i kut nagiba, Ls – orijentacija lineacija strija, N – normalni pomak, S – lijevi, D – desni, X – nije određen pomak.....	31
Tablica 5.3 Dobivene vrijednosti volumena vodonosnika.....	45
Tablica 5.4 Dobivene vrijednosti volumena vode u trijaskom vodonosniku.....	47

## 1. UVOD

Geotermalna voda je energetska mineralna sirovina dobivena iz ležišnih stijena visokih temperatura koja spada u obnovljive izvore energije. Osnovni je medij prijenosa geotermalne energije iz unutrašnjosti Zemlje (<https://tehnika.lzmk.hr/geotermalna-voda/>). Na području Panonskog bazena temperature, temperaturni gradijenti i toplinski tok viši su od svjetskog prosjeka. Te povoljne geotermalne karakteristike pripisuju se plitkom smještaju Mohorovičićevog diskontinuiteta (Jelić i dr., 1995). Macenić (2020) je u svojoj doktorskoj disertaciji na temelju izračunatih vrijednosti geotermalnog gradijenta za 154 bušotine na području središnje Hrvatske izradila novu geotermalnu kartu navedenog područja (Slika 1.1). Prema dobivenim rezultatima geotermalni gradijent na području središnje Hrvatske generalno iznosi  $0,037^{\circ}\text{C}/\text{m}$  što znači da su temperature na 1000 m u rasponu od približno 40 -  $50^{\circ}\text{C}$ . U odnosu na prosječne vrijednosti geotermalnog gradijenta za područje središnje Hrvatske, u području postoje i *temperaturni otoci* povišenih vrijednosti geotermalnog gradijenta pri čemu vrijednosti iznose i preko  $0,060^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Iako područje Topuskog s geotermalnog aspekta do sada nije bilo predmetom detaljnih istraživanja geotermalnog potencijala, temperature prirodnih izvora termalne vode više od  $50^{\circ}\text{C}$  govore u prilog velikog potencijala ovog prostora, predstavljajući potencijalnu okosnicu budućeg razvoja cijelog kraja, ne samo kao potencijal za lječilišni turizam, već i kao izvor energije za grijanje stambenih zgrada i za poljoprivrednu – stakleničku proizvodnju (Bohatka i dr., 2021).



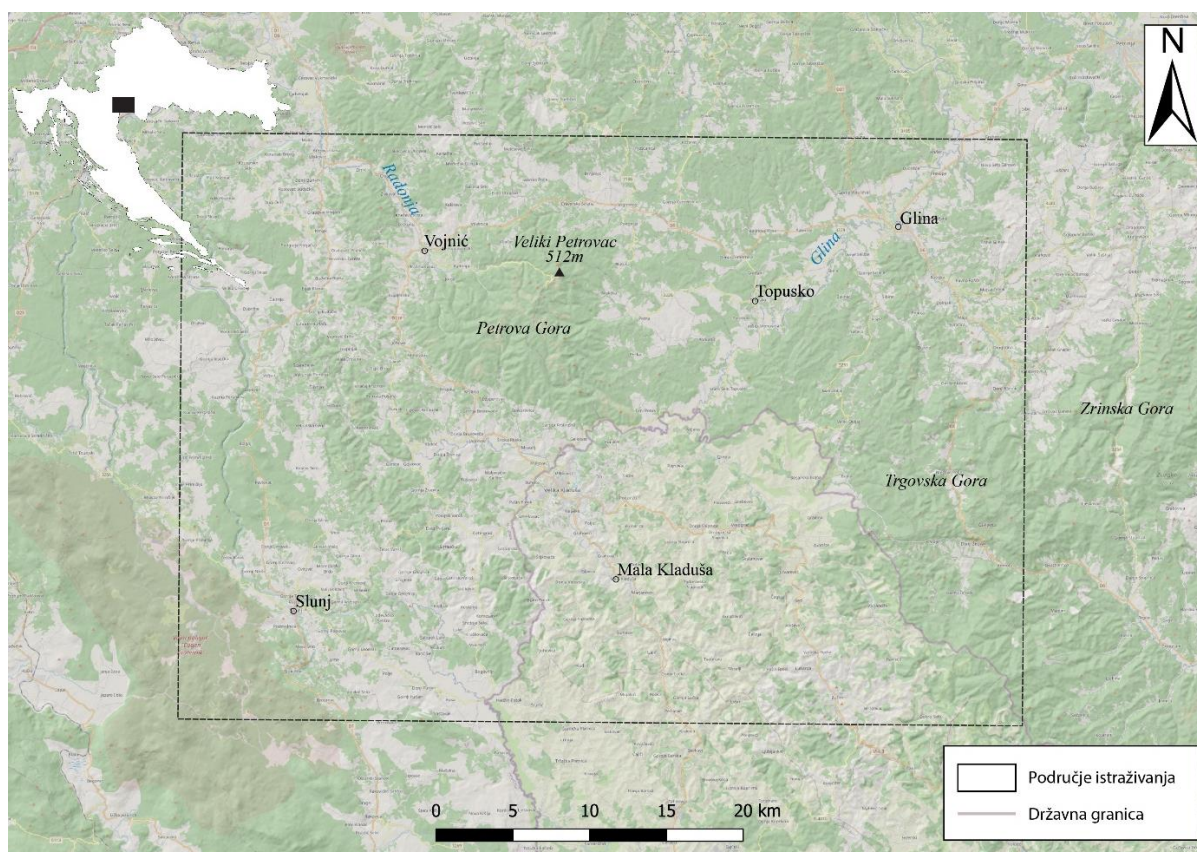
Slika 1.1 Karta geotermalnih gradijenata na području kontinentalne Hrvatske (preuzeto iz Macenić (2020))

Strukturno-geološka istraživanja koja su prikazana u ovom diplomskom radu rezultat su dijela provedenih strukturnih istraživanja u okviru HRZZ znanstveno-istraživačkog projekta *HyTheC* pod vodstvom dr. sc. Staše Borović, više znanstvene suradnice Hrvatskoga geološkog instituta. Cilj projekta su istraživanja hidrotermalnih sustava koja će doprinijeti odgovornom i održivom korištenju geotermalnog potencijala na postojećim lokalitetima. Multidisciplinarna metodologija koja se koristi u okviru projekta bazira se na izradi konceptualnih modela sustava, 3D geološku rekonstrukciju, hidrogeološku i termalnu parametrizaciju jedinica i provedbu numeričkih simulacija funkcioniranja sustava u neporemećenim uvjetima i s različitim scenarijima crpljenja. HRZZ projekt se provodi na tri pilot područja u Hrvatskoj gdje se koristi termalna voda: Daruvar, Hrvatsko zagorje i Topusko (vidi <https://www.hgi-cgs.hr/hytheC/>).

U sklopu navedenog projekta, u okviru izrade diplomskog rada na području Topuskog provedena su strukturno-geološka istraživanja koja su uključivala opsežni terenski i kabinetski rad. U sklopu strukturno-geoloških istraživanja, strukturna mjerenja i geološka prospekcija koncentrirana su na raspoloživim izdancima pretežito u permotrijaskim naslagama. Na temelju prikupljenih strukturnih podataka izrađeni su stereogrami, konstruirani su geološki profili te je izrađen trodimenzionalni model područja istraživanja. Kabinetski rad obuhvaćao je i izradu GIS baze podataka te digitalizaciju Osnovnih geoloških karata koje pokrivaju područje istraživanja. Osim Osnovnih geoloških karata bivše SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova *Črnomelj* (Bukovac i dr., 1984), *Karlovac* (Benček i dr., 2014), *Sisak* (Pikija, 1987), *Ogulin* (Velić & Sokač, 1982), *Slunj* (Korolija i dr., 1980), *Bosanski Novi* (Šikić, 1988) i Geološke karte SFR Jugoslavije mjerila 1: 500 000 (Savezni geološki zavod, 1970), kao podloga za terenska istraživanja korišten je *Open Street map* i digitalne ortofoto podloge dostupne na Geoportalu Državne geodetske uprave (<https://geoportal.dgu.hr/#/>). Cilj ovog rada bio je na temelju postojećih te novoprikupljenih podataka u sklopu strukturno-geoloških istraživanja prikazati strukturno-geološke odnose u podzemlju na području istraživanja koristeći strukturno-geološke profile u 2D prikazu te 3D model koji je sačinjen na temelju profila.

## 2. GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Područje istraživanja u širem smislu obuhvaća Banovinu i krajnji sjeverni dio Bosne i Hercegovine (Slika 2.1). Generalno je smješteno između Vojnića, Male Kladuše te Gline. Središte istraživanog područja čini grad Topusko čija se privredna djelatnost temelji na iskorištavanju termalnih voda u sklopu zdravstvenog lječilišnog kompleksa. U morfološkom smislu, teren je generalno brdsko-brežuljkastog karaktera. Na sjeveru se ističe Petrova gora s najvišim vrhom Veliki Petrovac 512 m.n.m (Slika 2.1). Prema jugu i jugozapadu teren karakteriziraju brda, brežuljci i humci prosječne visine 300-450 m.n.m. Najniže dijelove čine doline rijeka, od kojih izdvajamo rijeku Glinu s pritokama Glinica, Kladušnica i Čemernica te rijeku Radonju s pritokama Kanal i Vojišnica (Korolija i dr., 1981; Šikić, K., 1988). Područje pripada kontinentalnoj Hrvatskoj te je i klima umjereno kontinentalna. Srednje godišnje temperature zraka, s najnižim vrijednostima na vrhovima Zrinske i Petrove gore, kreću se između 7 °C i 11 °C (Zaninović, K. i dr., 2008).

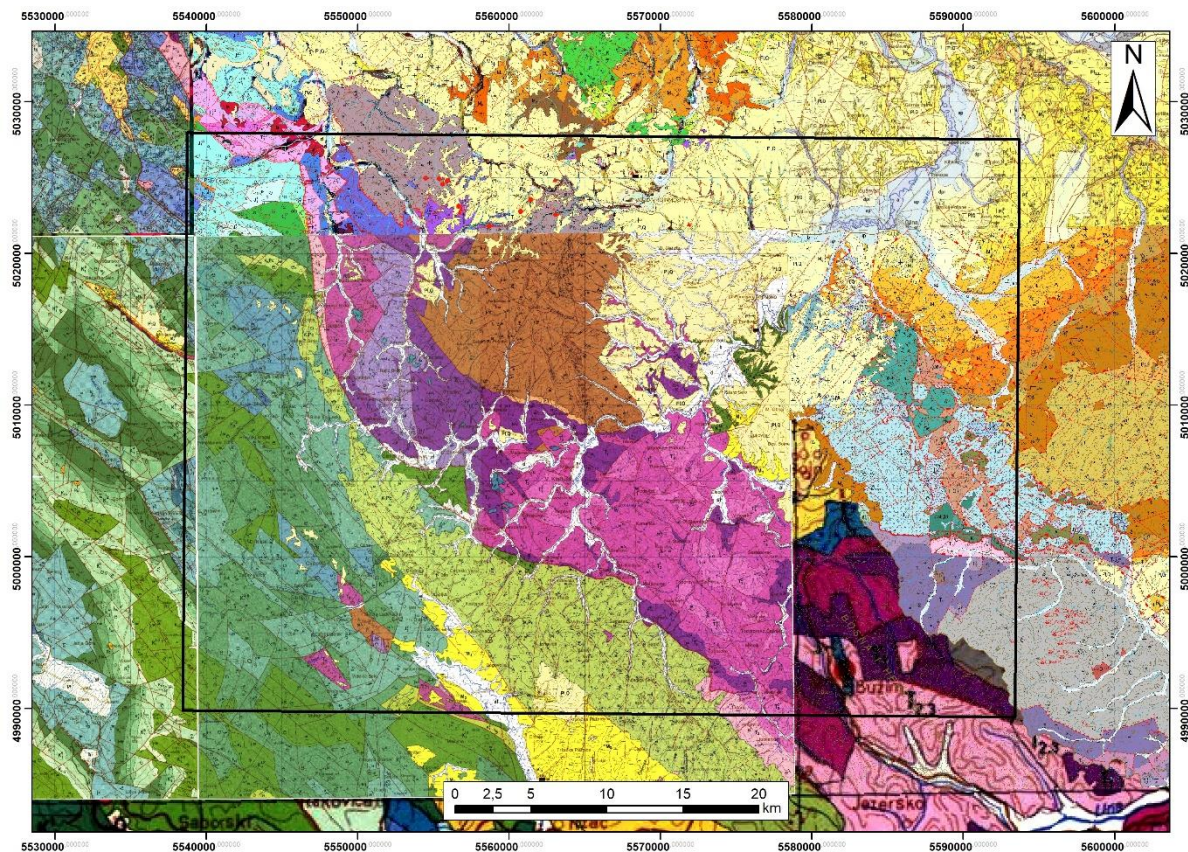


Slika 2.1 Karta područja istraživanja izrađena u QGIS-u. Podlogu čine Open Street Map (<https://www.openstreetmap.org/#map=11/45.2297/16.1575&layers=Y>) i DEM (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-eu-dem>)

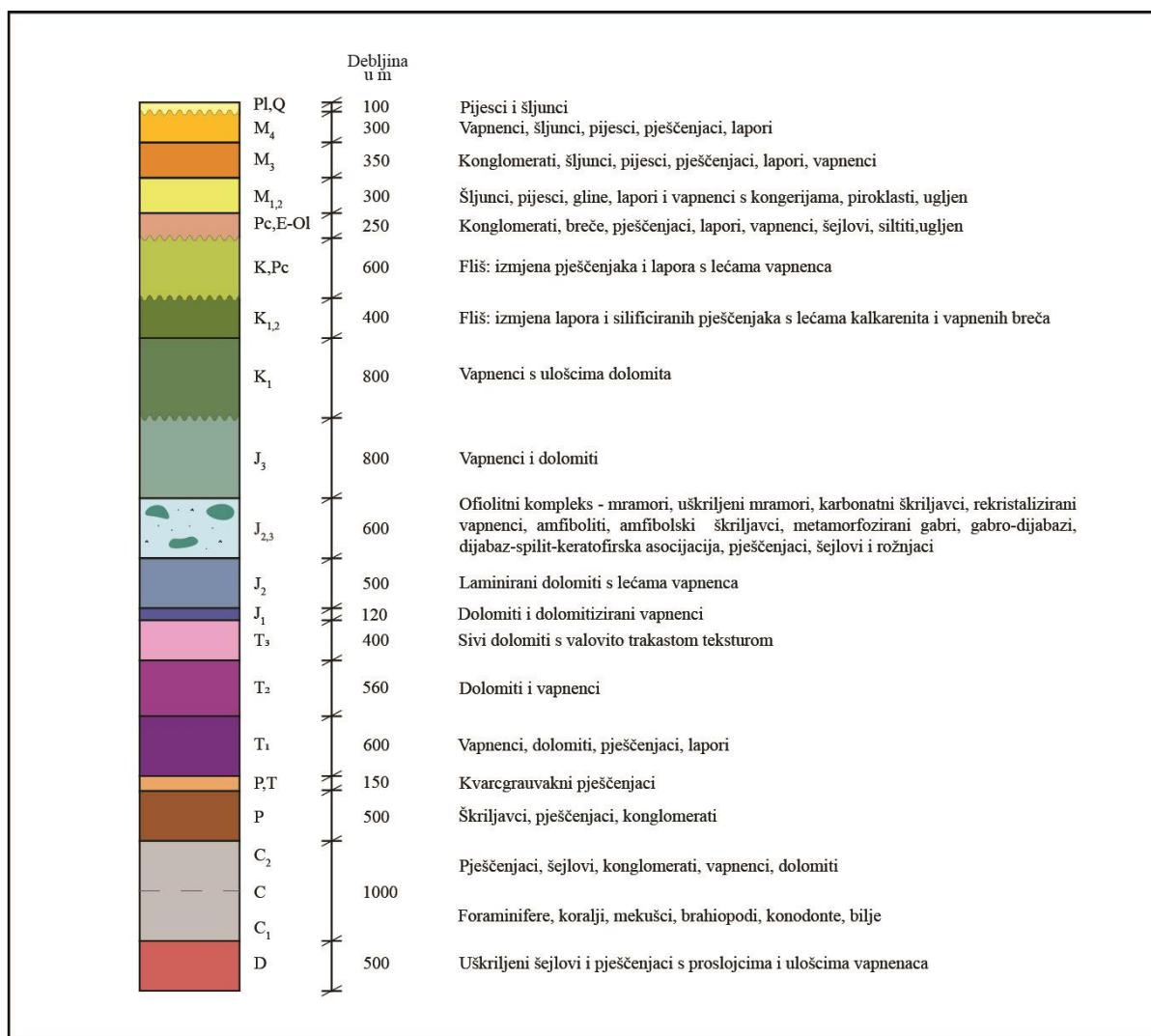
### 3. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

#### 3.1. STRATIGRAFSKE I SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE

Na temeljnu Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova *Karlovac* (Benček i dr., 2014), *Sisak* (Pikija, 1987), *Slunj* (Korolija i dr., 1980) i *Bosanski Novi* (Šikić, 1990) opisana je geološka građa podzemlja (Slika 3.1). Navedeni listovi Osnovnih geoloških karata također su korišteni za izradu kompozitnog geološkog stupa slijeda naslaga, koji je kasnije korišten i u izradi strukturno-geoloških profila (Slika 3.2).



Slika 3.1 Geološka građa područja istraživanja prema Osnovnim geološkim kartama SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova Črnomelj (Bukovac i dr., 1984), Karlovac (Benček i dr., 2014), Sisak (Pikija, 1987), Ogulin (Velić & Sokač, 1982), Slunj (Korolija i dr., 1980), Bosanski Novi (Šikić, 1988) i Geološke karte SFR Jugoslavije mjerila 1: 500 000 (Savezni geološki zavod, 1970)



Slika 3.2 Kompozitni geološki stup područja istraživanja izrađen na temelju Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova Karlovac (Benček i dr., 2014), Sisak (Pikija, 1987), Slunj (Korolija i dr., 1980) i Bosanski Novi (Šikić, 1988)

U narednim potpoglavljima opisat će se litostratigrafska i kronostratigrafska obilježja slijeda naslaga koje nalazimo na području istraživanja, pri čemu je slijed opisan idući od stratigrafski najstarijih prema sve mlađim naslagama.



### 3.1.1. Devon (D)

Na Trgovskoj gori, na lijevoj obali potoka Ljubine, smještena su dva nalazišta karbonatnih uložaka devonske starosti (Slika 3.1). Unutar izmjene šejlova, silita i pješčenjaka nađeni su ulošci glinovitih, limonitiziranih i uškrljenih vapnenaca debljine od nekoliko cm do najviše 50 cm. Debljine devonskih naslaga nisu poznate (Šikić, 1990).

### 3.2.2. Karbon (C)

Prema Šikić (1990), naslage karbona izdanjuju na krajnjem jugoistočnom dijelu istraživanog područja (Slika 3.1). Iako podjela karbonskih sedimenata za sada nije provedena, na Trgovskoj gori je dokazana prisutnost starijeg, srednjeg i mlađeg karbona. Karbonske naslage predstavljene su dominantno klastičnim i podređeno karbonatnim naslagama. Klastiti su zastupljeni šejlovima, silitima, pješčenjacima i rijetko brečokonglomeratima koji dolaze u postupnim prijelazima i učestalim ritmičkim izmjenama (Slika 3.3). Pojave niskog stupnja metamorfoze uslijed blagog porasta P-T uvjeta zapažene su u sedimentima, a izražene su u planarnom rasporedu listićavih minerala. Karbonatne naslage čine dolomitizirani i ankeritizirani vapnenci koje kao proslojke nalazimo unutar klastita. U starijim dijelovima karbonskih naslaga prevladavaju šejlovi, šejl-siliti i siliti, a izmjenjuju se sa slojevima i proslojcima sitnozrnijih pješčenjaka. Pješčenjaci su sitnozrnasti do krupnozrnasti te sastavom i strukturom pripadaju tipu grauvaka, subgrauvaka te podređeno kvarc-grauvaka i protokvarcita. Brečokonglomerati se sastoje od fragmenata poluzaobljenih valutica žilnog kvarca, kvarcita, rožnjaka, kvarcnih pješčenjaka i kvarc-tinčastih škrljavaca. Pretpostavljena debljina karbonskih naslaga varira od 600 do 1000 m.



Slika 3.3 Izmjena šejlova i pješčenjaka na jugozapadnim obroncima Trgovske gore . Lokacija – X-5622887.96; Y-5010497.12

### 3.1.3. Perm (P)

Prema Korolija i dr. (1981), permske naslage pripadaju klastičnom razvoju mlađeg paleozoika. Permske naslage nalazimo na dva lokaliteta – Petrovoj gori i Kremenoj glavi (Slika 3.1). U starijem dijelu permskih naslaga prevladavaju izmjene sitnozrnastih i srednjeznastih klastita. Predstavljeni su kontinuiranom serijom u kojoj se ritmički izmjenjuju šejlovi, siltiti, pješčenjaci i rjeđe sitnozrni konglomerati. Prostorno dominiraju različiti tipovi pješčenjaka sa čestim proslojcima šejlova i sitnozrnih konglomerata. Sljedeći litološki članovi su siltiti, sitnozrnati ekvivalenti grauvaknih pješčenjaka, te peliti koji su izgrađeni od sitnolistićavog sericita, minerala glina i mikrokristalastog kvarca. Sitnozrni konglomerati posljednji su varijetet starijeg nivoa. Po sastavu su analogni grauvaknim pješčenjacima s kojima se izmjenjuju. Gledano u cjelini, permski je kompleks naslaga sličan bočnim ekvivalentima *trogkofelskih* naslaga. Krajem perma grauvakni pješčenjaci prekriveni su kvarcnim pješčenjacima i konglomeratima. Pješčenjaci su učestaliji član u cijelom permskom slijedu (Slika 3.4), u kojima je dominantan kvarc, dok feldspati gotovo sasvim izostaju. Konglomerati se pojavljuju lokalno u asocijaciji s pješčenjacima. Veličina valutica je od 0,5 do 2 cm. Mineraloški sastav valutica isti je kao kod pješčenjaka, što upućuje na djelomično okopnjavanje u vrijeme njihovog stvaranja. Paleozojska klastična sedimentacija završava sedimentacijom pješčenjaka i konglomerata. Debljina permskih naslaga je 500 m (Korolija i dr., 1981).



*Slika 3.4 Izdanak permskih pješčenjaka na Petrovoj gori. Lokacija – X-5561221.90; Y-5019677.72*

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

Prema Korolija i dr., (1981) permotrijaske naslage čine sitnozrnasti ciglastocrveni pješčenjaci (Slika 3.5) i pjeskovito-glinoviti škriljavci koji su izdvojeni kao zaseban litostratigrafski član. Gornjopermski slijed kvarcom bogatih grauvaka predstavlja prijelazni nivo iz gornjeg paleozoika u donji trijas, odnosno karbonatne subarkoze. Permotrijaske naslage nalazimo na južnim padinama Petrove gore (Slika 3.1). Analizirani uzorci određeni su kao šejlovi i pješčenjaci. Pješčenjaci su zapaženi u obliku dva varijeteta: kvarcne-grauvake i litične-feldspatske grauvake te sadrže visok postotak kvarca. Prema Šikić (1988) debljina permotrijaskih naslaga iznosi između 120 i 160 m.



Slika 3.5 Fragmenti crvenih pješčenjaka. Lokacija – X-5561262.45; Y-5010439.61

### 3.1.5. Trijas (T)

Naslage donjeg trijasa ( $T_1$ ) prema Korolija i dr. (1981) u normalnoj superpoziciji prate razvoj gornjeg paleozoika (Slika 3.2). Na terenu donjotrijaske naslage izdanjuju istočno od Petrove gore gdje su u rasjednom kontaktu s permskim naslagama dok su idući prema jugu i jugozapadu u rasjednom kontaktu s naslagama donje jure i donje krede (Slika 3.1). Prema Korolija i dr. (1981), u sastavu prevladavaju tanko uslojeni tinjčasti škriljavi pješčenjaci s elementima intrabazenskih karbonatnih stijena. Karbonati se pojavljuju kao dolomitični kalkareniti koji u obliku leća prelaze u klastite. Za donji trijas karakterističan je porast terigene komponente gdje se izmjenjuju pješčenjaci, siltiti i peliti. Oni su osnovni članovi donjeg dijela *verfenskih naslaga*, dok u gornjem dijelu slijeda naslaga količina terigene komponente opada i postupno prevladava karbonatna sedimentacija. Prijelaz *sajskih u kampilske naslage* je kontinuiran. Sastoje se od tinjčastih pješčenjaka koji se izmjenjuju sa sivozelenim škriljavim laporima koji prema višim dijelovima postupno prelaze u karbonatne lapore, a zatim u vapnence i dolomite. Naslage srednjeg trijasa ( $T_2$ ) pretežno su izgrađene od karbonatnih stijena u kojima dominiraju dolomiti (Slika 3.2). Karbonatne stijene anizika zastupane su razvojem dolomita i vapnenaca među kojima su prostorno rašireniji sivi do tamnosivi trošni dolomiti s ulošcima pločastih žućkastosivih pjeskovitih vapnenaca. U odnosu na anizik, u ladiničkim sedimentima nisu pronađeni fosilni ostaci. Uz trošne šejlove pojavljuju se tufovi, sitnozrni pješčenjaci te proslojci pločastih vapnenaca s rožnjacima. Gornji trijas ( $T_3$ ) obilježavaju isključivo karbonatne naslage (Slika 3.6). Dolomiti, koji se nalaze sjeverno do Veljuna, u reversnom su rasjednom kontaktu

s vapnencima donje i gornje krede. Iako je teško utvrditi kojem nivou gornjeg trijasa pripadaju dolomiti na međusobno odvojenim lokalitetima, zajednička karakteristika im je pojava sferoidalnih ili elipsoidnih oblika s koncentričnim ovojnica. S obzirom da nigdje nije sačuvan kompletan stratigrafski slijed naslaga gornjeg trijasa ne može se utvrditi njihova stvarna debljina (Korolija i dr., 1981).



*Slika 3.6 A. Kataklazirani vapnenci u kombinaciji s rožnjacima i klastitima. Lokacija – X-5547884.60; Y-5014733.60 B. Karbonati gornjeg trijasa, nalazi se na lokaciji 20 m sjevernije od lokacije A. Lokacija – X-5548000.79; Y-5014972.79*

### 3.1.6. Jura (J)

Jurske sedimente nalazimo na brojnim, međusobno odvojenim lokalitetima u jednoličnom karbonatnom razvoju šireg područja Banije (Slika 3.1). Dolomiti donje jure (J<sub>1</sub>) predstavljaju kasnodijagenetske dolomite. Ovisno o stupnju dolomitizacije primarnog karbonatnog sedimenta mogu se naći varijeteti od dolomitičnog vapnenca do dolomita. U nižim dijelovima dolomiti imaju izraženu valovitu laminiranu organogeno-sedimentnu teksturu dok su naviše sitno do krupnozrnati, sastavljeni od agregata dolomitnih zrna (Magaš i dr., 2014). Debljina naslaga iznosi približno 120–150 m (Korolija i dr., 1981). Naslage srednje jure (J<sub>2</sub>) izgrađene su od sivosmeđih do tamnosivih kristalastih dolomita, uz mjestimično pojavljivanje leća tamnosivih dobro uslojenih vapnenaca čija je debljina slojeva 20-80 cm, dok je ukupna debljina srednjajurskih naslaga 500 m (Korolija i dr., 1981).

U odnosu na karbonatnu juru, najvećim dijelom jurski kompleks stijena čini magmatsko – sedimentni (ofiolitni) kompleks (J<sub>2,3</sub>) koji je rasprostranjen na područje Banije te čini krajnji sjeverozapadni dio ofiolitnog pojasa Unutrašnjih Dinarida (Šikić (1990); Slika 3.1). Unutar ofiolitnog kompleksa mogu se izdvojiti dvije skupine stijena. Prema Šikić (1990), prvu skupinu

čine stijene unutar kojih prevladavaju niskometamorfozirani sedimenti, dok su u drugu skupinu svrstani niskometamorfozirani bazični magmatiti. Mramori, uškrljeni mramori, karbonatni škriljavci i djelomice rekristalizirani vapnenci (M) prisutni su unutar stijenskog kompleksa parametamorfita niskog stupnja u obliku uškrljenih proslojaka i leća do debljih slojeva. Amfiboliti i amfibolski škriljavci (A) su ortometamorfne stijene masivna izgleda s izraženom škriljavom teksturom. Metamorfozirani gabri i gabro-dijabazi ( $v$ ,  $v\beta$ ) pojavljuju se kao mala tijela i tanje/deblje žile. Dijabaz-spilit-keratofirska asocijacija ( $\beta\beta$ ,  $\beta\beta ab$ ,  $\beta\beta ab\eta$ ,  $\eta$ ) čine bazične do neutralne magmatske stijene koje su jedan od osnovnih članova u građi magmatsko-sedimentnog kompleksa (Slika 3.2). Sedimentne stijene ofiolitnog kompleksa zastupljene su pješčenjacima, šejlovima i rožnjacima te podređeno siltitima, laporovitim i pjeskovitim šejlovima i sitnozrnim vapnencima (Šikić, 1990).

Naslage gornje jure ( $J_3$ ) nalazimo na Z-JZ području istraživanja (Slika 3.1). Vertikalno i lateralno se izmjenjuju svijetlosivi kristalasti dolomiti sa svijetlosmeđim i sivim vapnencima. U završnom slijedu naslaga jure u neprekinutom slijedu taloženja postepeno prevladavaju vapnenci dok su dolomiti i dolomitični vapnenci rjeđi (Slika 3.7). Ukupna debljina starije jurskih naslaga iznosi oko 800 m (Korolija i dr., 1981).



*Slika 3.7 Transgresivni kontakt gornjojurskih i kredno-paleocenskih naslaga. Gornjojurski dolomiti (lijevo) prekriveni su tera rossom (desno). Lokacija – X-5547432.49; Y-5014434.59*

### 3.1.7. Kreda (K)

Prema Korolija i dr. (1981), naslage donje krede ( $K_1$ ) u transgresivnom su odnosu prema starijim naslagama (Slika 3.2). Vapnenci su mikritni, rijetko oolitični, dobro uslojeni s debljinom slojeva 15-20 cm. Vertikalno i lateralno se izmjenjuju s dolomitima koji dolaze u formi nepravilnih uložaka. Gornjokredne ( $K_2^{1,2}$ ) naslage izgrađene su od zelenkastosivih lapora, sitnozrnih tamnih silificiranih pješčenjaka te tankih leća tamno obojenih karbonatnih breča (Slika 3.8). Dobro su uslojene, s debljinama slojeva od 1-25 cm. Kod Žrvenice (Slika 3.1) mlađa kreda je dobrim dijelom transgresivna, dok je na lokalitetu Podcetin u tektonskom kontaktu sa sajskim klastitima (Slika 3.1). Sedimentni kompleks ima flišni – turbiditni karakter. U sastavu kredno-paleocenskih klastita (K,Pc) dominiraju karbonatni lapori i laporoviti vapnenci s tanjim ulošcima sitnozrnih pješčenjaka. Facijes pločastih crvenih i sivih vapnenaca s rožnjacima razvijen je u obliku leća. Sedimenti pokazuju turbiditne karakteristike gdje se različiti litološki članovi međusobno odnose nepravilno prelazeći jedni u druge vertikalno i lateralno. Ukupna debljina krednih naslaga iznosi 1800 m (Korolija i dr., 1981).



*Slika 3.8 Pješčenjaci gornje krede. Lokacija – X-5574853.95; Y-5013141.39*

### 3.1.8. Paleocen, eocen – oligocen (Pc, E – Ol)

Paleocenski (Pc) sedimenti flišnih karakteristika rasprostranjeni su u zapadnom dijelu Zrinske gore (Slika 3.1). Turbiditni klastični sedimenti paleocena taloženi su iz mutnih tokova. Zastupljeni su pješčenjacima, siltitima, kalk-siltitima, siltoznim do pjeskovitim šejlovima, laporovitim šejlovima i glinovitim laporima, podređeno konglomeratičnim pješčenjacima i konglomeratima te proslojcima često pjeskovitih bioklastičnih i sitnozrnih vapnenaca. Litoareniti, grauvske, te kvarcgrauvske su zastupljeni među pješčenjacima. Vapnenci pripadaju biosparitima i biomikritima. Prema Šikić, (1990) naslage eocena i oligocena (E – Ol) transgresivnog su karaktera te se sastoje se od dva litofacijsno različita dijela sedimenata. Stariji dio sastoji se od bazalnih breča i konglomerata, pješčenjaka, šejlova, lapora, laporovitih vapnenaca, ugljevitih lapora i glina te smeđeg ugljena. Krupnozrnati bazalni klastiti s fragmentima i valuticama sastoje se isključivo od stijena iz bliže okolice i neposredne podloge, uglavnom su to metamorfiti, amfiboliti, serpentiniti i druge stijene ofiolitnog kompleksa. Nakon odlaganja grubih bazalnih klastita formiraju se jezerski i jezersko-barski okoliši s taloženjem sitnozrnatih klastičnih i ugljevitih sedimenata. Mlađi dio naslaga čini serija sedimenata pretežno krupnoklastičnog sastava s karakteristikama molase koja se sastoji od izmijene konglomerata, konglomeratičnih pješčenjaka, siltita, pjeskovitih šejlova i lapora. Konglomerati su petromiktne tipa dok se krupnozrnati do srednjezrnati pješčenjaci mogu svrstati u konglomeratične grauvske i grauvske s prijelazima u subgrauvske. Sastoje se od kvarca, kiselih plagioklasa i raznovrsnih čestica stijena. Matriks je glinovito-sericitno-kloritni (Šikić, 1990).

### 3.1.9. Miocen (M)

Prema Pavelić i dr. (2003) miocen je podijeljen na **donji (M<sub>1,2</sub>)** – otnang, karpat, **srednji (M<sub>3</sub>)** – baden, sarmat i **gornji (M<sub>4</sub>)** – panon, pont. Otnanške naslage (M<sub>2</sub>) transgresivne su slatkovodne naslage taložene u jezerskim, riječno-jezerskim i povremeno barskim okolišima. Sedimenti otnanga su zastupljeni konglomeratima, pješčenjacima, šljuncima, pijescima, glinama, laporima, vapnencima, piroklastitima, bentonitom i ugljenom. Razlikuju se stariji i proksimalno smješteni krupnozrnati terigeni klastiti od mlađih glinovito-laporovito-vapnenačkih sedimenata vezanih za distalna i mirnija područja bazena. Klastiti su predstavljeni poluvezanim polimiktinim konglomeratima, konglomerat-pješčenjacima, pješčenjacima, šljuncima, pijescima, pjeskovitim glinama i glinama s vapnenačkim konkcijama.



Glinovito-karbonatna serija sastoji se od izmjene karbonatnih glina, lapora i vapnenaca s tankim prosljocima i lećama pijesaka i šljunaka. Debljina naslaga procjenjuje se na 250-300 m (Šikić, 1990).

Prema Šikić, (1990), transgresivni sedimenti badena (M<sub>3</sub>) leže diskordantno na starijim stijenama (Slika 3.2). U bazalnom dijelu taloženi su grublji klastiti. Generalno se sastoje od izmjene konglomerata, šljunaka, pijesaka, pješčenjaka, pjeskovitih glina i lapora te manjih uložaka i prosljokova vapnenačkih pješčenjaka, biogenih i bioklastičnih vapnenaca. Unutar starijih badenskih sedimenta zapažena je prisutnost eksplozivne vulkanske aktivnosti u obliku piroklastita. Na starijim badenskim sedimentima u 'bazenskom' okolišu talože se pretežno laporoviti sedimenti s prosljavanjem karbonatnih pješčenjaka, bioklastičnih i biomikritskih vapnenaca. U mlađem badenu zapaženi su krupni klastiti i blokovi biolitita i bioklastičnih vapnenaca. Značajan element badena su vapnenački elementi grebensko-prigrebenskog facijesa koji se nalaze kao mala tijela u klastičnim sedimentima mlađeg badena. Grebenski facijes predstavljen je litotamnijskim, koraljno-litotamnijskim i briozojsko-litotamnijskim biohermama, dok je prigrebenski facijes predstavljen biokalkaruditima i biokalkarenitima. Sarmatske naslage u kontinuiranom slijedu prate badenske sedimente. Raznolikost i bočno smjenjivanje facijesa onemogućuje detaljniju podjelu unutar sarmatskih naslaga. U mlađem dijelu naslaga zastupljeni su terigeni klastiti karakteristični za nemirne, priobalne i plitkovodne predjele. Zbog velikog utjecaja kopnenog zaleđa u učestaloj izmjeni talože se polimiktni konglomerati, konglomeratični pješčenjaci, šljunci, šljunkoviti pijesci, pijesci, pješčenjaci, pjeskovite gline i lapori. U područjima dubljih i mirnijih okoliša dominiraju pjeskoviti i glinoviti lapori, vapnenački lapori i vapnenci s 95% CaCO<sub>3</sub>. Na prijelazu u panon povećan je donos terigenog detritusa s jakim utjecajem dotoka slatkih voda. Ukupna debljina naslaga iznosi 350 m (Šikić, 1990).

Prema Šikić (1990) panonski sedimenti (M<sub>4</sub>) kontinuirano slijede na sarmatskim naslagama (Slika 3.2). Donji panon zastupljen je pješčanim i pješčano-laporovitim melanopsidnim facijesima. Sjeveroistočno od naselja Maja (Slika 3.1) nalazimo klastično vapnenačko-laporoviti facijes *Croatica* naslaga. Donjpanonski sedimenti predstavljeni su tanko do laminarno uslojenim pijescima i pjeskovitim laporima, koji se u mlađem dijelu izmjenjuju s glinovitim i vapnenačkim laporima. Na područjima s razvojem *Croatica* naslaga kontinuirano slijedi laporoviti facijes *Banatica* naslaga. Ukupna debljina gornjeg miocena iznosi 300 m.

### 3.1.10. Pliocen, kvartar (Pl, Q)

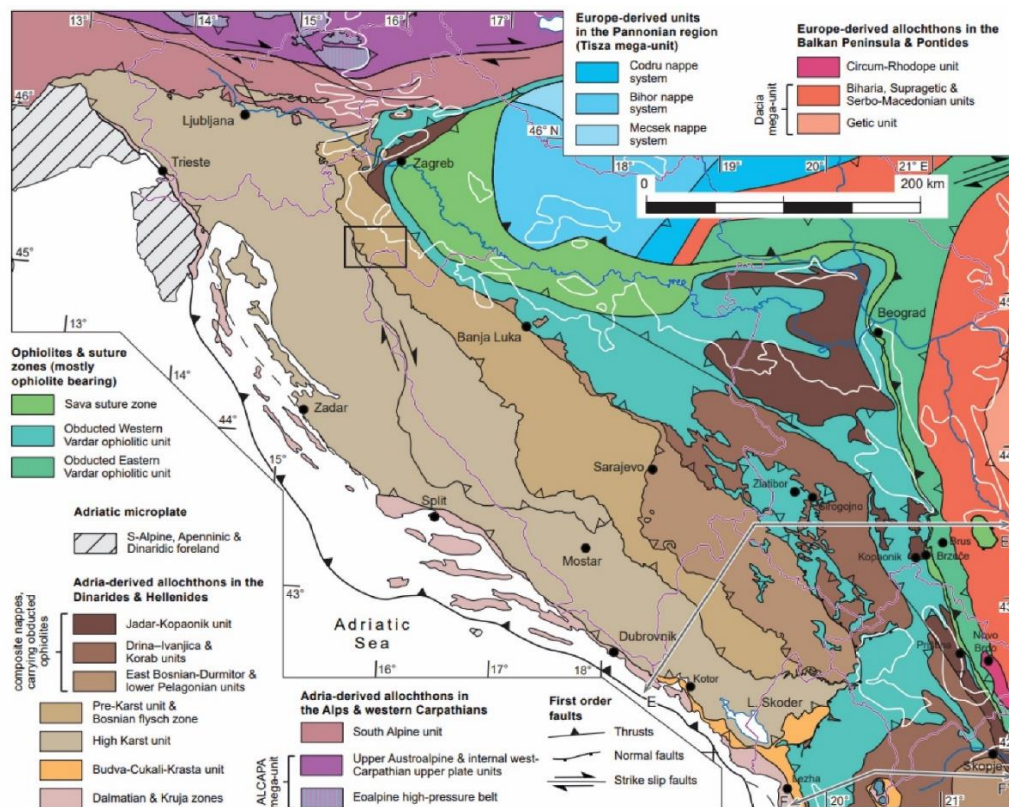
Terigeni klastiti diskordantno prekrivaju velike površine terena (Slika 3.1). Od sedimenata pretežno su zastupljeni pijesci i šljunci, podređeno konglomerati, pješčenjaci, siliti, gline te tanki ulošci i proslojci gline i ugljen. Najzastupljeniji sedimenti, pijesci i šljunci, nepravilno se izmjenjuju. Dolaze kao proslojci, leće i ulošci. Razmatrane naslage često su prožete željezovitom supstancom, sadrže limonitom vezane siltite, pješčenjake i konglomerate u obliku nepravilnih konkrecija, okorina, debljih uložaka ili slojeva. Maksimalna debljina naslaga doseže do 100 m (Šikić, 1990).

### 3.1.11. Kvartar

Deluvijalne naslage (d) sastavljene su iz žute pjeskovite ilovače u kojoj ima pretaloženog šljunka, nezaobljenih fragmenata stijena razne granulacije i limonitnih konkrecija. Prostorno su ograničene i prekrivaju blago nagnute padine terena (Slika 3.1). Barski sedimenti (b) izdvojeni su u dolini rijeke Gline i nekih njezinih pritoka (Slika 3.1). Taloženi su u niskim područjima za koje se pretpostavlja da se postepeno spuštaju. Razvijeni su u obliku tamnosivih i crnih sitnozrnih glina u kojima ima organskih ostataka i mjestimice uloženih pijesaka ili sitnih šljunaka. Aluvijalne naslage (a) nalaze se u dolinama rijeka Korane i Gline te njihovih pritoka (Slika 3.1). Sedimenti su nastali trošenjem okolnih stijena. Sastoje se od izmijene šljunaka, pijeska i pjeskovitih glina (Korolija i dr., 1981). Prema Šikić (1990) ukupna debljina kvartarnih sedimenata ne prelazi 80 m.

### 3.2. TEKTONSKA EVOLUCIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

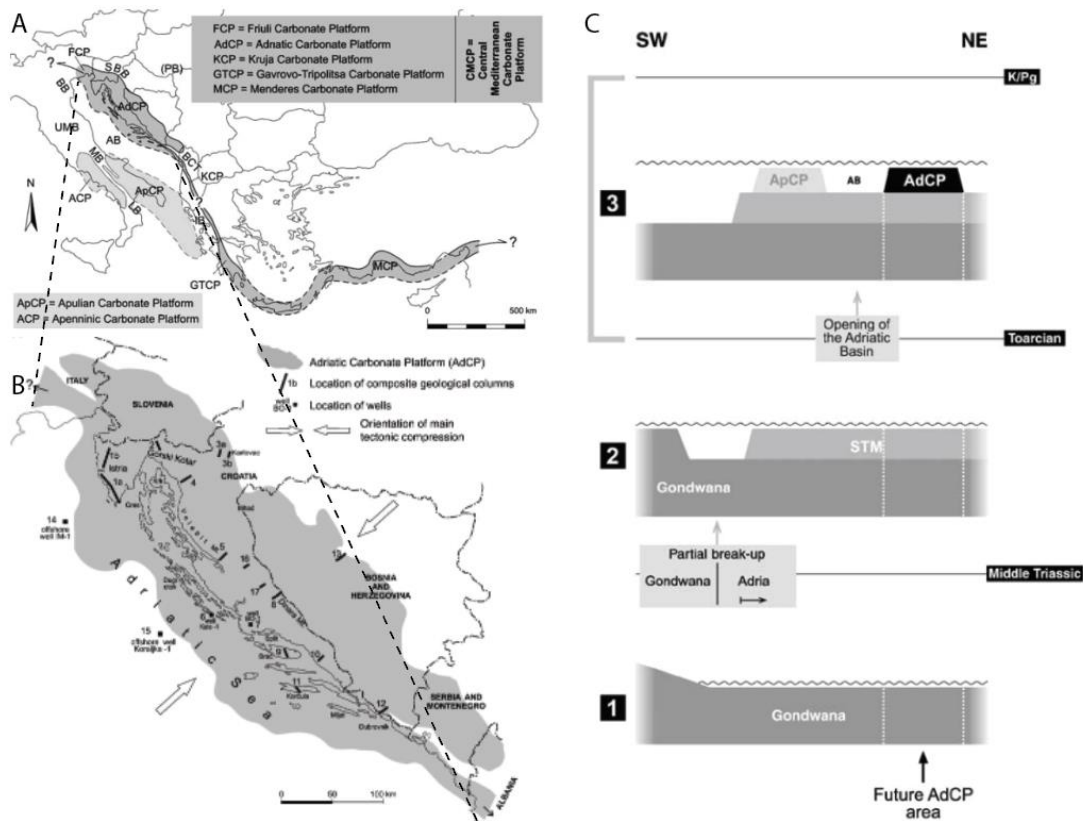
Područje istraživanja nalazi se u prijelaznoj/suturnoj zoni Jadranske mikroploče i Europske ploče tj. Tisa-Dacia bloka (npr. Schmid i dr., 2008; 2020 s referencama). Regionalno, područje istraživanja pripada *Unutrašnjm Dinaridima*, koji su dijelom sačinjeni od tektonostratigrafskih jedinica *i) obduciranog ofiolitnog pojasa*, *ii) pred-krške navlake te bosanskog fliša* (Slika 3.9). Istočni dio područja istraživanja prekriven je neogenskim naslagama *Panonskog bazenskog sustava* koji prekriva predneogensku podlogu.



Slika 3.9 Tektonska karta Alpsko-dinaridskog pojasa te okolnih tektonostratigrafskih jedinica koje su nastale na Jadranskoj mikroploči. (Schmid i dr., 2020)

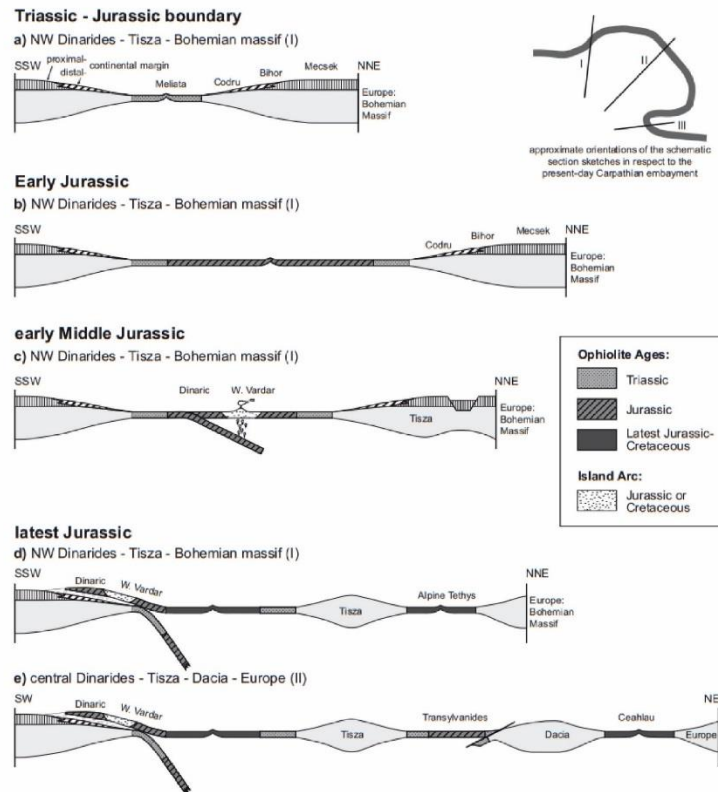
Prema Vlahović i dr. (2005) te Schmid i dr. (2008) Dinaride čine dva različita dijela: i) Vanjski Dinaridi koji su sastavljeni većinom od karbonatog slijeda taloženog na karbonatnoj platformi te ii) Unutrašnji Dinaridi koji čine dubljemorske karbonatno do siliciklastične sedimente koji su taloženi u dubljemorskim okolišima, a koji su danas smješteni između Vanjskih Dinarida i Panonskog bazena. Tektonski razvoj Jadranske mikroploče započeo je duž sjevernog ruba Gondwane, na prostranoj tektonskoj ploči gdje su se inicijalno taložile mješovito siliciklastično-karbonatne naslage u periodu od karbona do srednjeg trijasa. Inicijacijom tektonske aktivnosti koja je kulminirala regionalnim srednjotrijaskim vulkanizmom formirana je Južnotetijska karbonatna megaplatforma (STM) (vidi Vlahović i dr., 2005 za detalje).

Dezintegracija megaplatforme rezultirala je uspostavom Jadranske (AdCP), Apeninske (ACP) i Apulijske (ApCP) karbonatne platforme (Slika 3.10) koje su bile odvojene dubljim morskim bazenima (Vlahović i dr., 2005). Taloženje na Jadranskoj karbonatnoj platformi, koja je obuhvaćala i današnje Dinaride, trajalo je u generalnom kontinuitetu od donje jure do kraja krede/paleogena kada je došlo do regionalne emerzije. U nekim predjelima trajalo je sve do oligocena/miocena, do završetka izdizanja Dinarida. Debljina istaloženog karbonatnog slijeda je bila između 3500 i 5000 m (Vlahović i dr., 2005).



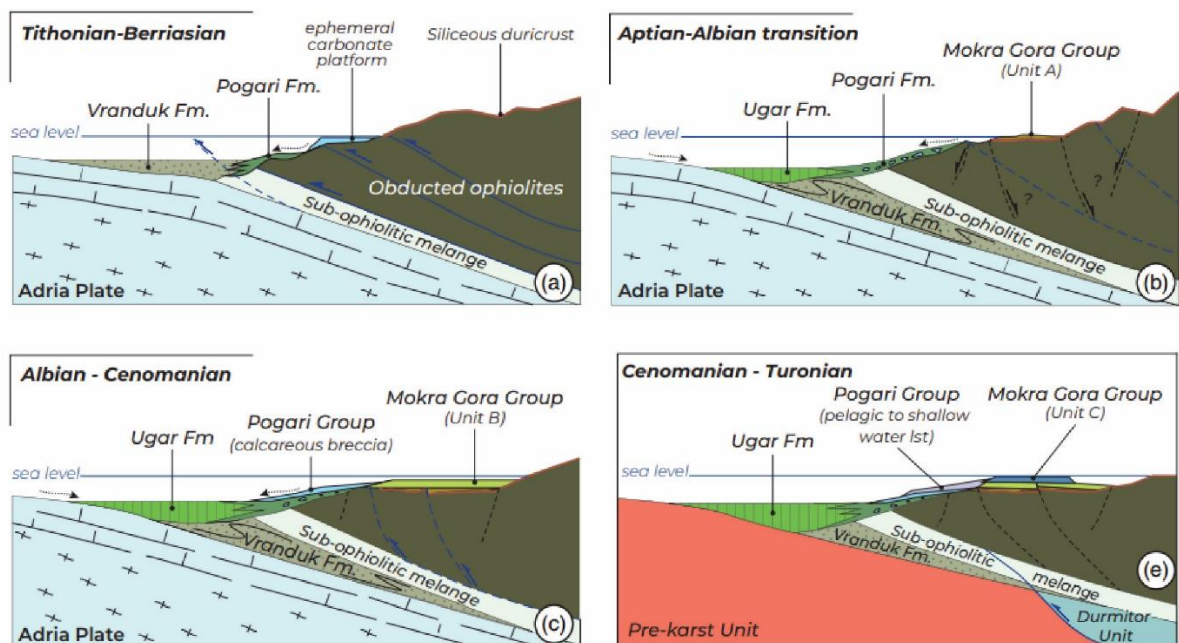
Slika 3.10 A Distribucija naslaga karbonatnih platformi u središnjem Sredozemlju. B Karta lokacije koja prikazuje recentnu distribuciju naslaga Jadranske karbonatne platforme. C Shematski prikaz koji prikazuje glavne događaje prije odvajanja AdCP-a (Vlahović i dr., 2005)

Tektonski razvoj Jadranske mikroploče odnosno Jadranske karbonatne platforme bio je pod direktnim utjecajem otvaranja Alpskog Tetisa što je krajem jure dovelo do djelomičnog zatvaranja Neotetisa te obdukcijom dijela oceanske kore na pasivni rub Jadranske mikroploče. (Slika 3.11; Schmid i dr., 2008). Obduciranu oceansku koru ili Centralnu Dinaridsku Ofiolitnu Zonu (CDOZ) danas dominantno nalazimo na području BiH, Baniji, Medvednici, Ivanšici te na Kalniku, gdje u vidu ofiolitnog melanža čini kompleks stijena koji sadrži dijelove oceanske kore zajedno s njegovim pokrovom (Slika 3.11; Schmid i dr., 2008).



Slika 3.11 Shematski serijski presjeci koji prikazuju tektonsku evoluciju Jadranske mikroploče u odnosu na Alpsko-Dinaridski orogeni sustav (Schmid i dr., 2008)

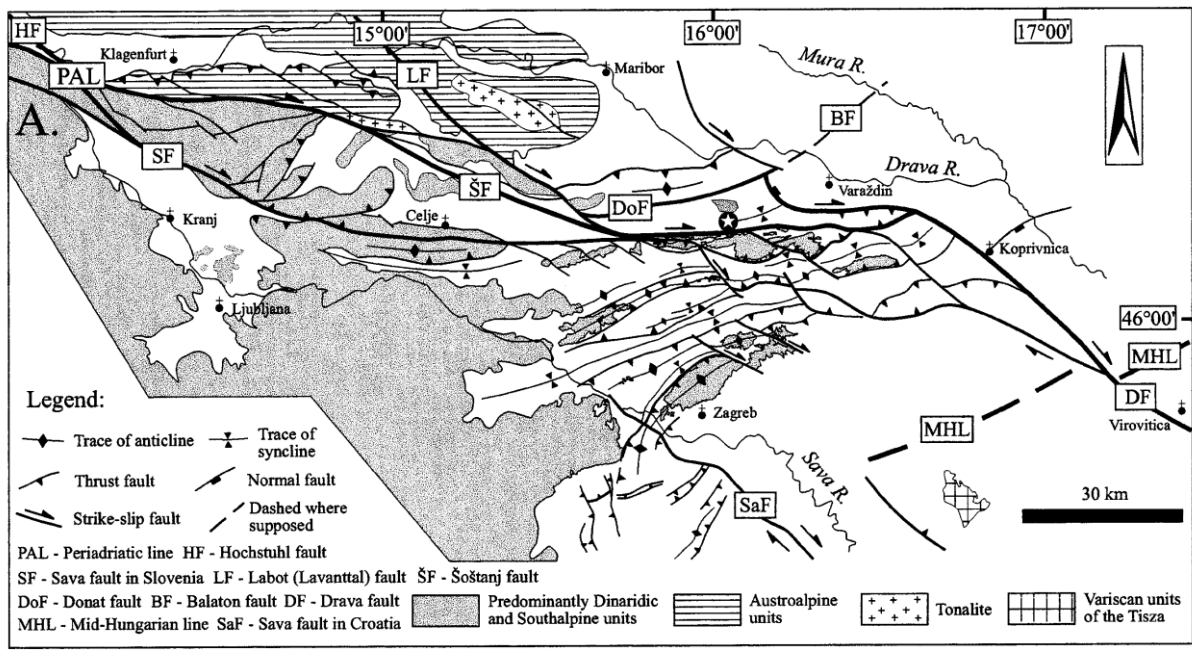
U odnosu na CDOZ, *Pred-krška navlaka* označava paleogeografsku prijelaznu zonu između Unutrašnjih i Vanjskih Dinarida odnosno CDOZ te Zone navlake Visokog Krša (NVK) i Dalmatinske zone (Aubouin i dr., 1970; Schmid i dr., 2019). *Pred-kršku navlaku* u nekim dijelovi prekriva i gornjojurska do gornjokredna flišna serija koja se naziva *Bosanski fliš*. Bosanski fliš čine *Pogarska*, *Vrandučka* i *Ugarska* formacija (Slika 3.12). *Pogarska* i *Vrandučka formacija* nastale su krajem jure i početkom krede. *Pogarska formacija*, koja čini proksimalne naslage, sadrži plitkovodne vapnenačke klaste i blokove ofiolita (Nirta i dr., 2020). *Vrandučka formacija*, koja je distalna, uz pješčenjake i breče koji ukazuju na porijeklo ofiolitnog materijala, sadrži karbonate i metamorfne stijene (Mikes i dr., 2008). Prema Mikes i dr. (2008) materijal *Ugarske formacije* ima tri različita izvorišta i čine ga (1) blokovi s Jadranske karbonatne platforme, (2) ofioliti i (3) variscijske jedinice niskog stupnja metamorfizma (Slika 3.12).



Slika 3.12 Shematska geodinamička rekonstrukcija unutarnjih Dinarida tijekom gornje jure–krede (Nirta i dr., 2020)

U odnosu na JZ granicu, Jadranska mikroploča na sjeveru i sjeveroistoku graniči s europskim kopnom u domeni **ALCAPA** (**AL**-Alpe, **CA**-Karpati, **PA**-Panonski bazen) mega-jedinice (Schmid i dr., 2020).

Kao posljedica kontinuirane konvergencije Jadranske mikroploče u odnosu na Europsku ploču, tijekom neogena dolazi do finalne kolizije te lateralne ekstruzije ALCAPA megabloka iz kolizijske zone, što je dovelo do lateralne translacije duž *Periadriatskog lineamenta* te *Srednje—Mađarske smične zone* (Slika 3.13) u iznosu većem od 250 km. Posljedično, lateralna ekstruzija je dovela i do otvaranja Panonskog bazenskog sustava u vidu zalučnog bazena (Horvath i dr. 2006.; Cloetingh i dr. 2006; Schmid i dr. 2008). Strukturni razvoj Panonskog bazena obilježile su tri tektonske faze. Prvu tektonsku fazu karakterizira ekstenzija tijekom donjeg do srednjeg miocena. U drugoj tektonskoj fazi, tijekom kasnog miocena, slijedi toplinsko slijeganje i opće produbljivanje taložnog prostora Panonskog bazenskog sustava, dok je za završnu tektonsku fazu, od pliocena do kvartara, karakteristična strukturalna reaktivacija i tektonska inverzija struktura Panonskog bazena (npr. Pavičić i dr., 2019 s referencama). Tektonska evolucija Panonskog bazena uvjetovala je i nastanak debelog slijeda naslaga koje na području Republike Hrvatske lokalno premašuje i 6000 m (Saftić i dr., 2003).



Slika 3.13 Strukturna karta rasjednih zona između Alpa, Dinarida i Panonskog bazena (preuzeto iz Tomljenović i Csontos, 2001)

## 4. METODE ISTRAŽIVANJA

Izrada diplomskog rada obuhvaćala je kombinirana terenska istraživanja te kabinetski rad. Priprema terenskih istraživanja podrazumijevala je izradu topografske i geološke podloge šireg područja Petrove gore, koje su obuhvaćale trase šest planiranih geoloških profila. U okviru terenskog rada, obilazile su se točke opažanja na izdancima, na kojima su vršena strukturno-geološka mjerenja. Mjereni podaci su nakon obrade uneseni u ESRI *ArcMap* 10.1 te su korišteni za strukturne analize u vidu konstrukcije stereograma, geoloških profila i trodimenzionalnog modela istraživanog područja.

### 4.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Terenska istraživanja u okviru projekta *HyTheC* provedena su u svibnju 2021. godine te u ožujku 2022. godine. Na ukupnoj površini od 2029 km<sup>2</sup> zabilježene su 162 točke opažanja duž 6 trasa geoloških profila. Tijekom terenskog rada točke opažanja bilježene su u aplikaciji *Avenza Maps* te su naknadno arhivirane u MS *Excel* bazu terenskih podataka (Slika 4.1). Većina mjerenja izvršena je na području i u okolici Petrove gore između profila TO-1 i TO-3 te na području Topuskog između profila TO-4 i TO-5. Mjerenja su dominantno provedena u domenama kontakata različitih litostratigrafskih jedinica, s obzirom na važnost poznavanja međusobnih kontakata stijena odnosno deformacijskih struktura.

Naziv	Title	Date Created	Latitude	Longitude	x	y	Description
Hy-21-1T	Hy-21T-1	2021-05-18T10:25:17002:00	45,29	15,97	5576334	5016814	Izvor termalne vode
Hy-21-2T	Hy-21T-2	2021-05-18T10:57:37002:00	45,34	15,76	5559778	5021862	Uškriljeni pješčenjaci, paleozojske starosti. S1-334/59; 342/35. Sp-328/59; 323/40. Izmjena sitno i krupnozrnatog vapnenaca. R-59/39, ls je 90, normalni (3). Uzorak pješčenjaka
Hy-21-3T	Hy-21T-3	2021-05-18T12:07:17002:00	45,33	15,69	5554637	5020840	Izdanak dolomita. Smična ploha 357/88; 276/21-ls, normalni desni sustav rasjednih ploha, orijentacije 60/68, ls ukazuje na reversni, pomak. Potrebno se vratiti i detaljno snimiti
Hy-21-4T	Hy-21T-4	2021-05-18T12:49:38002:00	45,34	15,68	5553841	5021726	Kamenolom Loskunja. Kamenolom dolomita sa izrazito kataklaziranim dolomitima. Rasjedna ploha dekameterskih dimenzija pružanja 100-280. R-16/85, ls je 45 od NW, pomak je reversni desni, normalni lijevi. Reversni pomak je mlađi. Ovdje imamo sustave rasjeda u obliku prizme. Glavna rasjedna ploha, a ispred su blazi rasjedi. R-94/61; ls je 5; pomak je i lijevi i desni. Pojava proslojaka klastita crvene boje koji imaju lokalnu važnost kao dekolmanski horizonti S0-230/46-mjereno u klastitima

Slika 4.1 Dio terenskog dnevnika s prikazom nekoliko točaka opažanja koje su arhivirane u MS *Excel* bazi podataka



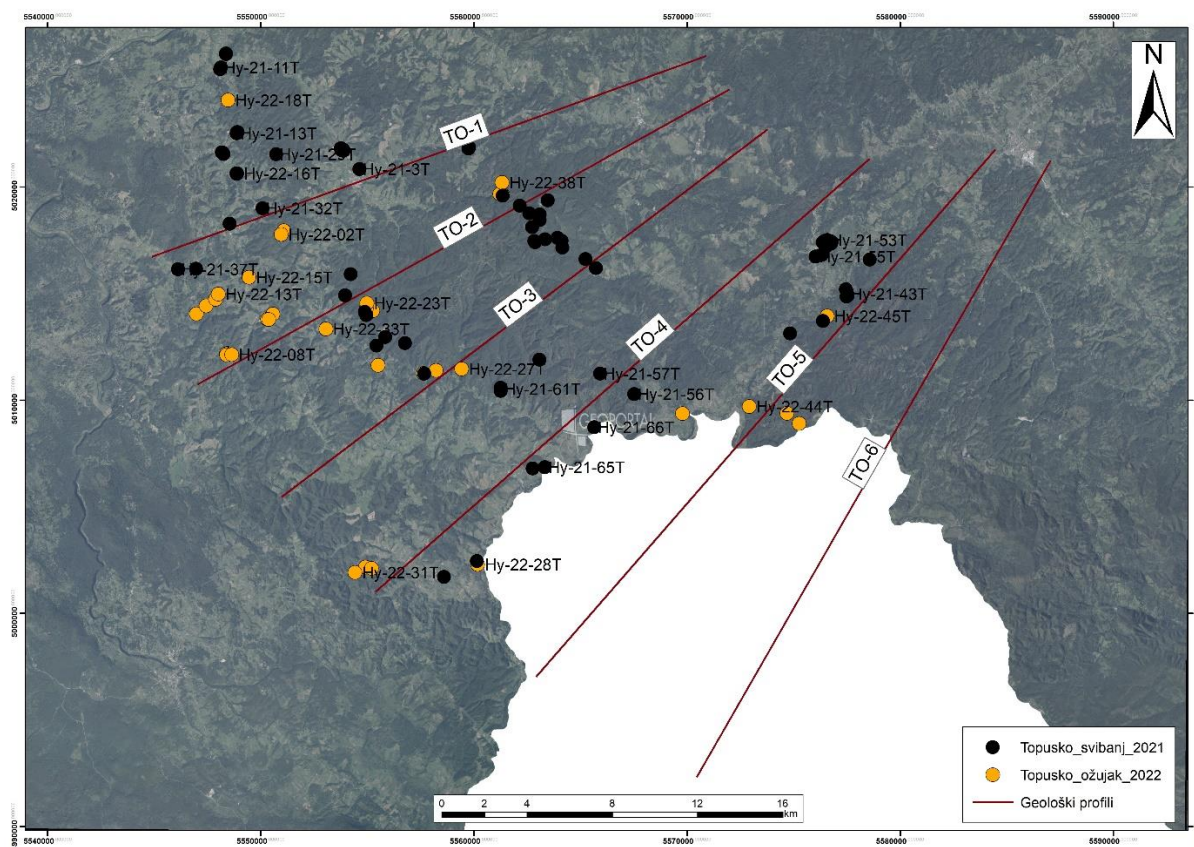
## 4.2. KABINETSKI RAD

Kabinetski rad obuhvaćao je izradu GIS baze podataka, digitalizaciju Osnovnih geoloških karata, strukturnu analizu prikupljenih terenskih podataka u vidu stereograma, konstrukciju šest geoloških profila te izradu trodimenzionalnog modela područja istraživanja.

### 4.2.1. Izrada GIS baze podataka

- *Unos podataka*

GIS baza podataka obuhvaćala je pripremu i korištenje postojećih topografskih i geoloških podloga te arhiviranje prikupljenih točaka opažanja u obliku točkastih shp podataka u ESRI *ArcMap* 10.1 (Slika 4.2). Točke opažanja te drugi vektorski i rasterski podaci projicirani su u koordinatnom sustavu *MGI Balkans 5*. Svaka točka opažanja u atributnoj tablici ima svoj naziv, x i y koordinatu, vrijeme i datum provedenog istraživanja te opis s podacima terenskih mjerenja (Slika 4.3). Dio kabinetskih istraživanja podrazumijevao je i pripremu trasa geoloških profila, koje su dalje korištene i tijekom provođenja terenskih istraživanja.



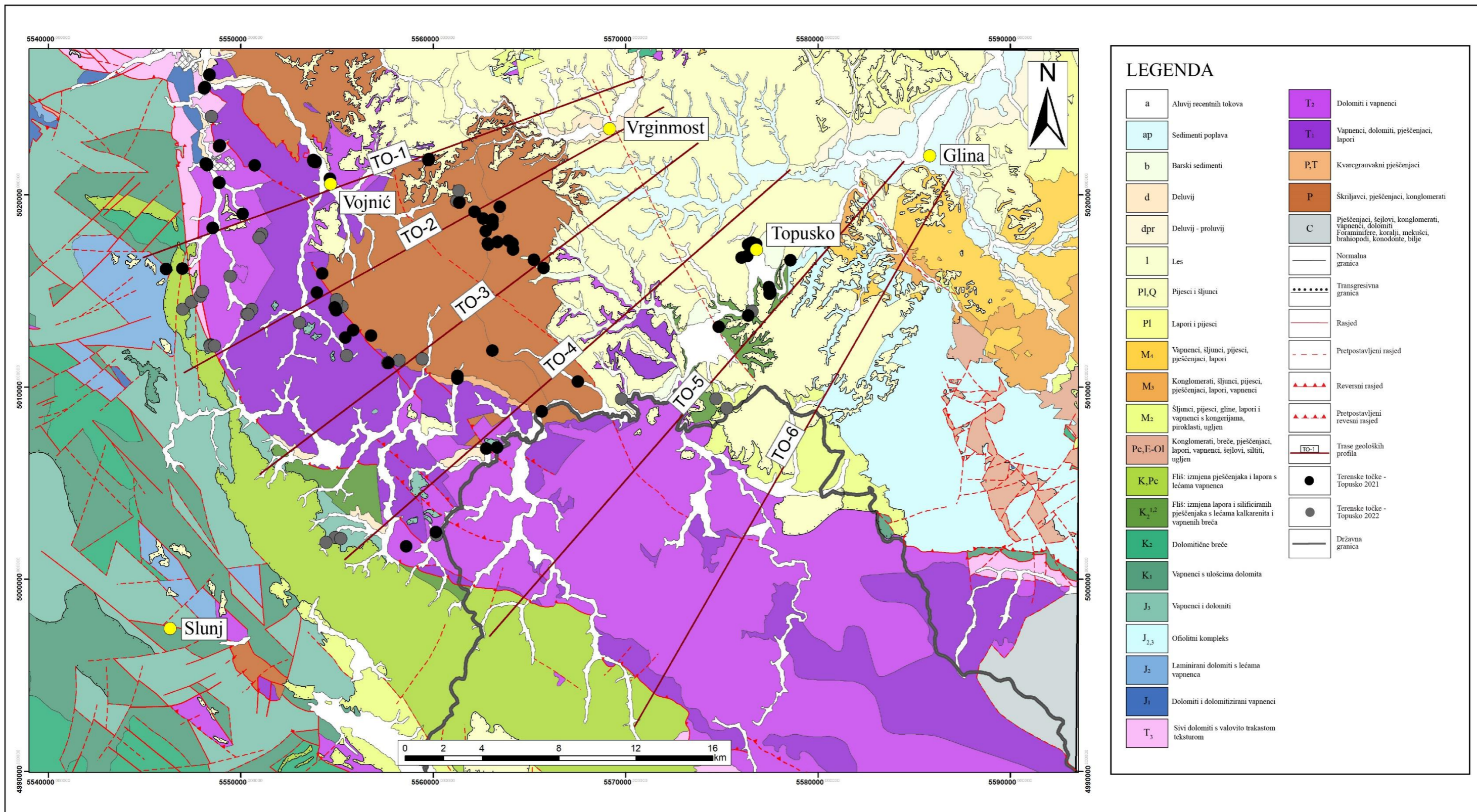
Slika 4.2 Prikaz GIS baze podataka na kojoj je prikazana ortofoto podloga s trasama konstruiranih geoloških profila te prikupljenim terenskim točkama opažanja (izvor ortofoto podloge: <https://geoportala.dgu.hr/>)

Title	Date Creat	Latitude	Longitude	x	y	Descriptio
Hy-22-01T	2022-03-21T11:43:25+01:00	45,304089	15,646644	5551082,29692	5017955,896707	S0-54/20; 74/52; Sp-60-240. Trojni donjotrijski pjescenjaci...
Hy-22-02T	2022-03-21T11:54:24+01:00	45,3025	15,64502	5550956,37779	5017778,264981	124/37-sitnozrnOzmati donjotrijski pjescenjaci...
Hy-22-03T	2022-03-21T12:37:56+01:00	45,268934	15,639644	5550564,39259	5014044,868779	Srednjotrijski dolomiti prekriveni s terra ridom. Slojevitost nije mjerljiva...
Hy-22-04T	2022-03-21T12:49:22+01:00	45,266725	15,63644	5550314,91252	5013797,376836	Kamenolom Mala Crkva
Hy-22-05T	2022-03-21T13:04:46+01:00	45,252445	15,612273	5548430,58739	5012195,771249	Plocasti gornjotrijski vapnenci s rozniacima—lemes facijes. Prekrasan primjer fold bend fold geometrije rasjedanja s dupleks strukturim. Slicno kao profil koji smo crtali. S0-48/45, 44/80
Hy-22-06T	2022-03-21T13:45:56+01:00	45,252314	15,611736	5548388,49921	5012180,910386	R-322/60. Bankoviti i gromadasti vapnenci. Rasjed koji je na karti. Rasjed je lijevok karaktere—310/60; 310/55; Is je 0; lijevi pomak. Tenzijske pukotine su 42/60; 60/70.
Hy-22-07T	2022-03-21T14:08:54+01:00	45,251824	15,611858	5548398,47010	5012126,541482	
Hy-22-08T	2022-03-21T14:45:45+01:00	45,251915	15,614889	5548636,36665	5012138,404111	Sp-24/55. Ranofijagenetski dolomiti. Sp-22/75, 288/77, 290/80; Sp—82/80; 220/70, 214/60.
Hy-22-10	2022-03-21T15:29:06+01:00	45,269204	15,593862	5546971,71493	5014047,291782	tanakpločasti vapnenci S0 88/35, 90/35, 52/25, 113/8; 48/5, 244/35; 239/35; 240/40; 294/38
Hy-22-11T	2022-03-21T15:48:34+01:00	45,272658	15,599771	5547432,49435	5014434,592428	transgresivna granica između jure i krede. ovdje imamo ponikve i imamo i terra rossa...
Hy-22-12T	2022-03-21T16:07:22+01:00	45,275318	15,605561	5547884,59587	5014733,602196	Kataklazirani vapnenci u kombinaciji s rozniacima i klastitima. 20 m unatrag su karbonati gornjeg trijasa
Hy-22-13T	2022-03-21T16:13:18+01:00	45,277463	15,607065	5548000,78658	5014972,794515	S0 94/21 110/45; 50/55, 49/56; 56/53; 54/80... Sp—10/86 Sp—84/80 272/85, 254/30; 128/66. Ranodijagenetski dolomiti.
Hy-22-14T	2022-03-21T16:46:55+01:00	45,266684	15,637108	5550367,41087	5013793,227938	Sp—338/70; 340/75, 328/70—paralelno rasjednoj zoni; 340/55 Sp—62/60; 50/65; Sp-90/75; 96/75 Sp-192/39
Hy-22-15T	2022-03-21T17:16:14+01:00	45,284553	15,625519	5549442,52334	5015771,781407	
Hy-22-16T	2022-03-22T08:57:46+01:00	45,328399	15,618777	5548876,11615	5020640,178883	rasjed 2/45 strije 80E movement reverse confidence 3 s0 16/50; 50 od SZ, normalni i reversni s2 102/55 parallel to bed s3 62/82 40/85 rasjed 2. 242/82; 50 od SZ, normalni/Reversni (2)
Hy-22-18T	2022-03-22T09:58:36+01:00	45,329339	15,613895	5548467,197	5024075,616359	Nije mjerljivo...
Hy-22-20T	2022-03-22T12:18:30+01:00	45,269536	15,698097	555150,59846	5014149,829729	permski pjescenjaci? S1 22/56, S2 194/30.
Hy-22-21T	2022-03-22T12:30:05+01:00	45,269984	15,699415	555253,57168	5014200,574307	S1/S0-236/61, Paleozojski selovi unkojoi se lijevo vidi folijacija... Metamorfna...
Hy-22-22T	2022-03-22T12:43:44+01:00	45,271074	15,695628	5554955,36963	5014319,138456	Crveni donjotrijski klastiti s1 342/20
Hy-22-23T	2022-03-22T12:56:43+01:00	45,273196	15,695948	5554978,44753	5014555,180709	Permski pjescenjaci. Sp—138/50, 128/80; S0-252/45; 220/86; 250/55
Hy-22-24T	2022-03-22T13:30:50+01:00	45,246957	15,702362	5555507,20003	5011643,704927	Dolomitna breča S1 198/4
Hy-22-25T	2022-03-22T13:50:59+01:00	45,243402	15,729459	5557637,89504	5011267,477505	rasjed1 189/50 178/60 196/50 rasjed2 180/60 85W normal confidence 2 bedding 160/15 175/25 130/50? dolomite and dolomitic breccia Sp-100/15; 304/75.
Hy-22-26T	2022-03-22T14:13:37+01:00	45,244578	15,736996	5558228,40308	5011403,613409	S0-228/20; 212/30, 250/45 Klivaz-244/85. Crveni klastiti, donjotrijski klastiti.
Hy-22-27T	2022-03-22T14:48:14+01:00	45,245105	15,752322	5559430,92839	5011473,252717	Paleozojski pjescenjaci s tinjcima... S0-80/35; 108/35.
Hy-22-28T	2022-03-22T15:59:04+01:00	45,162453	15,760814	5560184,29414	5002294,838088	rasjed 40/74 46/64 54/65 20/74 rasjed2 120/74 70SW normal confidence 2 s1 54/60 42/46 s2 122/71 124/75 main fault 24/48 dolomite lamination 148/35 (picture bojan mobilte 22/3/22 16.06) early diagenetic dolomite
Hy-22-29T	2022-03-22T17:17:28+01:00	45,161778	15,693715	5554909,87326	5002172,284436	S0-168/28; 192/40; 162/39; 153/37; 161/34, 172/22. Sp-44/64; 258/79.
Hy-22-30T	2022-03-22T17:34:54+01:00	45,161231	15,697345	5555195,84160	5002113,956988	S0-164/33; 154/10 R-266/71; Is je 0, pomak i desni i lijevi...
Hy-22-31T	2022-03-22T18:01:27+01:00	45,159597	15,687501	5554423,45211	5001925,680115	Kredni fis...
Hy-22-33T	2022-03-22T18:28:31+01:00	45,262475	15,671374	5553060,20862	5013347,363543	Doc, vidjeti i otici...
Hy-22-34	2022-03-23T08:37:56+01:00	45,318326	15,777871	5561357,98327	5019629,114249	S0-6/16; 34/24 Klivaz—336/40; 334/45; 297/15. Pjescenjaci paleozojske starosti...
Hy-22-35T	2022-03-23T08:46:35+01:00	45,318576	15,777348	5561316,68768	5019656,591467	S0-49/15; 20/14; 14/25; 36/30; 15/45 Klivaz-324/30; 108/55; 315/65; 300/45.
Hy-22-36T	2022-03-23T08:57:10+01:00	45,318709	15,776634	5561260,54345	5019670,730175	S0-10/44 Klivaz—316/55; 316/65; 320/60; 312/65 Sp-88/80; 308/88; 128/88.
Hy-22-37T	2022-03-23T09:11:05+01:00	45,318775	15,776142	5561221,89772	5019677,716285	S0-51/40; 38/40; 42/40; 42/40; 36/39; 76/15; 70/15; 40/45; 36/30 Klivaz-332/45; 279/51; 270/46; 283/60; 320/45; 288/62 Sp-86/85; 342/88; 178/85;
Hy-22-38T	2022-03-23T09:42:10+01:00	45,323583	15,777581	5561329,59785	5020213,10833	Nema izdanaka...
Hy-22-39T	2022-03-23T12:54:52+01:00	45,225267	15,884084	5569798,83193	5009373,828698	Doc i vidjeti u aBiH.
Hy-22-41T	2022-03-23T13:24:21+01:00	45,220485	15,953648	5575267,93965	5008904,77261	Srednjemiocenski lapori i gline te pjescenjaci...
Hy-22-43T	2022-03-23T13:45:08+01:00	45,224863	15,946536	5574703,70066	5009384,699978	Crvenkasti, bijeli pijesci... S0-92/35 apparent section 225/80 apparent dip 15NW apparent section 304/75 apparent dip 5SW
Hy-22-44T	2022-03-23T14:00:56+01:00	45,227986	15,924	5572929,94407	5009711,19238	couple of outcrops .return. going from Topusko left tum before the bridge
Hy-22-45T	2022-03-23T14:34:26+01:00	45,265701	15,971117	5576583,45557	5013945,835014	S0-19/40; 22/45; 21/43; 40/40. Sitnozrnat pjescenjaci gornje krede. potrebno se vratiti i napraviti skicu. prekrasan izdanak...

Slika 4.3 GIS atributna tablica za terenska mjerenja provedena u ožujku 2022

- *Digitalizacija geološke podloge*

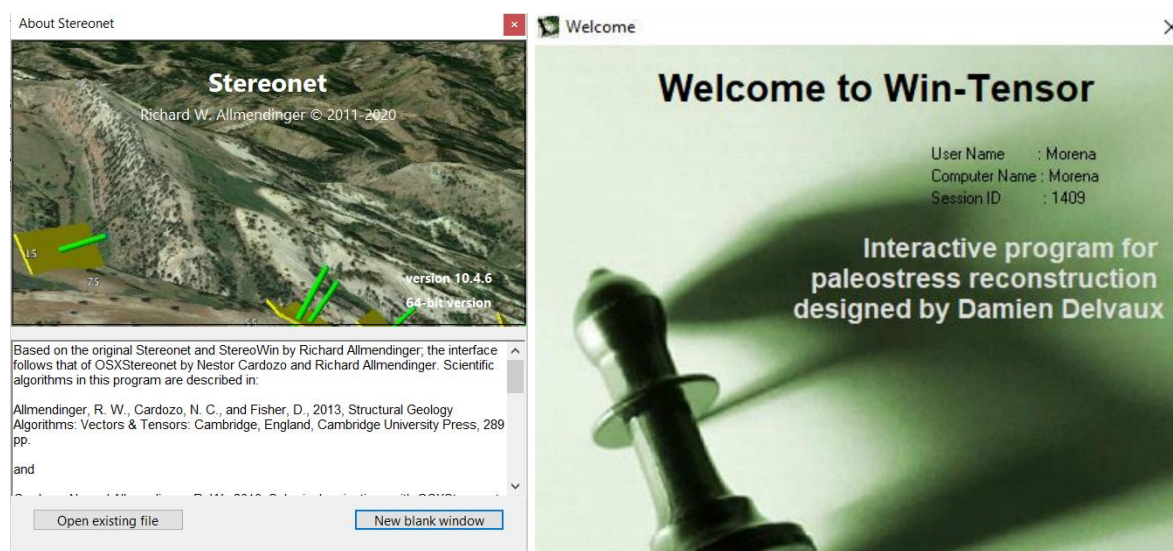
Digitalizacija geološke podloge područja istraživanja podrazumijevala je prostorno povezivanje postojećih geoloških karata te njihovo pojednostavljivanje u jedinstvenu geološku podlogu, odnosno kompozitnu geološku kartu. U tu svrhu korištene su Osnovne geološke karte SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova *Črnomelj* (Bukovac i dr., 1984), *Karlovac* (Benček i dr., 2014), *Sisak* (Pikija, 1987), *Ogulin* (Velić & Sokač, 1982), *Slunj* (Korolija i dr., 1980), *Bosanski Novi* (Šikić, 1988) te Geološka karta SFR Jugoslavije mjerila 1:500 000 (Savezni geološki zavod, 1970) (Slika 3.1). Digitalizacija litostratigrafskih jedinica prikazanih na geološkim kartama podrazumijevala je vektorizaciju izdvojenih jedinica u poligonskom obliku, kao i vektorizaciju normalnih, transgresivnih i tektonskih granica u linijskom obliku (Slika 4.4, Prilog 1). Zbog mjestimičnih lateralnih nepodudaranja u starostima litostratigrafskih jedinica na rubovima listova napravljene su izmjene koje su skladu s prevladavajućim geološkim odnosima.



Slika 4.4 Digitalizirana karta područja istraživanja izrađena na temelju mozaika Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova Črnomelj (Bukovac i dr., 1984), Karlovac (Benček i dr., 2014), Sisak (Pikija, 1987), Ogulin (Velić & Sokač, 1982), Slunj (Korolija i dr., 1980), Bosanski Novi (Šikić, 1988) te Geološka karta SFR Jugoslavije mjerila 1:500 000 (Savezni geološki zavod, 1970)

#### 4.2.2. Strukturna analiza i interpretacija

Na terenu su zabilježene 162 točke opažanja. Mjerenja su uglavnom provedena u naslagama permske i trijaskе starosti te mjestimično u naslagama kredne starosti. Izmjereno je ukupno 85 podataka o slojevitosti, 38 podataka o orijentacijama pukotina te 37 podataka o orijentacijama smičnih ploha i njihovim kinematskim indikatorima. Za prikaz podataka o slojevitosti i pukotinama korišten je program *Stereonet* (Allmendinger, 2019) (Slika 4.5). Slojevitost je prikazana tragovima ravnina, dok su pukotine prikazane polovima ravnina. Na temelju prikupljenih podataka o slojevitosti određena je orijentacija osi bora. Oriјentacije rasjednih ploha prikazane su u programu *Win-Tensor* v. 5.9.2. (Delvaux, 2018) (Slika 4.5). PBT metodom proračunate su vrijednosti triju najvećih osi paleonaprežanja.



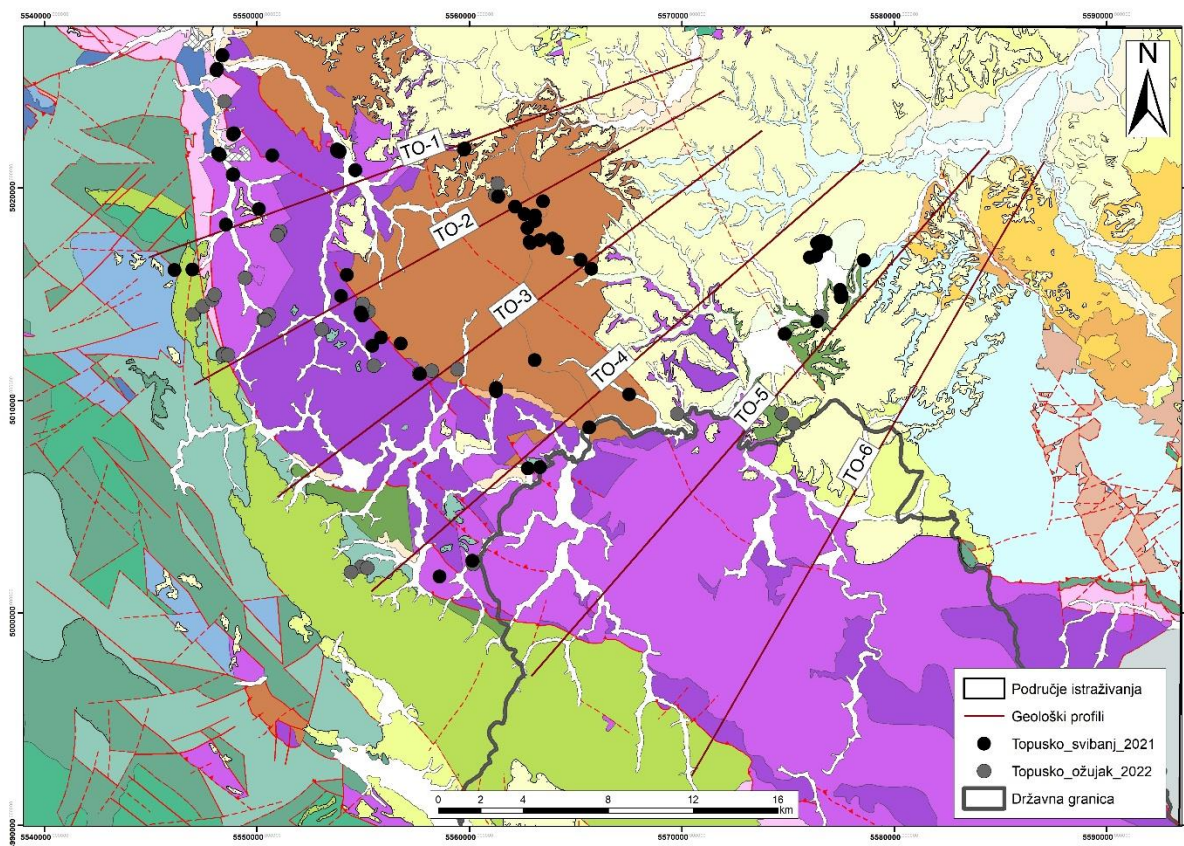
Slika 4.5 Stereonet sučelje (lijevo) (Allmendinger, 2019). Win-Tenskor sučelje (desno) (prema Delavux, 2018)

#### 4.2.3. Konstrukcija geoloških profila

Trase šest planiranih geoloških profila postavljene su poprečno na pružanje struktura, u smjeru SI–JZ, kako bi se dobio što bolji uvid u strukturne odnose i debljine naslaga koje nalazimo na površini i podzemlju u istraživanom području (Slika 4.7). Geološki profili konstruirani su koristeći grafički program *Adobe Illustrator* (2020) (Slika 4.6). U izradi geoloških profila, uz geološke podatke koji su prikazani na listovima Osnovnih geoloških karata *Slunj* (Korolija i dr., 1980), *Bosanski Novi* (Šikić, 1988), *Karlovac* (Benček i dr., 2014) i *Sisak* (Pikija, 1987), korišteni su i strukturni podaci o orijentacijama slojeva i rasjeda koji su prikupljeni prilikom terenskih istraživanja.



Slika 4.6 Adobe Illustrator (2020) sučelje



Slika 4.7 Digitalizirana geološka karta s trasama konstruiranih geoloških profila te lokacijama točaka opažanja na kojima su vršena strukturna mjerenja

#### 4.2.4. Izrada strukturno-geološkog 3D modela

Radi boljeg razumijevanja strukturnih odnosa na području istraživanja izrađen je trodimenzionalni model. U svrhu izrade modela korišteni su geološki profili čije je pružanje poprečno na pružanje struktura. Ulazne podatke za izradu modela sačinjavaju digitalizirane OGK listova: Črnomelj, Karlovac, Sisak, Ogulin, Slunj, Bosanski Novi te Geološka karta SFR Jugoslavije, trase geoloških profila i digitalni elevacijski model (DEM). Profili su digitalizirani tako što su ručno linijama iscrtavani horizonti i rasjedi, koji su zatim spojeni u trodimenzionalne plohe. Model je izrađen u programu *Petroleum Experts Move* (Slika 4.8).



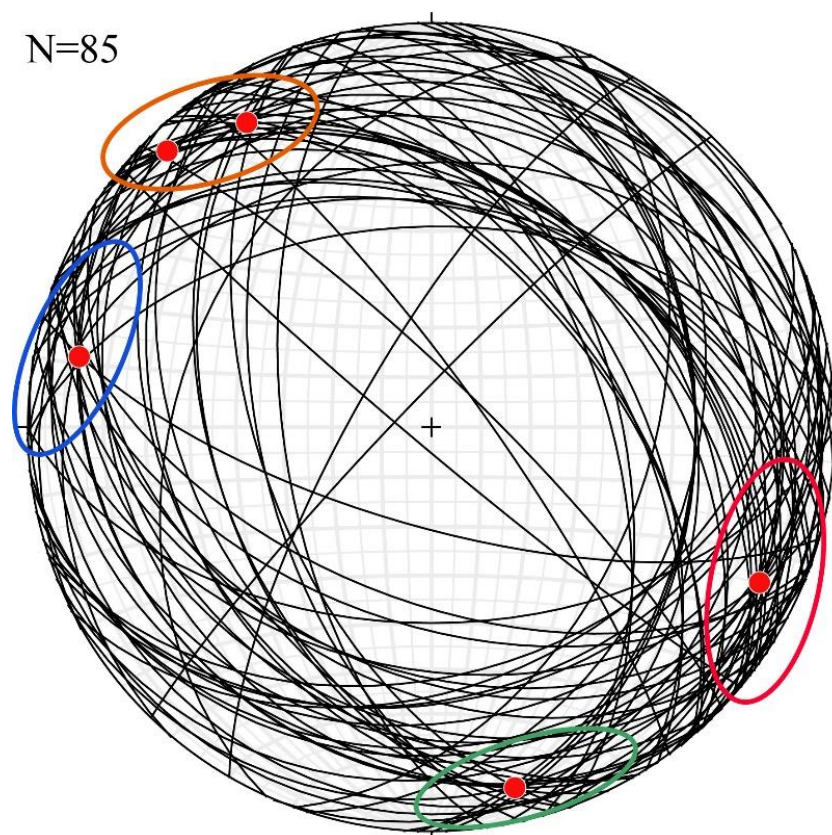
Slika 4.8 Petroleum Experts Move 2019 sučelje

## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 5.1. REZULTATI TERENSKIH STRUKTURNIH MJERENJA

#### 5.1.1. Slojevitost

Slojevitost je temeljno planarno strukturno svojstvo većine sedimentnih stijena. Obično je posljedica naglog prekida taloženja ili promjene veličine zrna, a ponekad i promjene vrste minerala (Benac, 2016). Izmjerene slojevitosti na području istraživanja su prikazane pomoću tragova ravnina u programu *Stereonet 10* (Slika 5.1). Terenskim istraživanjem prikupljeno je 85 mjerenih podataka o slojevitosti, a koje su generalno dinaridskog pravca pružanja SZ–JI, te nagiba prema SI i JZ. Kutevi nagiba su u prosjeku oko  $40^\circ$ , dok su maksimalne vrijednosti uglavnom do  $55^\circ$ . Različite orijentacije smjera nagiba slojevitosti ukazuju na prisustvo boranih struktura. Prosječne osi bora sugeriraju da strukture tonu blago prema sjeverozapadu (282/11, 319/8, 328/13), dok osi bora orijentacije 118/11 i 166/11 ukazuju na strukture koje blago tonu prema jugoistoku. Orijetacije osi bora zapravo sugeriraju da su bore u području istraživanja uspravne te da su im osne plohe generalno SZ–JI.

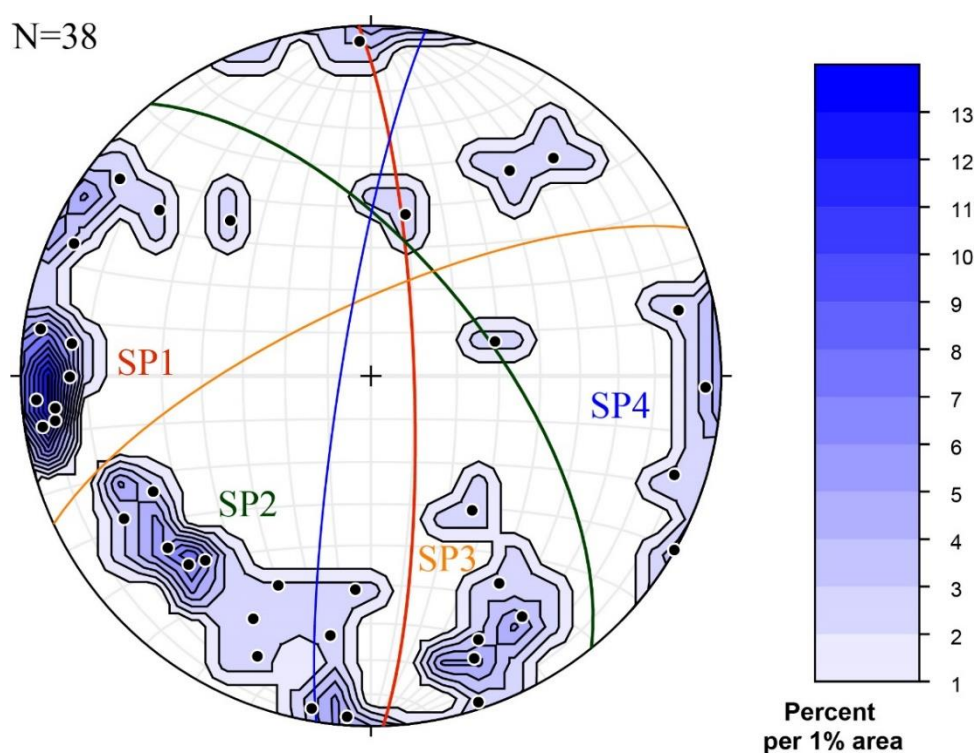


Slika 5.1 Slojevitost prikazana tragovima ravnina u programu *Stereonet 10*. Osnovne orijentacije osi bora izdvojene su poligonima te ukazuju blago tonjenje struktura prema SZ (282/11, 319/8, 328/13) i jugoistoku (118/11 i 166/11)



### 5.1.2. Pukotine

Pukotine su u odnosu na slojevitost sekundarne planarne strukture koje možemo promatrati u stijenama, a bitna je razlika u odnosu na rasjedne plohe, da duž ploha pukotinskih diskontinuiteta ne dolazi do pomaka stijenske mase (Benac, 2016). Terenskim istraživanjima zabilježeno je ukupno 38 orijentacija ploha pukotina (Slika 5.2). Uz nekoliko mjerenja koja ukazuju na postojanje nesistematičnih pukotina, u području istraživanja možemo izdvojiti četiri dominantna seta pukotina. Prvi set pukotina Sp1 pružanja je S–J sa strmim kutom nagiba od  $75^{\circ}$ – $85^{\circ}$ . Drugi set Sp2 čine pukotine pružanja SZ–JI s prosječnim kutom nagiba  $63^{\circ}$ . Treći set pukotina Sp3 su pukotine pružanja SI–JZ s kutom nagiba od  $73^{\circ}$ . Četvrti set pukotina Sp4 čine pukotine približnog pružanja S–J s prosječnim kutom nagiba od  $83^{\circ}$ .



Slika 5.2 Pukotine prikazane polovima ravnina uz izrađeni konturni dijagram te s izdvojenim prosječnim orijentacijama pukotinskih setova u programu Stereonet 10

Izdvojene orijentacije setova pukotina su u korelaciji s izmjerenim orijentacijama bora, pri čemu je pukotinski set Sp2 paralelan s pružanjem osi bora/osnih ploha bora, dok pukotinski setovi Sp1, Sp3 te Sp4 čine setove pukotina koji su dijagonalni na osi bora pa time, s obzirom na pružanje najveće osi naprezanja (generalno SI–JZ), mogu imati i posmični karakter (prema Ramsay & Huber, 1988).

### 5.1.3. Rasjedi

Provedbom terenskih istraživanja zabilježeno je ukupno 37 mjerenja rasjednih ploha, od čega se za 16 rasjednih ploha moglo proračunati orijentaciju glavnih osi polja paleonaprezanja. Vrijednosti triju glavnih osi paleonaprezanja određene su u programu *WinTensor* metodom PBT. Za proračun orijentacije najveće osi naprezanja koristio se kut unutrašnjeg trenja ( $\varphi$ ) od  $30^\circ$ . S obzirom na kinematske indikatore, rasjedne plohe su grupirane kao ekstenzijske, nastale u ekstenzijskom polju naprezanje i kompresijske, nastale u kompresijskom polju naprezanja.

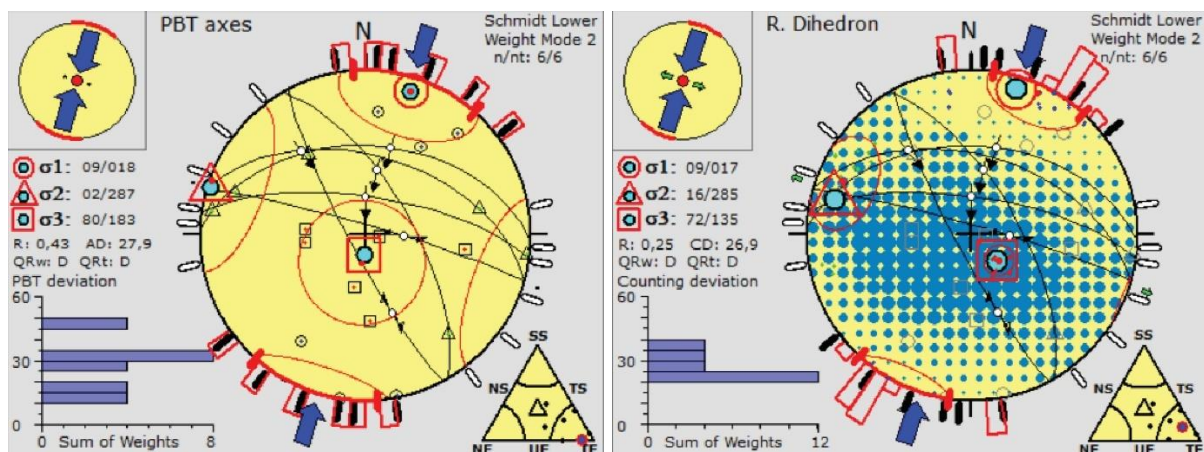
- *Kompresijske/transpresijske strukture*

Strukturno-geološkim istraživanjima zabilježeno je ukupno 6 mjerenja reversnih rasjednih ploha od kojih je jedna transpresijska struktura. Kao posljedica transpresijskog režima naprezanja nastaju rasjedi s pomakom po pružanju. Transpresijska struktura pridodana je kompresijskim strukturama zbog kuta nagiba rasjednih ploha koji u ovom slučaju nije vertikalna, što je inače uobičajeno za transpresijske strukture odnosno, za rasjede s pomakom po pružanju. Tablica 5.1 prikazuje proračunate vrijednosti  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$  osi za reversne rasjedne plohe.

Tablica 5.1 Proračunate vrijednosti  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  osi za reversne rasjedne plohe. R – azimut i kut nagiba, Ls – orijentacija lineacija strija, I – reversni pomak, S – lijevi, D – desni, X – nije određen pomak.

R	Ls	Pomak	$\sigma_1$ os	$\sigma_2$ os	$\sigma_3$ os
16/85	91/71	IS	32/37	288/18	177/47
8/71	0/71	ID	6/26	97/2	192/64
2/45	16/44	IS	189/0	279/7	95/83
16/50	323/36	ID	169/2	77/30	263/60
242/82	161/49	ID	211/26	325/40	98/39
60/67	10/57	ID	42/18	140/23	276/60

Sintetski žarišni mehanizam proračunat je R. Dihedron metodom. Iz dijagrama je vidljivo da su rasjedne plohe generalnog pružanja ZSZ–IJI s kutevima nagiba većim od  $50^\circ$  (Slika 5.3). Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na kompresijsko polje naprezanja. Najveća os naprezanja  $\sigma_1$  orijentacije je 18/9 i generalnog pružanja SSI–JJZ. Srednja os naprezanja  $\sigma_2$  orijentacije je 287/2 dok je najmanja os naprezanja  $\sigma_3$  orijentacije 183/80 (Slika 5.3).



Slika 5.3 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprezanja za reversne rasjede. Na slici lijevo nalazi se sintetski žarišni mehanizam kojem su PBT metodom proračunate glavne osi paleonaprezanja. Na slici desno nalazi se beach-ball dijagram proračunat R. Dihedron metodom.

Iz navedenog može se zaključiti da su izmjerene kompresijske/transpresijske rasjedne strukture nastale u tektonskoj fazi kada je prevladavalo kompresijsko polje naprezanja pri čemu je orijentacija najveće osi naprezanja bila približne orijentacije SSI–JJZ.

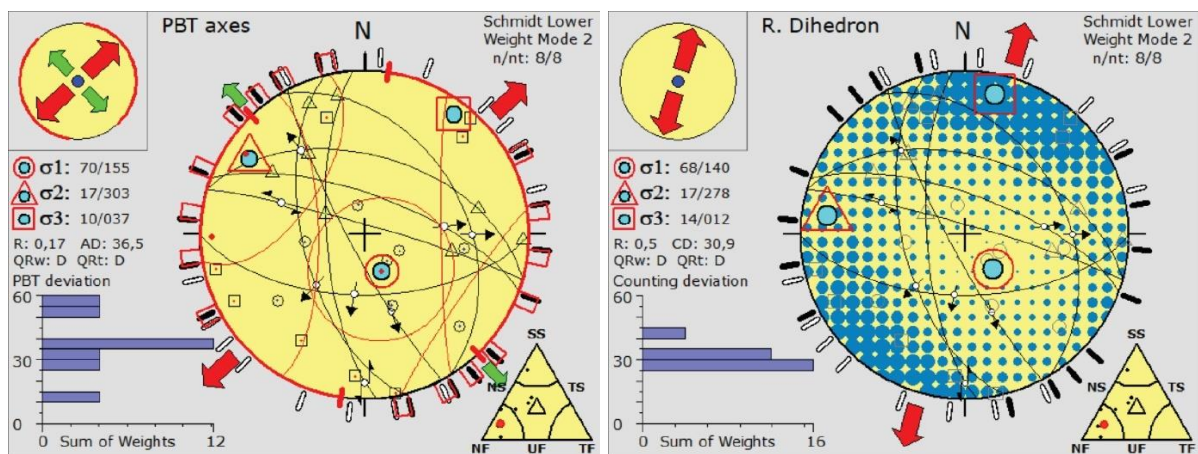
- *Ekstenzijske/transtenzijske strukture*

Od 31 izmjerene rasjedne plohe normalnih rasjednih ploha je bilo ukupno 11. Rasjedi normalnog karaktera, kao i rasjedi s pomakom po pružanju, posljedica su ekstenzijskog/transtenzijskog polja naprezanja. Tablica 5.2 prikazuje proračunate vrijednosti P, B i T osi za normalne rasjedne plohe podijeljene u dvije grupe podataka. Prvu grupu rasjeda čine rasjedi pružanja 0°–90° odnosno 180°–270° (narančasta boja) dok drugu grupu čine rasjedi pružanja 90°–120° i 270°–360° (zelena boja).

Tablica 5.2 Proračunate vrijednosti P, B, T osi za normalne rasjedne plohe. R – azimut i kut nagiba, Ls – orijentacija lineacija strija, N – normalni pomak, S – lijevi, D – desni, X – nije određen pomak.

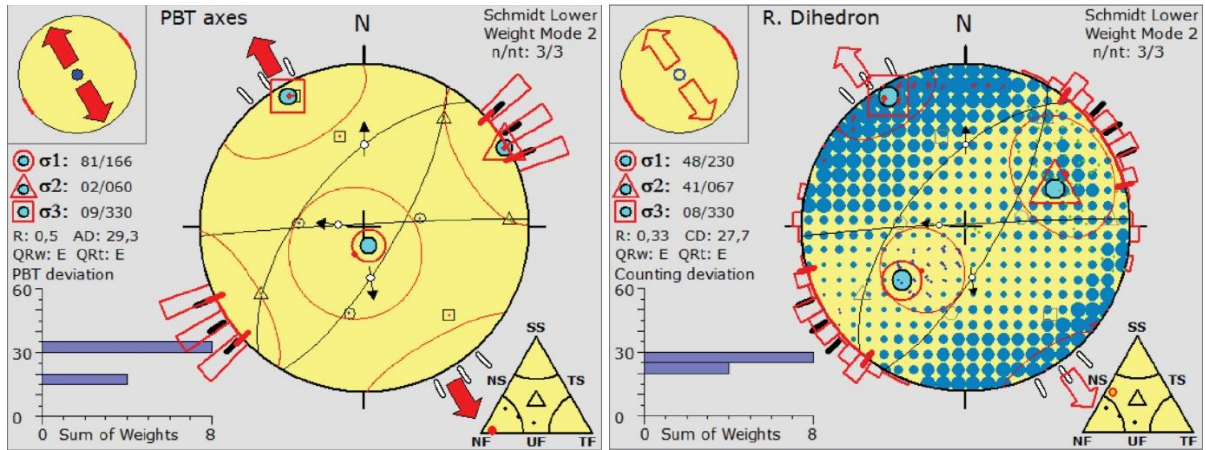
R	Ls	Pomak	P os	B os	T os
357/88	276/77	NS	190/46	87/13	345/42
59/39	90/35	ND	139/73	349/15	257/8
16/85	291/45	NS	233/34	101/45	342/26
256/59	224/55	NS	115/71	337/15	243/12
20/70	84/50	ND	159/52	304/33	45/17
310/60	360/48	ND	80/62	237/26	332/10
16/50	323/36	NS	263/60	77/30	169/2
180/60	190/60	ND	347/75	92/4	184/15
120/74	173/65	ND	274/57	36/19	136/27
266/71	180/11	NS	134/21	298/68	42/5
242/82	161/49	NS	98/39	325/40	211/26

Sintetski žarišni mehanizam za obje grupe podataka također je proračunat R. Dihedron metodom. Za prvu grupu izdvojenih rasjeda iz dijagrama je vidljivo da su rasjedne plohe generalnog su pružanja SZ–JI s kutevima nagiba većinom između 39° i 85° (Slika 5.4). Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na ekstenzijsko polje naprezanja generalne orijentacije SI–JZ, odnosno, najveća os naprezanja  $\sigma_1$  orijentacije je 155/70. Srednja os naprezanja  $\sigma_2$  orijentacije je 303/17, dok je najmanja os naprezanja  $\sigma_3$  orijentacije 37/10 (Slika 5.4).



Slika 5.4 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprezanja za prvu skupinu normalnih rasjeda. Na slici lijevo nalazi se sintetski žarišni mehanizam kojim su PBT metodom proračunate glavne osi paleonaprezanja. Na slici desno nalazi se beach-ball dijagram proračunat R. Dihedron metodom

Za drugu rasjednu grupu podataka iz dijagrama je vidljivo da su rasjedne plohe generalnog pružanja SI–JZ s kutevima nagiba između 60° i 88° (Slika 5.5). Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na ekstenzijsko polje naprezanja. Najveća os naprezanja  $\sigma_1$  orijentacije 166/81 i generalnog pružanja SZ–JI okomita je na pružanje rasjeda. Srednja os naprezanja  $\sigma_2$  orijentacije je 60/2 dok je najmanja os naprezanja  $\sigma_3$  orijentacije 330/9 (Slika 5.5).



Slika 5.5 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprezanja za drugu skupinu normalnih rasjeda. Na slici lijevo nalazi se sintetski žarišni mehanizam kojem su PBT metodom proračunate glavne osi paleonaprezanja. Na slici desno nalazi se Beach-ball dijagram proračunat R. Dihedron metodom

Iz navedenog može se zaključiti da su izmjerene ekstenzijske/transtenzijske rasjedne strukture nastale u tektonskim fazama kada je prevladavalo ekstenzijsko polje naprezanja, pri čemu je ekstenzija postojala u dvije faze, po pravcu SI–JZ te SZ–JI.

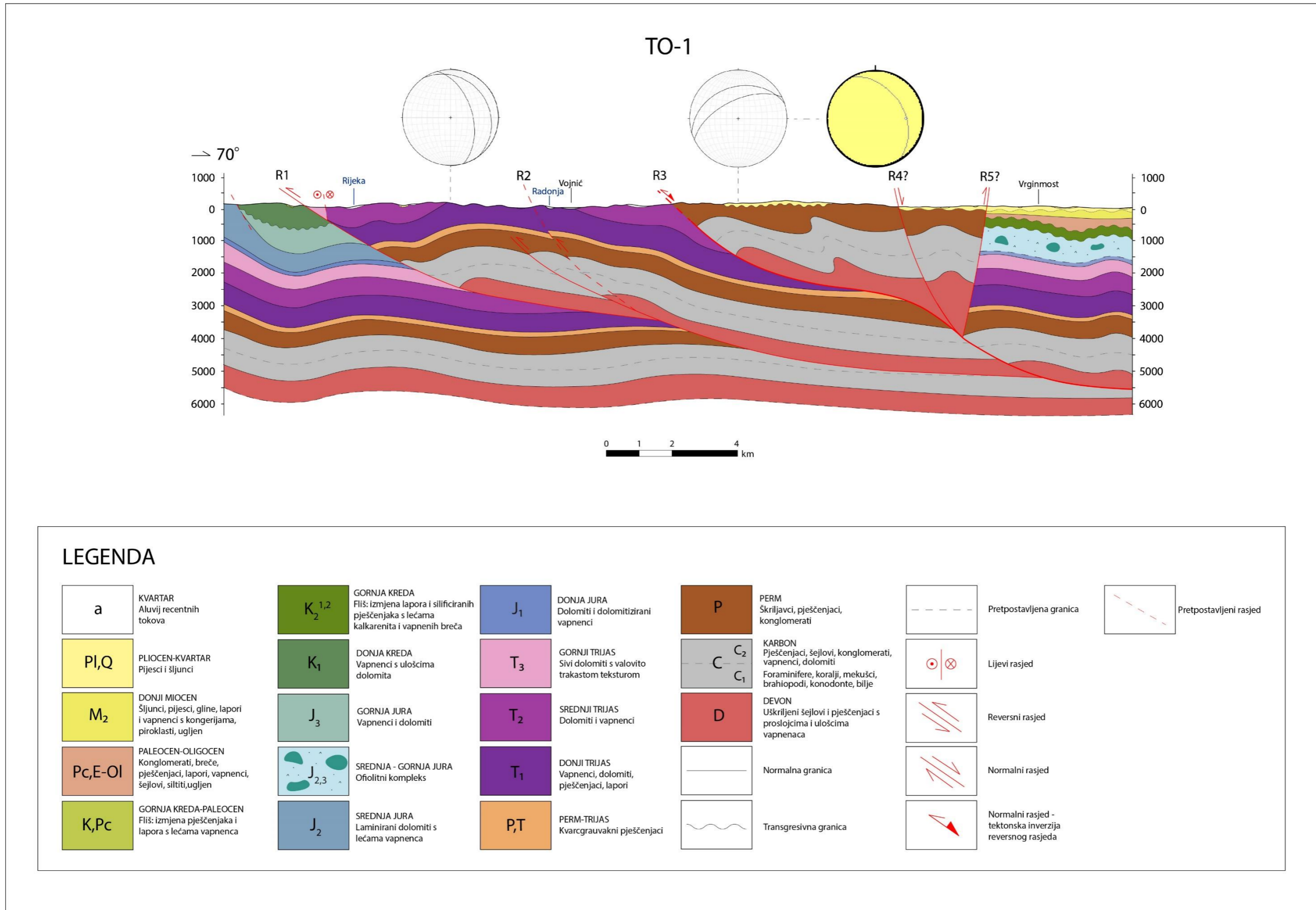
## 5.2. KONSTRUIRANI STRUKTRNO-GEOLOŠKI PROFILI

U svrhu boljeg shvaćanja strukturne građe podzemlja, strukturno-geoloških odnosa na površini te izrade 3D modela, u sklopu diplomskog rada konstruirano je 6 geoloških profila (Slike 5.6-5.11). Izrada geoloških profila pratila je pojednostavljivanje stratigrafskih jedinica koje nalazimo na području istraživanja, pri čemu su katovi unutar jedinica iste starosti objedinjeni u litološke jedinice čije su starosti definirane po epohama. Na taj način, za potrebe izrade geološkog profila, trijaskе naslage su podijeljene na donji, srednji i gornji trijas, jura je podijeljena na donju, srednju i gornju (ofiolitni kompleks), dok je kreda podijeljena na donju i gornju. Miocenski slijed naslaga je podijeljen na donji, srednji i gornji kompleks, pri čemu se koristila kronostratigrafska podjela opisana u radu Pavelić i dr. (2003). Starije kronostratigrafske jedinice podijeljene su u skladu s geološkim odnosima/starostima koje su definirane na listovima osnovnih geoloških karata istraživanog područja.

Shodno navedenome, Slike 5.6-5.11 prikazuju konstruirane strukturno-geološke profile s pripadajućom legendom i strukturnim dijagramima kojima su prikazani rezultati mjerenja na pojedinim terenskim točkama duž konstruiranih profila. Pružanja profila su od jugozapada prema sjeveroistoku (Slika 4.4). Obuhvaćaju slijed stijenskih kompleksa, odnosno naslaga paleozojske, mezozojske te kenozojske starosti. Ljuskava građa koja prevladava u području istraživanja rezultat je utjecaja kompresijske tektonike. Kompresijska tektonika i niz reversnih i navlačnih rasjeda generalno su uvjetovali djelomično navlačenje paleozojsko-mezozojskog kompleksa Petrove gore na sinklinalne dijelove mlađe jure, odnosno starije krede (idući prema zapadu), ali isto tako i nastanak niza navlačnih struktura unutar Petrove gore. Prema strukturno-geološkoj interpretaciji i terenskim istraživanjima, za pretpostaviti je da je glavni dekolmanski horizont u području istraživanja zapravo devonski i permski slijed naslaga, s obzirom da se radi o šejlovima i pješčenjacima s proslojcima i ulošcima vapnenaca.

### 5.2.1. Strukturno-geološki profil TO-1

Strukturno-geološki profil TO-1 duljine je 27,6 km te predstavlja najsjeverniji profil na području istraživanja. Azimut profila je  $70^\circ$  te mu je pružanje od jugozapada prema sjeveroistoku. Profil se pruža od Čatrnje na jugozapadu preko Vojnića do Vrginmosta na sjeveroistoku. Reversni rasjed R1 predstavlja navlaku Veljun – Cetingrad – Pećingrad. Navlačnom tektonikom (kut nagiba iznosi  $30^\circ$ ) naslage mlađeg trijasa dovedene su u reversni kontakt s donjokrednim naslagama. Rasjed lijevog/desnog karaktera s pomakom po pružanju, koji se nalazi između naslaga srednjeg i mlađeg trijasa potvrđen je terenskim istraživanjima te mu je izmjerena orijentacija pružanja  $130\text{--}310^\circ$  dok kut nagiba iznosi  $60^\circ$ . Borani sustavi između rasjeda R1 i R2 te rasjeda R2 i R3 nastali su *fault-bend-fold* tipom boranja s interpretiranim dekolmanskim horizontom devonske starosti. Procijenjeni skok na rasjedu R1, temeljem kontakta stratigrafskih jedinica, iznosi približno 3 km, dok skok po rasjedu R2 iznosi 100 m. Prema strukturnoj interpretaciji, rasjed R3 predstavlja strukturno rekativirani reversni rasjed koji danas predstavlja normalni rasjed. Prije tektonske inverzije na površinu su navlačnom tektonikom dovedene permske naslage koje čine današnju Petrovu goru. Skok po rasjedu procijenjen temeljem kontakta stratigrafskih jedinica iznosi približno 2,25 km. Sjeveroistočno od rasjeda R4 i R5 rasprostiru se miocenske naslage koje su nastale u Panonskom bazenu RH. Miocenske, paleogenske i kredne naslage međusobno su transgresivne te naliježu na ofiolitni kompleks. Hod po rasjedu R4 iznosi 200 m. Između rasjeda R3 i R5 teren je izrazito boran te su sami rasjedi, ali i naslage, strmo nagnuti (između  $40^\circ$  i  $50^\circ$ ). Kroz cijeli profil vidljiv je niz antiklinala i sinklinala.

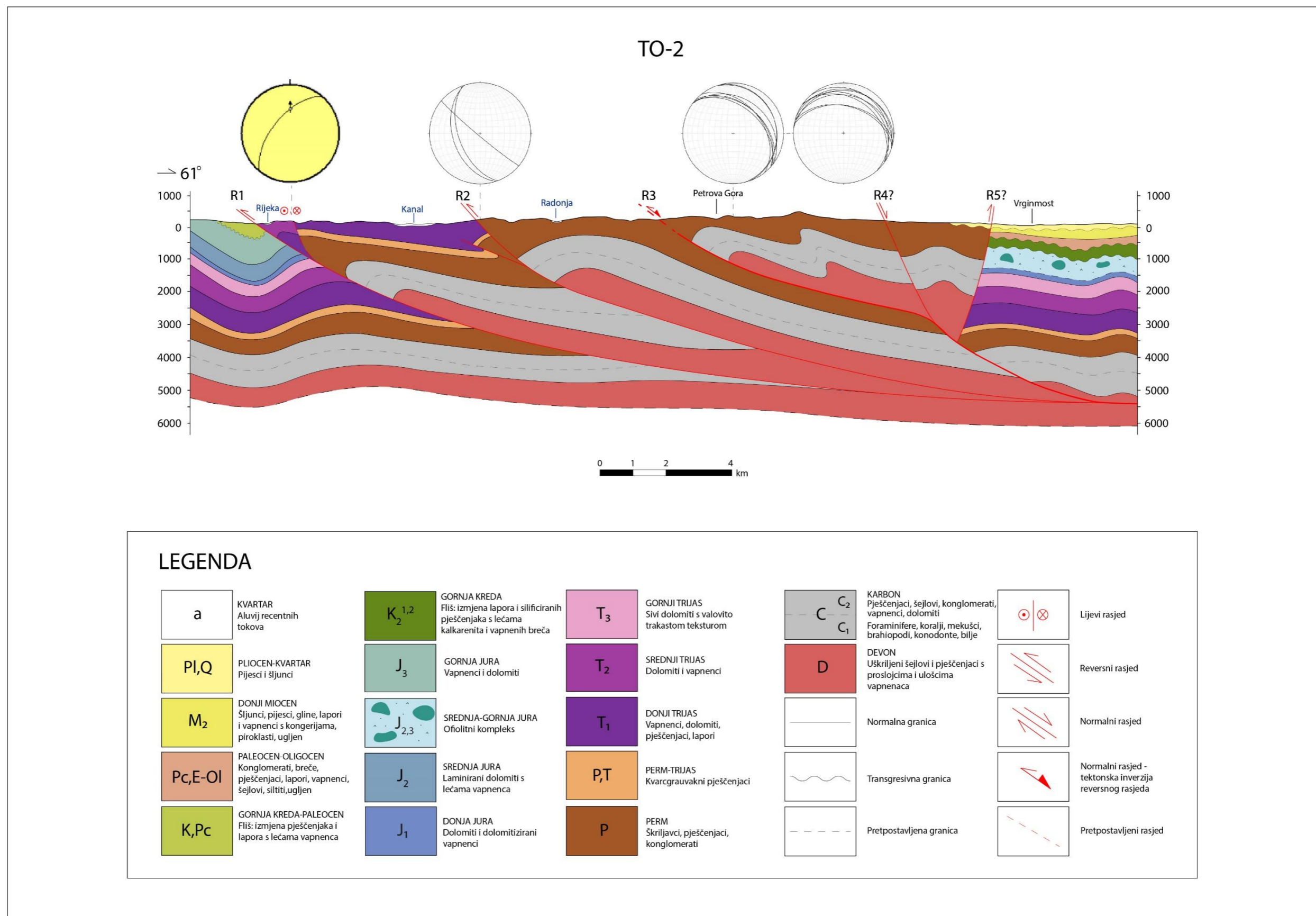


Slika 5.6 Strukturno-geološki profil TO-1 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda



### 5.2.2. Strukturno-geološki profil TO-2

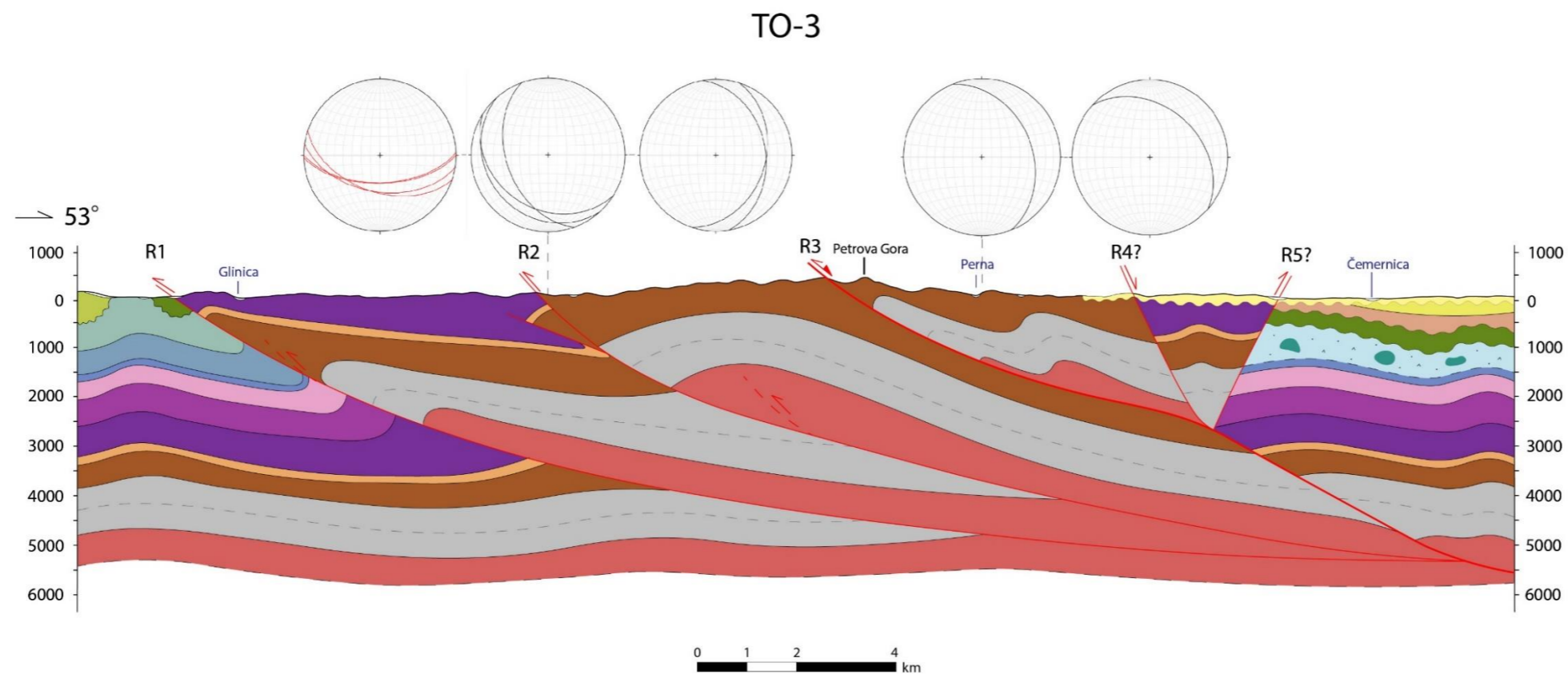
Strukturno-geološki profil TO-2 duljine 29 km i azimuta  $61^\circ$ , približno je paralelan profilu TO-1. Pruža se preko SZ oboda Petrove gore do Vrginmosta. Slično kao i na profilu TO-1, u jugozapadnom dijelu profila rasjed R1 navlačnom tektonikom dovodi u reversni kontakt naslage srednjeg trijasa s mlađim naslagama kredno-paleocenskog fliša koji čini jezgru sinklinale u jugozapadnom dijelu profila. Skok po rasjedu R1 procijenjen temeljem kontakta stratigrafskih jedinica iznosi približno 1,25 km. Iz profila je vidljivo da je većina površine terena prekrivena permskim naslagama koje čine jezgru Petrove gore. Jezgra Petrove gore omeđena je rasjedima R2 i R5 te su na jugozapadu u kontaktu sa naslagama starijeg trijasa dok su na sjeveroistoku prekrivene pliokvartarnim naslagama. Skok po rasjedu R2 znatno je veći nego na profilu TO-1 i iznosi 1,7 km. U odnosu na profil TO-1, na ovom profilu vidljivo je da konstrukcija sustava navlaka na rasjedu R1 i R3 odgovara modelu boranja po principu *fault-propagation-fold*. Rasjed R3 je tektonskom inverzijom reaktiviran u normalni rasjed. Normalnim pomakom rasjed R5 u kontakt dovodi permske i miocenske naslage.



Slika 5.7 Strukturno-geološki profil TO-2 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda

### 5.2.3. Strukturno-geološki profil TO-3

Strukturno-geološki profil TO-3 pruža se od Cvijanović Brda preko središnjih dijelova Petrove gore, do Donje Blatuše. Duljine je 28,5 km te azimuta 53°. Rasjed R1 nagnut je pod kutem od 34° i dovodi u kontakt gornjotrijaske i kredne naslage. Skok po rasjedu R1 procijenjen temeljem kontakta stratigrafskih jedinica iznosi 1,95 km. Na ovome profilu one čine jezgru sinklinale. Borani sustavi na rasjedima R1, R2 i R3 nastali su *fault-propagation-fold* tipom boranja. Nagnuti su prema sjeveroistoku, dok je dominantan tektonski transport po dekolmanskome horizontu prema jugozapadu. Skok po rasjedu R2 približno je jednak kao na profilu TO-2 i iznosi 1,8 km. U sjeveroistočnom dijelu profila naslage pliokvartarne starosti prekrivaju rasjede R4 i R5. Rasjed R4 normalnog je pomaka i u kontakt dovodi naslage gornjeg trijasa i perma. Hod po rasjedu R4 iznosi 600 m. S druge strane, rasjed R5 naslage gornjeg trijasa dovodi u reversni kontakt s paleocensko-oligocenskim naslagama koje transgresivno naliježu na kredne naslage. One također transgresivno naliježu na jurski ofiolitni kompleks.



### LEGENDA

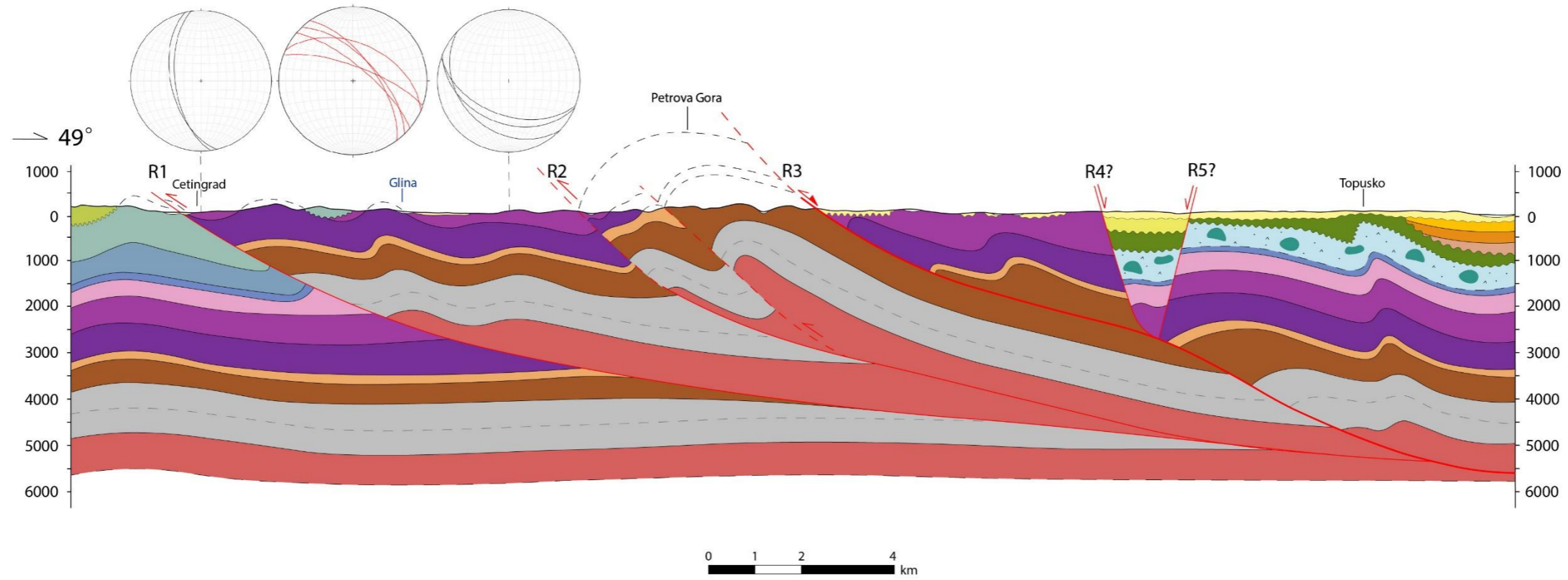
<b>a</b>	<b>KVARTAR</b> Aluvij recentnih tokova	<b>K<sub>2,1,2</sub></b>	<b>GORNJA KREDA</b> Fliš: izmjena lapora i silificiranih pješčenjaka s lećama kalkarenita i vapnenih breča	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>GORNJI TRIJAS</b> Sivi dolomiti s valovito trakastom teksturom	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>KARBON</b> Pješčenjaci, šejlovi, konglomerati, vapnenci, dolomiti		Reversni rasjed
<b>PI,Q</b>	<b>PLIOCEN-KVARTAR</b> Pijesci i šljunci	<b>J<sub>3</sub></b>	<b>GORNJA JURA</b> Vapnenci i dolomiti	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>SREDNJI TRIJAS</b> Dolomiti i vapnenci	<b>C<sub>1</sub></b>	Foraminifere, koralji, mekušci, brahiopodi, konodonti, bilje		Normalni rasjed
<b>M<sub>2</sub></b>	<b>DONJI MIOCEN</b> Šljunci, pijesci, gline, lapori i vapnenci s kongerijama, piroklasti, ugljen	<b>J<sub>2,3</sub></b>	<b>SREDNJA-GORNJA JURA</b> Ofolitni kompleks	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>DONJI TRIJAS</b> Vapnenci, dolomiti, pješčenjaci, lapori		<b>DEVON</b> Uškrljeni šejlovi i pješčenjaci s proslojcima i ulošcima vapnenaca		Normalni rasjed - tektonska inverzija reversnog rasjeda
<b>Pc,E-OI</b>	<b>PALEOCEN-OLIGOCEN</b> Konglomerati, breče, pješčenjaci, lapori, vapnenci, šejlovi, siltiti, ugljen	<b>J<sub>2</sub></b>	<b>SREDNJA JURA</b> Laminirani dolomiti s lećama vapnenca	<b>P,T</b>	<b>PERM-TRIJAS</b> Kvarcgrauvakni pješčenjaci				Pretpostavljeni rasjed
<b>K,Pc</b>	<b>GORNJA KREDA-PALEOCEN</b> Fliš: izmjena pješčenjaka i lapora s lećama vapnenca	<b>J<sub>1</sub></b>	<b>DONJA JURA</b> Dolomiti i dolomitizirani vapnenci	<b>P</b>	<b>PERM</b> Škriljavci, pješčenjaci, konglomerati				

Slika 5.8 Strukturno-geološki profil TO-3 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda

#### 5.2.4. Strukturno-geološki profil TO-4

Strukturno-geološki profil TO-4 duljine 31 km pruža se od Cetingrada na jugozapadu, preko južnih obronaka Petrove gore do Topuskog i Gređana na sjeveroistoku. Azimut profila je  $49^\circ$ . Rasjed R1 reversno dovodi donje trijaskе naslage u kontakt sa sinklinalnim dijelovima u kojima prevladavaju jurske naslage. Pomak po rasjedu je i dalje reversni/navlačni te je procijenjen temeljem kontakta stratigrafskih jedinica i iznosi 2,38 km, pri čemu je boranje djelomično *fault-bend-fold* tipa. Slijepi rasjed (engl. *blind fault*) koji se nalazio između rasjeda R2 i R3 na prethodnom profilu, na dubini od otprilike 1500 m, na ovom profilu izlazi na površinu te na njemu, kao i na rasjedu R2, dolazi do boranja po principu *fault-propagation fold*. Pomak po rasjedu R2 iznosi otprilike 880 m. Rasjed R3 nagnut je pod kutem od  $36^\circ$  i u kontakt dovodi srednje trijaskе i permske naslage. Rasjedi R4 i R5 normalnog su pomaka. Hod po rasjedu R4 iznosi 1,12 km, a po rasjedu R5 670 m. Pliokvartarne naslage i dalje prekrivaju sjeveroistočni dio profila. U sjevernom dijelu profila pojavljuju se naslage srednjeg i donjeg miocena koje vjerojatno čine naslage Glinske depresije.

# TO-4



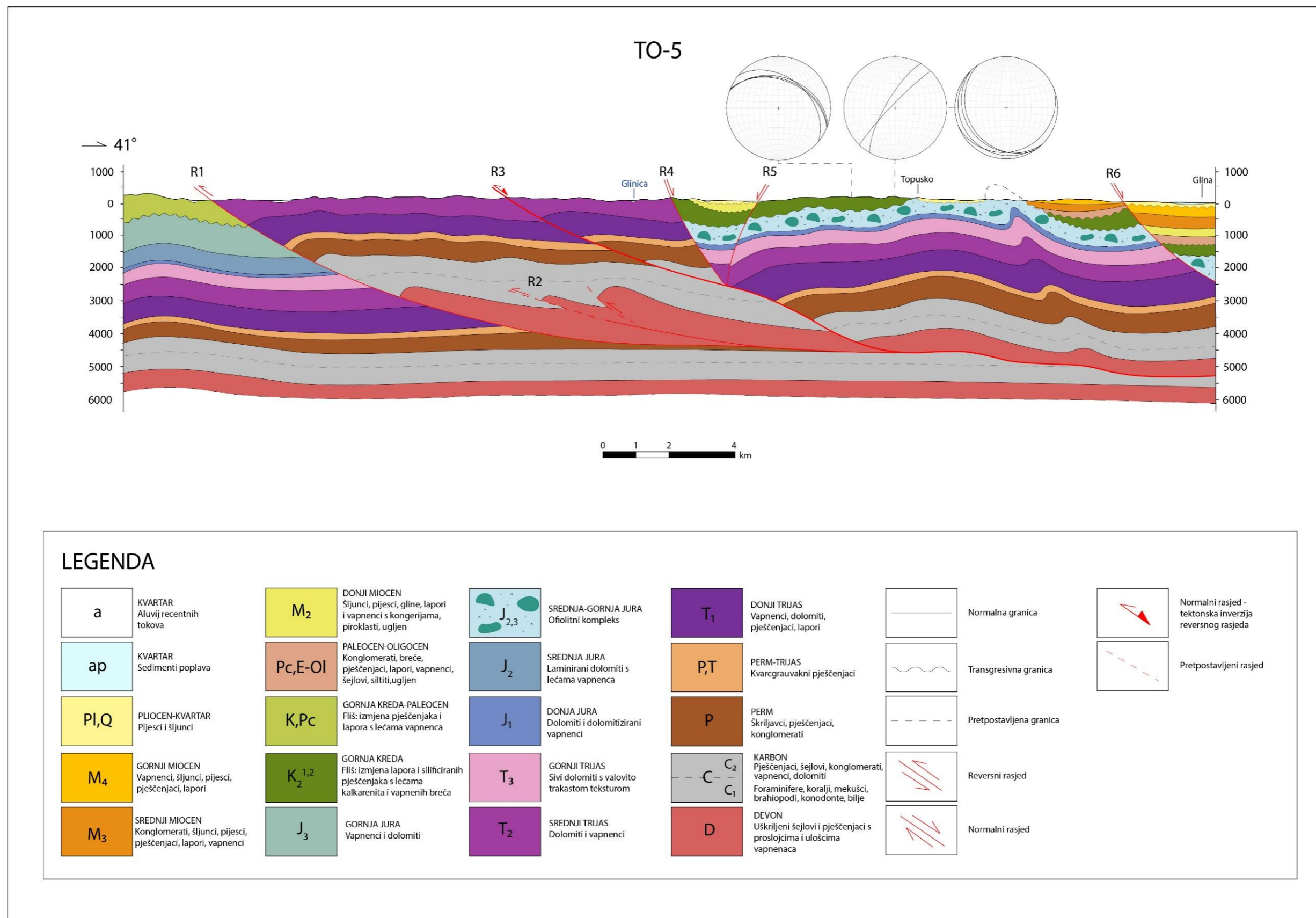
## LEGENDA

<b>a</b>	KVARTAR Aluvij recentnih tokova	<b>M<sub>3</sub></b>	SREDNJI MIOCEN Konglomerati, šljunci, pijesci, pješčenjaci, lapori, vapnenci	<b>J<sub>3</sub></b>	GORNJA JURA Vapnenci i dolomiti	<b>T<sub>2</sub></b>	SREDNJI TRIJAS Dolomiti i vapnenci	<b>D</b>	DEVON Uškrljeni šejlovi i pješčenjaci s proslojcima i ulošcima vapnenaca		Normalni rasjed - tektonska inverzija reversnog rasjeda
<b>b</b>	KVARTAR Barski sedimenti	<b>M<sub>2</sub></b>	DONJI MIOCEN Šljunci, pijesci, gline, lapori i vapnenci s kongerijama, piroklasti, ugljen	<b>J<sub>2,3</sub></b>	SREDNJA-GORNJA JURA Ofiolitni kompleks	<b>T<sub>1</sub></b>	DONJI TRIJAS Vapnenci, dolomiti, pješčenjaci, lapori				Normalni rasjed
<b>dpr</b>	KVARTAR Deluvij - pruluvij	<b>Pc,E-OI</b>	PALEOCEN-OLIGOCEN Konglomerati, breče, pješčenjaci, lapori, vapnenci, šejlovi, siltiti, ugljen	<b>J<sub>2</sub></b>	SREDNJA JURA Laminirani dolomiti s lećama vapnenca	<b>P,T</b>	PERM-TRIJAS Kvarcgrauvakni pješčenjaci				Pretpostavljeni rasjed
<b>PI,Q</b>	PLIOCEN-KVARTAR Pijesci i šljunci	<b>K,Pc</b>	GORNJA KREDA-PALEOCEN Fliš: izmjena pješčenjaka i lapora s lećama vapnenca	<b>J<sub>1</sub></b>	DONJA JURA Dolomiti i dolomitizirani vapnenci	<b>P</b>	PERM Škriljavci, pješčenjaci, konglomerati				
<b>M<sub>4</sub></b>	GORNJI MIOCEN Vapnenci, šljunci, pijesci, pješčenjaci, lapori	<b>K<sub>2</sub><sup>1,2</sup></b>	GORNJA KREDA Fliš: izmjena lapora i silificiranih pješčenjaka s lećama kalkarenita i vapnenih breča	<b>T<sub>3</sub></b>	GORNJI TRIJAS Sivi dolomiti s valovito trakastom teksturom	<b>C<sub>2</sub></b> <b>C<sub>1</sub></b>	KARBON Pješčenjaci, šejlovi, konglomerati, vapnenci, dolomiti Foraminifere, korralji, mekušci, brahiopodi, konodonti, bilje				Reversni rasjed

Slika 5.9 Strukturno-geološki profil TO-4 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva i rasjeda

#### 5.2.5. Strukturno-geološki profil TO-5

Strukturno-geološki profil TO-5 duljine je 32,8 km i azimuta  $41^\circ$ . U svom središnjem dijelu se razlikuje od dosadašnjih profila, jer su permske naslage koje su u SZ područja istraživanja redovito izlazile na površinu, u središnjem i JI dijelu područja istraživanja na dubinama većim od 1000 m. Rasjedi R1 i R3 i dalje izdanjuju na površini, dok je reversni rasjed R2 duboko ispod površine. Srednjotrijaske naslage su reversnim rasjednom R1 dovedene u kontakt sa naslagama kredno-paleocenskog fliša. Veličina skoka po rasjedu R1 procijenjena temeljem kontakta stratigrafskih jedinica iznosi 2,38 km. Rasjedi R4 i R5 normalnog su pomaka te je raspored naslaga sličan kao i na geološkom profilu TO-4. Hod po rasjedu iznosi R4 2,18 km dok po rasjedu R5 iznosi 240 m. Sjeveroistočno od rasjeda R5 kredne naslage te jurski ofiolitni kompleks izdanjuju na površini. Normalni rasjed R6 odjeljuje miocenske naslage te je prema procjeni doveo do spuštanja krovinskog bloka za 1,5 km.

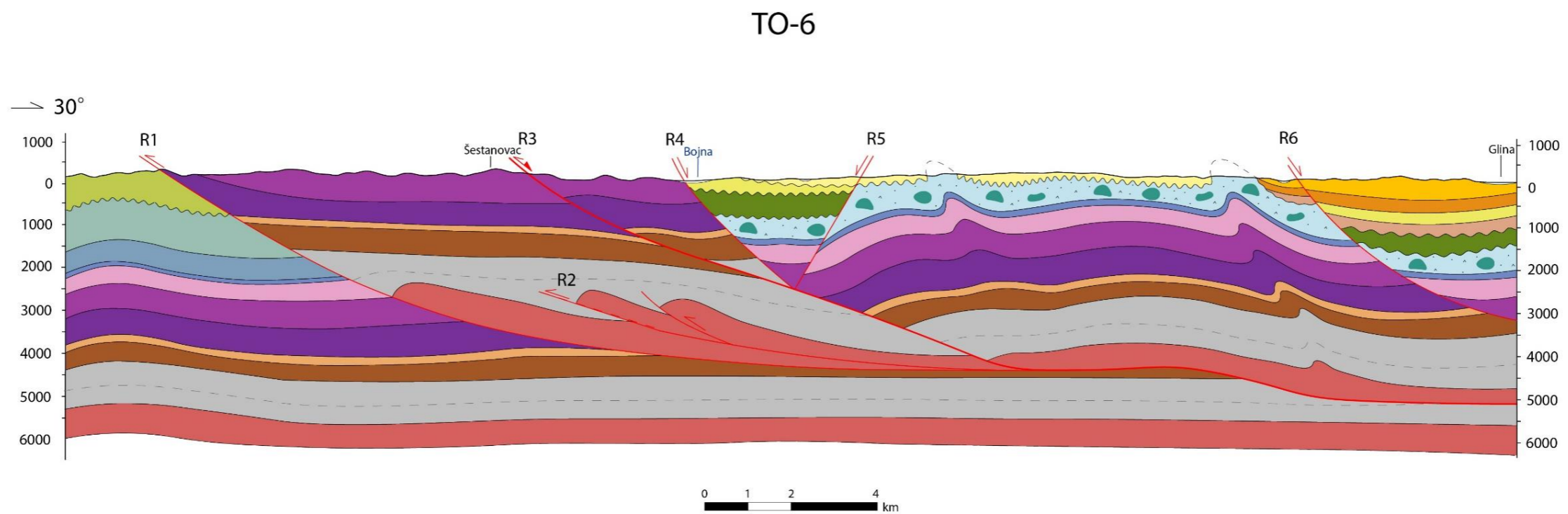


Slika 5.10 Strukturno-geološki profil TO-5 s prikazanim izmjerenim orijentacijama slojeva



#### 5.2.6. Strukturno-geološki profil TO-6

Strukturno-geološki profil TO-6 najjužniji je poprečni profil na istraživanom području. Duljine 33,3 km i azimuta 30° prostire se od Rošića preko Šestanovca do Gline. Vrlo je sličan, gotovo identičan profilu TO-5. Rasjed R1 u reversni kontakt dovodi donjotrijaske naslage s kredno-paleocenskim flišem. Skok po rasjedu procijenjen temeljem kontakta stratigrafskih jedinica iznosi 2,42 km. Kao i na profilu TO-5 rasjed R2 nalazi se duboko ispod površine dok je na rasjedu R3 vidljiva strukturna reaktivacija i tektonska inverzija prvobitno reversnog rasjeda. Između normalnih rasjeda R4 i R5 na površini se nalaze naslage donjeg miocena koje su djelomično prekrivene sa pliokvartarnim naslagama. Hod po rasjedu R4 iznosi 1,9 km, dok hod po rasjedu R5 iznosi oko 150 m. Sjeveroistočno od rasjeda R5 jurski ofiolitni kompleks izdanjuje na površini te je na nekim dijelovima prekriven pliokvartarnim naslagama. U sjevernom dijelu profila vidljivo je produbljivanje Glinske depresije duž rasjeda R6, a čiju ispunu čini transgresivni slijed kredno-paleogenskog fliša te miocenske naslage. Hod po rasjedu R6 iznosi između 500 m u plićim dijelovima i 1,5km u dubljim dijelovima.



### LEGENDA

<b>a</b>	KVARTAR Aluvij recentnih tokova	<b>M<sub>2</sub></b>	DONJI MIOCEN Šljunci, pijesci, gline, lapori i vapnenci s kongerijama, piroklasti, ugljen	<b>J<sub>2,3</sub></b>	SREDNJA-GORNJAJURA Ofiolitni kompleks	<b>T<sub>1</sub></b>	DONJI TRIJAS Vapnenci, dolomiti, pješčenjaci, lapori		Normalna granica		Normalni rasjed - tektonska inverzija reversnog rasjeda
<b>ap</b>	KVARTAR Sedimenti poplava	<b>Pc,E-OI</b>	PALEOCEN-OLIGOCEN Konglomerati, breče, pješčenjaci, lapori, vapnenci, šejlovi, siliti, ugljen	<b>J<sub>2</sub></b>	SREDNJA JURA Laminirani dolomiti s lećama vapnenca	<b>P,T</b>	PERM-TRIJAS Kvarcgrauvakni pješčenjaci		Transgresivna granica		Pretpostavljeni rasjed
<b>PI,Q</b>	PLIOCEN-KVARTAR Pijesci i šljunci	<b>K,Pc</b>	GORNJA KREDA-PALEOCEN Flis: izmjena pješčenjaka i lapora s lećama vapnenca	<b>J<sub>1</sub></b>	DONJA JURA Dolomiti i dolomitizirani vapnenci	<b>P</b>	PERM Škriljavci, pješčenjaci, konglomerati		Pretpostavljena granica		Reversni rasjed
<b>M<sub>4</sub></b>	GORNJI MIOCEN Vapnenci, šljunci, pijesci, pješčenjaci, lapori	<b>K<sub>2</sub><sup>1,2</sup></b>	GORNJA KREDA Flis: izmjena lapora i silificiranih pješčenjaka s lećama kalkarenita i vapnenih breča	<b>T<sub>3</sub></b>	GORNJI TRIJAS Sivi dolomiti s valovito trakastom teksturom	<b>C<sub>2</sub> C<sub>1</sub></b>	KARBON Pješčenjaci, šejlovi, konglomerati, vapnenci, dolomiti Foraminifere, koraljci, mekušci, brahiopodi, konodonti, bilje		Reversni rasjed		Normalni rasjed
<b>M<sub>3</sub></b>	SREDNJI MIOCEN Konglomerati, šljunci, pijesci, pješčenjaci, lapori, vapnenci	<b>J<sub>3</sub></b>	GORNJA JURA Vapnenci i dolomiti	<b>T<sub>2</sub></b>	SREDNJI TRIJAS Dolomiti i vapnenci	<b>D</b>	DEVON Uskrijeni šejlovi i pješčenjaci s prosljocima i ulošcima vapnenaca		Normalni rasjed		

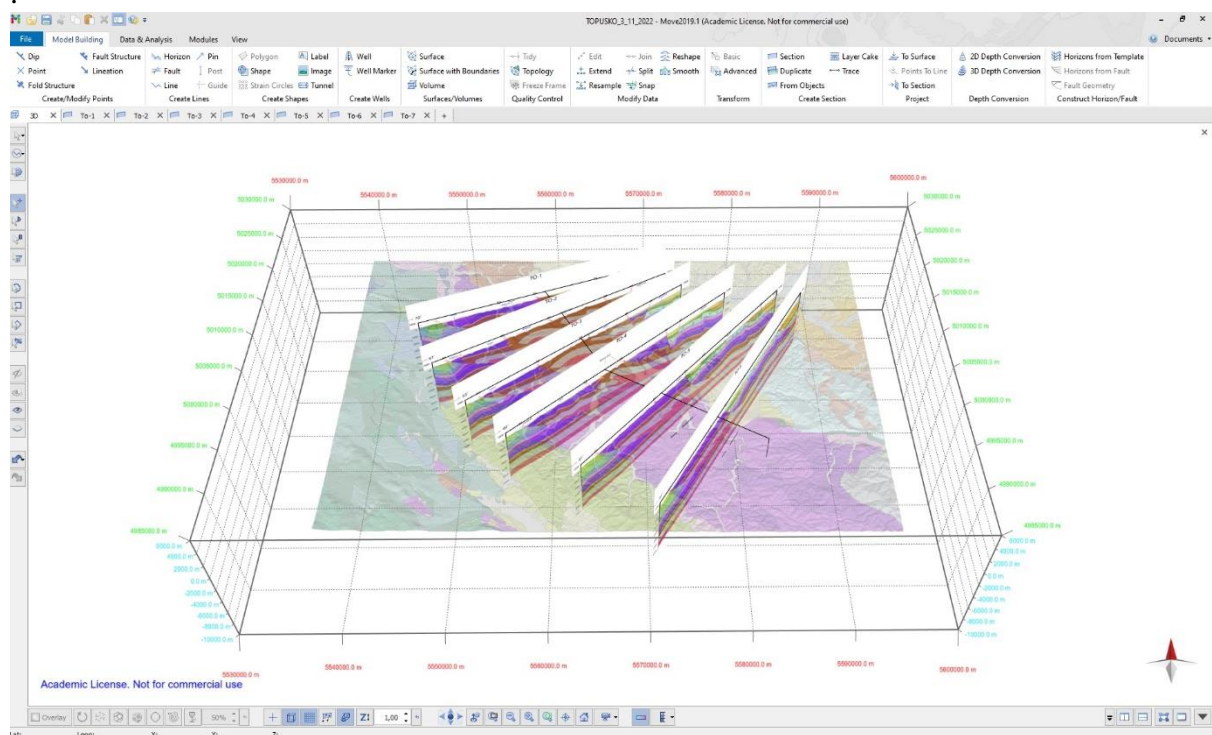
Slika 5.11 Strukturno-geološki profil TO-6

### 5.3. STRUKTURNI MODEL PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Radi boljeg razumijevanja strukturnih odnosa na području istraživanja izrađen je trodimenzionalni model. Model je izrađen u programu *Petroleum Experts Move*. *Move* paket je najcjelovitiji dostupni geološki alat za strukturno modeliranje i analizu. Pruža platformu za integraciju i interpretaciju podataka, konstrukciju poprečnog presjeka, izgradnju 3D modela, kinematičku restauraciju i validaciju, geomehničko modeliranje, modeliranje pukotina te analizu rasjeda i naprezanja (<https://www.petex.com/products/move-suite/>).

#### 5.3.1 Izrada trodimenzionalnog modela

Prije izrade strukturnog modela bilo je potrebno pripremiti i uskladiti ulazne podatke. U programu *ArcMap* 10.1. pripremljeni su ulazni podaci korišteni za izradu modela. Ulazne podatke sačinjavaju digitalizirane OGK listova: *Črnomelj, Karlovac, Sisak, Ogulin, Slunj, Bosanski Novi* te *Geološka karta SFR Jugoslavije*, trase geoloških profila i digitalni elevacijski model (DEM). Svi su ulazni podaci pripremljeni u istom koordinatnom sustavu kako bi bili kompatibilni. U ovom slučaju postavljeni su u koordinatni sustav MGI Balkans 5. Nakon što su u *Move* unesene spomenute podloge, u obliku .jpg datoteke, kao *Vertical Image* uneseni su geološki profili koji su prethodno izrađeni u programu *Adobe Illustrator* (Slika 5.12).



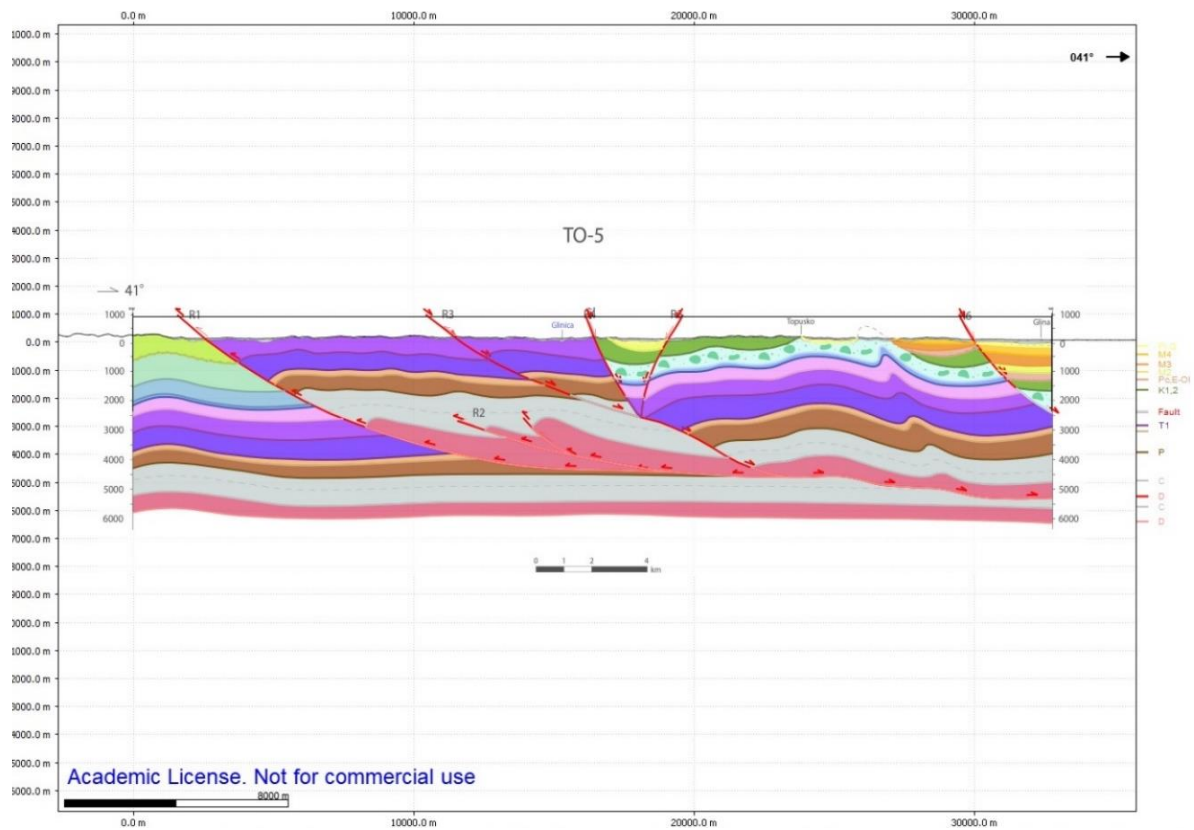
Slika 5.12 Ulazni podaci za 3D modeliranje podzemlja

Za potrebe izrade modela definiran je geološki stup naslaga alatom *Stratigraphy* (Slika 5.13). Svakom slijedu naslaga dodijeljena je starost podine preuzeta iz Svjetske kronostratigrafske ljestvice (<https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2022-02.pdf>) i debljina na temelju Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100 000 listova *Karlovac* (Benček i dr., 2014), *Sisak* (Pikija, 1987), *Slunj* (Korolija i dr., 1980) i *Bosanski Novi* (Šikić, 1988).

Stratigraphy		Rock Properties		Strat. Column		Compaction Curves	
	Horizon	Colour	Rock Type	Age	Thickness	Active	
1	Pl,Q		Default	5.0 Ma	100.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	M4		Default	11.0 Ma	300.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	M3		Default	15.0 Ma	35.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	M2		Default	23.0 Ma	300.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Pc,E-Ol		Default	66.0 Ma	250.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	K,Pc		Default	72.0 Ma	600.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	K2,1,2		Default	113.0 Ma	400.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	K1		Default	145.0 Ma	800.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	J3		Default	163.0 Ma	800.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	J2,3		Default	166.0 Ma	600.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	J2		Default	174.0 Ma	500.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	J1		Default	201.0 Ma	120.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	T3		Default	237.0 Ma	400.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	T2		Default	247.0 Ma	564.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	T1		Default	251.0 Ma	600.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	P,T		Default	259.0 Ma	150.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	P		Default	299.0 Ma	500.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	C		Default	359.0 Ma	1000.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	D		Default	419.0 Ma	500.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	

Slika 5.13 Geološki stup naslaga pomoću kojeg su kreirani horizonti na geološkim profilima

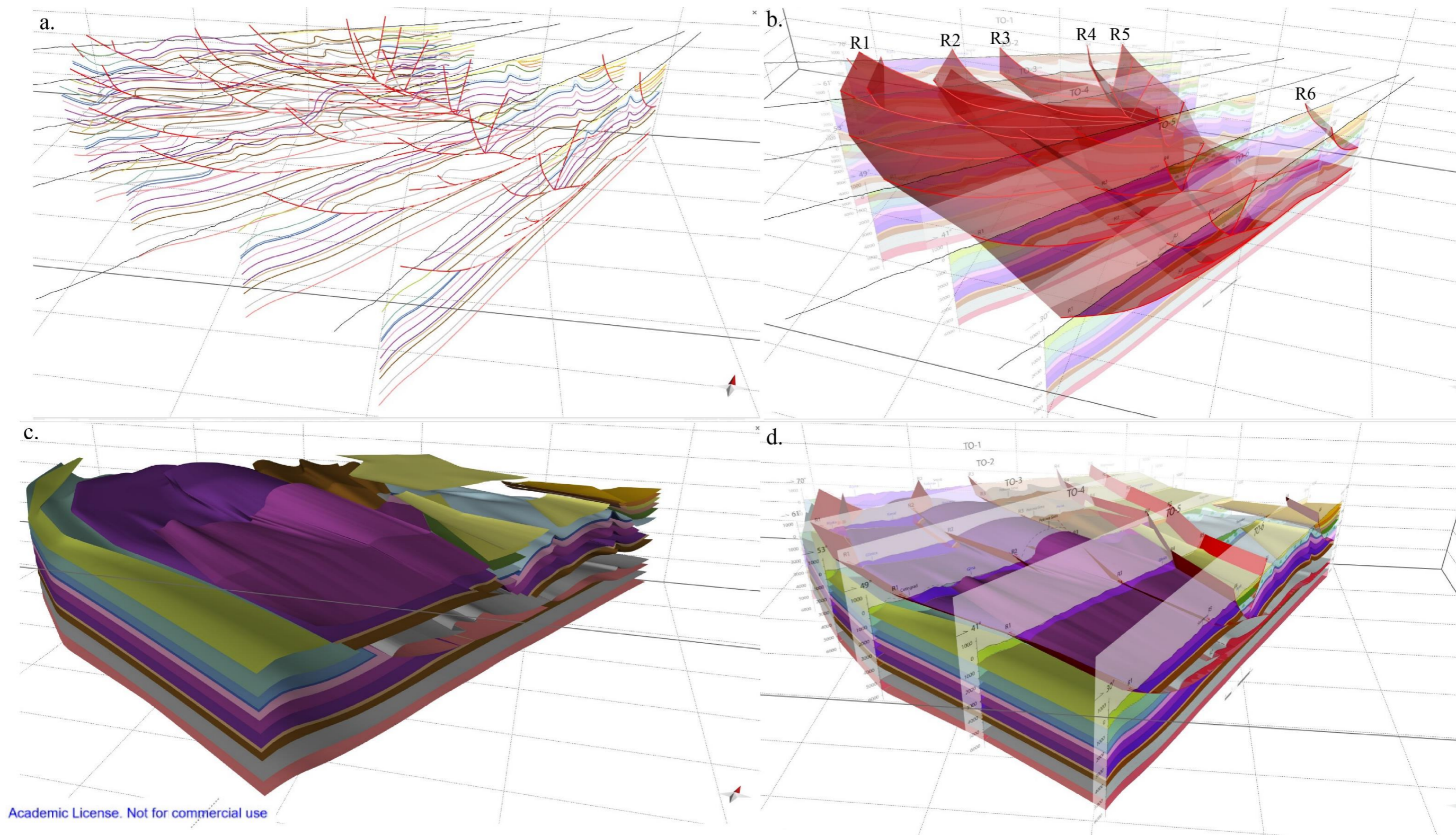
Nakon definirane stratigrafije izvršena je digitalizacija geoloških jedinica i rasjednih ploha u dvodimenzionalnom obliku alatima *Horizon* i *Fault* kojima se ručno iscrtavaju linije geoloških granica (horizonata), odnosno rasjeda. Digitalizacija rasjeda provedena je pomoću alata *Fault* u okviru alatne trake *Model Building*. Prilikom digitalizacije svakom rasjedu se određuje pomak te mu se dodjeljuje naziv. Radi lakšeg kreiranja rasjednih ploha istovjetnim rasjedima dodijeljen je isti naziv. Horizonti su digitalizirani pomoću alata *Horizon* tako što su se iscrtavali tragovi svakog slijeda naslaga. Na Slici 5.14 prikazan je primjer digitaliziranja horizonata i rasjeda na geološkom profilu TO-5.



Slika 5.14 Primjer digitaliziranja horizonata i rasjeda na geološkom profilu TO-5

Kako bi se konstruirao trodimenzionalan model, tragovi istovjetnih rasjednih ploha i istovjetnih horizonata interpolacijskim su algoritmima povezani u zasebne, jedinstvene plohe. U ovoj fazi rada bilo je ključno modelirati glavne rasjedne plohe koje se mogu pratiti na svim geološkim profilima.

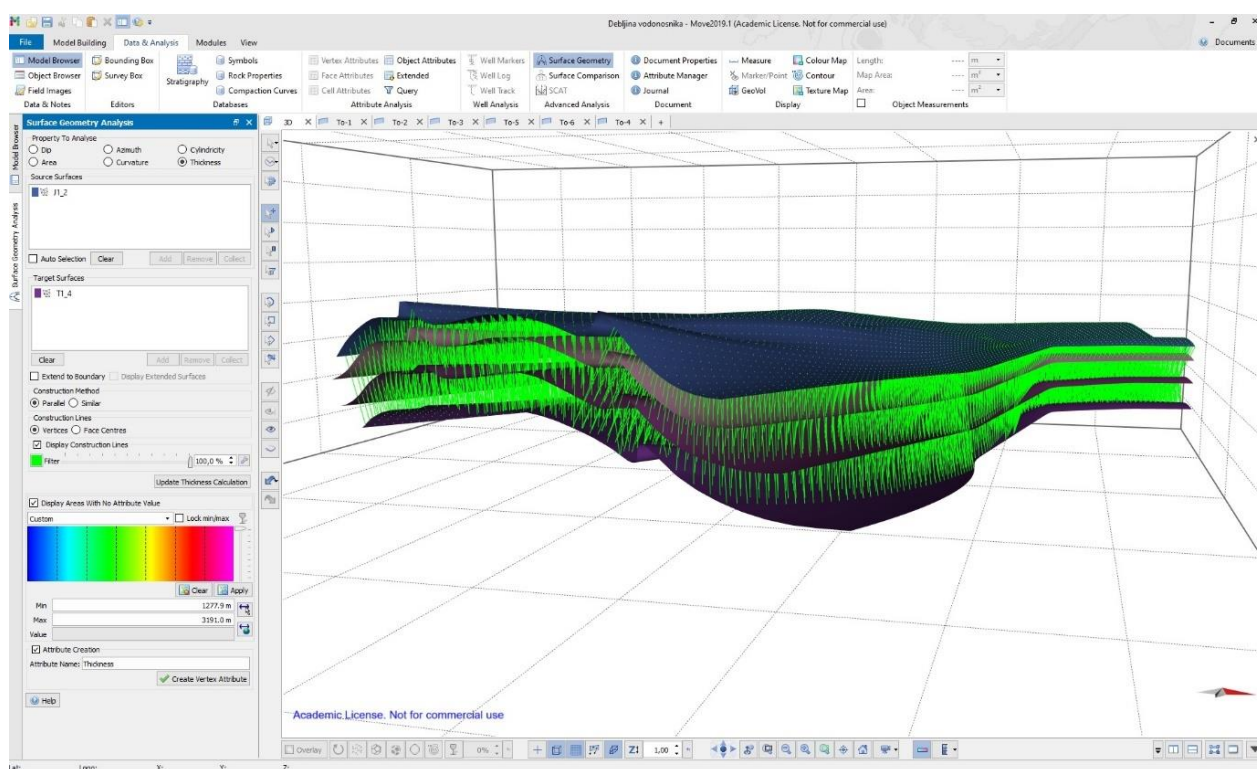
Algoritam koji je korišten za modeliranje ploha je *Linear i Spline Curve*. Ovaj algoritam pogodan je za korištenje kada su horizonti i rasjedi prvotno digitalizirani pomoću linija u dvodimenzionalnom obliku. Prilikom modeliranja debljine i starosti jedinica modelirane su prema debljinama definiranim u ranijem koraku. Slika 5.15 prikazuje izdvojene, važnije korake u procesu modeliranja podzemlja.



Slika 5.15 Kreiranje 3D strukturno-geološkog modela: a.-linijski digitalizirani geološki profili, b.-kreirane rasjedne plohe, c. kreirane plohe horizonata, d. cjelokupni 3D model

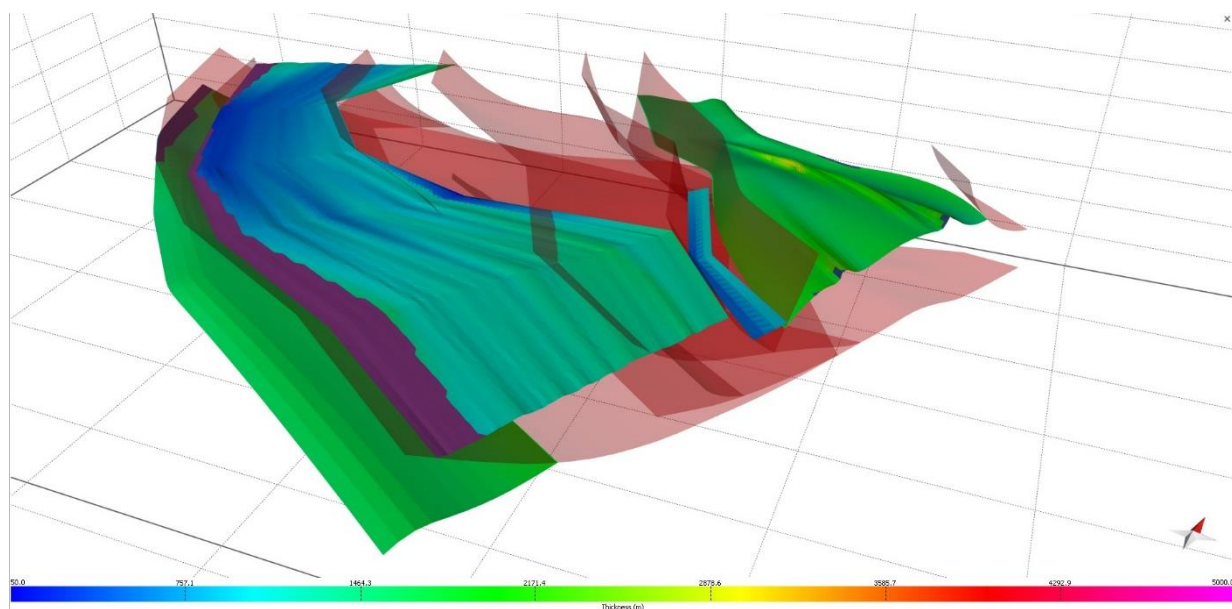
### 5.3.2 Hidrotermalni potencijal područja istraživanja - debljina i volumen trijaskog vodonosnika

Konstruirani trodimenzionalni strukturno-geološki model korišten je za proračun debljina trijaskog vodonosnika. Debljine vodonosnika izračunate su pomoću alata *Surface Geometry Analysis* u okviru alatne trake *Data & Analysis*. S obzirom da su u modelu iscrtavane plohe interpretiranih naslaga, debljina trijaskog vodonosnika, za koji se pretpostavlja da predstavlja vodonosnik termalne vode, izračunata je razlikom debljine modela između podine donjeg trijasa i podine donje jure pri čemu je donji trijas engl. *Target Surface* dok je donja jura engl. *Source Surface*. *Source Surface* je ona ploha na kojoj će biti prikazani atributi, u ovom slučaju debljine će biti prikazane bojama. Ovisno o obliku i vrsti ploha, kao metodu konstrukcije, engl. *Construction Method* korištene su *Parallel/Similar*, a kao engl. *Construction Lines* korištene su *Vertices/Face Centres*. Izradom konstrukcijskih linija i izmjerom njihovih duljina određena je debljina vodonosnika. Filter je povećan na 100% te su nakon adaptacije minimalne i maksimalne debljine kreirani atributi (Slika 5.16).



Slika 5.16 Proces izračuna debljine trijaskog vodonosnika

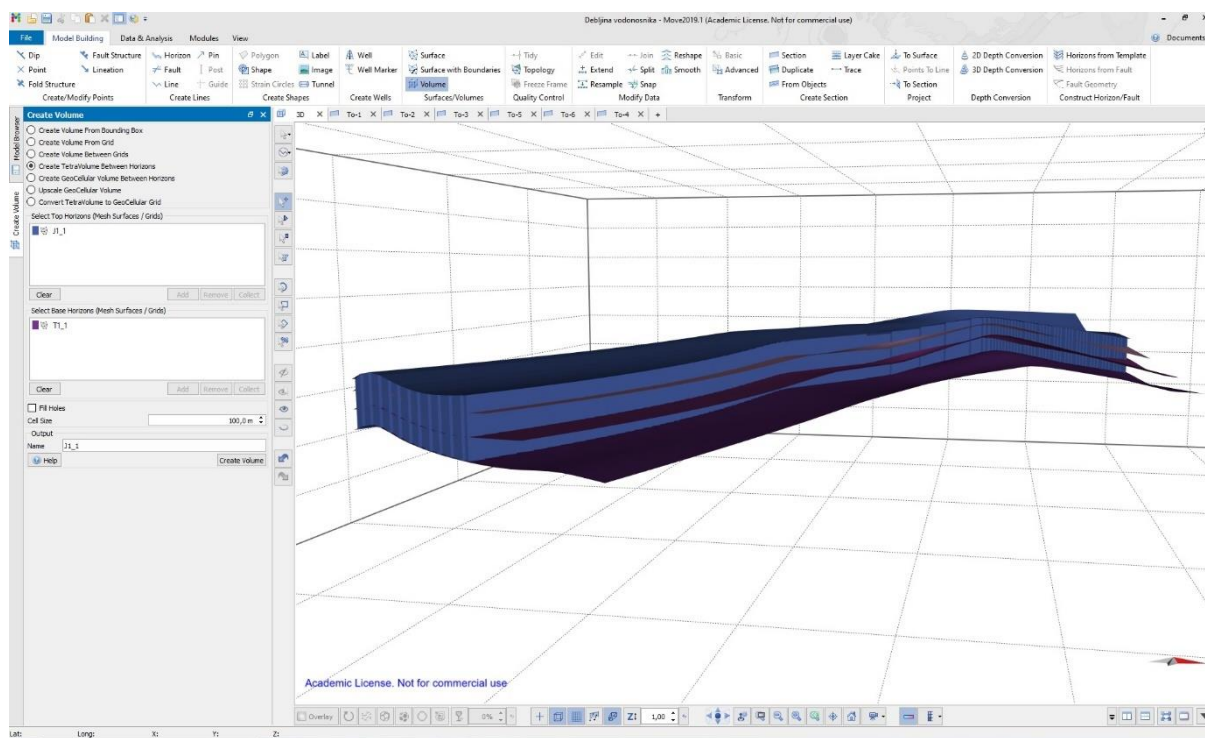
Trijaski vodonosnik koji je prikazan na Slici 5.17 prikazuje krovinu vodonosnika koja je obojana u ovisnosti njegove debljine. Vodonosnik je rasjedima podijeljen u pet dijelova. Prvi dio vodonosnika nalazi se na krajnjem jugozapadnom području istraživanja u podini rasjeda R1. Proteže cijelim istraživanim područjem, od profila TO-1 do profila TO-6. Debljina vodonosnika izračunata je u cijelosti, od podloge donjeg trijasa do podloge donje jure. Prosječna debljina vodonosnika je **1652 m**. U SZ dijelu naslage tvore sinklinalu u kojoj je debljina manja od prosječne te iznosi oko **1450 m**. Idući prema JI debljina vodonosnika se povećava te iznosi **1720 m**. Za potrebe izrade drugog dijela vodonosnika ploha srednjeg trijasa izvučena je na površini terena te je debljina izračunata između donjeg i srednjeg trijasa. Vodonosnik se nalazi u krovini rasjeda R1, između profila TO-1 i TO-6. Prosječna debljina vodonosnika je **987 m**. Između rasjeda R2 i R3 debljina doseže oko **900 m** na što je utjecala izrazita tektonika i boranje. Od sjeverozapada prema jugoistoku debljina vodonosnika se povećava. Treći dio vodonosnika nalazi se između rasjeda R4 i R5 te se prostire između profila TO-4 i TO-6. Debljina vodonosnika izračunata je između podine srednjeg trijasa i podine donje jure. Prosječna debljina iznosi **780 m**. Uz rasjed R4 debljine su najmanje i iznose oko **450 m** dok su uz rasjed R5 veće i iznose oko **830 m**. Četvrti dio vodonosnika nalazi se na SI području istraživanja. Njegova debljina izračunata je između profila TO-1 i TO-6 u cijelosti, od podine donjeg trijasa do podine donje jure. Prosječna debljina iznosi **1656 m**. U područjima s izraženijim boranjem debljine dosežu preko **2500 m**.



Slika 5.17 Izračunate debljine trijaskog vodonosnika



Volumen trijaskog vodonosnika kreiran je pomoću alata *Volume* unutar alatne trake *Model Building* (Slika 5.18). Volumen je kreiran opcijom *Create TetraVolume Between Horizons* na način da se biraju krovinski i podinski horizont. Horizonti su rešetke za čiju je veličinu ćelija uzeto 100 m. Atributi na rešetkama su interpolirani na generirani volumen. Kao podinski horizont izabran je donji trijas dok je ovisno o slijedu naslaga kao krovinski horizont izabrana donja jura ili srednji trijas.

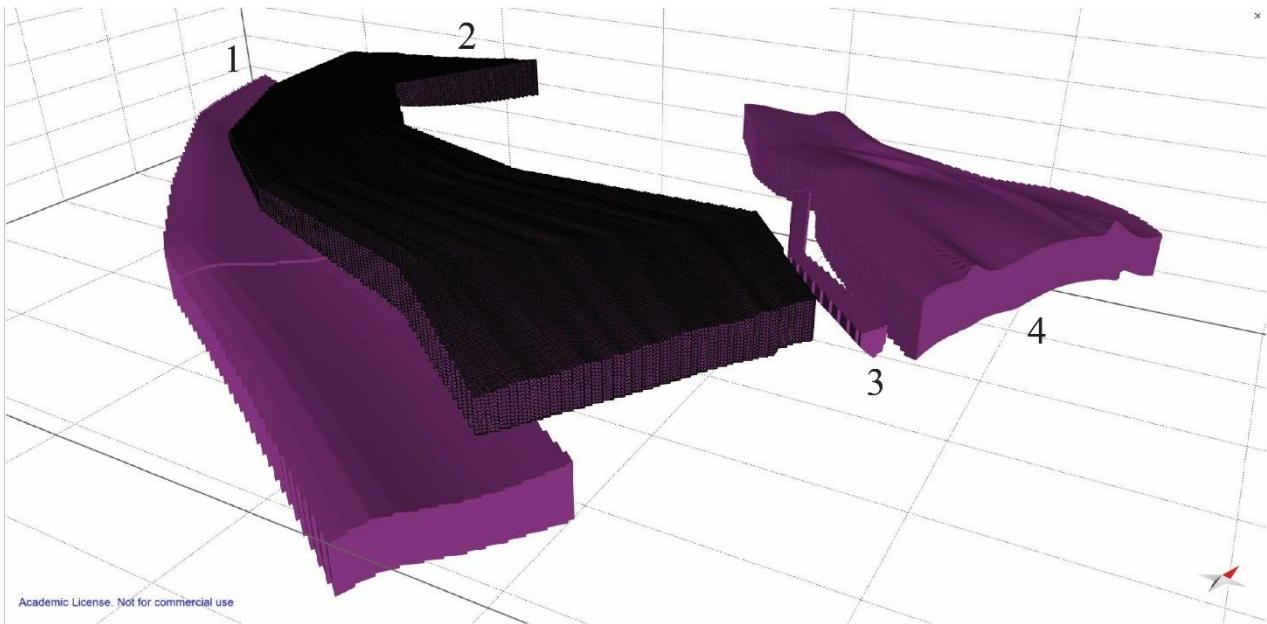


Slika 5.18 Proces izrade volumena

Kreirano je ukupno 4 dijelova volumena trijaskog vodonosnika na području istraživanja (Slika 5.19). Volumeni su označeni brojevima 1-4. Tablica 5.3 prikazuje dobivene vrijednosti volumena.

Tablica 5.3 Dobivene vrijednosti volumena vodonosnika

	Volumen vodonosnika
1	284x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
2	254x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
3	6x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
4	228x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>



Slika 5.19 Kreirani volumeni trijaskog vodonosnika. Brojevi označavaju strukturno izdvojene dijelove vodonosnika.

U daljnjem koraku izračunati volumen trijaskog vodonosnika iskorišten je za izračun volumena vode u vodonosniku. Preliminarni proračun izračunat je u idealiziranim uvjetima te isti nije provjeravan s detaljnijim proračunima koji proizlaze iz terenskih i kabinetskih hidrogeoloških istraživanja.

Volumen vode izračunat je po formuli (preuzeto iz predavanja Hidrogeologija krša 2021/2022):

$$n_{ef} = \frac{V_{vode}}{V_{stijene}}$$

Iz čega slijedi da je:  $V_{vode} = V_{stijene} \times n_{ef}$ .

gdje je  $V_{stijene}$  - volumen stijene iz koje je istekla voda;  $V_{vode}$  – volumen vode koja je istekla na izvoru;  $n_{ef}$  – efektivna poroznost

Prema Singhal & Gupta (1999) efektivna poroznost za vapnence i dolomite iznosi između 0,5 i 10%. Za izračun volumena vode za trijasku dolomitu uzeta je efektivna poroznost od 5%.

Shodno rezultatima, u Tablici 5.4 prikazane su proračunate vrijednosti volumena vode za volumene stijena prikazane na Slici 5.19. Ukupan mogući volumen vode u trijaskom vodonosniku kod potpunog zasićenja pora i pukotina iznosi  $38 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

Tablica 5.4 Dobivene vrijednosti volumena vode u trijaskom vodonosniku.

	<b>Vstijene (m<sup>3</sup>)</b>	nef	<b>Vvode (m<sup>3</sup>)</b>
1	284x10 <sup>9</sup>	0,05	14x10 <sup>9</sup>
2	254x10 <sup>9</sup>	0,05	12x10 <sup>9</sup>
3	6x10 <sup>9</sup>	0,05	0,3x10 <sup>9</sup>
4	228x10 <sup>9</sup>	0,05	11x10 <sup>9</sup>
		<b>Ukupno</b>	<b>38x10<sup>9</sup></b>

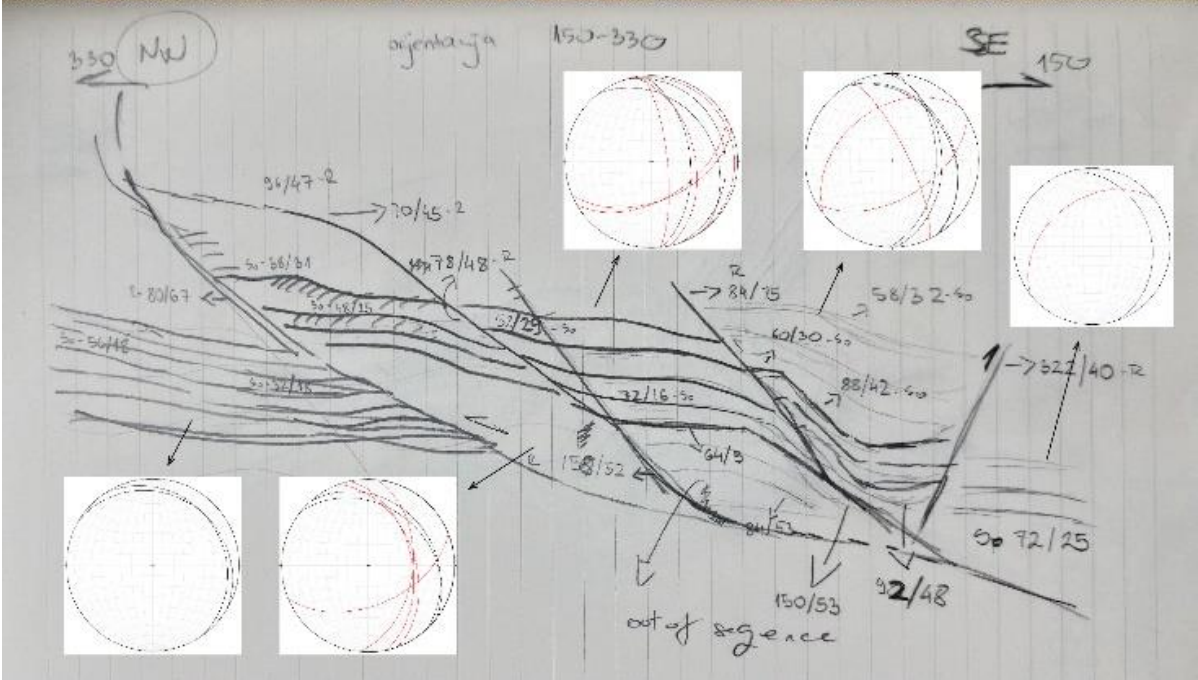
## 6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih terenskih istraživanja i prikupljenih podataka te pregleda znanstvene literature u području istraživanja možemo izdvojiti tri kinematske faze koje su utjecale na razvoj strukturnog sklopa podzemlja.

Tijekom kompresijske faze za koju pretpostavljamo da se odvila tijekom gornje krede i paleogena (tj. kolizija Jadranske mikroploče s europskim kopnom) nastajali su sustavi reversnih rasjeda dominantnog pružanja SZ–JI, kao i borani sustavi istovjetne orijentacije. Za očekivati je da je navedena faza trajala sve do početka neogena, kada kao posljedica stvaranja Panonskog bazena u području istraživanja nastaju sustavi normalnih rasjeda SZ–JI, ali i SI–JZ (Saftić i dr., 2003). Ekstenzija je prevladavala sve do kraja miocena, kada dominantno dolazi do strukturne reaktivacije te prevladava reversno rasjedanje.

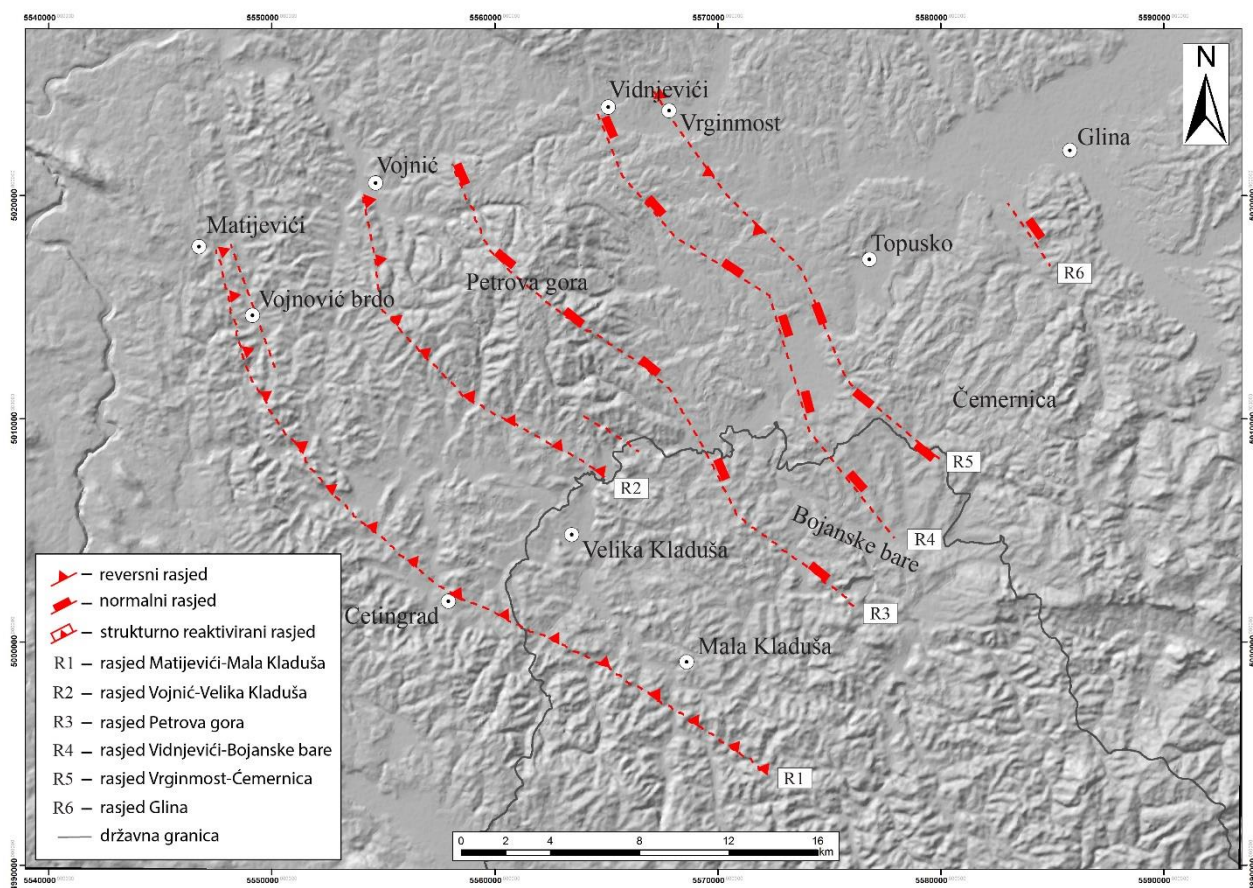
Strukturno-geološki profili konstruirani su poprečno na pružanje geoloških struktura kako bi se dobio što bolji uvid u međusobne odnose naslaga. Pružanje profila je od jugozapada prema sjeveroistoku te idući od najsjevernijeg prema najjužnijem postupno im se mijenja azimut. Obuhvaćaju naslage starosti od paleozoika do kvartara odnosno holocena. Strukturno-geološki profili ukazuju na dominantan utjecaj kompresijskog režima naprezanja na deformacijske stilove u stijenskim kompleksima, pri čemu je većina rasjeda upravo navlačnog ili reversnog karaktera. Prateći borani sustavi nastali su *fault-bend-fold* i *fault-propagation fold* tipom boranja.

Dokaz navedenom deformacijskom stilu vidljiv je na Slici 6.1 koja prikazuje *fault-bend-fold* geometriju rasjedanja i boranja s dupleks strukturom na izdanku gornjojurskih vapnenaca u neposrednoj blizini Krajačića (X- 5548430,59; Y-5012195,77). Pružanje izdanka je 150°–330° što je približno paralelno pružanju struktura na području istraživanja.



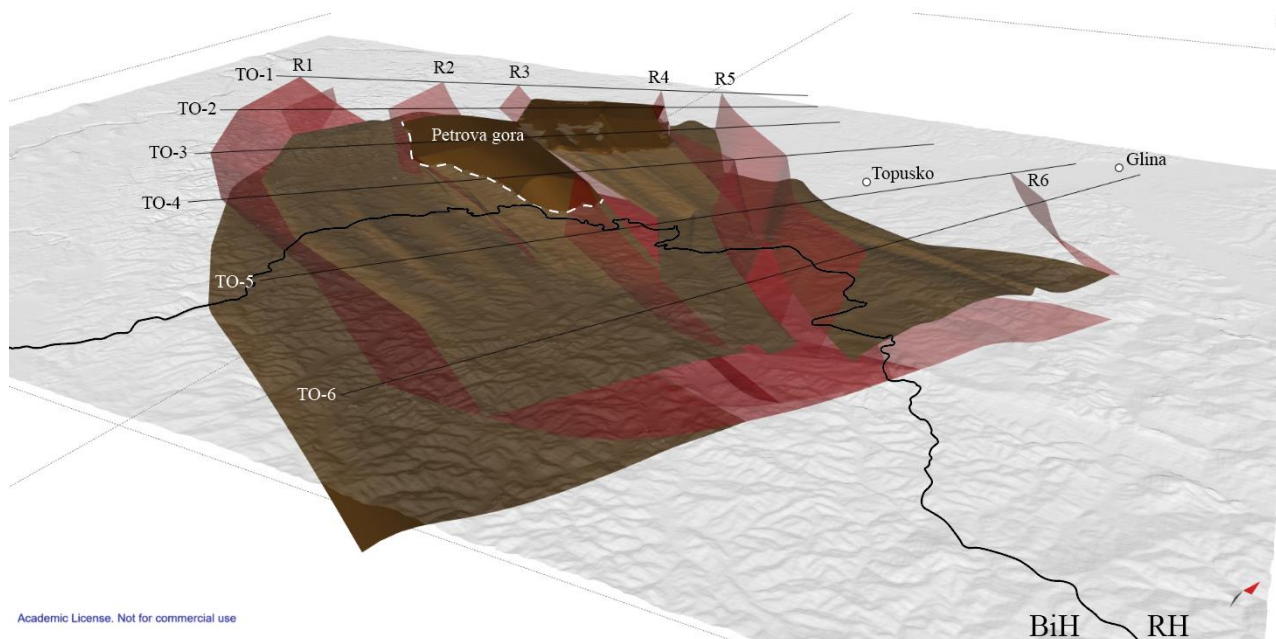
Slika 6.1 Fault-bend-fold geometrija rasjedanja i boranja s dupleks strukturom na lokaciji u neposrednoj blizini Krajačića (X- 5548430,59; Y-5012195,77). Gornja slika prikazuje izdanak gornjojurskih vapnenaca s rožnjacima. Donja slika prikazuje strukturnu skicu orijentacije rasjeda, bora i slojeva sa stereogramima mjerenih strukturnih elemenata (crno-orijentacije slojeva, crveno-orijentacije rasjeda)

Borano-navlačna građa terena vidljiva je na reversnim rasjedima R1 (rasjed Matijevići-Mala Kladuša)-R3 (rasjed Petrova gora) Nagnuti su prema sjeveroistoku, dok je dominantan tektonski transport po dekolmanskome horizontu prema jugozapadu. Rasjed R1 proteže se cijelim područjem istraživanja, nagiba je  $30^\circ$  dok skok po rasjedu iznosi između 1,25 i 3 km. Pomaci po rasjedu izrazito su veliki te su procijenjeni temeljem kontakta stratigrafskih jedinica i njihovih prosječnih debljina. Skok po rasjedu R2 varira između 100 m i 1,7 km. Rasjed postupno tone prema jugu te je na profilima TO-5 i TO-6 duboko ispod površine, na otprilike 3 km. Rasjed R3 predstavlja strukturno reaktivirani reversni rasjed koji danas zapravo predstavlja normalni rasjed.



Slika 6.2 Strukturno-geološka karta područja istraživanja s prikazanim tragovima rasjeda dobivenim 3D modeliranjem

Kumulativno rasjedi na površinu dovode permske naslage koje izgrađuju Petrovu goru. 3D modeliranjem rekonstruirana je krovina perma na području istraživanja (Slika 6.3). U jugozapadnom području istraživanja krovina perma nalazi se na dubini između 3700 m i 4270 m (Slika 6.3). Između rasjeda R2 i R3 te profila TO-2 i TO-4 permske naslage nalaze se na površini. Rekonstrukcijom krovine izmjereno je da je erodirano maksimalno između 425 m i 285 m naslaga. Između rasjeda R4 i R5 permske naslage su prisutne između profila TO-1 i TO-3. Erodirano je oko 90 m naslaga. U sjeveroistočnom dijelu područja istraživanja krovina perma nalazi se na dubini između 2400 m i 3500 m.



Slika 6.3 Rekonstruirana krovinska ploha permskih naslaga na području istraživanja

Prema dosadašnjim saznanjima pružanje rasjeda, kao i pomaci po njima, slični su onima koji su uočeni i na okolnim gorama, odnosno Trgovskoj te Zrinskoj gori, idući dalje prema jugozapadu. Strukturna depresija između Petrove i Trgovske gore ispunjena je stijenama ofiolitnog melanža kojeg osim na Baniji nalazimo u BiH, na Medvednici, Ivanščici te Kalniku (Schmid i dr., 2008).

Ranije spomenute kinematske faze imale su značajan utjecaj na geotermalni razvoj područja. Subduciranje Jadranske mikroploče pod Europski blok u domeni Savske suturne zone je posljedica kompresije, dok je plitki smještaj Mohorovičićevog diskontinuiteta posljedica ekstenzije. S obzirom na dubinu davne subdukcije, Savskog *detachment* rasjeda i stanjenu koru, može se pretpostaviti da se toplina iz Savske suturne zone prenosi prema trijaskom vodonosniku preko postojećih rasjednih sustava koji su relativno duboki te su genetski vezani dominantno uz kredno-paleogensku

kompresiju te naknadu ekstenziju tijekom srednjeg miocena. Prema Macenić (2020) geotermalni gradijent na području središnje Hrvatske generalno iznosi  $0,037^{\circ}\text{C}/\text{m}$  što znači da temperatura na 1000 m iznosi približno  $50^{\circ}\text{C}$ .

Na području Petrove gore i šire okolice geotermalni je gradijent približno ( $49^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ) što s obzirom na ukupnu količinu vode kojom trijaski vodonosnik raspolaže ( $38 \times 10^9 \text{ m}^3$ ), kao i periklinalnu orijentaciju permskih naslaga šireg područja Petrove gore, predstavlja veliki potencijal u korištenju termalne vode za područje istraživanja.

Termalna voda zbog visoke temperature ima veliki potencijal za proizvodnju toplinske energije za zagrijavanje prostora (poljoprivredna proizvodnja, domaćinstva, različiti gospodarski subjekti). Stoga bi u budućnosti bilo poželjno nastaviti navedena istraživanja kako bi se što bolje opisale strukturno-geološke značajke vodonosnika, a time i njegov potencijal.



## 7. LITERATURA

Aubouin, J., Blanchet, R., Cadet, J.-P., Celet, P., Charvet, J., Chorowicz, J., Cousin, M., Rampnoux, J.-P. (1970): Essai sur la géologie des Dinarides. Bulletin de la Société Géologique de France 12/6, 1060-1095

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.

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.

Blanchet, R., 1970b. Données Nouvelles sur le flysch bosniaque: la region de Banja Luka, Bosnie septentrionale, Yougoslavie. Bulletin de la Société Géologique de France 12/4, 659-663.

Bohatka, D., Malnar, M., Sučić, V., Šalić, G., Šerbec, V., Talijan, I. (2021): Izvješće o stanju u prostoru Općine Topusko za razdoblje 2016. - 2019. godine. Zavod za prostorno uređenje Sisačko-moslavačke županije.

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).

Cloetingh, S., Bada, G., Maženco, L., Lankreijer, A., Horváth F. & Dinu, C. 2006: Modes of basin (de)formation, lithospheric strength and vertical motions in the Pannonian-Carpathian system: inferences from thermo-mechanical modelling. In: Gee, D.G. & Stephenson, R.A. (Eds.): European Lithosphere Dynamics. Geological Society London Memoirs 32, 207–2.

Horvath, F., Bada, G., Szafian, P., Tari, G., Adam, A. & Cloetingh, S. 2006: Modes of basin (de)formation, lithospheric strength and vertical motions in the Pannonian-Carpathian system: inferences from thermomechanical modeling. In: Gee, D.G. & Stephenson, R.A. (Eds.): European Lithosphere Dynamics. Geological Society London Memoirs 32, 191–206.

Jelić, K., Kevrić, I. & Krasić, O., 1995. Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske. U: Vlahović, I., Velić, I. & Šparica, M. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres, 18-21. 10. 1995., Zbornik radova, 1, 245–249, Zagreb.

Korolija, B., Živaljević, T. & Šimunić, A. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Slunj L33–104. – Geološki zavod, Zagreb; Institut za geologiju, Sarajevo, (1968–1972) Savezni geološki institut, Beograd (1979).

Korolija, B., Živaljević, T. & Šimunić, A. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Slunj L33–104. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972); Geološki zavod, Sarajevo (1968); Savezni geološki institut, Beograd, 47 str.

Macenić, M. 2020. Konceptualni model eksploatacije geotermalne energije revitalizacijom napuštenih naftnih i plinskih bušotina u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 166 str.

Mikes, T., Christ, D., Petri, R., Dunkl, I., Frei, D., Baldi-Beke, M., Reitner, J., Wemmer, K., Hrvatović, H. & von Eynatten, H. (2008): Provenance of the Bosnian Flysch. *Swiss Journal of Geosciences* 101, 31–54.

Nirta, G., Aberhan, M., Bortolotti, V., Carras, N., Menna, F. & Fazzuoli, M. (2020): Deciphering the geodynamic evolution of the Dinaric orogen through the study of the ‘overstepping’ Cretaceous successions. *Geological Magazine* <https://doi.org/10.1017/S001675682000045X>.

Parlov, J., predavanja iz kolegija Hidrogeologija krša u akademskoj godini 2021/2022

Pavelić, D., Avanić, R., Kovačić, M., Vrsaljko, D., Miknić, M. (1995): An Outline of the Evolution of the Croatian Part of the Pannonian Basin System // Evolution of Depositional Environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin. 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija – September 17– 19, 2003, Field Trip Guidebook / Vlahović, Igor ; Tišljar, Josip (ur.). Zagreb: Institute of Geology, 2003. str. 155-161.

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, *Journal of Maps*, 15:2, 733-743, DOI: 10.1080/17445647.2019.1663374.

Pikija, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Sisak L33–93. – Geološki zavod, Zagreb (1975–1986); Savezni geološki institut, Beograd.

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.

Ramsay, J.G. & Huber, M.I. (1987): The techniques of modern structural geology, Vol. 2, Folds and fractures.- Academic Press, Oxford, 309-700 str.

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, S., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. i Ustaszewski, K. (2008): The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units.– *Swiss J. Geosci.*, 101, 139–183.

S.M. Schmid, B. Fügenschuh, A. Kounov, et al., Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey, *Gondwana Research* (2019), <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.005>

Singhal, B.B.S. & Gupta, R.P. (1999): *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Kluwer Academic Publisher, 1-400, London.

Šikić, K. (1990): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske, list Bosanski Novi 1:100.000, L 33-105. Hrvatski geološki institut Zagreb, 2014.

Šikić, K. (1990): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100.000. Tumač za list Bosanski Novi 1:100.000, L 33-70. Hrvatski geološki institut Zagreb, 2014.

Velić, I. & Sokač, B. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Ogulin L33–103. – Geološki zavod – OOUR za geologiju i paleontologiju, Zagreb (1969–1980); Savezni geološki institut, Beograd (1981).

Vlahović, I., Tišljarić, J., Velić, I. i Matičec, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Paleogeography, main events and depositional dynamics.– *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 333–360.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perećec Tadić, M. i dr. (2008): *Klimatski atlas Hrvatske/Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000*. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

### **Web izvori**

<https://www.hgi-cgs.hr/hythec/> (29.9.2022.)

<https://tehnika.lzmk.hr/geotermalna-voda/> (29.9.2022.)

<https://www.petex.com/products/move-suite/> (2.11.2022.)