

# Strukturna građa zapadnih obronaka Papuka

---

Mileusnić, Morena

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:169:508852>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



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 ZAPADNIH OBRONAKA PAPUKA**

Diplomski rad

Morena Mileusnić

GI 393

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/149  
URBROJ: 251-70-15-22-12  
U Zagrebu, 4. 7. 2022.

**Morena Mileusnić, studentica**


## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/149, URBROJ: 251-70-15-22-11 od 1. 7. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### STRUKTURNA GRAĐA ZAPADNIH OBRONAKA PAPUKA

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)

Komentor:




(potpis)

Dr. sc. Ivica Pavičić

(titula, ime i prezime)



Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:



(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

## STRUKTURNA GRAĐA ZAPADNIH OBRONAKA PAPUKA MORENA MILEUSNIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Sažetak

Provedena istraživanja u okviru diplomskog rada predstavljaju sastavni dio strukturnih istraživanja HRZZ projekta HyTheC. Cilj diplomskog rada je bio izvršiti strukturnu analizu zapadnog dijela Papuka te izrada 3D geološkog modela predmetnog područja. Konceptualni 3D model izrađen je u programu Move i konstruiran je temeljem interpretiranih geoloških profila poprečnih na strukture te interpretiranih seizmičkih refleksijskih profila. Pet subparalelnih regionalnih profila ukazuju na strukturnu depresiju koju nalazimo na području Daruvara koja idući prema sjeveroistoku prelazi u zapadne obronke Papuka. Za potrebe izdvajanja naslaga na strukturno – geološkim profilima provedena su strukturno-geološka terenska istraživanja i interpretirani su rezultati strukturnih mjerenja u Stereonetu i Win-Tensoru.

Geološki model sugerira postojanje triju tektonskih faza, a koje su akomodirale u prvoj fazi nastanak regionalnih navlačnih struktura pružanja I-Z uz reversne rasjede pružanja I-Z te tektonskim transportom prema SZ. U drugoj i trećoj fazi prepoznati su kompresijski i transpresijski/transtenzijski pokreti u polju naprezanja generalnog pružanja I-Z te SI-JZ, a što je rezultiralo nastankom niza sinklinala i antiklinala pružanja S-J, te lijevim i desnim translacijskim/rotacijskim pokretima. Istraživanja su provedena u okolici daruvarskog područja kako bi se pobliže otkrili strukturni odnosi u podzemlju, a koji utječu na pražnjenje i punjenje karbonatnog vodonosnika termalne vode koju nalazimo u Daruvaru odnosno Daruvarskim toplicama.

**Ključne riječi:** Papuk, Panonski bazen, Savska i Dravska depresija, Lonjsko-Ilovska zavalu, 3D strukturno-geološki model podzemlja, Petroleum Experts Move softver.

**Diplomski rad sadrži:** 60 stranica, 3 tablice, 54 slike i 34 reference, 1 Web stranica, 1 prilog.

**Jezik izvornika:** 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, viši asistent RGNF  
**Pomoć pri izradi:** dr. sc. Staša Borović, viša znanstvena suradnica (HGI)

**Ocjenjivači:** dr. sc. Bojan Matoš, izvandredni profesor RGNF  
dr. sc. Marko Cvetković, izvandredni profesor RGNF  
dr. sc. Duje Smirčić, docent RGNF

**Datum obrane:** 08. srpnja 2022, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Graduated Engineer Thesis  
**STRUCTURAL ANALYSIS OF WESTERN MARGIN OF MT. PAPUK**

MORENA MILEUSNIĆ

**Thesis completed in:** Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Department of Geology and Geological Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

**Abstract:**

The aim of the Master Thesis was to perform structural investigation/analysis of the western Papuk for HyTheC project supported by Croatian Science Foundation. In this work, principal research objectives were structural analysis of Mt. Papuk western margin, and construction of 3D geological model of research area. The conceptual 3D model was created in the Move program and it was constructed on the basis of i) interpreted geological cross sections placed perpendicular to the structures and ii) interpreted seismic reflection profiles. Five subparallel regional cross sections indicate the structural depression in the vicinity of Daruvar, whereas towards northeast it transient to western slopes of Mt. Papuk. For the purpose of construction of structural-geological profiles and correlative deformed deposits, structural-geological field observations were conducted, whereas analyses of structural measurements were conducted in Stereonet and Win-Tensor softwares. The constructed geological model suggests the existence of three tectonic phases, that in first phase accommodated formation of regional E-W oriented compressive structures (thrusts belts) characterized by tectonic transport top to the NW, whereas in the second and third tectonic phases, compression and transpression prevail. Tectonic movements are associated to the stress field characterized by principal stress axis E-W and NE-SW that resulted with formation of N-S oriented synclines and anticlines and sinistral/dextral translational/rotational structures respectively. Conducted investigation in Daruvar area was performed in order to address subsurface structural relationships that may pinpoint factors, which affect the discharge and recharging of the carbonate aquifer of thermal water found in Daruvar.

**Keywords:** Papuk Mt, Pannonian Basin, Sava and Drava depressions, Lonja-Ilova depression, 3D Structural geological model, Petroleum Experts Move software.

**Thesis contains:** 60 pages, 3 tables, 54 figures, 34 references, 1 web site, 1 enclosure.

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** Assoc. Prof, Bojan Matoš, PhD  
**Co-supervisor:** Ivica Pavičić, PhD – Senior Researcher  
**Tech. assistance:** Staša Borović, PhD – Senior Scientific Associate at Croatian Geological Survey  
(Project leader of CSF project HRZZ HyTheC ) (HGI)  
**Reviewers:** Assoc. Prof, Bojan Matoš, PhD  
Assoc. Prof, Marko Cvetković, PhD  
Assist. Prof, Duje Smirčić, PhD

**Date of defense:** 8<sup>th</sup> July, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## ZAHVALA....

*Mentoru i komentoru, izv.prof.dr.sc. Bojanu Matošu te dr.sc. Ivici Pavičiću za mnoštvo savjeta tijekom izrade diplomskog rada te tijekom terenskih istraživanja. Prije svega zahvaljujem za prijedlog teme ovoga rada. Na pruženoj potpori u teškim trenucima. Komentoru posebno hvala za pomoć u korištenju programa Move i zabavnom načinu izrade modela.*

*Voditeljici HRZZ projekta dr.sc. Staši Borović i ostalim članovima tima za sva terenska istraživanja koja sam provela s njima te sudjelovanju u uzorkovanju termalnih voda i geofizičkim istraživanjima koje sam prvi put vidjela i u kojima sam imala priliku sudjelovati.*

*HRZZ za priliku i mogućnost sudjelovanja na aktivnostima projekta HyTheC.*

*Agenciji za ugljikovodike (AZU) za dobivene seizmičke refleksijske profile te bušotinske podatke koji su korišteni za izradu 2D geoloških profila.*

*Kompaniji Petroleum Expertu za ustupanje programa Move RGN fakultetu.*

*Svojoj obitelji najiskrenije od srca koji su mi uvelike pomogli i ohrabivali tijekom provedbe terenskih istraživanja i prilikom izrade diplomskog rada.*

*Filipu za zabavne trenutke tijekom izrade diplomskog rada i pomoći prilikom izrade istog te utjehu u teškim trenucima.*

*Kolegicama s faksa za pomoć pri izradi diplomskog rada i za svaki utorak koje su učinile veselijim.*

*Dušanu i Ivanu koji su uvijek bili ovdje kad je trebalo razbistriti um od izrade rada.*

# Sadržaj

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | UVOD.....   | 1  |
| 2.     | GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PODRUČJA.....   | 2  |
| 3.     | GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA.....   | 5  |
| 3.1.   | Tektonski razvoj Slavonskih planina u okviru razvoja Panonskog bazena ..... | 5  |
| 3.3.   | Geološka građa istraživnog područja .....                                   | 11 |
| 4.     | METODOLOGIJA RADA.....  | 22 |
| 4.1.   | Terenske metode.....  | 22 |
| 4.2.   | Kabinetska obrada podataka.....   | 23 |
|        | • ESRI ArcMap 10.7 softver (GIS).....                                       | 23 |
|        | • Strukturna istraživanja predmetnog područja.....                          | 24 |
|        | • Geološki profili .....  | 25 |
| 5.     | REZULTATI ISTRAŽIVANJA I INTERPRETACIJA.....                                | 26 |
| 5.1.1. | Slojevitost .....   | 27 |
| 5.1.2. | Pukotine .....  | 30 |
| 5.1.3. | Polja paleonaprezanja u području istraživanja .....                         | 30 |
| 5.2.1. | Geološki profil DA-1.....   | 41 |
| 5.2.2. | Geološki profil DA-2.....   | 45 |
| 5.2.3. | Geološki profil DA-3.....   | 48 |
| 5.2.4. | Geološki profil DA-4.....   | 50 |
| 5.2.5. | Geološki profil DA-5.....   | 54 |
| 5.2.6. | 3D STRUKTURNI MODEL ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....                              | 56 |
| 6.     | RASPRAVA.....   | 61 |
| 7.     | ZAKLJUČAK .....   | 63 |
| 8.     | LITERATURA:.....  | 64 |

## POPIS SLIKA:

|   |    |
|---|----|
| Slika 2.1 Označeno predmetno područje istraživanja u širem Daruvarskom području (narančasti pravokutnik) i mjesta obuhvaćena u istraživanom području. QGIS (Izvor: <a href="https://geoportal.dgu.hr">https://geoportal.dgu.hr</a> ).....   | 2  |
| Slika 3.1 Tektonska karta Tisza mega-bloka (označeno svijetlo plavom bojom) i okolnih megastrukturnih blokova. Područje istraživanja označeno je žutim kvadratom. Na karti se mogu vidjeti i glavne navlake (Codru, Bihor i Mecsek) i normalni te strike-slip rasjedi (prema Schmid i dr., 2020). ....  | 6  |
| Slika 3.2 Na profilu B (od jugoistoka prema sjeverozapadu) vidljiv je strukturni odnos zapadnog dijela današnjih Karpata, Mađarske smične zone, jedinice Kopaonika i u konačnici predalpinski pojas prema Ustaszewski (2020). Uz navedene tektonske jedinice, vide se glavne navlačne strukture koje su zaslužne za izdizanje Tisza bloka na području Panonskog bazena, odnosno, izdizanje Slavonskih planina. Profil B označen je žutom linijom na tektonskoj karti (Slika 3.1).....   | 6  |
| Slika 3.3 Podvlačenje (subdukcija) Jadranske mikroploče pod Euroazijsku (Tisza-Dacia) blok (prema Ustaszewski i dr. 2009; 2010). ....   | 7  |
| Slika 3.4 Supradetachment bazen koji je rezultirao nastankom Savske depresije za vrijeme miocena (25Ma), a ista je popraćena intruzijom granita utvrđene starosti od 27 Ma. Blago nagnuti detachment reaktivirao je navlaku nastalu tijekom mlađe krede (Ustaszewski i dr., 2009; 2010). ....   | 7  |
| Slika 3.5 Prema Ustaszewski i dr. (2014) prikazan je profil pružanja JJZ-SSI koji se proteže od SZ Bosne (dolina Prijedora) na JZ do Dravske depresije na SI. Na profilu je vidljiva pliokvartarna promjena iz dotadašnjeg ekstenzijskog režima u kompresijski između Jadranske mikroploče na JZ i Tisza-Dacia bloka na SI. Beach-ball dijagrami na profilu ukazuju na dubine hipocentara te mehanizme potresa. ....  | 8  |
| Slika 3.6 Položaj dva glavna desna rasjeda (Savskog, Dravskog) i niz (1-6) lijevih i desnih rasjeda koji fragmentiraju strukturni sklop Slavonskih planina (iz Jamičić; 1988). Prema izmjerenim orijentacijama na strukturnim elementima (klivaž, folijacija, rasjedne plohe), $\sigma_1$ se pružala S-J, $\sigma_3$ I-Z.....   | 9  |
| Slika 3.7 Odnosi kuteva ( $\beta$ , $\gamma$ ) između dva glavna strike-slip rasjeda i strike-slip rasjeda (1-6). Strike-slip rasjedi predstavljeni su kao parovi konjugiranih rasjeda. Sastoje se od rasjeda s pružanjem SI-JZ i desnim pomakom te protusmjernih rasjeda pružanja te SZ-JI s lijevim pomakom. Između njih dolazi do rotacije blokova (ABC trokut) i ekstenzijskog režima uzrokovanog povećanjem $\gamma$ kuta (Dravski rasjed) i istodobnim reduciranjem $\beta$ kuta (Savski rasjed) u odnosu na ostale lijeve i desne rasjede. Na desnoj slici prikazan je model boranja terena (prema Jamičić, 1995) koje je izazvano transpresijom između strike slip rasjeda nagnutih pod kutem između 30 i 45 stupnjeva..... | 10 |
| Slika 3.8. Isječak iz OGK 1:100.000 lista Daruvar (Jamičić, 1989) i Orahovica (Jamičić & Brkić, 1987) s naznačenim trasama konstruiranih geoloških profila. Karta je načinjena koristeći se ESRI ArcMap 10.7 softverom. (ArcMap 10.7).....  | 12 |
| Slika 3.9 Kompozitni geološki stup istraživanog područja prema OGK listovima Daruvar (Jamičić, 1989) i Orahovica (Jamičić & Brkić, 1987). ....  | 13 |
| Slika 3.10 Pegmatiti unutar granioida na lijevoj slici s vidljivim tinjcima (muskovit, biotit- Mt, Bt), feldspati (Fsp), kvarc (Q) i na desnoj slici fragment škriljavca bogat granatima. Lokacija točke opažanja pegmatita (636) se nalazi SI od mjesta D.Borki. Lokacija točke opažanja škriljavaca (Hy-22-9) se nalazi JI od Barice.....   | 14 |
| Slika 3.11 Blok donjotrijaskih naslaga u blizini kontakta s permotrijaskim naslagama. Lokacija točke opažanja (Hy-133) se nalazi u istočno od Petrovog vrha. ....   | 16 |
| Slika 3.12 Naslage anizika i ladinika. Krinoidni vapnenci vidljivi na lijevoj slici lokalno prekrivaju naslage Anizika koji čine dolomitne breče vidljive na desnoj slici. Lokacija točke opažanja krinoidnih vapnenaca (Hy-22-26) se nalazi SI od Barice. Lokacija točke opažanja dolomitnih breča (Hy-21-10D) se nalazi u blizini Sirača. ...   | 16 |
| Slika 3.13 Skladovi dijabaza. Lijeva slika fotografirana je na trećoj etaži u kamenolomu Toplica u Batinjskoj Rijeci, a desna slika fotografirana je istočnije u odnosu na kamenolom Toplica. Vidljivi su dajkovi dijabaza koji prodiru kroz gornjotrijaske dolomite. ....  | 17 |
| Slika 3.14 Slika lijevo: jurski tankpločasti vapnenci podložni boranju. Lokacija točke opažanja (Hy-21-02) se nalazi u blizini Crnog vrha. Slika desno crvenkasti jurski vapnenci. Lokacija točke opažanja crvenoklastičog vapnenca (WP 26) se nalazi u blizini sinklinale Kik-Petrov Vrh.....  | 17 |
| Slika 3.15 Fosili pektena lijevo i oštriga desno, kontakt između trijasa i neogenskih naslaga (baden) istočno od Daruvara.....  | 18 |
| Slika 3.16 Slika lijevo - otisak ježinca na lokaciji (Hy-21-19) u blizini Daruvarskih toplica. Slika desno - fragment breče s ostacima neogenskih i trijaskih naslaga. ....   | 19 |
| Slika 3.17 Prijelaz iz litotamijskih vapnenaca (donji dio čekića) u sarmatske lapore (iznad čekića).....  | 20 |



|  |    |
|--|----|
| Slika 3.18 Pontski lapori i mjesto gdje je izmjerena slojevitost orijentacije S0 125/25. Lokacija točke opažanja (D-12) se nalazi u blizini Markovca JZ od Petrovog vrha.....  | 21 |
| Slika 3.19 Kvarterne naslage iskopane u zasjeku u Batinjskoj Rijeci.....   | 21 |
| Slika 4.1 Primjer zapisa jedne terenske točke koja sadrži projektni i terenski naziv/oznaku, vrijeme kad je zabilježena terenska točka, koordinate točke u WGS 1984 te MGI Balkans 5 projekcijama te njezin terenski opis. ....  | 22 |
| Slika 4.2 Georeferencirana karta u ArcMap 10.7 programu s prikazom svih izmjerenih točaka i zadanih trasa strukturno-geoloških profila (Izvor: <a href="https://geoportal.dgu.hr/">https://geoportal.dgu.hr/</a> ).....  | 23 |
| Slika 4.3 Win-Tensor sučelje (lijevo) (prema Delavux, 2018). Stereonet sučelje (desno) (Allmendinger, 2019). ....  | 24 |
| Slika 4.4 Georeferencirana karta lista Daruvar (Jamičić 1989) i Virovitica (Galović i dr., 1979) s dodanim trasama seizmičkih profila i trasama zadanih strukturno-geoloških profila. Svijetlijo-plavom bojom označeni su seizmički profili koji su interpretirani za potrebu izrade ovog rada, a strukturno-geološki zelenom bojom. ...   | 25 |
| Slika 5.1 Lijevo: Slojevitost je prikazana tragovima ravina te polovima ravnina (crni kružići). Radi bolje preglednosti izveden je konturni dijagram iz polova slojevitosti. Prevladavaju slojevitosti orijentacija azimuta JZ-SZ s prosječnim kutem nagiba od 40°. Desno: Predstavlja folijaciju S1 izmjerenu u magmatskim tijelima i oblicima. Od izmjerenih folijacija S1 su orijentacije SZ, a manji dio SI, kuta nagiba od 30 do 50°. Presječnice mjenjenih folijacija (crveni kružići) sugeriraju osi bore čije osi tonu prema SZ. ....              | 28 |
| Slika 5.2 Slojevitost prikazana tragovima ravnina. Osi bora izmjerenih na istraživanom području označene su.....   | 28 |
| Slika 5.3 M bore zabilježene u jurskim vapnencima. Crvenim točkicama koje označavaju orijentacije osi bora pružanja S-J koje tonu prema sjeveru te potvrđuje transport naslaga prema sjeveru izazvanu kompresijskom tektonikom zbog koje je i podloga navučena na neogenske stijene. Lokacija se nalazi JI od Daruvara (Hy-141).....   | 29 |
| Slika 5.4 Blago borana struktura u šejlovima koja se ustrmljuje prema zapadu. Lokacija se nalazi u neposrednoj blizini istočno od Barice. Točka opažanja (Hy-22-31).....   | 29 |
| Slika 5.5 Pukotinski setovi označeni polovima u Stereonetu (Allmendinger, 2019) Nijansama zelene označene su najveće gustoće pukotina, a nijansama plave rijede raspoređeni setovi. ....   | 30 |
| Slika 5.6 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprežanja za žutu grupu reversnih rasjeda. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje da je glavni režim kompresijski. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonaprežanja. Rasjedne plohe pružaju se u smjeru SZZ-JII s nagibom prema SI i JZ, a iz Beach-ball dijagrama je vidljivo da je takav smjer nagiba posljedica kompresijskog polja naprežanja osi orijentacije ISI-ZJZ. Beach-ball dijagram proračunat je R. Dihedron (prema Delavux, 2018) metodom. ...    | 33 |
| Slika 5.7 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprežanja za žutu grupu reversnih rasjeda. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje da je glavni režim kompresijski. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonaprežanja. Rasjedne plohe pružaju se u smjeru SSI-JJZ s nagibom prema ZSZ I JJI, a iz Beach-ball dijagrama je vidljivo da je takav smjer nagiba posljedica kompresijskog polja naprežanja osi orijentacije ISI-ZJZ. Beach-ball dijagram proračunat je R. Dihedron (prema Delavux, 2018) metodom. .... | 33 |
| Slika 5.8 Reversni rasjed unutar slojeva dolomita s označenom pozicijom izmjerene rasjedne plohe R i slojevitosti S0. Kao posljedica rasjedanja dolazi do povijanja slojeva odnosno formiranje vlačnih bora. Lokacija točke opažanja (Hy-21-203) se nalazi u istočnom krilu sinklinale Kik-Petrov vrh (DA-4). Ovakav rasjed odgovarao bi plavoj grupi u tranpresijskim/kompresijskim strukturama (Tablica 5.2).....  | 34 |
| Slika 5.9 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprežanja. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na ekstenziju. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonaprežanja. Rasjedne plohe pružaju se u smjeru SZZ-JII s nagibom prema SSI, a iz Beach-ball dijagrama je vidljivo da je takav smjer nagiba posljedica ekstenzijskog polja naprežanja čija je najveća os naprežanja orijentacije JJZ-SSI.....   | 35 |
| Slika 5.10 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprežanja. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na ekstenziju. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonaprežanja. Rasjedne plohe pružaju se SSI-JJZ sa smjerom nagiba prema SZZ i JII. Iz Beach-ball dijagram je vidljivo da je takav smjer nagiba posljedica ekstenzijskog polja naprežanja osi orijentacije JI-SZ. ....   | 36 |
| Slika 5.11 Normalni rasjed orijentacije R= 2/37 koji je izmjeren u trijaskim dolomitima. Relativan pomak je definiran temeljem orijentacije vlačnih/tenzijskih pukotina (označeno žutim poligonom) koje nastaju progresivnom rotacijom u zoni smicanja. Točka opažanja se nalazi između Daruvara i Petrovog vrha. Lokacija točke opažanja (Hy-144) se nalazi između Daruvara i Petrovog vrha. ....   | 36 |
| Slika 5.12 Orijeatacija slojevitosti u strukturi ramp-flat-ramp, odnosno 2 subhorizontalne rasjedne plohe koje su povezane rampom pod većim nagibom, odnosno 45° u ovom slučaju. Tektonski transport je u smjeru istoka. Točka opažanja je približno u blizini Barice, točka opažanja (Hy-21-12). ....   | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 5.13 Konjugirani parovi rasjeda unutar permskih pješčenjaka s označenim osima bora i izmjerenim položajima rasjedne plohe R i slojevitosti So. Lokacija točke opažanja (Hy-21-115) se nalazi SI od Petrovog vrha. Pješčenjaci transgresivno naliježu na granitoide i pegmatite vidljive na slici 3.10.....   | 38 |
| Slika 5.14 Slika lijevo - Strije na rasjednim plohama reversnih lijevih rasjeda s označenim pomakom. Slika desno – Stereogram na kojoj su prikazane rasjedne plohe s reversnim i lijevim pomakom. pružanja SI-JZ s orijentacijom glavne osi kompresije S-J. Lokacija točke opažanja (Hy-21-111) se nalazi SI od Daruvara.....  | 39 |
| Slika 5.15 Jurski vapnenci koji su intenzivno tektonizirani te su nizom reversnih rasjeda ugrađeni u duplex strukturu. Lokacija u neposrednoj blizini Crnog Vrh. ....  | 39 |
| Slika 5.16 Odnos folijacije S1 prikazane u Stereonetu (slika desno) s rasjednim plohama R izmjerenim u mogućoj duplex strukturi u jurskim vapnencima prikazane pomoću WinTensor-a (slika lijevo). Transport materijala odvija se prema S-SI. Folijacija i rasjedne plohe približnog su pružanja SZ-JI s orijentacijom glavne osi kompresije ZJZ-ISI.....   | 40 |
| Slika 5.18 Konstruirani strukturalno – geološki profil DA-1 u području istraživanja.A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-1 koji se sastoji od intepretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju geoloških i geofizičkih podataka. Rasjedi- 1a-Dežanovački rasjed, 1b Daruvarski rasjed 1 Pakrački rasjed i 2 Podvrško-Velika rasjed. ....  | 43 |
| Slika 5.17 Fault-propagation fold tip strukture (Fossen, 2010). Vidljivo na zapadnom dijelu profila (Slika 5.18) i uzrokovano slijepim rasjedom.....   | 44 |
| Slika 5.19 Konstruirani strukturalno – geološki profil DA-2 u području istraživanja.A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-2 koji se sastoji od intepretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi- 1a-Dežanovački rasjed, 1b Daruvarski rasjed 1 Pakrački rasjed i 2 Podvrško-Velika rasjed. .... | 47 |
| Slika 5.20 Konstruirani strukturalno – geološki profil DA-3 u području istraživanja.A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-3 koji se sastoji od intepretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi- 1b Daruvarski rasjed 1 Pakrački rasjed i 2 Podvrško-Velika rasjed.....                         | 49 |
| Slika 5.21 Kamenolom Toplica u Batinjskoj Rijeci u okolici Daruvara. ....  | 51 |
| Slika 5.22. Kamenolom "Hrvatske šume" istočno i nedaleko od Kamenoloma Toplica u Batinjskoj Rijeci. Slika prikazuje južni dio 3. etaže gdje je vidljiva iza bagera ploha normalnog rasjeda dekametarskih dimenzija, orijentacije R=2/85 .....  | 51 |
| Slika 5.24. Konstruirani strukturalno – geološki profil DA-4 u području istraživanja.A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-4 koji se sastoji od intepretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi - 4 Voćinski rasjed 3 Toplički rasjed.....   | 52 |
| Slika 5.23 Fault-bend fold tip bora (Suppe, 1983), nastanak i transport (plava strelica) materijala ilustriran je na slikama od (a) do (e).....  | 53 |
| Slika 5.25. Konstruirani strukturalno – geološki profil DA-5 u području istraživanja.A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-5 koji se sastoji od intepretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi: (4) Voćinski rasjed, (3a) Crni Vrh-Gradine rasjed, (3) Toplički rasjed.....                   | 55 |
| Slika 5.26 Sučelje Petroleum Experts Move. ....  | 56 |
| Slika 5.27 "Horizontal image" s prostornim prikazom podloge temeljene na OGK listova Daruvar i Orahovica preuzete iz ArcMap-a s povučenim trasama geoloških profila i preuzetim poligonom područja koji je podloga   |    |

|   |    |
|---|----|
| za 3D model na lijevoj slici. Donja slika ili "Vertical image" prikazuje prostorni i vertikalni položaj priloženih geoloških profila izrađenih ranije u CorelDRAW-u. Uz profile, navedena je legenda naslaga (litostratigrafskih jedinica). .....   | 57 |
| Slika 5.28 Geološki stup litostratigrafske jedinice u kojem su objedinjeni ime, starost, debljina naslaga i njihova boja kojom su prikazane u modelu. ....  | 58 |
| Slika 5.29 Linije horizonata stratigrafskih jedinica i rasjeda digitaliziranim pomoću alata "Horizon" i "Fault". Slika prikazuje površinu rasjeda izrađenu Spline Curves metodom. ....  | 59 |
| Slika 5.30 3D Strukturno-geološki model Daruvarskog područja. Vidljiva je Lonjsko- Ilovska zavala na zapadnoj strani modela koja idući prema SI prelazi u zapadne obronke Papuka. Zavala je ispresijecana reversnim rasjednima počevši s Dežanovačkim koji su zaslužni za formiranje Fault-propagation fold tip struktura. .... | 60 |

#### POPIS TABLICA:

|   |    |
|---|----|
| Tablica 5.1 Parazitske M bore u jurskim vapnencima na lokaciji – X- 5679687,32; Y- 5052442,18. (Slika 3.8).....   | 28 |
| Tablica 5.2 Proračunate vrijednosti glavnih P, B, T osi za reversne rasjedne plohe. R je označena orijentacija i kut nagiba rasjedne plohe, a Ls je označena orijentacija lineacija strija pomoću kojih je određen pomak. Pomak je naznačen za svaku rasjednu plohu. U stupcu pomak "I" – reversni, "S" – lijevi, "D" – desni, "X" nije određen. .... | 32 |
| Tablica 5.3 Proračunate vrijednosti glavnih P, B, T osi za reversne rasjedne plohe. R je označena orijentacija i kut nagiba rasjedne plohe, a Ls je označena orijentacija lineacija strija pomoću kojih je određen pomak. Pomak je naznačen za svaku rasjednu plohu. U stupcu pomak "N" – normalni, "S" – lijevi, "D" – desni, "X" nije određen. .... | 35 |

#### POPIS PRILOGA:

|   |  |
|---|--|
| Prilog 1. Tablica s terenskim točkama opažanja koje uključuje naziv točke i koordinate točaka u WGS1984 koordinatnom sustavu. |  |
|---|--|

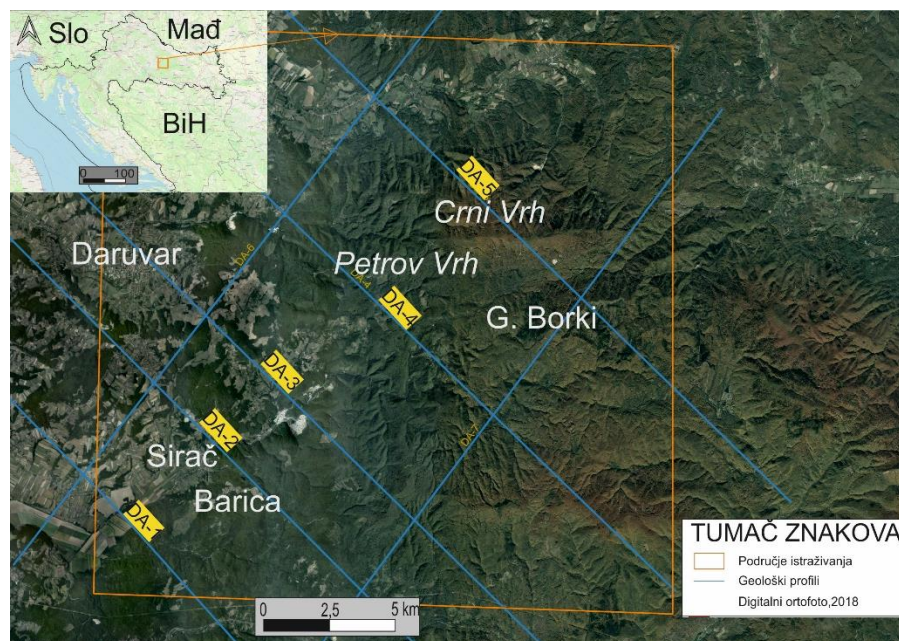
## 1. UVOD

Slavonske planine i njihova tektonska evolucija predstavljaju važan predmet razmatranja geološke zajednice u Hrvatskoj i šire. U ovom radu kombinacijom kabinetskog i terenskog rada izrađen je preliminarni strukturni model podzemlja zapadnih obronaka Papuka te Daruvarskog dijela Lonjsko-ilovske zavale. Izrada strukturnog modela temeljila se na podacima prikazanim na postojećim geološkim kartama istraživanog područja, seizmičkim refleksijskim profilima u području Daruvarske zavale te strukturnim podacima prikupljenim u okviru terenskih istraživanja.

Izrada ovog diplomskog rada dio je istraživanja provedenih u okviru uspostavnog istraživačkog projekta Hrvatske zaklade za znanost „Multidisciplinarni pristup izradi konceptualnih modela hidrotermalnih sustava“, akronima HyTheC (HRZZ-UIP-1218) čija je voditeljica dr. sc. Staša Borović, viša znanstvena suradnica Hrvatskoga geološkog instituta. Kako je jedan od ciljeva projekta bilo i razumijevanje hidrotermalnog sustava na području Daruvara, provedena istraživanja u okviru diplomskog rada obuhvaćala su digitalizaciju postojećih podataka u GIS bazu, terenska strukturno-stratigrafska opažanja izdanaka, najčešće uz same ceste ili u koritima potoka koji se slijevaju niz obronke Papuka i naposljetku njihovog opisa u terenskom dnevniku. U provođenju terenskih opažanja korištene su topografske osnove TK25 (Topografska karta M 1:25.000, DGU) i HOK (Hrvatska osnovna karta, DGU), a za potrebe strukturne analize korišteni su OGK listovi Daruvar (Jamičić, 1989) i Orahovica (Jamičić & Brkić, 1987) na kojoj su ucrtani i dodani izmjereni strukturni elementi. Najveća pozornost u okviru terenskih istraživanja bila je usmjerena na područje u neposrednoj blizini grada Daruvara, odnosno izdanke stijena mezozojske i kenozojske starosti koji ujedno čine hidrotermalni sustav Daruvarskih toplica. Nadalje, jedan od glavnih ciljeva ovog rada bili su da na temelju prikupljenih strukturno-geoloških podataka postojeće deformacijske strukture opišemo kroz deformacijske događaje koji su ih uzrokovali te interpretirati tektonske odnose u području istraživanja, uz pomoć novoprikupljenih podataka u obliku 2D strukturno-geoloških profila, odnosno 3D modela istraživanog područja.

## 2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PODRUČJA

Istraživani dio geografski je omeđen rijekama Dravom sjeverno i rijekom Savom južno, ali najvažniji pritoci su rijeka Bijela, Pakra i Toplica. Naselja koja istraživano područje obuhvaća su Batinjani na sjeveru, grad Daruvar, grad Sirač i mjesta Barice na samom jugu te naselje Gornji Borki na istoku (Slika 2.1.). Najveće nadmorske visine čine *Petrov vrh* (614 m.n.m.), *Crni vrh* (834 m.n.m) i dr. (Slika 2.1). S jugozapadne strane, geografski te prema tumaču **lista Daruvar** (Jamičić i dr., 1989) nalazi se Ilovska zavalata, dok se na sjeverozapadu geomorfološki nalazi pobrđe Bilogore (Jamičić, 1989). Geomorfološki, područje zauzima obronke zapadnog Papuka i koji čini zapadne padine Slavonskih planina (Slika 2.1.). Klima je umjereno topla vlažna s vrućim ljetima (Cfb). Važne djelatnosti daruvarskog područja je kupališni te zdravstveni turizam koje su u neposrednoj vezi s projektom *HyTheC* kao i ovog diplomskog rada.



Slika 2.1 Označeno predmetno područje istraživanja u širem Daruvarskom području (narančasti pravokutnik) i mjesta obuhvaćena u istraživanom području. QGIS (Izvor: <https://geoportal.dgu.hr>).

### *Pregled dosadašnjih strukturnih istraživanja*

Prema Tumaču *lista Daruvar* (Jamičić i dr., 1989) F. Wodiczka (1855) je prvi znanstvenik koji je opisao petrografska svojstva kristalinske podloge Papuka u sklopu izrade pregledne geološke karte tadašnje Austro-Ugarske monarhije.

Geološkim istraživanjem *Slavonskih planina* nastavio se baviti i D. Stur (1861;1862) prikazavši rezultate geoloških istraživanja u listovima V i VI ( M 1: 576.000). Njegova opažanja su od velikog značaja s obzirom da je definirao vremenski slijed nastanka kartiranih lito-skupina stijena; idući od najstarijih prema najmlađima. Prema D. Stur (1861;1862) geološki stup *Slavonskih planina* započinje gnajsevima i granitima (stariji paleozoik prema Tumaču), a njih prekrivaju kristalasti škriljavci, škriljavci donjeg trijasa. Povrh škriljavca u slijedu nalaze se i dolomiti i vapnenci koji pripadaju srednjem i gornjem trijasu.

U analizi strukturne evolucije *Slavonskih planina* Salopek (1914) dolazi do zaključka da *Slavonske gore* ne pripadaju Alpama, već drugom starom masivu, tzv. „Orijentalnom kopnu“. Za razliku od Salopeka, Koch (1917) vjeruje da se obronci Psunja pružaju kroz Papuk te čine istovjetnu gorsku masu, čime negira pripadnost drugom masivu. Temeljem petroloških analiza Poljak (1911; 1912; 1934a, b, c; 1938; 1939) prvi put spominje da su filiti koji su u izmjenama s kvarcitima silurske starosti. Isto tako opisuje geotektonski položaj i tektonski razvoj *Slavonskih planina*. Tijekom '60-ih godina Tajder i dr. (1960) zapaža da mezozojski slijed započinje brečama i kvarcnim pješčenjacima srednjotrijaske starosti uz grebenske karbonate. Prema Raffaelli (1964) paleozojski škriljavci ukazuju na progresivni metamorfizam čiji se intenzitet pojačava od smjera juga prema sjeveru, prelazeći u migmatite (Vragović, 1965).

K. Šikić i M. Brkić (1975) te Jamičić (1976) istražuju stratigrafska obilježja stijena u potoku Radlovac pa nalazima flore dokazuju permski i donjotrijaski slijed naslaga. U sklopu izrade geološke karte *OGK list Daruvar* te pripadajućeg *Tumača* Jamičić (1975; 1979; 1980) te Vragović i Jamičić (1976) strukturnim istraživanjem građe Krndije i Papuka (zapadnog i istočnog Papuka) iznose činjenice o dvije generacije boranja, a isto tako dijele paleozojske stijene na stariji kompleks koji je podložniji boranju (progresivno- retrogradni metamorfizam) te drugi, mlađi kompleks koji je okarakteriziran niskim stupanjem metamorfizma.

Strukturno-petrografska istraživanja tijekom '80-ih godina 20. st. (Jamičić, 1983; 1988) rezultirala su izdvajanjem tri metamorfna kompleksa: *Psunjski (Kutjevački)* koji bi pripao bajkalskoj orogenezi prema starosti (542 Ma), *Papučko-jankovački kompleks* koji bi pripadao kaledonskoj orogenezi (359 Ma) i zadnji *Radlovački kompleks* koji je formiran tijekom Variscijske orogeneze (318-300 Ma). Jamičić (1983; 1988) je ukazao na važnost regionalnih desnih rasjeda unutar Savske i Dravske zone između kojih je uočen sustav *strike-slip* rasjeda pružanja dominantno SI-JZ, s lijevim pomakom.

Rad Pamić i Jurković (2002) upućuje na postojanje plutonskih i metamornih kompleksa koji se sastoje od metamornih sekvenci *barrovian* tipa. Metamorfni kompleksi su litološki razvrstani kao migmatiti i granitoidi, a razlikovani su prema indeks mineralima. U novijim strukturno-geotektonskim istraživanjima šireg područja Ustaszewski i dr. (2009; 2010) opisuju tektonski razvoj Savske suturne zone (SSZ) pri čemu detaljnije opisuje MORB (*engl. Mid oceanic ridges basalts*) ili OIB (*engl. oceanic island basalts*) intraoceanski vulkanizam. Smatraju da SSZ čini tektonsku granicu između tektonskih blokova ALCAPA na zapadu i Tisza-Dacia mega jedinice. Kao dokaz navode nalaze riolitnog vulkanizma koji je otkriven na Kozari i Požeškoj gori. U radovima Schmid i dr. (2008; 2020) predstavljene su tektonske karte Alpsko-karpatско-dinaridskog (ALCADI) orogenetskog sustava koji je ispunjen naslagama neogenske i kvartarne starosti Panonskog bazenskog sustava (PBS). Od recentnih diplomskih radova, Manjarić (2011) daje detaljan opis litostratigrafskih jedinica na području zapadnog Papuka dok Vukovski (2019) na području od Voćina do Pakraca provodi strukturnu analizu mezozojskih i kenozojskih naslaga. Temeljem prikupljenih podataka izdvaja deformacijske strukture te određuje uvjete nastanka pomoću minerala glina (kristanilitet illita i klorita). Nadalje, zaključuje u radu da su prebačene megaskopske bore F1 unutar permsko – trijaskih naslaga izazvane tijekom kasne krede i paleogena kao posljedica kolizije Tisije i Jadranske ploče u završnom stadiju. Megaskopske bore F2 koje obilježavaju neogenske naslage i reversno rasjedanje sjeverne vergencije i pružanja I-Z nastale su na prijelazu između neogena i pliokvartara.

### 3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA

#### 3.1. Tektonski razvoj Slavonskih planina u okviru razvoja Panonskog bazena

Slavonske planine smještene su na području nekadašnjeg Tisza megabloka okruženog *Bohemian* masivom na istoku, *Dacia* blokom na jugoistoku, Alpama na zapadu i Savskom suturnom zonom (Sava-Vardar) te Jadranskom mikropoločom na jugozapadu (Slika 3.1). Prema Ustaszewski i dr. (2009; 2010) Savska Suturna Zona je zona subdukcije/kolizije te tektonska granica između megablokova ALCAPA na zapadu i Tisze-Dacie na istoku (Slika 3.1; 3.3).

Prema Pamić (2002) Savsko-Vardarska zona je zona u čijoj su podini unutrašnji Dinaridi, a u krovini Tisza-Dacia blokovi s pružanjem od današnje doline Vardara preko Beograda do Medvednice gdje se mijenja dotadašnja orijentacija iz SZ-JI u SI-JZ i pruža se kontinuirano u *Središnju mađarsku smičnu zonu* (engl. *Mid Hungarian Line*) predstavljajući glavnu tektonsku granicu u podlozi PBS-a između ALCAPA megabloka i Jadranske mikroploče; aktivnih tijekom paleogena i neogena, uz opetovane inverzije i promjene smjera pomaka (Csontos & Nagymarosy, 1998). (Slika 3.2.)

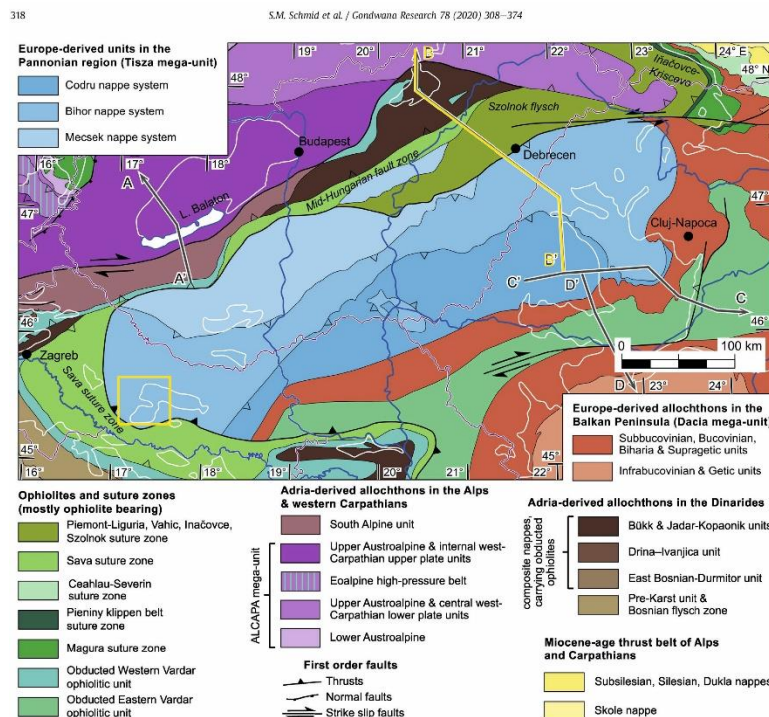
Početak oligocena, u završnom stadiju kolizije Jadranske mikroploče te Europske ploče formirani su MORB ili OIB intra-oceanski vulkanizam čiji su rioliti otkriveni na Kozari i Požeškoj gori (Šparica i dr., 1979; 1980). Termometrijska i geokemijska analiza određena je na cirkonima (Zr) pri čemu u granitima A tipa koji prevladavaju na Požeškoj gori postoji povećana zasićenost Zr u magmi pri temperaturi od 860-950 °C (Watson i Harrison, 1983).

Prema Ustaszewski i dr. (2010), cijeli prostor središnje SSZ predstavlja postkolizijski predgorski bazen ispunjen gornjopaleocenskim naslagama, odnosno plitkim oceanskim vapnencima koji produbljavanjem postepeno prelaze u turbiditne pješčenjake, šejlove i konglomerate.

Prema Ustaszewski i dr. (2010), krajem oligocena do srednjeg miocena (25-13 Ma), SSZ postaje rubnim dijelom ekstenzijskog „*supradetachment*“ bazena u kojem ekstenzija nastupa za vrijeme egera (25 Ma), a ista je popraćena intruzijom granita u podlozi bazena (27 Ma). *Supradetachment* bazen nastao je u kontaktnoj zoni sustava reversnih rasjeda koji su navukli Tisza-Dacia blok na Jadransku mikroploču. Prelaskom iz kompresijske u



ekstenzijsku fazu nastanka Panonskog bazena blagi navlačni rasjed u domeni *Savske suturne zone* prelazi u blago nagnuti normalni rasjed koji je u svojoj neposrednoj krovini otvorio bazenski prostor Savske depresije (Slika 3.4.; 3.5.).



Slika 3.1 Tektonska karta Tisza mega-bloka (označeno svijetlo plavom bojom) i okolnih megastrukturnih blokova. Područje istraživanja označeno je žutim kvadratom. Na karti se mogu vidjeti i glavne navlake (Codru, Bihor i Mecsek) i normalni te strike-slip rasjedi (prema Schmid i dr., 2020).

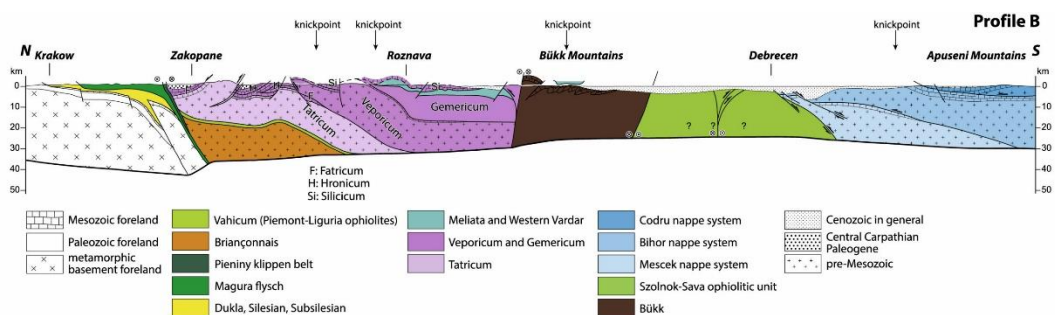
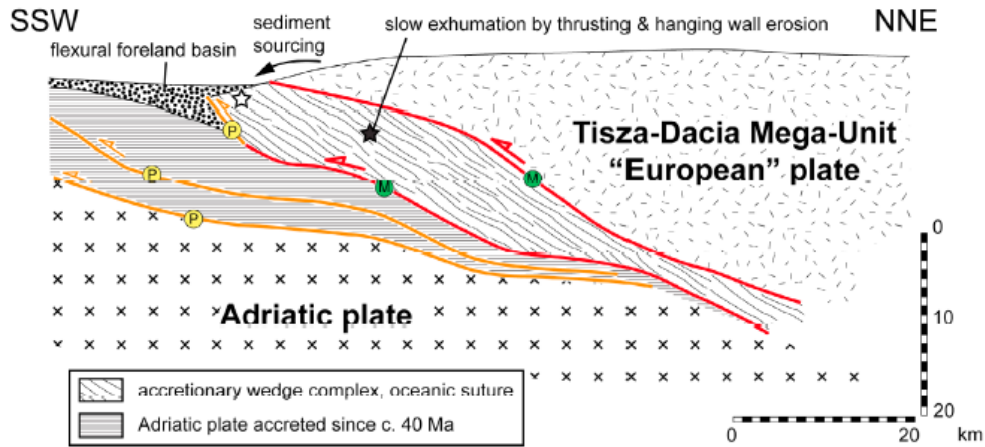


Fig. 4. Crustal-scale profile across the Western Carpathians and the eastern Pannonian basin (profile B). See Figs. 1 and 2 for the trace of profile B). Profile construction partly based on Fülöp and Dank (1987), Tomek (1993), Roca et al. (1995), Flašienka et al. (1997a and b), Sperner et al. (2002), Less and Mello (2004), Windhoffer et al. (2005), Golonka et al. (2018). Moho depth after Horváth et al. (2006), Hrubcová and Sroda (2015).

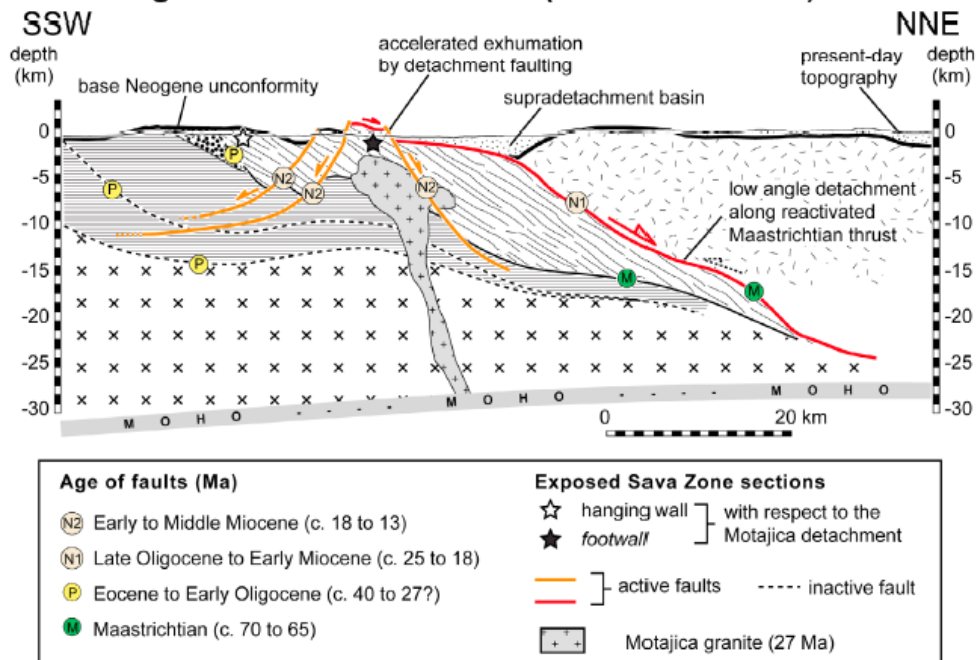
Slika 3.2 Na profilu B (od jugoistoka prema sjeverozapadu) vidljiv je strukturni odnos zapadnog dijela današnjih Karpata, Mađarske smične zone, jedinice Kopaonika i u konačnici predalpinski pojas prema Ustazewski (2020). Uz navedene tektonske jedinice, vide se glavne navlačne strukture koje su zaslužne za izdizanje Tisza bloka na području Panonskog bazena, odnosno, izdizanje Slavonskih planina. Profil B označen je žutom linijom na tektonskoj karti (Slika 3.1).

**a. Paleocene to Early Oligocene (c. 59 to 30 Ma)**

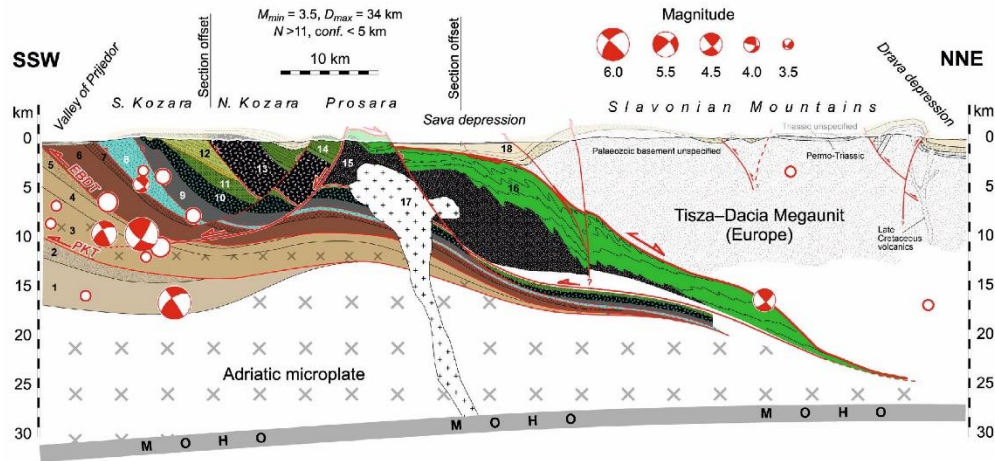


Slika 3.3 Podvlačenje (subdukcija) Jadranske mikroploče pod Euroazijsku (Tisza-Dacia) blok (prema Ustaszewski i dr. 2009; 2010).

**b. Late Oligocene to Middle Miocene (c. 25 Ma to 13 Ma)**



Slika 3.4 *Supradetachment* bazen koji je rezultirao nastankom Savske depresije za vrijeme miocena (25Ma), a ista je popraćena intruzijom granita utvrđene starosti od 27 Ma. Blago nagnuti *detachment* reaktivirao je navlaku nastalu tijekom mlađe krede (Ustaszewski i dr., 2009; 2010).



Slika 3.5 Prema Ustaszewski i dr. (2014) prikazan je profil pružanja JJZ-SSI koji se proteže od SZ Bosne (dolina Prijedora) na JZ do Dravske depresije na SI. Na profilu je vidljiva pliokvartarna promjena iz dotadašnjeg ekstenzijskog režima u kompresijski između Jadranske mikroploče na JZ i Tisza-Dacia bloka na SI. *Beach-ball* dijagrami na profilu ukazuju na dubine hipocentara te mehanizme potresa.

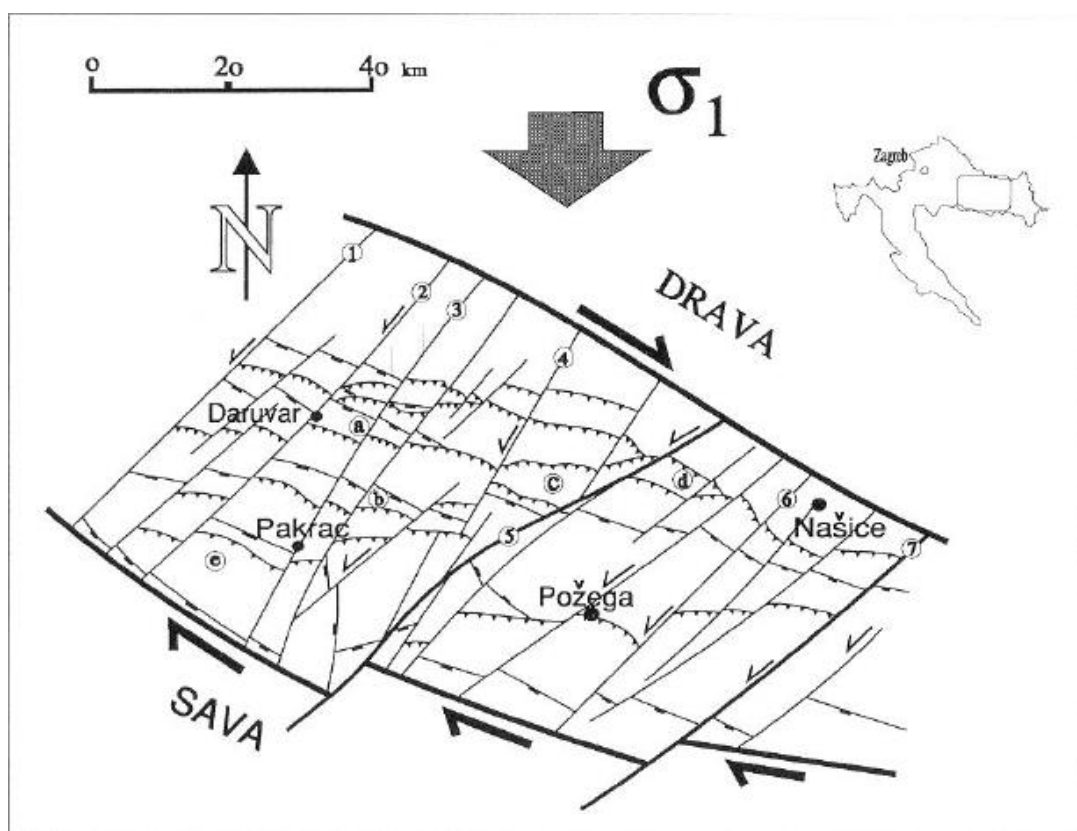
Na području Središnje Hrvatske, JZ dijela Panonskog bazena (JZPB) ekstenzijskim pokretima otvoreno je niz tektonskih polugraba od kojih se izdvajaju Savska i Dravska depresija (Velić i dr., 2002; Saftić i dr., 2003). Ovdje je, prema Saftić i dr. (2003) tektonsko-sedimentacijski razvoj Panonskog bazena predstavljen taložnim slijedom triju **megaciklusa**. Megaciklusi su označeni kao slijedovi naslaga koji u krovini završavaju panonskim, pliocenskim te kvartarnim naslagama. Karakterizira ih oplićavanje i produbljivanje. *Prvi megaciklus* opisan je sinriftnim i mlađim postriftnim sedimentima nastalim tijekom donjeg i srednjeg miocena. Taložnu sekvencu izgrađuju terestrički pješčenjaci s proslojcima ugljena, konglomerati, prekriveni i laporima te šejlovima varijabilnog udjela karbonantne komponente. Megaciklus završava taloženjem fino-zrnatih naslaga u brakičnom okolišu, što je uzrokovano ekstenzijskim režimom. *Drugi megaciklus* karakterizira termalna supsidencija (spuštanje) gornjomiocenskog Panonskog bazena uzrokovano hlađenjem kore i iz tog razloga megaciklus izgrađuju postriftni sedimenti Panonskog jezera. U većinskom dijelu bazena prisutni su vapnenci i transgresivne naslage prekrivene hemipelagičkim kalkarenitima i laporima. Dublji dijelovi sjeverne Hrvatske (bazen Hrvatskog zagorja i Panonski bazen, odnosno depresije, opisuje dominantno izmjena pješčenjaka i lapora u deltnim i turbiditnim okolišima. *Treći megaciklus* (Saftić i dr., 2003) karakteriziran je kompresijskom tektonikom tijekom pliocena i kvartara kada dolazi do slijeganja u depresijama i istodobnog izdizanja i erozije najudaljenijih blokova. Definiraju ga bare i močvare.

### 3.2. Tektonski razvoj *Slavonskih planina*

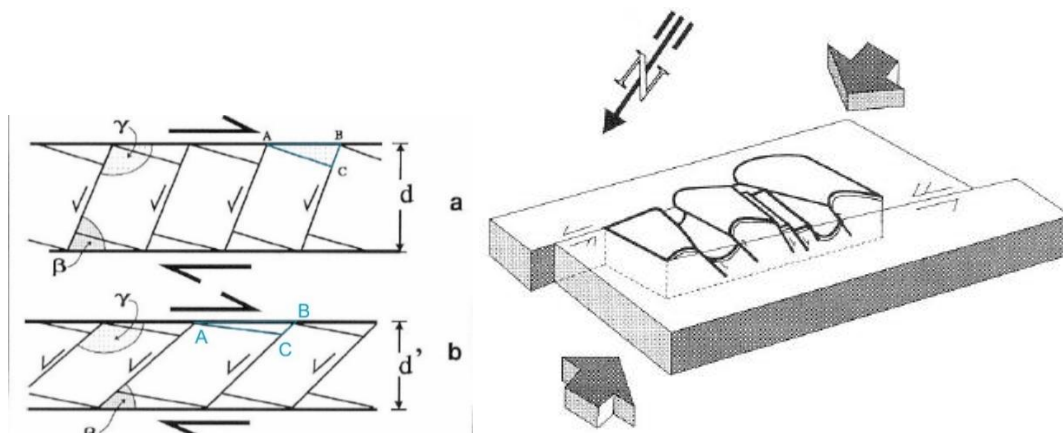
Više o strukturnim i tektonskim pokretima na području *Slavonskih planina* tijekom neogena objašnjava Jamičić (1955; 1988), Jamičić (1988) te Royden (1988), Bergerat (1989) te Horváth (1993).

Prema spomenutim autorima neogensko-kvartarna tektonska evolucija *Slavonskih gora* obilježena je lokalnim transpresijskim režimom naprezanja koji u kombinaciji s regionalnim Savskim i Dravskim desnim rasjedima uvjetuje postanak sustava lijevih i desnih rasjeda na području *Slavonskih planina* (Slika 3.6).

Na Slici 3.7. prikazan je strukturni sklop desnih i lijevih rasjeda pretežnih pružanja SI-JZ na području *Slavonskih planina* s obzirom na rasjede Savske i Dravske depresije te rotacija rasjednih blokova *Slavonskih planina* u smjeru kazaljke na satu. Lijevi i desni rasjedi pretežno su pružanja SI - JZ.



Slika 3.6 Položaj dva glavna desna rasjeda (Savskog, Dravskog) i niz (1-6) lijevih i desnih rasjeda koji fragmentiraju strukturni sklop *Slavonskih planina* (iz Jamičić; 1988). Prema izmjerenim orijentacijama na strukturnim elementima (klivaž, folijacija, rasjedne plohe),  $\sigma_1$  se pružala S-J,  $\sigma_3$  I-Z.



Slika 3.7 Odnosi kuteva ( $\beta$ ,  $\gamma$ ) između dva glavna strike-slip rasjeda i strike-slip rasjeda (1-6). Strike-slip rasjedi predstavljeni su kao parovi konjugiranih rasjeda. Sastoje se od rasjeda s pružanjem SI-JZ i desnim pomakom te protusmjernih rasjeda pružanja te SZ-JI s lijevim pomakom. Između njih dolazi do rotacije blokova (ABC trokut) i ekstenzijskog režima uzrokovanog povećanjem  $\gamma$  kuta (Dravski rasjed) i istodobnim reduciranjem  $\beta$  kuta (Savski rasjed) u odnosu na ostale lijeve i desne rasjede. Na desnoj slici prikazan je model boranja terena (prema Jamičić, 1995) koje je izazvano transpresijom između *strike slip* rasjeda nagnutih pod kutem između 30 i 45 stupnjeva.

Prema Diblee (1985) i Swanson (1988), kao posljedica pomaka po Dravskom rasjedu tijekom oligocena i egera došlo je do rotacije blokova koji čine područje *Slavonskih planina* te lokalno ekstenzijskih procesa uz sinsedimentsku tektoniku i magmatizam. Zone ekstenzije vidljive na Slici 3.7 poistovjećene su s više trokuta ABC koji su zasebno odijeljeni magmatskim intruzijama koje su vidljive u cijelom Panonskom bazenu. Vulkanske stijene koje su tom prilikom nastale pripadaju donjem badenu, odnosno pripadaju baden-otnang-karpatskoj starosti (27-13 Ma).

Daljnijim pomakom blokova između Savskog i Dravskog rasjeda dolazi do promjene režima iz ekstenzijskog u lokalno kompresijski režim naprezanja. Prema Bergerat (1989), identificirani lokalni normalni rasjedi prelaze u rasjede reversnog tipa tijekom mlađeg miocena i pliocena. Na *OGK list Daruvar*, M 1:100.000 (Jamičić, 1989) navedeni transpresijski i transtenzijski pokreti vidljivi su u zapadnom dijelu Papuka, gdje su borane strukture (sinklinale, antiklinale) različitih orijentacija, s čestim prebačenim sinklinalama/antiklinalama. Prema Jamičić i dr., (1995) početkom miocena pa sve do kvartara dolazi do izdizanja blokova duž transpresijskih dionica lijevih/desnih rasjeda između dvije glavne depresije, i u konačnici boranja po s orijentacijama osnih ploha S-J. Prema Jamičić (1995) bore i reversno rasjedanje dovodi do posljedica lokalne transpresije duž lijevih/desnih translacija, odnosno rotacija blokova između reversnih rasjeda

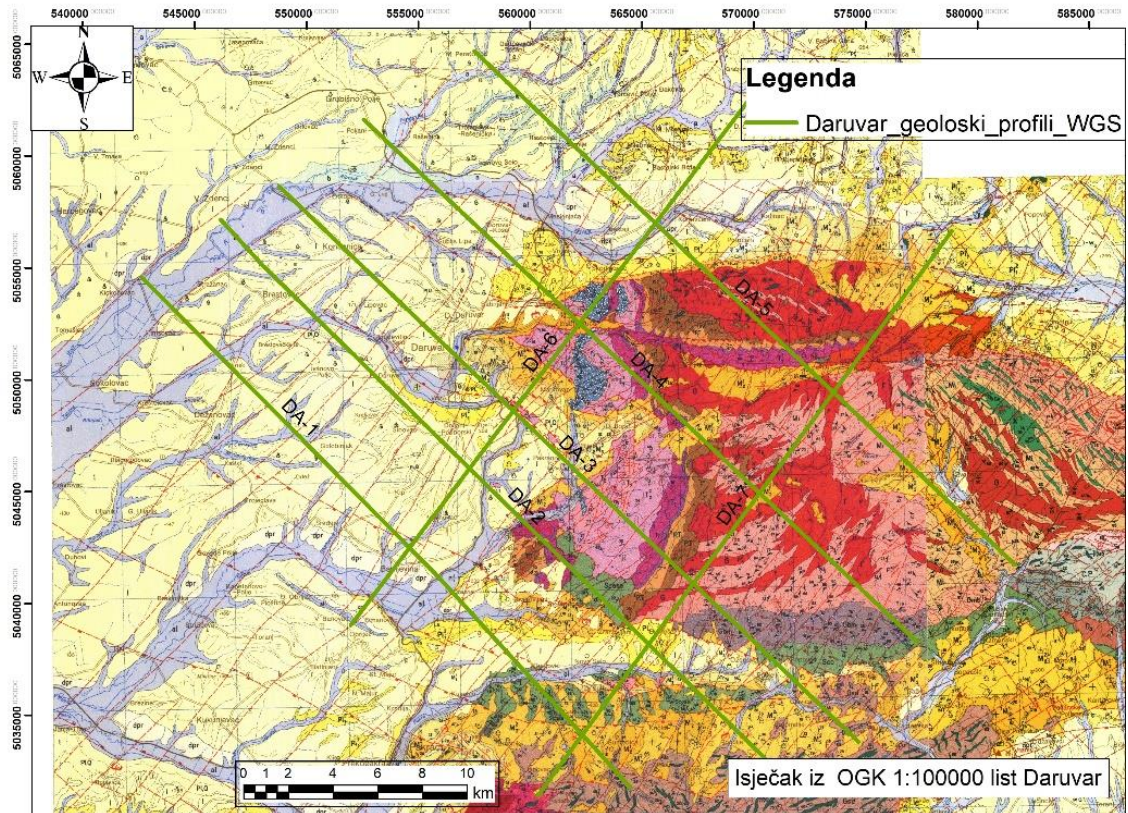
obrnuto od kazaljke na satu. Daljnja progresija transpresijskog režima uvjetuje nastanak sustava prebačenih antiklinala i sinklinala čije su osne plohe pružanja I-Z.

### 3.3. *Geološka građa istraživanog područja*

Geološka građa istraživanog područja prvi put je u cijelosti prikazana na *OGK listu Daruvar* mjerila M 1:100.000 (Jamičić, 1989) i detaljno opisana u *Tumaču lista Daruvar* (Jamičić i dr., 1989).

Za potrebe izrade geoloških profila u okviru diplomskog rada, geološka građa podzemlja je opisana temeljem *Osnovnih geoloških karata Daruvar i Orahovica* te pripadajućih *Tumača*. Shodno tome, za potrebu izrade geoloških profila izrađen je kompozitni geološki stup koji je nadalje korišten za prikaz i rekonstrukciju strukturnih odnosa u podzemlju (Slika 3.9).

Idući od stratigrafski najstarijih prema mlađim naslagama, istraživano područje izgrađeno je od kristalinske podloge, paleozojskih, mezozojskih i neogenskih naslaga. Prema Jamičić (1975) te Vragović i Jamičić (1976) slijed naslaga čine sljedeće litostratigrafske jedinice (Slika 3.9):



Slika 3.8. Isječak iz *OGK 1:100.000 lista Daruvar* (Jamičić, 1989) i *Orahovica* (Jamičić & Brkić, 1987) s naznačenim trasama konstruiranih geoloških profila. Karta je načinjena koristeći se ESRI ArcMap 10.7 softverom. (ArcMap 10.7).

# GEOLOŠKI STUP

| KVARTAR           | ni<br>n.a      | 20 m<br>50 m | šljunci, gline, pijesci, kopneni prapor<br>šljunci, pijesci  |
|-------------------|----------------|--------------|--|
| PLIOCEN           | G. PLIOCEN     | ~ 300 m      | pjeskovite gline, šljunci, pijesci, ugljen   |
|                   | D. PLIOCEN     | 100-300m     | pješčenjaci, pjeskoviti lapor, pijesci, ugljen   |
| MIOCEN            | PONC           | 200-350 m    | pijesci, lapori (vapneni/pjeskoviti/glinoviti), lapori   |
|                   | G.PANON        | 140 m        | lapori (pjeskoviti, glinoviti), pješčenjaci, pijesci i šljunci   |
|                   | D.PANON        | 170 m        | vapnenci, vapneni lapori, laporoviti vapnenci pješčenjaci, pijesci i šljunci   |
|                   | D.SARMAT       |              |  |
|                   | BADEN          | 200 m        | vapnenci, tufiti, vapneni pješčenjaci, bazalni konglomerati  |
|                   | KARPAT         | 200 m        | pijesci, šljunci, tufiti, ugljen, gline, pjeskoviti lapor  |
| KREDA             |                | ?            | rudistni vapnenci  |
| JURA              | J              | 100 m        | pločasti vapnenci  |
|                   | T <sub>1</sub> | 100 m        | vapnenci, dolomitični vapnenci, dolomiti   |
| TRIJAS            | T <sub>2</sub> | 200 m        | krinoidni vapnenci s rožnjacima  |
|                   | T <sub>3</sub> | 100 m        | dolomiti, dolomitični vapnenci, breče  |
|                   | T <sub>4</sub> | 80 m         | subarkoze, protokvarciti, šejlovi, siltiti   |
|                   | T <sub>5</sub> | 180 m        | arkoze, protokvarciti  |
| PERM              |                | 180 m        | konglomerati, filitni konglomerati   |
| KARBON            |                | 100 m        | metagrauvake, metapješčenjaci, spil, dijabazi  |
| STARIJI PALEOZOIK | Sco            |              | kloritski škriljavci   |
|                   | Gbm            |              | biotit-muskovitni gnajsevi   |
|                   | Mi             | 3500 m       | amfibolitski škriljavci  |
|                   | G              |              | pegmatit   |
|                   | D              |              | granitoidi   |
|                   |                |              | amfibolitski škriljavci  |
| PRETKAMBRIJ       | Scose          |              | grafitični škriljavci  |
|                   | Gsd            | >2000 m      | klorit-sericitski škriljavci<br>granat-staurolitni gnajsevi<br>granat-staurolitni gnajsevi<br>amfibolski škriljavci<br>mramori<br>gabro<br>flezerirani<br>granitoidi |

Slika 3.9 Kompozitni geološki stup istraživanog područja prema OGK listovima Daruvar (Jamičić, 1989) i Orahovica (Jamičić & Brkić, 1987).



- **Kristalinska podloga**

Na području Ravne gore i zapadnog Papuka kristalinsku podlogu čine granitoidi, odnosno skupina stijena granitnog sastava. Granitoide nalazimo u istočnom dijelu OGK lista *Daruvar* te većinski zapadnom dijelu. Osim područja Ravne gore, kristalinsku podlogu izgrađuju i centralne dijelove Papuka. Glavni minerali koji odgovaraju granitoidima jesu plagioklasi, feldspati, tinjci bogati muskovitima i biotitima, a imaju i naznake cirkona i apatita na kojima je provedena geokemijska analiza (Balen i dr., 2020). Cijeli prijelazni slijed facijesa od migmatita preko biotitskih gnajseva do kloritskih škriljavaca prisutan je na području Ravne gore iako od navedenih na istraživanom području uočeni su sivo-zelenkasti granitoidi.

- **Paleozojske magmatske i metamorfne stijene**

Paleozojske naslage dijelimo na starije i mlađe. Starije paleozojske stijene pretrpjele su relativno viši stupanj metamorfizma (blokovi gnajseva, škriljavci, migmatiti) što potvrđuju deformacijske strukture vidljive na terenu. Mlađe paleozojske stijene ukazuju na relativno niži stupanj metamorfizma (kloritski, grafitični škriljavci, filiti), često tek djelomično izmijenjene sedimentne stijene zbog čega su ujedno homogenije. Radi se o gnajsevima i granitima koji su tijekom kaledonske orogeneze (490-359 Ma) pretrpjeli retrogradnu metamorfozu i izoklinalno su borani u formi lepezastih bora pružanja I-Z te ponegdje se mogu pronaći strukturni elementi koji ukazuju na boranje, npr. leće kvarca i feldspata unutar gnajseva, granitski materijal itd. Osim granita i gnajseva, u slijedu nalazimo i škriljavce, granitoide i pegmatite (Slika 3.10).



Slika 3.10 Pegmatiti unutar granitoida na lijevoj slici s vidljivim tinjcima (muskovit, biotit- Mt, Bt), feldspati (Fsp), kvarc (Q) i na desnoj slici fragment škriljavca bogat granatima. Lokacija točke opažanja pegmatita (636) se nalazi SI od mjesta D.Borki. Lokacija točke opažanja škriljavaca (Hy-22-9) se nalazi JI od Barice.

- **Mezozojske naslage**

Zastupljene su permo-trijaskim naslagama, na koje završno naliježu jurske naslage . Česti su i transgresivni kontakti gdje na kristalinsku granitoidnu podlogu naliježu naslage donjeg perma. Stariji paket permskih naslaga (<sup>1</sup>PT) čini izmjena filitnih konglomerata s pješčenjacima ljubičaste i crvenkaste boje, a obilježava ih i graduiranost koja se lako može pratiti s veličinom fragmenata stijena (1-5 cm, ponegdje 10 cm) koju odlikuje smanjenje promjera zrna prema gore. Mlađi paket permskih naslaga (<sup>2</sup>PT) čine kvarcni pješčenjaci s gotovo rožnjačkom strukturom koja se nastavlja kontinuirano na filitne konglomerate donjeg trijasa. Debljina permskih naslaga procijenjena je na 400 m.

Trijaske naslage se dijele na donjotrijaske T<sub>1</sub>, srednjotrijaske T<sub>2</sub> (T<sub>2</sub><sup>1</sup>, T<sub>2</sub><sup>2</sup>), te gornjotrijaske T<sub>3</sub> karbonate i klastite ukupne debljine 400-500 metara (Slika 3.9). Donjotrijaske naslage predstavljaju prijelaz iz pješčenjaka i šejlova u karbonatne naslage čiji se slijed može dobro pratiti u potocima zapadnog Papuka (Slika 3.11). Srednjotrijaske naslage izgrađuju centralne i zapadne dijelove Papuka, a zasebno se dijele na naslage anizika (T<sub>2</sub><sup>1</sup>) i ladinika (T<sub>2</sub><sup>2</sup>) pri čemu su naslage anizika prepoznate po vapnenačko-dolomitnim razvoju i osobito razvoju breča koje bočno i vertikalno prelaze u vapnence i dolomite. Dolomiti su krupnokristalaste građe. Ladiničke srednjotrijaske naslage čine krinoidni vapnenci koji naposljetku prelaze u mikritne vapnence, a ime su dobili po fosilima krinoida koji se mogu determinirati u stijenama makroskopski (Slika 3.12). Na istraživanom području nalazimo dominantno srednjotrijaske dolomite koji predstavljaju glavne vodonosnike. Gornjotrijaske naslage (T<sub>3</sub>) nadalje čine dobrouslojene karbonatne naslage retske starosti. U starijem razdoblju gornjeg trijasa lokalno se pronalaze paketi klastita sivo-zelenkaste boje koji ukazuju na tektonsku aktivnost za vrijeme karnika. Retske naslage čine tzv. markantan horizont koji nalazimo regionalno u podini dolomita i vapnenca koji su u izmjeni s pelitskim klastitima. Dolomite probijaju žile dijabaza u obliku dajkova, odnosno skladova, a takvi su otkriveni i mogu se pratiti u kamenolomu Skočaj i kamenolomu Toplica u Batinjskoj Rijeci (Slika 3.13; 3.14) Ukupna debljina trijaskih naslaga ne prelazi 500 m (Slika 3.9).



Slika 3.11 Blok donjotrijaskih naslaga u blizini kontakta s permotrijaskim naslagama. Lokacija točke opažanja (Hy-133) se nalazi u istočno od Petrovog vrha.



Slika 3.12 Naslage anizika i ladinika. Krinoidni vapnenaci vidljivi na lijevoj slici lokalno prekrivaju naslage Anizika koji čine dolomitne breče vidljive na desnoj slici. Lokacija točke opažanja krinoidnih vapnenaca (Hy-22-26) se nalazi SI od Barice. Lokacija točke opažanja dolomitnih breča (Hy-21-10D) se nalazi u blizini Sirača.



Slika 3.13 Skladovi dijabaza. Lijeva slika fotografirana je na trećoj etaži u kamenolomu Toplica u Batinjskoj Rijeci, a desna slika fotografirana je istočnije u odnosu na kamenolom Toplica. Vidljivi su dajkovi dijabaza koji prodiru kroz gornjotrijaske dolomite.

Konkordantno, u krovini trijaskih naslaga nalazimo i jurske karbonate lokalno bogatih rožnjacima (Slika 3.14). Jurski karbonati su tankouslojeni vapnenci bijele do crvenkaste boje. Ove naslage su podložne boranju i deformiranju na što ukazuju pojave prebačenih bora istočno od Petrovog Vrh. Ukupna debljina ovih naslaga je 100 m. Lokalno, vapnenci su crvenkaste boje ili na kontaktu kristalizirani.



Slika 3.14 Slika lijevo: jurski tankpločasti vapnenci podložni boranju. Lokacija točke opažanja (Hy-21-02) se nalazi u blizini Crnog vrha. Slika desno crvenkasti jurski vapnenci. Lokacija točke opažanja crvenoklastičnog vapnenca (WP 26) se nalazi u blizini sinklinale Kik-Petrov Vrh.

- **Neogenske i pliokvartarne naslage**

Pronalazimo ih u neposrednoj krovini mezozojskih i/ili paleozojskih naslaga u obliku miocenskih, pliocenskih, pleistocenskih i kvartarnih naslaga. Karpatske naslage (M<sub>3</sub>) čine najstarije miocenske naslage, a sporadično su sačuvane na sjevernoj strani Papuka i sjevernim obroncima Psunja. Prema *Tumaču* i *OGK lista Daruvar* naslage su označene kao naslage otnaške starosti s oznakom M<sub>2</sub><sup>1</sup>. Bazu izgrađuju brečokonglomerati i konglomerati debljine desetak metara. Na njima leže dobro uslojeni i sortirani pijesci, šljunci te gline s centimetarskim proslojcima tufova. Ukupna debljina ovih naslaga iznosi oko 200 m. Transgresivno na karpatske naslage nalaze se badenske naslage (M<sub>4</sub>) koje periklinalno okružuju zapadne obronke Papuka II od Daruvara. Badenski slijed započinje pješčenjacima s visokim udjelom karbonatne komponente, dok u vršnim dijelovima dominiraju lapori i pjeskoviti lapori. Badenske naslage nalaze se u obliku erozijskih ostataka na vrhovima centralnog Papuka i Psunja, gdje su također zabilježeni debeli paketi konglomerata s kosom slojevitosti. Naslage su bogate fosilima: fragmenti briozoa, školjkaša i ježinaca (Slika 3.15 i 3.16). Debljina ovih naslaga procjenjuje se na 200 m. Naslage donjeg sarmata (M<sub>5</sub>) ili prema *tumaču* i *OGK* - M<sub>3</sub><sup>1</sup> leže kontinuirano na naslagama badenske starosti. Ove naslage čine tanko laminirani lapori, pješčenjaci te laporoviti vapnenci (Slika 3.17). Uz njih pronalazimo i proslojke glina, pijesaka i sporadično šljunaka. Starost ovih naslaga je određena na temelju mikrofaune i makrofaune opisanoj u *Tumaču lista Daruvar*. Debljina ovih naslaga kreće se od 20 do 60 m.



Slika 3.15 Fosili pektena lijevo i oštriga desno, kontakt između trijasa i neogenskih naslaga (baden) istočno od Daruvara.



Slika 3.16 Slika lijevo - otisak ježinca na lokaciji (Hy-21-19) u blizini Daruvarskih toplica. Slika desno - fragment breče s ostacima neogenskih i trijaskih naslaga.

Srednjomiocenske naslage, odnosno donjopanonski ( $M_6^1$ ),- ili u Tumaču i OGK lista Daruvar  ${}_1M_3^2$  sedimenti kontinuirano se talože na naslagama donjeg sarmata. Od ranije su poznate kao „*Croatica* -naslage“ zbog čestih nalaza fosilnoga gastropoda *Radix croatica*. Naslage su dobro uslojene, često vidljive u izmjeni tankopločastih laporovitih vapnenaca i vapnenih lapora. Naslage su vidljive po svojoj svjetlosivoj do smeđožućkastojoj boji, a kemijski sadrže visok udio kalcijevog karbonata (60-95%). Debljina donjopanonskih naslaga je oko 100 m.

Gornjopanonski ( $M_6^2$ ) sedimenti ili prema Tumaču i OGK lista Daruvar  ${}_2M_3^2$  se kontinuirano talože na donjopanonske sedimente u obliku uskih zona. Nazivaju se još i „*Banatica*-naslage“ zbog čestih nalaza fosilnog školjkaša vrste *Congerina Banatica*. Obilježavaju ih brakični sedimenti izgrađeni od glinovitih lapora koji ponekad u sebi sadrže uloške pijeska. Pretežito su plavičastosive do sive boje. Debljina naslaga procijenjena je da je oko 100 metara.



Slika 3.17 Prijelaz iz litotamnijskih vapnenaca (donji dio čekića) u sarmatske lapore (iznad čekića). Lokacija točke opažanja (D-13) se nalazi u blizini Markovca JZ od Perovog vrha.

Pontske naslage ( $M_7^1$ ) ili prema Tumaču i OGK lista Daruvar ( $Pl_1^1$ ) talože se kontinuirano na gornjopanonskim naslagama. Unutar naslaga determinirana je makrofaunska vrsta *Paradacna abichi* zbog koje se još nazivaju i „*Abichi*-naslage. Stijene su prepoznatljive po izmjeni glinovitih i siltno-pjeskovitih lapora sive boje s plavim nijansama. Često sadrže i proslojke pijeska. Debljina donjopontskih naslaga pretpostavlja se da je između 200 i 350 metara.

Donjopliocenske naslage ( $M_7^2$ ) ili prema Tumaču i OGK lista Daruvar ( $Pl_1^2$ ) omeđuju Papuk i Psunj i talože se u kontinuiranom slijedu. Naslage su bogate fosilima vrste *Congerina rhomboidea*, a u skladu s tim se i nazivaju „*Rhomboidea*-naslage“. Sedimenti se sastoje od nevezanih ili slabovezanih pijesaka, lapora s pjeskovitom ili glinovitom komponentom. Naslage su pretežito zelenkastosive, crvenosmeđe i plavičaste i često dobroslojene. Bazni dio naslaga sadrži više glinene komponente zbog čega su naslage sitnozrnaste i sive boje dok se u gornjem dijelu mogu pronaći frakcije šljunaka i pješčenjaka.

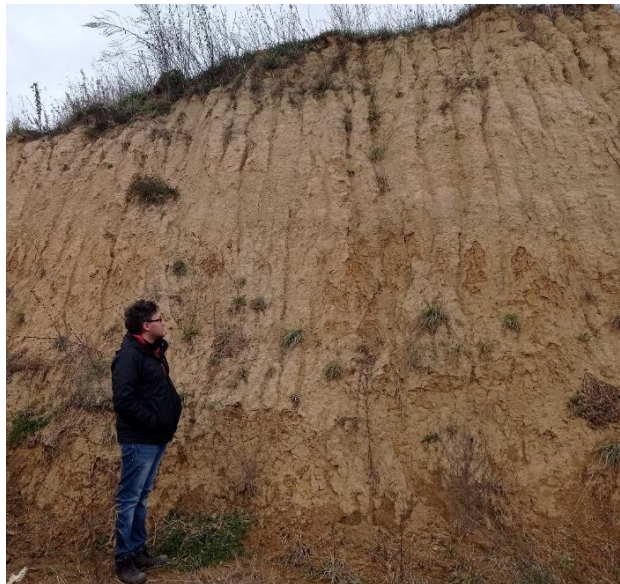
Pliocenske ( $Pl_2$ ) ili prema Tumaču i OGK lista Daruvar ( $Pl,Q$ ) čine slatkovodne naslage koje transgresivno naliježu kao erozijski ostatci na starijim stratigrafskim članovima. Naslage

čine raznoliki i loše sortirani pjeskoviti šljunci, kvarcni pijesci i siltni pijesci koji sadrže proslojke konglomerata te pjeskovita glina s lećama šljunaka. Starost je procijenjena na temelju superpozicije.



Slika 3.18 Pontski lapori i mjesto gdje je izmjerena slojevitost orijentacije S0 125/25. Lokacija točke opažanja (D-12) se nalazi u blizini Markovca JZ od Petrovog vrha.

Kvartarne naslage prisutne su u obliku prapora i lesa ili koluvijalno-aluvijalno-deluvijalnih naslaga. U *Tumaču i OGK lista Daruvar* označene su s al, Q (Slika 3.19).



Slika 3.19 Kvartarne naslage iskopane u zasjeku u Batinjskoj Rijeci.



## 4. METODOLOGIJA RADA

Metodologija rada temeljena je na kombinaciji kabinetskih i terenskih metoda. U ovom radu, terenska su istraživanja bila podloga za kasniju obradu podataka u kabinetu. U prvom su koraku podaci prostorno pozicionirani te su kartografski i tablično organizirani, kako bi se uvezli u GIS koristeći ESRI ArcMap 10.7 program. U narednom koraku, prikupljeni podaci su kategorizirani te s obzirom na njihovu važnost korišteni za daljnje strukturne analize u obliku izrade odgovarajućih stereograma, geoloških profila te naposljetku 3D geološke građe podzemlja.

### 4.1. Terenske metode

Terenska istraživanja u okviru projekta i diplomskog rada provedena su tijekom svibnja i studenog 2021. godine te u siječnju 2022. godine. Istraživanja su činila projektne aktivnosti 3A.1, a koja obuhvaća strukturno-geološka istraživanja na daruvarskom području. Mjerenja su vršena većim dijelom na zapadnim obroncima Papuka, na području između profila DA-2 do DA-5 s tim da je najveći broj točaka zabilježen uzduž profila DA-3 i DA-4 (Slika 4.2). Ukupan broj zabilježenih terenskih točaka na istraživanom području je 223 (**Prilog 1**). Na Slici 4.1 vidljiv je primjer terenskog zapisa jedne točke opažanja.

| Projektna-oznaka | Field mark | Date Created              | Latitude | Longitude | x          | y          |
|------------------|------------|---------------------------|----------|-----------|------------|------------|
| Hy-2021-01       | Hy-21-1D   | 2021-05-11T12:11:25002:00 | 45.60    | 17.39     | 5687070.06 | 5053981.98 |

Description

|  |
|--|
| Sp- 187/58; 305/85, 260/80; 165/50; R-32/85; Is je 38 NW, Reversni desni (1), na izdanku dominiraju trosni granitiidi s pegmatitskom strukturom. U krovini je trosina debljine 0, 5-1 m. |
|--|

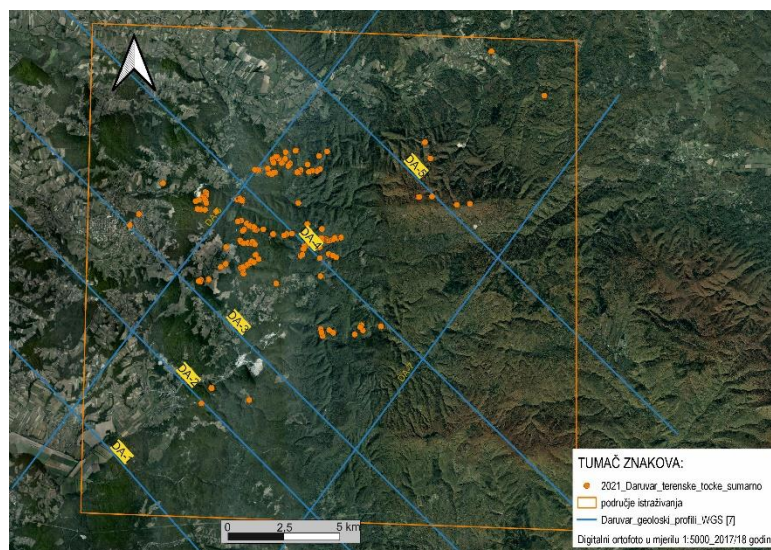
Slika 4.1 Primjer zapisa jedne terenske točke koja sadrži projektne i terenski naziv/oznaku, vrijeme kad je zabilježena terenska točka, koordinate točke u *WGS 1984* te *MGI Balkans 5* projekcijama te njezin terenski opis.

#### 4.2. Kabinetska obrada podataka

- *ESRI ArcMap 10.7 softver (GIS)*

Za potrebe prostorne organizacije podataka u diplomskom radu korišten je ESRI ArcMap 10.7 programski paket. Projiciranje točaka opažanja, izrada karte opažanja, kao i georeferenciranje geoloških karata izvršeno je korištenjem *Spatial Analyst te 3D Analyst* alata.

Karta točaka opažanja (Slika 4.2) načinjena je korištenjem terenskih podataka u shp. formatu (točkasti podatci) kojima su u GIS-u pridodani u atributnoj tablici i informacije o nazivu, vremenu kad su točke zabilježene, lokacije s x i y koordinatama te opis točke. Osim točkastih podataka u obliku linijskih podataka uvezene su i trase geoloških profila DA-1 do DA-5 te trase seizmičkih refleksijskih profila na području Daruvara (Slika 4.3), odnosno na području Lonjsko-Ilovske zavale. Ukupan broj uvezenih točkastih podataka je 223. Od ukupnih 223 točaka na istraživanom području na 119 terenskih točaka je zabilježena slojevitost, rasjedne plohe zabilježene su na 32 točke, a pukotinski setovi na 86 točaka.



Slika 4.2 Georeferencirana karta u ArcMap 10.7 programu s prikazom svih izmjerenih točaka i zadanih trasa strukturno-geoloških profila (Izvor: <https://geoportal.dgu.hr/>).

- *Strukturna istraživanja predmetnog područja*

Na terenu je ukupno izmjereno 119 podataka o slojevitosti, 86 podataka o orijentaciji pukotina, a 32 točke su sadržavale informacije o orijentacijama rasjednih ploha te kinematske indikatore. Od izmjerenih strukturnih elemenata orijentacija slojevitosti prikazana je tragovima ravnina na stereografskoj mreži u programu *Stereonet* (Allmendinger, 2019) (Slika 4.3) Magmatskim tijelima je određena folijacija i prikazana u obliku tragova ravnina u *Stereonetu*.

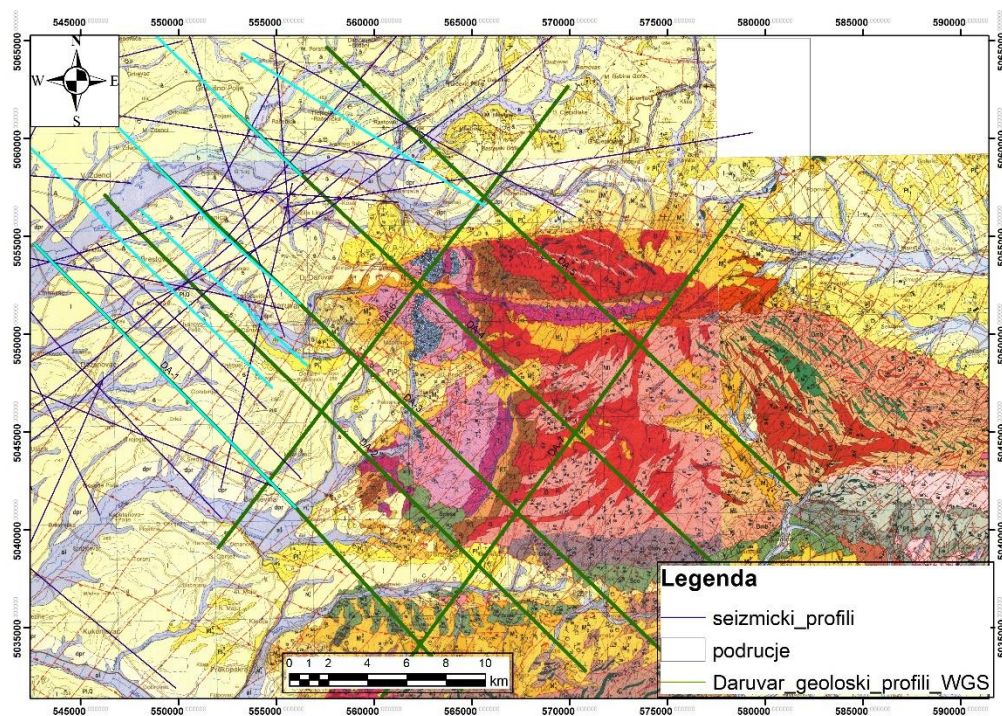
Orijentacije 44 rasjedne plohe prikazane su u *Win-Tensor* v. 5.8.8. (Delvaux, 2018) programu (Slika 4.3). Pukotine su prikazane polovima ravnina, odnosno u stereografskoj mreži, polovi su normale na tragove ravnina. U *Stereonetu* se prikazom izmjerenih podataka dobiva prosječna orijentacija i kut nagiba za plohe slojevitosti i polove pukotina. U *Win-Tensoru* na temelju unešenih podataka (orijentacija rasjedne plohe, orijentacija lineacije strija, pomak, pouzdanost) dobiveni proračuni orijentacije glavnih osi paleonaprezanja.



Slika 4.3 Win-Tensor sučelje (lijevo) (prema Delavux, 2018). Stereonet sučelje (desno) (Allmendinger, 2019).

- *Geološki profili*

Za potrebe izrade geoloških profila korištene su trase geoloških profila postavljene u prostoru u programu ArcMap (Slika 4.5). Profili su nazvani redom od **DA-1** do **DA-5** idući od juga prema sjeveru i poprečno položeni na strukture OGK lista Daruvar (Jamičić, 1989), približnog azimuta od 133°, odnosno pravca pružanja prema SZ-JI. Poprečni profili prikazuju preciznije i točnije debljine naslaga. Uvid u 2D prikaz naslaga poprečnih profila predstavljen je i nacrtan u grafičkom programu *CorelDRAW* (2018). Elementi orijentacije slojeva, ali i raznolikost litološkog sastava na površini izostaje u zapadnom dijelu OGK lista Daruvar, pa su u tu svrhu korištene trase seizmičkih profila koji se pružaju paralelno uz geološke profile. Seizmički refleksijski profili su time korišteni u interpretaciji građe podzemlja na dijelu Lonjsko - ilovske zavale.



Slika 4.4 Georeferencirana karta lista Daruvar (Jamičić 1989) i Virovitica (Galović i dr., 1979) s dodatnim trasama seizmičkih profila i trasama zadanih strukturno-geoloških profila. Svjetlijo-plavom bojom označeni su seizmički profili koji su interpretirani za potrebu izrade ovog rada, a strukturno-geološki zelenom bojom.

## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I INTERPRETACIJA

Rezultati mjerenja dobivenih terenskim istraživanjem objedinjeni su u nekoliko poglavlja:

Prvo poglavlje (5.1.1.) opisuje rezultate mjerenja slojevitosti, slojevitost S0. Na istraživanom području slojne plohe u sedimentnim stijenama pružaju se u smjeru SSZ-JJI s manjim otklonima i s prosječnim kutem nagiba od 40°. U magmatskim i metamorfnim stijenama izmjerene su plohe folijacije S1 koje su generalno korelativne izmjerenoj slojevitosti S0. Česte su pojave boranih sustava koje su različite orijentacije, s obzirom na promjene u polju naprezanja kroz geološku prošlost.

Drugo poglavlje (5.1.2.) predstavlja opis rezultata mjerenja pukotina. Pukotine su planarne deformacijske strukture koje nastaju kao posljedica krto g loma. Na istraživanom području izdvajaju se dva seta pukotina s pružanjem I-Z i S-J. Oba seta odlikuju strmi do vertikalni kut nagiba, lokalno i blažeg nagiba od oko 30°.

Treće poglavlje (5.1.3.) čini opis rezultata mjerenja posmičnih pukotina u kojima je stijenski pomak u odnosu na drugu stijenu veći od par centimetara, a poznatiji izraz za njih su rasjedi. Tijekom provedbe terenskih istraživanja mjereni su reversni, normalni i strike-slip rasjedi. Papuk je u prošlosti podvrgnut i ekstenzijskom i kompresijskom režimu tako da su glavne dvije grupa rasjeda podijeljene na kompresijske/transpresijske strukture i ekstenzijske/transekstenzijske strukture.

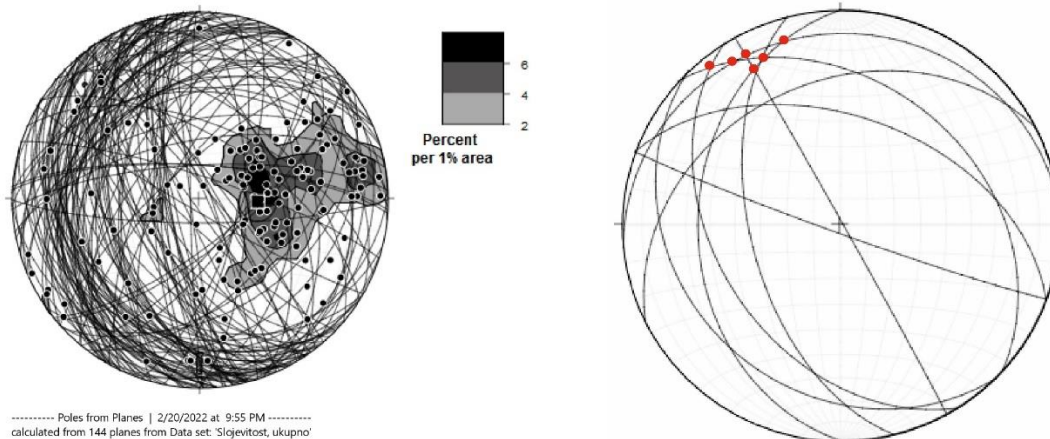
Četvrto poglavlje (5.1.4.-5.1.8) čini opis i interpretaciju strukturno-geoloških profila *DA-1* -- *DA-5*. Zapadni dijelovi profila čini dio Lonjsko-Ilovske zavale i oni su interpretirani pomoću trasa seizmičkih profila, dok su istočni dijelovi profila su konstruirani pomoću osnovnih geoloških karata te raspoloživih tumača (Jamičić, 1989; Jamičić & Brkić, 1987). Geološki profili upotpunjeni su stereografskim projekcijama terenskih mjerenja.

Peto poglavlje (5.1.9) predstavlja interpretaciju prethodna četiri poglavlja. Na temelju prethodnih saznanja i nacrtanih geoloških profila, konstruiran je konceptualni 3D geološki model u programu MOVE.

### 5.1.1. Slojevitost

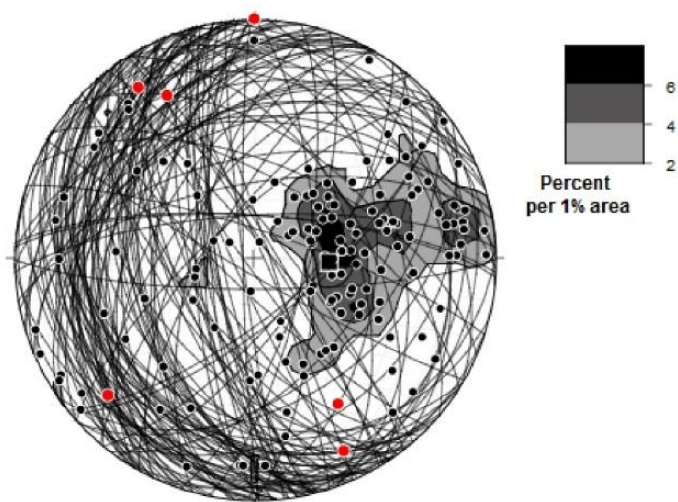
Slojevitosti su prikazane tragovima ravnina u programu *Stereonet* (Allmendinger, 2019) (Slika 5.1). Na istraživanom području prema rezultatima iz ukupno 144 izmjerene slojne plohe, slojevitost ukazuje da su slojne plohe struktura pravca pružanja SSZ-JJI sa smjerom nagiba prema zapadu. Radi bolje preglednosti, slojevitost je prikazana i polovima ravnina (crni kružići). Polovi ravnina omogućuju kreiranje konturnog dijagrama koji dijeli polove u zasebne grupe prema njihovoj gustoći unutar stereografske mreže.

Prosječne orijentacije slojevitosti pružaju se u rasponu azimuta od 220° (JZ) do 315° (SZ) s prosječnim kutem nagiba od 40-50°. Osim slojevitosti tragovima i polovima ravnina prikazane su i folijacije izmjerene u granitoidima (G) i škriljalcima (Sco) (Slika 5.1). Od ukupno 11 mjerenja, njih 7 odgovara nagibu slojevitosti tako da se može reći da folijacija u magmatitima prati primarne folijacije, odnosno slojevitosti, dok su magmatske stijene bile u prošlosti podvrgnute istim orogenezama kao i sedimentne stijene mezozoika pa su time zadobile slične orijentacije folijacija. Različite orijentacije slojevitosti lokalno na istraživanom području, ukazuju na boranje područja koje je direktna posljedica reversnog rasjedanja u kompresijskom polju naprezanja čija je glavna os orijentacije SI-JZ. Orijentacije osi izmjerenih bora tonu prema SZ i jugu (JZ, JI) što je dokaz spomenutom polju naprezanja. Pojave bora zabilježene su u jurskim vapnencima, trijaskim dolomitnim brečama, hauptdolomitu, permskim pješčenjacima i u paleozojskim stijenama (Sco) (Slika 5.2). Poneki izdanci sadrže laminaciju ili žile ispunjene kalcitom koje potvrđuju orijentaciju slojne plohe na samom terenu.



..... Poles from Planes | 2/20/2022 at 9:55 PM .....  
 calculated from 144 planes from Data set: 'Slojevitost, ukupno'

Slika 5.1 Lijevo: Slojevitost je prikazana tragovima ravina te polovima ravnina (crni kružići). Radi bolje preglednosti izveden je konturni dijagram iz polova slojevitosti. Prevladavaju slojevitosti orijentacija azimuta JZ-SZ s prosječnim kutem nagiba od 40°. Desno: Predstavlja folijaciju S1 izmjerenu u magmatskim tijelima i oblicima. Od izmjerenih folijacija S1 su orijentacije SZ, a manji dio SI, kuta nagiba od 30 do 50°. Presječnice mjenjenih folijacija (crveni kružići) sugeriraju osi bore čije osi tonu prema SZ.

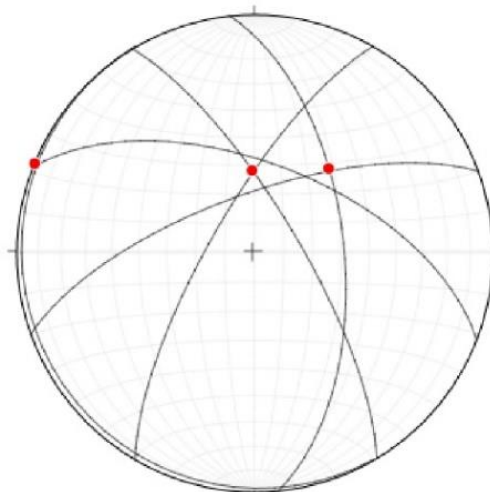


Slika 5.2 Slojevitost prikazana tragovima ravnina. Osi bora izmjerenih na istraživanom području označene su crvenim kružićima. Prosječna orijentacija pružanja osi bora je S-J s manjim odstupanjima.

U Tablici 5.1. prikazane su izmjerene vrijednosti prosječnih orijentacija krila bore s njihovim kutevima nagiba. Na temelju izmjerenih slojevitosti zapadnog i istočnog krila u stereonetu su proračunate vrijednosti osi bora. Osi bora tonu prema sjeveru.

Tablica 5.1 Parazitske M bore u jurskim vapnencima na lokaciji – X- 5679687,32; Y- 5052442,18. (Slika 3.8)

| Orijentacija slojevitosti | Orijentacija slojevitosti | Os bore |
|---------------------------|---------------------------|---------|
| 21/59                     | 240/3                     | 292/3   |
| 59/75                     | 300/75                    | 359/62  |
| 84/59                     | 340/70                    | 42/51   |



Slika 5.3 M bore zabilježene u jurskim vapnencima. Crvenim točkicama koje označavaju orijentacije osi bora pružanja S-J koje tonu prema sjeveru te potvrđuje transport naslaga prema sjeveru izazvanu kompresijskom tektonikom zbog koje je i podloga navučena na neogenske stijene. Lokacija se nalazi 11 od Daruvara (Hy-141).

Jurski vapnenci su, radi svoga tankopločastog habitusa podložniji boranju, tako da zapadno od Petrovog vrha nalazimo niz sinklinala i antiklinala čije su osne plohe generalne orijentacije S-J, a koje su često na terenu vidljive kao mikroborane strukture - parazitske bore M, S i Z tipa (Slika 5.3). Razmatrajući orijentaciju parazitskih bora može se zaključiti da su nastale u polju naprezanja s orijentacijom najveće osi naprezanja S-J. 11 od Daruvara, idući prema Siraču borane strukture su zastupljene u manjoj mjeri, te se pretežito se radi o blagim borama otvorenog tipa koje su nastale u trijaskim dolomitima i šejlovima (Slika 5.4)

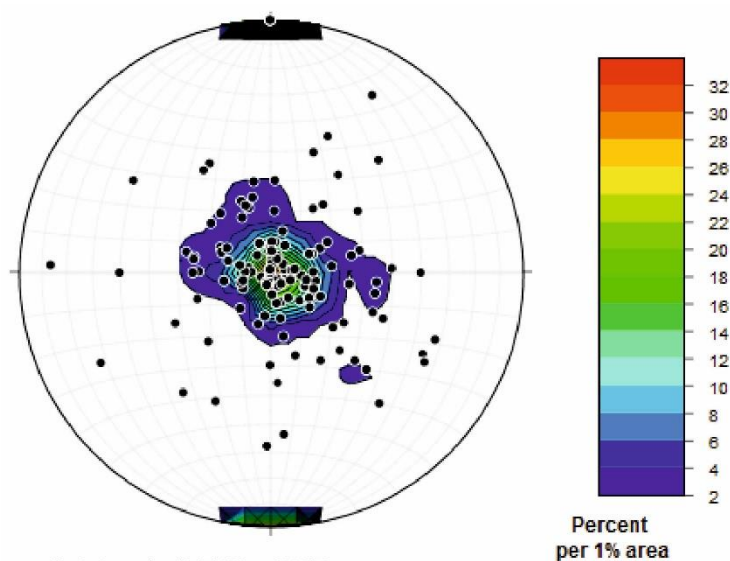


Slika 5.4 Blago borana struktura u šejlovima koja se ustrmljuje prema zapadu. Lokacija se nalazi u neposrednoj blizini istočno od Barice. Točka opažanja (Hy-22-31)



### 5.1.2. Pukotine

Provedbom terenskih istraživanja, ukupno je zabilježeno i proračunato 144 ploha pukotina (Slika 5.5). Setovi pukotina mogu se razdijeliti na dva sistematična seta koja se pojavljuju na cijelom području istraživanja. Prvi set pukotina čine strmo nagnute plohe pukotina s pružanjem I-Z. Drugi set čine pukotine pružanja S-J s približnim kutem nagiba od 70-90°. Osim dva glavna seta, postoji i još nekoliko nesistematičnih setova od kojih se izdvajaju subhorizontalne plohe s azimutom prema S i J. Pukotinski setovi vezani su uz glavne rasjedne zone. Setovi pukotina jesu kogenetske strukture koje su paralelne osnim plohama bora pa time zapravo označavaju prevladavajuće polje naprezanja u kojima su nastale razmatrane generacije bora.



Slika 5.5 Pukotinski setovi označeni polovima u Stereonetu (Allmendinger, 2019) Nijansama zelene označene su najveće gustoće pukotina, a nijansama plave rijede raspoređeni setovi.

### 5.1.3. Polja paleonaprezanja u području istraživanja

Provedbom terenskih istraživanja, ukupno je zabilježeno 56 rasjednih ploha. U proračunu paleosi naprezanja koristili smo se PBT metodom (prema Delavux, 2018) pri čemu se za proračun orijentacije najveće osi naprezanja s obzirom na litologiju koristio kut unutrašnjeg trenja ( $\varphi$ ) od 30°. S obzirom na geometriju rasjednih ploha te kinematske

indikatore, rasjedne plohe su grupirane kao ekstenzijske i kompresijske strukture odnosno strukture nastale u ekstenzijskom te kompresijskom polju naprezanja. Strukture su prikazane i *D. Dihedron metodom* (prema Delavux, 2018) koji predstavlja sintetski *beach-ball* dijagram temeljem kojim se može odrediti prevladavajuće polje naprezanja.

- *Kompresijske/transpresijske strukture*

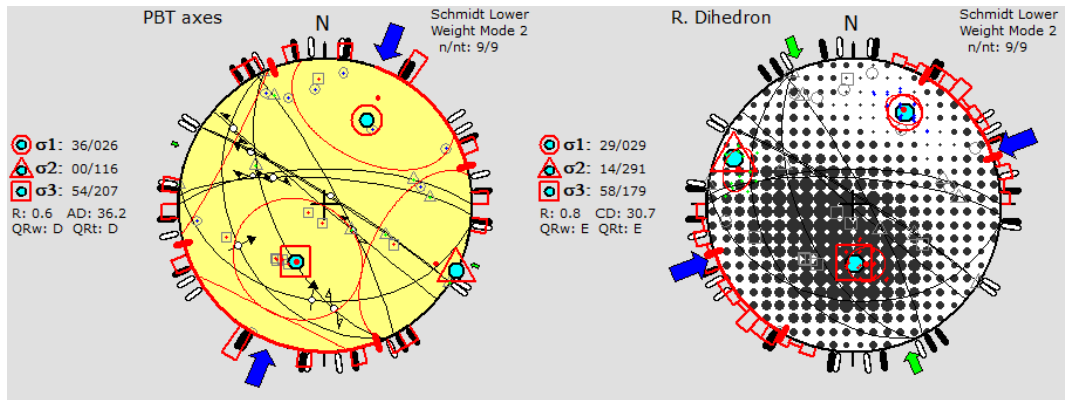
Tijekom provedbe terenskih strukturno-geoloških istraživanja, zabilježeno je ukupno 22 reversnih rasjednih ploha. Rasjedne plohe dominantno se nalaze u obliku konjugiranih parova rasjeda. Transpresijske strukture čine 4 plohe od 22 navedenih rasjednih ploha. Transpresijske strukture pridodane su kompresijskim strukturama na temelju vrijednosti kuta nagiba rasjednih ploha i lineacija strija pomoću kojih se osim vertikalnih pomaka prema gore i dolje, može razlučiti i o horizontalnim vrijednostima pomaka. Tablici 5.2. prikazuje 2 grupe reversnih rasjednih ploha.

Prva grupa označena je žutom bojom u tablici i čine ju rasjedne plohe raspona azimuta od 0-60° i 180-240° s prosječnim kutem nagiba od 70° čiji je smjer nagiba prema SI i JZ (Slika 5.6). Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na kompresijsko polje naprezanja pri čemu je najveća os naprezanja orijentacije ISI-ZJZ. PBT metodom izračunate su prosječne orijentacije osi naprezanja, a označene su kao  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$ . U tablici su prikazane vrijednosti P,B,T osi za svaku rasjednu plohu pojedinačno.

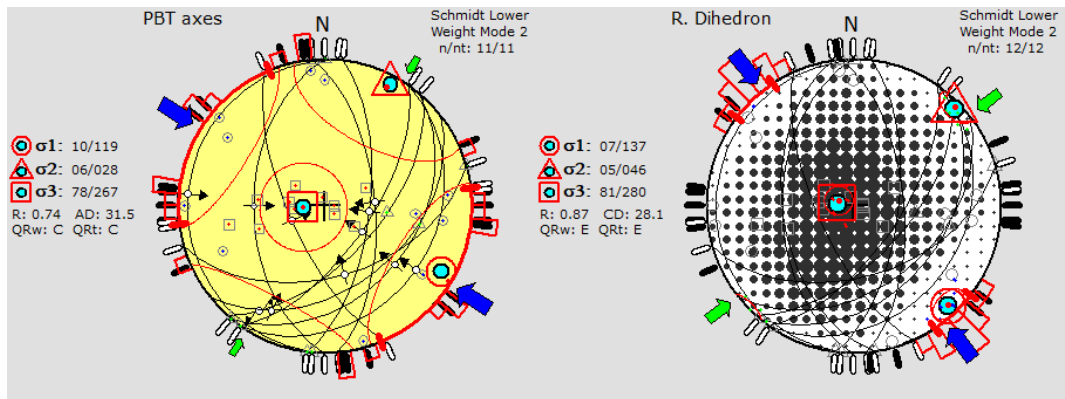
Tablica 5.2 Proračunate vrijednosti glavnih P, B, T osi za reversne rasjedne plohe. R je označena orijentacija i kut nagiba rasjedne plohe, a Ls je označena orijentacija lineacija strija pomoću kojih je određen pomak. Pomak je naznačen za svaku rasjednu plohu. U stupcu pomak “I” – reversni, “S” – lijevi, “D” – desni, “X” nije određen.

| R      | Ls     | Pomak | P os   | B os   | T os   |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 0/70   | 292/46 | ID    | 332/15 | 74/37  | 223/49 |
| 4/75   | 298/57 | ID    | 341/24 | 86/29  | 218/51 |
| 32/85  | 306/38 | ID    | 355/22 | 116/52 | 252/30 |
| 32/85  | 306/38 | ID    | 355/22 | 116/52 | 252/30 |
| 62/82  | 131/69 | IS    | 79/34  | 335/19 | 221/49 |
| 32/84  | 32/84  | IX    | 32/39  | 122/0  | 212/51 |
| 85/62  | 85/62  | IX    | 85/17  | 355/0  | 263/73 |
| 97/65  | 97/65  | IX    | 97/20  | 187/0  | 277/70 |
| 125/25 | 125/25 | IX    | 305/20 | 215/0  | 125/70 |
| 125/65 | 125/65 | IX    | 125/20 | 215/0  | 305/70 |
| 130/38 | 130/38 | IX    | 310/7  | 220/0  | 130/83 |
| 132/60 | 212/17 | IS    | 354/8  | 96/55  | 259/34 |
| 142/43 | 207/21 | IS    | 0/15   | 101/35 | 251/51 |
| 164/50 | 164/50 | IX    | 164/5  | 74/0   | 344/85 |
| 188/35 | 188/35 | IX    | 8/10   | 278/0  | 188/80 |
| 220/89 | 310/20 | IS    | 263/13 | 133/70 | 357/15 |
| 245/35 | 245/35 | IX    | 65/10  | 335/0  | 245/80 |
| 246/60 | 175/30 | ID    | 210/0  | 300/45 | 120/45 |
| 270/50 | 270/50 | IX    | 270/5  | 360/0  | 90/85  |
| 275/70 | 275/70 | IX    | 95/38  | 185/0  | 275/52 |
| 246/70 | 246/70 | IX    | 246/25 | 336/0  | 66/65  |
| 262/50 | 262/50 | IX    | 262/5  | 172/0  | 82/85  |

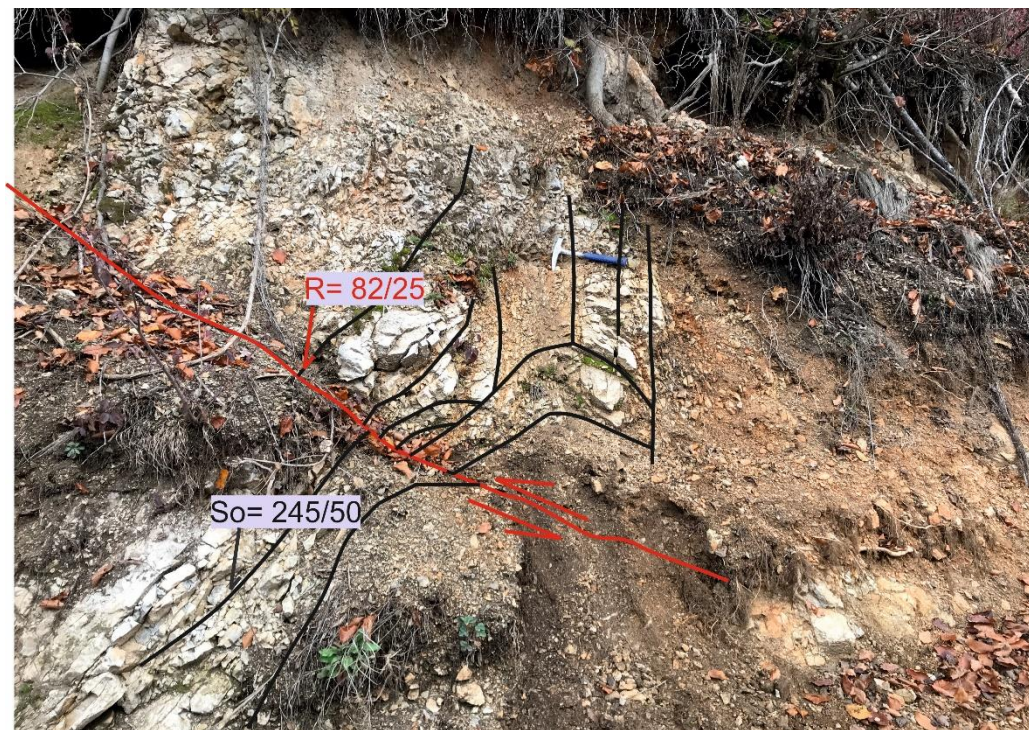
Druga grupa označena je plavom bojom u tablici i čine ju plohe vrijednosti pružanja SSI-JJZ s prosječnim kutem nagiba od 49° čiji je smjer nagiba prema JI i SZ (Slika 5.7). Rasjedne plohe posljedica su kompresijskog polja naprezanja s najvećom osi orijentacije SZ-JI. PBT metodom izračunate su prosječne orijentacije glavnih osi naprezanja, a označene su kao  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$ . U tablici su prikazane vrijednosti P,B,T osi za svaku rasjednu plohu pojedinačno.



Slika 5.6 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprezanja za žutu grupu reversnih rasjeda. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje da je glavni režim kompresijski. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonaprezanja. Rasjedne plohe pružaju se u smjeru SZZ-JII s nagibom prema SI i JZ, a iz Beach-ball dijagrama je vidljivo da je takav smjer nagiba posljedica kompresijskog polja naprezanja osi orijentacije ISI-ZJZ. Beach-ball dijagram proračunat je R. Dihedron (prema Delavux, 2018) metodom.



Slika 5.7 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi naprezanja za žutu grupu reversnih rasjeda. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje da je glavni režim kompresijski. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonaprezanja. Rasjedne plohe pružaju se u smjeru SSI-JJZ s nagibom prema ZSZ I JJI, a iz Beach-ball dijagrama je vidljivo da je takav smjer nagiba posljedica kompresijskog polja naprezanja osi orijentacije ISI-ZJZ. Beach-ball dijagram proračunat je R. Dihedron (prema Delavux, 2018) metodom.



Slika 5.8 Reversni rasjed unutar slojeva dolomita s označenom pozicijom izmjerene rasjedne plohe R i slojevitosti S0. Kao posljedica rasjedanja dolazi do povijanja slojeva odnosno formiranje vlačnih bora. Lokacija točke opažanja (Hy-21-203) se nalazi u istočnom krilu sinklinale Kik-Petrov vrh (DA-4). Ovakav rasjed odgovarao bi plavoj grupi u tranpresijskim/kompresijskim strukturama (Tablica 5.2).

### Ekstenzijske/transtenzijske strukture

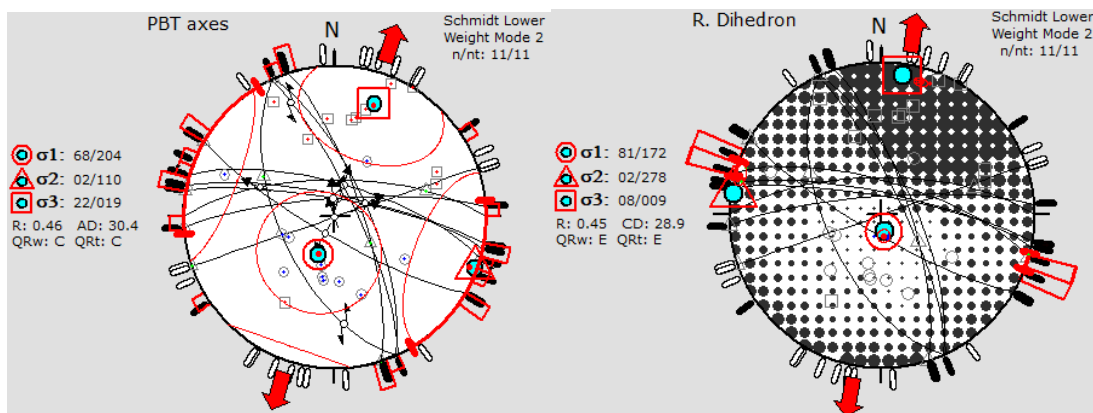
Tijekom provedbe terenskih strukturno-geoloških istraživanja, zabilježena su i 22 normalna rasjeda od kojih je 19 bilo valjano za proračune glavnih P,B,T osi paleonaprežanja. Vrijednosti P,B,T osi prikazane su u Tablici 5.3 zajedno uz orijentacije rasjednih ploha (R) i orijentaciju lineacije strija (kinematski indikatori). Ekstenzijski režim prevladava u istočnom dijelu područja istraživanja. Tablicu 5.3 čine dvije grupe podataka.

Prva grupa označena je narančastom bojom u tablici. Dominantan pravac pružanja rasjednih ploha je SZZ-JII s prosječnim kutem nagiba od  $65^\circ$  i smjerom nagiba prema SI i S. (Slika 5.9). Sintetski žarišni mehanizam ukazuje da u glavnom polju naprežanja djeluje ekstenzijski režim. Orijehtacija glavne osi naprežanja pružanja je JJZ-SSI, te je utjecala je na nastanak normalnih rasjeda spmenute orijentacije.

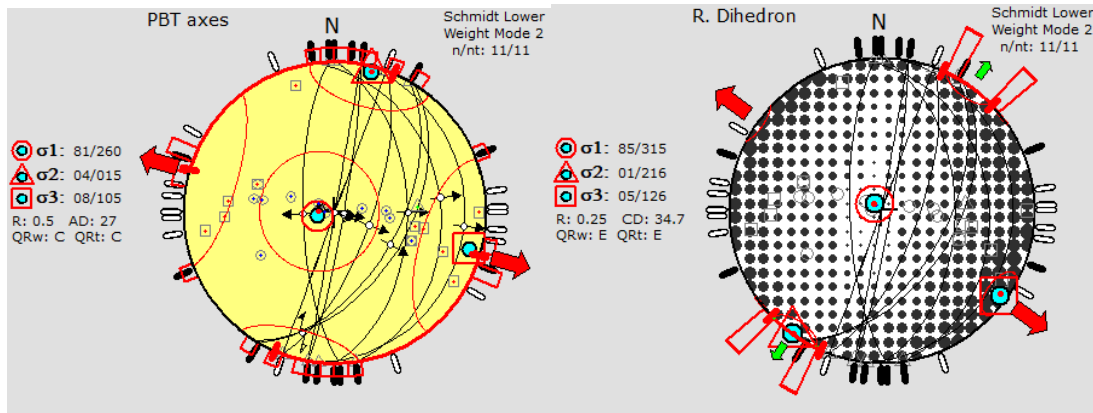
Druga grupa rasjeda označena je zelenom bojom u tablici. Dominantan pravac pružanja rasjednih ploha je u smjeru ISI-JJZ s prosječnim kutem nagiba od  $63^\circ$  i smjerom nagiba prema II i Z, te lokalno prema I (Slika 5.10). Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na ekstenzijski režim naprežanja, pri čemu je orijentacija najveće osi naprežanja SZ – JI.

Tablica 5.3 Proračunate vrijednosti glavnih P, B, T osi za reversne rasjedne plohe. R je označena orijentacija i kut nagiba rasjedne plohe, a Ls je označena orijentacija lineacija strija pomoću kojih je određen pomak. Pomak je naznačen za svaku rasjednu plohu. U stupcu pomak “N” – normalni, “S” – lijevi, “D” – desni, “X” nije određen.

| R      | Ls     | Pomak | P os   | B os   | T os   |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 0/70   | 292/46 | NS    | 223/49 | 74/37  | 332/15 |
| 10/80  | 10/80  | NX    | 190/55 | 280/00 | 10/35  |
| 12/78  | 12/78  | NX    | 192/57 | 282/00 | 12/33  |
| 16/72  | 16/72  | NX    | 196/63 | 106/00 | 16/27  |
| 65/78  | 339/20 | NS    | 291/23 | 126/66 | 23/5   |
| 66/72  | 66/72  | XX    |        |        |        |
| 72/75  | 72/75  | XX    |        |        |        |
| 82/30  | 82/30  | NX    | 82/75  | 172/00 | 262/15 |
| 96/15  | 96/15  | NX    | 96/60  | 186/00 | 276/30 |
| 100/90 | 100/90 | NX    | 280/45 | 190/0  | 100/45 |
| 100/85 | 100/85 | NX    | 280/50 | 190/0  | 100/40 |
| 090/50 | 090/50 | NX    | 270/85 | 360/00 | 90/5   |
| 110/70 | 110/70 | NX    | 290/65 | 200/00 | 110/25 |
| 110/90 | 110/90 | NX    | 290/45 | 200/00 | 110/45 |
| 122/50 | 195/19 | ND    | 240/43 | 86/44  | 343/13 |
| 120/55 | 120/55 | NX    | 300/80 | 30/00  | 120/10 |
| 210/80 | 210/80 | NX    | 30/55  | 300/0  | 210/35 |
| 246/60 | 175/30 | XX    |        |        |        |
| 268/73 | 268/73 | NX    | 88/62  | 358/00 | 268/28 |
| 290/90 | 290/90 | NX    | 110/45 | 20/0   | 290/45 |
| 341/90 | 341/90 | NX    | 161/45 | 251/0  | 341/45 |
| 356/80 | 356/80 | NX    | 176/55 | 266/0  | 356/35 |



Slika 5.9 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi napreznja. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na ekstenziju. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonapreznja. Rasjedne plohe pružaju se u smjeru SZZ-JII s nagibom prema SSI, a iz Beach-ball dijagrama je vidljivo da je takav smjer nagiba posljedica ekstenzijskog polja napreznja čija je najveća os napreznja orijentacije JJZ-SSI.



Slika 5.10 Prikaz proračunatih vektora glavnih osi napreznja. Sintetski žarišni mehanizam ukazuje na ekstenziju. PBT metodom (prema Delavux, 2018) određene su vrijednosti triju glavnih osi paleonapreznja. Rasjedne plohe pružaju se SSI-JJZ sa smjerom nagiba prema SZZ i JII. Iz *Beach-ball dijagram* je vidljivo da je takav smjer *nagiba* posljedica ekstenzijskog polja napreznja osi orijentacije JI-SZ.

Osim pojava strija, ponekad su se na izdancima promatrale i vlačne/tenzijske pukotine na temelju kojih je bilo moguće odrediti karakter pomaka. Na slici 5.11 označen je normalni rasjed čiji je pomak određen prema poziciji vlačnih pukotina.



Slika 5.11 Normalni rasjed orijentacije  $R= 2/37$  koji je izmjeren u trijaskim dolomitima. Relativan pomak je definiran temeljem orijentacije vlačnih/tenzijskih pukotina (označeno žutim poligonom) koje nastaju progresivnom rotacijom u zoni smicanja. Točka opažanja se nalazi između Daruvara i Petrovog vrha. Lokacija točke opažanja (Hy-144) se nalazi između Daruvara i Petrovog vrha.

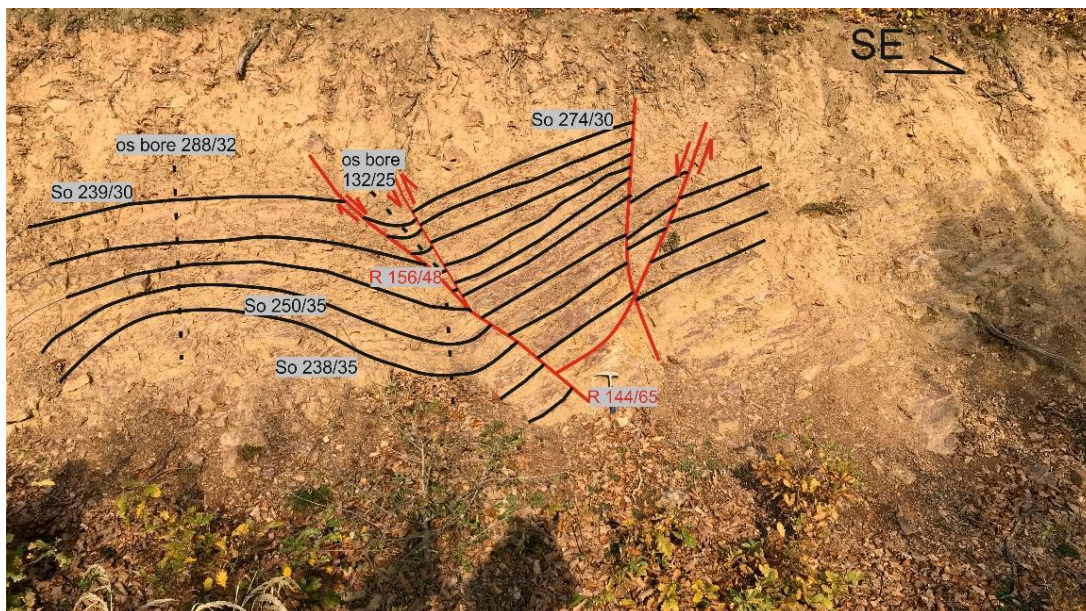
Nadalje, pri provedbi terenskih istraživanja uz rasjede s *fault-bend-fold* geometrijom zapažene su i kogenetske borano-navlačne strukture: Primjerice, na lokaciji X- 6447301.69; Y- 5040564.77, u trijaskim dolomitima (Slika 5.12), *ramp-flat-ramp* strukturu čine dvije zaravni subhorizontalno položene prema jugoistoku i jugozapadu te rampa pod nagibom od 45 stupnjeva u odnosu na uočene zaravni. Smjer tektonskog transporta je prema istoku.



Slika 5.12 Orijentacija slojevitosti u strukturi ramp-flat-ramp, odnosno 2 subhorizontalne rasjedne plohe koje su povezane rampom pod većim nagibom, odnosno 45° u ovom slučaju. Tektonski transport je u smjeru istoka. Točka opažanja je približno u blizini Barice, točka opažanja (Hy-21-12).

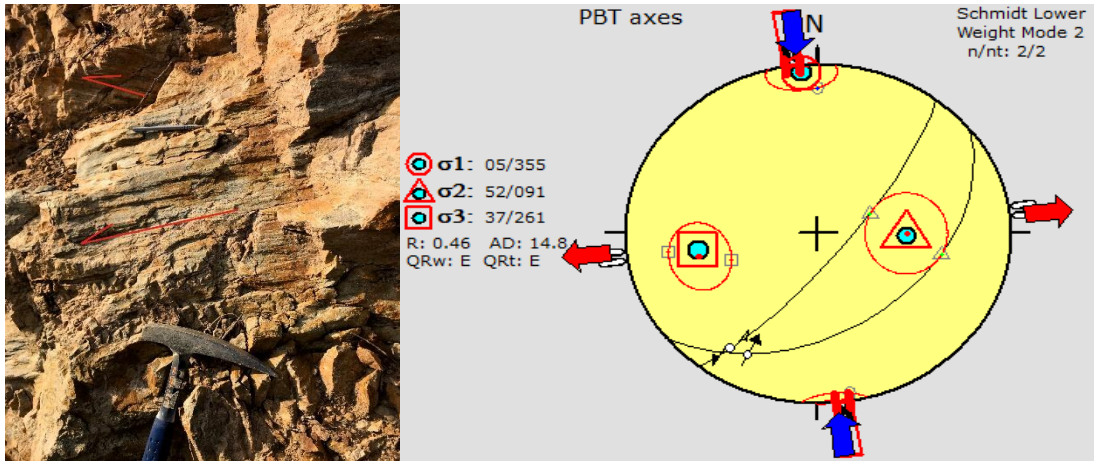
Uz nekoliko rasjednih ploha, na terenu su vidljive i česte pojave vlačnih bora. Većina determiniranih rasjeda na istraživanom području je reversnog karaktera pri čemu ukazuju na tektonski pomak prema Z-SZ, te na orijentaciju glavne osi naprezanja S-J (Slika 5.11). U permskim pješčenjacima često se uočavaju i konjugirani parovi reversnih rasjeda koji dovode do fleksurnog smicanja odnosno stvaranja vlačnih bora (Slika 5.13).



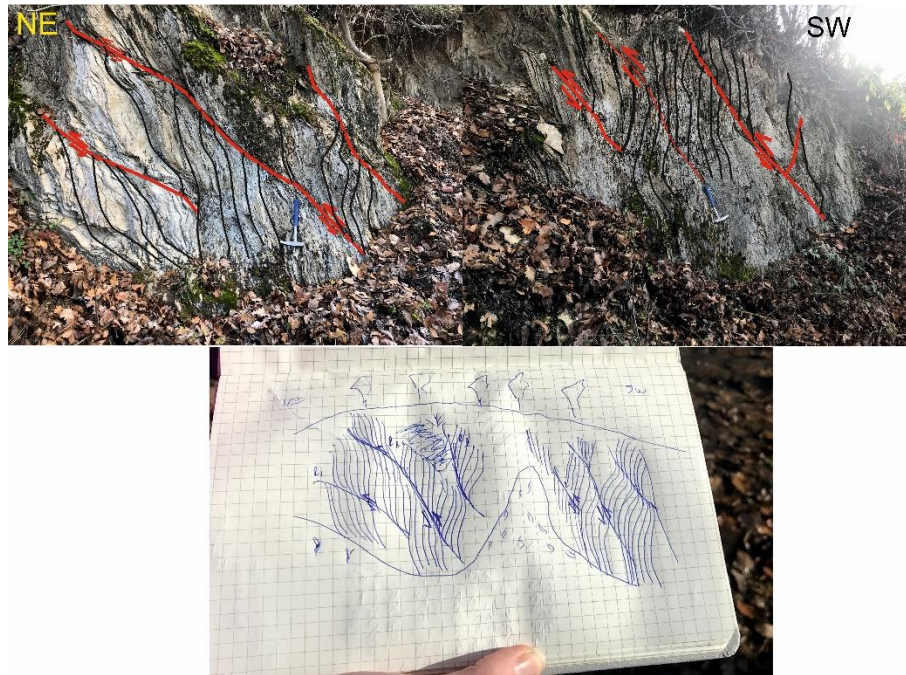


Slika 5.13 Konjugirani parovi rasjeda unutar permskih pješčenjaka s označenim osima bora i izmjerenim položajima rasjedne plohe R i slojevitosti So. Lokacija točke opažanja (Hy-21-115) se nalazi SI od Petrovog vrha. Pješčenjaci transgresivno nalježu na granitoide i pegmatite vidljive na slici 3.10.

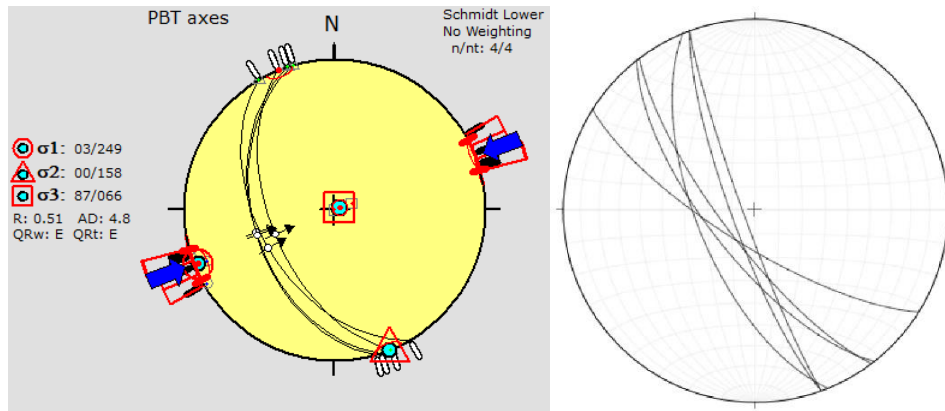
Rasjedne plohe ponegdje na svojoj glatkoj plohi imaju vidljive strije. Na slici 5.14 je primjer strija na dvije izmjerene rasjedne plohe sličnih orijentacija i drugačijih kuteva nagiba. Strelice ukazuju na dvije smične plohe na kojima je vidljiv reversni i lijevi pomak. Osim dosadašnjih primjera na jednoj lokaciji izmjerena je i folijacija S1 u vlačnim asimetričnim boranim jurskim vapnencima koji naizgled izgledaju ispresijecani s nekoliko reversnih rasjeda (Slika 5.15) Takva strukturna građa ukazuje na tzv. *duplex* strukturu. Duplex strukturu u geološkom smislu čine sustavi preklopljenih reversnih rasjeda koji se odvajaju od jedinstvenog rasjeda u podini i spajaju s jedinstvenim rasjedom u krovini oblikujući formu stijenskih blokova koji su omeđeni rasjedima sa svih strana. Na terenu su izmjerene folijacija i rasjedne plohe idući od SI prema JZ i njihove vrijednosti su prikazane tragovima ravnina u Stereonetu i Win-Tensoru (Slika 5.16). Smjer tektonskog transporta stijenskih blokova je u smjeru S-SI.



Slika 5.14 Slika lijevo - Strije na rasjednim ploham reversnih lijevih rasjeda s označenim pomakom. Slika desno – Stereogram na kojoj su prikazane rasjedne plohe s reversnim i lijevim pomakom. pružanja SI-JZ s orijentacijom glavne osi kompresije S-J. Lokacija točke opažanja (Hy-21-111) se nalazi SI od Daruvara.



Slika 5.15 Jurski vapnenci koji su intenzivno tektonizirani te su nizom reversnih rasjeda ugrađeni u *duplex* strukturu. Lokacija u neposrednoj blizini Crnog Vrha.

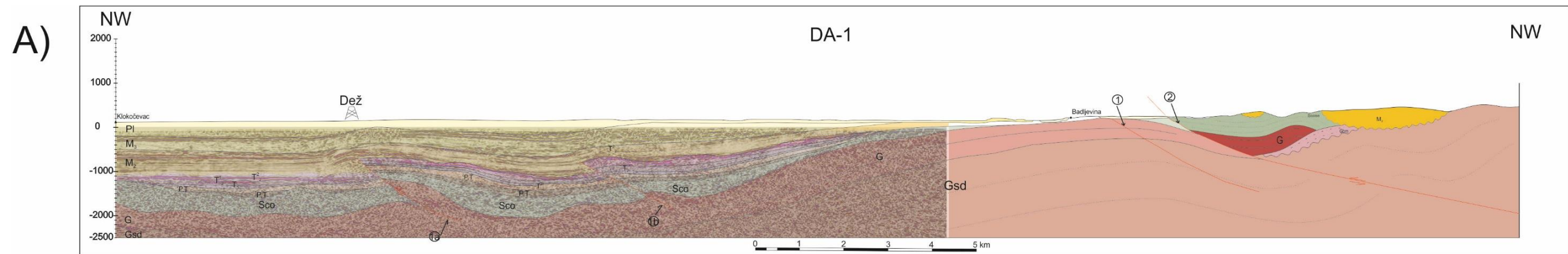


Slika 5.16 Odnos folijacije S1 prikazane u *Stereonetu* (slika desno) s rasjednim plohama R izmjerenim u mogućoj duplex strukturi u jurskim vapnencima prikazane pomoću *WinTensor-a* (slika lijevo). Transport materijala odvija se prema S-SI. Folijacija i rasjedne plohe približnog su pružanja SZ-JI s orijentacijom glavne osi kompresije ZJZ-ISI.

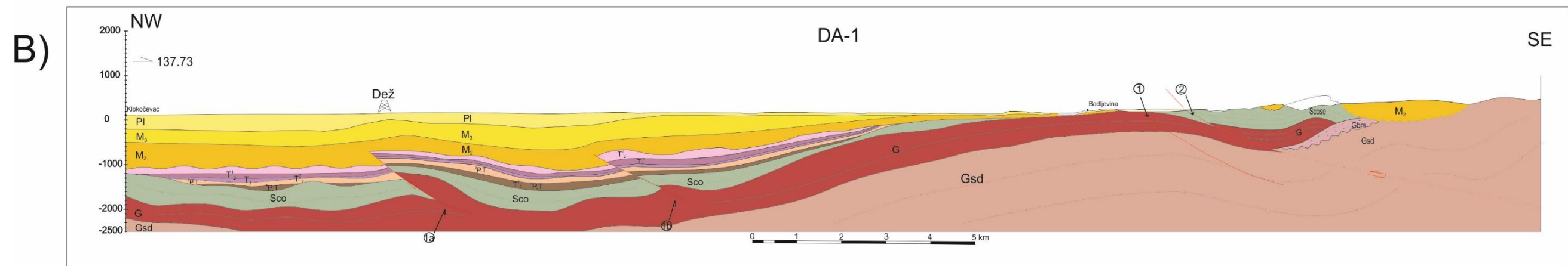
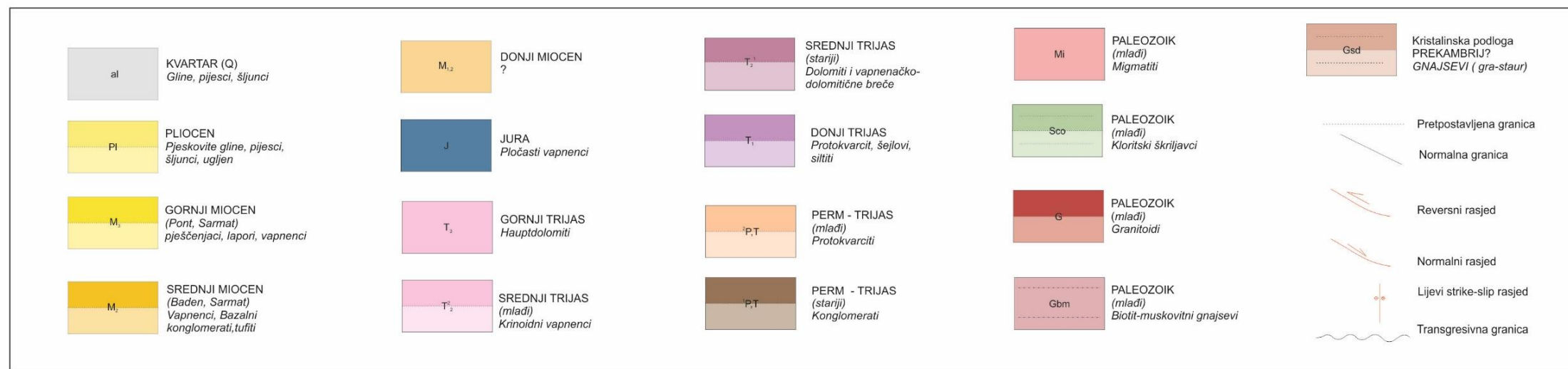
### 5.2.1. Geološki profil DA-1

Geološki profil DA-1 najjužnije je položen od svih konstruiranih profila, s pružanjem azimuta  $137.7^\circ$ . Duž profila nalaze se Ilovski Klokočevac na zapadu te Gornja Šumetica na istoku. Rezultati konstruiranog profila prikazani su na Slici 5.18. Slika 5.18. se sastoji od dva profila, pri čemu profil A predstavlja kombinirani prikaz interpretiranog seizmičkog refleksijskog profila DA-3V-92 (na zapadnom dijelu) u području Lonjsko-ilovske zavale te konstruiranog geološkog profila koji je interpretiran pomoću OGK lista *Daruvar* (Jamičić, 1989) u istočnom dijelu. Geološki profil B predstavlja predloženu interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koje smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Na konstruiranom profilu (Slika 5.18.) vidljivo je da u zapadnom dijelu profila prevladava depresija, odnosno Lonjsko – ilovska zavala koja je dominantno ispunjena neogenskim i kvartarnim naslagama. Idući od istoka prema zapadu, taložni prostor produbljuje tako da u zapadnom dijelu profila debljina neogensko-kvartarnih naslaga doseže debljine od 1-1,2 km. U tom dijelu depresije nalazimo i dvije istražne bušotine; Uljanik i Dežanovac. Na seizmičkom profilu uočava se Dežanovačka antiklinala (ispod označene bušotine Dež) čije je pružanje generalno I-Z. Dežanovačka antiklinala je nastala u krovini Dežanovačkog slijepog rasjeda (1a) te ju karakterizira blaže nagnuto krilo koje tone prema jugoistoku, te strmo i kratko krilo koje tone prema sjeverozapadu. Dežanovačka antiklinala predstavlja tipičan primjer engl. „*Fault propagation fold*“ tip strukture (Slika 5.17) koje redovito nalazimo u krovinama slijepih (engl. „*blind*“) rasjeda, kao rezultat kompresijske tektonike. S obzirom na tektonski transport generalno prema sjeveru – sjeverozapadu strukture su duž profila dominantno asimetrične, pri čemu su neogenske naslage često većih debljina i subhorizontalno položene udaljavajući se od rasjednih ploha. Primjer navedene geometrije i različitih debljina neogenskih naslaga možemo jasno uočiti između Dežanovačkog i Daruvarskog rasjeda (1b). Nadalje, različite debljine seizmičkih facijesa kao i nagib seizmičkih refleksa između interpretiranih korelacijskih horizonata ukazuju na polifaznu evoluciju interpretiranih rasjeda, pri čemu su primjerice Dežanovački i Daruvarski rasjed nedvojbeno naslijeđene strukture koje su inicijalno tijekom miocena bili normalni rasjedi, a koji su kasnije, krajem pliocena i kvartara strukturno reaktivirani i invertirani u reverse rasjede (Slika 5.18). Cijelo područje duž profila karakterizira brežuljkasti reljef koji je

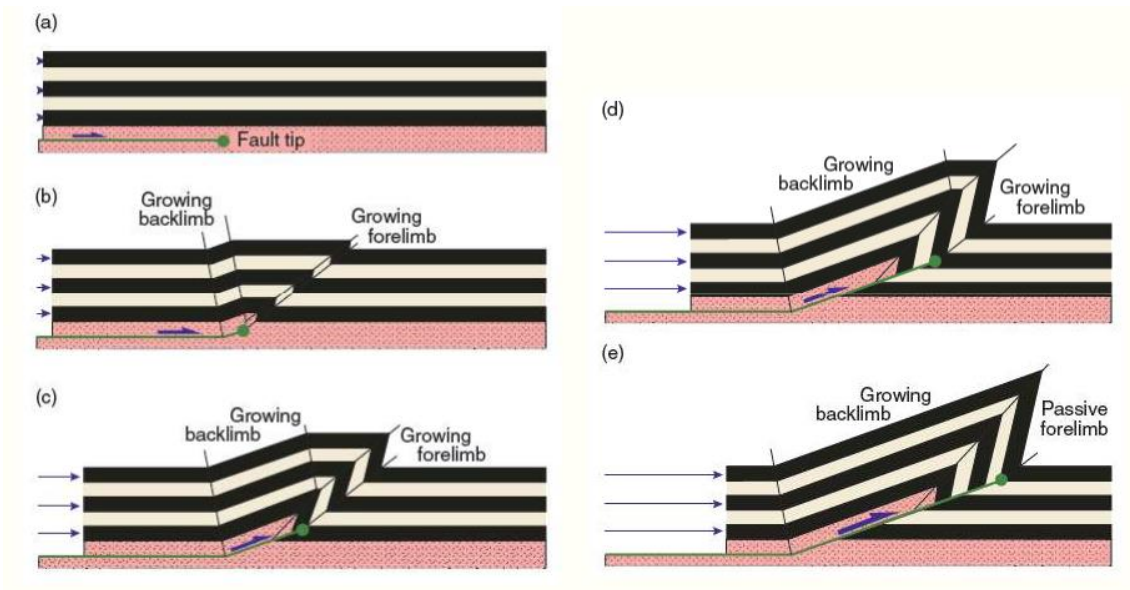
korelativan s borano-rasjednim strukturama u podzemlju. Od zapada prema istoku, povećava se debljina Sco naslaga i kristalinske podloge zbog čega neogenske naslage isklinjavaju. Gora Psunj započinje Pakračkim reversnim rasjedom (1) (vjerojatno poligenetske evolucije kao i Dežanovački i Daruvarski rasjed) s kogenetskom Pakračkom sinklinalom u čijoj jezgri nalazimo kvartarne i pliokvartarne naslage, a starije paleozojske naslage (Sco) i kristalinska podloga (Gsd) u krilima bore. Psunj je najstarija tektonska jedinica prema Jamičić (1989).



LEGENDA



Slika 5.17 Konstruirani strukturalno – geološki profil DA-1 u području istraživanja. A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-1 koji se sastoji od interpretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju geoloških i geofizičkih podataka. Rasjedi- 1a- Dežanovački rasjed, 1b Daruvarski rasjed 1 Pakrački rasjed i 2 Podvrško-Velika rasjed.



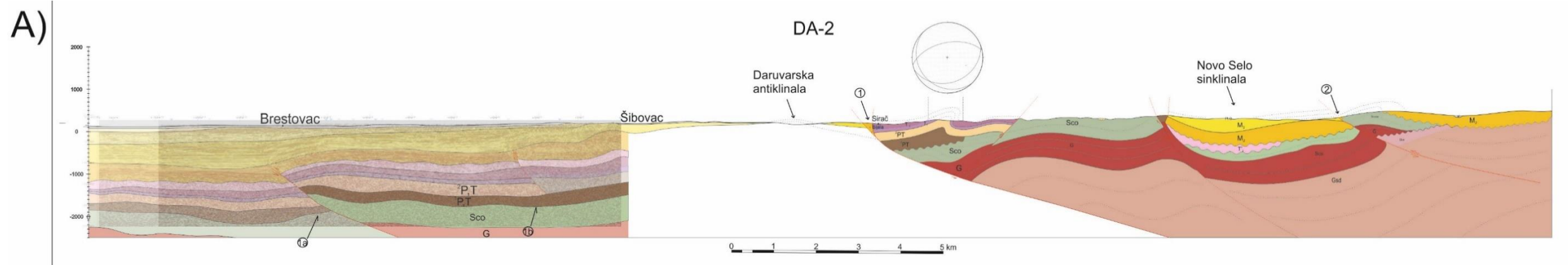
Slika 5.18 *Fault-propagation fold* tip strukture (Fossen, 2010). Vidljivo na zapadnom dijelu profila (Slika 5.18) i uzrokovano *slijepim* rasjedom.

### 5.2.2. Geološki profil DA-2

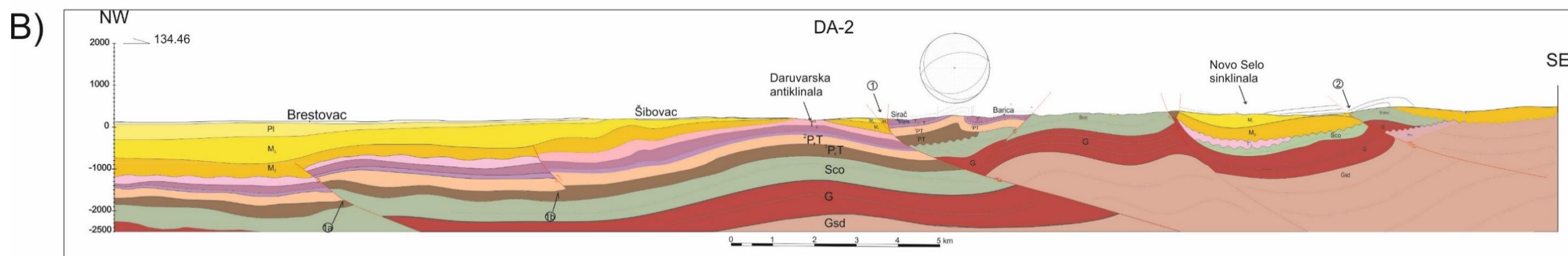
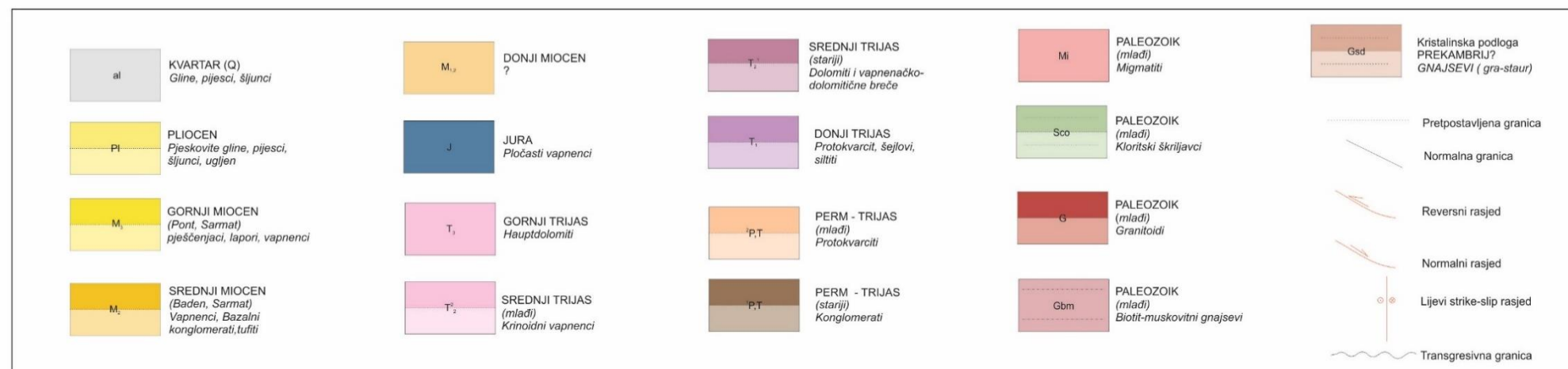
Geološki profil DA-2 nalazi se otprilike 4.5 km sjevernije od profila DA-1 te je približno istovjetnog pružanja. Veća naselja duž profila su Daruvarski Brestovac i Šibovac na zapadu, Sirač koji se nalazi nedaleko središnjeg dijela profila DA-2 kroz koji protječe rijeka Bijela. Rezultati konstruiranog profila prikazani su na Slici 5.19. Slika 5.19. se sastoji od dva profila, pri čemu profil A predstavlja kombinirani prikaz interpretiranih seizmičkih refleksijskih profila DA-2V-92 i GAR-5V-92 (na zapadnom dijelu) u području Lonjsko-ilovske zavale te konstruiranog geološkog profila koji je interpretiran pomoću OGK lista Daruvar (Jamičić, 1989) u istočnom dijelu. Geološki profil B predstavlja predloženu interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka prikupljenih kabinetskim i terenskim radom. Na konstruiranom profilu (Slika 5.19 B) vidljivo je da u zapadnom dijelu profila prevladava depresija, odnosno Lonjsko – ilovska zavala koja je dominantno ispunjena neogenskim i kvartarnim naslagama. Idući od istoka prema zapadu, taložni prostor produbljuje tako da u zapadnom dijelu profila debljina neogensko-kvartarnih naslaga doseže debljine od 1-1,2 km. Isto kao i na DA-1, pojavljuje se *fault-propagation tip* strukture i dva spomenuta reversna rasjeda; Dežanovački (1a) i Daruvarski rasjed (1b). Za razliku od DA-1 profila, debljina neogenskih naslaga je duž ovog profila nešto manja, pri čemu predneogenska podloga je izdignuta bliže površini. U smjeru jugoistoka, idući od Daruvarskog rasjeda prema Pakračkom rasjedu (1) i Siraču, nalazimo Daruvarsku antiklinalu u čijoj jezgri nalazimo srednjotrijaske karbonatne naslage ( $T_2^2$ ) koje izlaze na površinu terena. Daruvarska antiklinala je blago asimetrična, pri čemu je sjeverozapadno krilo blaže i dulje, dok je nešto strmije i kraće krilo nagnuto prema jugoistoku. Uočena asimetrija antiklinale u suprotnosti je s dominantnim tektonskim transportom prema sjeveru - sjeverozapadu koji prevladava, ukazujući na lokalnu heterogenost, potencijalnu engl. „backthrust“ tektoniku koja je vezana uz Pakrački rasjed (1) koji uz reversni pomak vjerojatno ima i desni karakter pomaka. U mjestu Šibovac, između Daruvarskog rasjeda i Dežanovačke antiklinale, interpretirana je i plitka sinklinala u čijoj jezgri prevladavaju neogenske naslage. Idući od Pakračkog rasjeda prema istoku, provedena terenska istraživanja potvrdila su antiklinalne i sinklinalne odnose u dolomitnim brečama, a rezultati su ovdje i prikazani stereogramom. Osi bora pretežito tonu prema sjeveru, sjeverozapadu. U središnjem dijelu zapadnih obronaka Papuka na površini se nalaze paleozojske naslage koje su prema istoku odijeljene



normalnim rasjedom od neogenske ispune koja čini dolinu/sinklinalu rijeke Pakre. Dalje prema istoku, dolina rijeke Pakre je reducirana Podvrško-Velika (2) reversnim rasjedom pružanja I-Z, a koji ponovno dovodi paleozojske metasedimente na površinu. Prema OGK listu *Daruvar* (Jamičić, 1989) i strukturnom članku o građi Slavonskih planina, Jamičić (1995), smatra da je reversni rasjed koji reducira sinklinalu Novo Selo sa zapadne strane kao i mnogi drugi zapravo strukturno reaktivirani *strike-slip* rasjedi desnog pomaka. Kao posljedica kompresijskog naprezanja došlo je do strukturne reaktivacije i tektonske inverzije naslijeđenih normalnih rasjeda u vidu reversnih rasjeda te postojećih reversnih rasjeda. Pri izvođenju terenskih istraživanja strukturna mjerenja u paleozojskim naslagama Svo ukazuju na česte promjene u orijentacijama smjera i kuta nagiba između naslaga, odnosno ustrmljivanja naslaga iz 25-30° do 60° što ukazuje na postojanje niza boranih struktura koje su nastale kao rezultat reversnog rasjedanja odnosno kompresijske tektonike. U istočnom dijelu profila nalazimo sinklinalu Novo Selo s neogenskom ispunom koja je transgresivno položena na paleozojske naslage. U istočnom dijelu profila, paleozojske naslage duž Podvrško-Velika (2) reversnog rasjeda izlaze na površine terena te su lokalno transgresivno prekrivene neogenskim naslagama u dolini rijeke Orpljave.



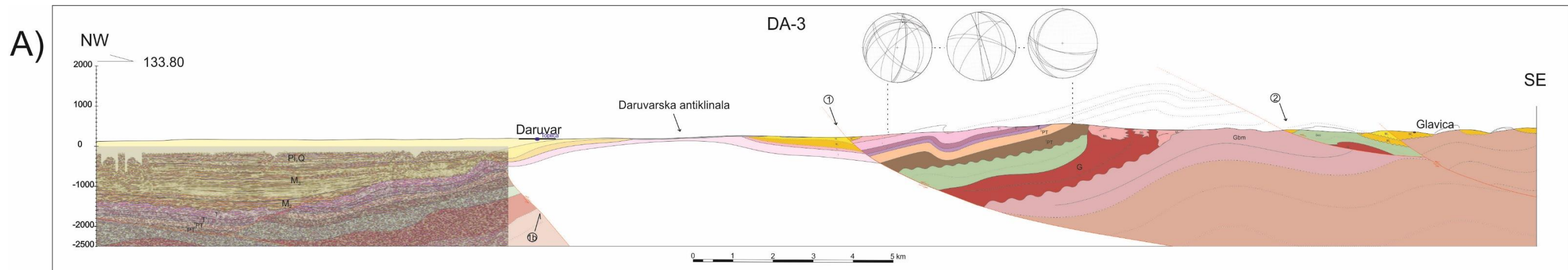
LEGENDA



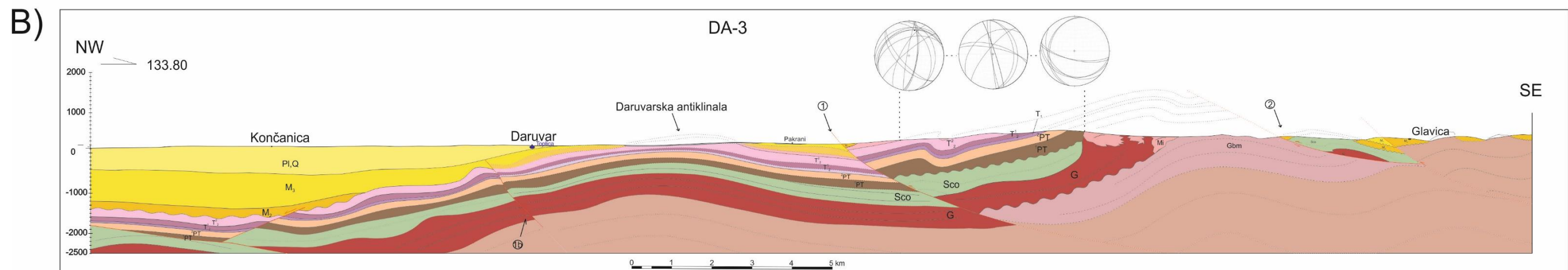
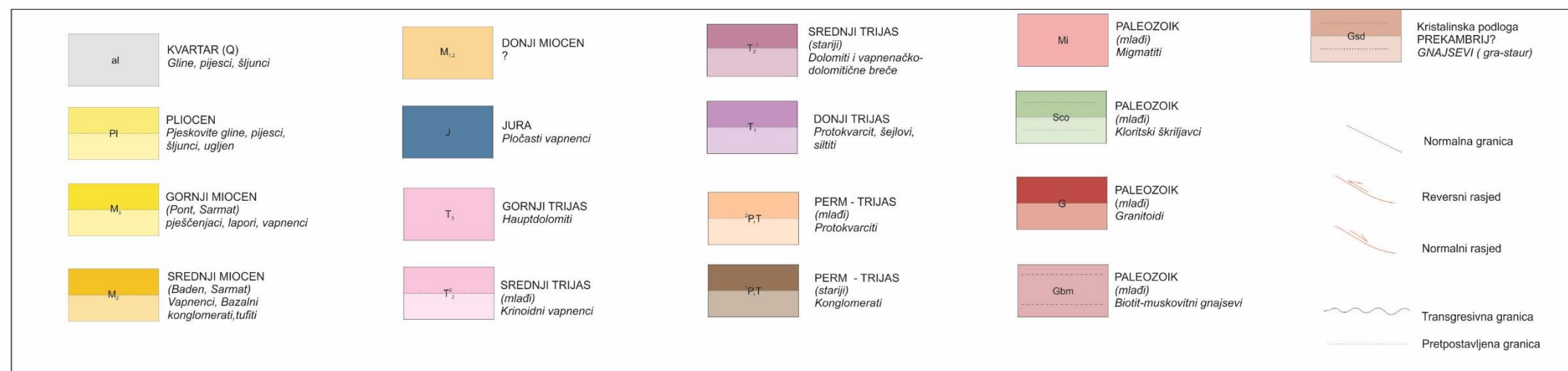
Slika 5.19 Konstruirani strukturno – geološki profil DA-2 u području istraživanja. A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-2 koji se sastoji od intepretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi- 1a- Dežanovački rasjed, 1b Daruvarski rasjed 1 Pakrački rasjed i 2 Podvrško-Velika rasjed.

### 5.2.3. Geološki profil DA-3

Geološki profil DA-3 proteže se od naselja Končanice na zapadu do Glavice na istoku po azimutu od 133,8°, a duž profila od važnijih naselja izdvajamo grad Daruvar te rijeku Toplicu. Udaljen je otprilike 3.22 km SI u odnosu na profil DA-2. Rezultati konstruiranog profila prikazani su na Slici 5.20. Slika 5.20. se sastoji od dva profila, pri čemu profil A predstavlja kombinirani prikazi interpretiranog seizmičkog refleksijskog profila DA-1V-92 (na zapadnom dijelu) u području Lonjsko-Ilovske zavale te konstruiranog geološkog profila koji je interpretiran pomoću OGK lista Daruvar (Jamičić, 1989) u istočnom dijelu. Geološki profil B predstavlja predloženu interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Na konstruiranom profilu (Slika 5.20. B) vidljivo je da u zapadnom dijelu profila prevladava depresija, odnosno Lonjsko – Ilovska zavala koja je dominantno ispunjena neogenskim i kvartarnim naslagama. Idući od istoka prema zapadu, taložni prostor produbljuje tako da u zapadnom dijelu profila debljina neogensko-kvartarnih naslagama doseže debljine od 1-1,2 km. Idući prema istoku, predneogenska podloga postupno oplićava formirajući Daruvarsku antiklinalnu strukturu koja je sa jugoistočne strane reducirana Pakračkim rasjedom (1). Jezgra Daruvarske antiklinale je prekrivena vrlo tankim kvartarnim naslagama. U sklopu projektnih aktivnosti, tijekom 2021. godine kroz grad Daruvar provedena su geofizička istraživanja metodom geoelektrične tomografije te će se njima dobiti detaljniji uvid u strukturne odnose na užem području grada, odnosno strukturne preduvjete koji su utjecali na formiranje niza termalnih izvora u gradu Daruvaru. Terenskim strukturnim istraživanja potvrđeni su borani sustavi u naslagama gornjeg i srednjeg trijasa, a koji u središnjem dijelu profila mijenjaju svoja pružanja iz JZ-SI u I-Z, odnosno SZ-JI. Trijaski karbonati idući postupno prema JI prelaze u permske pješčenjake koji potom transgresivno naliježu na granitoide. Slično kako i na prethodnom profilu, uočena je antiklinalna struktura koja je vezana uz potencijalnu engl. *backthrust* tektoniku. Najistočniji reversni rasjed je prema Jamičić (1989) rasjed Podvrško – Velika (2) te on dovodi kristalinsku podlogu i paleozojske stijene (granitoide) na površinu terena. Paleozojske stijene lokalno su prekrivne neogenskim naslagama.



**LEGENDA**



Slika 5.20 Konstruirani strukturno – geološki profil DA-3 u području istraživanja. A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-3 koji se sastoji od intepretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi- 1b Daruvarski rasjed 1 Pakrački rasjed i 2 Podvrško-Velika rasjed.

#### 5.2.4. Geološki profil DA-4

Geološki profil DA-4 proteže se nedaleko od Grubišnog Polja na zapadu i prolazi kroz manja naselja, a to su Dobra Kuća, Gornji Borki te Batinjani. Udaljen je otprilike 5 km SI u odnosu na profil DA-3. Profil DA-4 obuhvaća i Petrov vrh nadmorske visine od 615 m. Kamenolom Toplica u Batinjskoj Rijeci i Kamenolom Skočaj bili su pregled razmatranja tijekom terenskih istraživanja na profilu DA-4 (Slika 5.21; 5.22). Rezultati konstruiranog profila prikazani su na Slici 5.24. Slika 5.24. se sastoji od dva profila, pri čemu profil A predstavlja kombinirani prikazi interpretiranog seizmičkog refleksijskog profila DA-3V-92 (na zapadnom dijelu) u području Lonjsko-ilovske zavale te konstruiranog geološkog profila koji je interpretiran pomoću OGK lista Daruvar (Jamičić, 1989) u istočnom dijelu. Geološki profil B predstavlja predloženu interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji su prikupljeni kabinetskim i terenskim radom. Na konstruiranom profilu (Slika 5.24 B) vidljivo je da u zapadnom dijelu profila prevladava depresija, odnosno Lonjsko – ilovska zavala koja je dominantno ispunjena neogenskim i kvartarnim naslagama. Idući od istoka prema zapadu, taložni prostor produbljuje tako da u zapadnom dijelu profila debljina neogensko-kvartarnih naslaga doseže debljine od 1-1,2 km. Slično kao i na prethodnim profilima, idući prema jugoistoku, Lonjsko-ilovska zavala je tektonski reducirana Daruvarskim rasjedom odnosno antiklinalnom strukturom Daruvara. Daruvarska antiklinala završava Voćinskim rasjedom (4). Terenskim istraživanjem pokriven je središnji dio profila, od Dobre Kuće pa sve do Topličkog rasjeda, koji se nalazi zapadno od naselja G. Borki (Slika 5.24). Rezultati terenskih mjerenja prikazani su odgovarajućim stereogramima. Strukturno gledano, jugoistočno od Dobre Kuće, nalazimo sustave reversnih rasjeda uz koje kogenetski vezemo Kik-Petrov Vrh prebačenu sinklinalu i antiklinalu (Slika 5.24). Terenska istraživanja ukazala su na prisustvo niza “*fault propagation fold*” struktura, ali i boranih struktura koje su nastale kompleksnijom geometrijom rasjednih ploha odnosno engl. “*fault bend fold*” modelom boranja (Slika 5.23; Suppe, 1983). Terenskim istraživanjima identificiran je i niz parazitskih bora (Slika 5.3) s osima pružanja I-Z koje su spomenute u radu Jamičić (1995). Nadalje, mjerene orijentacije slojevitosti ukazuju na postojanje prebačene sinklinale Kik – Petrov Vrh (Slika 5.24) a os bore sugerira da bora tone prema SZ pod kutem od 30-40°. Jurske naslage nalazimo u jezgri sinklinale kod Dobre Kuće (Slika 5.24). te nisu uočene tijekom terenskih istraživanja na zapadnom dijelu, odnosno kod

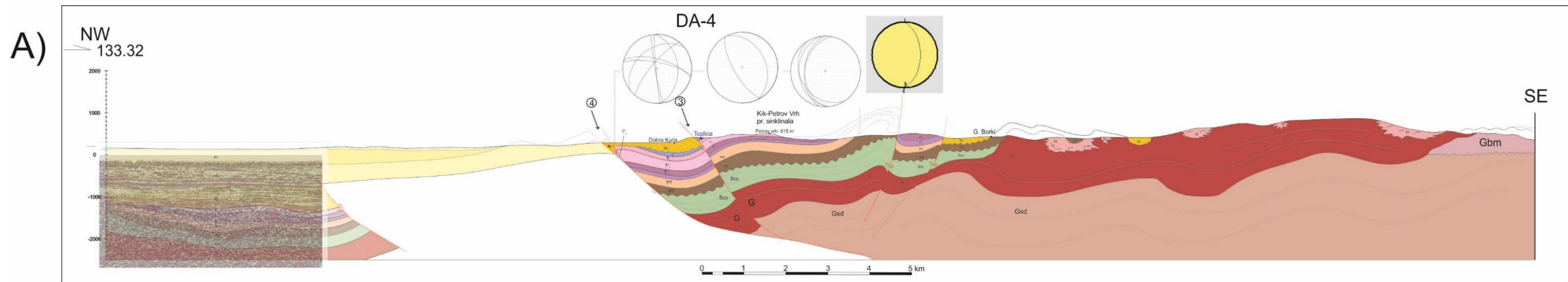
kamenoloma Toplica i Skočaj. U kamenolomima su zastupljeni srednjetrijski dolomiti koji su nerijetko bili izuzetno tektonizirani te prožeti gustim setovima pukotina.



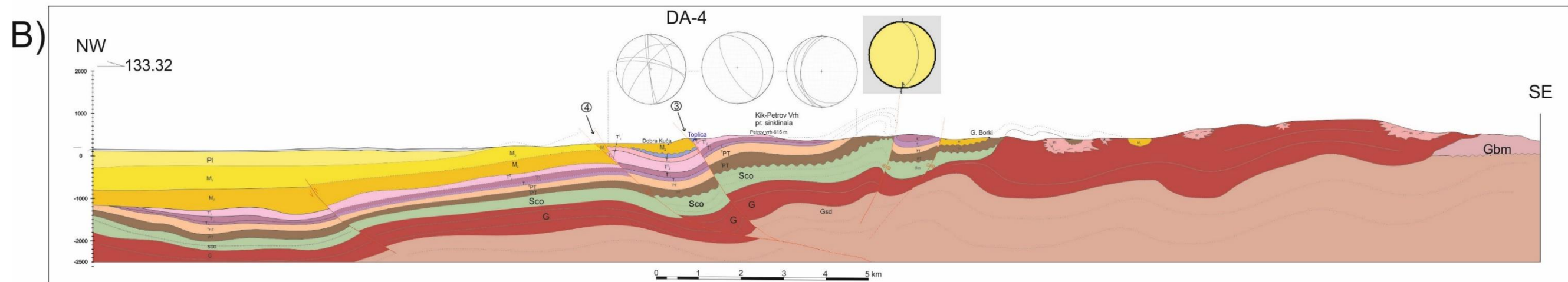
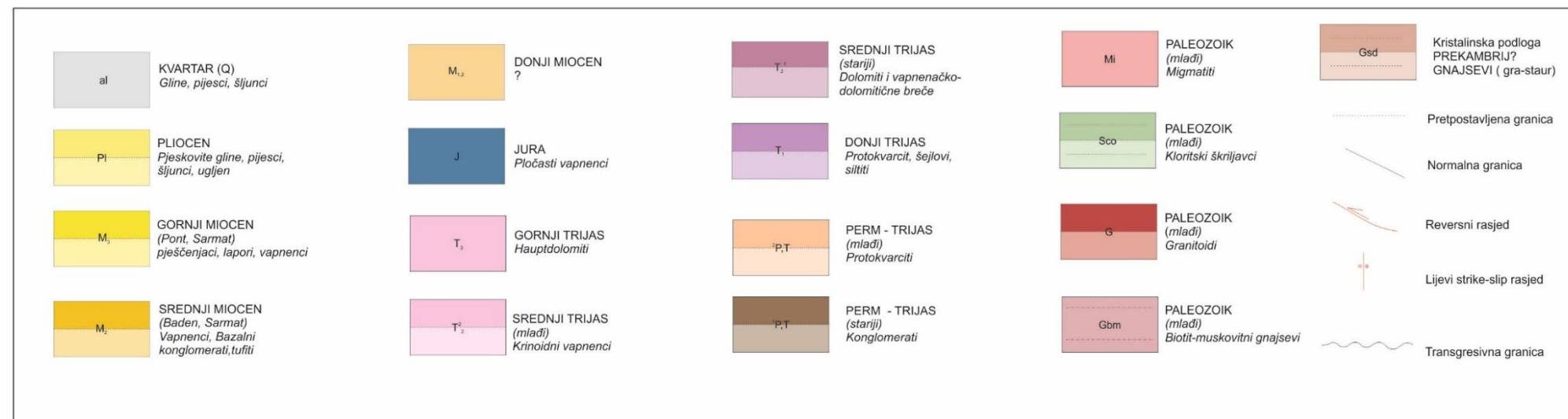
Slika 5.21 Kamenolom Toplica u Batinjskoj Rijeci u okolici Daruvara.



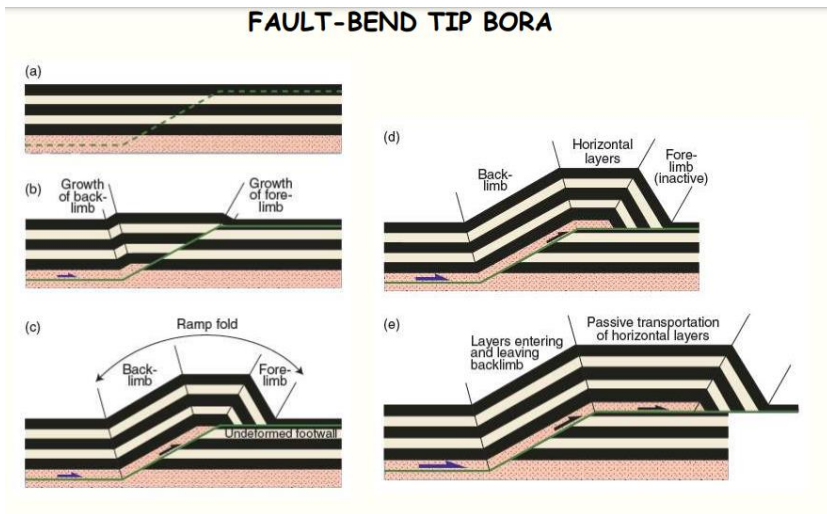
Slika 5.22. Kamenolom "Hrvatske šume" istočno i nedaleko od Kamenoloma Toplica u Batinjskoj Rijeci. Slika prikazuje južni dio 3. etaže gdje je vidljiva iza bagera ploha normalnog rasjeda dekametarskih dimenzija, orijentacije  $R=2/85$



**LEGENDA**



Slika 5.23. Konstruirani strukturalno – geološki profil DA-4 u području istraživanja. A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-4 koji se sastoji od interpretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi - 4 Voćinski rasjed 3 Toplički rasjed.

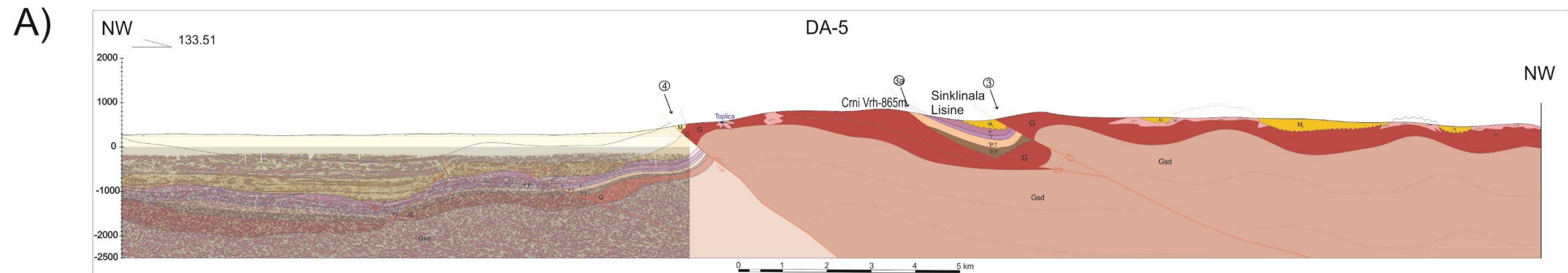


Slika 5.24 *Fault-bend fold* tip bora (Suppe, 1983), nastanak i transport (plava strelica) materijala ilustriran je na slikama od (a) do (e)

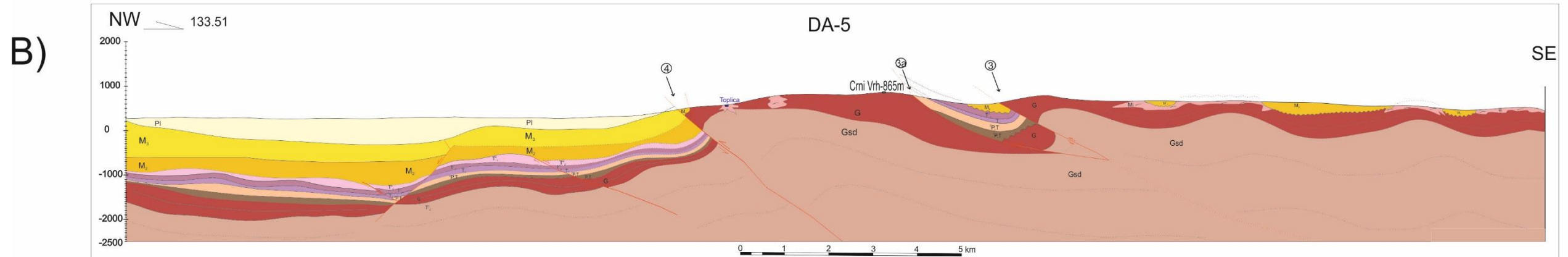
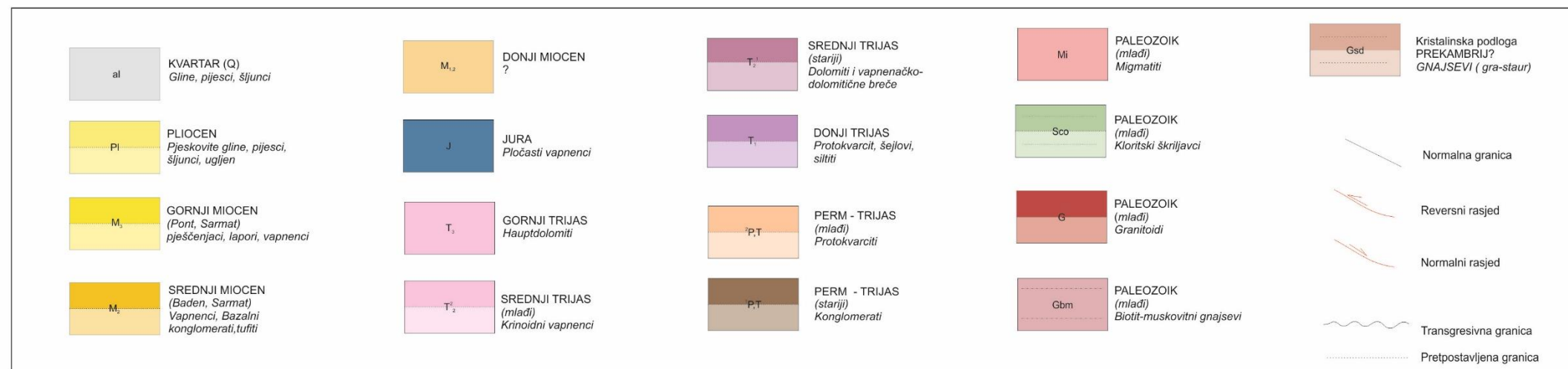


### 5.2.5. Geološki profil DA-5

Geološki profil DA-5 najsjeverniji je od 5 zadanih profila i pruža se po azimutu 133.5 stupnjeva. U odnosu na profil DA-4, udaljen je otprilike 5,5 km SI od njega. Veća mjesta koja obuhvaća profil su Radlovac na jugoistoku i Bastaji koji se nalaze u središnjem dijelu profila. Najveću nadmorsku visinu na profilu predstavlja Crni Vrh od 865 m. Rezultati konstruiranog profila prikazani su na Slici 5.25 Slika 5.25. se sastoji od dva profila, pri čemu profil A predstavlja kombinirani prikazi interpretiranog seizmičkog refleksijskog profila DA-3V-92 (na zapadnom dijelu) u području Lonjsko-ilovske zavale te konstruiranog geološkog profila koji je intepetiran pomoću OGK lista Daruvar (Jamičić, 1989) u istočnom dijelu. Geološki profil B predstavlja predloženu interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetnim i terenskim radom. Na konstruiranom profilu (Slika 5.25 B) vidljivo je da u zapadnom dijelu profila prevladava Lonjsko – ilovska zavala koja je dominantno ispunjena neogenskim i kvartarnim naslaga. Idući od istoka prema zapadu, taložni prostor produbljuje tako da u zapadnom dijelu profila debljina neogensko-kvartarnih naslaga doseže debljine od 1-1,2 km. U izradi kompozitnog geološkog profila odabrani seizmički refleksijski profili nisu se paralelno zadanom profilu DA-5 pa su time strukturni odnosi na profilima korišteni s odgovarajućim korekcijama kuteva nagiba. Nadalje, duž navedenog profila, terenska istraživanja obuhvatila su dominantno središnje dijelove profila, koji su sačinjeni od granitoida. Sa strukturnog aspekta, strukture i rasjedi koje su intepetirane na prethodnim profilima su više-manje vidljive i na DA-5 profilu. Od važnijih rasjeda izdvaja se Voćinski rasjed reversnog karaktera (Slika 5.25) koji dovodi paleozojsku granitoidnu podlogu u tektonski kontakt s neogenskom ispunom Lonjsko-ilovske zavale. Zapadno od spomenutog rasjeda, u središnjem dijelu zavale (duž profila) uočavaju se dva normalna rasjeda (djelomično i strukturno reaktivirani i invertirani?) koji ograničavaju *horst- graben* strukturu. Voćinski (4) i Toplički (3) reversni rasjed predstavljaju ešalonirane rasjede koji reversno izdižu paleozojsku podlogu u odnosu na neposrednu podinu. Između dva navedena reversna rasjeda nalazi se i Crni Vrh-Gradine (3a) normalni rasjed koji se spaja s Topličkim rasjedom (3), a između njih nalazi se sinklinala Lisine u čijoj su jezgri miocenske i srednjetrijaske naslage. Lokalno istočno od Topličkog reversnog rasjeda (3), sinklinala su zapunjene neogenskim naslagama, a krila im čine paleozojske naslage.



LEGENDA



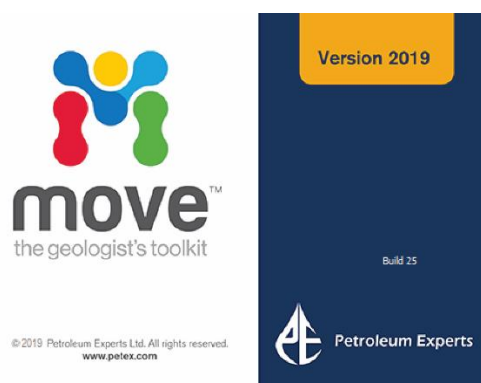
Slika 5.25. Konstruirani strukturno – geološki profil DA-5 u području istraživanja. A. Profil predstavlja inicijalni kombinirani profil DA-5 koji se sastoji od interpretacije seizmičkog refleksijskog profila u području Lonjsko-Ilovske zavale (zapadni dio profila) te geološkog profila u istočnom djelu profila koji je konstruiran temeljem OGK karte lista Daruvar (Jamičić, 1989). B. Kompozitni, finalni geološki profil koji predstavlja interpretaciju geoloških odnosa na površini i u podzemlju na temelju svih raspoloživih geoloških i geofizičkih podataka koji smo prikupili kabinetskim i terenskim radom. Rasjedi: (4) Voćinski rasjed, (3a) Cmi Vrh-Gradine rasjed, (3) Toplički rasjed.

### 5.2.6. 3D STRUKTURNI MODEL ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Strukturni model izrađen je u programu *Petroleum Experts Move* (Slika 5.26) radi boljeg razumijevanja odnosa između litostratigrafskih jedinica i rasjeda na kojima jedinice isklinjavaju. *Move* je jedan od vodećih i glavnih programa za strukturno modeliranje s velikim spektrom alata za korištenje i iz toga razloga je prisutan u mnogim disciplinama. Primarno se upotrebljava u području strukturne geologije- izrada 2D i 3D strukturnih modela, pretežno u naftnoj geologiji, ali sve se više primjenjuje u geotehnici (geomehaničko modeliranje) te hidrogeologiji (model pukotinskih sustava, ponašanje zagađivala u vodonosniku) i seizmotektonici (žarišni mehanizmi, položaj rasjeda i paleonaprezanje, epicentri potresa).

#### *Postupak modeliranja geološkog modela područja*

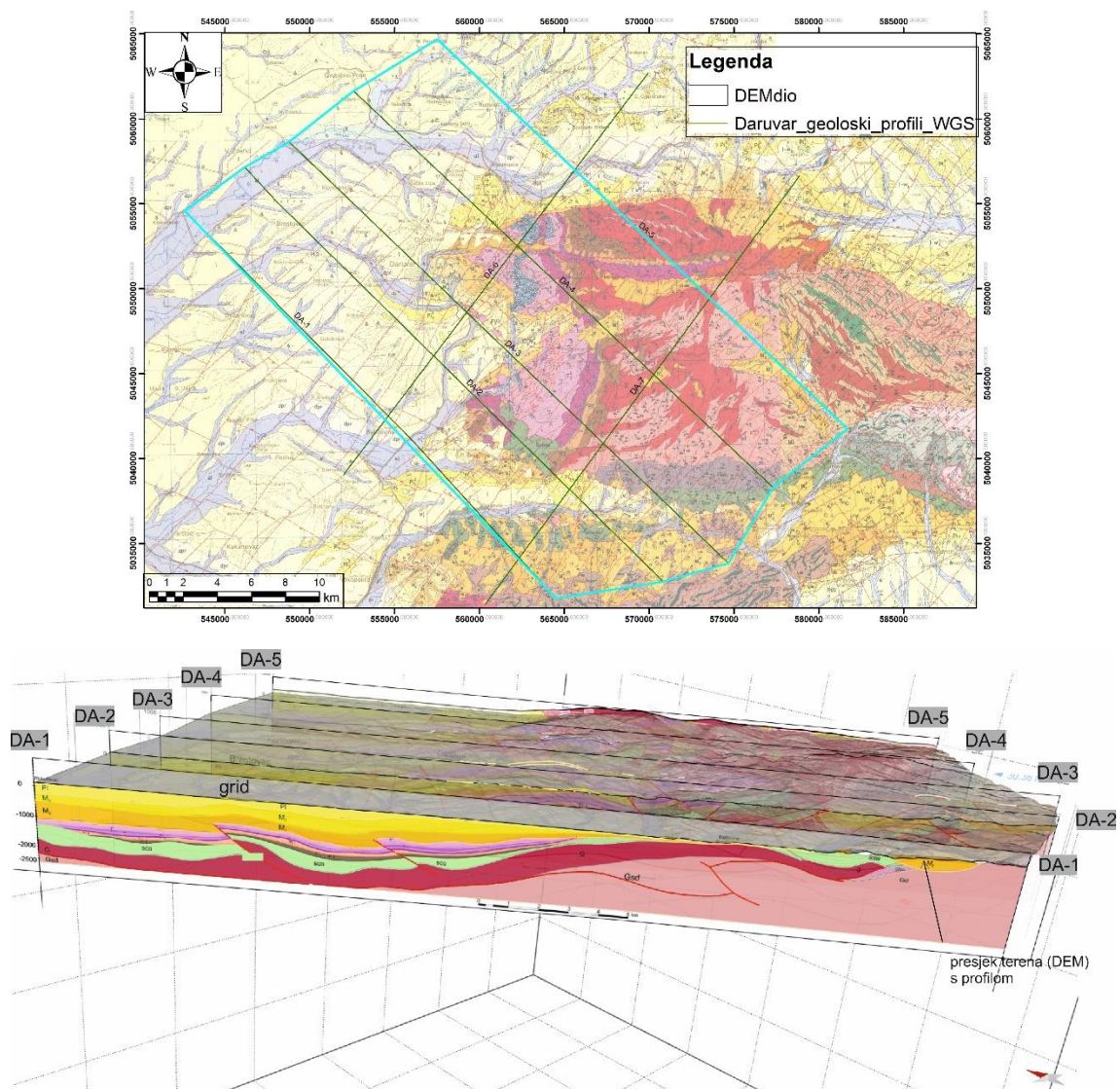
Izrada strukturnog modela započinje prostornom digitalizacijom trasa geoloških profila (DA-1 do DA-5) i georeferenciranjem primarne podloge OGK listova Daruvar i Virovitica u programu *ArcMap 10.8.* u HTRS96 koordinatnoj projekciji. Važno je da svi slojevi uvezeni u *ArcMap*-u moraju biti u istoj koordinatnoj projekciji inače profili i karta neće biti kompatibilni s digitalnim modelom visina (DEM). Osim geoloških profila i listova karti uvezen je i DEM (Digital elevation model). Geološki profili postavljeni su okomito na strukture, a tektonski odnosi između litostratigrafskih jedinica prikazani su u grafičkom programu *CorelDraw* na temelju tumača listova Daruvar i Virovitica.



Slika 5.26 Sučelje Petroleum Experts Move.

Ulazni podatci prikazani su u programu *Move* kao „horizontal“ i „vertical“ image. Pod „horizontal image“ razmatra se položaj karte podloge u prostoru i položaji trasa profila od DA-1 do DA-5 (Slika 5.27). Geološki profili, točnije, njihova interpretacija u *Corelu* uvezena je pod „vertical image“ (Slika 5.27). Geološkim profilima potrebno je postaviti

mjerilo odgovarajuće onom kao u *MOVE-u* i iz tog razloga potrebno je razvući ili skratiti profile po x i z osi da bi referentne ravnine profila iz *Corel-a* odgovarale referentnim ravninama u *MOVE-u*, npr. po nultoj vrijednosti (0 m.n.m.). Presjek profila s terenom, odnosno, DEM-om čini „grid“ u programu. Posljednja uvodna stavka nakon postavljanja profila i pronalaska presjeka s digitalnim modelom visina čine litostratigrafske jedinice. U narednom koraku načinjen je geološki stup za svaku litostratigrafsku jedinicu gdje je svakoj jedinici dodijeljena odgovarajuća boja, litologija, starost i debljina (Slika 5.28).



Slika 5.27 "Horizontal image" s prostornim prikazom podloge temeljene na OGK listova Daruvar i Orahovica preuzete iz *ArcMap-a* s povučanim trasama geoloških profila i preuzetim poligonom područja koji je podloga za 3D model na lijevoj slici. Donja slika ili "Vertical image" prikazuje prostorni i vertikalni položaj priloženih geoloških profila izrađenih ranije u *CorelDRAW-u*. Uz profile, navedena je legenda naslaga (litostratigrafskih jedinica).

Stratigraphy & Rock Properties [ DARUVAR\_17\_5\_2022 ]

File Edit Table

Stratigraphy Rock Properties Strat. Column Compaction Curves

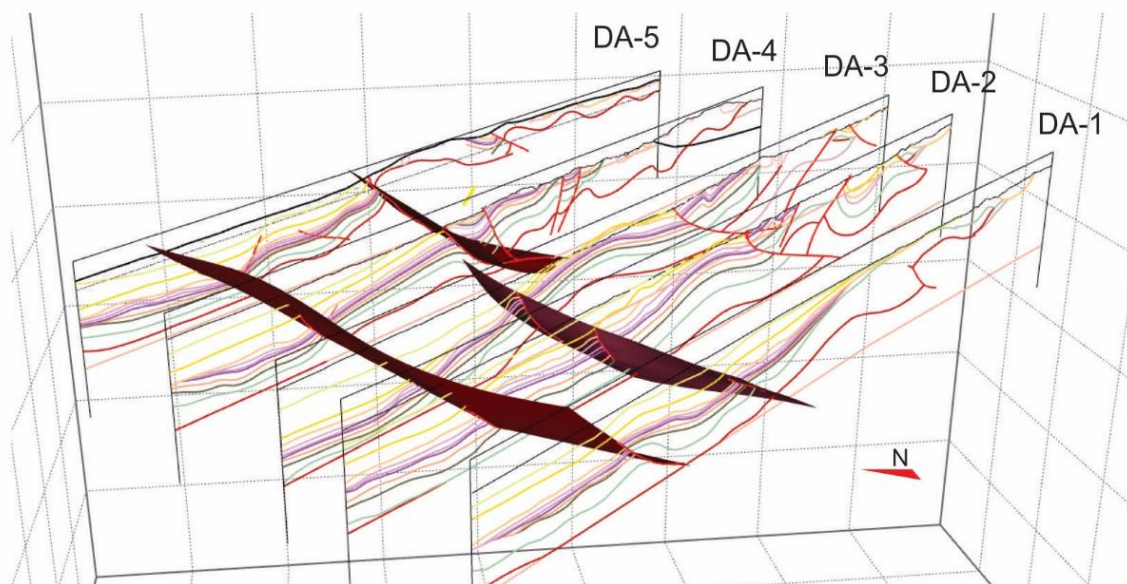
|    | Horizon      | Colour | Rock Type | Age      | Thickness | Active                              |
|----|--------------|--------|-----------|----------|-----------|-------------------------------------|
| 1  | Q kvartar    |        | Default   | 0.13 Ma  | 20.0 m    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2  | Pl plio      |        | Default   | 5.33 Ma  | 300.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3  | M3 pje,la,va |        | Default   | 11.63 Ma | 600.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4  | M2 vap,tuf   |        | Default   | 15.97 Ma | 400.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5  | J vap        |        | Default   | 201.3 Ma | 100.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6  | T3           |        | Default   | 237.0 Ma | 100.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7  | T2,2 krin    |        | Default   | 247.2 Ma | 200.0 m   | <input type="checkbox"/>            |
| 8  | T2,1 breče   |        | Default   | 251.9 Ma | 100.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9  | T1           |        | Default   | 251.9 Ma | 80.0 m    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | 2P,T         |        | Default   | 260.0 Ma | 180.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11 | 1,PT         |        | Default   | 298.8 Ma | 180.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12 | MI           |        | Default   | 310.0 Ma | 100.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13 | Sco škri     |        | Default   | 320.0 Ma | 400.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14 | G            |        | Default   | 325.0 Ma | 500.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15 | Scose        |        | Default   | 330.0 Ma | 200.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16 | Gbm gna      |        | Default   | 350.0 Ma | 500.0 m   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17 | Gsd krist    |        | Default   | 370.0 Ma | 1500.0 m  | <input checked="" type="checkbox"/> |

Slika 5.28 Geološki stup litostratigrafske jedinice u kojem su objedinjeni ime, starost, debljina naslaga i njihova boja kojom su prikazane u modelu.

Nastavno na ulazne podatke, potrebno je digitalizirati stratigrafske jedinice i rasjede u dvodimenzionalnom obliku u programu *Move* isto kao što je presjekom DEM-a i profila prikazana njihova presječna. Digitalizacija stratigrafskih jedinica provodi se alatom „horizon“ tako da se povlače linije u podini za svaku litostratigrafsku jedinicu. Litostratigrafske jedinice određene su i tablično prikazane ranije u „*Stratigraphic & Rock Properties*“ (Slika 5.28). Linije horizonata i rasjeda sadrže veliki broj točaka s minimalnim razmacima koje ih definiraju i zaobljuju, ali s naredbom „*resample*“, broj točaka i njihov razmak se umanjuje i lakše je za rukovanje u idućim koracima. Rasjedi se prikazuju alatom „*fault*“ i osim prostornog položaja, određuje se i ime rasjeda te pomak. Zadavanjem imena omogućeno je praćenje pružanja rajednih ploha istih rasjeda na različitim profilima.

Algoritam korišten u idućem koraku je *Linear i Spline Curves*. Prema određenim debljinama i starosti stratigrafskih jedinica u geološkom stupu, izmodelirane su površine stratigrafskih jedinica. Rasjedne plohe modelirane su istim algoritmom iz prethodno nacrtanih rasjeda alatom *Faults* (Slika 5.29). Stratigrafske jedinice isklinjavaju na površini rasjednih ploha, stoga je iste potrebno iskorrigirati.

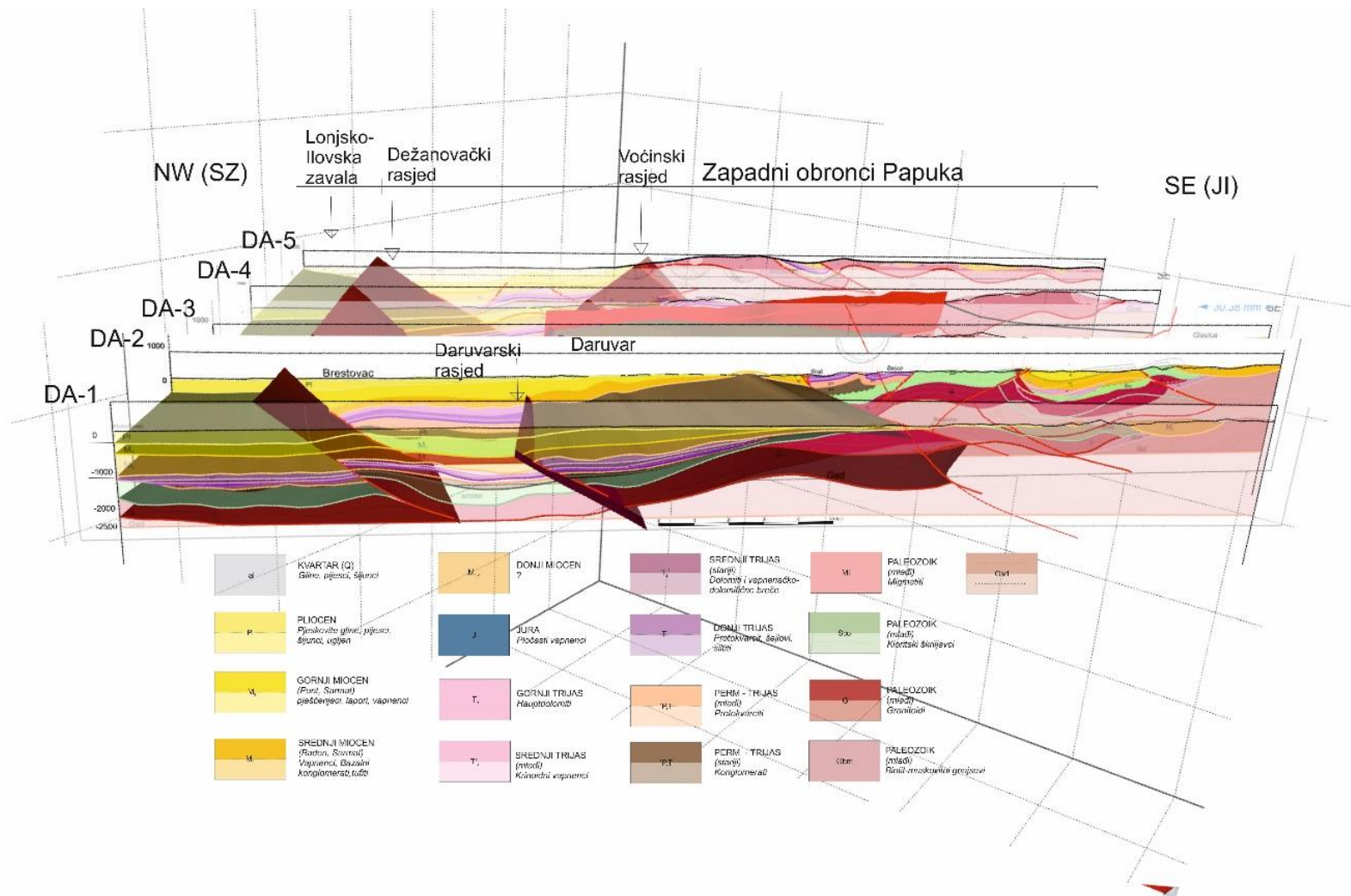
Izvedene rasjedne površine i površine stratigrafskih jedinica korigirane su alatom „split“ i ostalim iterativnim postupcima. Da bi model kompleksnog područja bio izvediv za izradu, nužno je dočrtati stratigrafske jedinice ili rasjede koje izostaju ili ih maknuti ako su dobivene plohe uglate, neravne i nemoguće ih je korigirati.



Slika 5.29 Linije horizontata stratigrafskih jedinica i rasjeda digitaliziranim pomoću alata "Horizon" i "Fault". Slika prikazuje površinu rasjeda izrađenu *Spline Curves* metodom.

#### 5.1.9.2. Rezultat modeliranja strukturnog modela područja

Konstruirani strukturni model Daruvarskog područja ukazuje na depresiju Lonjsko-Ilovske zavale u zapadnom dijelu modela (Slika 5.30). Dokaz za to su najveće debljine neogenskih naslaga (sinriftni sedimenti) uzrokovanih ekstenzijskim režimom tijekom neogena. Neogenske naslage ispresijecane su Dežanovačkim reversnim rasjednom koji je strukturno reaktiviran u reversni rasjed tijekom pliocena i kvartara kada je dominantan kompresijski režim i nizom ostalih reversnih rasjeda prema istoku (Slika 5.30). Posljedica reversnog rasjedanja je i geneza asimetričnih kogenetskih boranih struktura, odnosno *fault propagation fold* i *fault bend fold* tipova struktura koje su vidjive na izdancima i u podzemlju istraživanog područja.



Slika 5.30 3D Strukturno-geološki model Daruvarskog područja. Vidljiva je Lonjsko- Ilovska zavalas na zapadnoj strani modela koja idući prema SI prelazi u zapadne obronke Papuka. Zavalas je ispresijecana reversnim rasjednima počevši s Dežanovačkim koji su zaslužni za formiranje Fault-propagation fold tip struktura.

## 6. RASPRAVA

Na temelju dosadašnjih istraživanja, konstruiranim geološkim profilima, strukturnom modelu i terenskim istraživanjima na području zapadnih obronaka Papuka potvrđena je izuzetno kompleksna građa istraživanog područja s polifaznim tektonskim razvojem. Terenskim mjerenjima i strukturnom analizom prikupljenih podataka, odnosno izrađenim profilima potvrđene su barem 3 tektonske faze koje su utjecale na izdizanje Papuka.

Geološki profili ukazuju na Lonjsko-ilovsku zavalu u zapadnom dijelu u kojoj debljina neogenskih naslaga na zapadnom dijelu je debljine do 1000-1200 m. Zavala je reducirana od zapadnih obronaka Papuka reversnim rasjedima počevši s najzapadnije položenim **Dežanovačkim** „*blind*“ rasjedom. „*Blind*“ rasjedi zaslužni su za stvaranje sustava asimetričnih antiklinala i sinklinala tvoreći *fault-propagation-fold* te djelomično *fault-bend-fold* struktura koje ukazuju na tektonski transport naslaga prema S-SZ. **Dežanovački rasjed** polifazni je rasjed koji je tijekom neogena imao normalan pomak i uzrokovao taloženje kogenetskih neogenskih naslaga. Za vrijeme pliocena započinje zadnja kompresijska/transpresijska tektonska faza koja traje i danas, a u toj fazi izražen je kompresijski režim koji je strukturno reaktivirao normalne u vidu reversnih rasjeda te postojeće reversne rasjede. Lokalno su normalni rasjedi reaktivirani čak i u *strike-slip* rasjede. Istočnije od **Dežanovačkog**, uočava se još nekoliko reversnih rasjeda: **Daruvarski**, **Pakrački** te **Voćinski**, a koji su približnog pružanja SSI-JJZ. **Voćinski** rasjed sjeveroistočno od profila DA-5 mijenja pružanje iz SSI-JJZ u JI-SZ. Osim reversnih rasjeda pružanja S-J postoji nekoliko većih rasjeda s I-Z pružanjem, a to su idući od profila DA-1 do DA-5: **Podvrško-Velika**, **Toplički rasjed** i **Crni-Vrh-Gradine**.

Strukturna mjerenja na terenu ukazuju na kompresijsku fazu u kojoj su nastali reversni rasjedi (npr. **Voćinski rasjed**) i bore čije su osi pružanja generalno I-Z i duž kojih je ostvaren tektonski transport prema sjeveru, odnosno lokalno SI ili SZ s orijentacijom najveće osi naprezanja S-J. Druga faza koja se može uočiti su svakako sustavi bora čije su osi orijentirane generalno S-J. To podrazumijeva da je postojala tektonska faza u kojoj je prevladavala kompresija s orijentacijom najveće osi naprezanja I-Z, koja je uvjetovala njihov nastanak, vjerojatno tijekom neogena. Zadnja, vjerojatno najmlađa odnosno pliokvartarna, je faza kada imamo strukturnu reaktivaciju reversnih rasjeda pružanja SI-JZ naslijeđenih iz



prethodne faze u vidu *strike slip* rasjeda kada je došlo do lijevih i/ili desnih pomaka, a koji su vidljivi i na terenu (DA-2).

Usred kompleksnih tektonskih pokreta tijekom posljednji 60-ak milijuna godina stijene su izuzetno tektonizirane i ispucane pa je time cirkulacija fluida pospješena. Jugoistočno od Sirača u srednjotrijaskim stijenama može se čuti žuborenje vode kroz pukotinske sustave. Iz tog razloga raspucanost i tektoniziranost stijena i ostali sustavi diskontinuiteta imaju važnu ulogu u odredbi hidrotermalnog potencijala karbonatnih vodonosnika. Identificirani reversni rasjedi od značajne su važnosti kao glavni putevi migracije i zagrijavanja vode. Mlađe permske te starije trijaske naslage ovdje sačinjene od protokvarcita, pješčenjaka i stijenskih valutica predstavljaju glavnu hidrogeološku barijeru u području istraživanja. Kao posljedica navedenog voda migrira preferencijalnim putevima kroz pukotinske sustave paralelne osima bora koje su ili I-Z ili S-J i preko rasjednih ploha koji su strukturno niže položeni u odnosu na trijaske stijene, a ujedno čine polupropusnu barijeru fluidima, omogućavajući daljnju njihovu cirkulaciju prema dubljim dijelovima podzemlja.

## 7. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog rada bio je izrada strukturno – geoloških profila u 2D prikazu kao podloga 3D konceptualnom modelu istraživanog područja. U svrhu preciznije izrade profila, provedena su strukturno – geološka istraživanja u sklopu aktivnosti 3A.1 HRZZ projekta *HyTheC* pri čemu su rezultati prikazani u obliku stereograma te strukturno - geološkim profilima (Slika 5.18; 5.19; 5.20; 5.24; 5.25). Područje Papuka, odnosno *Slavonskih planina* dio je nekadašnjeg jugozapadnog dijela Tisza mega bloka. *Slavonske planine* prema Jamičić i dr. (1995) bile su razdijeljene s nekoliko *strike-slip* rasjeda između dva glavna *strike-slip* rasjeda u području Savske i Dravske depresije. Kontinuirana konvergencija te nakupljanje kompresijskog i transpresijskog naprezanja u području istraživanja dolazi do strukturne reaktivacije i tektonske inverzije naslijeđenih struktura Savskog i Dravskog rasjeda uzrokujući pritom rotacije i boranja blokova unutar *strike – slip* zona koje su generalno pružanja SI-JZ. Na temelju izmjerenih strukturnih elemenata potvrđuju se stratigrafski i strukturni odnosi između stijena u podzemlju, ali istih i na površini terena te polifazni tektonski događaji.

Izdvajaju se tri identificirane tektonske faze na temelju strukturne analize provedenih terenskih istraživanja i nacrtanih geoloških profila. Prvu fazu opisuje kompresijski režim s glavnom osi naprezanja pružanja S-J, a na terenu je karakterizirana osima bora i rasjednih ploha s pružanjem I-Z i transportom naslaga prežito prema S. Drugu fazu opisuje glavna os naprezanja pružanja I-Z tijekom neogena i vidljivi sustavi bora i rasjedne plohe pružanja S-J na terenu. Zadnja i najmlađa faza započela je tijekom pliokvartara i proizašla je iz prošle tektonske faza kada je došlo do reaktivacije reversnih rasjeda pružanja SI-JZ te lijevih i desnih pomaka.

Glavne vodonosne stijene termalnih voda su trijaski dolomiti u čijoj su podlozi permotrijaski pješčenjaci, paleozojske stijene i kristalinska podloga. U kontaktnoj zoni Lonjsko-Ilovske zavale te zapadnih obronaka Papuka trijaski dolomiti i podloga su izuzetno tektonizirani te su rasjedima dovedeni u reversni kontakt s neogenskim stijenama. Permski pješčenjaci sa svojom litologijom u kojoj prednjače protokvarciti, arkoze i ostatci granitoidnih stijena čine “nepropusnu podlogu” termalnoj vodi koja cirkulira kroz sustave pukotina u trijaskim dolomitima. Višestruki rasjedi unutar trijaskih dolomita koji izlaze na površinu predstavljaju ujedno i izvore termalnih voda, kao npr. u samom gradu Daruvaru (Daruvarske toplice). Veći rasjedi u dubini (**Toplički, Voćinski, Pakrački**) i kompresijska tektonika koja djeluje i danas, produbljuje i translatera naslage prema zapadu-sjeverozapadu.

## 8. LITERATURA:

- Balen D., Schneider P., Petrinc Z., Massone H.J., Opitz J., Luptakova J., Putiš M. (2020): The Late Cretaceous A-type alkali-feldspar granite from Mt. Požeška Gora (N Croatia): Potential marker of fast magma ascent in the Europe–Adria suture zone. *Geologica Carpathica*, 71, 4, 361–381.
- Balen D., Horvath P., Tomljenović B., Finger F., Humer B., Pamić J., Arkai P. (2006): A record of pre-Variscan Barrovian regional metamorphism in the eastern part of the Slavonian Mountains (NE Croatia). *Mineralogy and Petrology*, 87, 143–162.
- Casale. B. (2012): Core complex exhumation in peri-Adriatic extension, and kinematics of Neogene slip along the Saddle Mountains thrust, Doctoral dissertation, xxx p.
- Haas J. & Pero S. (2004): Mesozoic evolution of the Tisza Mega-unit. *International Journal of Earth Sciences* 93, 297 – 313.
- Herak, D., Herak, M. & Tomljenović, B. (2009): Seismicity and earthquake focal mechanisms in north-western Croatia, *Tectonophysics*, 465, 212 – 220.
- Horvat, M., Klötzli, U., Jamičić, D., Budag., Klötzli, E. & Hauzenberger, C. (2018): Geochronology of granitoids from Psunj and Papuk Mts., Croatia. *Geochronometria* 45 (2018): 198 – 210.
- Jamičić, D. (1980): Dvostruko boranje u jednom dijelu metamorfnih stijena Papuka i Krndije. *Geološki vjesnik* 31, 355 – 358, Zagreb.
- Jamičić, D. (1983a): Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka. *Geološki vjesnik*, 36, 51 – 72, Zagreb.
- Jamičić, D. (1983b): O tangencijalnim kretanjima u području Slavonskih planina. *Nafta* 34, str. 685 – 691, Zagreb.
- Jamičić, D. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Daruvar, L33–95, Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Jamičić, D., Vragović, M. & Matočec, D. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ M 1: 100 000. Tumač za list Daruvar L 33-95. Geološki zavod Zagreb (1988), Savezni geološki zavod Beograd.
- Jamičić, D. (1995): The role of the sinistral strike-slip faults in the formation of the structural fabric of the Slavonian Mts. (eastern Croatia). *Geologia Croatica* 48, 155 – 160.
- Jamičić, D. & Brkić, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Orahovica, L33–96, Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.

- Jamičić, D., Brkić, M., Crnko, J. & Vragović, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Orahovica, L33–96, Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 72pp.
- Manjarić, M. (2011): Litostratigrafski odnosi u izvorišnom dijelu rijeke Toplice na zapadnom Papuku. Neobjavljeni Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, 120 p., Zagreb.
- Pamić J., Alpinski Granitoidi, Migmatiti i Metamorfiti Moslavačke gore i Okolne Podloge Panonskog bazena (Sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). POSEBNA IZDANJA Razreda za prirodne znanosti Knj. 10 7-121, Zagreb 1990.
- Pamić, J. & Lanphere, M. (1991): Hercinske granitne i metamorfne stijene Papuka, Psunja, Krndije i okolne podloge Panonskog bazena u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). *Geologija* 34, 81 – 224.
- Pamić, J. (2002): The Sava-Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean. *Eclogae geologicae Helvetiae* 95, 99 – 113.
- Pavelić, D. & Kovačić, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review". *Marine and Petroleum Geology*, 91, 455 – 469. Rögl, F. (1996): Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitt. Ges. Bergbaustud. Österr.*, 41, 65 – 73.
- Raffaelli, p. (1965): metamofizam paleozojskih pelitskih škriljavaca u području ravne gore (papučko gorje, slavonija). *Geološki vjesnik* 18, 61 – 118.
- Rukavina, D. (2015): Strukturna analiza i interpretacija tektonske evolucije istočnog dijela Savske depresije. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, 61p., Zagreb
- Saftić, B., Velić, J., (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* · January 2010.
- Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schuster, R., Schefer, S., Tischler, M. & Ustaszewski, K. (2008): The Alpine-Carpathian- Dinaridic orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units, *Swiss J. Geosci.*, 101, 139 – 183.
- Schmid, S., Fügenschuh, B., Kounov, A., Matenco, L., Peter Nievergelt, Roland Oberhänsli, Jan Pleuger, Senecio Schefer, Ralf Schuster, Bruno Tomljenovic, Kamil Ustaszewski, Douwe J.J. van Hinsbergen. (2020): Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research* 78 (2020).
- Šikić, K. (1981): Facijesi mezozoika Papuckog gorja. Magistarski rad. Sveucilište u Zagrebu, Postdiplomski studij prirodnih znanosti, Zagreb, 81 str.

Šikić, K. & Brkić, M. (1975): Donji trijas u Papuku i Krndiji. Geol. vjesnik, 28, 133 – 141, Zagreb.

Šikić, K., Brkić, M., Šimunić, A, Grimani, M. (1975): Mezozojske naslage Papuckog gorja. – Radovi Znan. savj. za naftu JAZU, Sekc. Geol. Geof. Geokem., 5, str. 87 – 96, Zagreb.

Šolaja, D. (2010): Strukturna analiza recentne i neotektonske aktivnosti na području Lonjsko – Ilovske zavale između Daruvara i Kutine. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, 72 str., Zagreb.

Ustaszewski, K., Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Tischler, M., Kissling, E., Spak-man, W. (2008): A map-view restoration of the Alpine-Carpathian-Dinaridicsystem for the Early Miocene. Swiss J. Geosci. 101 (Suppl.), 273 – 294.

Ustaszewski, K., Schmid, S.M., Lugović, B., Schuster, R., Schaltegger, U., D. Bernoulli, D., Hottinger, L., Kounov, A., Fügenschuh, B., Schefer, S. (2009): Late Cretaceous intra-oceanic magmatism in the internal Dinarides (northern Bosnia and Herzegovina): Implications for the collision of the Adriatic and European plates, Lithos, 108, 106 – 125.

Ustaszewski, K., Kounov, A., Schmid, S.M., Schaltegger, U., Krenn, E., Frank, W., Fügenschuh, B. (2010): Evolution of the Adria–Europe plate boundary in the northern Dinarides: from continent–continent collision to back-arc extension. Tectonics 29, TC6017.

Ustaszewski, K., Herak, M., Tomljenović, B., Herak, D., Matej, S., (2014): Neotectonics of the Dinarides - Pannonian Basin transition and possible earthquake sources in the Banja Luka epicentral area. J. Geodyn. 82, 52 – 68.

Vukovski M. (2019): Strukturna analiza mezozojskih i kenozojskih deformacijskih struktura na području zapadnog Papuka, Diplomski rad Sveučilište u Zagrebu, 69 str., Zagreb.

Web adresa:

DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA. 2015. URL: <https://geoportal.dgu.hr> (23. 5. 2022.)

Prilog 1: Tablica s terenskim točkama opažanja prikupljenih u okviru terenskih istraživanja tijekom 2020. i 2021. godine. Tablica uljučuje naziv točke i koordinate točaka u WGS1984 koordinatnom sustavu.

| Red. broj | Točka opažanja | Geografska širina - $\phi$ | Geografska dužina - $\lambda$ |
|-----------|----------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1         | Hy-21-1D       | 45,605                     | 17,393                        |
| 2         | Hy-21-2D       | 45,602                     | 17,415                        |
| 3         | Hy-21-3D       | 45,602                     | 17,423                        |
| 4         | Hy-21-4D       | 45,605                     | 17,401                        |
| 5         | Hy-21-5D       | 45,615                     | 17,396                        |
| 6         | Hy-21-6D       | 45,620                     | 17,400                        |
| 7         | Hy-21-7D       | 45,627                     | 17,397                        |
| 8         | Hy-21-8D       | 45,529                     | 17,275                        |
| 9         | Hy-21-9D       | 45,529                     | 17,275                        |
| 10        | Hy-21-10D      | 45,529                     | 17,275                        |
| 11        | Hy-21-11D      | 45,554                     | 17,372                        |
| 12        | Hy-21-12D      | 45,552                     | 17,362                        |
| 13        | Hy-21-13D      | 45,554                     | 17,361                        |
| 14        | Hy-21-14D      | 45,553                     | 17,360                        |
| 15        | Hy-21-15D      | 45,550                     | 17,357                        |
| 16        | Hy-21-16D      | 45,551                     | 17,345                        |
| 17        | Hy-21-17D      | 45,552                     | 17,342                        |
| 18        | Hy-21-18D      | 45,550                     | 17,339                        |
| 19        | Hy-21-19D      | 45,552                     | 17,338                        |
| 20        | Hy-21-20D      | 45,551                     | 17,338                        |
| 21        | Hy-21-01       | 45,620                     | 17,317                        |
| 22        | Hy-21-02       | 45,621                     | 17,312                        |
| 23        | Hy-21-03       | 45,604                     | 17,292                        |
| 24        | Hy-21-04       | 45,604                     | 17,291                        |
| 25        | Hy-21-05       | 45,604                     | 17,291                        |
| 26        | Hy-21-06       | 45,604                     | 17,291                        |
| 27        | Hy-21-07       | 45,604                     | 17,291                        |
| 28        | Hy-21-08       | 45,604                     | 17,290                        |
| 29        | Hy-21-09       | 45,603                     | 17,293                        |
| 30        | Hy-21-10       | 45,604                     | 17,292                        |
| 31        | Hy-21-11       | 45,604                     | 17,291                        |
| 32        | Hy-21-12       | 45,604                     | 17,291                        |
| 33        | Hy-21-12       | 45,607                     | 17,272                        |
| 34        | Hy-21-13       | 45,607                     | 17,272                        |
| 35        | Hy-21-14       | 45,606                     | 17,272                        |
| 36        | Hy-21-15       | 45,605                     | 17,271                        |
| 37        | Hy-21-16       | 45,605                     | 17,270                        |
| 38        | Hy-21-17       | 45,605                     | 17,270                        |

|    |           |        |        |
|----|-----------|--------|--------|
| 39 | Hy-21-18  | 45,598 | 17,234 |
| 40 | Hy-21-19  | 45,594 | 17,228 |
| 41 | Hy-21-21  | 45,604 | 17,271 |
| 42 | Hy-21-22  | 45,604 | 17,271 |
| 43 | Hy-21-23  | 45,603 | 17,272 |
| 44 | Hy-21-100 | 45,589 | 17,349 |
| 45 | Hy-21-101 | 45,588 | 17,347 |
| 46 | Hy-21-102 | 45,589 | 17,346 |
| 47 | Hy-21-103 | 45,589 | 17,346 |
| 48 | Hy-21-104 | 45,588 | 17,344 |
| 49 | Hy-21-105 | 45,588 | 17,342 |
| 50 | Hy-21-106 | 45,588 | 17,342 |
| 51 | Hy-21-107 | 45,588 | 17,342 |
| 52 | Hy-21-108 | 45,588 | 17,341 |
| 53 | Hy-21-109 | 45,588 | 17,340 |
| 54 | Hy-21-110 | 45,588 | 17,340 |
| 55 | Hy-21-111 | 45,588 | 17,339 |
| 56 | Hy-21-112 | 45,588 | 17,339 |
| 57 | Hy-21-113 | 45,588 | 17,339 |
| 58 | Hy-21-114 | 45,588 | 17,338 |
| 59 | Hy-21-115 | 45,588 | 17,338 |
| 60 | Hy-21-116 | 45,589 | 17,338 |
| 61 | Hy-21-118 | 45,592 | 17,300 |
| 62 | Hy-21-200 | 45,616 | 17,337 |
| 63 | Hy-21-201 | 45,615 | 17,335 |
| 64 | Hy-21-202 | 45,615 | 17,333 |
| 65 | Hy-21-203 | 45,615 | 17,331 |
| 66 | Hy-21-204 | 45,618 | 17,330 |
| 67 | Hy-21-205 | 45,616 | 17,326 |
| 68 | Hy-21-206 | 45,615 | 17,325 |
| 69 | Hy-21-207 | 45,615 | 17,325 |
| 70 | Hy-21-208 | 45,615 | 17,324 |
| 71 | Hy-21-209 | 45,618 | 17,320 |
| 72 | Hy-21-210 | 45,618 | 17,319 |
| 73 | Hy-21-211 | 45,617 | 17,319 |
| 74 | Hy-21-212 | 45,615 | 17,311 |
| 75 | Hy-21-213 | 45,615 | 17,310 |
| 76 | Hy-21-214 | 45,614 | 17,309 |
| 77 | Hy-21-215 | 45,615 | 17,308 |
| 78 | Hy-21-216 | 45,616 | 17,307 |
| 79 | Hy-21-217 | 45,616 | 17,302 |
| 80 | Hy-119    | 45,590 | 17,310 |
| 81 | Hy-120    | 45,592 | 17,305 |
| 82 | Hy-121    | 45,592 | 17,301 |

|     |          |        |        |
|-----|----------|--------|--------|
| 83  | Hy-122   | 45,592 | 17,300 |
| 84  | Hy-123   | 45,593 | 17,299 |
| 85  | Hy-124   | 45,592 | 17,300 |
| 86  | Hy-125   | 45,592 | 17,300 |
| 87  | Hy-126   | 45,593 | 17,299 |
| 88  | Hy-127   | 45,594 | 17,295 |
| 89  | Hy-128   | 45,574 | 17,337 |
| 90  | Hy-129   | 45,581 | 17,337 |
| 91  | Hy-130   | 45,582 | 17,342 |
| 92  | Hy-131   | 45,581 | 17,346 |
| 93  | Hy-132   | 45,582 | 17,344 |
| 94  | Hy-133   | 45,585 | 17,337 |
| 95  | Hy-134   | 45,585 | 17,334 |
| 96  | Hy-135   | 45,586 | 17,329 |
| 97  | Hy-136   | 45,586 | 17,328 |
| 98  | Hy-136   | 45,584 | 17,328 |
| 99  | Hy-137   | 45,582 | 17,326 |
| 100 | Hy-138   | 45,582 | 17,327 |
| 101 | Hy-139   | 45,593 | 17,299 |
| 102 | Hy-140   | 45,593 | 17,299 |
| 103 | Hy-141   | 45,593 | 17,298 |
| 104 | Hy-142   | 45,594 | 17,297 |
| 105 | Hy-143   | 45,594 | 17,297 |
| 106 | Hy-144   | 45,592 | 17,294 |
| 107 | Hy-145   | 45,592 | 17,293 |
| 108 | Hy-146   | 45,587 | 17,292 |
| 109 | Hy-147   | 45,587 | 17,292 |
| 110 | Hy-148   | 45,588 | 17,291 |
| 111 | Hy-149   | 45,587 | 17,293 |
| 112 | Hy-150   | 45,587 | 17,296 |
| 113 | Hy-151   | 45,587 | 17,298 |
| 114 | Hy-152   | 45,587 | 17,299 |
| 115 | Hy-153   | 45,586 | 17,300 |
| 116 | Hy-154   | 45,582 | 17,301 |
| 117 | Hy-155   | 45,582 | 17,300 |
| 118 | Hy-156   | 45,580 | 17,302 |
| 119 | Place-36 | 45,645 | 17,465 |
| 120 | Place-62 | 45,590 | 17,310 |
| 121 | WP 43    | 45,574 | 17,293 |
| 122 | WP 44    | 45,576 | 17,293 |
| 123 | WP 45    | 45,577 | 17,292 |
| 124 | WP 46    | 45,577 | 17,295 |
| 125 | WP 47    | 45,578 | 17,295 |
| 126 | WP 48    | 45,578 | 17,296 |



|     |                     |        |        |
|-----|---------------------|--------|--------|
| 127 | WP 49               | 45,579 | 17,297 |
| 128 | WP 50               | 45,580 | 17,298 |
| 129 | WP 51               | 45,579 | 17,299 |
| 130 | WP 52               | 45,577 | 17,293 |
| 131 | WP 15               | 45,604 | 17,293 |
| 132 | WP 16               | 45,604 | 17,292 |
| 133 | WP 17               | 45,604 | 17,291 |
| 134 | WP 18               | 45,604 | 17,292 |
| 135 | WP 19               | 45,604 | 17,292 |
| 136 | Cesta - jurski v.   | n/a    | n/a    |
| 137 | WP 20               | 45,616 | 17,301 |
| 138 | WP 21               | 45,616 | 17,300 |
| 139 | WP 22               | 45,623 | 17,341 |
| 140 | WP 23               | 45,621 | 17,337 |
| 141 | WP 24               | 44,620 | 12,699 |
| 142 | WP 25               | 45,623 | 17,324 |
| 143 | WP 26               | 45,623 | 17,323 |
| 144 | WP 27               | 45,623 | 17,317 |
| 145 | Cesta-Petrov<br>vrh | n/a    | n/a    |
| 146 | WP 28               | 45,596 | 17,292 |
| 147 | WP 29               | 45,595 | 17,290 |
| 148 | WP 30               | 45,599 | 17,278 |
| 149 | WP 31               | 45,600 | 17,271 |
| 150 | WP 32               | 45,600 | 17,269 |
| 151 | WP 33               | 45,600 | 17,267 |
| 152 | WP 34               | 45,610 | 17,247 |
| 153 | WP 35               | 45,620 | 17,317 |
| 154 | WP 36               | 45,618 | 17,315 |
| 155 | WP 37               | 45,620 | 17,313 |
| 156 | WP 38               | 45,621 | 17,313 |
| 157 | WP 39               | 45,621 | 17,312 |
| 158 | WP 40               | 45,620 | 17,310 |
| 159 | WP 41               | 45,619 | 17,310 |
| 160 | WP 42               | 45,619 | 17,311 |
| 161 | 631                 | 45,590 | 17,318 |
| 162 | 632                 | 45,590 | 17,317 |
| 163 | 633                 | 45,590 | 17,321 |
| 164 | 634                 | 45,594 | 17,330 |
| 165 | 635                 | 45,592 | 17,338 |
| 166 | 636                 | 45,589 | 17,346 |
| 167 | 768                 | 45,603 | 17,325 |
| 168 | 769                 | 45,524 | 17,297 |
| 169 | 770                 | 45,571 | 17,312 |

|     |          |        |        |
|-----|----------|--------|--------|
| 170 | D-1      | 45,605 | 17,394 |
| 171 | D-2      | 45,602 | 17,415 |
| 172 | D-3      | 45,602 | 17,423 |
| 173 | D-4      | 45,663 | 17,435 |
| 174 | D-5      | 45,848 | 17,371 |
| 175 | D-6      | 45,627 | 17,397 |
| 176 | D-7      | 45,572 | 17,269 |
| 177 | D-8      | 45,571 | 17,269 |
| 178 | D-9      | 45,572 | 17,268 |
| 179 | D-10     | 45,572 | 17,273 |
| 180 | D-11     | 45,577 | 17,280 |
| 181 | D-12     | 45,578 | 17,283 |
| 182 | D-13     | 45,585 | 17,283 |
| 183 | D-14     | 45,604 | 17,268 |
| 184 | D-15     | 45,603 | 17,266 |
| 185 | D-16     | 45,593 | 17,299 |
| 186 | D-17     | 45,523 | 17,269 |
| 187 | 1        | 45,604 | 17,268 |
| 188 | 2        | 45,603 | 17,266 |
| 189 | 3        | 45,605 | 17,264 |
| 190 | 4        | 45,604 | 17,265 |
| 191 | 5        | 45,604 | 17,265 |
| 192 | Hy-22-1  | 45,613 | 17,302 |
| 193 | Hy-22-2  | 45,611 | 17,312 |
| 194 | Hy-22-3  | 45,611 | 17,320 |
| 195 | Hy-22-4  | 45,609 | 17,321 |
| 196 | Hy-22-5  | 45,608 | 17,326 |
| 197 | Hy-22-6  | 45,610 | 17,334 |
| 198 | Hy-22-7  | 45,608 | 17,328 |
| 199 | Hy-22-8  | 45,512 | 17,261 |
| 200 | Hy-22-9  | 45,507 | 17,295 |
| 201 | Hy-22-10 | 45,509 | 17,297 |
| 202 | Hy-22-11 | 45,507 | 17,323 |
| 203 | Hy-22-12 | 45,507 | 17,320 |
| 204 | Hy-22-13 | 45,507 | 17,320 |
| 205 | Hy-22-14 | 45,491 | 17,279 |
| 206 | Hy-22-15 | 45,505 | 17,327 |
| 207 | Hy-22-16 | 45,505 | 17,327 |
| 208 | Hy-22-17 | 45,506 | 17,327 |
| 209 | Hy-22-18 | 45,508 | 17,339 |
| 210 | Hy-22-19 | 45,510 | 17,338 |
| 211 | Hy-22-20 | 45,508 | 17,327 |
| 212 | Hy-22-21 | 45,508 | 17,327 |
| 213 | Hy-22-22 | 45,508 | 17,325 |

|     |          |        |        |
|-----|----------|--------|--------|
| 214 | Hy-22-23 | 45,508 | 17,326 |
| 215 | Hy-22-24 | 45,510 | 17,327 |
| 216 | Hy-22-25 | 45,513 | 17,327 |
| 217 | Hy-22-25 | 45,516 | 17,323 |
| 218 | Hy-22-26 | 45,518 | 17,310 |
| 219 | Hy-22-27 | 45,520 | 17,307 |
| 220 | Hy-22-28 | 45,521 | 17,303 |
| 221 | Hy-22-29 | 45,523 | 17,296 |
| 222 | Hy-22-30 | 45,525 | 17,296 |
| 223 | Hy-22-31 | 45,528 | 17,290 |