# Strukturno-geološki model područja Nacionalnog parka Plitvička jezera

**Krnjak, Helena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:432506

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb









SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

# STRUKTURNO-GEOLOŠKI MODEL PODRUČJA NACIONALNOG PARKA PLITVIČKA JEZERA

Diplomski rad

Helena Krnjak

G332

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

# STRUKTURNO-GEOLOŠKI MODEL PODRUČJA NACIONALNOG PARKA PLITVIČKA JEZERA

HELENA KRNJAK

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

Sažetak

Strukturni sklop Nacionalnog parka Plitvička jezera (NPPJ) predstavlja rezultat orogenetskih pokreta tijekom eocena i oligocena, a tijekom neogena i kvartara izmijenjen je kao posljedica neotektonskih aktivnosti. Cilj ovog rada bio je istražiti geološku građu područja NPPJ kroz terenska strukturno-stratigrafska istraživanja u sklopu kojih su prikupljeni podaci o orijentacijama slojeva, rasjeda, pukotina, osnim plohama boranih struktura uz uzorkovanje kojim bi se potvrdila stratigrafska pripadnost naslaga u području NPPJ. Područje istraživanja obuhvaća naslage mezozojske starosti od donjeg trijasa do gornje krede, uglavnom izgrađene od vapnenaca i dolomita. Prikupljeni strukturni podaci organizirani su u GIS bazu podataka te prikazani stereografskim prikazom pomoću računalnog programa Stereonet 10, dok je strukturna analiza polja paleonaprezanja provedena pomoću programskog paketa Tectonics FP. Proračun polja paleonaprezanja obuhvatio je proračun glavnih vektora režima naprezanja za izdvojene skupine rasjeda, pri čemu su definirane tri kinematske faze kojima su formirane strukture. Te tri faze obuhvaćaju Dinaridsku fazu kojom su nastali sustavi reversnih rasjeda kompresijom po pravcu SI–JZ, zatim su u „post-dinaridskom“ razdoblju nastali normalni rasjedi ekstenzijom po istom pravcu, a kao završna faza izdvojeni su strike-slip rasjedi koji dokazuju promjene dominantno kompresijskog režima naprezanja u transpresijski/transtenzijski režim naprezanja. Uz kinematsku analizu strukturnih mjerenja strukturna građa NPPJ analizirana je kroz pet geoloških profila poprečnih na strukture, te su isti korišteni pri izradi trodimenzionalnog pojednostavljenog strukturnog modela pomoću programskog paketa „Move“ (Midland Valley). Provedene strukturno-stratigrafske analize i konstruirani grafički prikazi omogućili su bolje razumijevanje geološke građe područja NPPJ odnosno bolje shvaćanje tektonske evolucije istraživanog područja, prisutnih sustava rasjeda i pukotina, a koji su zajedno s erozijom i hidrogeološkom aktivnošću utjecali na formiranje i održivost sustava jezera tijekom kvartara.

Ključne riječi: Nacionalni park Plitvička jezera, mezozojske naslage, Plitvički rasjed, polje paleonaprezanja, geološki profil, 3D strukturni model, „MOVE“ (Midland Valley)

Diplomski rad sadrži: 49 stranica, 1 tablicu, 35 slika, 29 referenci i 1 web adresu.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Bojan Matoš, docent RGNF
Komentor: Dr. sc. Ivica Pavičić, asistent RGNF
Ocjenjivači: Dr. sc. Bojan Matoš, docent RGNF
Dr. sc. Uroš Barudžija, docent RGNF
Dr. sc. Igor Vlahović, redoviti profesor RGNF
Datum obrane: 6. rujna 2019.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

# STRUCTURAL-GEOLOGICAL MODEL OF THE PLITVICE LAKES NATIONAL PARK AREA

HELENA KRNJAK

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb, Croatia

Abstract

Structural framework of the Plitvice Lakes National park (PLNP) is the result of orogenesis during the Eocene and Oligocene, which was affected by neotectonics activities during Neogene and Quaternary. The principal research objectives of this MSc Thesis is to investigate geological properties of the PLNP area through field structural and stratigraphic investigations in which the data on the orientation of strata, faults, fractures and axial planes of folded structures were collected. Also, deposits in the Plitvice Lakes National Park were sampled to determine their stratigraphic age and composition. Study area includes Mesozoic deposits from Lower Triassic to Upper Cretaceous, mostly composed of limestones and dolomites. Collected structural data were organized into the GIS database and are illustrated in stereographic projection using Stereonet 10 software while structural analysis of palaeostress field was made using the Tectonics FP software. Calculation of palaeostress field included the calculation of the principal stress axes for the fault groups. Structural analysis defined three tectonic phases that formed the structures. These tectonic phases include the Dinaridic phase, which generated reverse fault system by compression oriented NE–SW, followed by formation of normal faults, generated by extension of the same orientation at the end of the Dinaridic phase (i.e., post-Dinaridic phase). During the final phase strike-slip faults were formed, and they show evidences of stress field changes from dominant compression regime to the transpressive/transtensive stress regime. Along with the structural analysis of structural measurements, structural framework of the Plitvice Lakes National Park was analysed on five geological profiles constructed normal to the structures, and these profiles were used to create simplified structural model using the "Move" software (Midland Valley). Structural and stratigraphic analyses and constructed graphical model enabled better understanding of the geological structure of the Plitvice Lakes National Park area, as well as better understanding of the tectonic evolution of the area, mapped faults and fractures, which together with erosion and hydrogeological activity influenced the formation and sustainability of the lake system during the Quaternary.

Keywords: National park Plitvice Lakes, Mesozoic deposits, Plitvice fault, palaeostress field, geological profiles, 3D structural model, MOVE software (Midland Valley)

Thesis contains: 49 pages, 1 table, 35 figures, 29 references and 1 web address.
Original in: Croatian
Thesis deposited in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb, Croatia

Supervisor: Bojan Matoš, PhD, Assistant Professor
Co-supervisor: Ivica Pavičić, PhD, Assistant
Reviewers: Bojan Matoš, PhD, Assistant Professor
Uroš Barudžija, PhD, Assistant Professor
Igor Vlahović, PhD, Professor
Date of defense: September 6th, 2019.

# Sadržaj

1. UVOD ..... 1

2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA ..... 2

3. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA ..... 3

3.1. STRATIGRAFSKE I SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE ..... 3

3.1.1. TRIJAS ..... 5

3.1.1.1. Donji trijas ($T_1$) ..... 5

3.1.1.2. Srednji trijas ($T_2$) ..... 5

3.1.1.2. Gornji trijas ($^2T_3$) ..... 6

3.1.2. JURA ..... 6

3.1.2.1. Srednji dio donje jure ($J_1^3$) ..... 6

3.1.2.2.Gornji dio donje jure ($J_1^4$) ..... 6

3.1.2.3. Srednja jura ($J_2$) ..... 7

3.1.2.4. Gornja jura ($J_3$) ..... 7

3.1.2.5. Gornji dio gornje jure, ($J_3^{2,3}$) ..... 7

3.1.3. KREDA ..... 8

3.1.3.1. Donja kreda ($K_1^{1+2}$) i ($K_1^{3–5}$) ..... 8

3.1.3.2. Gornja kreda ($K_2^{1+2}$) i ($K_2^{3–5}$) ..... 8

3.2. TEKTONSKA EVOLUCIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA ..... 11

4. METODE ISTRAŽIVANJA ..... 13

4.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA ..... 13

4.2. KABINETSKI RAD ..... 14

4.2.1. IZRADA GIS BAZE PODATAKA ..... 14

4.2.2. STRUKTURNA MJERENJA NA PODRUČJU NPPJ ..... 15

4.2.3. IZRADA GEOLOŠKIH PROFILA ..... 16

4.2.4. IZRADA STRUKTURNO-GEOLOŠKOG MODELA PODRUČJA NPPJ ..... 17

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA ..... 17
5.1. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA ..... 18
5.1.1. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py1-K1 ..... 20
5.1.2. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py2-J2-J3 .. 20
5.1.3. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py3-J1-T1.. 21
5.1.4. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py4-K2 ..... 22
5.1.5. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU ZONE PLITVIČKOG RASJEDA ..... 26
5.2. GEOLOŠKI PROFILI NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA ..... 30
5.3. STRUKTURNI MODEL I TEKTONIKA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA ..... 41
6. DISKUSIJA ..... 43
7. ZAKLJUČAK ..... 45
8. LITERATURA ..... 46

**POPIS SLIKA**

Slika 2-1. Područje istraživanja NP Plitvička jezera (crno obrubljeno). ..... 2
Slika 3-1. Isječak Osnovne geološke karte lista Bihać (prema Polšak et al., 1976) mjerila 1:100.000 s izdvojenim područjem NP Plitvička jezera (crno obrubljeno) (crno obrubljeno). ..... 3
Slika 3-2. Geološki stup slijeda mezozojskih i paleozojskih naslaga šireg područja NP Plitvička jezera (prema Polšak et al., 1976, 1978). ..... 4
Slika 3-3. Mikrofotografija preparata uzorka PH-86..... 9
Slika 3-4. Mikrofotografija preparata uzorka PH-110..... 10
Slika 3-5. Mikrofotografija preparata uzorka PH-113..... 10
Slika 3-6. Tektonska građa područja Alpa, Karpata i Dinarida, s izdvojenim područjem NP Plitvička jezera (crveni pravokutnik; prema Schmid, et al., 2008). ..... 12
Slika 3-7. Model razvoja sustava Plitvičkih jezera. Na slici lijevo su izolirana jezera nastala početkom kvartara, a na slici desno izolirana jezera postaju sustav povezanih jezera kao posljedica erozije i otapanja (Meaški, 2011). ..... 13
Slika 4-1. Položaj terenskih točaka na području istraživanja. ..... 14
Slika 4-2. Prikaz poligona na području istraživanja. ..... 15
Slika 4-3. Položaji trasa konstruiranih geoloških profila na području NPPJ..... 16
Slika 5-1. Orijentacija mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py1-K1 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Os bore označena je crvenom točkom, a oznaka N označava broj mjerenih podataka. ..... 20
Slika 5-2. Orijentacija mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py2-J2-J3 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Os bore označena je crvenom točkom, a oznaka N označava broj mjerenih podataka. ..... 21
Slika 5-3. Orijentacija mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py3-J1-T1 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Osi bora označene su crvenim točkama, a oznaka N označava broj mjerenih podataka. ..... 22
Slika 5-4. Orijentacija 75 mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py4-K2 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka. ..... 23
Slika 5-5. Orijentacija 47 mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py4-K2 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka. ..... 23

Slika 5-6. Os bore označena crvenom točkom proračunata za mjerene orijentacije slojevitosti poligona Py4-K2. ..... 24
Slika 5-7. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja reversnih rasjeda izmjerenih u području poligona Py4-K2. ..... 25
Slika 5-8. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja strike-slip rasjeda izmjerenih u području poligona Py4-K2. ..... 25
Slika 5-9. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja normalnih rasjeda izmjerenih u području poligona Py4-K2. ..... 26
Slika 5-10. Orijentacija 23 mjerene slojne površine u naslagama poligona Plitvički rasjed prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka. ..... 27
Slika 5-11. Orijentacija 17 mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Plitvički rasjed prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka. ..... 27
Slika 5-12. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja reversnih rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed. ..... 28
Slika 5-13. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja reversnih rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed. ..... 29
Slika 5-14. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja strike-slip rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed. ..... 29
Slika 5-15. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja normalnih rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed. ..... 30
Slika 5-16. Geološki profil 1–1' na području NPPJ. ..... 32
Slika 5-17. Geološki profil 2–2' na području NPPJ. ..... 34
Slika 5-18. Geološki profil 3–3' na području NPPJ. ..... 36
Slika 5-19. Geološki profil 4–4' na području NPPJ. ..... 38
Slika 5-20. Geološki profil 5–5' na području NPPJ. ..... 40
Slika 5-21. Digitalizacija prethodno napravljenih profila. ..... 42
Slika 5-22. 3D model geološke građe podzemlja. ..... 42
Slika 5-23. 3D model geološke građe podzemlja. ..... 42
Slika 6-1. Tipovi pukotina razvijeni u boranoj strukturi i model boranja s prikazanim glavnim setovima pukotina: J1 – poprečne pukotine, J2 – uzdužne pukotine i S1 & S2 – dijagonalne pukotine (Fossen, 2010). ..... 44

## POPIS TABLICA

Tablica 5-1 Glavni geometrijski podaci rasjednih ploha na području NP Plitvička jezera. Oznake skupina: G4_R – reversni rasjedi poligon Py4-K2; G4_N – normalni rasjedi poligon Py4-K2; G4_SS – strike-slip rasjedi poligon Py4-K2; GPR_R1 – reversni rasjedi poligon Plitvički rasjed, skupina 1; GPR_R2 – reversni rasjedi poligon Plitvički rasjed, skupina 2; GPR_N – normalni rasjedi poligon Plitvički rasjed; GPR_SS – strike-slip rasjedi poligon Plitvički rasjed. ..... 19

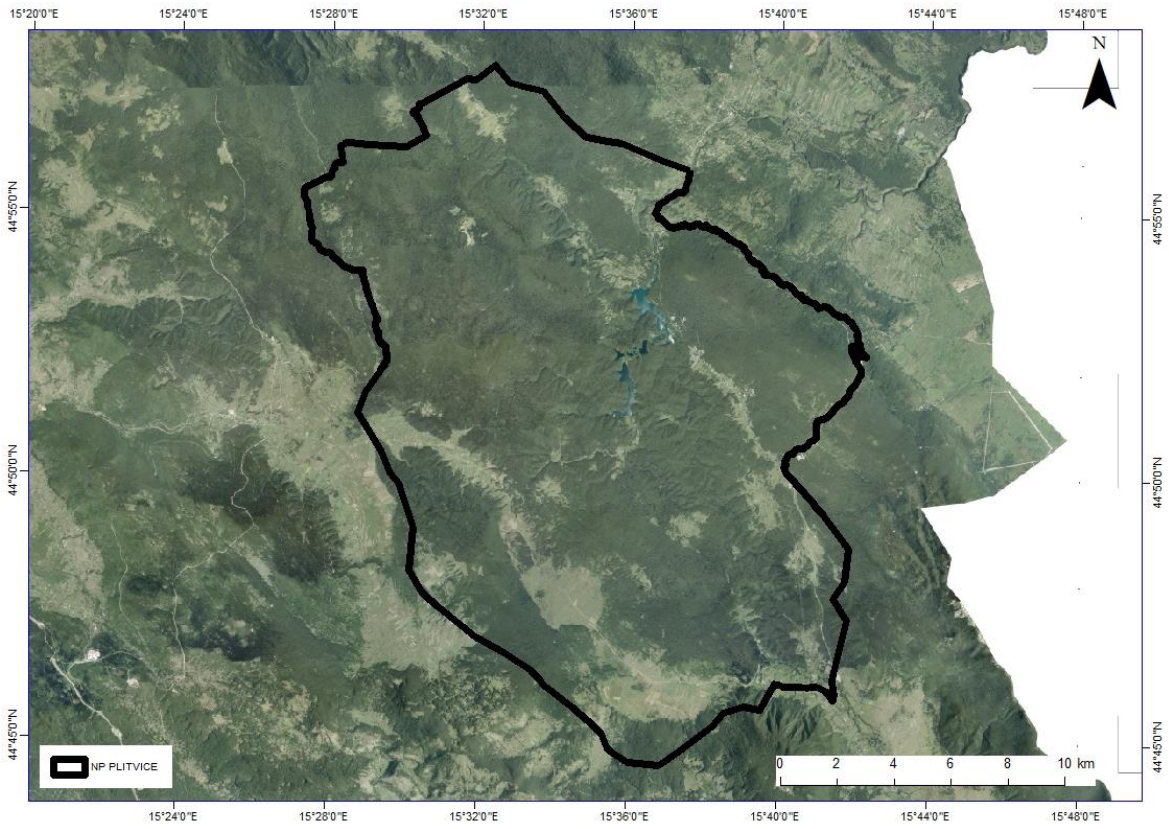
# 1. UVOD

Ovaj diplomski rad izrađen je kroz nekoliko koraka. Na početku, kako bi se bolje upoznalo samo područje istraživanja, napravljen je pregled literature koja se odnosi na područje Nacionalnog parka Plitvička jezera (NPPJ) kako u geografskom tako i geološkom smislu. Zbog lakšeg rada s podacima pomoću vizualizacije i prostorne analize sljedeći korak bio je izrada GIS baza projekta. Uslijedilo je terenski rad koji je obuhvatio strukturna mjerenja u svrhu prikupljanja podataka o orijentacijama slojeva, rasjeda, smičnih pukotina, pukotina, ali i osima/osnim plohama boranih struktura te uzorkovanje izdvojenih stratigrafskih jedinica kako bi se potvrdila stratigrafska pripadnost naslaga uz Plitvički rasjed. Prikupljeni podaci prikazani su u tabličnom obliku te odgovarajućim stereografskim prikazom. Uz kinematsku analizu strukturnih mjerenja u okviru izrade strukturnog modela NP Plitvička jezera izrađen je set od pet geoloških profila poprečnih na strukture, koji su korišteni u izradi strukturnog modela područja istraživanja. Strukturno modeliranje je provedeno pomoću programskog paketa „Move“ (Midland Valley).

Prva stratigrafska i strukturna geološka istraživanja područja današnjeg NP Plitvička jezera prikazana su u radovima Ferde Kocha (1916, 1926, 1933). Koch (1932) izrađuje i prvu detaljnu geološku kartu koja obuhvaća šire područje Plitvičkih jezera. Kasnija istraživanja (Kochansky-Devide, 1958; Polšak, 1959, 1960, 1963, 1969) izvođena su s ciljem izdvajanja trijaskih, jurskih i krednih naslaga na području NP Plitvička jezera pomoću paleontoloških analiza foraminifera, brahiopoda, ježinaca i školjkaša te zbog proučavanja hidrogeoloških i geoloških odnosa s ciljem izrade Osnovne geološke karte. Među najznačajnijim geološkim istraživanjima stoga je svakako izrada listova Osnovnih geoloških karata SFRJ u mjerilu 1:100.000, pri čemu listovi Bihać (Polšak et al., 1976) i Otočac (Velić et al., 1970) obuhvaćaju područje NP Plitvička jezera. Istraživanja na području NP Plitvička jezera u drugoj polovici 20. st. te početkom 21. st. bila su usmjerena na hidrogeološka istraživanja (Polšak, 1960; Srdoč et al., 1985; Biondić et al., 2007, 2010; Meaški, 2011), analize stabilnih izotopa (Grgić, 1985), paleontološka istraživanja (Kochansky-Devide, 1958; Polšak, 1963) te antropogeni utjecaj na područje Plitvičkih jezera (Obelić, et al., 2005, 2006).

# 2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Područje Plitvičkih jezera predstavlja najveći i najstariji nacionalni park u Hrvatskoj. Šire područje NP Plitvička jezera (Slika 2-1) smješteno je u Gorskoj Hrvatskoj te se proteže između planina Mala Kapela i Plješivica, u središnjem dijelu Dinaridskog planinskog masiva. Sastoji se od ukupno 16 jezera koja se dijele na Gornja i Donja, a u geološkoj podlozi Gornjih jezera pretežu dolomiti dok se uokolo Donjih jezera nalaze uglavnom vapnenci (Cifrek, 2013). Najveća jezera su Kozjak, koje je ujedno i najdublje jezero te Prošćansko jezero, pri čemu njihova visinska razlika iznosi 161 m (Ilijanić, 2006). Hidrološka mreža zasniva se na tokovima Bijele i Crne rijeke te potocima Plitvicom i Rječicom. Ukupna površina na kojoj se rasprostiru Plitvička jezera iznosi 29482 ha, od čega 22308 ha čine šume, 217 ha odnosi se na vode, a ostatak od 6957 ha spada pod travnjake sa manjim naseljima (Ilijanić, 2006). Plitvička jezera proglašena su nacionalnim parkom prvi puta 1928. godine, a proširenjem granica ponovno 1949. godine, te su do 1979. ušla na UNESCO-vu Listu svjetske baštine. Plitvička jezera smatraju se jednom od najvrjednijih prirodnih znamenitosti u Hrvatskoj i svijetu (Ilijanić, 2006).



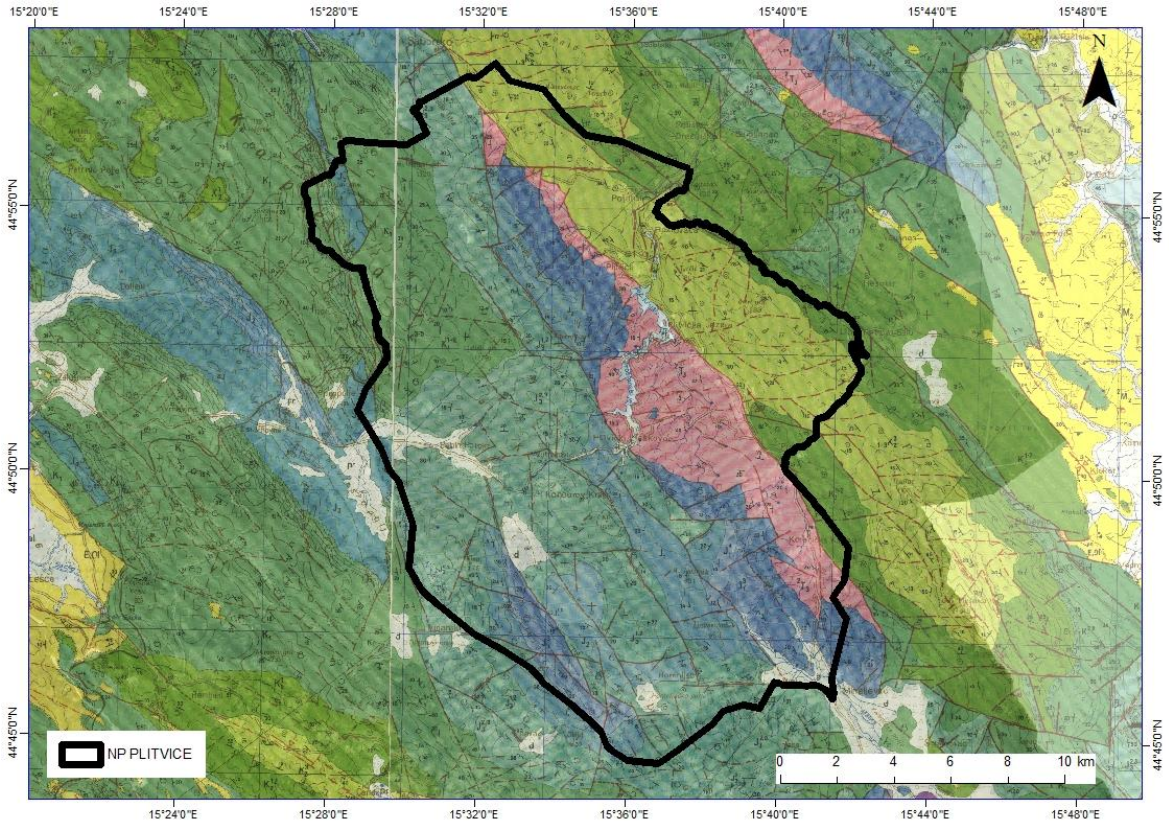

Slika 2-1. Područje istraživanja NP Plitvička jezera (crno obrubljeno).

# 3. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

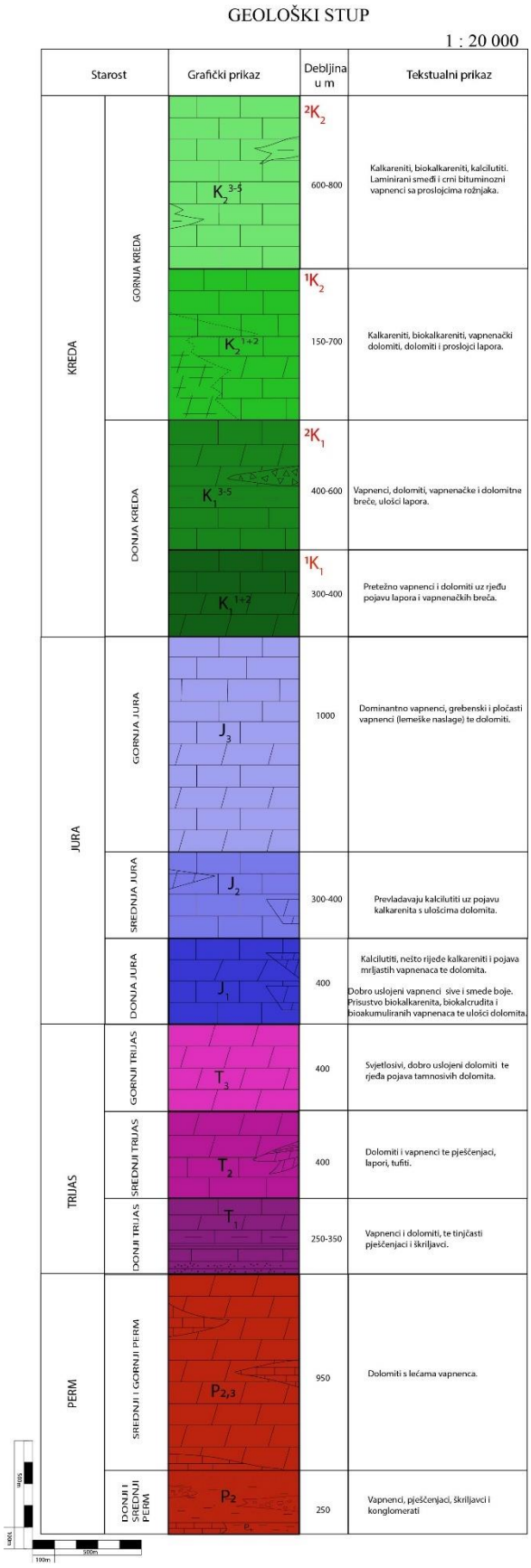
Područje istraživano za potrebe ovog diplomskog rada obuhvaćeno je Osnovnom geološkom kartom mjerila 1:100.000 lista Bihać (Polšak et al., 1976) i Tumačem lista Bihać (Polšak et al., 1978) pa se i pregled stratigrafskih jedinica i osnovnih strukturno-geoloških obilježja temelji na tim izvorima.

## 3.1. STRATIGRAFSKE I SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE

Geološka podloga šireg područja istraživanja obuhvaća karbonatne naslage mezozojske starosti, a temeljne značajke područja istraživanja prikazane su na Osnovnoj geološkoj karti lista Bihać (Slika 3-1; Polšak et al., 1976). Prema tumaču lista Bihać (Polšak et al., 1978) na području istraživanja obuhvaćenog ovim diplomskim radom mogu se izdvojiti stratigrafske jedinice trijaske, jurske i kredne starosti. Sve prisutne naslage pretežito su karbonatnog sastava (vapnenci i dolomiti), a druge vrste sedimentnih stijena nalaze se tek sporadično (Slika 3-2; Ilijanić, 2006).




Slika 3-1. Isječak osnovne geološke karte lista Bihać (prema Polšak et al., 1976) mjerila 1:100.000 s izdvojenim područjem NP Plitvička jezera (crno obrubljeno).




Slika 3-2. Geološki stup slijeda mezozojskih i paleozojskih naslaga šireg područja NP Plitvička jezera (prema Polšak et al., 1976, 1978).

Prema OGK lista Bihać te pripadajućem tumaču (Polšak et al., 1976, 1978) u narednim potpoglavljima bit će opisan stratigrafski slijed naslaga izdvojenih na području istraživanja te njihova osnovna stratigrafska, strukturna i litološka obilježja, dok su permske naslage ukupne debljine od 1200 m prikazane na geološkom stupu (Slika 3-2) i profilima, ali na površini nema njihovih izdanaka.

### 3.1.1. TRIJAS

#### 3.1.1.1. Donji trijas ($T_1$) – *vapnenci i dolomiti te tinjčasti pješčenjaci i škriljavci*

Naslage donjeg trijasa predstavljaju najstarije naslage na području istraživanja, a obuhvaćaju područja Bijelog polja, Koreničkog polja, zatim Meljinovačke Drage, južno od Korenice te u okolini Crkvina. Taložene su u plitkomorskoj sredini, a pretežu klastične sedimentne stijene, dok su tijekom mlađega dijela starijeg trijasa taloženi vapnenci. Sajske tankoslojevite naslage sastoje se od tinjčastih pješčenjaka te škriljavaca uz pojavu vapnenaca u višem dijelu, dok se kampilske naslage uglavnom sastoje od sivih pločastih vapnenaca te glinovitih vapnenaca i tamnosivog škriljavca. Naslage su dobroslojevite i česte su primjese pješčanog detritusa pa vapnenac prelazi u pješčenjak, dok se dolomit pojavljuje sporadično. Debljina slojeva najčešće je u rasponu od pet do deset cm, a neki od prisutnih fosila su jezgre školjkaša *Myacites fassaensis, Pleuromya canalensis*, zatim karakteristični fosili kao *Dinarites nudus, Dinarites dalmatinus* itd. Debljina naslaga prema geološkom stupu na Slici 3-2 varira u rasponu od 250 do 350 m (Polšak et al., 1978).

#### 3.1.1.2. Srednji trijas ($T_2$) – *vapnenci i dolomiti s proslojcima lapora i tufova*

Uz južni rub Koreničkog polja, u široj okolici Ostrožca te na sjeveroistočnim padinama Ličke Plješivice nalaze se i naslage srednjeg trijasa. Naslage se pojavljuju u jezgri antiklinale, a sastoje se pretežito od masivnog ili slaboslojevitog dolomita bijele do sive boje, te u manjoj mjeri od vapnenaca. U vapnencima prisutni su fosili poput *Macroporella* cf. *alpina, Meandrospira dinarica, Physoporella varicans* i *Pilamina densa*. Unutar srednjotrijaskog karbonatnog slijeda izdvojeni su i proslojci lapora te tufova. Prema geološkom stupu na Slici 3-2 debljina naslaga srednjeg trijasa iznosi 400 m (Polšak et al., 1978).

3.1.1.2. Gornji trijas ($^2T_3$) – *izmjena ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita*

Naslage gornjeg trijasa sastoje se pretežno od dolomita, a samo u nižim dijelovima sadrže i uloške klastita i piroklastičnog materijala. Područje istraživanja obuhvaća naslage gornjeg trijasa ($^2T_3$), a uglavnom su to svijetlosivi, dobroslojeviti dolomiti. Prevladavaju mikrokristalinični dolomiti, dok su srednjokristalinični nešto rjeđi. Pojava tamnosivih dolomita i prva pojava vapnenačkih proslojaka nalazi se u blizini prijelaza u donju juru, budući da udio dolomitne komponente prema granici s jurskim naslagama opada. Debljina slojeva najčešće iznosi oko 0,5 m, dok su slojevi debljine 0,2–0,3 m nešto rjeđi. Od fosila gornjotrijaski dolomiti sadrže ostatke alge *Sphaerocodium bornemanni*. Naslage gornjeg trijasa protežu se duž područja istraživanja od Mihaljevca preko prostora jezera Kozjak i Prošćanskog jezera sve do Kušelja. Debljina naslaga prema geološkom stupu prikazanom na Slici 3-2 iznosi približno 400 m (Polšak et al., 1978).

3.1.2. JURA

Jurske naslage istaložene su preko trijaskih, tako da je na istraživanom području vidljiv kontinuiran prijelaz između trijasa i jure. Općenito naslage jure uglavnom obuhvaćaju dolomite i u manjoj mjeri vapnence.

3.1.2.1. Srednji dio donje jure ($J_1^3$) – *litiotidni vapnenci*

Naslage općenito donjojurske starosti ($J_1$) pojavljuju se sjeverozapadno od Plitvičkih jezera, na potezu od Preke kose i Razdolja do Kamenitog vrha. Srednji dio donje jure ($J_1^3$) uglavnom čine dobroslojeviti vapnenci sive i smeđe boje, čija debljina slojeva najčešće iznosi 30–50 cm uz pojavu tankopločastih vapnenaca. Ova je jedinica obilježena i pojavom litiotidnih vapnenaca s mjestimičnim uloščima dolomita. Najvažniji makrofosili su litotidni školjkaši koji su prema Tumaču OGK određeni kao *Lithiotis problematica*. Litiotidni vapnenci su bioklastičnog tipa od kojih se mogu izdvojiti biokalkarenitni, biokalcruditni i kokinski tipovi. Prema geološkom stupu na Slici 3-2 debljina naslaga srednjeg dijela donje jure iznosi približno 200 m (Polšak et al., 1978).

3.1.2.2.Gornji dio donje jure ($J_1^4$) – *kalcilutiti i mrljasti vapnenci*

Gornji dio donje jure ($J_1^4$) sastoji se pretežno od pločastih vapnenaca sive i smeđe boje koji pripadaju kalcilutitima i nešto rjeđe kalkarenitima. U gornjem dijelu karakteristična je

pojava mrljastih vapnenaca, koji su dijelom laporoviti te su svijetlosive boje sa žutim i crvenkastim mrljama. Debljina naslaga varira od 100–150 m (Polšak et al., 1978).

3.1.2.3. Srednja jura ($J_2$) – *izmjena svijetlosivih do sivosmeđih vapnenaca i dolomita*

Naslage srednje jure ($J_2$), rasprostranjene su sjeverozapadno i južno od Plitvičkih jezera, a uglavnom se sastoje od vapnenaca svijetlosive do sivosmeđe boje, uz malu pojavu dolomita u obliku debljih i tanjih uložaka unutar vapnenaca. Vapnenci su dobroslojeviti, najčešće pripadaju kalcilutitima, a nešto manje kalkarenitima, dok im je debljina slojeva 0,5–0,2 m. Naslage su siromašne fosilnim sadržajem, a nalaze se isključivo mikrofosili – foraminifere *Pfenderina salernitana*, *P. trochoidea*, *Meyendorffina bathonica*, *Globigerina* cf. *helvetojurassica* i *Mesoendothyra sp.*, te algama *Teutloporella gallaeformis* i *Thaumatoporella parvovesiculifera*. Debljina naslaga prema geološkom stupu prikazanom na Slici 3-2 varira u rasponu od 300 do 400 m (Polšak et al., 1978).

3.1.2.4. Gornja jura ($J_3$) – *kalcilutiti i sitnokristalinični dolomiti*

Naslage gornje jure ($J_3$) obuhvaćaju dolomite na koje naliježu vapnenci kredne starosti, bez značajnijeg fosilnog sadržaja. Gornjojurske naslage rasprostiru se u jugozapadnom dijelu područja istraživanja, od Homoljačkog polja preko Končarevog Kraja i Babinog potoka do Turjanskog područja. Naslage gornje jure su raščlanjene na naslage oksforda i kimeridža ($J_3^{1,2}$). One obuhvaćaju izmjenu vapnenaca i dolomita. Vapnenci su debeloslojeviti, sive, tamnosive i smeđe boje te većinom pripadaju kalcilutitima, a često su i oolitični. Dolomit je uglavnom srednjokristaliničan, sive ili smeđe boje. Ponegdje prevladavaju dolomiti, a vapnenci se nalaze u obliku tankih leća ili uložaka. Česte su pojave hidrozoja *Cladocoropsis mirabilis*, bentičkih foraminifera *Kurnubia palastiniensis* i *Pfenderina salernitana*, te zelenih alga *Macroporella sellii*, *Salpingoporella pygmea* i *Thaumatoporella parvovesiculifera*. Prema geološkom stupu prikazanom na Slici 3-2 debljina naslaga iznosi 200–300 m (Polšak et al., 1978).

3.1.2.5. Gornji dio gornje jure, naslage kimeridža i titona ($J_3^{2,3}$) – *pločasti vapnenci s rožnjacima – lemeške naslage*

Naslage gornjeg dijela gornje jure, odnosno kimeridža i titona ($J_3^{2,3}$) obilježene su raznolikošću facijesa, tako da se dijelom pojavljuju grebenski vapnenci, a dijelom pločasti vapnenci s rožnjacima, tzv. lemeške naslage. Gornji dio jedinice sastoji se isključivo od dolomita koji je debeloslojevit i pretežno je bijele i svijetlosive boje, dok se vapnenci nalaze

kao deblje ili tanje leće unutar dolomita. Vapnenci su uglavnom zastupljeni u donjem dijelu jedinice te je karakteristična izmjena grebenskih vapnenaca i pločastih vapnenaca s rožnjacima. Česti su hidrozoji, gastropodi, koralji, školjkaši i alge. Debljina naslaga je varijabilna i iznosi od 200 do 400 m (Slika 3-2; Polšak et al., 1978).

### 3.1.3. KREDA

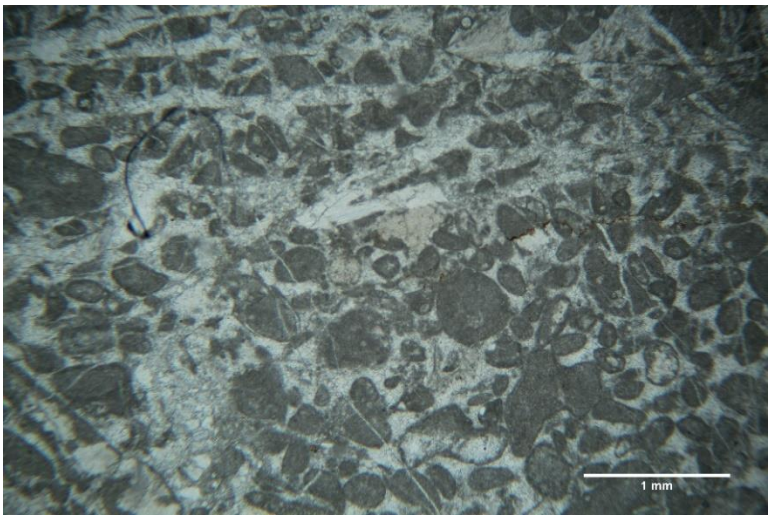
#### 3.1.3.1. Donja kreda (valendis–otriv ($K_1^{1+2}$) i barem–alb ($K_1^{3–5}$)) – *kalcilutiti i dolomitno-vapnenačke breče*

Naslage donje krede koje se nalaze na području od Seličkog vrha do Javornika obuhvaćaju uglavnom vapnence i dolomite, no prisutne su i rijetke pojave lapora. Veća količina dolomita sive i sivosmeđe boje, kristaliničnog izgleda pojavljuje se u vršnom dijelu donjokrednih naslaga. Vapnenac svijetlosive i sivosmeđe boje je dobroslojevit i uglavnom pripada kalcilutitima, dok manji dio pripada kalkarenitima. U obliku manjih leća na različitim razinama donje krede prisutne su dolomitno–vapnenačke breče, a njihova pojava povezana je sa završnim dijelom donje krede. Debljina breča je u rasponu 50–100 m. Donja kreda podijeljena je na jedinicu valendis–otriv ($K_1^{1+2}$), debljine 300–400 m i na jedinicu barem–alb ($K_1^{3–5}$), debljine 400–600 m (Slika 3-2). Prijelaz između jedinica je postupan, a obje su karakterizirane bogatom zajednicom mikrofosila. Naslage valendis–otriva sadrže bentičke foraminifere *Cuneolina composaurii*, zelene alge *Salpingoporella annulata, S. istriana, , a* naslage barem–alba karakteriziraju foraminiferske vrste *Cuneolina camposaurii, C. laurenti, Vercorsella scarsellai, Pseudolituonella conica, Orbitolina discoidea, C. pavonia parva, Nezzezata simplex,* alge *Salpingoporella dinarica, Thaumatoporella parvovesiculifera, Aeolisaccus inconstans, Bacinella irregularis* te fekalne pelete *Favreina salevensis* (Polšak et al., 1978).

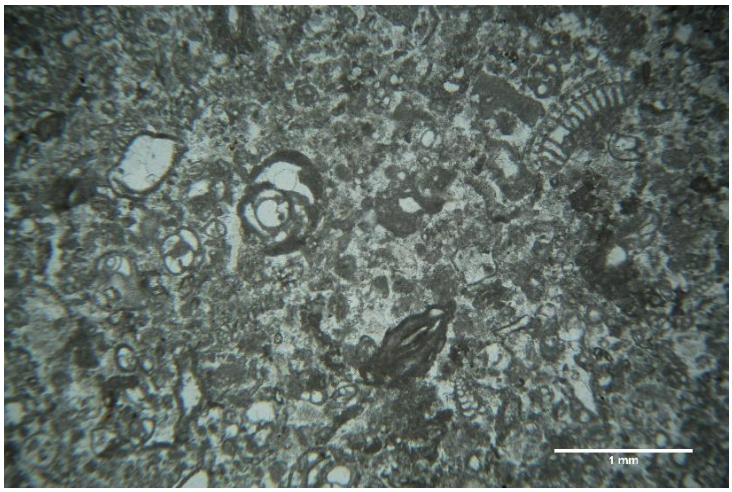
#### 3.1.3.2. Gornja kreda (cenoman–turon ($K_2^{1+2}$) i konijak–santon–kampan ($K_2^{3–5}$)) – *kalkareniti i biokalkareniti* (Slika 3-3)

Naslage gornje krede obuhvaćaju naslage cenomana i turona ($K_2^{1+2}$) na području kod Ličkog Petrovog sela te oko Prijeboja, kao i naslage konijaka, santona i kampana ($K_2^{3–5}$) na području koje se proteže od Rakovačke uvale preko Poljane, Rastovače te Plitvičkih jezera i Klokočevaca. Naslage cenomana i turona obuhvaćaju pretežno slojevite vapnence s uloščima dolomita. Vapnenci su svijetlosive do sivosmeđe boje, rijetko tamno sivi, a debljina

slojeva im varira, najčešće u rasponu 0,5–1,0 m. Među njima najčešći su kalkareniti i biokalkareniti, a pojava kalcilutita i bioakumuliranih vapnenaca je rjeđa. Vapnenci su bogati školjkašima *Chondrodonta joannae*, *Orthoptychus striatus*, *Praeradiolites fleuriausus*, *Biradiolites angulosus*, *Sauvagesia nicaisei*, *Durania gaensis*, *Bournonia* cf. *africana* i dr. Od mikrofosila česte su foraminifere (Slika 3-4) *Cuneolina pavonia parva*, *Nezzazata simplex*, *Pseudonummoloculina heimi* i *Pseudolituonella reicheli* te alge *Salpingoporella turgida*, *Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Decastronema* (*Aeolisaccus*) *kotori* i dr. Dolomit se nalazi unutar vapnenaca u obliku uložaka promjenljive debljine. Debljina naslaga cenomana i turona iznosi 500–700 m (Polšak et al., 1978).

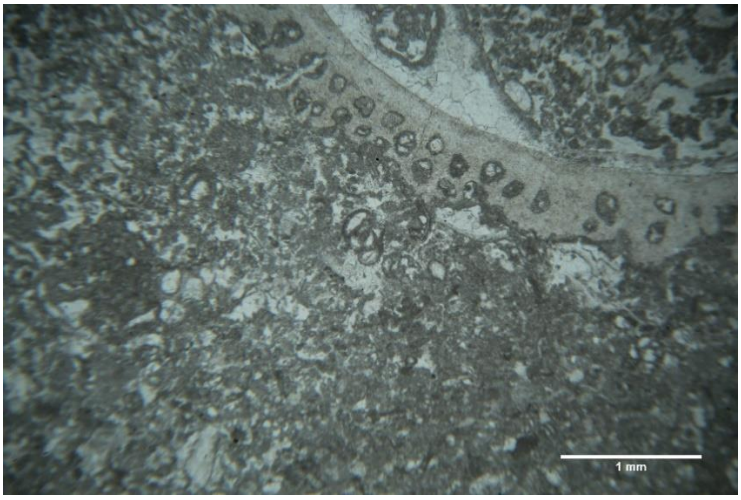



Slika 3-3. Mikrofotografija preparata uzorka PH-86. U mikroskopskom preparatu koji je intenzivno raspucan zrnastog vapnenca, dominantno vezivo je sparit sa sekundarnim pukotinama također ispunjenim sparikalcitom. Fosili u preparatu su teško prepoznatljivi uslijed intenzivne mikritizacije skeleta (vjerojatno foraminifera), a dominiraju intraklasti. Stijena je determinirana kao *grainstone* do *packstone*/intrasparit.




Slika 3-4. Mikrofotografija preparata uzorka PH-110. Vezivo je dominantno sparitno,djelomice mikritno. Prisutna je velika količina foraminifera (uglavnom miliolide i nezazate) različitih veličina te podređeno alge. Stijena je određena kao *grainstone*/biomikrit do biosparit.

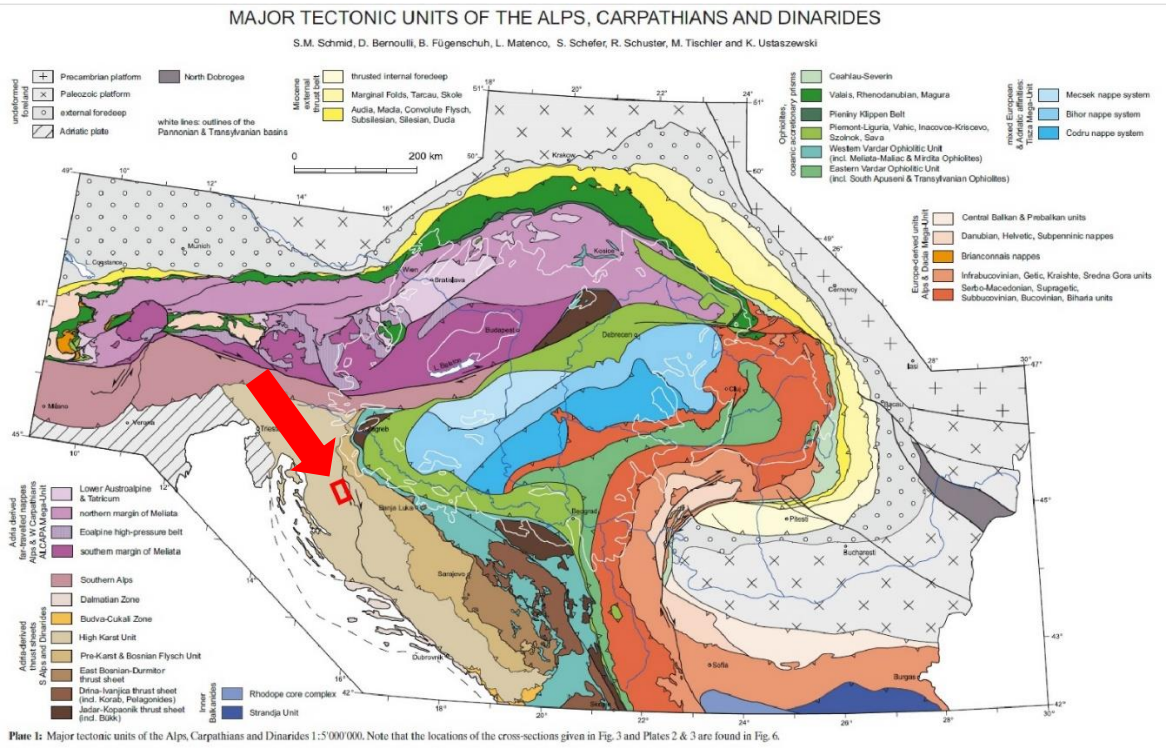
Naslage konijaka, santona i kampana sastoje se uglavnom od kalkarenita, biokalkarenita, kalcilutita te detritičnih bioakumuliranih vapnenaca u izmjeni (Slika 3-5). Mjestimično se pojavljuju pločasti, laminirani smeđi i crni bituminozni vapnenci zajedno s proslojcima rožnjaka. Utvrđene su brojne vrste rudista (Slika 3-5), a od mikrofosila značajne su bentičke foraminifere *Accordiella conica* i *Dicyclina schlumbergeri*. Debljina naslaga iznosi 600–800 m (Polšak et al., 1978).




Slika 3-5. Mikrofotografija preparata uzorka PH-113. Veliki dio izbruska zauzima mikritni matriks, prisutne su mikritizirane foraminifere, a od njih su najbrojnije sitne miliolide. Uz foraminifere prisutni su i fragmenti alga, te kršje rudista unutar sitnozrnastog matriksa. Fragmenti rudista su centimetarskih dimenzija, a prisutni fragmenti skeleta fosila ispunjeni su sparikalcitom. Stijena je determinirana kao floatstone do *grainstone*/biomikrudit do biomikrit.

## 3.2. TEKTONSKA EVOLUCIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

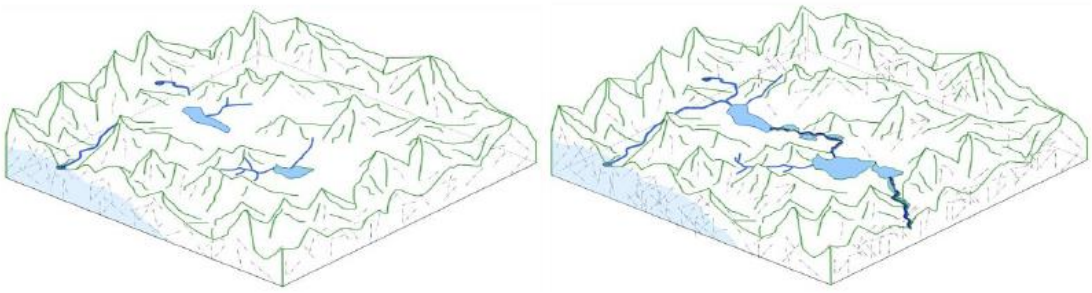
Na području Plitvičkih jezera koje pripada Vanjskim Dinaridima (Slika 3-6) izražena je rasjedna tektonika. Tek mjestimično su vidljivi ostaci starijih boranih struktura, pri čemu su veće strukture uglavnom dinaridskog pružanja, sjeverozapad–jugoistok (Ilijanić, 2006). Manji rasjedi koji se pojavljuju na području vrlo su različitog pružanja. Istraživano područje pripada sjeverozapadnom dijelu Dinarida koji čine borano–navlačni pojas nastao kao posljedica konvergencije Jadranske mikroploče i Euroazijske ploče (Pamić et al., 1998; Vlahović et al., 2005; Schmid et al., 2008 s referencama). Značajnija tektonska zbivanja odvijala su se u laramijskoj fazi krajem krede kojom su formirane blago borane strukture, a dominantni uzdužni rasjedi dinaridskog pružanja formirani su u pirenejskoj fazi tijekom eocena (Ilijanić, 2006). U kasnijim, mlađim fazama razvoja karakterističan je sustav poprečnih rasjeda koji su poremetili postojeće rasjede dinaridskog pružanja (Ilijanić, 2006). Tijekom paleogena kompresijski pokreti uzrokovali su izraženo boranje, a po završetku glavne kompresijske faze krajem oligocena na području Dinarida formiran je niz međugorskih bazena u miocenu obilježenih slatkovodnom jezerskom sedimentacijom. Recentno polje naprezanja na području Dinarida pod utjecajem je konvergentnog kretanja Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj ploči u rasponu od 3 do 4,5 mm/god. (Grenerczy et al., 2005; D'Agostino et al., 2008).




Slika 3-6. Tektonska građa područja Alpa, Karpata i Dinarida, s izdvojenim područjem NP Plitvička jezera (crveni pravokutnik; prema Schmid et al., 2008).

Proučavanjem strukturnih i stratigrafskih odnosa na području Plitvičkih jezera može se zaključiti da je njihov postanak usko vezan za sustav rasjeda i pukotina te izmjenu manje i više propusnih naslaga vapnenaca i dolomita trijaske, jurske i kredne starosti. Vodopropusna područja obilježena su pojavama krških morfoloških oblika (ponikve, ponori i sl.) uz podzemnu cirkulaciju vode koja se kreće sustavima rasjeda i pukotina.

Razvoj hidrološkog sustava također je uvjetovan i klimatskim promjenama tijekom kvartara. Geneza hidrološkog sustava Plitvičkih jezera započela je kad su početkom kvartara u Dinaridima formirana zatvorena jezera (Meaški, 2011). Izmjenom razdoblja glacijala i interglacijala tijekom kvartara postupno je dolazilo da razvoja krškog sustava cirkulacije, što je rezultiralo razvojem povremenih i stalnih riječnih tokova te sustava jezera (Slika 3-7). Kao posljedica erozije duž krških ponora formirana su jezera međusobno povezana slapovima, a upravo erozija i taloženje velike količine sedre su najvažniji čimbenici formiranja i održivosti sustava jezera.



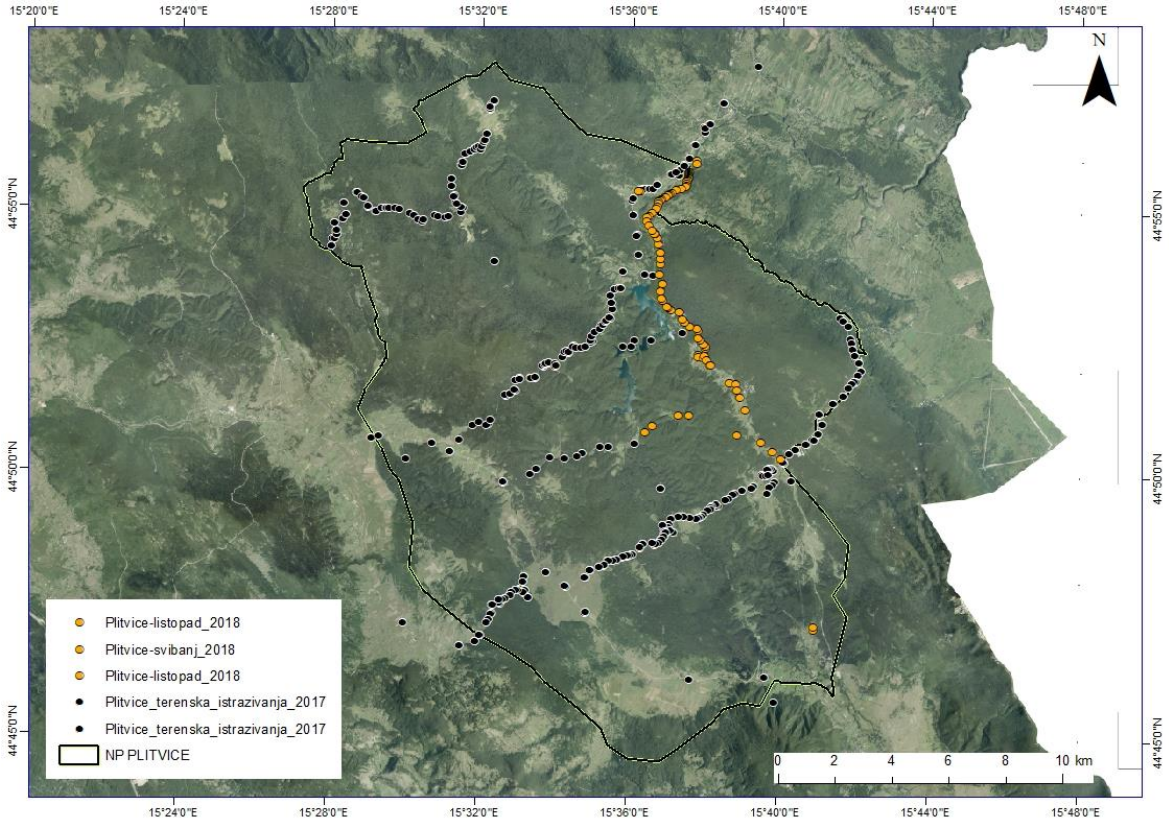
Slika 3-7. Model razvoja sustava Plitvičkih jezera. Na slici lijevo su izolirana jezera nastala početkom kvartara, a na slici desno izolirana jezera postaju sustav povezanih jezera kao posljedica erozije i otapanja (Meaški, 2011).

# 4. METODE ISTRAŽIVANJA

Izrada ovog diplomskog rada obuhvatila je pregled literature, izradu GIS projekta radi olakšane vizualizacije i analizu podataka prikupljenih tijekom terenskog rada. Nakon toga uslijedila je izrada pet geoloških profila poprečnih na geološke strukture područja istraživanja te je na temelju njih, kao krajnji rezultat, izrađen pojednostavljen strukturni model geološke građe područja istraživanja.

## 4.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Terenska istraživanja temeljena su na postojećim geološkim podacima odnosno na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100.000 listova Bihać (Polšak et al., 1976) i Otočac (Velić et al., 1970). Terenska istraživanja provedena su u okviru znanstveno-stručnog projekta *Sedimentologija, stratigrafija i strukturno-geološke značajke Plitvičkih jezera* u svrhu kojeg su od 2017. do 2018. godine prikupljane informacije o strukturnim, litološkim i stratigrafskim odnosima na širem području istraživanja. Prikupljanje podatka je obavljeno duž tri profila poprečna na strukture čija je ukupna duljina bila veća od 60 km. Tijekom terenskih istraživanja istraženo je sveukupno 356 točaka opažanja s obilježenim geografskim koordinatama. Opis terenskih točaka i izmjereni podaci zabilježeni su u terenskom dnevniku, a njihovi položaji prikazani su na Slici 4-1.



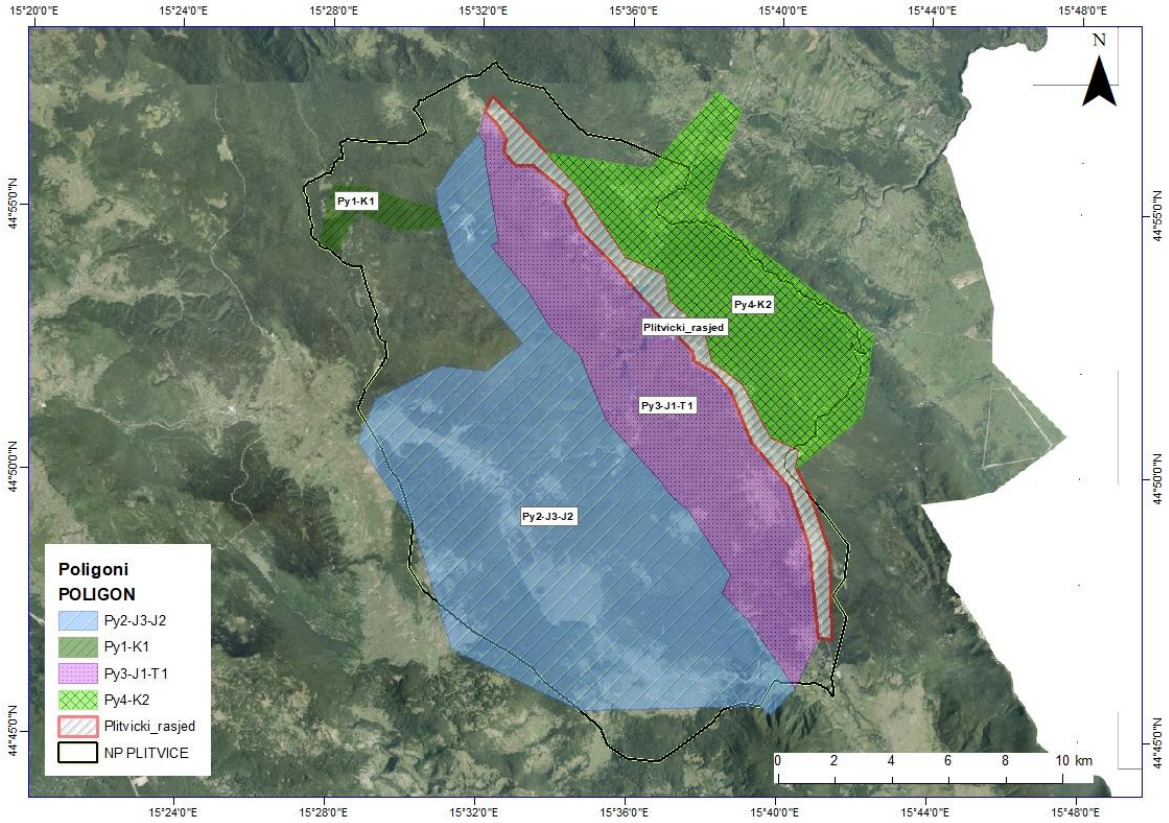

Slika 4-1. Položaj terenskih točaka na području istraživanja.

## 4.2. KABINETSKI RAD

U sklopu kabinetskog rada izrađena je GIS baza podataka i projekt, provedena je osnovna petrografska analiza prikupljenih uzoraka, provedena je strukturna analiza terenskih podataka uz izradu odgovarajućih stereografskih prikaza, konstruirano je pet geoloških profila poprečnih na strukture na području NPPJ te je izrađen pojednostavljen strukturni model geološke građe istraživanog područja.

### 4.2.1. IZRADA GIS BAZE PODATAKA

Radi olakšane vizualizacije i daljnje analize izrađena je GIS baza podataka odnosno GIS projekt u programu ESRI ArcMap 10.1. Svim terenskim točkama dodijeljena je točkasta tema, kojoj je pridružena informacija o oznaci točke, koordinatama, te vremenu bilježenja točke kao i osnovni terenski opis. Za prikaz izdvojenih strukturnih skupina u okviru kojih su analizirani prikupljeni podaci izdvojeno je ukupno pet poligona s oznakom skupine (Slika 4-2).




Slika 4-2. Prikaz poligona na području istraživanja.

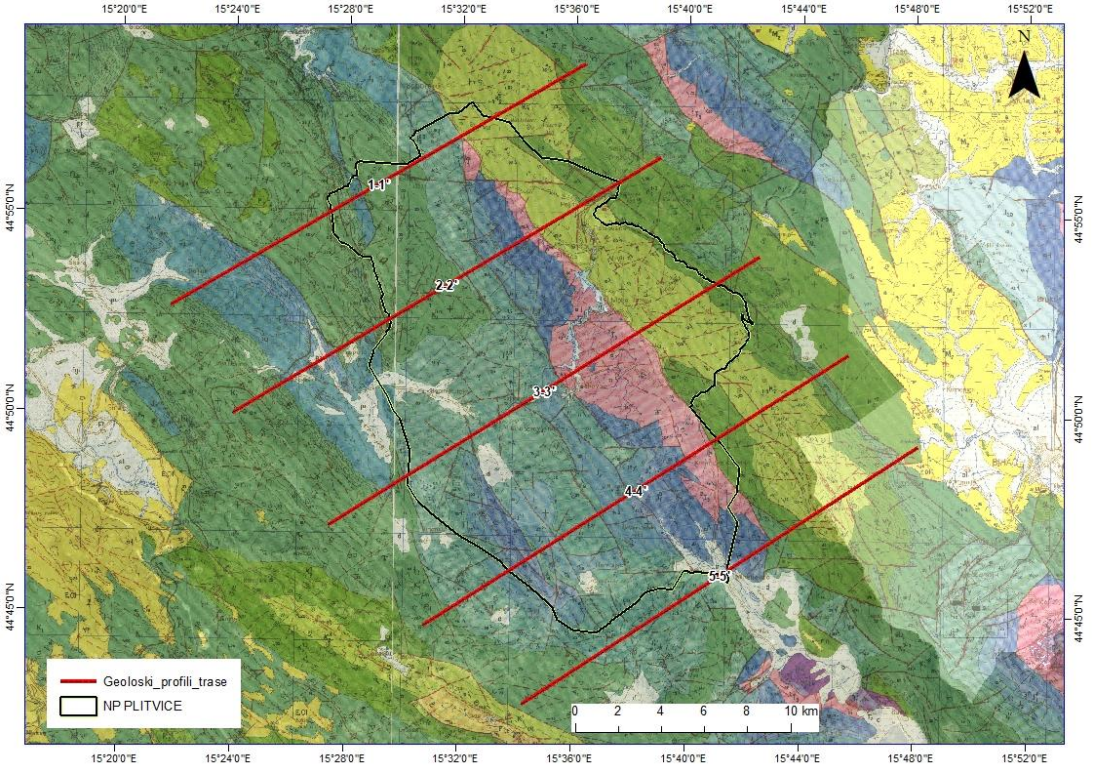
### 4.2.2. STRUKTURNA MJERENJA NA PODRUČJU NPPJ

Prikupljeni su podaci o orijentaciji slojeva, na nekim točkama i podaci o orijentaciji rasjednih ploha s ili bez orijentacije strija te odredbom pomaka po rasjedima. Na području istraživanja ukupan broj izmjerenih podataka slojevitosti bio je 249, dok su rasjedi izmjereni na 103 točke opažanja. Na temelju prikupljenih podataka slojevitosti određivana je orijentacija osi boranih struktura pomoću Stereonet softvera (Allmendinger, 2019), a provedena je i strukturna kinematska analiza i proračun orijentacije glavnih osi paleonaprezanja za kinematski kompatibilne skupine rasjeda/smičnih pukotina. Podaci su prikupljeni u stijenama jurske i kredne starosti i uglavnom vapnencima i dolomitima. Istraživano je područje podijeljeno na ukupno pet poligona na temelju broja terenskih mjerenja i stratigrafske pripadnosti. Izdvojeni poligoni obuhvaćaju donjojurske i trijaske naslage (Py3-J1-T1), srednjo– i gornjotrijaske karbonate (Py2-J3-J2), donjokredne karbonate (Py1-K1), gornjokredne karbonate (Py4-K2) te područje Plitvičkog rasjeda. Prikupljeni podaci prikazani su u tabličnom obliku te odgovarajućim stereografskim prikazom. Pomoću programa Stereonet 10 (Allmendinger, 2019) izrađeni su stereogrami

orijentacije slojevitosti te prikaz boranih struktura. Proračun glavnih vektora režima naprezanja, odnosno polja paleonaprezanja za izdvojene skupine rasjeda, izrađen je pomoću programskog paketa Tectonics FP (Ortner et al., 2002).

### 4.2.3. IZRADA GEOLOŠKIH PROFILA

Za izradu geoloških profila korišten je program Adobe Illustrator. Tom prilikom konstruirano je ukupno pet referentnih geoloških profila generalno poprečnih na pružanje struktura. Za strukture čija pružanja nisu bila poprečna na pružanje trasa profila proračunati su prividni kutovi nagiba. U izradi geoloških profila korišteni su prvenstveno podaci prikazani na OGK lista Bihać (Polšak et al., 1976) te strukturno-stratigrafski podaci prikupljeni u sklopu terenskih istraživanja, međutim konzultirani su i OGK listova Otočac (Velić et al., 1970) te Gospić (Sokač et al., 1974). Položaj izrađenih geoloških profila prikazana je na Slici 4-3. Debljine litostratigrafskih jedinica preuzete su iz tumača Osnovne geološke karte SFRJ lista Bihać (Polšak et al., 1978).




Slika 4-3. Položaji trasa konstruiranih geoloških profila na području NPPJ.

### 4.2.4. IZRADA STRUKTURNO-GEOLOŠKOG MODELA PODRUČJA NPPJ

Kako bi se što bolje razumjela tektonska evolucija područja NPPJ i prikazala geološka građa istraživanog područja izrađen je 3D strukturni model istraživanog područja (Slika 5-22 i 5-23), a u tu svrhu korišteni su konstruirani poprečni geološki profili. Prilikom izrade strukturnog modela osim konstruiranih geoloških profila korištena je i georeferencirana geološka karta OGK lista Bihać, prikupljeni terenski strukturni podaci te digitalni model reljefa (DMR). Međusobnim preklapanjem ulaznih podataka definirano je površinsko rasprostiranje litostratigrafskih jedinica na području istraživanja te njihovi strukturni odnosi (Slika 5-21). Strukturno modeliranje je provedeno pomoću programskog paketa „Move“ (Midland Valley).

# 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na temelju prikupljenih podataka napravljena je podjela u ukupno pet poligona (Slika 4-2) te su za svaki od tih poligona iz podataka slojevitosti na području istraživanja napravljene stereografske projekcije orijentacije slojevitosti te je određena i orijentacija osi boranih struktura pomoću računalnog programa Stereonet (Allmendinger, 2019). Ujedno, prikupljeni podaci o rasjedima svrstani su u odgovarajuće skupine s obzirom na geometrijska obilježja i kinematsku kompatibilnost te je za svaku pojedinu skupinu pomoću softvera Tectonics FP (Ortner et al., 2002) napravljen proračun orijentacije glavnih osi polja naprezanja. U daljnjem kabinetskom radu na temelju prikupljenih terenskih strukturno-stratigrafskih podataka te postojećih geoloških podataka koji su prikazani na OGK listova Bihać (Polšak et al., 1976), Otočac (Velić et al., 1970) i Gospić (Sokač et al., 1974) izrađeno je pet geoloških profila pružanja SI–JZ ukupne duljine od 114,1 kilometar. Na temelju konstruiranih geoloških profila u završnom koraku je izrađen pojednostavljeni 3D geološki model istraživanog područja, pri čemu je korišten programski paket MOVE (Midland Valley Inc.).

## 5.1. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA

Slojevitost je primarno obilježje sedimentnih stijena i ključni je element prilikom rekonstrukcije geološke građe područja. Strukturnim istraživanjima na području NP Plitvička jezera prikupljeni su strukturni podaci o orijentacijama slojevitosti koje su većinom dinaridskog pružanja, odnosno pružanja SZ–JI, s nagibom prema SI ili JZ. Prema izmjerenim orijentacijama uočeno je da su strukture borane, odnosno uočene su antiklinale i sinklinale s osnim plohama pružanja 135–315° uz manje otklone.

Rasjedi nastaju kao posljedica djelovanja diferencijalnog naprezanja u Zemljinoj kori pri čemu dolazi do premašivanja posmične čvrstoće stijena i njihovog sloma, a kao rezultat toga vidljiva je translacija stijenskih blokova koje nazivamo rasjednim krilima. Rasjedi predstavljaju diskontinuitete te znatno utječu na cirkulaciju voda i proces okršavanja te formiranje krških oblika.

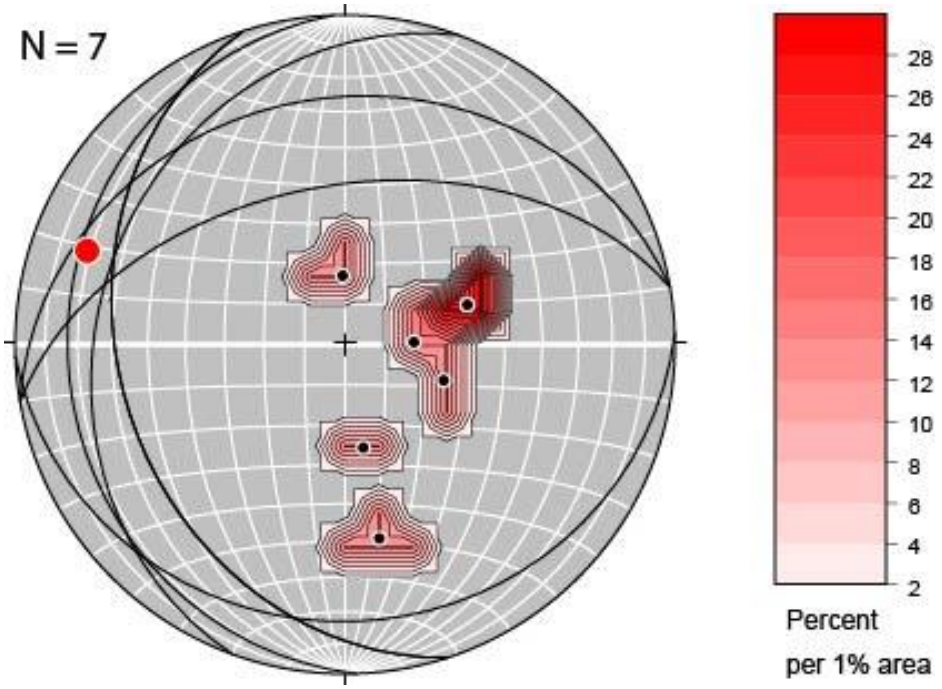
Na području istraživanja u NP Plitvička jezera izmjereno je ukupno 104 rasjednih ploha/smičnih ploha u gornjokrednim vapnencima i donjotrijaskim dolomitima. Mjerenja su obuhvatila područja poligona Py4-K2 i poligona Plitvičkog rasjeda, što je prikazano na Slici 4-2. Nadalje, u sklopu terenskih istraživanja mjerene su i orijentacije strija te stepeničastih agregata kalcita koji predstavljaju tragove smicanja. Mjerena veličina pomaka stijenskih blokova na izdancima je između nekoliko desetaka centimetara i nekoliko metara. U Tablici 5-1 prikazane su skupine rasjeda te podjela na podskupine zajedno s podacima o orijentaciji smičnih ploha, lineaciji strija te proračunatim orijentacijama P i T osi za pojedinu skupinu rasjeda.

Tablica 5-1. Glavni geometrijski podaci rasjednih ploha na području NP Plitvička jezera. Oznake skupina: G4_R – reversni rasjedi poligon Py4-K2; G4_N – normalni rasjedi poligon Py4-K2; G4_SS – strike-slip rasjedi poligon Py4-K2; GPR_R1 – reversni rasjedi poligon Plitvički rasjed, skupina 1; GPR_R2 – reversni rasjedi poligon Plitvički rasjed, skupina 2; GPR_N – normalni rasjedi poligon Plitvički rasjed; GPR_SS – strike-slip rasjedi poligon Plitvički rasjed.

| Skupina rasjeda | Podskupina rasjeda | Broj podataka | Smjer nagiba (°) | Kut nagiba (°) | Ls (°) | Karakter rasjeda | Lineacija strija | | P os | | T os | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Smjer nagiba (°) | Kut nagiba(°) | Smjer nagiba(°) | Kut nagiba (°) | Smjer nagiba (°) | Kut nagiba (°) |
| **G4_R** | RR1 | 7 | 29 | 50 | 90 | R | 29 | 50 | 76 | 09 | 269 | 81 |
| | RR2 | 12 | 233 | 25 | 90 | | 233 | 25 | | | | |
| | RR3 | 10 | 309 | 45 | 68 | | 256 | 45 | | | | |
| **G4_N** | NR1 | 2 | 15 | 68 | 45 | N | 84 | 41 | 332 | 85 | 80 | 02 |
| | NR2 | 2 | 170 | 55 | 90 | | 170 | 55 | | | | |
| | NR3 | 1 | 228 | 46 | 90 | | 228 | 46 | | | | |
| **G4_SS** | SS1 | 11 | 206 | 75 | 15 | S-S | 292 | 14 | 161 | 07 | 69 | 14 |
| | SS2 | 8 | 250 | 85 | 10 | | 161 | 10 | | | | |
| | SS3 | 4 | 172 | 75 | 12 | | 85 | 12 | | | | |
| | SS4 | 3 | 295 | 80 | 22 | | 209 | 22 | | | | |
| **GPR_R1** | RR1 | 15 | 218 | 80 | 90 | R | 218 | 80 | 42 | 05 | 278 | 81 |
| | RR2 | 1 | 187 | 74 | 90 | | 187 | 74 | | | | |
| **GPR_R2** | RR3 | 5 | 306 | 45 | 40 | R | 5 | 27 | 125 | 04 | 9 | 81 |
| | RR4 | 9 | 260 | 30 | 90 | | 260 | 30 | | | | |
| **GPR_N** | NR1 | 4 | 214 | 80 | 90 | N | 214 | 80 | 99 | 75 | 245 | 13 |
| | NR2 | 1 | 306 | 70 | 67 | | 255 | 60 | | | | |
| **GPR_SS** | SS1 | 1 | 64 | 80 | 8 | S-S | 4 | 8 | 245 | 10 | 153 | 13 |
| | SS2 | 4 | 278 | 85 | 8 | | 189 | 8 | | | | |
| | SS3 | 3 | 290 | 68 | 35 | | 215 | 32 | | | | |
| | SS4 | 1 | 202 | 80 | 25 | | 117 | 25 | | | | |

### 5.1.1. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py1-K1 (Slika 5-1)

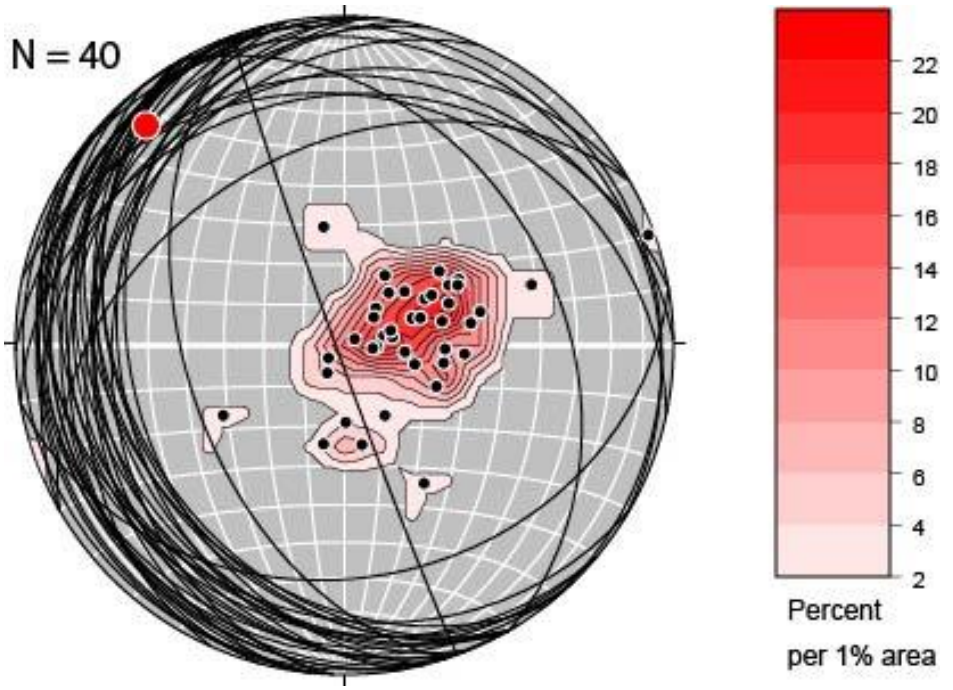
Na području istraživanja donjokrednih naslaga obuhvaćenom poligonom Py1-K1 (Slika 4-2) iz ukupno sedam izmjerenih podataka o slojevitosti može se zaključiti da su slojevi nagnuti većinom prema jugozapadu i sjeverozapadu uz uglavnom male kutove nagiba, prosječno 20-ak stupnjeva. Os bore ukazuje da borana struktura umjereno tone prema sjeverozapadu 290/18 (Slika 5-1).




Slika 5-1. Orijentacija mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py1-K1 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Os bore označena je crvenom točkom, a oznaka N označava broj mjerenih podataka.

### 5.1.2. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py2-J2-J3 (Slika 5-2)

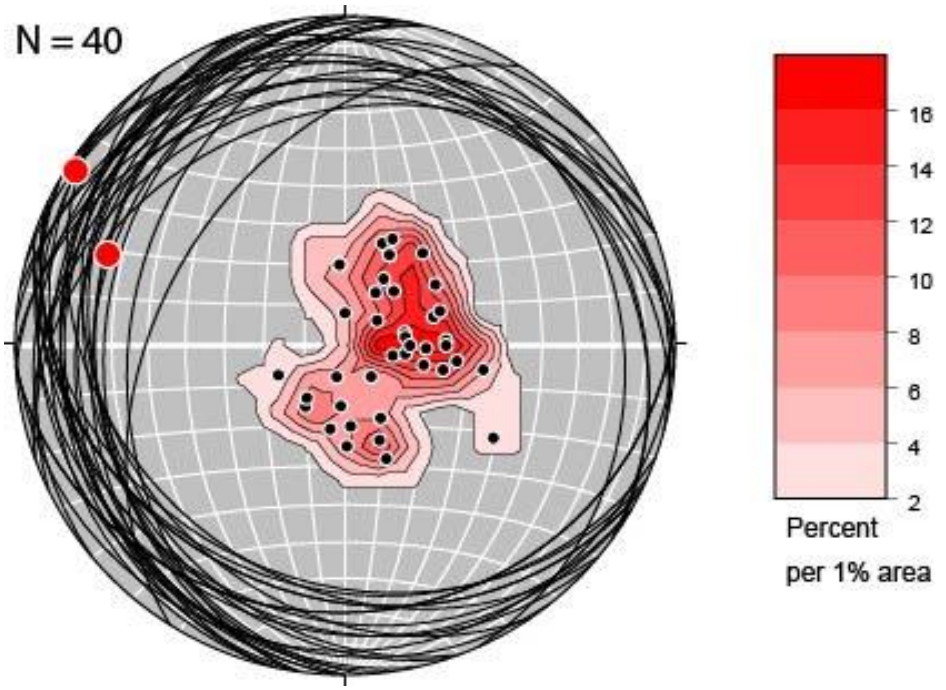
Na području istraživanja srednje do gornjojurskih naslaga obuhvaćenom poligonom Py2-J2-J3 (Slika 4-2) iz ukupno 40 izmjerenih podataka o slojevitosti može se zaključiti da su slojevi nagnuti većinom prema jugozapadu i sjeveroistoku uz uglavnom male kutove nagiba od 20-ak stupnjeva. Os bore ukazuje da ona umjereno tone prema sjeverozapadu 318/11 (Slika 5-2).




Slika 5-2. Orijentacija mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py2-J2-J3 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Os bore označena je crvenom točkom, a oznaka N označava broj mjerenih podataka.

### 5.1.3. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py3-J1-T1 (Slika 5-3)

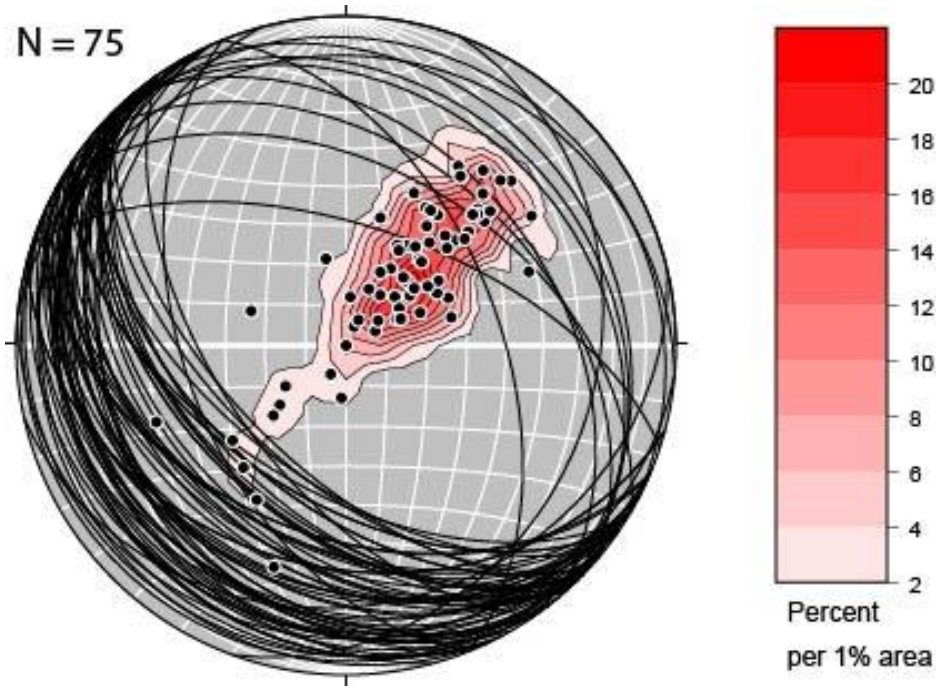
Izdvojeni poligon donjojurskih i donjotrijaskih naslaga Py3-J1-T1 (Slika 4-2) sadrži ukupno 40 mjerenih podataka orijentacije slojevitosti koji ukazuju na male kutove nagiba i generalni nagib prema jugozapadu (258/15 i 210/19) te sjeverozapadu (340/25) i sjeveroistoku (33/18). Proračun osi bora ukazuje na blage bore čije osi tonu prema sjeverozapadu 291/24 i 303/3 (Slika 5-3).



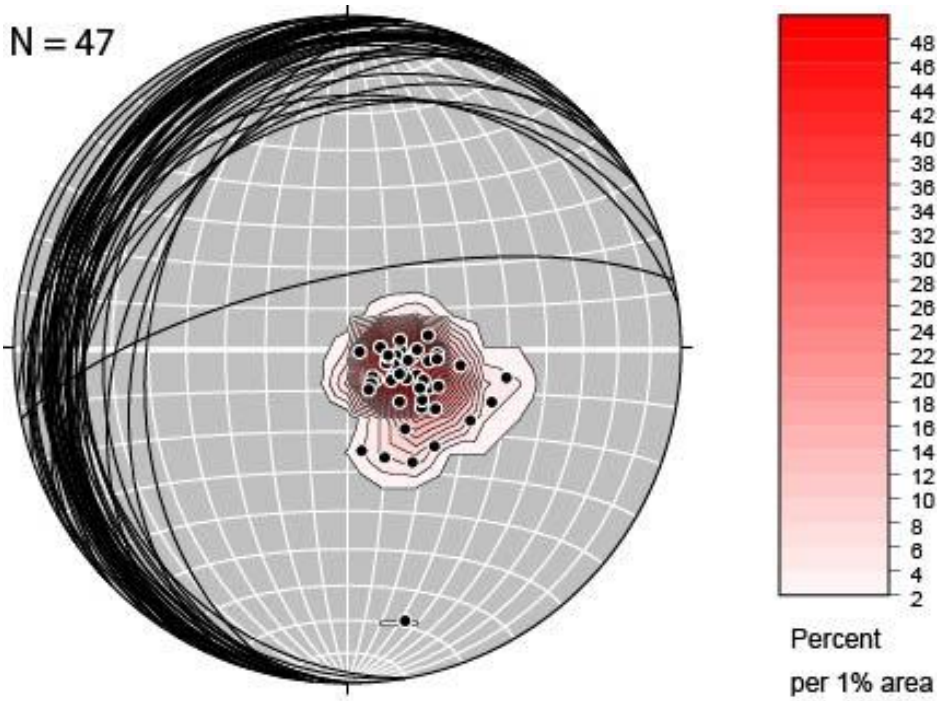

Slika 5-3. Orijentacija mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py3-J1-T1 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Osi bora označene su crvenim točkama, a oznaka N označava broj mjerenih podataka.

### 5.1.4. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU Py4-K2 (Slike 5-4, 5-5, 5-6, 5-7, 5-8 i 5-9)

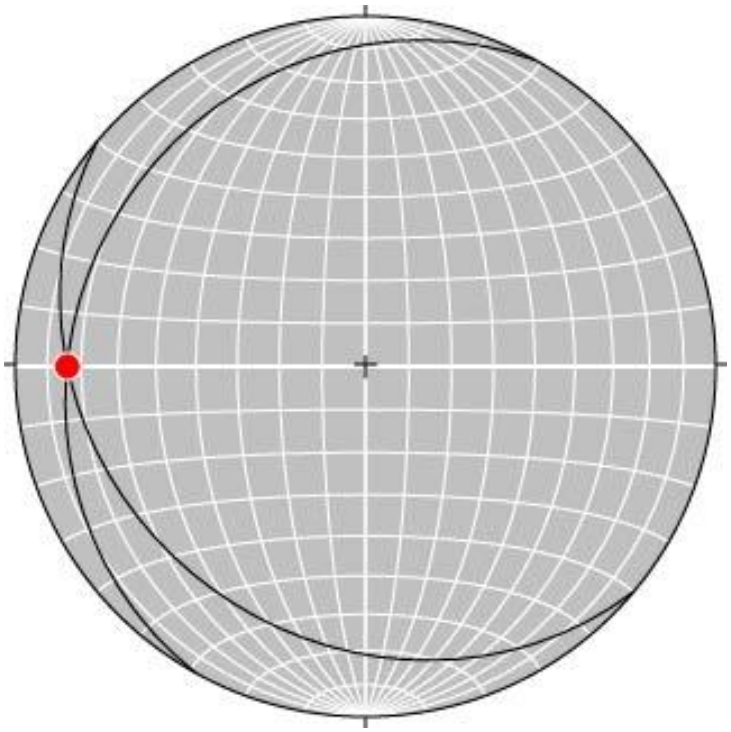
U sjeveroistočnom dijelu NP Plitvička jezera nalazi se poligon Py4-K2 (Slika 4-2) koji obuhvaća naslage gornje krede, te se na temelju 122 mjerenja orijentacije slojevitosti može zaključiti da je nagib slojevitosti generalno prema sjeverozapadu (295/20) te prema jugozapadu (212/54) uz relativno blage kutove nagiba, prosječno do 28°. Radi preglednosti mjerene slojevitosti su podijeljene u dvije skupine (Slike 5-4 i 5-5) te je os bore prikazana zasebno na Slici 5-6.




Slika 5-4. Orijentacija 75 mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py4-K2 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka.

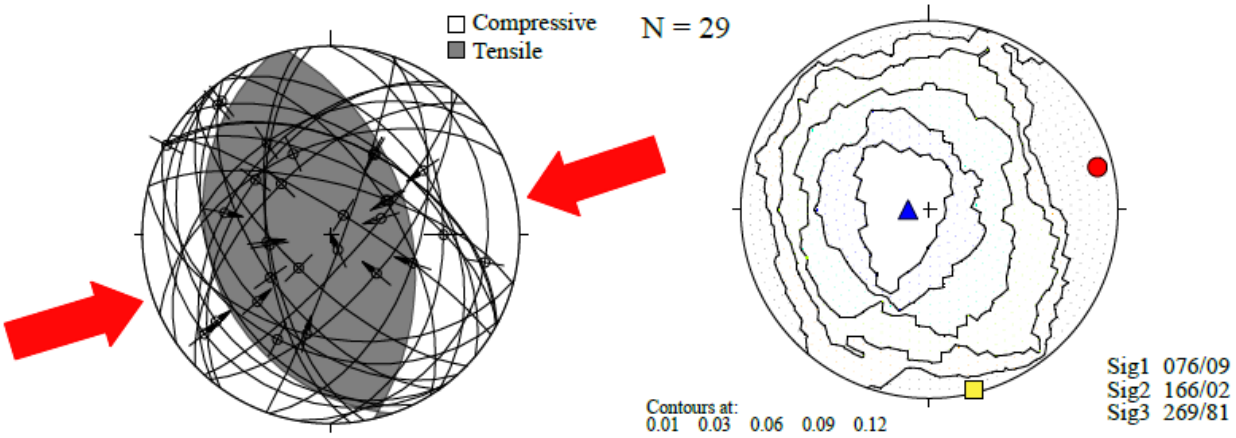



Slika 5-5. Orijentacija 47 mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Py4-K2 prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka.

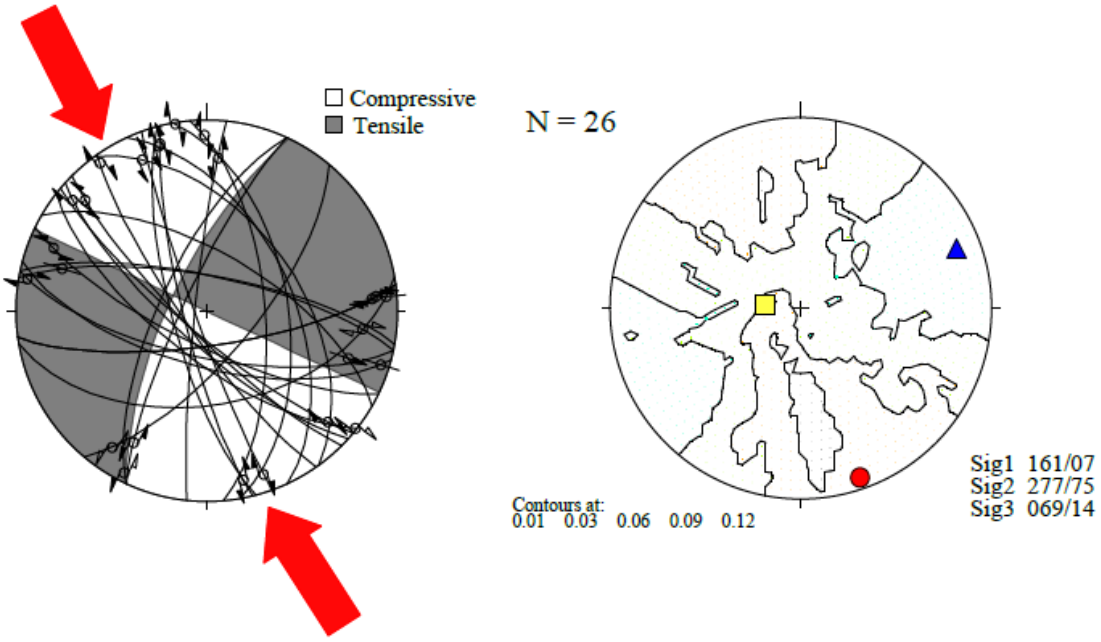


Slika 5-6. Os bore označena crvenom točkom proračunata za mjerene orijentacije slojevitosti poligona Py4-K2.

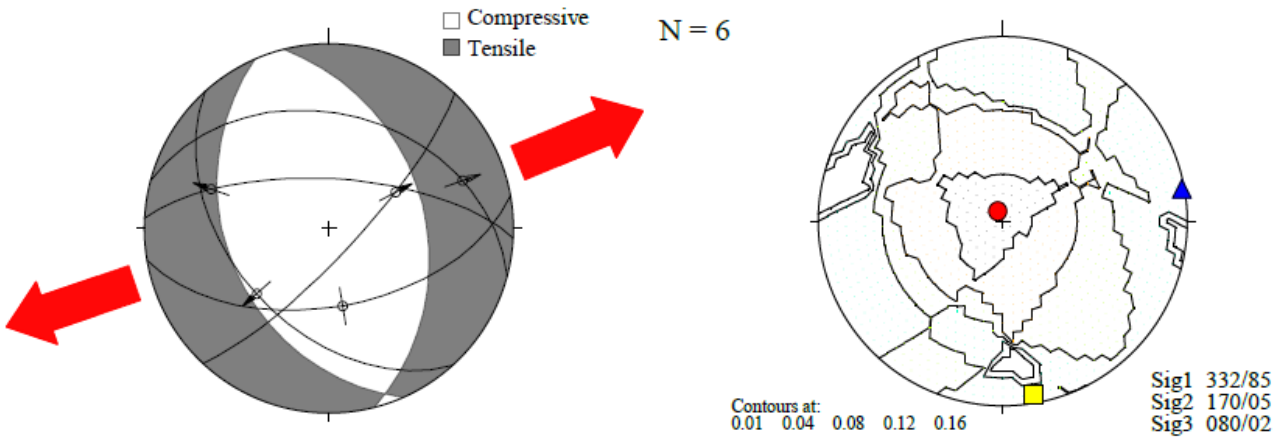
Poligon Py4-K2 (Slika 4-2) sadrži ukupno 59 mjerenja orijentacije rasjednih/smičnih ploha, od čega su dominantno reversni rasjedi (29 mjerenja), pružanja SZ–JI, s uglavnom strmim nagibom prema jugozapadu i sjeveroistoku (Slika 5-7). Nastali su kao posljedica kompresijskog polja naprezanja, čija je os bila orijentirana ISI–ZJZ. Drugi po brojnosti su lijevi i desni rasjedi s horizontalnim pomakom (25 mjerenja) čije su plohe generalnog pružanja SZ–JI i SI–JZ, pri čemu je najveća os naprezanja orijentacije SZ–JI (Slika 5-8). Najmanje zastupljeni unutar ove skupine su normalni konjugirani rasjedi (pet mjerenja) pružanja SZ–JI s nagibom prema JZ i SI pod kutom od prosječno 45° (Slika 5-9). Proračun ukazuje da im je najveća os naprezanja orijentirana vertikalno, a ekstenzija SI–JZ.




Slika 5-7. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja reversnih rasjeda izmjerenih u području poligona Py4-K2.



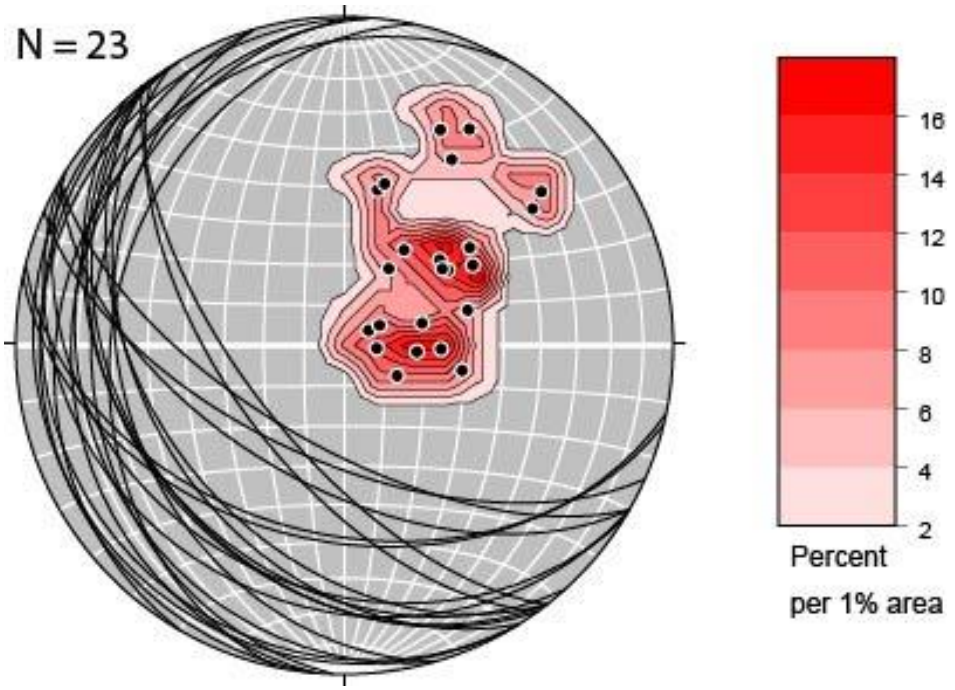

Slika 5-8. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja strike-slip rasjeda izmjerenih u području poligona Py4-K2.



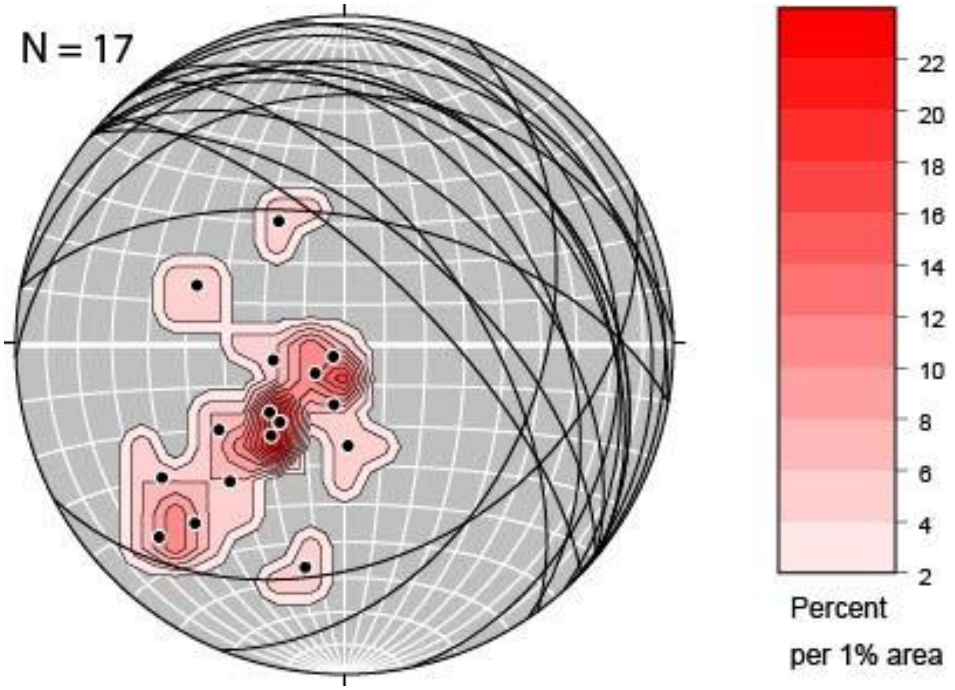

Slika 5-9. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja normalnih rasjeda izmjerenih u području poligona Py4-K2.

### 5.1.5. REZULTATI STRUKTURNIH MJERENJA U POLIGONU ZONE PLITVIČKOG RASJEDA (Slike 5-10, 5-11, 5-12, 5-13, 5-14 i 5-15)

U području Plitvičkog rasjeda (Slika 4-2) ukupno je izmjereno 40 orijentacija slojevitosti u gornjokrednim vapnencima te gornjotrijaskim dolomitima. Mjereni podaci ukazuju na boranu strukturu s plohama nagiba prema sjeveroistoku (39/29) i jugozapadu (234/60) s prosječnim kutom nagiba oko 40°, tako da je u usporedbi s ostalim izdvojenim skupinama kut nagiba nešto veći. Osne plohe bora pružanja su SZ–JI, a proračunata os bore je 313/3. Radi preglednosti mjerene slojevitosti su podijeljene u dvije skupine (Slike 5-10 i 5-11)




Slika 5-10. Orijentacija 23 mjerene slojne površine u naslagama poligona Plitvički rasjed prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka.



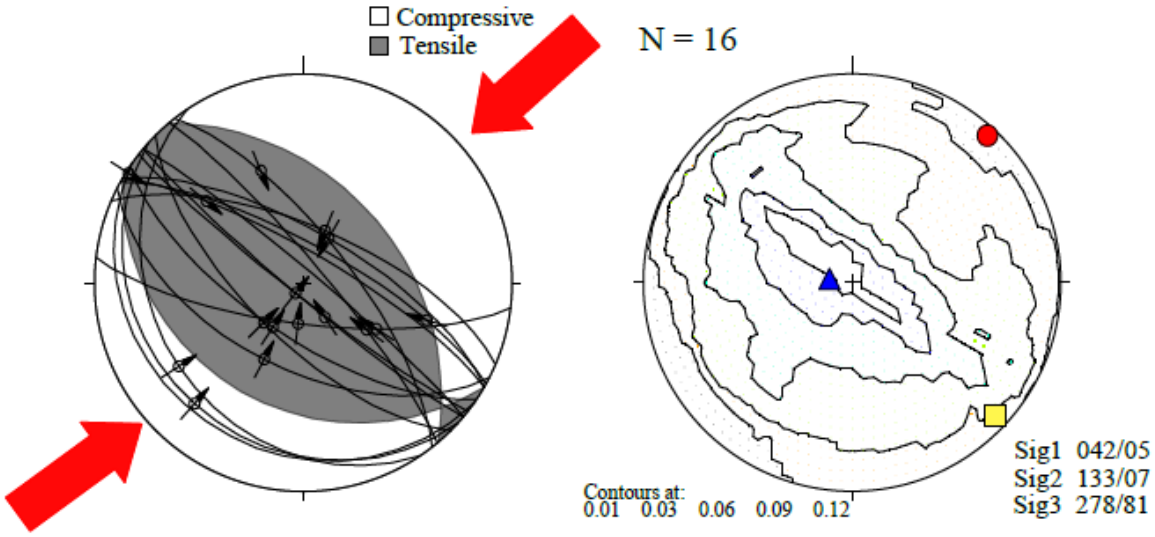

Slika 5-11. Orijentacija 17 mjerenih slojnih površina u naslagama poligona Plitvički rasjed prikazanih tragovima ravnina u stereografskoj projekciji. Oznaka N označava broj mjerenih podataka.

Poligon koji obuhvaća skupinu Plitvički rasjed (Slika 4-2) sadrži ukupno 44 mjerenja rasjednih/smičnih ploha. U zoni Plitvičkog rasjeda terenska istraživanja ukazala su na

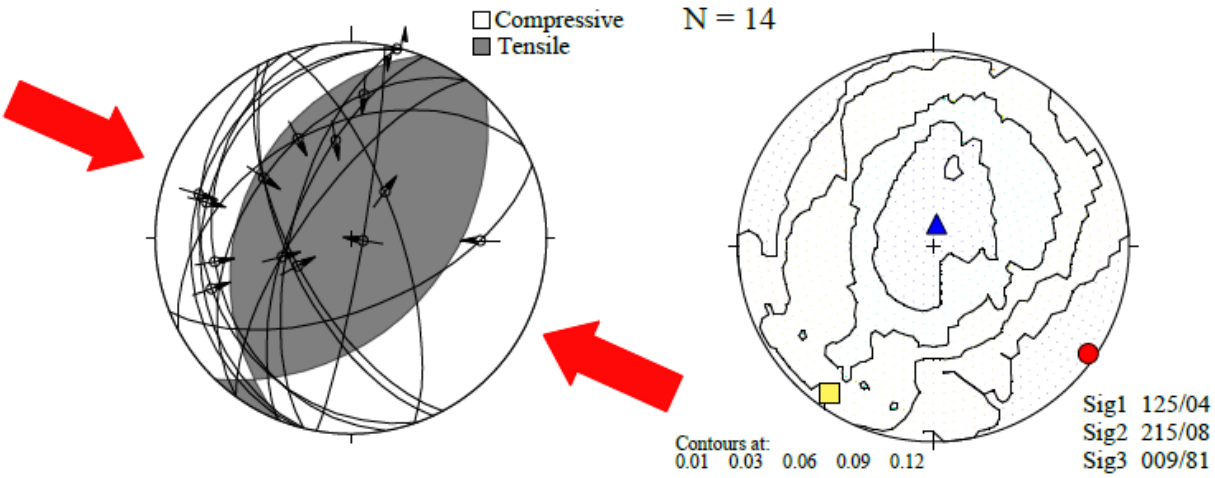
dominantnu prisutnost reversnih rasjeda (30 mjerenja), pružanja SZ–JI s kutom nagiba između 25° i 85° prema jugozapadu i sjeveroistoku (Slike 5-12 i 5-13). Mjerenja pokazuju sličnosti s mjerenjima u gornjokrednim naslagama poligona Py4-K2 (Slika 4-2). Reversni rasjedi su nastali u kompresijskom polju naprezanja, pri čemu je najveća os naprezanja orijentirana SI–JZ.

Sljedeća skupina po brojnosti sadrži ukupno devet mjerenja i odnosi se na skupinu lijevih i desnih rasjeda s horizontalnim pomakom koji čine konjugirane parove rasjeda nastalih u transpresijskom/transtenzijskom polju naprezanja. Rasjedne/smične plohe generalnog su pružanja SSI–JJZ i ZSZ–IJI, a najveća os naprezanja orijentacije je SI–JZ (Slika 5-14).

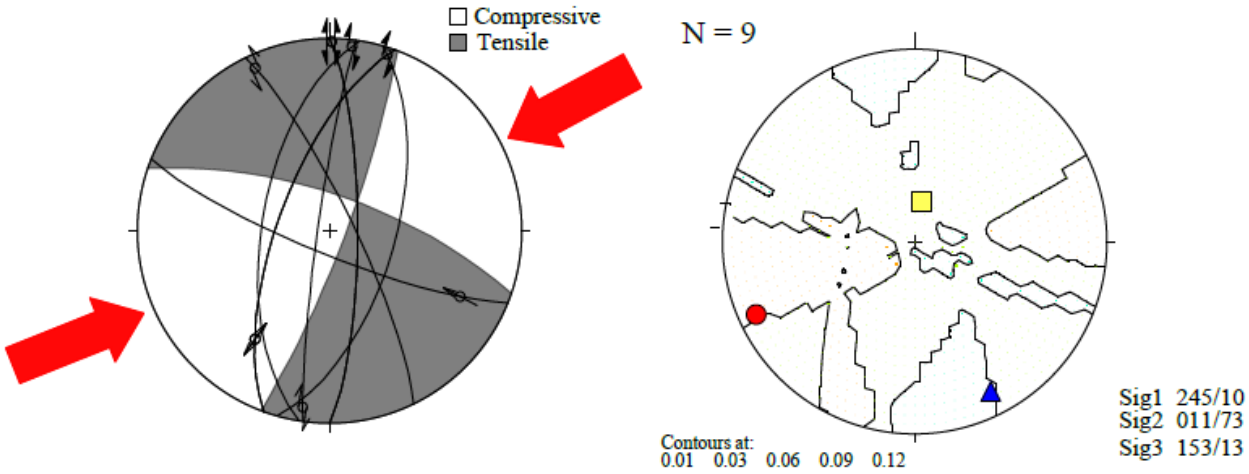
Treća izdvojena skupina obuhvaća skupinu normalnih rasjeda (pet mjerenja) čije su rasjedne/smične plohe pružanja SZ–JI, sa strmim kutom nagiba prosječno 80° prema SI–JZ (Slika 5-15).



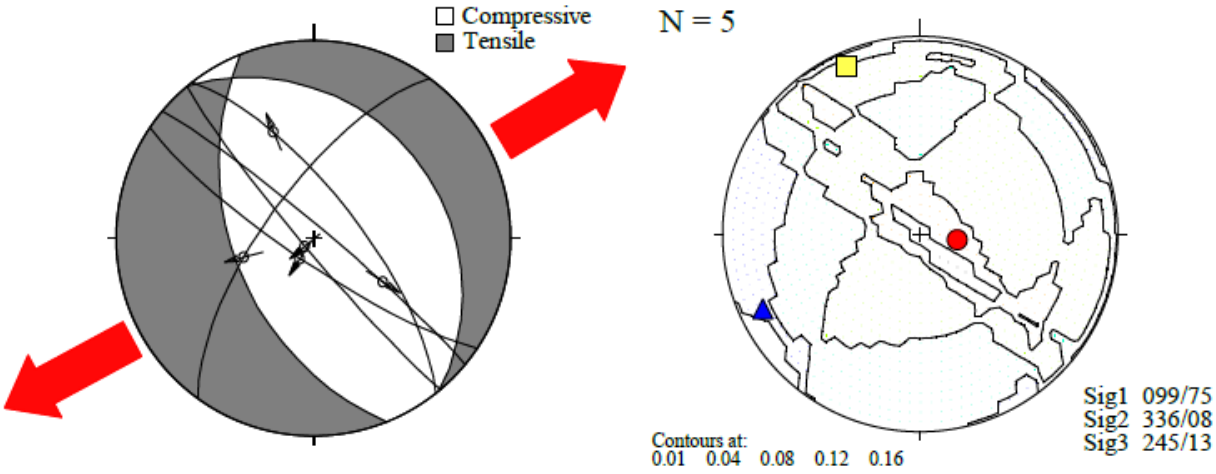

Slika 5-12. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja reversnih rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed.




Slika 5-13. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja reversnih rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed.




Slika 5-14. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja strike-slip rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed.




Slika 5-15. Stereografska projekcija orijentacije i vektora pomaka rasjeda i smičnih pukotina duž pružanja normalnih rasjeda izmjerenih u području poligona Plitvički rasjed.

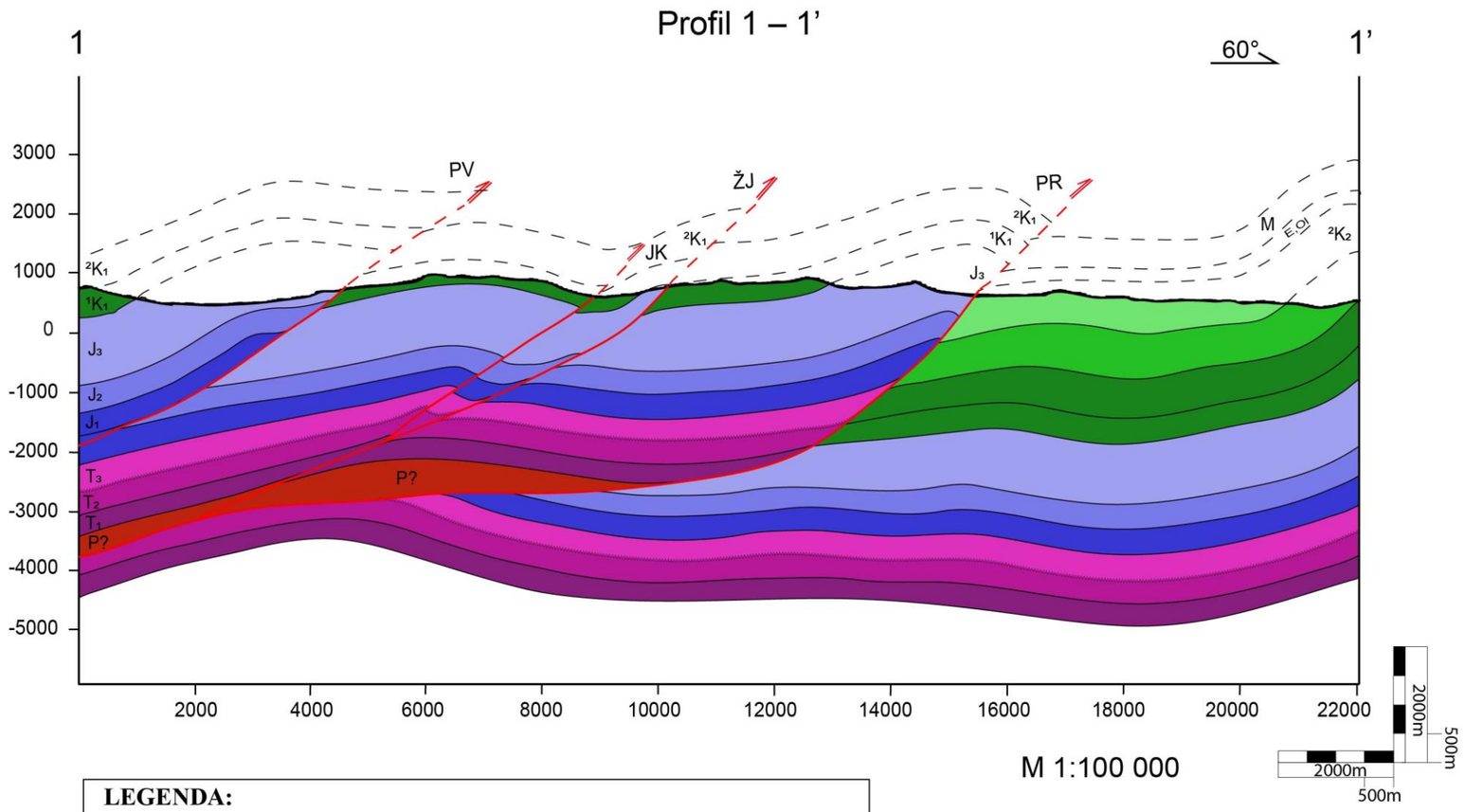
## 5.2. GEOLOŠKI PROFILI NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA

U svrhu opisa strukturne građe šireg područja NPPJ konstruirano je ukupno pet geoloških profila (Slika 4-3). Kako bi se pojednostavila izrada geoloških profila kartirane jedinice udružene su u jedinstvene jedinice donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa, te donje, srednje i gornje jure, a naslage kredne starosti podijeljene su u dvije donjokredne ($^1K_1$ i $^2K_1$) i dvije gornjokredne jedinice ($^1K_2$ i $^2K_2$). Konstruirani geološki profili ukazuju na sličnost geološke građe na širem području istraživanja, pri čemu su nagibi slojeva podjednakih vrijednosti, a kartirani rasjedi protežu se generalno SZ–JI. Plitvički rasjed, koji je glavna rasjedna struktura u području istraživanja prikazan je na svim geološkim profilima. Na konstruiranim geološkim profilima vidljiv je niz antiklinala i sinklinala koje su generalno nastale u istom, kompresijskom polju naprezanja, pri čemu je glavna os naprezanja generalnog pružanja SI–JZ. Konstruirani profili obuhvaćaju naslage starosti u rasponu od donjeg trijasa do gornje krede, a pretežno su to izmjene vapnenaca i dolomita, dok se u srednjem i donjem trijasu uz vapnence i dolomite nalaze i pješčenjaci. S obzirom da su naslage perma izgrađene dominantno od izmjene dolomita s lećama vapnenaca te konglomerata, pješčenjaka i škriljavaca koje mogu predstavljati dekolmanski horizont, za očekivati je da je glavni dekolman u permskim naslagama. Permske naslage debljine otprilike 1200 m utvrđene su na susjednom listu Gospić (Sokač et al., 1974). Na svakom od profila iznad površine je projiciran slijed naslaga koji izostaje kao rezultat erozijskih procesa.

### 5.2.1. GEOLOŠKI PROFIL 1–1'

Profil 1–1' (Slike 4-3 i 5-16) najsjeverniji je poprečni geološki profil na području istraživanja. Azimuta profila je 60°, a pružanje mu je od jugozapada prema sjeveroistoku te je tako postavljen poprečno na prisutne strukture. Profil obuhvaća četiri reversna rasjeda pružanja sjeverozapad–jugoistok, od kojih je najstrmiji ujedno i najvažniji, Plitvički rasjed. Plitvički se rasjed proteže kroz cijelo područje istraživanja, ukupne je duljine preko 30 km, pružanja je sjeverozapad–jugoistok te ima najveći skok u usporedbi s preostalim rasjedima na profilu, odnosno na profilu 1–1' procijenjeni skok uz rasjed iznosi otprilike 2200 m. Glavni rasjed nagiba je 45°, dok preostali rasjedi imaju nagib koji je nešto blaži, u rasponu su od 30 do 40°. Od jugozapadnog dijela profila na površini se prostiru naslage donjokredne te zatim gornjojurske starosti, dok se na krajnjem sjeveroistočnom dijelu na površini ponovno nalaze karbonatne naslage gornjokredne starosti. Na rasjedu Petrinić polje–Vrhovinsko polje procijenjen je vertikalni skok od približno 800 m, na rasjedu Jurjeva draga–Kozjari je veličina skoka od otprilike 90 m, dok na rasjedu Ž. st. Javornik veličina vertikalnog pomaka iznosi otprilike 630 m.

Duž profila vidljiv je i niz antiklinala i sinklinala uzrokovanih kompresijskim režimom naprezanja, pri čemu se može pretpostaviti da je glavna os naprezanja bila orijentirana generalno sjeveroistok–jugozapad. Naslage na površini uglavnom obuhvaćaju vapnence i dolomite, a nagibi slojeva strmiji su uz same rasjede, te se ublažavaju idući prema sjeveroistočnom dijelu iza Plitvičkog rasjeda. Može se pretpostaviti da glavne dekolmanske horizonte na području NPPJ čine kontakti klastičnih naslaga s dominantno karbonatnim stijenama. Zato je pri definiranju geometrije rasjednih ploha pretpostavljeno da su kartirani rasjedi nastali na kontaktu klastičnih paleozojskih i trijaskih karbonatnih naslaga te na kontaktu donjojurskih mrljastih, glinovitih vapnenaca sa srednjojurskim masivnim karbonatima (Slika 3-2). Strukturni model nastanka strukture NPPJ predstavlja sustave antiklinala i sinklinala koji su genetski vezani uz reversne rasjede odnosno ovdje se može reći da se radi o tipu boranja koje je poznato pod engleskim nazivom „*fault-bend-fold*“ (Fossen, 2010).




M 1:100 000

**LEGENDA:**

| | |
|---|---|
| M | Vapnenci, Lapori u izmjeni sa konglomeratima gline i pijesci |
| E,Ol | Foraminiferski vapnenci,lapori i vapnenačke breče |
| $^2K_2$ | Kalkareniti, biokalkareniti, dolomiti i proslojci rožnjaka |
| $^1K_2$ | Kalkareniti, biokalkareniti, dolomiti i proslojci lapora |
| $^2K_1$ | Vapnenci (kalcilutiti), dolomiti i vapnenačke breče |
| $^1K_1$ | Vapnenci (kalcilutiti), dolomiti i vapnenačke breče |
| $J_3$ | Dominantno vapnenci, (uključujući lemeške naslage) i dolomiti |
| $J_2$ | Kalcilutiti s uloščima dolomita |
| $J_1$ | Litiotidni vapnenci, kalcilutiti te mrljasti vapnenci |
| $T_3$ | Izmjena rano– i kasnodijagenetskog dolomita |
| $T_2$ | Vapnenci i dolomiti, lapori i pješčenjaci |
| $T_1$ | Vapnenci, dolomiti i pješčenjaci |
| P | Dolomiti s lećama vapnenca, pješčenjaci, konglomerati i škriljavci |

**Nazivi rasjeda:**
PV – Rasjed Petrinić polje –Vrhovinsko polje
JK – Rasjed Jurjeva draga – Kozjari
ŽJ – Rasjed Ž.st. Javornik
PR – Plitvički rasjed

Normalna granica

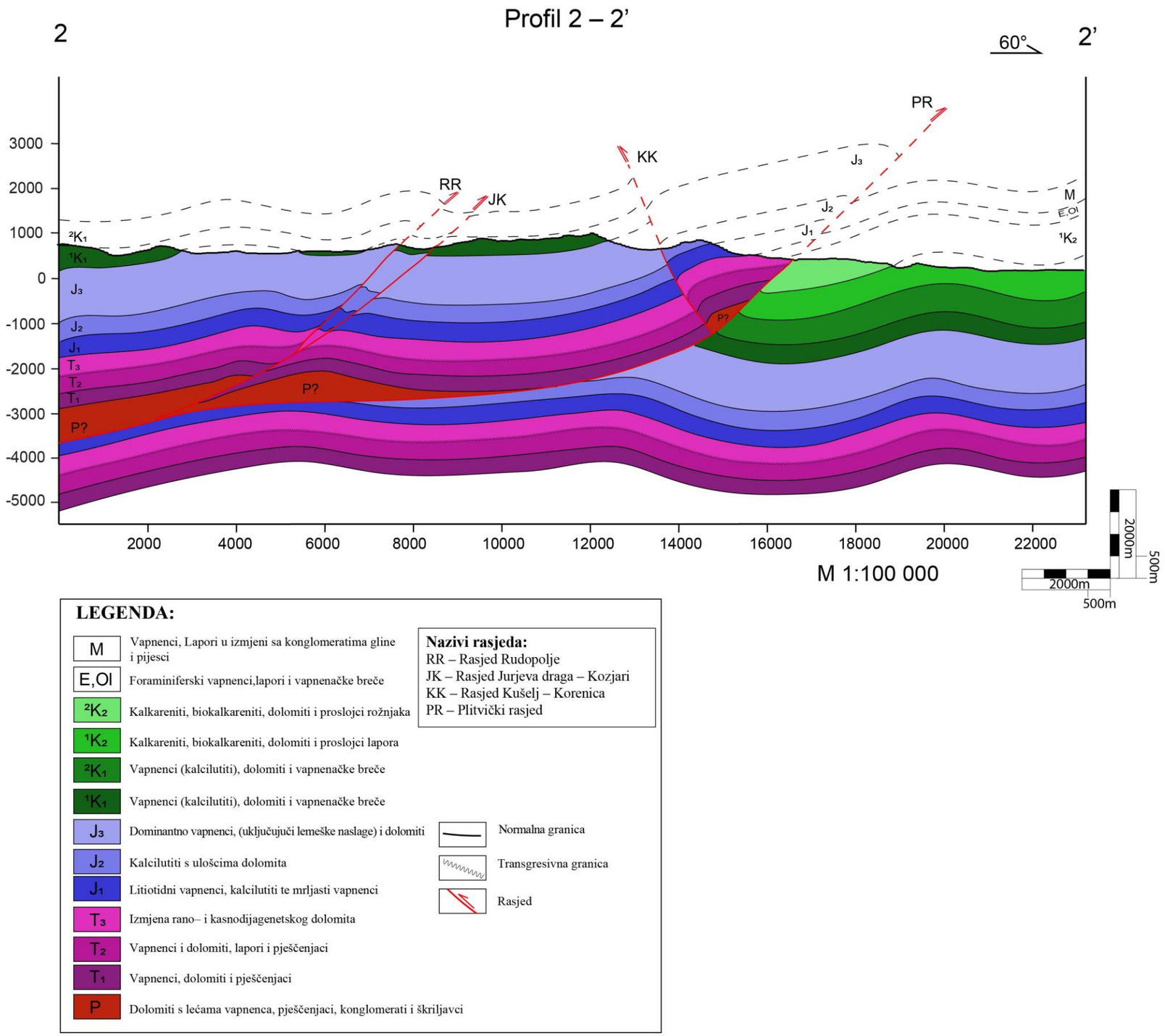
Transgresivna granica

Rasjed

Slika 5-16. Geološki profil 1–1' na području NPPJ.

PROFIL 2–2'

Profil 2–2' (Slike 4-3, 5-17) također je poprečni geološki profil pružanja jugozapad–sjeveroistok, istog azimuta kao i profil 1–1' – 60°. Profil prikazuje četiri reversna rasjeda pružanja sjeverozapad–jugoistok. Rasjed Kušelj–Korenica razlikuje se smjerom nagiba od preostala tri rasjeda, budući da je njegov nagib u smjeru sjeveroistoka dok preostala tri rasjeda imaju nagib prema jugozapadu. Prema geološkoj interpretaciji rasjed Kušelj–Korenica najvjerojatnije predstavlja tzv. „*backthrust*“ rasjed postojećem Plitvičkom rasjedu koji je dodatno omogućio izdizanje užeg područja Plitvičkih jezera, a vertikalna komponenta izdizanja je procijenjena na otprilike 3000 m (vidi Sliku 5-17). Plitvički rasjed nagiba je 45°, dok je preostalim rasjedima nagib procijenjen u rasponu 30–40°. Duž rasjeda Rudopolje pretpostavljen je vertikalni skok od otprilike 150 m, na rasjedu Jurjeva draga–Kozjari je veličina skoka oko 110 m, dok na rasjedu Kušelj–Korenica veličina vertikalnog pomaka iznosi otprilike 340 m. Duž profila vidljiv je niz antiklinala i sinklinala s pretpostavkom glavne osi naprezanja orijentacije generalno sjeveroistok–jugozapad, te se može zaključiti da su sustavi antiklinala i sinklinala genetski vezani za reversne rasjede te da se radi o tzv. „*fault-bend-fold*“ tipu boranja (Fossen, 2010). Od jugozapadnog dijela profila na površini se prostiru naslage donjokredne te gornjojurske i srednjojurske starosti, a na samom sjeveroistočnom dijelu su naslage gornjokredne starosti, slično kao i na geološkom profilu 1–1'. Naslage na površini obuhvaćaju uglavnom vapnence i dolomite čiji su nagibi slojeva strmiji uz same rasjede, ponajviše uz Plitvički rasjed, koji ima i najveći skok od približno 4000 m, a nagibi se ublažavaju idući prema sjeveroistočnom dijelu iza Plitvičkog rasjeda. Kao i kod profila 1–1' pretpostavljeno je da glavne dekolmanske horizonte čine kontakti klastičnih naslaga s dominantno karbonatnim stijenama, pa je prikazano da su rasjedni nastali na kontaktu klastičnih paleozojskih i trijaskih karbonatnih naslaga te na kontaktu donjojurskih mrljastih glinovitih vapnenaca i srednjojurskih masivnih karbonata (Slika 3-2).

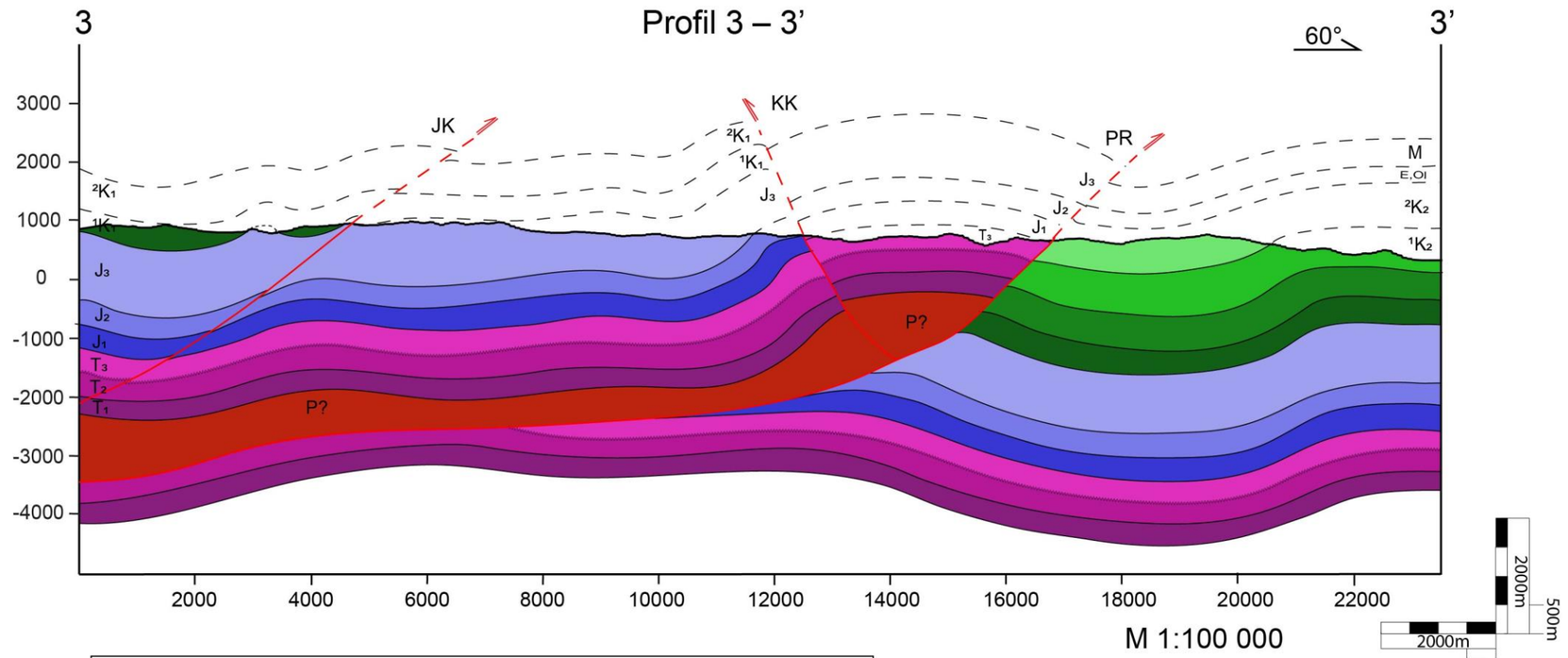



Slika 5-17. Geološki profil 2–2' na području NPPJ.

PROFIL 3–3'

Profil 3–3' (Slike 4-3 i 5-18) poprečni je geološki profil pružanja jugozapad–sjeveroistok, odnosno jednakog azimuta kao i prethodni profili (60°). Profil prikazuje tri reversna rasjeda pružanja sjeverozapad–jugoistok, od kojih je najvažniji već spomenuti Plitvički rasjed, nagiba 45° i najvećeg skoka od približno 2650 m. Profilom se kao i na profilu 2–2' pruža rasjed Kušelj–Korenica nagiba prema sjeveroistoku, dok preostali rasjedi imaju suprotan smjer nagiba, prema jugozapadu. Rasjed Kušelj–Korenica stoga najvjerojatnije predstavlja tzv. „*backthrust*“ rasjed postojećem Plitvičkom rasjedu, a veličina vertikalnog pomaka iznosi mu približno 400 m. Na profilu 3–3' protežu se isti rasjedi kao i na profilu 2–2', pri čemu se na rasjedu Jurjeva draga–Kozjari pretpostavlja vertikalni skok od približno 100 m.

Kao i kod prethodnih profila na profilu je prikazan niz antiklinala i sinklinala uzrokovanih kompresijskim režimom naprezanja, glavne osi naprezanja orijentacije sjeveroistok–jugozapad. Te su bore genetski vezane za reversne rasjede, što znači da se radi o tzv. „*fault-bend-fold*“ tipu boranja (Fossen, 2010). Od jugozapadnog dijela profila na površini se prostiru naslage donjokredne te gornjojurske starosti, dok je Plitvički rasjed na površinu izdignuo naslage gornjeg trijasa, a na samom sjeveroistočnom dijelu su naslage gornjokredne starosti, tako da je vidljiva sličnost s prva dva profila. Naslage uglavnom obuhvaćaju vapnence i dolomite, a nagibi slojeva strmiji su uz same rasjede, te nešto blaži na ostalim dijelovima. I na ovom je profilu postanak rasjeda vezan za kontakte klastičnih paleozojskih i trijaskih karbonatnih naslage te donjojurskih i srednjojurskih naslaga (Slika 3-2).




**LEGENDA:**

| | |
|---|---|
| M | Vapnenci, Lapori u izmjeni sa konglomeratima gline i pijesci |
| E,Ol | Foraminiferski vapnenci,lapori i vapnenačke breče |
| $^2K_2$ | Kalkareniti, biokalkareniti, dolomiti i proslojci rožnjaka |
| $^1K_2$ | Kalkareniti, biokalkareniti, dolomiti i proslojci lapora |
| $^2K_1$ | Vapnenci (kalcilutiti), dolomiti i vapnenačke breče |
| $^1K_1$ | Vapnenci (kalcilutiti), dolomiti i vapnenačke breče |
| $J_3$ | Dominantno vapnenci, (uključujući lemeške naslage) i dolomiti |
| $J_2$ | Kalcilutiti s uloščima dolomita |
| $J_1$ | Litiotidni vapnenci, kalcilutiti te mrljasti vapnenci |
| $T_3$ | Izmjena rano– i kasnodijagenetskog dolomita |
| $T_2$ | Vapnenci i dolomiti, lapori i pješčenjaci |
| $T_1$ | Vapnenci, dolomiti i pješčenjaci |
| P | Dolomiti s lećama vapnenca, pješčenjaci, konglomerati i škriljavci |

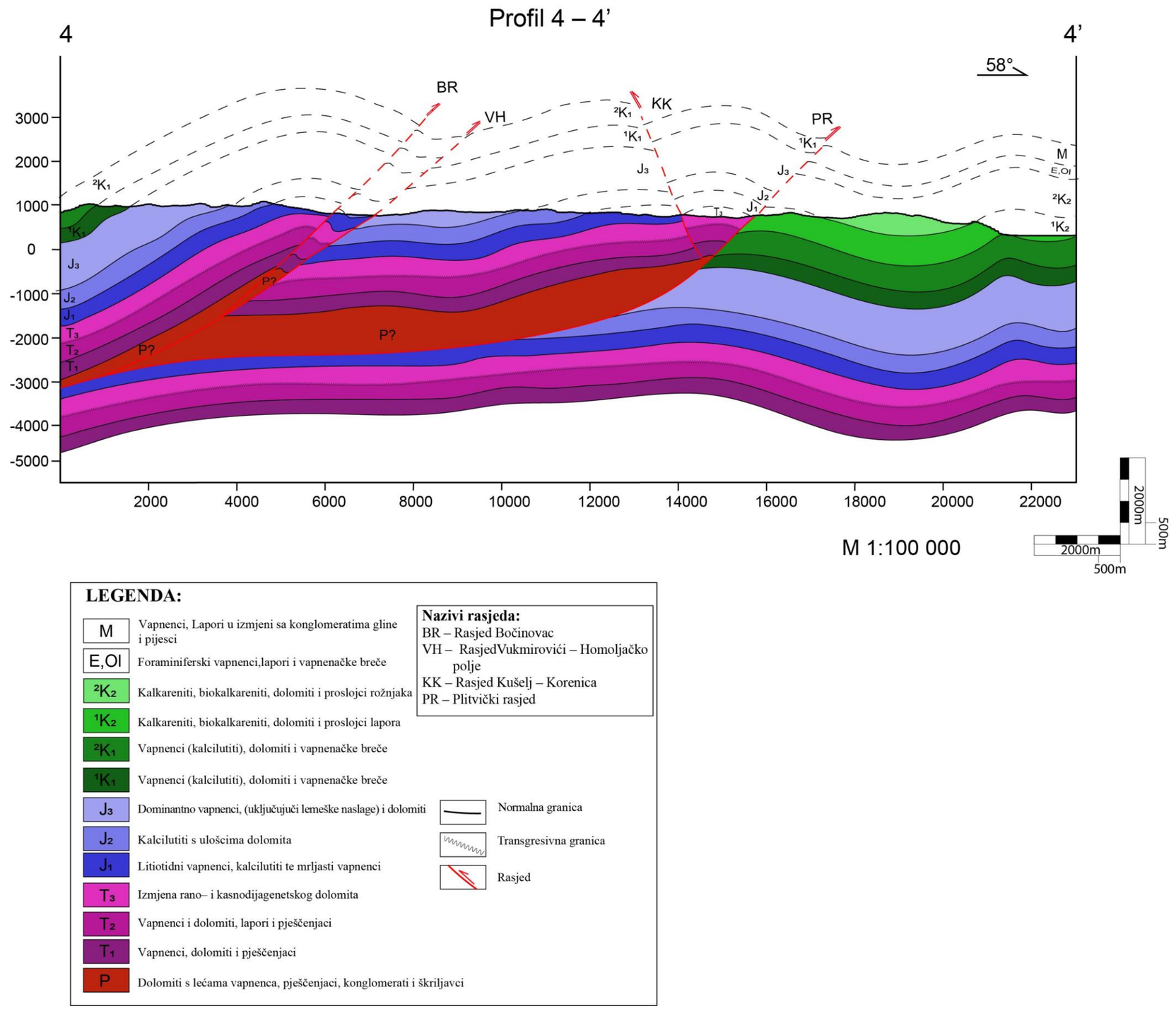
**Nazivi rasjeda:**
JK – Rasjed Jurjeva draga – Kozjari
KK – Rasjed Kušelj – Korenica
PR – Plitvički rasjed

Normalna granica
Transgresivna granica
Rasjed

Slika 5-18. Geološki profil 3–3' na području NPPJ.

PROFIL 4–4'

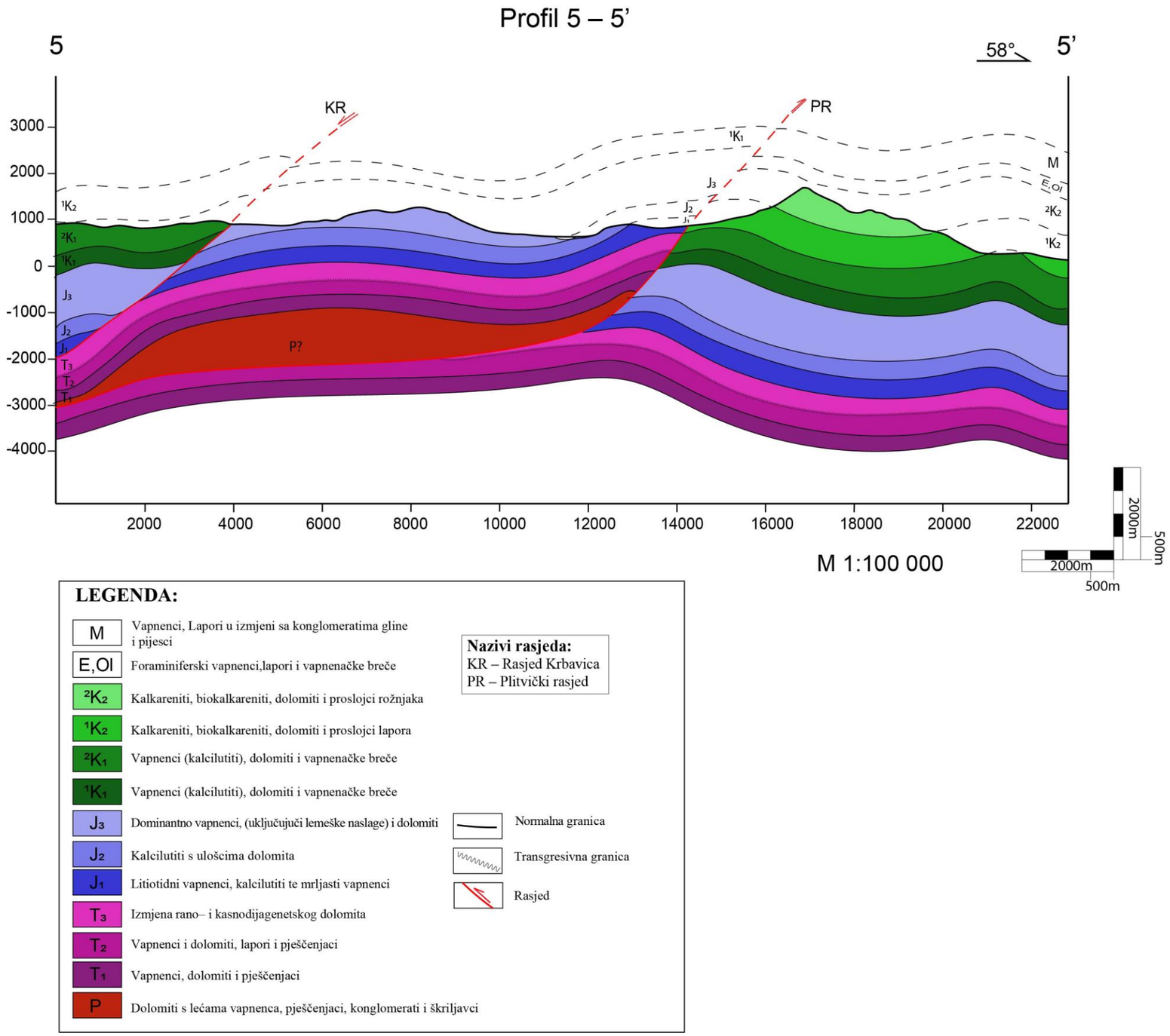
Profil 4–4' (Slike 4-3 i 5-19) poprečni je geološki profil pružanja jugozapad–sjeveroistok, azimuta 58°. Na profilu su prikazana četiri reversna rasjeda pružanja sjeverozapad–jugoistok, od kojih je Plitvički rasjed, koji se proteže cijelim područjem istraživanja, nagiba 45° i najvećeg skoka od približno 2200 m. Rasjed Kušelj–Korenica najvjerojatnije predstavlja tzv. „*backthrust*“ rasjed te je omogućio dodatno izdizanje područja Plitvičkih jezera, pri čemu vertikalni skok iznosi otprilike 120 m; smjer nagiba tog rasjeda je prema sjeveroistoku dok preostali imaju suprotan smjer nagiba, prema jugozapadu. Na rasjedu Bočinovac pretpostavljen je vertikalni skok od približno 130 m, na rasjedu Vukmirovići–Homoljačko polje je iznos vertikalnog pomaka oko 250 m, a nagibi su im u rasponu od 30–40°. Prisutne antiklinale i sinklinale vidljive i na prethodnim profilima nastale su kompresijskim režimom naprezanja s orijentacijom glavne osi naprezanja sjeveroistok–jugozapad. Može se zaključiti da su sustavi antiklinala i sinklinala genetski vezani za reversne rasjede te da se radi o tzv. „*fault-bend-fold*“ tipu boranja (Fossen, 2010). Naslage na površini uglavnom obuhvaćaju vapnence i dolomite i idući od jugozapadnog dijela profila na površini se nalaze naslage donjokredne do donjojurske starosti, dok je Plitvički rasjed na površinu izdignuo naslage gornjeg trijasa kao i u slučaju profila 3–3', a na samom sjeveroistočnom dijelu su prisutne naslage gornjokredne starosti. Slijed naslaga i strukture slični su kao na prethodna tri profila, pa su tako i nagibi slojeva strmiji uz rasjede i ublažavaju se na drugim dijelovima profila. Pretpostavka je da glavne dekolmanske horizonte na području NPPJ čine kontakti klastičnih naslaga s pretežito karbonatnim stijenama. Stoga se može pretpostaviti da su kartirani rasjedi nastali na kontaktu klastičnih paleozojskih i trijaskih karbonatnih naslaga te na kontaktu donjojurskih mrljastih, glinovitih vapnenaca sa srednjojurskim masivnim karbonatima (Slika 3-2).




Slika 5-19. Geološki profil 4–4' na području NPPJ.

PROFIL 5–5'

Profil 5–5' (Slike 4-3 i 5-20) je također poprečni geološki profil kao i svi prethodni, pružanja jugozapad–sjeveroistok, azimuta 58°. Profil obuhvaća dva rasjeda pružanja sjeverozapad–jugoistok, od kojih je rasjed Krbavica normalan rasjed nastao ekstenzijskim režimom naprezanja, nagiba 40° i vertikalnog skoka otprilike 1200 m, dok je drugi rasjed reversan Plitvički rasjed. Plitvički rasjed proteže se kroz cijelo područje istraživanja i nagiba je 45°, a vertikalnog pomaka oko 2400 m. Od jugozapadnog dijela profila na površini se prostiru uglavnom naslage vapnenaca i dolomita donjokredne do donjojurske starosti, a na krajnjem sjeveroistočnom dijelu su na površini izdanci gornjokredne starosti. Generalno gledajući i na ovom je profilu vidljivo da se radi o tzv. „*fault-bend-fold*“ tipu boranja (Fossen, 2010) gdje je sustav antiklinala i sinklinala vezan uz reversne rasjede, a rasjedi su nastali na kontaktu klastičnih paleozojskih i trijaskih karbonatnih naslaga te na kontaktu donjojurskih mrljastih, glinovitih vapnenaca sa srednjojurskim masivnim karbonatima (Slika 3-2).




Slika 5-20. Geološki profil 5–5' na području NPPJ.

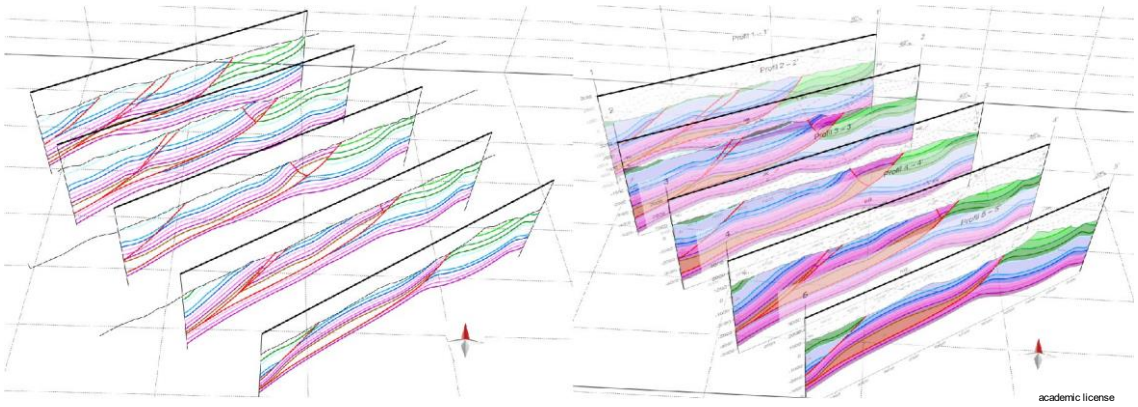
## 5.3. STRUKTURNI MODEL I TEKTONIKA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

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

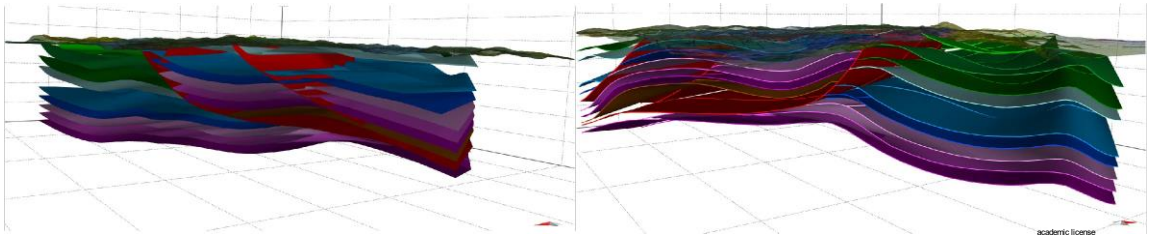
3D model strukturne građe NPPJ izrađen u okviru ovog rada izrađen je u softveru Midland Vallley, „Move“ na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu. Softver je geološke namjene a ima veliki spektar radnih modula koji kombiniraju ulazne podatke iz domena strukturne geologije, sedimentologije, petrofizike, geomehanike, naftne geologiju, hidrogeologiju i sl.

Ulazni podaci potrebni za izradu 3D modela podzemlja su digitalizirana geološka karta izrađena u ArcGIS-u i digitalni model reljefa te geološki profili. Prije digitalizacije i konstrukcije profila bilo je potrebno u softveru unijeti podatke o stratigrafiji istraživanog područja. Uz stratigrafiju potrebno je zadati srednju debljinu stijena koja se može koristiti pri polu-automatiziranijoj izradi profila. Za potrebe ovog rada, izrađeni strukturi profili su u Move-u geopozicionirani te digitalizirani (Slika 5-21). Nadalje, konstruirani geološki profili bili su temelj za konstrukciju ovog 3D preliminarnog geološkog modela. Konstrukcija 3D modela iz geoloških profila obuhvatila je povezivanje 2D strukturnih elemenata na digitaliziranim geološkim profilima kao što su linije rasjeda i geološke granice u trodimenzionalna tijela, kao što su plohe koje predstavljaju određenu geološku granicu i rasjedne plohe. Rasjedi i geološke granice su konstruirani “*linearnom*“ metodom izrade plohe koji odabrane točke povezuje ravnim linijama, a između njih tvori plohu (https://www.mve.com/resources/move-documentation).

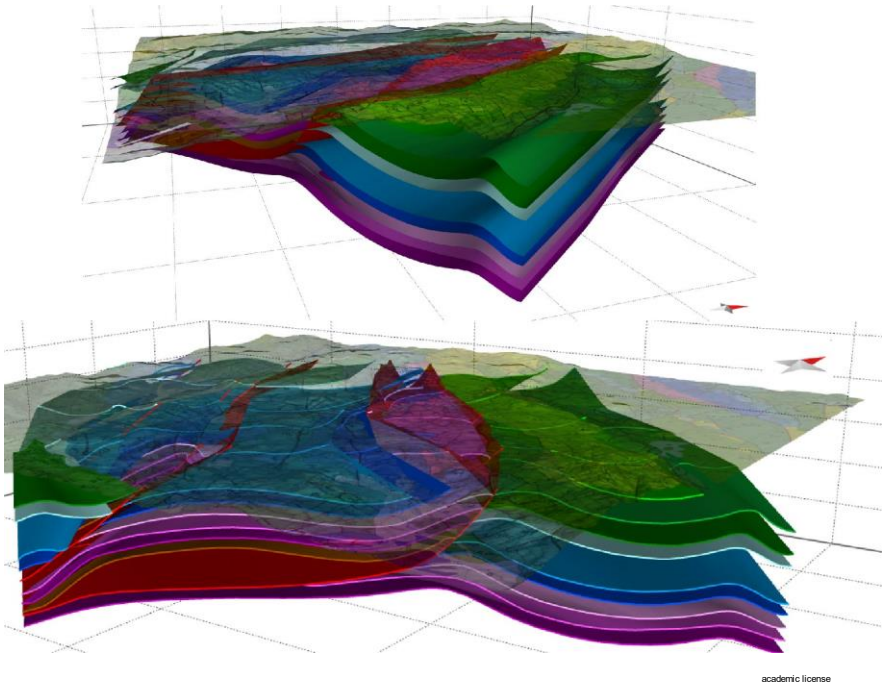
Trodimenzionalni strukturni model (Slika 5-22 i 5-23) šireg područja NPPJ prikazuje niz antiklinala i sinklinala nastalih uslijed reversnog rasjedanja, odnosno kompresije, najvjerojatnije tijekom eocena–oligocena. Reljef vidljiv na DMR-u predstavlja današnji reljef šireg područja, a koji ujedno predstavlja današnji erozijski minimum, pri čemu je usijecanje i erozija dominantno rezultat mehaničke, a zatim i kemijske erozije.




Slika 5-21. Digitalizacija prethodno napravljenih profila.




Slika 5-22. 3D model geološke građe podzemlja.




Slika 5-23. 3D model geološke građe podzemlja.

# 6. DISKUSIJA

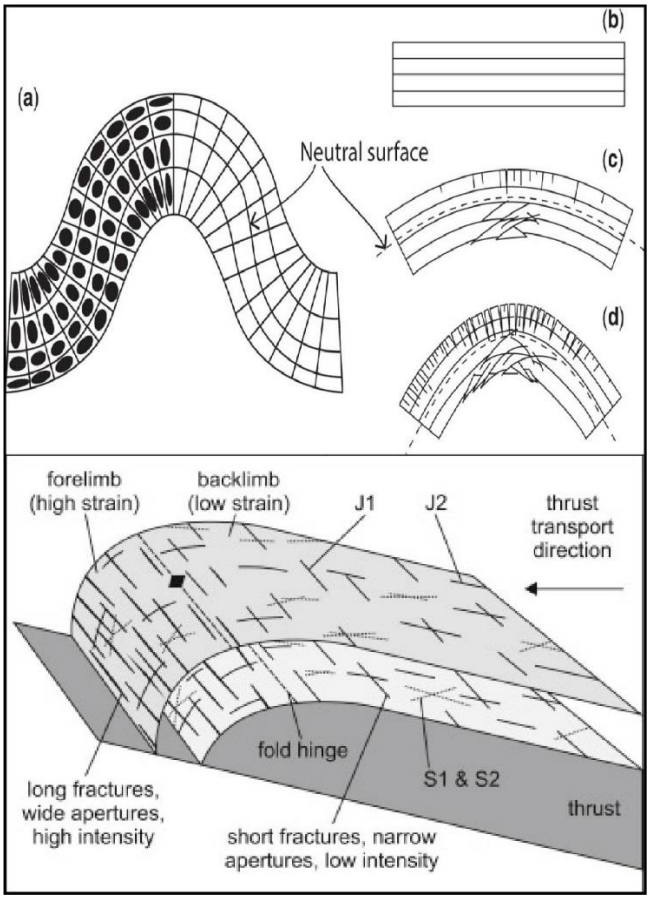
Na temelju prikupljenih podataka može se zaključiti da je slojevitost na području istraživanja većinom dinaridskog pružanja (SZ–JI) i smjera nagiba uglavnom prema sjeveroistoku i jugozapadu te sjeverozapadu, a kutovi nagiba u rubnim dijelovima strukture su blagi u rasponu od 11° do 25°, dok približavanjem prema Plitvičkom rasjedu kutovi nagiba postaju nešto strmiji, prosječno između 28° i 35°. Navedeni podaci ukazuju da se tu radi o boranoj strukturi otvorenog tipa koja u krilima sadrži i niz manjih antiklinala i sinklinala, a osne plohe su im generalnog pružanja 135°–315°.

S obzirom na analizu mogu se izdvojiti tri skupine rasjeda nastale u tri različita režima naprezanja. Prvoj skupini, koja je ujedno i najbrojnija, pripadaju reversni rasjedi generalnog pružanja SZ–JI s dominantnim kompresijskim režimom naprezanja gdje je najveća os naprezanja generalnog pružanja SI–JZ. Najvjerojatnije su nastali tijekom glavne Dinaridske faze u eocenu i oligocenu uslijed kolizije Jadranske mikroploče i Europske ploče koja je rezultirala formiranjem borano–navlačnog pojasa Dinarida. Druga skupina, ujedno i najmanje zastupljena, obuhvaća normalne rasjede pružanja SZ–JI, a upućuje na ekstenziju pravcem SI–JZ u „post-dinaridskom“ razdoblju. Treća skupina obuhvaća konjugirane rasjede lijevog i desnog karaktera pomaka s pružanjem generalno SZ–JI i SI–JZ. Nastali su u transpresijskom/transtenzijskom polju naprezanja, pri kojem je najveća os naprezanja bila orijentacije SZ–JI i SI–JZ. Temeljem međusobnih odnosa presijecanja te orijentacija smičnih ploha i recentnog polja naprezanja može se zaključiti da su lijevi i desni rasjedi mlađi od reversnih i normalnih rasjeda na istraživanom području, a formirani su kao rezultat promjene polja naprezanja tijekom neogena i kvartara.

Analiziranjem geoloških profila prikazanih u poglavlju 5.2. može se uočiti da se kroz sve profile ponavlja sličan strukturni odnos između naslaga koje obuhvaćaju raspon od donjeg trijasa do gornje krede i uglavnom se sastoje od izmjene vapnenaca i dolomita, no u srednjem i donjem trijasu uz vapnence i dolomite pojavljuju se i pješčenjaci. Može se pretpostaviti da se glavni dekolmanski horizont nalazi unutar permskih naslaga s obzirom da su one izgrađene uglavnom od izmjene dolomita s lećama vapnenaca te konglomerata i pješčenjaka koji mogu predstavljati povoljan dekolmanski horizont. Naslage su bile pod utjecajem kompresijskog režima naprezanja što je dovelo do formiranja reversnih rasjeda i niza antiklinala i sinklinala koje su u vezi s rasjedima, prema čemu se može zaključiti da se tu radi o tzv. „*fault-bend-fold*“ boranju (Fossen, 2010.) Rasjedi se međusobno razlikuju po veličini skoka u rasponu od 90-ak do 4000 m. Najveći skok ima Plitvički rasjed čiji je

prosječni vertikalni skok otprilike 2700 m, a slijede rasjed Petrinić polje–Vrhovinsko polje i rasjed Ž. st. Javornik s vertikalnim pomacima od približno 630–800 m. Vertikalni pomaci duž rasjeda Krušelj–Korenica, rasjeda Vrhovinsko polje te rasjed Rudopolje variraju od 150 do 250 m. Među manjim vertikalnim pomacima u rasponu od 90 do 130 m ističu se rasjed Jurjeva draga–Kozjari i rasjed Bočinovac. Jedini normalan rasjed prikazan na geološkim profilima je rasjed Krbavica, vertikalnog pomaka približno 1200 m. Osim po veličini skoka rasjedi se razlikuju i po nagibima rasjednih ploha u rasponu od 30 do 45°, pri čemu najveći nagib ima Plitvički rasjed.

S obzirom na boranu strukturu razvijeni su pukotinski setovi u zoni maksimalne zakrivljenosti (Slika 6-1) i upravo se time može objasniti izraženo mehaničko trošenje koje je velikim dijelom utjecalo na postanak Plitvičkih jezera kroz razvijen sustav rasjeda i pukotina u zoni maksimalne zakrivljenosti Plitvičke antiklinale. Mehaničkim i kemijskim trošenjem erodirano je približno 4500 m naslaga, a proračunom je dobiven iznos prosječne erozije terena od približno 0,20 mm/god.




Slika 6-1. Tipovi pukotina razvijeni u boranoj strukturi i model boranja s prikazanim glavnim setovima pukotina: J1 – poprečne pukotine, J2 – uzdužne pukotine i S1 & S2 – dijagonalne pukotine (Fossen, 2010).

# 7. ZAKLJUČAK

Unutar istraživanog područja NP Plitvička jezera naslage stratigrafskog raspona od donjeg trijasa do gornje krede su izdvojene u pet poligona. Najveći dio istraživanih naslaga se sastoji od izmjene vapnenaca i dolomita, no u srednjem i donjem trijasu ima i pojava pješčenjaka. U izdvojenim poligonima izmjereno je ukupno 249 položaja slojeva, na temelju čega se može zaključiti da je slojevitost većinom dinaridskog pružanja (SZ–JI) i smjera nagiba uglavnom prema sjeveroistoku i jugozapadu te sjeverozapadu. Razmatrajući kutove nagiba vidljivo je da su oni manji u krilima borane strukture na području NP Plitvička jezera, dok se približavanjem prema reversnom Plitvičkom rasjedu kutovi nagiba povećavaju i time ukazuju na njihovu kogenetsku vezu. Borana struktura formirana je tijekom Dinaridske tektonske faze u kompresijskom polju naprezanja, s najvećim vektorom naprezanja orijentacije SI–JZ. Na temelju 104 mjerenja rasjednih/smičnih ploha i analize dostupnih podataka s Osnovnih geoloških karata izdvojene su tri skupine rasjeda, od koji su reversni rasjedi najbrojniji, slijede ih lijevi i desni rasjedi, a najrjeđi su normalni.

Na temelju provedenih istraživanja i podataka iz literature mogu se izdvojiti tri kinematske faze kojima su formirane strukture u NP Plitvička jezera. Te tri faze obuhvaćaju Dinaridsku fazu kojom su nastali sustavi reversnih rasjeda uslijed kompresije, zatim fazu normalnog rasjedanja koja je dovela do ekstenzije u „post-dinaridskom“ razdoblju, odnosno završnom dijelu Dinaridske faze te završna faza kada su formirani lijevi i desni rasjedi kao posljedica promjene dominantno kompresijskog režima u transpresijski/transtenzijski režim naprezanja koji prevladava tijekom pliocena i kvartara. Konstruirani poprečni geološki profili ukazuju na utjecaj kompresijskog režima naprezanja što je uzrokovalo formiranje reversnih rasjeda i niza antiklinala i sinklinala, a koje su genetski vezane uz reversne rasjede, tako da se može zaključiti da se radi o engl. „*fault-bend-fold*“ tipu boranja (Fossen, 2010). Rasjedi na profilima, nagiba u rasponu od 30 do 45°, uglavnom su reversnog karaktera uz pojavu jednog normalnog rasjeda na profilu 5–5'. Kao glavni rasjed ističe se Plitvički rasjed koji se proteže cijelim područjem istraživanja, nagiba je 45° te skoka koji u prosjeku iznosi otprilike 2700 m. Ukupno gledajući vertikalni pomak po istraženim rasjedima je u rasponu od 90 do 4000 m. Na temelju izrađenih geoloških profila i 3D modela može se zaključiti da je na području NP Plitvička jezera dominantno mehaničko trošenje koje je rezultat razvijenih pukotinskih setova u zoni maksimalne zakrivljenosti gdje su definirane poprečne pukotine (J1), uzdužne pukotine (J2) i dijagonalne pukotine (S1 i S2) (Slika 6-1). Mehaničkim i kemijskim trošenjem erodirano je približno 4500 m naslaga, tako da je prosječna erozija

terena bila približno 0,20 mm/god. Današnji izgled istraživanog područja je posljedica kemijske erozije i mehaničkog trošenja Plitvičke antiklinale od kraja oligocena pa sve do danas.

Definiranjem stratigrafskih i strukturnih odnosa vidljivo je da su hidrogeološki preduvjeti vezani za sustave razvijenih rasjeda i pukotina te kasnije klimatske uvjete tijekom kvartara koji su utjecali na današnji izgled područja NP Plitvička jezera. Konačni rezultat predstavlja pojednostavljen strukturni model koji predstavlja polaznicu za bolji pregled strukturnih odnosa na površini i podzemlju, a time olakšava interpretaciju i analizu.

# 8. LITERATURA


ALLEMENDINGER, R., 2019. Stereonet 10: Program for Mac and WindowsTM – http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.htm

BIONDIĆ, B., ZOJER, H., YEHDEGHO, B., BIONDIĆ, R., KAPELJ, S., MEAŠKI, H., ZWICKER, G., 2007. Sustainable Utilization and Protection of Water Resources in N.P. Plitvice Lakes. U: Second International Conference on Waters in Protected Areas: zbornik radova, Dubrovnik, 24.–28.04.2007. Zagreb. Croatian Water Pollution Control Society, 2007, str. 54–57.

BIONDIĆ, B., BIONDIĆ, R. MEAŠKI, H., 2010. The conceptual hydrogeological model of the Plitvice Lakes. Geologia Croatica, 63 (2), str. 195–206.

CIFERK, D., 2013. Sedimentološke i mineraloške značajke recentnih sedimenata Plitvičkih jezera. Diplomski rad, RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 35 str.

D'AGOSTINO, N., AVALLONE, A., CHELONI, D., D'ANASTASIO, E., MANTENUTO, S., SELVAGGI, G., 2008. Active tectonics of the Adriatic region from GPS and earthquakeslip vector. Journal of Geophysical Research – Solid Earth, 113, B12: B12413.

FOSSEN, H., 2010. Structural Geology. Cambridge: Cambridge University Press.

GRENERCZY, G., SELLA, G., STEIN, S., KENYERES, A., 2005. Tectonics implications of the GPS velocity field in the northern Adriatic region. Geophysical Research Letters, 32 (16), doi:10.1029/2005GL022947.

GRGIĆ, S., 1985. Primjena izotopa u hidorgeologiji na primjeru Plitvičkih jezera. Diplomski rad, RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu. 69 str.

ILIJANIĆ, A., 2006. Plitvička jezera: geneza, hidrogeologija i antropogeni utjecaj, Diplomski rad, RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 48 str.

KOCH, F., 1916. Izvještaj o geološkim odnošajima u opsegu lista Plitvice. Vijesti geol. povj. 5–6.

KOCH, F., 1926. Plitvička jezera, Prilog poznavanju tektonike i hidrografije krša. Vijesti Geol. Zavoda, I, str. 155– 179.

KOCH, F., 1933. Tumač geološkoj karti „Plitvice“ 1:75 000. Geološki institut Kraljevine Jugoslavije, Beograd.

KOCHANSKY-DEVIDE, V., 1958. Izmjena generacija vrste Orbitospella Praecoursor u lijasu Plitvica. Geološki vjesnik, XI, str. 77–86.

MEAŠKI, H., 2011. Model zaštite krških vodenih resursa na primjeru Nacionalnog parka „Plitvička jezera“. Doktorska disertacija, RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 210 str.

OBELIĆ, B., HORVATINČIĆ, N., BAREŠIĆ, J., BRIANSÓ, J. L., BABINKA, S., SUCKOW, A., 2005. Antrophogenic pollution in kasrt lake sediments (Croatia). U: Proceedings of the 1st International Symposium on Travertine, Denizli (Turkey), 21–25.09.2005. Ankara: Kozan Ofest Matbaacilik San ve Tic. Ltd. Sti., 2005, str. 188–196.

OBELIĆ, M., HORVATINČIĆ, N. KRAJCAR BRONIĆ, I., BAREŠIĆ, J., 2006. Study of Anthropogenic Pollution after the War and Establishing of Measures for Protection of Plitvice National Park and Bihać Region. In: Final Report of ANTHROPOL.PROT, Bruxelles.

ORTNER, H. REITER, F. & ACS, P., 2002. Easy handling of tectonics dana: The programs Tectonics VB for Mac and Tectonics FP for Windows TM – Computers and Geosciences, 28, 1193–1200.

PAMIĆ, J., GUŠIĆ, I., JELASKA, V., 1998. Geodynamic evolution of the Central Dinarides. Textonophysics, 297, 251-268.

POLŠAK, A., 1959. Geološko istraživanje okolice Plitvičkih jezera. Ljetopis JAZU, 63, Zagreb.

POLŠAK , A., 1960. Prilog poznavanju hidrogeoloških odnosa okolice Plitvičkih jezera. Ljetopis JAZU, 64, Zagreb.

POLŠAK, A., 1963. Rudisti senona Plitvičkih jezera i Ličke Plješivice. Geološki vjesnik, 15/2, Zagreb.

POLŠAK, A., 1969. Geološka karta Plitvičkih jezera M 1:50 000. Kartografski laboratorij Geodetskog fakulteta, Arhiv PMF Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

POLŠAK, A., JURIŠA, M., ŠPARICA, M., ŠIMUNIĆ, A., 1976. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Bihać, L33-116. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

POLŠAK, A., CRNKO, J., ŠIMUNIČ, AN., ŠIMUNIĆ, AL., ŠPARICA, M., JURIŠA, M., 1978. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Bihać, L33-116. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

SOKAČ, B., NIKLER, L., VELIĆ, J ., MAMUŽIĆ P., 1974. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Gospić, L33-127. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

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

SRDOČ, D., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B., KRAJCAR, I., SLIEPČEVIĆ, A., 1985. Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. Krš Jugoslavije JAZU, 11/4–6, str. 101–204.

VELIĆ, I., BAHUN, S., SOKAČ, B. GALOVIĆ, I., 1970. Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100 000, list Otočac, L33-115, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

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

*Web adresa:*

- https://www.mve.com/resources/move-documentation (*kolovoz, 2019*)