

Strukturno-geološke značajke i kinematska obilježja rasjeda u zaleđu Stona i Slanog

Fricki, Daria

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:481430>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**STRUKTURNO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE I KINEMATSKA
OBILJEŽJA RASJEDA U ZALEĐU STONA I SLANOG**

Diplomski rad

Daria Fricki

GI421

Zagreb, 2022



KLASA: 602-04/21-01/257
URBROJ: 251-70-15-21-2
U Zagrebu, 4. 5. 2022.

Daria Fricki, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/257, URBROJ: 251-70-15-21-1 od 26. 10. 2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

STRUKTURNO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE I KINEMATSKA OBILJEŽJA RASJEDA U ZALEĐU STONA I SLANOG

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)

STRUKTURNO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE I KINEMATSKA OBILJEŽJA RASJEDA U ZALEĐU STONA I SLANOG

DARIA FRICKI

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i inženjersku geologiju

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Konvergencija Jadranske mikroploče pod Euroazijsku ploču i njezina rotacija u suprotnom smjeru od kazaljke na satu rezultira seizmički aktivnim pojasom na području srednje i južne Dalmacije, a koje se dalje proteže prema Albaniji i Grčkoj. Najjači zabilježen potres na području Stona i Slanog, 40-ak km SZ od Dubrovnika, dogodio se 5. rujna 1996. godine ($M = 6,0$, $I_{\max} = \text{VIII}^\circ$ MSK) prouzročivši velike materijalne štete u mnogim južnodalmatinskim naseljima. Područje istraživanja u ovom diplomskom radu obuhvaća naslage mezozojske starosti od donjeg trijasa do gornje krede, uglavnom izgrađene od vapnenaca i dolomita, paleogensko-neogenske karbonatno-klastične naslage kao i kvartarne slabo vezane klastične naslage. Kako bi se što bolje interpretirao strukturni sklop južne Dalmacije, u ovom radu je konstruirano pet međusobno paralelnih profila poprečnih na strukture dinaridskog pružanja. Kompresijska tektonika rezultirala je stvaranjem borano-navlačnog pojasa u kojem su dominantni *fault-bend* i *fault-propagation* tipovi bora, ali i sustava reversnih i navlačnih rasjeda čiji su kutovi nagiba između 30° i 50° . Površine interpretiranih rasjeda su u rasponu od 22,83 do 1692,05 km². Korištenjem *Petroleum Expert Move* softvera konstruirani 3D geološki model omogućio je vizualizaciju i interpretaciju kompleksne geometrije struktura u podzemlju. Na temelju geometrijskih parametara rasjeda empirijski proračunate vrijednosti najveće magnitude mogućih potresa u rasponu od 5,55 do 7,24 po Richteru ukazuju da interpretirani rasjedi predstavljaju značajan seizmički rizik i hazard za područje južne Dalmacije.

Ključne riječi: područje Ston–Slano, borano-navlačni pojas, *fault-propagation* i *fold-bend-fault* tip boranja, Navlaka Visokog krša, geološki profili, 3D geološki model, empirijski proračunata magnituda potresa

Diplomski rad sadrži: 62 stranice, 26 slika, 2 tablice, 6 priloga, 45 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Bojan Matoš

Komentor: dr. sc. Ivica Pavičić, poslijedoktorand

Ocjenjivači: 1. izv. prof. dr. sc. Bojan Matoš, RGNF

2. prof. dr. sc. Igor Vlahović, RGNF

3. izv. prof. dr. sc. Uroš Barudžija, RGNF

Datum obrane: 13. svibnja 2022.

STRUCTURAL-GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND KINEMATIC PROPERTIES OF FAULTS IN THE HINTERLAND OF STON AND SLANO

DARIA FRICKI

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Geology and Geological Engineering

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The convergence of the Adriatic Microplate under the Eurasian plate and its counter-clockwise rotation results in a seismically active belt in central and southern Dalmatia, which extends further towards Albania and Greece. The strongest earthquake in the area of Ston-Slano, about 40 km NE of Dubrovnik, occurred on September 5th, 1996 ($M = 6.0$, $I_{max} = VIII$ ° MSK) causing substantial material damage in many southern Dalmatian settlements. This thesis is focused on Mesozoic deposits ranging in age from the Upper Triassic to the Upper Cretaceous, mainly built of limestones and dolomites, Paleogene–Neogene carbonate-clastic deposits and Quaternary unconsolidated clastic deposits. In order to interpret the structural architecture of the studied part of southern Dalmatia, five parallel geological profiles were constructed, perpendicular to the NW–SE striking Dinaric structures. Compression tectonics resulted in fold-thrust belt in which *fault-bend* and *fault-propagation* types of folds are dominant, as well as a system of reverse and thrust faults, with dip angles between 30° and 50°. The surface areas of the interpreted fault planes range from 22.83 to 1692.05 km². Using of *Petroleum Expert Move* software for the constructed 3D geological model enabled the visualization and interpretation of the complex geometry of subsurface structures. The geometric parameters of the faults show that the empirically calculated values of the earthquake magnitudes range from 5.55 to 7.24 according to Richter, and thus the interpreted faults represent a significant seismic risk and hazard in the area of southern Dalmatia.

Keywords: Ston–Slano area, fold-thrust belt, *fault-propagation and fold-bend-fault* type of folding, High Karst Nappe, geological profiles, 3D geological model, empirically calculated earthquake magnitudes

Thesis contains: 62 pages, 26 figures, 2 tables, 6 appendices, 45 references

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; Postdoctoral researcher

Reviewers:

1. Assoc. Prof. Bojan Matoš, PhD
2. Prof. Igor Vlahović, PhD
3. Assoc. Prof. Uroš Barudžija, PhD

Date of defense: May 13th, 2022.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	3
3. TEKTONSKE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....	5
4. STRUKTURNO – SEIZMOLOŠKA OBILJEŽJA.....	9
4.1. Strukturna obilježja Jadranske mikroploče	9
4.2. Seizmičnost područja istraživanja	12
5. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	16
5.1. Perm (P) – <i>evaporiti i klastiti</i>	17
5.2. Donji trijas (T ₁) – <i>pješčenjaci, lapori i vapnenci</i>	18
5.3. Srednji trijas (T ₂) – <i>vapnenačke breče, konglomerati („otarničke naslage“), vapnenci</i>	18
5.4. Gornji trijas (T ₃) – <i>Glavni dolomiti</i>	18
5.5. Donja jura (J ₁) – <i>izmjena vapnenaca i dolomita, litotidni i mrljasti vapnenci</i>	19
5.6. Srednja jura (J ₂) – <i>vapnenci (madstoni) s proslojcima dolomita</i>	19
5.7. Gornja jura (J ₃) – <i>vapnenci s kladokoropsisima i klipeinama</i>	19
5.8. Donja kreda (K ₁) – <i>dobro slojeviti vapnenci (madstoni)</i>	20
5.9. Gornja kreda (K ₂) – <i>rudistni vapnenci</i>	20
5.10. Paleogen (Pg).....	21
5.10.1. Liburnijske naslage (Pc, E).....	21
5.10.2. Foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (E _{1,2}).....	21
5.10.3. Flišne naslage (E _{2,3}).....	21
5.10.4. Prominske naslage (E, Ol)	22
5.11. Kvarter (Q)	22
6. METODOLOGIJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA	23
6.1. Geološki profil 1–1'	24
6.2. Geološki profil 2–2'	25
6.3. Geološki profil 3–3'	26
6.4. Geološki profil 4–4'	27
6.5. Geološki profil 5–5'	28
6.6. 3D model strukturne građe područja Ston–Slano.....	28
6.7. Proračun očekivane maksimalne magnitude potresa na izdvojenim seizmogenim rasjedima.....	33
7. RASPRAVA I ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA.....	37

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Makroseizmička karta epicentralnog područja glavnog potresa Ston-Slano, 5. rujna 1996. godine. Intenziteti prema Medvedev–Sponheuer–Karnik (MSK) ljestvici (Govorčin et al., 2020).....	1
Slika 1.2 Akcelerogrami Stonsko–slanskog potresa 5. rujna 1996. godine, snimljeno u solani Ston (Markušić et al., 1998).	2
Slika 2.1 Geografski položaj istraživanog područja (preuzeto s https://maps-for-free.com/). Pravokutnik označava područje istraživanja za koje su konstruirani geološki profili.....	3
Slika 3.1 Karta Jadranske karbonatne platforme (a) i rasprostiranja današnjih ostataka nekadašnjih karbonatnih platforma u središnjem Mediteranu (b) (Vlahović et al., 2005).....	5
Slika 3.2 Shematski prikaz formiranja Jadranske karbonatne platforme (Vlahović et al., 2005).....	6
Slika 3.3 Geotektonske jedinice Alpa, Karpata i Dinarida, 1:5000000 (Schmid et al., 2008) – crveni pravokutnik označava područje zaleđa Stona i Slanog.	7
Slika 4.1 Geodinamska skica područja istočnog Sredozemlja i brzine konvergentnih kretanja Afričke ploče, Anatolijskog bloka i Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj ploči (Dasović et al., 2020).....	9
Slika 4.2 Topografska karta područja oko Jadranskog mora i njegova seizmičnost, žarišni mehanizmi potresa preuzeti iz talijanske CMT baze podataka 1976. – 2008. i europsko-mediteranske baze podataka RCMT 1997. – 2008. Zelena linija predstavlja navlačni rub deformiranog dijela Jadranske mikroploče. Šrafurani dio s dijagonalnim crtama predstavlja relativno aseizmički fragment Jadranske mikroploče do Gargano-Dubrovnik zone (GDZ). Kratice: A&J – Anderson & Jackson (1987); WES – Westaway (1992); RAT – Ward (1994); CAL – Calais et al. (2002); BAT – Battaglia et al. (2004) Sjeverni Jadran; GRE – Grenerczy et al. (2005) Sjeverni Jadran; SER – Serpelloni et al. (2005); DEV – Devoti et al. (2008); AG1 – D'Agostino et al. (2008) izvedeno iz GPS podataka; AG2 D'Agostino et al. (2008) rješenje izvedeno iz vektora pomaka (Weber et al., 2010).....	10
Slika 4.3 Prikaz lokacija izvedenog Eulerovog pola rotacije prema Weber et al. (2010) (zeleno – GPS-7, GPS-10, GPS-17, GPS-22, i SV (slip vector) koji odgovara GPS rješenjima za 7, 10, 17 i 22 mjesta), uspoređenih s prethodno objavljenim rješenjima (žuto): A&J – Anderson & Jackson (1987); WES – Westaway (1992); RAT – Ward (1994); CAL – Calais et al. (2002); BAT – Battaglia et al. (2004); GRE – Grenerczy et al. (2005); SER – Serpelloni	

et al. (2005); DEV – Devoti et al. (2008); AG-GPS – D'Agostino et al. (2008). Trajektorije i orijentacija vektora pomaka prikazani su crvenim i plavim crtama (Weber et al., 2010).....	11
Slika 4.4 (a) Položaj istraživanog područja u okviru orogenih pojasova na Mediteranu. (b) Glavne strukture u Italiji (od kojih je većina aktivna) i okolnim regijama srednjeg Mediterana (Sani et al., 2016).....	12
Slika 4.5 Karta epicentara potresa s povijesno i instrumentalno zabilježenim potresima na području Hrvatske do 2020. godine prema Katalogu potresa Hrvatske i susjednih područja (preuzeto s https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmichnost_hrvatske)....	13
Slika 4.6 Karte vršnog ubrzanja tla za područje Republike Hrvatske (a) za povratno razdoblje od 95 godina (b) za povratno razdoblje od 475 godina (preuzeto s http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/).....	14
Slika 4.7 Prikaz žarišnih mehanizama potresa u Hrvatskoj i okolnim područjima, u razdoblju 1909. – 2016. godine. Mehanizmi su prikazani pomoću stereografskih projekcija na donju hemisferu, a boja kompresijskog kvadranta označava tip naprezanja, odnosno tip uzročnog rasjeda prema legendi. Na desnoj slici Prikazana su i pružanja najveće osi naprezanja (P-osi) za pojedine potrese (zelene crte), kao i usrednjene vrijednosti definirane prostornim prozorom (crvene crte) (Herak et al., 2016).....	15
Slika 5.1 Geološki stup slijeda permskih, mezozjskih i paleogenskih naslaga na istraživanom području Stona i Slanog te zaleđa.....	17
Slika 6.1 Ko-genetski tipovi bora nastali zbog reversnog rasjedanja: fault-bend i fault-propagation tip bora (Brandes & Tanner, 2014).....	23
Slika 6.2 Položaji trasa konstruiranih geoloških profila u odnosu na geološke strukture na širem području istraživanja. Područje istraživanja obuhvaća OGK listova Ston, Metković, Nevesinje i Trebinje (Raić et al., 1980; Raić et al., 1975; Mojićević & Laušević, 1969; Natević & Petrović, 1967).....	24
Slika 6.3 Geološki profil 1–1'.....	25
Slika 6.4 Geološki profil 2–2'.....	26
Slika 6.5 Geološki profil 3–3'.....	27
Slika 6.6 Geološki profil 4–4'.....	27
Slika 6.7 Geološki profil 5–5'.....	28
Slika 6.8 Ulazni podaci za digitalizaciju horizonata stratigrafskih jedinica.....	29
Slika 6.9 Digitalizacija rasjednih ploha.....	30
Slika 6.10 Digitalizacija horizonata litostratigrafskih jedinica.....	30

Slika 6.11 Pojednostavljeni prikaz izrade modela. A – perm, stariji, srednji i mlađi trijas; B – starija, srednja i mlađa jura; C – starija i mlađa kreda; D – završni izgled 3D modela. .. 31

Slika 6.12 Finalna verzija 3D modela s hipocentrima potresa preuzetim s <https://earthquake.usgs.gov/>. A – potresi sa sjeverozapadne strane (1–1' profil); B – potresi s jugoistočne strane (5–5' profil); skala dubina potresa (km). 32

POPIS TABLICA

Tablica 6.1 Vrijednosti koeficijenata a i b korištenih za proračun očekivanih magnituda potresa (prema Wells & Coppersmith, 1994).....	33
Tablica 6.2 Rasjedne plohe okarakterizirane karakterom pomaka i procjenom maksimalne očekivane magnitude potresa.....	34

POPIS PRILOGA

Prilog 1: Geološki profil 1–1' s pripadajućom legendom.

Prilog 2: Geološki profil 2–2' s pripadajućom legendom.

Prilog 3: Geološki profil 3–3' s pripadajućom legendom.

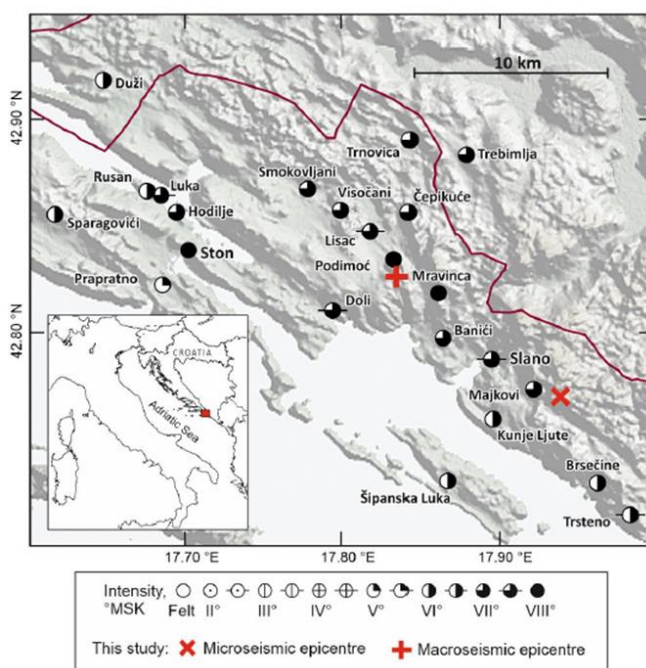
Prilog 4: Geološki profil 4–4' s pripadajućom legendom.

Prilog 5: Geološki profil 5–5' s pripadajućom legendom.

Prilog 6: Tablica epicentara potresa područja Ston–Slano i njegovog zaleđa iz kataloga potresa Geološke službe SAD-a za razdoblje od 1901. do 2021. godine (<https://earthquake.usgs.gov/>). Koordinatni sustav je MGI Balkan 6.

1. UVOD

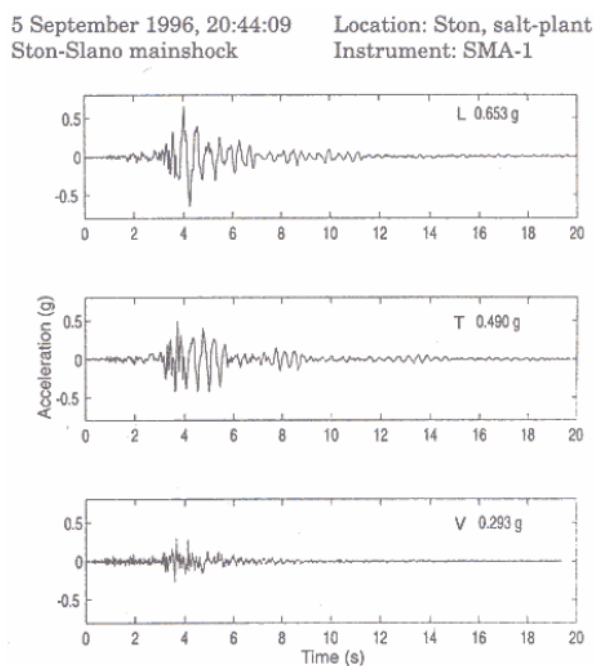
Seizmičnost na području Republike Hrvatske je najjača u južnoj Dalmaciji, na području između Stona i Konavala. U Hrvatskom katalogu potresa za područje južne Dalmacije je zabilježen niz jakih potresa koji datiraju još iz antičkog i srednjeg vijeka (npr. 1481., 1482., 1504., 1520., 1530. i 1563.; Tomljenović et al., 2009). Najvažniji seizmički događaj u povijesti južne Dalmacije je svakako Veliki dubrovački potres 1667. godine ($I_0=10^\circ$; Tomljenović et al., 2009). U instrumentalnom razdoblju najjači potres na području južne Dalmacije dogodio se u području Stona i Slanog, 40-ak km SZ od Dubrovnika. Potres se dogodio 5. rujna 1996. godine u 20:44 sati ($M = 6,0$, $I_{\max}=VIII^\circ$ MSK), a prouzročio je velike materijalne štete u mnogim južnodalmatinskim mjestima, od kojih su najviše oštećeni Ston, te sela Podimoć i Mravnica (Slika 1.1; Govorčin et al., 2020). Tijekom tog potresa zabilježeno je najveće vršno horizontalno ubrzanje tla u vrijednosti od 0,65 g (Slika 1.2; Markušić et al., 1998).



Slika 1.1 Makroseizmička karta epicentralnog područja glavnog potresa Ston-Slano, 5. rujna 1996. godine. Intenziteti prema Medvedev–Sponheuer–Karnik (MSK) ljestvici (Govorčin et al., 2020).

Kako je u hrvatskom katalogu potresa zabilježen značajan broj jakih i umjerenih potresa na području Južne Dalmacije, razvidno je da je uski pojas južnodalmatinske obale zajedno s neposrednim podmorjem seizmički vrlo aktivno područje. Osnovni uzrok seizmičke aktivnosti sjeveroistočne obale Jadranskog mora leži u podvlačenju nedeformiranog dijela Jadranske mikroploče pod Vanjske Dinaride čiji se kolizijski front nalazi u neposrednom podmorju južne Dalmacije. U recentno vrijeme, kolizija, a time i rezultatno kompresijsko

naprezanje je sve većeg intenziteta idući od sjeverozapada prema jugoistoku, tako da se i broj potresa kao i najjači potresi događaju na prostoru od Stona i Dubrovnika do Albanije (Tomljenović et al., 2009).



Slika 1.2 Akcelerogrami Stonsko–slanskog potresa 5. rujna 1996. godine, snimljeno u solani Ston (Markušić et al., 1998).

U okviru ovog diplomskog rada istraživano epicentralno područje Ston–Slano dio je južnodalmatinske seizmičke zone Vanjskih Dinarida, a nalazi se vrlo blizu Navlake Visokog krša. U ovom dijelu Vanjskih Dinarida intenzivna konvergencija Jadranske mikroploče u odnosu na Euroazijsku ploču obilježena je pomacima do 4,17 mm/god (Bennett et al., 2008; D'Agostino, 2008; Govorčin et al., 2020). Seizmogeni izvori u zoni južne Dalmacije su pretežno reversni rasjedi pružanja SZ–JI s potresima ograničenim u plićim dijelovima kore (do 20 km dubine; Herak & Herak, 1990; Tomljenović et al., 2009; Govorčin et al., 2020).

Cilj ovog diplomskog rada bio je konstruirati pet profila na istraživanom području u zaleđu Stona i Slanog kako bi se detaljnije utvrdio strukturni sklop podzemlja te na temelju profila izradio 3D strukturno-geološki model. U uvodnom dijelu diplomskog rada prikazane su geografske i tektonske značajke te geološka građa istraživanog područja, dok su u nastavku prikazani metodološki koraci i izrada geoloških profila i konceptualnog 3D geološkog modela podzemlja. Na temelju ulaznih podataka (geoloških profila i 3D strukturno-geološkog modela) u nastavku rada interpretirani su geometrija i kinematske značajke interpretiranih rasjeda kao i njihov seizmogeni potencijal. Nakon prikazanog istraživanja i rezultata slijedi rasprava i zaključak o provedenom istraživanju.

2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Područje istraživanja za koje su konstruirani seizmotektonski profili pripada Vanjskim Dinaridima, a nalazi se na širem području južne Dalmacije, pokrivajući zaleđe Stona i Slanog te graničnu zonu jugozapadne Bosne i Hercegovine, tzv. niske Hercegovine ili *Humine* (Slika 2.1). Idući od dalmatinske obale od Jadranskog mora prema unutrašnjosti, krški teren se dosta razlikuje u morfološkom pogledu, što ovisi o geološkoj građi terena. Na terenu se mogu izdvojiti dvije morfološke cjeline: polja (blata) i planinski lanci (Raić & Papeš, 1982). U niskoj Hercegovini (jadranskoj, mediteranskoj) nalaze se planinski lanci (Bjelašnica, Viduša, Sitnica, Sniježnica, Žaba itd.) s tipičnim dinaridskim pružanjem SZ–JI. Duž dinaridskih rasjeda česte su krške depresije od kojih su najveće Dabarsko i Popovo polje (Slika 2.1). Depresija Popovog polja proteže se u dužini od oko 60 km, a smatra se da je nastala erozijskim djelovanjem rijeke Trebešnjice koja je svoju riječnu dolinu formirala u tektonski dosta poremećenom terenu, što je znatno ubrzalo eroziju (Natević, 1970). U području doline Neretve nalaze se polja (blata) koja su često poplavljena, a pojedini dijelovi su stalno pod vodom pa su formirana manja jezera i močvare kao što su Hutovsko blato, Deransko jezero, Svitavsko blato (Slika 2.1; Raić & Papeš, 1977).

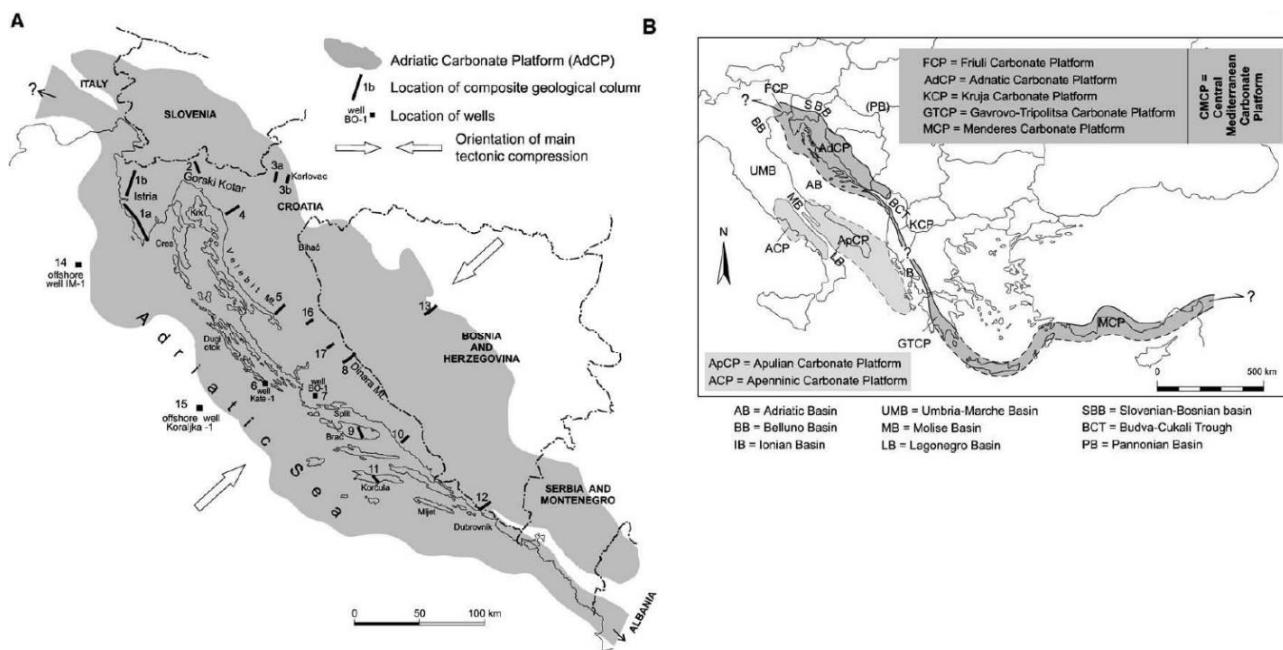


Slika 2.1 Geografski položaj istraživanog područja (preuzeto s <https://maps-for-free.com/>). Pravokutnik označava područje istraživanja za koje su konstruirani geološki profili.

Veći dio istraživanog područja pripada tektonskoj jedinici Navlake Visokog krša, a manji dio obale i otoka pripada Dalmatinskoj zoni (Schmid et al., 2008). Područje je tektonski poremećeno s obzirom na niz reversnih rasjeda dinaridskog pružanja, a koji mjestimice čine i imbricirane strukture koje ukazuju na tektonski transport prema jugozapadu. Teren je izgrađen pretežno od karbonatnih naslaga te su u njemu razvijeni krški fenomeni kao što su škrape, ponikve, jame i dr.

3. TEKTONSKE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

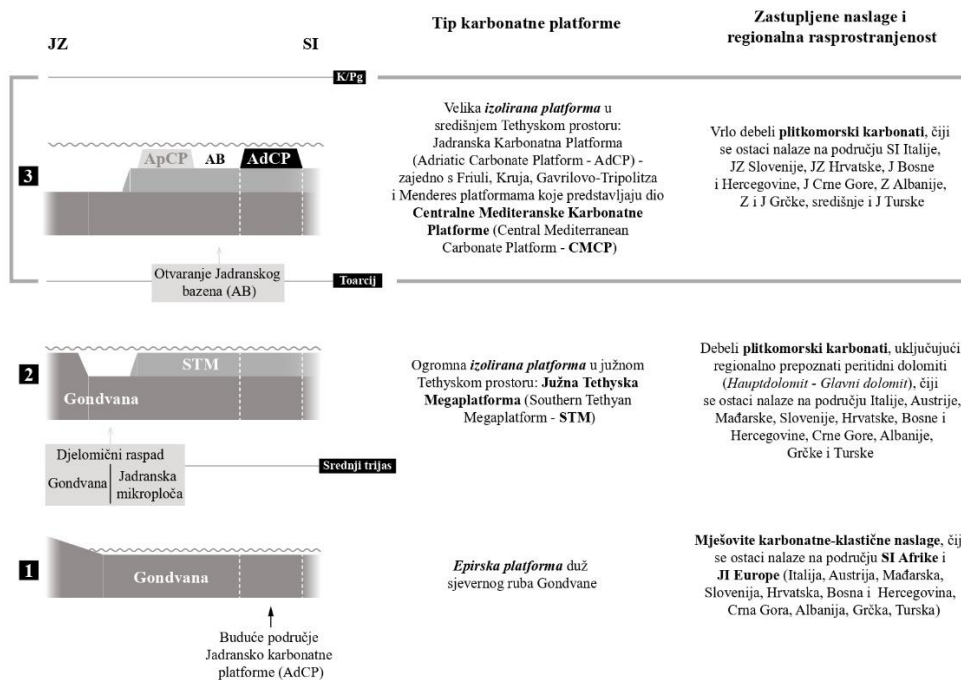
Područje istraživanja predstavlja dio borano-navlačnog sustava Vanjskih Dinarida koji predstavljaju deformirani dio Jadranske mikroploče (Vlahović et al., 2005; Schmid et al., 2008). Dinaridi su nastali kao posljedica kolizije Jadranske mikroploče s Euroazijskom pločom koja je započela tijekom mlađe krede, a maksimum izdizanja je bio tijekom srednjeg i mlađeg eocena i oligocena (Vlahović et al., 2005; Schmid et al., 2008). Stijene koje grade površinski dio Vanjskih Dinarida nastale su najvećim dijelom na nekadašnjoj Jadranskoj karbonatnoj platformi (JKP ili *Adriatic Carbonate Platform*, AdCP) čija je geološka i paleogeografska evolucija bila vrlo kompleksna. Jadranska karbonatna platforma jedna je od najvećih mezozojskih karbonatnih platformi u Perimediteranskom prostoru čiji se slijed naslaga pojavljuje u SI Italiji, Sloveniji, Hrvatskoj, Bosni i Hercegovini, Crnoj Gori i Albaniji (Slika 3.1; Vlahović et al., 2005).



Slika 3.1 Karta Jadranske karbonatne platforme (a) i rasprostranjenja današnjih ostataka nekadašnjih karbonatnih platforma u središnjem Mediteranu (b) (Vlahović et al., 2005)

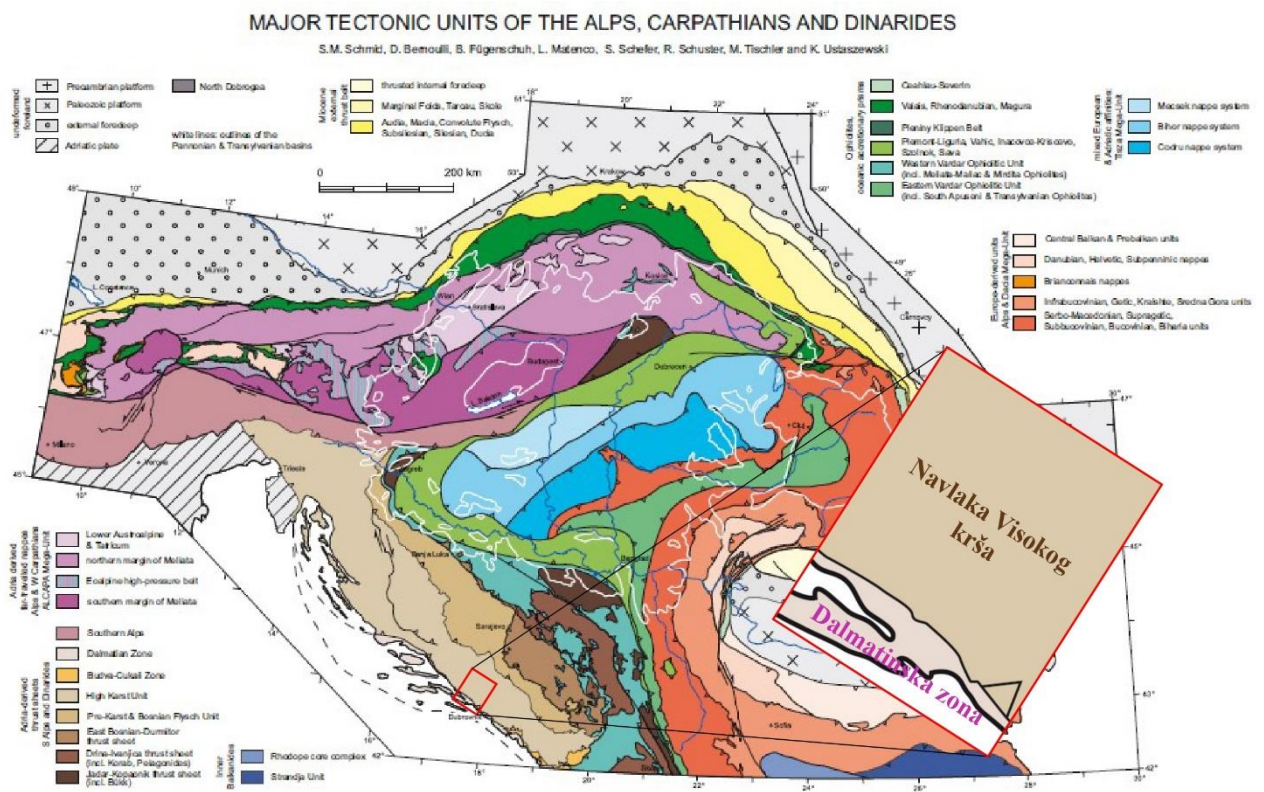
Karbonatne naslage predstavljaju najveći dio cjelokupnog slijeda Vanjskih (Krških) Dinarida, jer su vrlo debele (mjestimično i preko 8000 m) sa stratigrafskim rasponom od karbona do miocena. Veliki dio toga slijeda je taložen na nekadašnjoj Jadranskoj karbonatnoj platformi koja obuhvaća naslage stratigrafskog raspona od vrha donje jure (toarcij) do najmlađe krede (mjestimice i najstarijeg paleocena), pri čemu im je ukupna debljina značajno promjenjiva, između 3500 i 5000 metara (Vlahović et al. 2005).

Kroz svoju dugotrajnu geološku povijest ove su stijene bile pod utjecajem više emerzijskih faza i nekoliko faza riftinga, ekstenzije, kompresije, kao i transpresije/transtenzije. Stijene karbonske te donjo- i srednjopermske starosti predstavljaju dio variscijske podloge (Vlahović et al., 2005). Područje buduće Jadransko karbonatne platforme odnosno Jadranske mikroploče je do srednjeg trijasa predstavljalo dio sjevernog dijela Gondvane (1 na Slici 3.2), karakteriziran miješanom klastično-karbonatnom sedimentacijom (Vlahović et al., 2005). Tijekom mlađeg perma do srednjeg trijasa dogodila se intenzivna tektonska aktivnost koja je kulminirala regionalnim srednjotrijaskim vulkanizmom zabilježenim na cijeloj Jadranskoj mikroploči, a to je dovelo do formiranja goleme plitkomorske izolirane karbonatne platforme unutar novootvorenog oceanskog prostora Neotethysa koja je prema Vlahoviću et al. (2005) nazvana *Southern Tethyan Megaplatforma* (STM – 2 na Slici 3.2). Dezintegracija te megaplatforme (STM) dogodila se krajem starije jure odnosno tijekom toarcijskog oceanskog anoksičnog događaja (T-OAE) sedimentacija bila toliko spora da više nije mogla kompenzirati sinsedimentacijsku tektoniku uvjetovanu normalnim rasjedima. Na kontinentalnoj podlozi Jadranske mikroploče tako je formirano dubljemorsko korito koje je razdvojilo novoformiranu Jadransku karbonatnu platformu (*Adriatic Carbonate Platform* – AdCP) od Apulijske karbonatne platforme (*Apulian carbonate platform* – ApCP). Na ovaj način je nastao Jadranski bazen, preteča današnjeg Jadranskog mora (3 na Slici 3.2).



Slika 3.2 Shematski prikaz formiranja Jadranske karbonatne platforme (Vlahović et al., 2005).

Tijekom jure i početkom krede postupno tonjenje platforme omogućilo je taloženje nekoliko kilometara debelog slijeda karbonata, uglavnom plitkomorskih. Kolizija Jadranske mikroploče s Euroazijskom pločom započela je u mlađoj kredi, a kao posljedica kolizijskih procesa došlo je do diferencijacije taložnih prostora na području Jadranske karbonatne platforme (Vlahović et al., 2005). Na samom kraju krede zabilježena je značajnija regionalna emerzija dok je paleogenska transgresija u kombinaciji s formiranjem predgorskih bazena dovela do djelomičnog produbljivanja taložnih prostora i taloženja karbonatnih i klastičnih naslaga sve do kraja eocena, mjestimice i oligocena. Kolizijski procesi su imali vrhunac u eocenu i oligocenu kad je Dinaridski orogeni pojas konačno izdignut (Vlahović et al., 2005). Prema Schmid et al. (2008) geotektonske jedinice koje grade današnje Vanjske Dinaride, odnosno područje istraživanja u zaleđu Stona i Slanog, su Dalmatinska zona i Navlaka Visokog krša (Slika 3.3).



Slika 3.3 Geotektonske jedinice Alpa, Karpata i Dinarida, 1:5000000 (Schmid et al., 2008) – crveni pravokutnik označava područje zaleđa Stona i Slanog.

Dalmatinska zona odvojena je od nedeformiranog dijela Jadranske mikroploče pretpostavljenim reversnim rasjedom dinaridskog pružanja, koji se pruža u podmorju Jadrana. Dalmatinska zona obuhvaća primorje južne Dalmacije, poluotok Pelješac, otoke Mljet, Lastovo, Korčulu, Vis, Hvar, Brač te zaleđe Splita, a dalje se pruža sjeverozapadno

prema Cresu (Slika 3.3; Schmid et al., 2008). **Dalmatinska zona** predstavlja podinu **Navlake Visokog krša**, dok je u svom južnom dijelu od jedinice **Navlaka Visokog krša** odvojena **Budva–Cukali zonom**.

Jedinica **Navlaka Visokog krša** na kartama je izdvojena uz čitavu obalu Jadrana, iako je pružanje SZ od Splita znatno nejasnije. U podini ove navlake nalazi se *Dalmatinska zona*, odnosno **Budva–Cukali zona** na jugu i nedeformirani dio Jadranske mikroploče na sjeveru, a u krovini se nalazi **Predkrška navlaka** i jedinica **Bosanskog fliša** (Schmid et al., 2008).

4. STRUKTURNO – SEIZMOLOŠKA OBILJEŽJA

Sredozemna regija je tektonski vrlo kompleksno kolizijsko područje obilježeno dugačkim planinskim pojasovima (Alpe, Dinaridi, Albanidi, Helenidi, Tauridi, i dr.), dijelovima nesubducirane oceanske litosfere (Jonsko more), mladim oceanskim zalučnim bazenima (Tirensko more), aktivnim (Kalabrijski luk) i prekinutim subdukcijskim zonama, ali i mozaikom tektonskih ploča (npr. Jadranska mikroploča, Arapska ploča, Anatolijski blok, i dr.) (Schmid et al., 2008; Weber et al., 2010). U tom seizmički i tektonski aktivnom području konvergentno kretanje Afričke i Euroazijske ploče konzumirano je aktivnim subdukcijskim zonama duž Helenskog i Kalabrijskog luka, dok se preostali dio prenosi prema sjeveru u relativno stabilni dio Jadranske mikroploče u Jonskom i Jadranskom moru, odakle se dalje prenosi u okolne planinske lance Apenina, Alpa i Dinarida (Slika 4.1; Dasović et al., 2020).

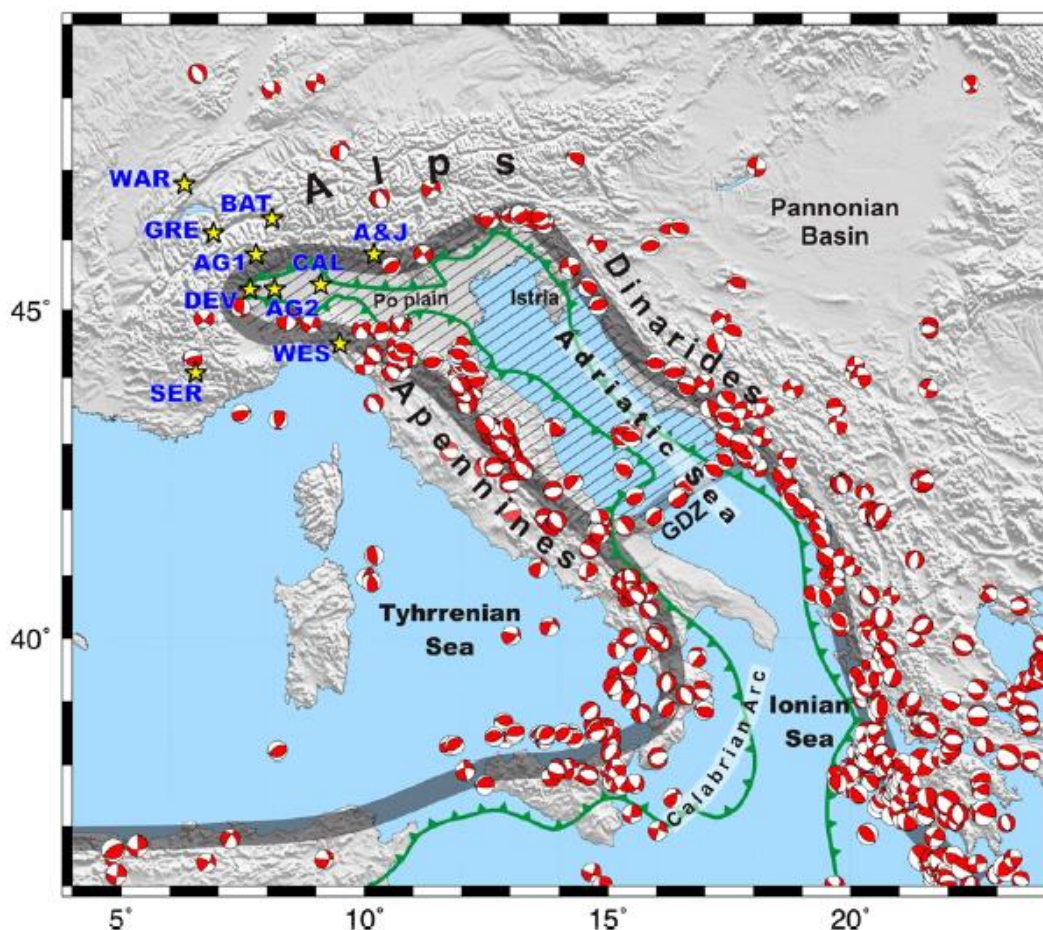


Slika 4.1 Geodinamska skica područja istočnog Sredozemlja i brzine konvergentnih kretanja Afričke ploče, Anatolijskog bloka i Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj ploči (Dasović et al., 2020).

4.1. Strukturna obilježja Jadranske mikroploče

Veći dio stabilnog dijela Jadranske mikroploče nalazi se u podmorju Jadrana, dok su njeni rubovi zahvaćeni mladim navlačnim rasjedima. U nizini rijeke Po Jadranska mikroploča prekrivena je debelim kvartarnim pokrivačem nekonsolidiranih aluvijalnih sedimenata

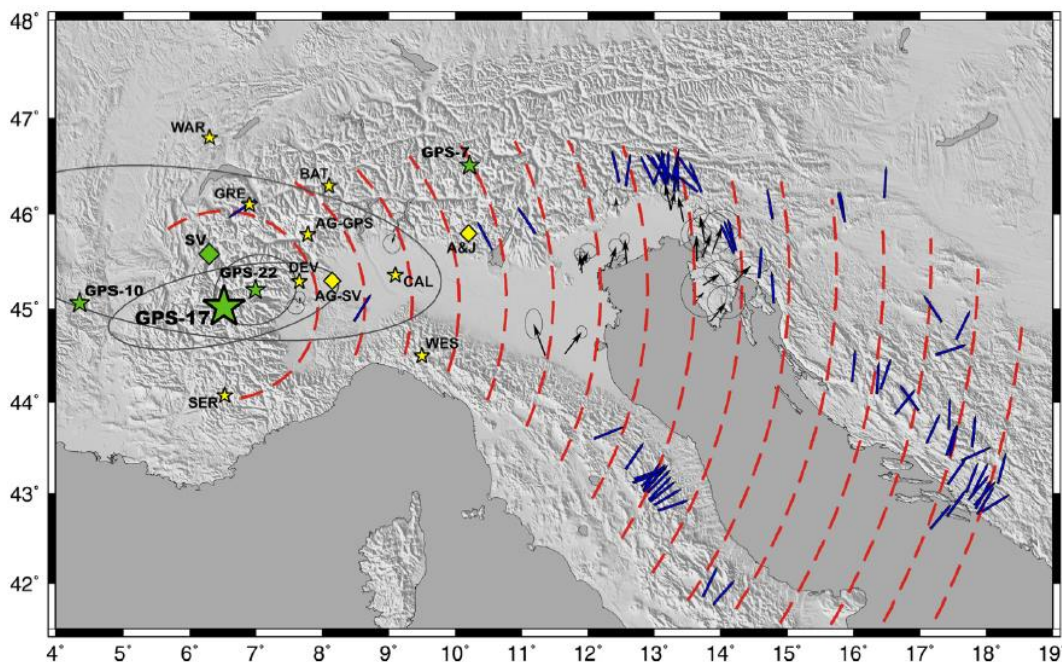
(Slika 4.2; Weber et al., 2010). Za razliku od relativno stabilne aseizmičke unutrašnjosti Jadranske mikroploče, seizmička aktivnost na rubnim područjima je vrlo intenzivna što ukazuje na rigidnost Jadranske mikroploče i kolizijski kontakt tipa kontinent–kontinent u odnosu na Euroazijsku ploču. Tek nekoliko žarišta potresa u južnom dijelu Jadrana, zoni Gargano–Dubrovnik, ukazuje na fragmentiranost stabilnog dijela Jadranske mikroploče (Slika 4.2; Battaglia et al., 2004; Marjanović, 2009).



Slika 4.2 Reljefna karta područja oko Jadranskog mora i njegova seizmičnost, žarišni mehanizmi potresa preuzeti iz talijanske CMT baze podataka 1976. – 2008. i europsko-mediteranske baze podataka RCMT 1997. – 2008. Zelena linija predstavlja navlačni rub deformiranog dijela Jadranske mikroploče. Šrafurani dio s dijagonalnim crtama predstavlja relativno aseizmički SZ blok Jadranske mikroploče do Gargano-Dubrovnik zone (GDZ). Kratice: A&J – Anderson & Jackson (1987); WES – Westaway (1992); RAT – Ward (1994); CAL – Calais et al. (2002); BAT – Battaglia et al. (2004) Sjeverni Jadran; GRE – Grenczy et al. (2005) Sjeverni Jadran; SER – Serpelloni et al. (2005); DEV – Devoti et al. (2008); AG1 – D'Agostino et al. (2008) izvedeno iz GPS podataka; AG2 D'Agostino et al. (2008) rješenje izvedeno iz vektora pomaka (prema Weber et al., 2010).

Sadašnju deformaciju Jadrana treba promatrati ne samo u okviru konvergencije između Afrike i Euroazije, već i s obzirom na kombinirano kretanje Afričke ploče, Euroazijske ploče, Anatolijskog bloka i Helenskog luka, čija dinamika kontrolira raspored potresa i

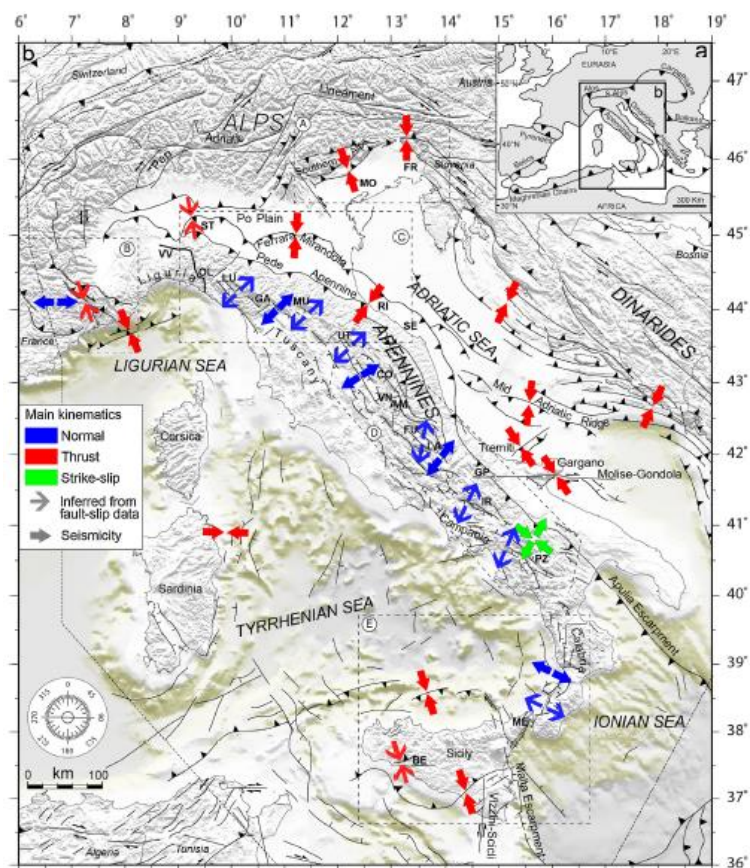
intenzitet deformacije unutar Jadranske mikroploče i duž njenih granica (Sani et al., 2016). Prema Marjanoviću (2009) rezultati istraživanja u kojima su korištena geodetska mjerenja u velikoj mjeri ukazuju da područje Jadranske mikroploče nije produžetak Afričke ploče te podupire hipotezu da je rotacija Jadranske mikroploče u suprotnom smjeru od kretanja kazaljke na satu oko pola koji se nalazi u Alpama. Weber et al. (2010) najbolje prikazuje brzine konvergentnih kretanja (u mm/god.) između Jadranske mikroploče i Euroazijske ploče proračunate na temelju GPS mjerenja u kojima se preklapaju položaji polova korištenjem različitog broja i vrste podataka. Konvergentno kretanje u stabilnom dijelu Jadranske mikroploče u odnosu na Euroazijsku ploču je u rasponu od 0,5 do 4,5 mm/god. (Slika 4.3; Weber et al., 2010; Dasović et al., 2020). Konvergentno kretanje lokalno se akumulira u stjenovitom, krtom dijelu kore u obliku tektonskih napetosti koje kad premaše granične vrijednosti posmične čvrstoće stijena ili postojećih rasjeda dovode do sloma i naglog otpuštanja dotad akumulirane energije u obliku seizmičkih valova (Dasović et al., 2020).



Slika 4.3 Prikaz lokacija izvedenog Eulerovog pola rotacije prema Weber et al. (2010) (zeleno – GPS-7, GPS-10, GPS-17, GPS-22, i SV (slip vector) koji odgovara GPS rješenjima za 7, 10, 17 i 22 mjesta), uspoređenih s prethodno objavljenim rješenjima (žuto): A&J – Anderson & Jackson (1987); WES – Westaway (1992); RAT – Ward (1994); CAL – Calais et al. (2002); BAT – Battaglia et al. (2004); GRE – Grenerczy et al. (2005); SER – Serpelloni et al. (2005); DEV – Devoti et al. (2008); AG-GPS – D'Agostino et al. (2008). Trajektorije i orijentacija vektora pomaka prikazani su crvenim i plavim crtama (Weber et al., 2010).

Rotacija uzrokuje djelomičnu ekstenziju orijentacije sjeveroistok-jugozapad u iznosu od 2,5 do 5 mm/god uzduž Apenina te dominantno konvergenciju sjeveroistok-jugozapad u iznosu

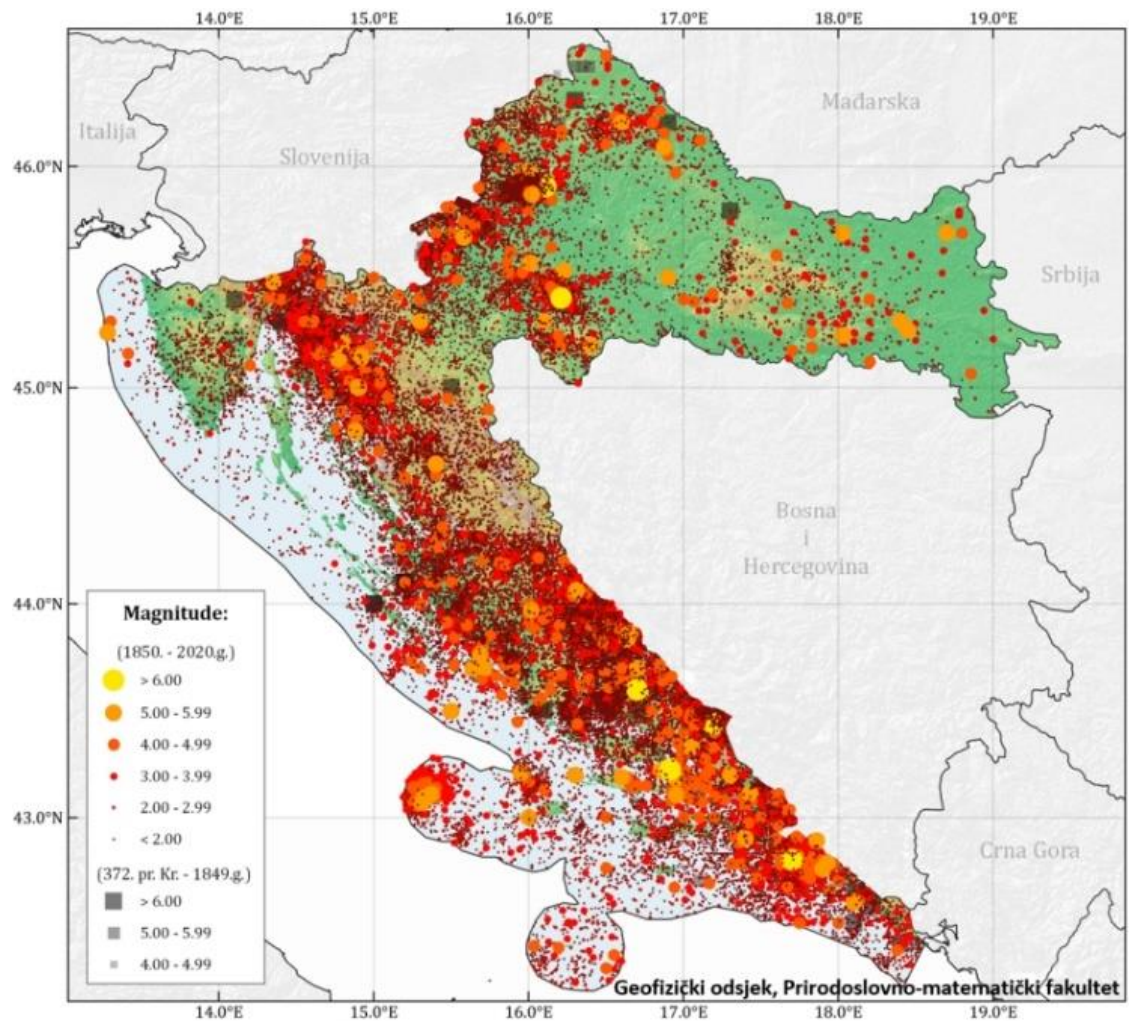
od 4 mm/god uzduž Dinarida (Slika 4.4). Geodetski i seizmički podaci su u suglasju s tim modelom gibanja ukazujući na aktivnu deformaciju rubnog područja Jadranskog mora uzrokovanu rotacijom i gibanjem Jadranske mikroploče (Marjanović, 2009).



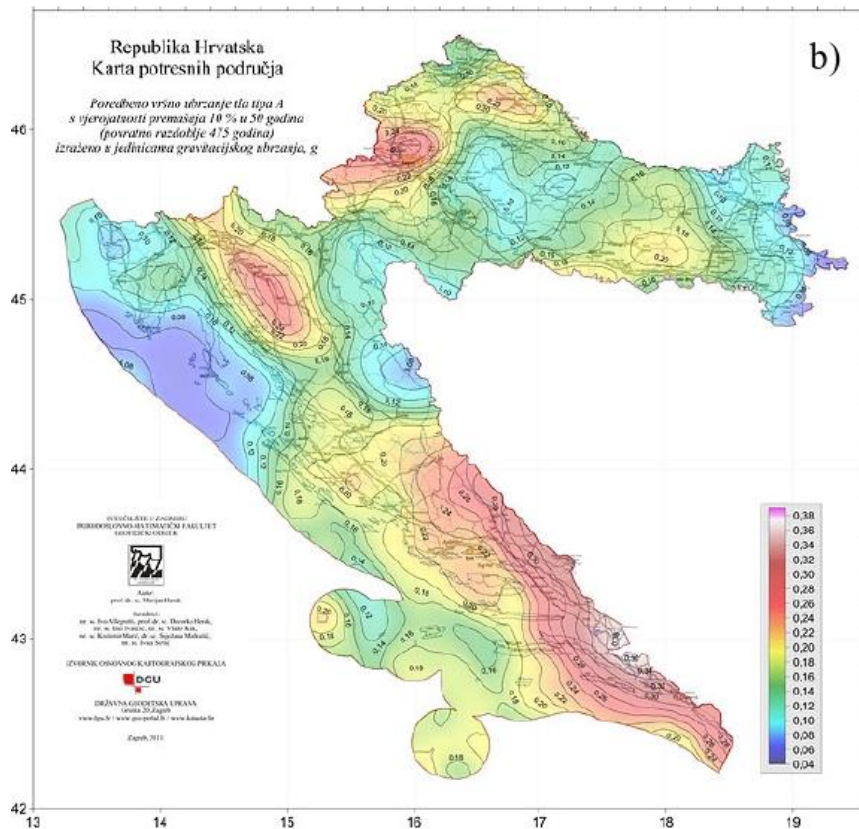
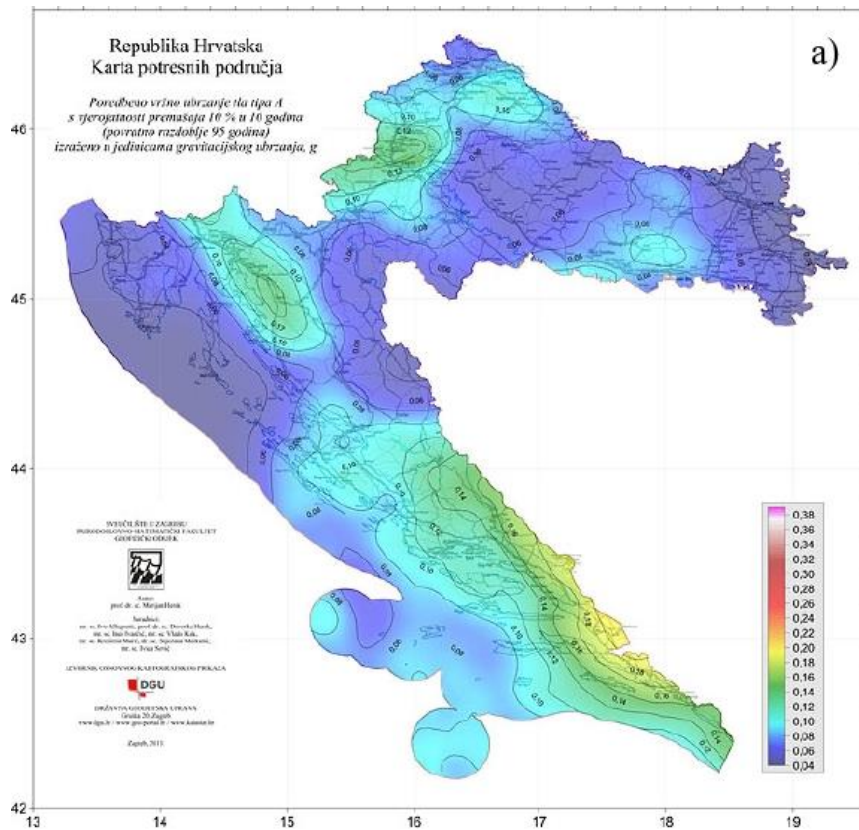
Slika 4.4 (a) Položaj istraživanog područja u okviru orogenih pojasova na Mediteranu. (b) Glavne strukture u Italiji (od kojih je većina aktivna) i okolnim regijama srednjeg Mediterana (Sani et al., 2016).

4.2. Seizmičnost područja istraživanja

Područje južnog dijela Hrvatske predstavlja epicentralno područje umjerenih do jakih potresa, što je vidljivo na karti seizmičnosti Republike Hrvatske (Slika 4.5). Usporedbom karata vršnog ubrzanja tla za povratna razdoblja od 95 i 475 godina vidljivo je da je južna Dalmacija tektonski najaktivnije područje u RH, posebice u okolici Stona–Slanog i Dubrovnika (Slika 4.6).

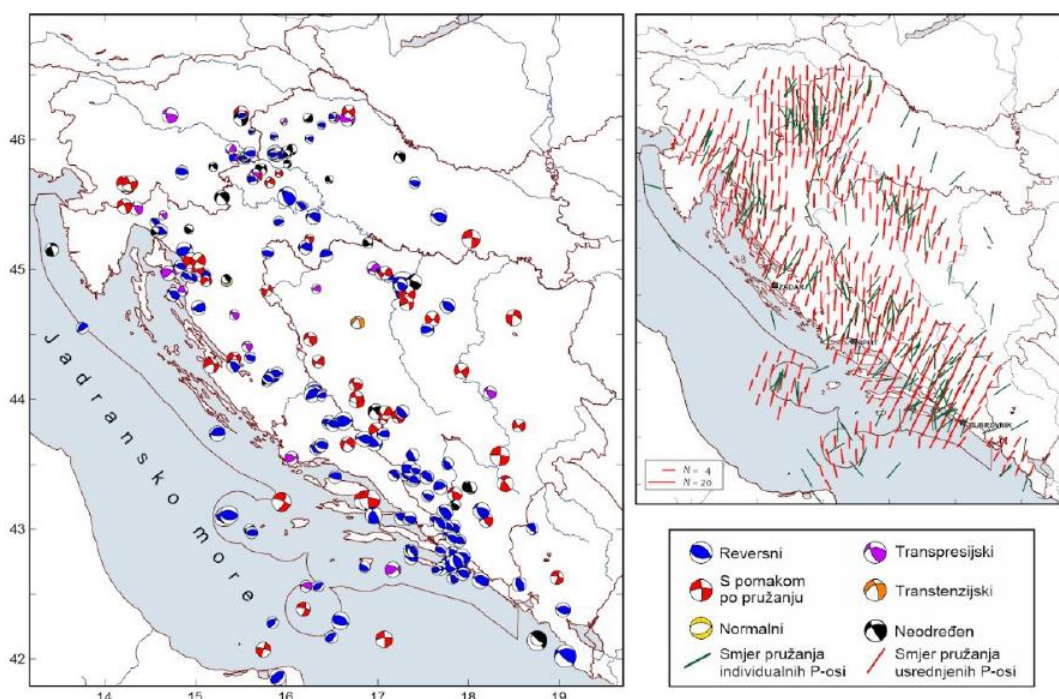


Slika 4.5 Karta epicentara potresa s povijesno i instrumentalno zabilježenim potresima na području Hrvatske do 2020. godine prema Katalogu potresa Hrvatske i susjednih područja (preuzeto s https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmichnost_hrvatske).



Slika 4.6 Karte vršnog ubrzanja tla za područje Republike Hrvatske (a) za povratno razdoblje od 95 godina (b) za povratno razdoblje od 475 godina (preuzeto s <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/>).

U južnoj Dalmaciji prevladavaju potresi nastali u kompresijskom režimu naprezanja, o čemu svjedoče žarišni mehanizmi potresa načinjeni analizom prvih nailazaka P-valova zabilježenih na seizmogramima jačih potresa u tom području (Slika 4.7). Pružanje najveće osi naprezanja (P-osi) u ovom je području pretežito SI–JZ, odnosno poprečno na Dinaridsko pružanje SZ–JI, a time i na pružanje glavnih seizmogenih reversnih rasjeda. Osim duž navedenih rasjeda lokalno su u ovom području zabilježeni i potresi nastali u transpresijskom režimu naprezanja, po rasjedima s pretežitim pomakom po pružanju, među kojima su najčešći oni pružanja SSZ–JJI s desnim pomakom (Dasović et al., 2020).



Slika 4.7 Prikaz žarišnih mehanizama potresa u Hrvatskoj i okolnim područjima, u razdoblju 1909. – 2016. godine. Mehanizmi su prikazani pomoću stereografskih projekcija na donju hemisferu, a boja kompresijskog kvadranta označava tip naprezanja, odnosno tip uzročnog rasjeda prema legendi. Na desnoj slici prikazana su i pružanja najveće osi naprezanja (P-osi) za pojedine potrese (zelene crte), kao i usrednjene vrijednosti definirane prostornim prozorom (crvene crte) (Herak et al., 2016).

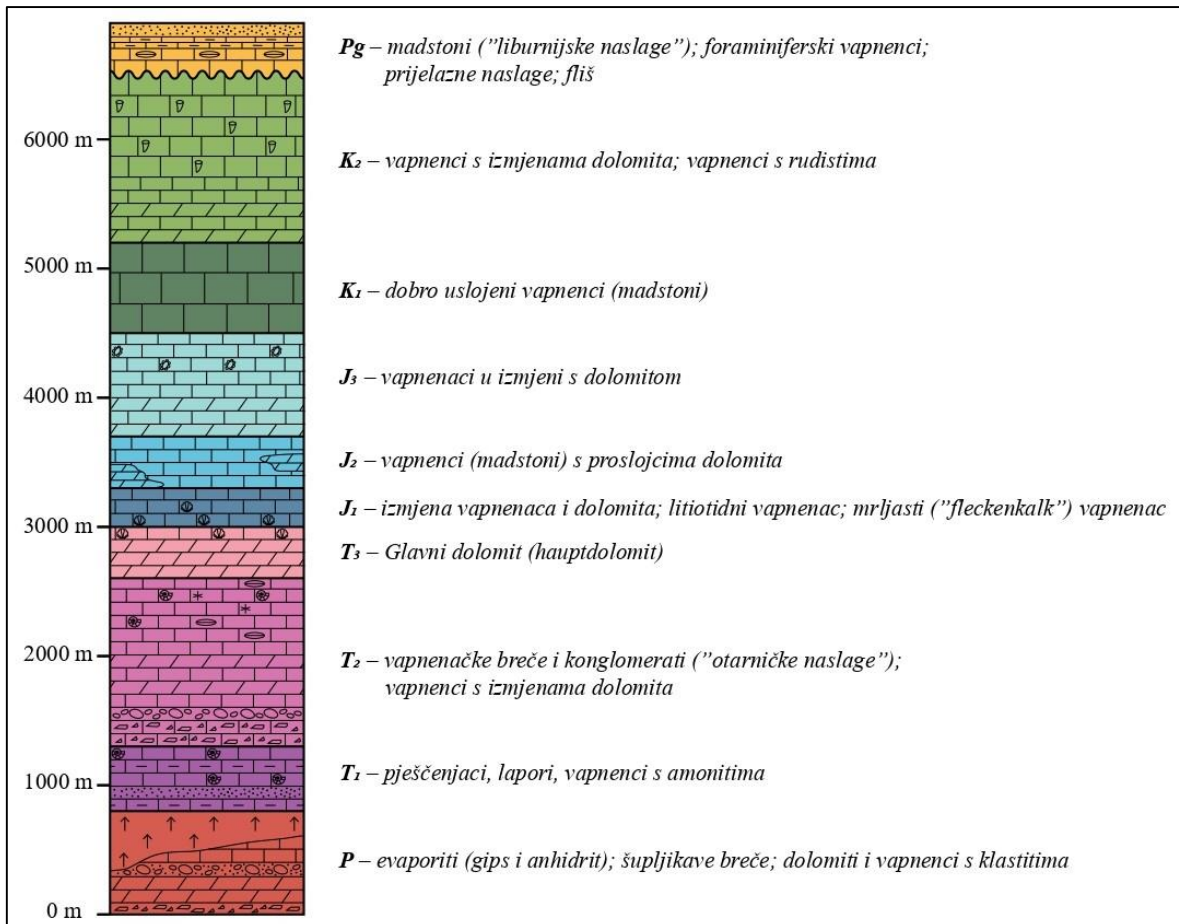
Žarišne dubine potresa su u rasponu od 2 do 20 km kao rezultat zadebljanja kore u kolizijskoj zoni nedeformiranog dijela Jadranske mikroploče s Vanjskim Dinaridima koja se nalazi u neposrednom podmorju južne Dalmacije. Najjači potresi u ovom epicentralnom području zabilježeni su kod Dubrovnika ($I_0 = IX-X$ °MCS, 1667. godine), Makarske ($M = 6,1$, 1962. godine) i Stona ($M = 6,0$, 1996. godine), a također i dosad najjači instrumentalno zabilježeni potresi u crnogorskom primorju ($M = 7,1$ i $6,2$, 1979. godine) pripadaju istom regionalnom, seizmotektonskom pojasu koji se iz Dalmacije nastavlja prema JI u Crnu Goru i Albaniju (Dasović et al., 2020).

5. GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Područje južne Dalmacije te JZ Bosne i Hercegovine, odnosno zaleđe Stona i Slanog geološki je sustavno istraživano u sklopu izrade listova OGK i pripadajućih tumača *Metković* (Raić et al., 1975; Raić & Papeš, 1977), *Ston* (Raić et al., 1980; Raić & Papeš, 1982), *Trebinje* (Natević & Petrović, 1967; Natević, 1970) i *Nevesinje* (Mojićević & Laušević, 1969; Mojićević & Laušević, 1973).

Shodno tome, u ovom radu prikazan je generalni slijed naslaga na istraživanom području koje su prikazane na konstruiranim seizmotektonskim profilima, idući od stratigrafski najstarijih stijena koje čine permski klastiti i evaporiti, a preko koji naliježu mezozojski karbonati (vapnenci i dolomiti) i klastiti. U krovini mezozojskog slijeda nalaze se i najmlađe paleogensko–neogenske karbonatno-klastične naslage te naposljetku kvartarne slabo vezane klastične naslage (aluvijalni, proluvijalni i deluvijalni nanosi, barski sedimenti).

Najstarije naslage koje se nalaze na površini na istraživanom području su gornjotrijaske starosti, međutim u širem području Dalmacije najstarije su permske naslage koje se nalaze na OGK listovima *Drniš* (Ivanović et al., 1977), *Knin* (Grimani et al., 1972) i *Sinj* (Papeš et al., 1982). Uzevši debljine naslaga s navedenih karata napravljen je kompozitni geološki stup za istraživano područje, a ukupna debljina cjelokupnog karbonatnog slijeda je oko 6900 metara (Slika 5.1). U narednom potpoglavlju bit će prikazan slijed naslaga od stratigrafski najstarijih do najmlađih naslaga u području istraživanja.



Slika 5.1 Geološki stup slijeda permskih, mezozjskih i paleogenskih naslaga na istraživanom području Stona i Slanog te zaleđa.

5.1. Perm (P) – evaporiti i klastiti

Permske naslage su najstarije otkrivene naslage na površini koje su otkrivene na OGK listova *Drniša* (Ivanović et al., 1977), *Sinja* (Papeš et al., 1982) i *Knina* (Grimani et al., 1972). Kako se permske naslage ne nalaze na površini istraživanog područja njihova debljina preuzeta je iz literature Balling et al. (2021) i iznosi 800 m. Permske naslage su izgrađene od evaporita (gips i anhidrit), dolomita i vapnenaca, udruženih s klastitima i magmatitima (Bukovac & Jamičić, 2009). Naslage evaporita sa spilitiziranim dijabazima, te klastitima (dominira izmjena boje od sivozelene do crvenkaste), šupljikavim brečama i pješčenjacima dijapirski su kretane zbog čega se na površini pojavljuju u vrlo kompleksnim strukturno-startigrafskim odnosima (Raić et al., 1984; Bukovac & Jamičić, 2009).

5.2. Donji trijas (T₁) – pješčenjaci, lapori i vapnenci

Razvoj donjeg trijasa obuhvaća skitski kat čiji niži dio odgovara sajskim, a viši dio kampilskim naslagama (Sokač, 2009). Sajske naslage izgrađene su dominantno od pješčenjaka i lapora, a u izmjeni se mogu naći karbonatne stijene tj. vapnenci s lećama dolomita. Kontinuirano na sajskim naslagama slijedi izmjena vapnenaca i lapora (kampilske naslage). Kampilski slojevi sadrže bogatu makrofaunu, a često se mogu naći i amoniti od kojih su najčešći primjerci rodova *Tirolites* i *Dinarites*. Sedimentno-petrografske karakteristike ovih naslaga ukazuju na postojanje plitkomorskih uvjeta, ali sa slabijim utjecajem kopna (Raić et al., 1984). Ove naslage se ne nalaze na površini istraživanog područja pa je prema Balling et al. (2021) uzeta debljina iznosa 500 m.

5.3. Srednji trijas (T₂) – vapnenačke breče, konglomerati („otarničke naslage“), vapnenci

Naslage srednjeg trijasa su kontinuirano istaložene na kampilskim slojevima. U najnižim dijelovima srednjeg trijasa nalaze se vapnenačke breče i konglomerati poznati pod nazivom „otarničke naslage“. Preko „otarničkih naslaga“ slijede klastiti i dolomiti koji su dominantno zrnaste strukture (Raić et al., 1984; Sokač, 2009). Tijekom srednjeg trijasa dominirala je karbonatna sedimentacija, gdje su zastupljeni različiti tipovi plitkomorskih vapnenaca više ili manje zahvaćeni procesima rekristalizacije i kasnodijagenetske dolomitizacije (Sokač, 2009). Kako naslage nisu izašle na površinu istraživanog područja njihova debljina preuzeta je iz Balling et al. (2021) i ona iznosi 1300 m.

5.4. Gornji trijas (T₃) – Glavni dolomiti

Najstarije naslage na istraživanom terenu pripadaju mlađem trijasu. Naslage se na površini nalaze samo na OGK lista Ston, prema pripadajućem tumaču ove naslage izgrađuju dolomiti s rijetkim proslojcima vapnenaca, debljine oko 400 m. Nalaze se na samom čelu Navlake Visokog krša te se rasprostiru od Slivna Ravna, Smokovljana, Slanog do Trstena (Raić et al., 1980). Gotovo cijelim pružanjem navučene su na klastične naslage eocena, a dijelom i na starije kredne naslage (Raić & Papeš, 1982). Početak slijeda naslaga gornjeg trijasa obilježen je jednoličnom izmjenom ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita. Ova izmjena svijetlih i tamnih dolomita naziva se Glavni dolomit (hauptdolomit) (Sokač, 2009).

5.5. Donja jura (J₁) – *izmjena vapnenaca i dolomita, litiotidni i mrljasti vapnenci*

Konkordantno preko dolomita mlađeg trijasa leže naslage starije jure koje se pružaju u pojasu od Rabe, Slivna Ravna, Slanog do Trstena (Raić et al., 1980). Naslage starije jure uglavnom čine dobroslojeviti vapnenci sive do tamnosive boje koji se u nižem dijelu izmjenjuju s kasnodijagenetskim dolomitima, a unutar kojih se u višem dijelu nalaze prosljoci sa školjkašima iz skupine litiotida, po čemu se najčešće i nazivaju litiotidni vapnenci (Raić & Papeš, 1982). Osim velikog broja ljuštura tih školjkaša u naslagama se nalazi veliki udio puževa, bentičkih foraminifera, vapnenačkih alga i brahiopoda (Velić & Vlahović, 2009). U krovini litiotidnih vapnenaca nalazi se tankopločasti facijes mrljastih vapnenaca („fleckenkalk“) koji je vrlo siromašan fosilima jer u to vrijeme nastupa oceanski anoksični događaj (OAE) u kojem uvjeti za život i razvoj bentosa nisu bili pogodni (Velić & Vlahović, 2009). Debljina naslaga donje jure je oko 300 m.

5.6. Srednja jura (J₂) – *vapnenci (madstoni) s prosljocima dolomita*

Naslage srednje jure pružaju se od Slivna Ravno na sjeverozapadu do iznad Trstena na jugoistoku te su konkordantno taložene na donjojurskim naslagama, a njihova debljina je oko 400 m (Raić et al., 1980). Najveći dio naslaga srednje jure čine vapnenci s prosljocima dolomita (Raić & Papeš, 1982). Za razliku od drugih dijelova hrvatskoga krša, u južnoj Dalmaciji prevladavaju vapnenci zrnaste potpore. Stariji i srednji dio srednje jure izgrađen je od debelih slojeva sivih i tamnosivih vapnenaca (madstona) s prosljocima sivkastosmeđih kasnodijagenetskih dolomita. U mlađem dijelu srednje jure najzastupljeni su olitični vapnenci znatno svjetlije, mjestimice bijele boje (Natević, 1970; Velić & Vlahović, 2009).

5.7. Gornja jura (J₃) – *vapnenci s kladokoropsisima i klipeinama*

Naslage gornje jure kontinuirano su taložene na vapnence srednje jure, a nalaze se u krajnjem sjeverozapadnom dijelu terena iznad sela Duba, u području između Čepikuća i Mravinjca, u južnom i istočnom dijelu terena između Kuta, Slana i Kijev dola, te u širem području Močevića i Zavale (Raić et al., 1980). Gornjojurske naslage su obilježene vapnencima s kladokoropsisima i vapnencima s klipeinama. U donjem dijelu gornje jure (oksford – kimeridž) naslage izgrađuju vapnenci s čestim izmjenama sivih i smeđesivih dolomita. Bogati su hidrozoima od kojih se ističe vrsta *Cladocoropsis mirabilis*. Vapnenci s klipeinama predstavljaju završni član jurskih naslaga i konkordantno su taloženi na

vapnencima s kladokoropsisima. Takvi dobroslojeviti vapnenci su svijetlosive, sive do bijele boje, a u njima se često mogu naći presjeci zelene alge *Clypeina jurassica*. Pored vapnenaca rijetko se nalaze i proslojci dolomita tamnijih boja i slabije izražene slojevitosti (Raić & Papeš, 1982). Ukupna debljina naslaga gornje jure je oko 800 m.

5.8. Donja kreda (K₁) – dobro slojeviti vapnenci (madstoni)

Naslage donje krede rasprostranjene su gotovo na svim dijelovima OGK listova Ston (u širem području Popova polja i Stona) i Trebinje (od Sparožića i Gluhe Smokve na istoku do Zavale i Popovog polja na zapadu), a njihova debljina je oko 700 m (Raić & Papeš, 1982; Natević, 1970). Pretežu različiti tipovi vapnenaca, a dolomiti su uglavnom kasnodijagenetski. Debeloslojeviti vapnenci tipa madstona su najčešći (Velić & Vlahović, 2009). Granica između albskih i cenomanskih naslaga, vapnenaca s orbitolinama i salpingoporelama je postupna (Raić & Papeš, 1982). Naslage starije krede čine karbonati velikih debljina taloženi u plitkomorskim uvjetima koji sadrže brojne ostatke koraljnih grebena, hidrozoja, briozoja, puževa i školjkaša (Velić & Vlahović, 2009).

5.9. Gornja kreda (K₂) – rudistni vapnenci

Naslage gornje krede izgrađuju najveći dio terena, te su prisutne na OGK listovima Ston, Metković, Trebinje i Nevesinje koji obuhvaćaju istraživano područje (Raić et al., 1975; Raić et al., 1980; Natević & Petrović, 1967; Mojićević & Laušević, 1969). Nakon taloženja albsko–cenomanskih naslaga slijedi paket cenomansko–turonskih vapnenaca i dolomita s hondrodontama i rudistima. U donjem dijelu tih naslaga česte su izmjene s dolomitima, dok se u višim horizontima nalaze gotovo isključivo vapnenci. Hondrodonte se ne nalaze svuda podjednako tj. negdje su njihove ljuštore nagomilane u velikom broju tako da gotovo izgrađuju cijelu stijenu, a ponegdje ih ima jako rijetko ili ih uopće nema. Krovinski svijetlosivi i sivi vapnenci s rudistima (stratigrafskog raspona turon–mastriht) u kojima ima i mnogo proslojaka dolomita su veoma rasprostranjeni, a na njima slijede vapnenci s keramosferinama i rudistima kao najmlađe gornjokredne naslage. Te su naslage starosti kampan–mastriht, sive su, svijetlosive do bijele boje, imaju zrnastu strukturu jer sadrže mnogobrojno kršje rudistnih ljuštura koje karakterizira ovu seriju vapnenaca (Raić & Papeš, 1982). Ukupna debljina gornjokrednih naslaga je oko 1300 m.

5.10. Paleogen (Pg)

Paleogen je predstavljao razdoblje značajnih tektonskih pokreta u današnjem području Vanjskih Dinarida, a najava toga bila je i emerzija najvećeg dijela ovog područja između krede i paleogena. U takvim prilikama na različitim lokalitetima i u različito vrijeme taložene su različite naslage: morski, brakični pa čak i slatkovodni sedimenti. Najčešće se nalaze u obliku širih ili užih pojaseva, dinaridskog pružanja, gdje se pojavljuju između krednih vapnenaca ukliještenih uz reversne rasjede (Raić & Papeš, 1977). Na području istraživanja, izdvojene su: liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage, flišne naslage i prominske naslage. Ovisno o području, debljina ovih naslaga je vrlo promjenjiva, a kao srednja vrijednost uzeto je da njihova debljina iznosi oko 400 m.

5.10.1. Liburnijske naslage (Pc, E)

Liburnijske naslage taložene su diskordantno na rudistnim vapnencima pri čemu je važnu ulogu odigrala tektonika te dugotrajno okršavanje krednog kopna. Na kontaktu sa starijim naslagama česte su pojave boksita, a osim toga najdonji dio liburnijskih slojeva čine mjestimično breče ili brečasti vapnenci koji također ukazuju na prekid sedimentacije odnosno diskordantno taloženje liburnijskih slojeva. Liburnijske naslage uglavnom čine tamnosmeđi, smeđi, tamnosivi i rijetko crni vapnenci (Mojićević & Laušević, 1973; Raić & Papeš, 1977).

5.10.2. Foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (E_{1,2})

Krajem paleocena i početkom eocena nastupa transgresija, tako da se foraminiferski vapnenci ne talože samo na liburnijske slojeve nego i na gornjokredne vapnence (Raić & Papeš, 1977). Foraminiferski vapnenci su podijeljeni u tri do četiri litostratigrafske jedinice: miliolidne, alveolinske i numulitne vapnence te diskociklinske vapnence (Velić & Vlahović, 2009). U starijim slojevima prevladavaju sitnije foraminifere, dok u mlađim dolaze krupniji oblici (Raić & Papeš, 1977). Građeni su iz skeleta bentičkih i rjeđe planktonskih foraminifera. Predstavljaju izmjenu postupno sve dubljih taložnih okoliša. Na foraminiferske vapnence slijede prijelazne naslage koje izgrađuju glinoviti vapnenci, kalcitični lapori i lapori taloženi u dubljim taložnim okolišima (Velić & Vlahović, 2009).

5.10.3. Flišne naslage (E_{2,3})

Flišne naslage se nalaze u obliku dugačkih i vrlo uskih zona uz reversne rasjede, a izgrađuju ih pješčenjaci, laporoviti vapnenci, konglomerati i rjeđe tanji ulošci glinovitog materijala. U višim dijelovima serije prevladavaju pješčenjaci i lapori. Leže diskordantno na

foraminiferskim vapnencima i gornjokrednim vapnencima (Raić & Papeš, 1982). Fliš predstavlja dubokomorske naslage nastale kretanjem pijeska i mulja sa šelfa turbiditnim mehanizmom niz padinu prema dubljem dijelu bazena (Marinčić Stanko, 2009).

5.10.4. Prominske naslage (E, OI)

Prominske naslage leže konkordantno preko flišnih naslaga, a mjestimice i transgresivno preko starijih naslaga gornje krede, što ukazuje na pokrete tijekom njihovog taloženja. Prominske naslage izgrađuju konglomerati čije valutice nisu ujednačenih dimenzija, sortiranost je slabo izražena što ukazuje na brzu sedimentaciju i kratak transport. Ovo je dokaz da se radi o molasnom materijalu, završnom sedimentu orogena (Mojićević & Laušević, 1973).

5.11. Kvartar (Q)

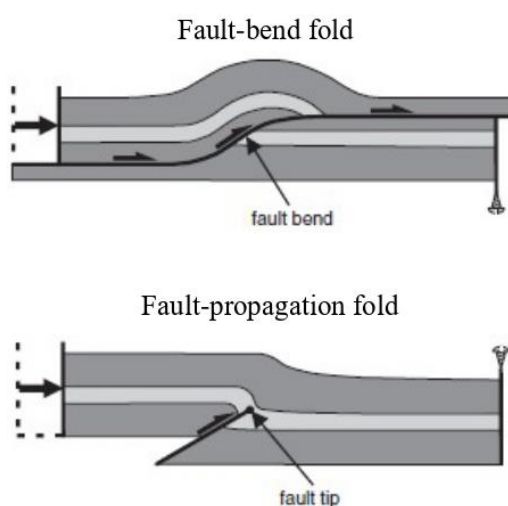
Kvartarne naslage su najčešće u krškim poljima, većim ponikvama i riječnim dolinama, osobito u Popovom polju, Dabarskom polju, Hutovom blatu itd. Predstavljene su aluvijalnim i proluvijalnim nanosima te barskim sedimentima (Raić et al., 1975; Raić et al., 1980; Natević & Petrović, 1967; Mojićević & Laušević, 1969).

Proluvijalni nanosi izgrađeni su od pijeska i šljunka, a podrijetlom su vezani za stijene uže okoline odakle su donesene bujičnim tokovima. Aluvij je predstavljen pijeskom, šljunkom i ilovačom. Valutice šljunka su pretežno izgrađene od čistih vapnenaca, rjeđe glinovitih i dolomitičnih vapnenaca. Pored vapnenačkih nalaze se i valutice pješčenjaka i rožnjaka. Takve su naslage pokrivenne humusnim pokrivačem (Raić & Papeš, 1982).

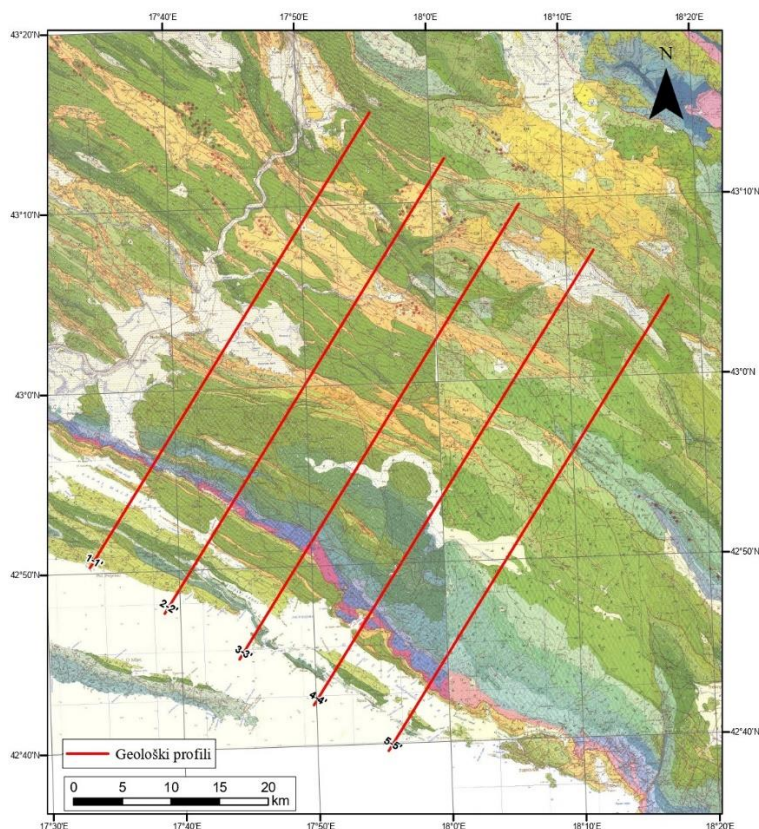
Barski sedimenti su najviše rasprostranjeni u dolini rijeke Neretve. Uslijed male nadmorske visine i hidroloških prilika najdonjeg dijela toka rijeke Neretve, znatne površine su bile stalno pod vodom. Međutim, u posljednje vrijeme je vršena melioracija tako da je gotovo čitavo područje pretvoreno u plodno zemljište. Relativno veliko prostranstvo zauzimaju močvarni tereni na kojima raste mnogo barskog bilja iz kojeg nastaju tresetišta (Raić & Papeš, 1982).

6. METODOLOGIJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U svrhu opisa strukturne građe istraživanog područja konstruirano je pet geoloških profila. Na samom početku u programu *ArcGIS 10.1* konstruirano je pet trasa profila, duljine 55 km, koji su međusobno paralelni i udaljeni jedan od drugog 9 km (Slika 6.2). Nakon toga je na temelju digitalnog elevacijskog modela (DEM) rezolucije 25 m konstruirana topografija terena te 2D profili. Konstrukcija geoloških profila provedena je u programu *Adobe Illustrator*. Kako bi se pojednostavila izrada geoloških profila kartirane jedinice su udružene u jedinstvene jedinice donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa te donje, srednje i gornje jure, donje i gornje krede. Paleocensko–eocensko–oligocenski slijed naslaga, odnosno liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci, prijelazne naslage, fliš i prominske naslage su udružene u jedinstvenu jedinicu paleogenskih naslaga. Profili su postavljeni poprečno na pružanje Dinaridskih struktura (SZ–JI) kako bi se što bolje interpretirala strukturna građa podzemlja i kako bi se vidjeli međusobni odnosi duž navlaka i navlačnih kontakata. Na profilima je generalno uočljiv niz antiklinala i sinklinala koje su nastale u kompresijskom polju naprezanja, pri čemu je najveća os naprezanja generalnog pružanja SI–JZ. Sustavi antiklinala i sinklinala vezani su uz reversne rasjede koji ko-genetski stvaraju bore po modelima *fault-propagation fold* i *fault-bend fold* boranja (Slika 6.1; Fossen, 2010). Na svakom konstruiranom profilu iznad površine su projicirane naslage kojih danas više nema zbog procesa erozije. Konstrukcija strukturnog modela podzemlja je u sljedećem koraku podrazumijevala prostorno povezivanje konstruiranih geoloških profila. Kako bi što bolje opisali kompleksnu geološku strukturu izrađen je konceptualni 3D geološki model u *Petroleum Expert Move* softveru.



Slika 6.1 Ko-genetski tipovi bora nastali zbog reversnog rasjedanja: *fault-bend* i *fault-propagation* tip bora (Brandes & Tanner, 2014).

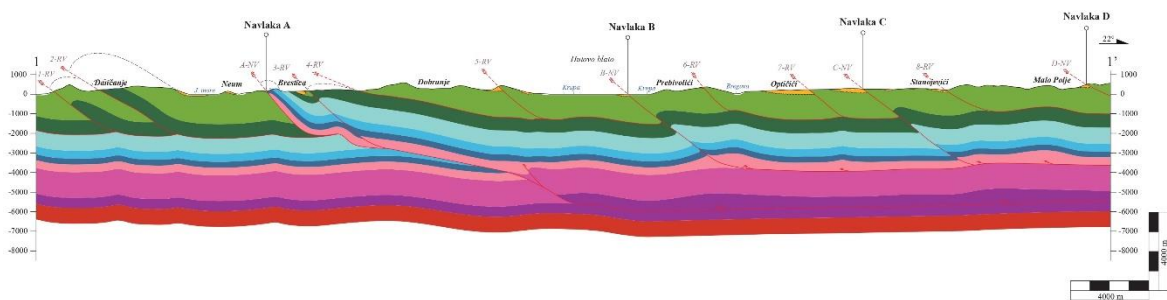


Slika 6.2 Položaji trasa konstruiranih geoloških profila u odnosu na geološke strukture na širem području istraživanja. Područje istraživanja obuhvaća O GK listova Ston, Metković, Nevesinje i Trebinje (Raić et al., 1980; Raić et al., 1975; Mojićević & Laušević, 1969; Natević & Petrović, 1967).

6.1. Geološki profil 1–1'

Geološki profil 1–1' (Slika 6.1 i 6.2; Prilog 1) je najsjeverozapadniji profil na području istraživanja. Poprečno je postavljen na reversne rasjede pružanja SZ–JI, pod azimutom 22°. Profil se pruža od Neuma na jugozapadu preko planine Žaba i Hutovog blata sve do Malog Polja na sjeveroistoku. Početak profila, do Neuma, obuhvaća geotektonsku jedinicu **Dalmatinske zone** u kojoj je vidljiva vrlo karakteristična imbricirana navlačna struktura. Takvo ponavljanje krednih naslaga koje formiraju *fault-propagation* tip bora, upućuje da su fizički odvojene od podinskih stijena tj. naslaga gornje jure. Na kontaktu krednih i jurskih naslaga postavljen je dekolmanski horizont na dubini oko 2000 m. Po dekolmanskom horizontu došlo je do horizontalnih kretanja tako da se u slojevima iznad nalaze intenzivnije deformacije dok su u podinskim slojevima, ispod dekolmana, deformacije blaže. Profil obuhvaća navlačne strukture, pružanja SZ–JI, od kojih je površinsko pružanje **Navlake A** najduže. **Navlaka A** se nalazi u baznom dijelu profila te je prema interpretaciji ukupne

duljine preko 40 km, pri čemu zapravo predstavlja čelo *Navlake Visokog krša* sa slijedom naslaga od gornjeg trijasa do gornje krede. Inicijalni kut nagiba navlake je oko 50°, međutim idući prema SI navlaka postaje sve blaža. Sustav navlaka odgovara tzv. *fault-bend-fold* modelu boranja (Fossen, 2010), pri čemu je glavni dekolmanski horizont donjotrijaske starosti pretpostavljen na dubini oko 5500 m. S obzirom na debljine naslaga koje se nalaze u neposrednoj krovini i podini, vrijednost relativnog vertikalnog pomaka je oko 4 km. U odnosu na **Navlaku A** **Navlaka B** i **Navlaka C** su pliće navlačne strukture čiji je dekolmanski horizont je gornjotrijaske starosti pretpostavljen na dubini oko 3500 m, a iznad njega je izražen *fold-propagation* tip boranja. Na samom SI kraju profila nalazi se čelo **Navlake D** pod kutom nagiba 30°. Na površini se većinom nalaze naslage gornje krede formirajući imbricirane strukture koje su dekolmanskim horizontom odvojene od naslaga donje krede. Ovo je najplići i najmlađi dekolman pretpostavljen na dubini od približno 1000 m.

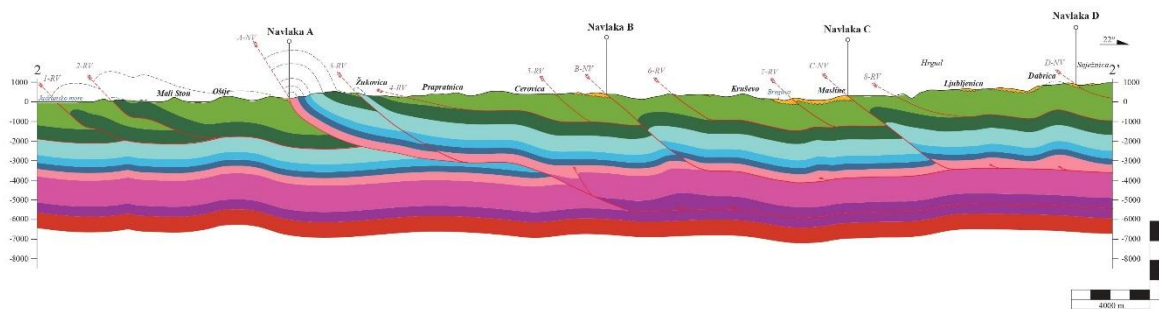


Slika 6.3 Geološki profil 1–1'.

6.2. Geološki profil 2–2'

Geološki profil 2–2' (Slika 6.1 i 6.3; Prilog 2) paralelan je s profilom 1–1' od kojeg je udaljen 9 km, a azimut mu je također 22°. Profil se pruža od Malog Stona na jugozapadu do Žukovice, Kruševa te planine Hrgud i Snježnice na sjeveroistoku. U geotektonskoj jedinici *Dalmatinske zone*, na početku profila, također se nalaze imbricirane strukture i blaga deformacija starijih naslaga, od perma do gornje jure, koje su odijeljene dekolmanskim horizontom na dubini oko 1900 m. Slične geometrije kao i na profilu 1–1', **Navlaka A** predstavlja čelo *Navlake Visokog krša* s glavnim dekolmanskim horizontom trijasko starosti na dubini oko 5500 m. Blizu čela **Navlake A**, kod mjesta Žukovica, došlo je do ponovnog izdizanja gornje jure na površinu. Zbog jačeg kompresijskog naprezanja na dekolmanskom horizontu **Navlake A** formiran je reversni rasjed koji je izdigao mlađu juru. Inicijalni kut nagiba **Navlake B** i **Navlake C** je oko 40°, s plićim dekolmanskim horizontom na dubini

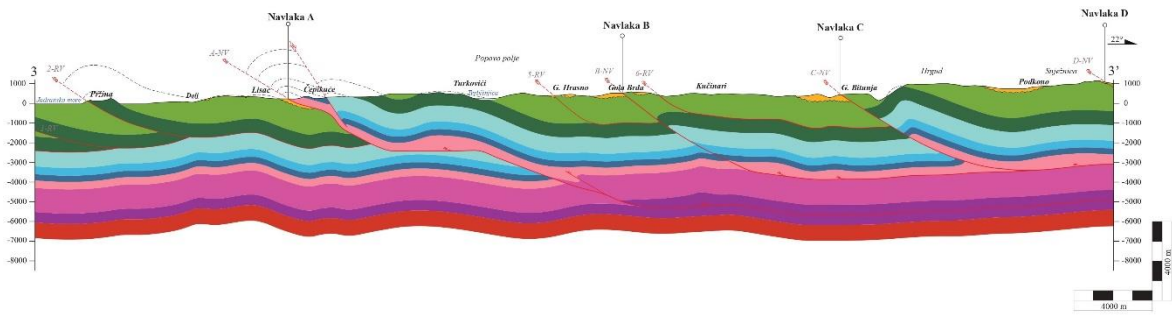
oko 3600 m. Zbog kompresijske tektonike izraženo je *fault-propagation* tip boranja sa slijedom naslaga od gornjeg trijasa do gornje krede. Čelo **Navlake D** na samom kraju profila je kuta nagiba 30°. Niz reversnih rasjeda s vergencijama prema jugozapadu iznad najblićeg dekolmanskog horizonta gornjokredne starosti formira imbricirane strukture što objašnjava rasprostiranje većinom naslaga mlađe krede na površini.



Slika 6.4 Geološki profil 2–2'.

6.3. Geološki profil 3–3'

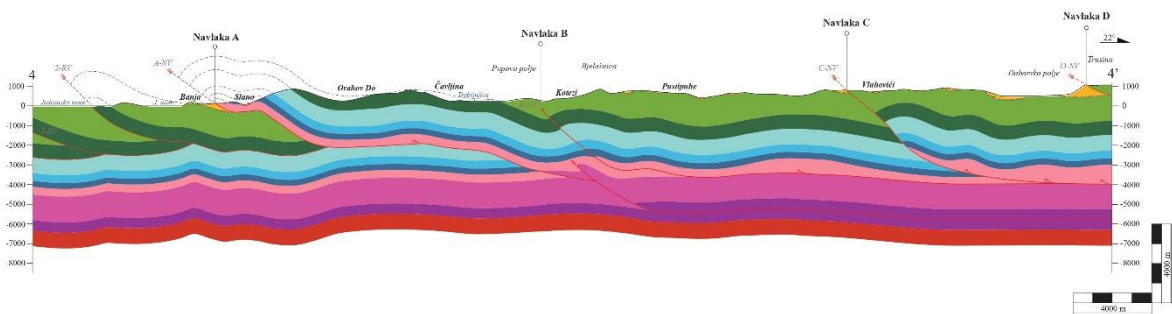
Geološki profil 3–3' (Slika 6.1 i 6.4; Prilog 3) udaljen je 9 km od profila 2–2' s azimutom 22°. Paralelan je s prethodna dva spomenuta profila te im je geometrija vrlo slična. Profil 3–3' pruža se od Pržina preko Čepikuća, Popovog polja pa sve do planina Hrgud i Snježnica. U početnom dijelu profila do mjesta Lisac nalazi se kao i u prethodnim profilima dekolmanski horizont kredne starosti koji je u svom podinskom dijelu blago deformiran, dok su u krovinskom dijelu formirane bore *fault-propagation* tipa. Glavni dekolmanski horizont **Navlake A** doseže u dubinu do 5000 m. U blizini čela **Navlake Visokog krša** osim reversnog rasjedanja interpretacijom je definirano i normalno rasjedanje kao posljedica gravitacijskog kolapsa antiklinalne strukture čela **Navlake Visokog krša**. **Navlaka B** i **Navlaka C** imaju plići gornjotrijaski dekolmanski horizont na dubini do 3000 m. Na njima se nalazi kontinuirani slijed od gornjeg trijasa do gornje krede s izraženim *fault-propagation* tipom boranja. Idući prema SI kod mjesta Turkovići i Gornja Bitunja, tjeme antiklinalne strukture koja uključuje kredne naslage je djelomično erodirano što ukazuje na zreli erozijski stadij odnosno smanjeni intenzitet tektonske aktivnosti u domeni konstruiranog profila. Na kraju profila vidljivo je čelo **Navlake D**, kuta nagiba 30°.



Slika 6.5 Geološki profil 3–3'.

6.4. Geološki profil 4–4'

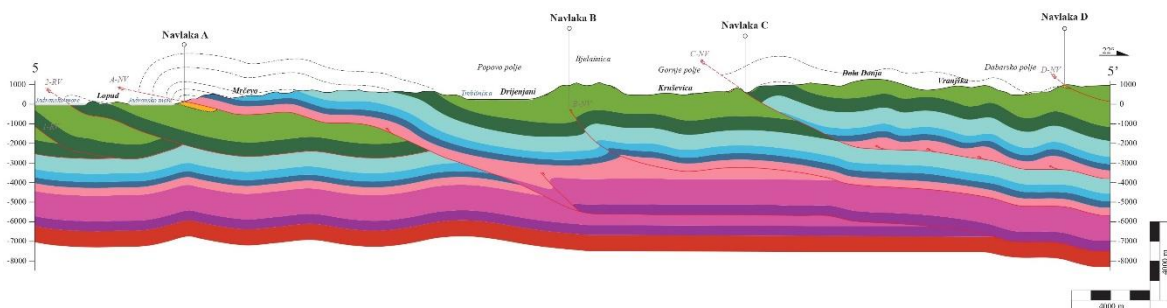
Geološki profil 4–4' (Slika 6.1 i 6.5; Prilog 4) paralelan je s profilom 3–3' od kojeg je udaljen 9 km, a azimut mu je također 22°. Geometrijske karakteristike slične su kao i u ostalim profilima. Profil se pruža od Slanog na jugozapadu preko Popovog polja, planine Bjelašnice pa sve do Dabarskog polja i planine Trusine na sjeveroistoku. Do Banja profil obuhvaća geotektonsku jedinicu *Dalmatinske zone* gdje se dekolmanski horizont nalazi između gornjojurskih i gornjokrednih naslaga. Iznad dekolmana izražen je *fault-propagation* tip boranja. Idući od čela *Navlake Visokog krša* odnosno od **Navlake A** prema sjeveroistoku nalazi se kontinuirani slijed naslaga od gornjeg trijasa do gornje krede, a glavni dekolmanski horizont koji se pruža duž cijelog profila je trijasko starosti i nalazi se na dubini do 5700 m. Rasjed B-NV koji je genetski vezan uz **Navlaku B** nije izašao na površinu već se pojavljuje kao „*blind fault*“ struktura. Sličan strukturni stil je vidljiv i kod **Navlake C** – tjeme antiklinale nije izašlo na površinu za razliku od prethodnog profila 3–3'. Inicijalni nagib **Navlaka B** i **C** su oko 40°, a njihov dekolmanski horizont je gornjotrijasko starosti i nalazi se na dubini do 4000 m. Na kraju profila vidljivo je čelo **Navlake D**, kuta nagiba 30°.



Slika 6.6 Geološki profil 4–4'.

6.5. Geološki profil 5–5'

Geološki profil 5–5' (Slika 6.1 i 6.6; Prilog 5) najistočniji je u nizu profila na istraživanom terenu. Paralelan je s profilom 4–4' i od njega je udaljen 9 km, s azimutom od 22°. Geometrijske karakteristike slične su kao na ostalim profilima. Profil 5–5' pruža se od otoka Lopuda na jugozapadu preko Popovog polja, planine Bjelašnice te Gornjeg polja pa sve do Dabarskog polja na sjeveroistoku. **Dalmatinsku zonu** karakterizira imbricirana navlačna struktura, tako da kredne naslage formiraju *fault-propagation* tip bora. **Navlaka A** je subhorizontalne geometrije u pripovršinskom dijelu, međutim interpretacijom je pretpostavljeno da se geometrija rasjedne zaravani rasjeda A-NV naglo ustrmljuje na dubinama od 1500 m do 5500 m te se ponovno ublažava, prelazi u rasjednu zaravan na dubini od 6500 m. Rasjed B-NV koji je vezan za Navlaku B, kao i na prethodnom profilu, nije izašao na površinu već se pojavljuje kao „*blind fault*“ struktura u podzemlju. Dekolmanski horizont **Navlake B** za razliku od ostalih profila nalazi se na većoj dubini, oko 5700 m, u odnosu na dekolmanski horizont **Navlake C** koji je na dubini oko 3800 m. Pojačanom kompresijom **Navlaka C** je izdigla naslage donje krede do površine gdje je vrh njene antiklinale erodiran. Čelo **Navlake D** pod kutom nagiba 30° nalazi se na krajnjem sjeveroistočnom dijelu profila.



Slika 6.7 Geološki profil 5–5'.

6.6. 3D model strukturne građe područja Ston–Slano

Izrada 3D geološkog modela korištena je kako bi se dobila što bolja vizualizacija i razumijevanje strukturnih odnosa i kinematike rasjeda, a time i prostornog rasporeda i orijentacije struktura i litofacijesa (različitih litoloških jedinica). 3D model područja Ston–Slano i njegovog zaleđa izrađen je u softveru *Petroleum Expert Move*. Za ulazne podatke koji su potrebni za izradu konceptualnog 3D geološkog modela korišten je digitalizacijski elevacijski model (DEM), trase konstruiranih geoloških profila, digitalizirana geološka karta

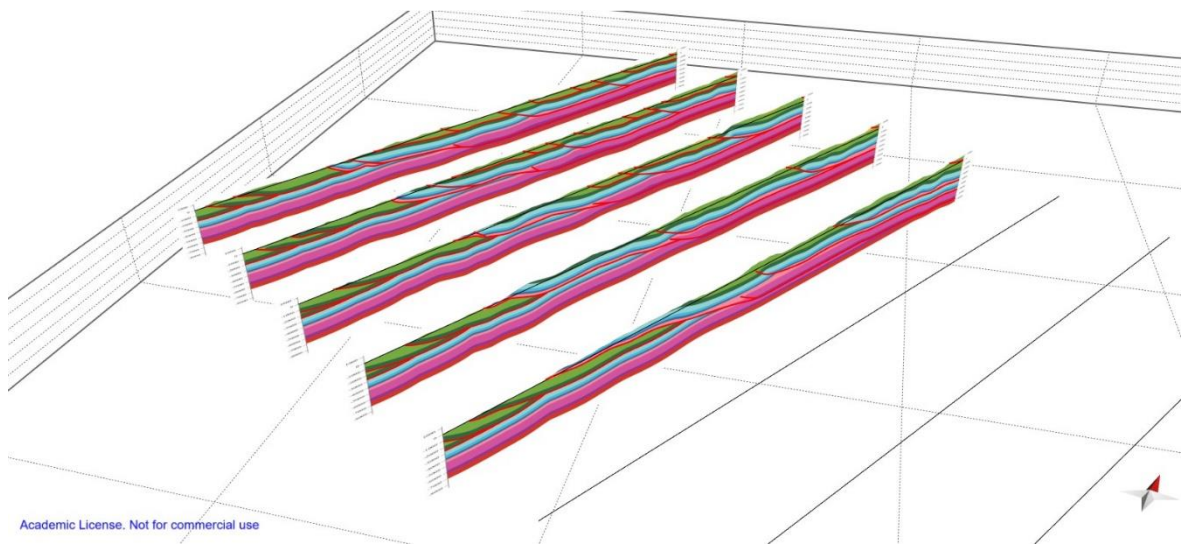
izrađena od OGK listova *Ston* (Raić et al., 1980), *Metković* (Raić et al., 1975), *Trebinje* (Natević & Petrović, 1967) i *Nevesinje* (Mojićević & Laušević, 1969) u programu *ArcGIS 10.1* i 2D geološki profili konstruirani u programu *Adobe Illustrator*. Prije same digitalizacije profila bilo je potrebno unijeti litostratigrafske podatke promatranog područja (Slika 6.7).

	Horizon	Colour	Rock Type	Age	Thickness	Active
1	eocen		Default	66.0 Ma	400.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
2	kreda gornja		Default	100.5 Ma	1300.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
3	kreda donja		Default	145.0 Ma	700.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
4	jura gornja		Default	163.5 Ma	800.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
5	jura srednja		Default	174.1 Ma	400.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
6	jura donja		Default	201.3 Ma	300.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
7	trijas gornji		Default	237.0 Ma	400.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
8	trijas srednji		Default	247.2 Ma	1300.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
9	trijas donji		Default	251.9 Ma	500.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>
10	perm		Default	298.9 Ma	800.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>

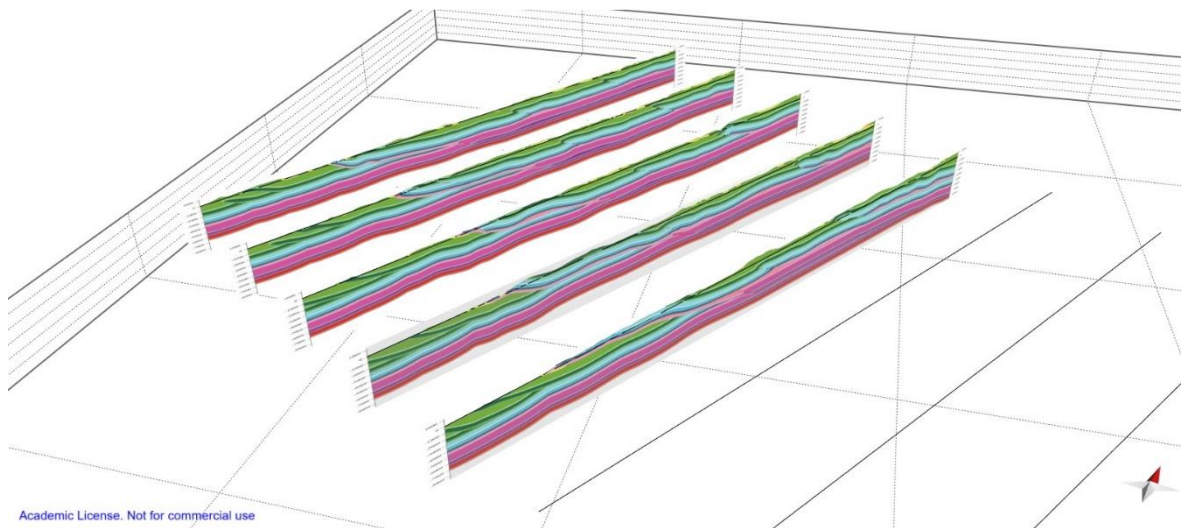
Slika 6.8 Ulazni podaci za digitalizaciju horizonata stratigrafskih jedinica.

Na samom početku uneseni su 2D prikazi geoloških profila na kojima je bilo potrebno ručno digitalizirati rasjede (Slika 6.8) i geološke granice (Slika 6.9). Nakon definiranja odnosno digitalizacije geoloških granica i rasjeda bilo je potrebno povezati rasjedne linije između svih profila kako bi dobili kontinuirane rasjedne plohe kroz cijeli model. Isti postupak je napravljen i za horizonte stratigrafskih jedinica i nakon toga je dobiven jedinstveni 3D model istraživanog područja. Na slici 6.10 prikazan je slijed formiranja modela od najstarijih permskih naslaga pa sve do gornjokrednih i paleogenskih naslaga.

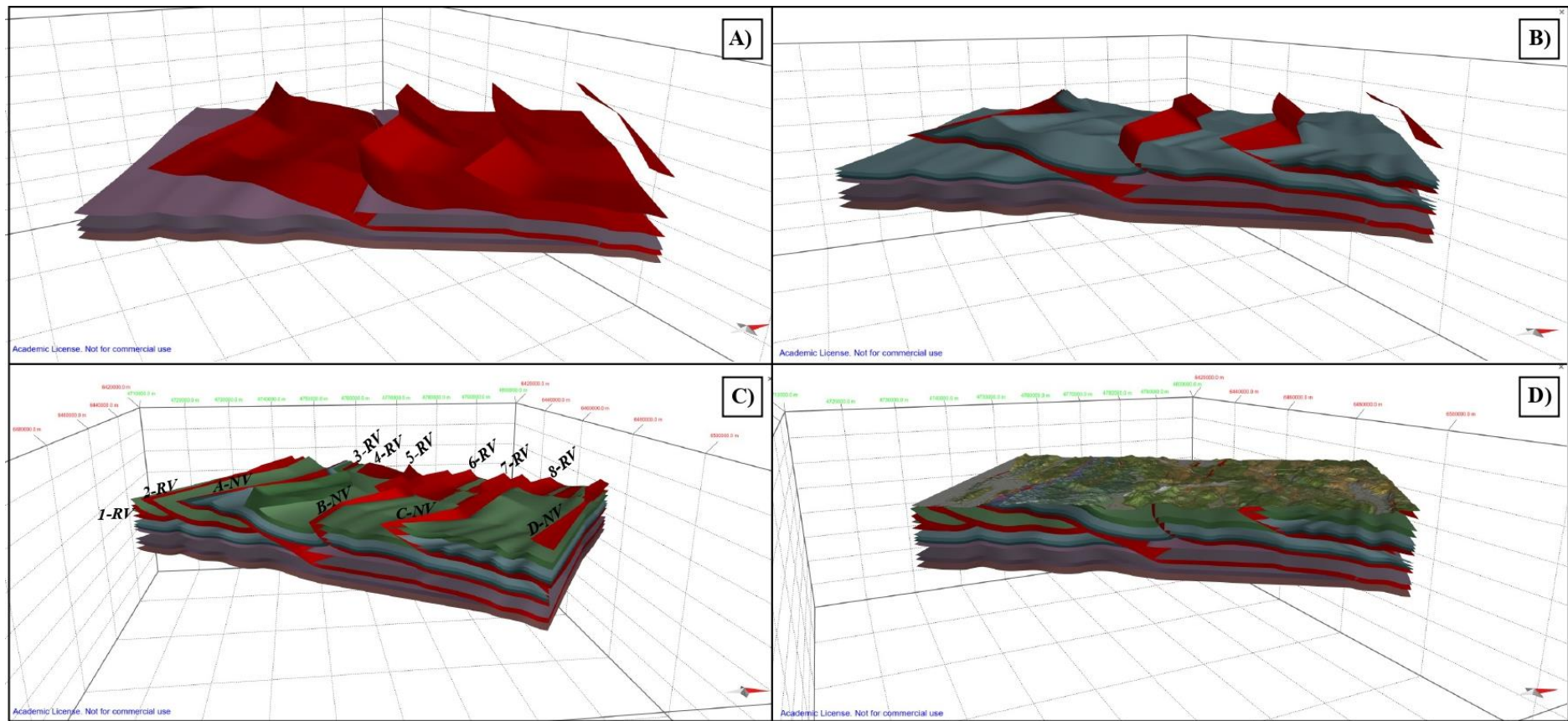
U završnom koraku dodani su potresi zabilježeni u katalogu potresa preuzetom s www.earthquake.usgs.gov, ukupno 718 potresa (Prilog 6) od kojih se većina nalazi na dubinama od 10 km i više, a razlog tomu je vjerojatno nepotpunost informacija o značajkama potresa. Na istraživanom području pretežito su utvrđeni plići potresi, dubine do 5 km, koji su koncentriraniji na jugozapadnom dijelu modela, između profila 1–1' i 3–3'. Hipocentri potresa koji zahvaćaju model do dubine 8 km imaju magnitude u rasponu od 1,6 do 4,4 (Slika 6.11).



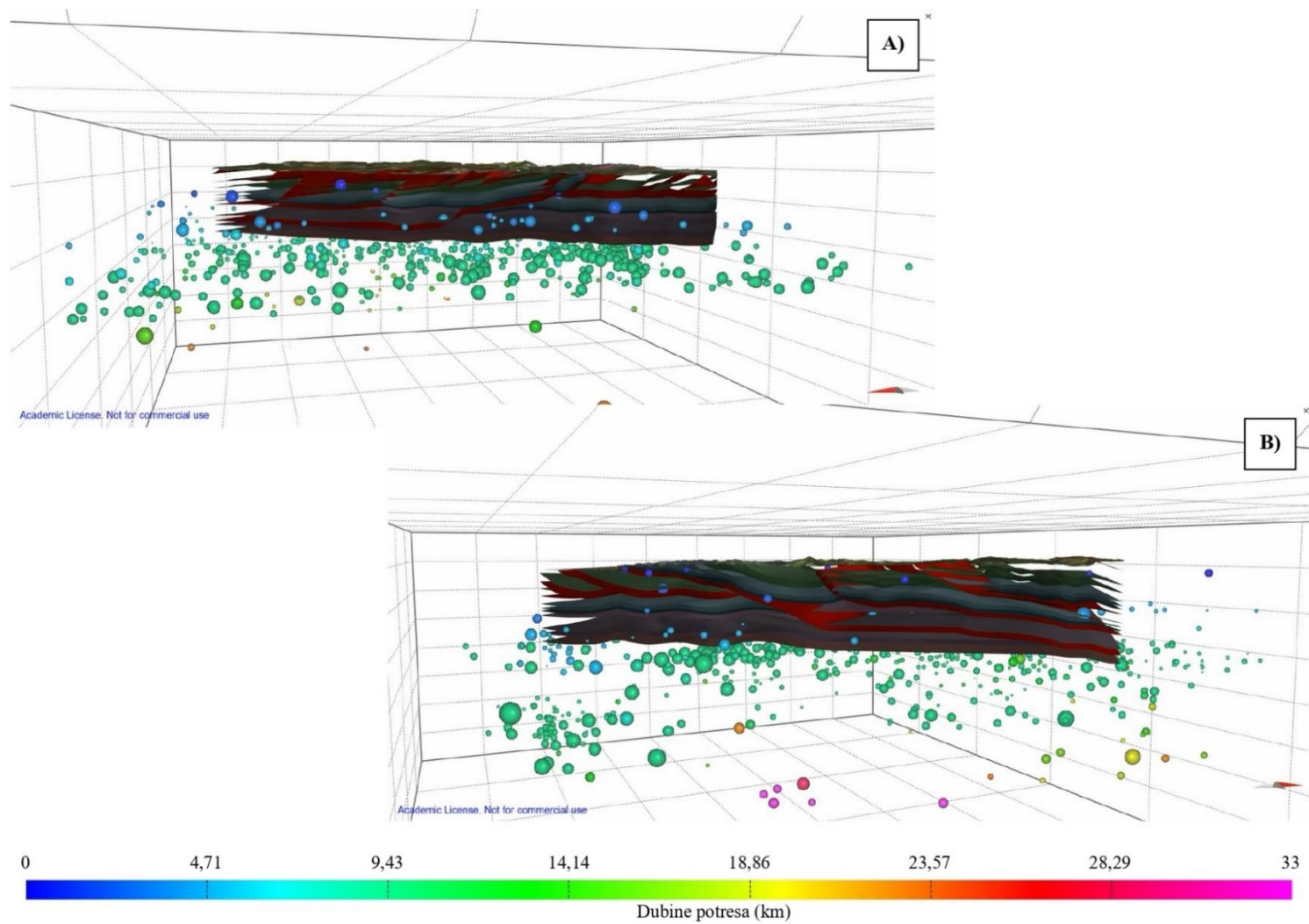
Slika 6.9 Digitalizacija rasjednih ploha.



Slika 6.10 Digitalizacija horizonata litostratigrafskih jedinica.



Slika 6.11 Pojednostavljeni prikaz izrade modela. A – perm, stariji, srednji i mlađi trijas; B – starija, srednja i mlada jura; C – starija i mlada kreda; D – završni izgled 3D modela.



Slika 6.12 Finalna verzija 3D modela s hipocentrima potresa preuzetim s <https://earthquake.usgs.gov/>. A – potresi sa sjeverozapadne strane (1–1' profil); B – potresi s jugoistočne strane (5–5' profil); skala dubina potresa (km).

6.7. Proračun očekivane maksimalne magnituda potresa na izdvojenim seizmogenim rasjedima

Za procjenu seizmogenog potencijala konstruiranih rasjednih ploha na 3D-geološkom modelu korišteni su parametri rasjeda na temelju rada Wellsa & Coppersmitha (1994). Iz *Petroleum Expert Move* softvera dobivene su aktivne površine rasjednih ploha, RA (Tablica 6.2). Na temelju geometrijskih i kinematskih karakteristika rasjednih ploha za proračun seizmogenog potencijala korištena je formula prema Wells & Coppersmith (1994):

$$M = a + b \cdot \log(RA)$$

gdje M predstavlja izračun maksimalne magnituda potresa rasjednih ploha, a i b (Tablica 6.1) predstavljaju regresijski određene koeficijente s obzirom na kinematiku rasjeda, a RA seizmički aktivnu površinu rasjeda u km².

Tablica 6.1 Vrijednosti koeficijenata a i b korištenih za proračun očekivanih magnituda potresa (prema Wells & Coppersmith, 1994).

Tip pomaka po rasjedu	Koeficijenti		Standardna devijacija, σ	Koeficijent korelacije, r^2
	a	b		
Normalni rasjed	3,93	1,02	0,25	0,92
Reversni rasjed	4,33	0,90	0,25	0,94
Rasjed s horizontalnim pomakom	3,98	1,02	0,25	0,96

Procjene maksimalne magnituda mogućih potresa koji se mogu dogoditi na rasjednim plohamu u 3D-geološkom modelu su u rasponu od 5,55 do 7,24. Najveće magnituda se mogu očekivati na navlačnim rasjedima (A-NV, B-NV, C-NV) koji se protežu duž cijelog istraživanog područja.

Tablica 6.2 Rasjedne plohe okarakterizirane karakterom pomaka i procjenom maksimalne očekivane magnitude potresa.

<i>Naziv rasjeda</i>	<i>Tip pomaka</i>	<i>Aktivna površina rasjeda (km²)</i>	<i>Procjena maksimalne magnitude</i>
A-NV	Reversni	1692,053067	7,24
B-NV	Reversni	836,997792	6,96
C-NV	Reversni	551,181472	6,80
D-NV	Reversni	52,574152	5,88
1-RV	Reversni	294,354175	6,55
2-RV	Reversni	506,833552	6,76
3-RV	Reversni	53,789528	5,89
4-RV	Reversni	86,851008	6,07
5-RV	Reversni	110,025550	6,17
6-RV	Reversni	203,611149	6,41
7-RV	Reversni	22,834801	5,55
8-RV	Reversni	90,415890	6,09

7. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

U području Ston-Slano te širem dubrovačkom području najizraženija je seizmičnost Republike Hrvatske. Broj i jakost potresa rastu idući od sjeverozapada prema jugoistoku, tako da se najveći broj potresa događa na prostoru od Stona i Dubrovnika do Albanije, a tamo su potresi i najjači. Važniji događaji u tom vrlo aktivnom seizmogenom području su Dubrovački potres 1667. godine ($I_0=10$), Stonski potres 1996. godine ($M = 6,0$, $I_{\max}=VIII^\circ$ MSK) te potresi u crnogorskom primorju ($M = 7,1$ i $6,2$, 1979. godine) koji se nisu dogodili u istraživanom području, ali se nalaze u istom regionalnom, seizmotektonskom pojasu koji se iz Dalmacije nastavlja prema JI u Crnu Goru i Albaniju. Epicentralno područje Ston-Slano nalazi se unutar južnodalmatinske zone Vanjskih Dinarida, vrlo blizu tektonskog kontakta s Navlakom Visokog krša. Tijekom Stonskog potresa 1996. godine zabilježeno je najveće vršno horizontalno ubrzanje tla u iznosu od **0,65 g**. Seizmogeni izvori u zoni južne Dalmacije su pretežno reversni rasjedi dinaridskog pružanja SZ-JI koji su rezultat intenzivne konvergencije Jadranske mikroploče i Euroazijske ploče. Konvergentno kretanje Jadranske mikroploče u odnosu na Euroazijsku ploču u rasponu je od 0,5 do 4,5 mm/god.

Istraživano područje, zaleđe Stona i Slanog, površinski je veliko ($2725,86 \text{ km}^2$), te je sustavno istraživano tijekom izrade OGK listova *Metković* (Raić et al., 1975), *Ston* (Raić et al., 1980), *Trebinje* (Natević & Petrović, 1967) i *Nevesinje* (Mojićević & Laušević, 1969). Stratigrafski raspon naslaga na površini terena je od gornjeg trijasa do paleogena i kvartara. Međutim, uzimajući u obzir područje cijele Dalmacije najstarije su permske naslage koje se nalaze na OGK *Drniš* (Ivanović et al., 1977), *Knin* (Grimani et al., 1972) i *Sinj* (Papeš et al., 1982). Ukupna debljina cjelokupnog karbonatnog slijeda je 6900 metara. Najveći dio naslaga sastoji se od izmjene vapnenaca i dolomita s time da ima i pojava pješčenjaka, konglomerata i breča u permskim, donjojurskim i srednjojurskim naslagama. Unutar istraživanog područja izrađeno je pet geoloških profila duljine 55 km i azimuta 22° , koji su postavljeni poprečno na reversne rasjedne strukture dinaridskog pružanja SZ-JI, a koji čine djelomično i imbricirane strukture vergencija prema jugozapadu.

Profili presijecaju dvije geotektonske jedinice – **Dalmatinsku zonu** i **Navlaku Visokog krša**. Na profilima se jasno vidi da Dalmatinska zona predstavlja podinu Navlake Visokog krša. Kompresijska tektonika, o kojoj svjedoče žarišni mehanizmi načinjeni analizom prvih nailazaka P-valova zabilježenih na seizmogramima potresa, ukazuje na strukture borano-navlačnog pojasa (engl. *fold-thrust belt*) u kojemu su dominantni *fault-bend* i *fault-propagation* tipovi boranja kao što se može vidjeti na profilima (Slike 6.2 – 6.6). Na temelju

analize dostupnih podataka s osnovno geoloških karata izdvojene su tri skupine rasjeda, od koji su najbrojniji reversni rasjedi, slijede ih rasjedi s pomakom po pružanju te normalni rasjedi koji su najmanje zastupljeni. U ovom radu zanemareni su rasjedi s horizontalnim pomakom tj. pomakom po pružanju radi kompleksnosti struktura borano-navlačnog pojasa.

Početni, jugozapadni dijelovi profila, obuhvaćaju dio geotektonske jedinice *Dalmatinska zona* koja je obilježena imbriciranim navlačnim strukturama u kojima kredne naslage formiraju *fault-propagation* tip bora s dekolmanskim horizontom donjokredne starosti. Navlaka A predstavlja čelo *Navlake Visokog krša* sa slijedom naslaga od gornjef trijasa do gornje krede u krovinskom krilu, a glavni dekolmanski horizont je trijaske starosti. Navlaka B i C su pliće navlačne strukture s izraženim *fold-propagation* tipom boranja, a njihov dekolmanski horizont je gornjotrijaske starosti. Najplići dekolmanski horizont je gornjokredne starosti, a iznad se nalazi niz reversnih rasjeda koji čine imbricirane strukture. Na područjima zaravni nagib naslaga gotovo je horizontalan, dok su nagibi uz same navlake između 30° i 50°, a vrlo strme padine najizraženije su uz samo čelo *Navlake Visokog krša*. Na temelju empirijskih vrijednosti proračunatih maksimalnih magnituda potresa na rasjedima dobiven je njihov seizmogeni potencijal. Dobivene vrijednosti procijenjenih maksimalnih magnituda potresa su u rasponu **od 5,55 do 7,24** (Tablica 6.2). Najveće magnitude očekivane su na navlačnim rasjedima (A-NV, B-NV, C-NV) koji se protežu duž cijelog istraživanog područja. Kako bi se dobila što bolja procjena magnituda potresa potrebno je napraviti detaljniju raščlambu koristeći seizmičke profile te uzimajući u obzir kompleksnost geometrije rasjednih ploha.

Konačni rezultat ovog istraživanja je konceptualni 3D strukturno-geološki model kojim je bolje vizualizirana i interpretirana geometrija samih struktura u podzemlju. Na 3D modelu uneseni su hipocentri potresa u razdoblju od 1901. do 2021. godine koji su koncentrirani na jugozapadnom dijelu između profila 1–1' i 3–3', pri čemu se neki podudaraju s reversnim rasjedima što upućuje da su navlake poprilično dobro pretpostavljene u podzemlju (Slika 6.11). Za još bolju interpretaciju i kreiranje 3D geološkog modela osim površinskih (OGK, geološki profili) i prostornih podataka (DEM) trebalo bi koristiti i geofizičke rezultate (2D refleksijska i refrakcijska seizmika, 3D refleksijska seizmika, karotažna mjerenja u bušotinama, gravimetrijski i seizmološki podaci), bušotinske podatke (geološke i geotehničke interpretacije jezgre, „Master log“) te podatke prikupljene daljinskim istraživanjima (obrađeni fotogrametrijski, multispektralni, laserski i radarski podaci).

LITERATURA

- BALLING, P., TOMLJENović, B., SCHMID, S.M. & USTASZEWSKI, K., 2021. Constrasting along-strike deformation styles in the central External Dinarides assessed by balanced cross-sections: Implications for the tectonic evolution of its Paleogene flexural foreland basin system. *Global and Planetary Change*, 205, str. 24.
- BATTAGLIA, M., MURAY, M. H., SERPELLONI, E., BURGMAN, R., 2004. The Adriatic region: An Independent microplate within the Africa–Euroasia collision zone. *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, p. L09605, 4 str.
- BENNETT, R.A., HREINSDÓTTIR, S., BUNLE, G.; BAŠIĆ, T., BAČIĆ, Z., MARJANOVIĆ, M., CASALE, G., GENDASZEK, A., COWAN, D, 2008. Eocene to present subduction of southern Adria mantle lithosphere beneath the Dinarides. *Geology* 2008, 36 (1), 3–6.
- BRANDES, C. & TANNER, D.C., 2014. Fault-related folding: A review of kinematic models and their application. *Earth–Science Reviews*, 138, str. 352 – 370.
- BUKOVAC, J. & JAMIČIĆ, D., 2009. Evaporitne i klastične naslage (gornji perm – P₃). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 26–27.
- D’AGOSTINO, N., AVALLONE, A., CHELONI, D., D’ANASTASIO, E., MANTENUTO, S., SELVAGGI, G, 2008. Active tectonics of the Adriatic region from GPS and earthquake slip vectors. *J. Geophys. Res. B–Solid Earth* 2008, 113, 19 str., B12413.
- DASOVIĆ, I., HERAK, D., HERAK, M., LATEČKI, H., MUSTAĆ, M. & TOMLJENović, B., 2020. O potresima u Hrvatskoj. *Vijesti Hrvatskog geološkog društva*, 57(1), str. 4 – 27.
- FOSSEN, H., 2010. *Structural Geology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- GOVORČIN, M., HERAK, M., MATOŠ, B., PRIBIČEVIĆ, B., VLAHOVIĆ, I., 2020. Constrains on Complex Faulting during the 1996 Ston–Slano (Croatia) Earthquake Inferred from the DInSAR, Seismological, and Geological Observations. *Remote Sensing*, 2020, 12, 1157, 23 str.

- GRIMANI, I., ŠIKIĆ, K. & ŠIMUNIĆ, A., 1972. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Knin L33–141. Institut za geološka istraživanja Zagreb, (1962–1966), Savezni geološki zavod, Beograd.
- HERAK, D. & HERAK, M., 1990. Focal depth distribution in the Dinara Mt. region, Yugoslavia. *Gerlands Beitr. Geophys.*, 99, str. 505 – 511.
- HERAK, M., HERAK, D., DASOVIĆ, I., 2016. Fault-plane solutions and stress orientation in the greater region of Northern and Central Dinarides. 35th general assembly of the European Seismological Commission. Trieste, Italy, str. 4–11.
- IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S. & SAKAČ, K., 1977. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Drniš, L33–9. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1967–1972); Savezni geološki zavod, Beograd.
- JELASKA V., FUČEK, L., GALOVIĆ, I., GLOVACKI JERNEJ, Ž., GUŠIĆ I., KOROLIJA B., MARINČIĆ S., MATIČEC, D., OŠTRIĆ, N. & PRTOLJAN B., 2015. Osnovna geološka karta Republike Hrvatske M 1:50 000, list Otok Brač. Hrvatski geološki institut (Zavod za geologiju), Zagreb, ISBN: 978-953-6907-54-0.
- MARINČIĆ, S., 2009. Flišne naslage (srednji i gornji eocen – E_{2,3}). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 77–79.
- MARJANOVIĆ, M., 2009. Primjena GPS mjerenja za određivanje horizontalnih i vertikalnih pomaka Jadranske mikroploče. Doktorska disertacija. Zagreb: Geodetski fakultet.
- MARKUŠIĆ, S., HERAK, D., IVANČIĆ, I., SOVIĆ, I., HERAK, M., PRELOGOVIĆ, E. (1998). Seismicity of Croatia in the period 1993–1996 and the Ston–Slano earthquake of 1996. *Geofizika*, 15, 83–101.
- MOJIĆEVIĆ, M. & LAUŠEVIĆ, M., 1969. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Nevesinje, K34–25. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- MOJIĆEVIĆ, M. & LAUŠEVIĆ, M., 1973. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Nevesinje, K34–25. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.

- NATEVIĆ, LJ. & PETROVIĆ, V., 1967. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Trebinje, K34–37. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- NATEVIĆ, LJ., 1970. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Trebinje, K34–37. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- PAPEŠ, J., MAGAŠ, N., MARINKOVIĆ, R., SIKIRICA, V. & RAIĆ, V. 1982. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Sinj, K33–10. „Geoinženjering“ – Institut za geologiju, Sarajevo, Geološki zavod – OOUR za geologiju i paleontologiju, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- PRTOĽJAN, B., VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I., 2015. Osnovna geološka karta Republike Hrvatske M 1:50 000, list Konavle. Hrvatski geološki institut (Zavod za geologiju), Zagreb, ISBN: 978-953-6907-33-5.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J., 1977. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Metković, K33–36. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J., 1982. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Ston, K33–48. „Geoinženjering“ – OOUR Institut za geologiju, Sarajevo, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- RAIĆ, V., PAPEŠ, J., AHAC, A., KOROLIJA, B., BOROVIĆ, I., GRIMANI, I. & MARINČIĆ, S., 1982. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Ston, K33–48. „Geoinženjering“ – OOUR Institut za geologiju, Sarajevo, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- RAIĆ, V., PAPEŠ, J., BEHLILOVIĆ, S., CRNOLATAC, I., MOJIĆEVIĆ, M., RANKOVIĆ, M., SLIŠKOVIĆ, T., ĐORĐEVIĆ, B., GOLO, B., AHAC, A., LUBURIĆ, P. & MARIĆ, Lj., 1975. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Metković, K33–36. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.
- RAIĆ, V., PAPEŠ, J., SIKIRICA, V. & MAGAŠ, N., 1984. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Sinj, K33–10. „Geoinženjering“ – Institut za geologiju, Sarajevo, Geološki zavod – OOUR za geologiju i paleontologiju, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

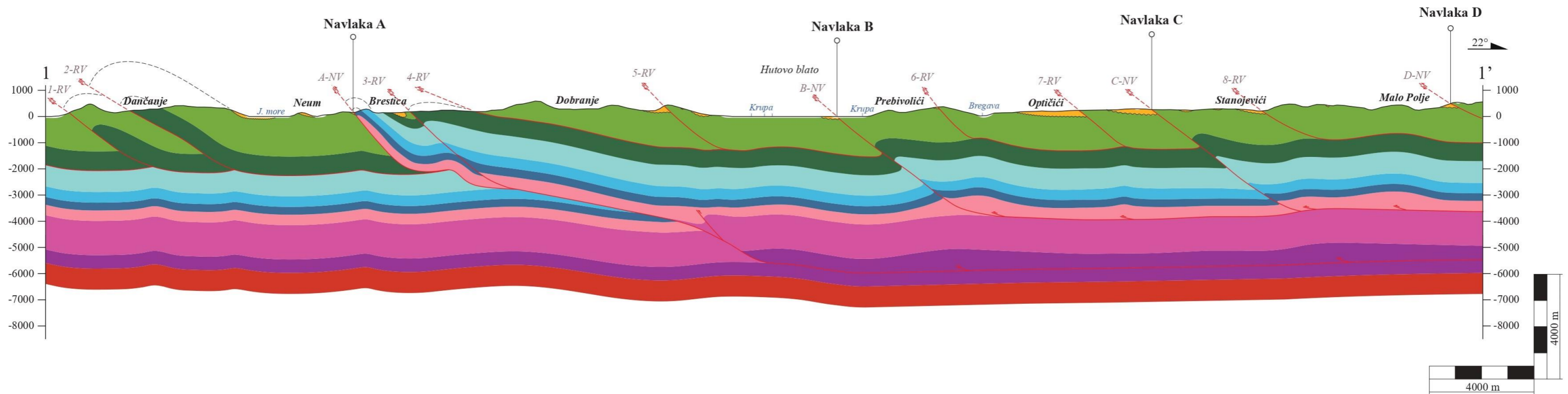
- SANI, F., VANNUCCI, G., BOCCALETTI, M., BONINI, M., CORTI, G., SERPELLONI, E., 2016. Insights into the fragmentation of the Adria Plate. *Journal of Geodynamics*, 102, str. 121 – 138.
- SCHMID, S., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K., 2008. The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci*, 101, str. 139 – 183.
- SOKAČ, B., 2009. Dolomiti (gornji norik, ret – T₂^{2,3}). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 40–42.
- SOKAČ, B., 2009. Karbonatne naslage (srednji trijas – T₂). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 32–34.
- SOKAČ, B., 2009. Sajske i kampilske naslage (donji trijas – T₁). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 29–32.
- TOMLJENOVIĆ, B., HERAK, M., HERAK, D., KRALJ, K., PRELEGOVIĆ, E., BOSTJANČIĆ, I., MATOŠ, B., 2009. Active tectonics, seismicity and seismogenic sources of the Adriatic coastal and offshore region of Croatia. Trieste: *Stella Arti Grafice*, 2009, str. 133 – 136.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I., 2009. Dobroslojeviti vapnenci i dolomiti (srednja jura – J₂). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 46–47.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I., 2009. Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (?gornji paleocen, donji i srednji eocendonja – ?Pc, E_{1,2}). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 76–77.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I., 2009. Vapnenci i dolomiti (donja jura – J₁). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 44–45.

- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I., 2009. Vapnenci i dolomiti (donja kreda – K₁). U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 63–65.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., MATIČEC, D., 2005. Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220 (3 – 4), str. 333 – 360.
- WEBER, J., VRABEC, M., PAVLOČIČ – PREŠEREN, P., DIXON, T., JIANG, Y., STOPAR, B., 2010. GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites, and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 483, 214–222.
- WELLS, D.L. & COPPERSMITH, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement.– *Bulletin of the Seismological Soc. America*, 84/4, 974–1002.

Web izvori:

- <https://maps-for-free.com/> (20. siječanj 2022.)
- https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmicnost_hrvatske (3. ožujak 2022.)
- <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/> (3. ožujak 2022.)
- <https://earthquake.usgs.gov/> (10. travanj 2022.)

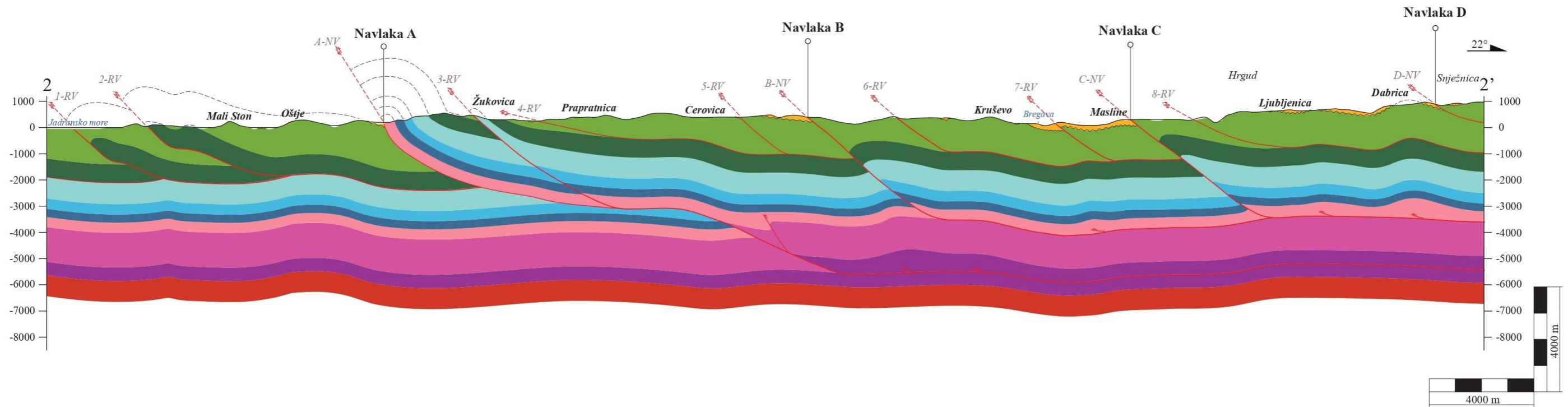
Prilog 1: Geološki profil 1–1' s pripadajućom legendom.



LEGENDA

Q	aluvijalne i proluvijalne naslage; barski sedimenti	J₁	izmjena vapnenaca i dolomita; litiotidni vapnenac; mrljasti ("fleckenkalk") vapnenac		normalna granica
Pg	madstoni ("liburnijske naslage"); foraminiferski vapnenci; prijelazne naslage; sliš	T₃	Glavni dolomit (hauptdolomit)		transgresivna granica
K₂	vapnenci s izmjenama dolomita; vapnenci s rudistima	T₂	vapnenačke breče i konglomerati ("otarnik naslage"); vapnenci s izmjenama dolomita		reversni rasjed
K₁	dobro uslojeni vapnenci (madstoni)	T₁	pješčenjaci, lapori, vapnenci s amonitima		"blind fault" - slijepi rasjed
J₃	vapnenci u izmjeni s dolomitom	P	evaporiti (gips i anhidrit); šupljikave breče; dolomiti i vapnenci s klastitima		
J₂	vapnenci (madstoni) s proslojcima dolomita				

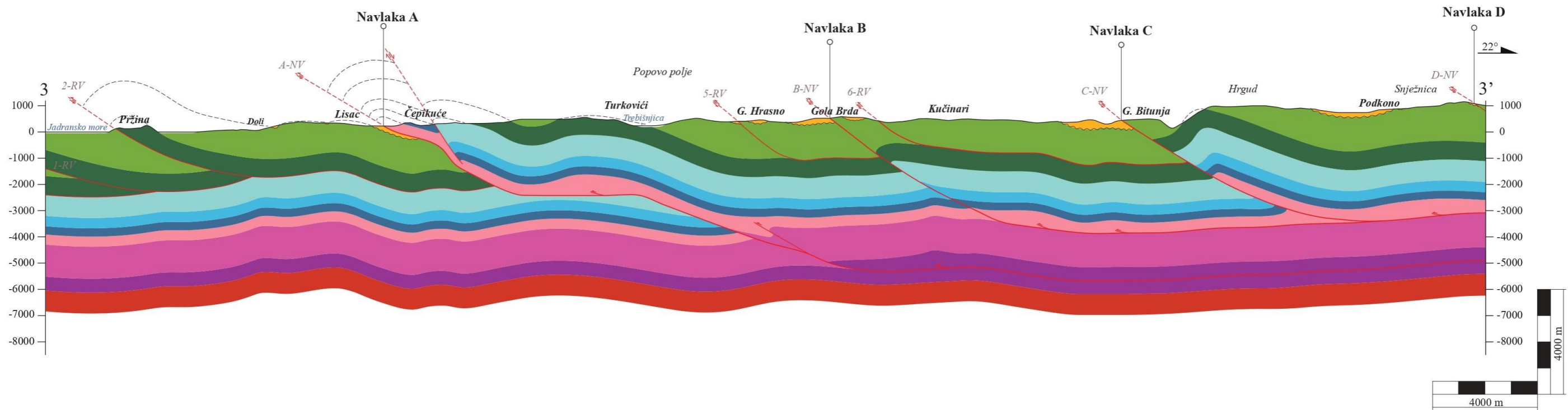
Prilog 2: Geološki profil 2-2' s pripadajućom legendom.



LEGENDA

Q	aluvijalne i proluvijalne naslage; barski sedimenti	J₁	izmjena vapnenaca i dolomita; litiotidni vapnenac; mrljasti ("fleckenkalk") vapnenac		normalna granica
Pg	madstoni ("liburnijske naslage"); foraminiferski vapnenci; prijelazne naslage; fliš	T₃	Glavni dolomit (hauptdolomit)		transgresivna granica
K₂	vapnenci s izmjenama dolomita; vapnenci s rudistima	T₂	vapnenačke breče i konglomerati ("otarnik naslage"); vapnenci s izmjenama dolomita		reversni rasjed
K₁	dobro uslojeni vapnenci (madstoni)	T₁	pješčenjaci, lapori, vapnenci s amonitima		"blind fault" - slijepi rasjed
J₃	vapnenci u izmjeni s dolomitom	P	evaporiti (gips i anhidrit); šupljikave breče; dolomiti i vapnenci s klastitima		
J₂	vapnenci (madstoni) s proslojcima dolomita				

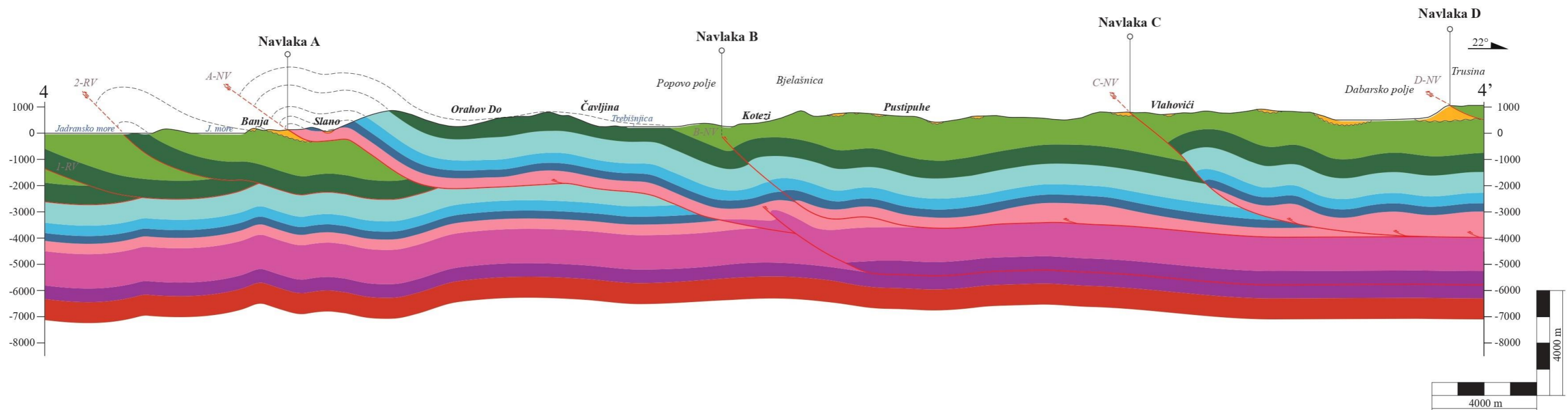
Prilog 3: Geološki profil 3-3' s pripadajućom legendom.



LEGENDA

Q	aluvijalne i proluvijalne naslage; barski sedimenti	J₁	izmjena vapnenaca i dolomita; litotidni vapnenac; mrljasti ("fleckenkalk") vapnenac		normalna granica
Pg	madstoni ("liburnijske naslage"); foraminiferski vapnenci; prijelazne naslage; sliš	T₃	Glavni dolomit (hauptdolomit)		transgresivna granica
K₂	vapnenci s izmjenama dolomita; vapnenci s rudistima	T₂	vapnenačke breče i konglomerati ("otarnik naslage"); vapnenci s izmjenama dolomita		reversni rasjed
K₁	dobro uslojeni vapnenci (madstoni)	T₁	pješčenjaci, lapori, vapnenci s amonitima		"blind fault" - slijepi rasjed
J₃	vapnenci u izmjeni s dolomitom	P	evaporiti (gips i anhidrit); šupljikave breče; dolomiti i vapnenci s klastitima		normalni rasjed
J₂	vapnenci (madstoni) s proslojcima dolomita				

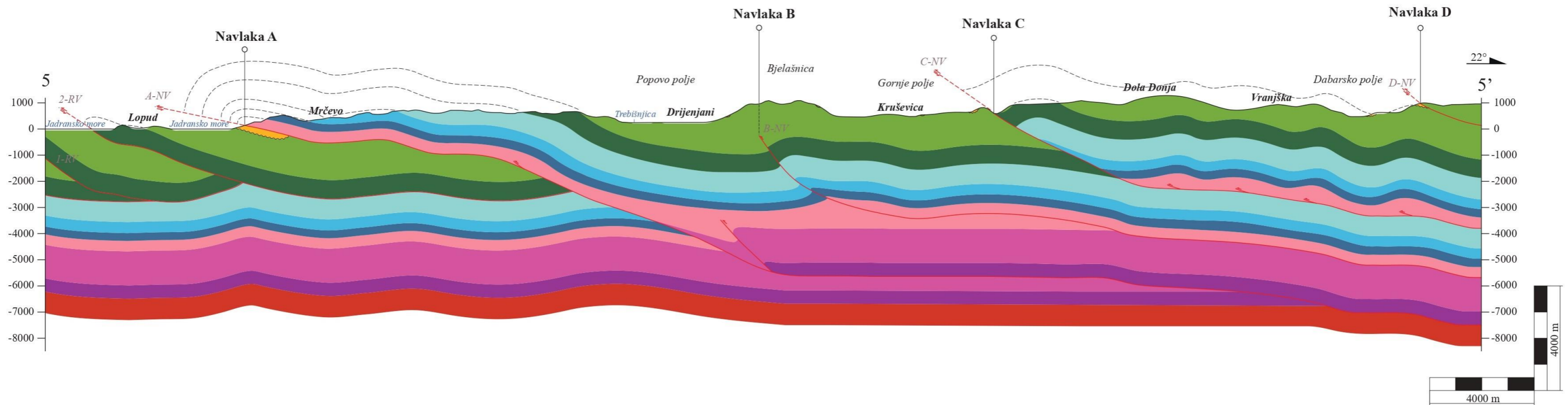
Prilog 4: Geološki profil 4-4' s pripadajućom legendom.



LEGENDA

Q	aluvijalne i proluvijalne naslage; barski sedimenti	J ₁	izmjena vapnenaca i dolomita; litiotidni vapnenac; mrljasti ("fleckenkalk") vapnenac	—	normalna granica
Pg	madstoni ("liburnijske naslage"); foraminiferski vapnenci; prijelazne naslage; fliš	T ₃	Glavni dolomit (hauptdolomit)	~	transgresivna granica
K ₂	vapnenci s izmjenama dolomita; vapnenci s rudistima	T ₂	vapnenačke breče i konglomerati ("otarnik naslage"); vapnenci s izmjenama dolomita	- - -	reversni rasjed
K ₁	dobro uslojeni vapnenci (madstoni)	T ₁	pješčenjaci, lapori, vapnenci s amonitima	/ / /	"blind fault" - slijepi rasjed
J ₃	vapnenci u izmjeni s dolomitom	P	evaporiti (gips i anhidrit); šupljikave breče; dolomiti i vapnenci s klastitima		
J ₂	vapnenci (madstoni) s proslojcima dolomita				

Prilog 5: Geološki profil 5-5' s pripadajućom legendom.



LEGENDA

Q	aluvijalne i proluvijalne naslage; barski sedimenti	J₁	izmjena vapnenaca i dolomita; litotidni vapnenac; mrljasti ("fleckenkalk") vapnenac		normalna granica
Pg	madstoni ("liburnijske naslage"); foraminiferski vapnenci; prijelazne naslage; sliš	T₃	Glavni dolomit (hauptdolomit)		transgresivna granica
K₂	vapnenci s izmjenama dolomita; vapnenci s rudistima	T₂	vapnenačke breče i konglomerati ("otarnik naslage"); vapnenci s izmjenama dolomita		reversni rasjed
K₁	dobro uslojeni vapnenci (madstoni)	T₁	pješčenjaci, lapori, vapnenci s amonitima		"blind fault" - slijepi rasjed
J₃	vapnenci u izmjeni s dolomitom	P	evaporiti (gips i anhidrit); šupljikave breče; dolomiti i vapnenci s klastitima		
J₂	vapnenci (madstoni) s proslojcima dolomita				

Prilog 6: Tablica epicentara potresa područja Ston–Slano i njegovog zaleđa iz kataloga potresa Geološke službe SAD-a za razdoblje od 1901. do 2021. godine (<https://earthquake.usgs.gov/>). Koordinatni sustav je MGI Balkan 6.

Oznaka	X koordinata	Y koordinata	Dubina (km)	Magnituda
1	6491894,915	4748855,19	9,16	3,3
2	6506230,475	4730313,624	10,5	4,3
3	6488204,313	4786606,892	10	4,2
4	6499007,319	4778764,697	10	3,3
5	6483942,623	4760810,784	10	4,2
6	6498385,076	4792939,468	10	3,1
7	6504417,463	4789430,085	10	4,3
8	6493240,972	4786577,575	10	5,3
9	6471798,091	4724660,401	10	4,4
10	6496894,033	4765068,772	9,97	3,2
11	6500674,009	4789406,63	10	3,1
12	6519338,03	4726438,459	10	2,9
13	6466519,05	4795833,922	7,46	3,4
14	6465222,893	4782054,231	10	2
15	6498220,838	4786685,313	10	4
16	6479968,346	4784393,685	10	4,1
17	6473353,099	4794547,985	10	4
18	6510566,877	4722387,855	3,38	2,9
19	6481131,636	4784823,547	4,73	4,1
20	6493615,45	4787377,021	7,15	4,3
21	6494678,005	4735867,234	2	4
22	6520059,664	4768962,172	4	4,4
23	6487025,12	4756649,648	7,4	3,5
24	6489461,899	4749647,265	10	4,3
25	6468114,786	4778151,861	0,6	3,5
26	6472151,462	4790464,772	1,4	2,5
27	6497131,286	4731644,735	8,5	2,7
28	6471696,097	4759251,362	3	2,5
29	6458846,023	4765426,793	3,4	2,7
30	6460717,739	4792965,827	7,6	2,7
31	6495680,685	4766413,587	11	2,5
32	6497213,176	4731644,698	0	2,5
33	6500406,905	4731977,238	9	4,2
34	6490437,885	4746757,715	5,1	2,5
35	6488205,82	4778308,753	8,4	3,3
36	6501143,548	4734754,218	9	2,7
37	6506411,673	4793186,342	5,5	2,5
38	6473636,257	4775684,113	11	2,7
39	6486353,55	4787310,286	13,9	4,5
40	6491849,451	4764973,17	5,8	2,6
41	6490195,851	4748868,585	3,3	2,6

42	6482634,798	4762769,091	7,4	2,5
43	6485842,13	4775980,565	7,7	4
44	6530361,825	4772921,059	0	2,8
45	6492342,3	4768305,074	0,1	2,8
46	6477688,09	4770670,628	5,3	2,8
47	6495372,085	4790297,107	18,2	2,6
48	6500325,037	4725645,884	5,3	2,5
49	6509497,212	4731316,886	0	2,6
50	6494295,565	4766414,664	10	2,9
51	6525238,838	4771456,308	11	2,8
52	6474292,238	4755575,277	7,3	2,5
53	6478787,258	4757670,279	5	2,6
54	6475864,959	4761790,152	5,2	2,5
55	6473509,623	4764131,728	8,1	3,5
56	6467206,042	4775267,938	1,1	2,5
57	6499026,189	4792628,272	11	3,2
58	6507224,614	4791854,071	9,3	2,6
59	6508115,48	4793632,443	23,4	3,5
60	6498944,38	4789406,756	11	3,5
61	6505440,048	4790186,175	10,3	2,7
62	6504787,41	4794851,392	17,7	3,4
63	6503248,728	4788074,217	10,3	3
64	6502843,173	4786629,926	9,4	2,8
65	6505686,447	4786631,584	11	2,6
66	6505929,604	4787298,301	11	2,8
67	6501542,111	4793628,054	13,1	2,7
68	6502110,18	4793628,182	12,3	2,8
69	6500324,823	4792961,415	8,5	2,5
70	6501055,59	4790073,185	11,9	2,7
71	6504872,139	4789519,246	11,2	2,8
72	6507478,921	4781634,36	10,3	2,7
73	6472665,54	4736586,729	5,5	2,6
74	6476021,466	4736796,269	7,8	3
75	6477145,508	4730349,851	10	4
76	6506347,078	4774523,813	11	2,6
77	6495674,01	4756527,279	11	3
78	6479299,923	4765222,349	11	3,5
79	6485685,659	4740656,794	3,1	3,5
80	6464920,002	4758061,055	9,8	2,7
81	6461965,808	4754966,556	2,6	4
82	6516519,704	4774540,41	11	2,5
83	6527743,139	4776353,706	16,4	2,6
84	6522134,285	4774778,239	15,5	2,5
85	6516915,778	4778984,784	19,4	5,1
86	6492417,868	4763195,168	6,9	3,1
87	6511229,226	4774974,225	11,6	2,7

88	6489328,103	4768087,082	7,6	2,5
89	6489495,06	4770641,743	11	2,7
90	6493506,881	4792520,467	7,9	2,9
91	6512304,856	4764867,391	11	2,5
92	6481819,884	4762882,326	7,5	3,2
93	6497474,481	4769522,942	11	2,5
94	6475867,733	4762567,728	7,4	2,6
95	6525646,341	4771346,723	14,1	2,6
96	6519767,017	4777326,043	11,9	2,7
97	6525395,41	4750906,401	11	2,8
98	6517330,464	4775764,324	13,1	2,7
99	6460262,281	4798300,925	7	2,6
100	6481652,912	4761438,698	10	4,3
101	6501141,384	4752526,856	11	3
102	6520866,344	4736117,712	11	2,9
103	6506025,371	4769969,088	11	3,7
104	6492287,685	4791077,659	6,4	2,5
105	6463006,307	4766180,454	3,2	2,5
106	6462015,08	4792736,197	7,6	2,5
107	6509095,5	4788856,879	11	1,8
108	6464239,959	4783725,706	3,7	2,6
109	6512627,638	4766645,297	11	2,6
110	6465425,144	4792939,989	10	2,4
111	6496569,988	4753638,626	0	2,8
112	6498692,098	4752526,994	11	2,2
113	6501796,166	4744973,535	11	2
114	6484578,827	4757321,31	12,8	3,1
115	6485325,731	4763095,926	3,8	2,7
116	6487207,222	4766535,646	11	2,3
117	6493557,67	4761749,879	9,7	2,7
118	6482223,087	4761215,004	11	3,7
119	6481288,959	4747776,636	7,6	1,8
120	6492490,907	4755752,596	11	2
121	6489886,143	4760088,244	9,6	2,2
122	6484825,591	4758209,405	8,8	2,3
123	6484428,267	4762764,699	6,4	3,1
124	6518190,951	4726335,433	10	2,5
125	6481902,599	4763326,436	8,2	3,3
126	6482635,944	4763213,421	5,9	2,5
127	6484660,413	4757321,123	12,6	2,1
128	6510835,701	4766309,053	4,6	2
129	6506358,482	4761638,152	10	2,9
130	6518003,266	4767323,6	10,1	2,7
131	6494160,94	4797740,985	8,7	2,4
132	6486078,813	4772425,352	8,3	2,5
133	6465671,61	4761500,848	4	3,6

134	6463203,853	4757514,7	10	3,7
135	6519681,523	4749999,267	0,5	2,7
136	6486714,834	4764759,273	12	3,7
137	6513067,469	4792751,252	7	2,4
138	6474490,203	4764794,465	10	4,1
139	6472391,224	4769690,448	7,2	3,1
140	6487008,578	4748096,446	14,8	2,3
141	6482078,357	4768102,564	10	3,1
142	6492190,223	4777414,163	10	3,9
143	6475707,877	4763456,971	10	4,7
144	6468822,745	4772927,461	12	2,2
145	6472353,969	4780465,988	7,4	3,3
146	6514466,227	4783644,868	17,8	2,9
147	6511867,025	4782751,262	19,2	2,4
148	6465535,382	4798605,074	10	3,3
149	6513098,783	4776088,326	0,5	2,6
150	6521648,92	4747672,391	10,1	2,6
151	6476230,353	4795892,45	7,6	2,5
152	6476705,02	4745235,972	15	2,7
153	6490029,161	4746647,233	8,7	2,7
154	6496818,377	4760525,541	10	3,4
155	6493391,58	4758750,83	10	2,9
156	6500161,922	4764745,785	9,3	2,5
157	6491859,75	4773304,43	10	3
158	6514904,193	4768871,454	21,1	2,5
159	6519715,336	4766883,91	16,9	3,1
160	6477689,883	4795665,244	5,6	2,7
161	6489546,532	4751535,5	8,9	2,5
162	6464014,526	4787170,684	1,3	3,6
163	6491214,805	4777970,82	8,9	2,5
164	6473617,588	4770907,489	10	2,5
165	6520945,8	4764110,416	16,9	3,2
166	6468305,427	4749268,842	7,3	3,4
167	6524117,168	4766231,315	10	2,9
168	6471764,672	4795021,063	10	2,3
169	6527378,891	4724032,623	10	3,1
170	6524512,644	4723133,404	10	3,4
171	6531594,194	4752598,07	23,1	2,7
172	6488797,902	4743316,795	8,6	2,2
173	6468854,115	4762040,922	10	2,9
174	6482081,615	4769324,482	10	3,4
175	6490950,732	4763308,097	10	2,7
176	6492283,358	4787411,788	10	2,9
177	6500569,271	4768300,444	10	2
178	6494277,449	4745753,566	11,6	2,2
179	6485096,252	4769872,529	12,7	2,5

180	6520657,72	4723565,323	5,5	2,5
181	6528764,324	4765582,564	21,3	2,4
182	6527619,938	4766466,577	17	2,7
183	6496148,131	4730867,718	13,1	2,4
184	6506865,702	4742754,917	2,6	3,1
185	6501873,599	4763746,22	10	2,8
186	6478634,013	4786441,815	9,7	3,1
187	6460323,225	4781081,441	9,3	3
188	6508551,742	4768416,5	13,2	1,9
189	6495607,619	4778632,889	5,3	1,9
190	6488189,859	4769310,925	8,2	2,4
191	6507574,178	4768526,474	16,7	2
192	6485859,011	4745321,763	13,1	2,3
193	6514418,942	4767204,178	8,3	2,9
194	6492173,848	4763639,784	8	1,8
195	6499428,7	4766745,33	13,7	2,1
196	6503505,448	4760192,157	17,6	1,9
197	6499591,959	4769744,561	13,8	2,2
198	6509818,365	4735982,574	16,8	1,9
199	6505890,707	4735200,736	9,7	3,6
200	6504089,797	4735643,825	8	2,4
201	6508411,661	4749088,097	11,7	1,9
202	6495846,901	4771412,233	4,4	2,3
203	6511054,072	4730763,746	3	2,2
204	6487118,257	4762647,908	8,1	2,2
205	6498279,448	4737420,328	0	2,5
206	6504065,22	4780298,59	9,2	3,1
207	6488911,755	4762644,69	11,9	2,7
208	6476443,677	4787337,855	1,9	2,4
209	6490761,96	4744757,825	5,6	2,4
210	6497073,754	4783186,544	12,2	2,6
211	6478895,246	4791995,395	4,3	2,9
212	6508361,71	4791299,889	10	3,3
213	6476602,987	4763009,479	10	3,1
214	6459366,957	4784308,735	10	2,4
215	6470411,326	4745149,337	10	3,4
216	6482210,899	4787320,053	10	2,9
217	6526368,51	4774126,587	8	2,3
218	6468221,672	4748824,902	3,9	3,5
219	6464232,049	4766840,399	4,5	3,1
220	6489940,331	4795635,444	13	2,6
221	6490624,202	4762975,303	7,9	2,4
222	6492011,23	4763973,227	0	2,3
223	6495352,686	4763525,664	11,1	2,2
224	6487248,557	4788086,118	8,4	3
225	6528925,855	4746365,836	10,5	2,6

226	6519266,073	4722783,842	12	2
227	6470372,602	4792138,726	10	3,4
228	6486917,598	4743320,192	7	2,3
229	6492558,136	4742978,304	8,7	2,7
230	6501950,515	4782741,634	10,7	2,6
231	6503337,512	4771078,202	24	2,8
232	6484722,105	4748545,567	7,3	2,3
233	6467009,177	4717506,129	10	3
234	6478365,859	4753450,488	2,4	3,3
235	6483160,86	4744883,632	1,5	2,7
236	6490032,976	4749202,067	0,3	2
237	6489804,079	4759755,123	9,2	2,4
238	6478349,544	4748340,793	7,3	2,5
239	6467211,165	4759493,714	10	3,1
240	6490871,36	4764863,365	14	2,6
241	6488467,269	4741206,852	11,9	2,5
242	6518608,64	4723337,457	6,5	2,2
243	6501388,394	4739308,443	10	2,8
244	6462700,346	4754962,493	8,8	2,9
245	6471479,473	4765917,333	10	3,7
246	6471358,124	4756475,691	8,7	3
247	6472102,169	4798130,179	10	3,2
248	6493064,601	4758084,677	9,8	2,4
249	6531055,237	4726935,99	10	3,7
250	6488640,933	4794859,936	3,2	2,9
251	6488547,91	4740540,241	5,7	2,1
252	6515137,193	4774092,924	10	4
253	6476327,984	4730796,948	10	3,2
254	6463291,918	4788729,844	10	3,7
255	6470993,853	4747590,629	10	4,1
256	6488351,175	4721324,24	10	3
257	6477843,465	4718240,173	10	3,2
258	6488763,152	4771198,361	10	3
259	6479781,551	4762777,048	10	3,3
260	6491333,383	4744201,661	10	4
261	6487587,64	4751983,169	10	3,3
262	6461598,078	4747637,069	10	3,5
263	6485276,255	4740435,516	10	4,5
264	6487004,07	4745763,775	10	3,1
265	6488558,331	4746649,586	10	4,1
266	6489935,088	4738427,524	10	4,2
267	6475404,172	4747128,93	10	3,6
268	6490328,921	4727874,591	10	4
269	6483648,309	4743660,558	10	4,2
270	6474334,431	4745133,424	10	3,3
271	6492646,568	4748976,5	10	3,5

272	6495584,947	4745641,466	10	3,6
273	6469553,541	4754372,956	10	4,2
274	6485698,854	4746877,22	10	5,5
275	6484548,049	4743880,601	10	4,3
276	6492571,01	4754419,532	10	4,1
277	6476787,509	4745457,851	10	4,4
278	6474929,916	4751462,844	10	3,4
279	6484887,478	4749433,838	10	3,8
280	6465992,459	4727619,195	10	4
281	6479940,631	4761443,574	10	3,9
282	6503495,671	4781075,898	10	3,7
283	6489712,239	4753090,374	10	4,3
284	6491829,032	4748422,059	10	3,8
285	6466769,801	4735835,285	10	4,1
286	6484227,292	4746547,26	10	3,7
287	6483656,636	4747104,018	10	4,6
288	6484792,787	4743657,886	10	4,1
289	6475806,78	4745461,271	10	4,4
290	6487720,946	4735543,173	10	4,3
291	6491425,74	4752421,461	10	3,3
292	6483846,151	4757989,521	10	3,1
293	6480054,317	4744669,906	10	3,3
294	6493044,465	4738978,943	10	4,1
295	6490014,249	4736650,155	10	5,3
296	6469662,543	4723714,244	10	3,5
297	6484708,776	4742658,361	10	4,5
298	6475239,138	4746685,204	10	3,3
299	6507596,001	4747976,384	10	3,9
300	6490434,064	4744091,811	10	3
301	6489205,77	4742760,73	10	3,3
302	6474422,01	4746688,229	10	4,2
303	6488488,269	4753425,613	10	4,1
304	6488237,131	4749871,466	10	4,3
305	6481363,324	4745110,502	10	3,6
306	6484972,379	4750877,698	10	4,5
307	6483324,875	4745105,386	10	3,8
308	6480960,912	4747333,228	10	4,6
309	6497955,189	4746306,726	10	3,3
310	6493047,154	4741533,746	10	3,6
311	6494108,412	4739533,297	10	3,2
312	6493457,676	4743199,51	10	4,4
313	6488729,61	4751314,666	10	3,7
314	6493050,897	4745088,272	10	3,5
315	6475651,682	4747794,526	10	3,7
316	6488384,915	4740873,757	10	4,4
317	6487080,676	4743097,718	10	3,3

318	6483990,845	4750213,472	10	3,2
319	6489912,416	4723321,084	10	4,4
320	6484946,141	4739103,297	10	3,6
321	6487733,501	4742430,021	10	4,9
322	6495172,023	4739865,659	10	6
323	6463240,445	4794173,577	10	3,2
324	6485841,659	4775758,396	10	2,7
325	6511707,083	4732097,717	5	2,2
326	6474530,507	4796898,511	10	2,5
327	6503746,19	4767968,057	10	1,9
328	6517124,203	4726888,144	10	2,1
329	6517207,506	4726332,963	5	2,1
330	6527870,338	4724145,637	5	3,2
331	6465867,194	4751724,449	10	2,3
332	6468248,11	4754490,01	10	2,4
333	6518355,148	4726224,782	10	2,1
334	6523938,7	4723131,424	10	2,2
335	6516644,038	4721999,637	10	1,7
336	6523122,07	4722128,999	10	2,1
337	6522548,4	4722016,059	10	1,8
338	6507457,875	4723539,137	5	2,1
339	6520893,115	4727120,477	10	1,6
340	6511641,915	4721878,582	10	2,1
341	6464311,065	4735181,177	5	2,8
342	6478997,93	4746672,542	5	3,5
343	6522059,156	4721125,897	10	2
344	6520827,609	4721566,449	10	2,3
345	6516152,262	4721887,42	10	2,2
346	6517052,99	4722444,916	10	2,6
347	6521893,051	4721791,835	10	2,2
348	6465792,237	4753057,827	5	2,3
349	6517787,347	4723890,719	5	2,2
350	6514349,922	4720994,931	5	2
351	6518700,347	4719672,193	10	2,6
352	6522550,537	4721349,607	10	1,8
353	6519675,121	4723118,202	10	2,7
354	6522709,181	4723016,265	10	2,3
355	6518850,447	4724893,17	10	3,6
356	6519841,921	4722118,984	10	2,1
357	6517380,442	4722667,867	10	1,7
358	6505233,142	4739087,963	10	2,4
359	6510579,451	4719433,271	10	1,7
360	6477027,893	4791890,454	5	4,1
361	6516479,251	4722332,478	10	2,1
362	6511313,714	4721989,128	10	1,8
363	6522377,317	4724237,045	10	1,6

364	6522957,7	4722239,537	5	2,1
365	6506064,38	4723204,612	5	2,7
366	6506557,225	4722205,36	5	3,6
367	6514673,847	4722994,958	10	1,6
368	6515735,554	4724885,534	10	1,8
369	6516066,973	4723331,213	5	2,1
370	6516561,252	4722332,67	5	2
371	6524600,472	4721467,56	10	2,3
372	6513356,935	4725658,179	5	1,7
373	6520496,657	4722565,164	5	2
374	6518360,358	4724225,417	10	1,9
375	6519919,84	4723563,196	5	2,2
376	6530098,114	4720822,529	10	3,3
377	6525658,906	4723581,809	10	1,9
378	6522588,558	4760227,644	10	1,8
379	6515901,745	4723886,22	10	1,9
380	6508934,187	4723096,515	10	1,9
381	6522867,382	4724794,008	10	2,6
382	6525336,572	4722025,561	10	2,7
383	6523197,839	4724017,553	10	2
384	6516230,697	4723442,663	10	1,6
385	6521648,395	4721346,773	12,2	2,7
386	6521563,318	4722346,199	10	2
387	6512545,356	4721102,589	10	1,7
388	6503171,629	4778298,62	10	3,1
389	6529770,036	4720821,128	10	2,1
390	6525660,937	4723026,431	10	1,8
391	6512869,594	4723213,605	10	1,8
392	6508115,019	4722429,091	10	2
393	6523041,523	4721684,428	10	2
394	6511477,902	4721878,315	10	2,4
395	6514263,434	4723216,271	10	2,1
396	6522298,51	4723237,104	10	1,6
397	6519266,984	4722450,616	10	2,2
398	6521317,988	4722123,298	10	1,8
399	6521966,034	4724680,055	10	1,6
400	6489422,922	4724876,897	10	1,5
401	6520006,244	4722008,372	10	2,6
402	6520914,897	4719789,491	10	2,9
403	6516888,194	4722777,748	10	1,9
404	6520497,627	4722231,938	10	2,6
405	6513695,502	4720105,034	10	5,2
406	6510990,664	4771419,144	10	2
407	6495254,711	4741087,461	5	2,6
408	6512263,142	4741984,617	10	2,2
409	6490236,43	4776417,003	10	2,8

410	6469091,359	4778258,406	10	4,5
411	6491409,679	4739980,563	10	2,3
412	6462619,517	4740188,866	10	3,2
413	6462714,635	4742632,153	10	2,6
414	6458919,616	4736988,686	10	4,2
415	6464331,909	4739179,987	10	2,7
416	6458693,56	4740211,436	10	3,5
417	6462698,885	4739744,105	10	4
418	6466209,527	4738392,885	10	3,2
419	6471866,6	4761027,995	10	2,2
420	6470216,744	4756702,768	10	2,2
421	6462394,923	4743966,895	10	2,1
422	6468070,277	4751380,513	10	2,1
423	6461796,029	4739193,677	10	2,8
424	6461014,749	4745640,875	10	2,6
425	6499755,004	4771855,137	10	2
426	6524194,62	4720244,31	5	2,2
427	6499268,518	4784963,234	10	2,7
428	6501218,43	4786740,599	10	2,3
429	6518118,702	4722558,648	5	1,9
430	6501460,293	4797516,124	5	2,6
431	6529440,559	4721152,968	10	3
432	6515494,046	4759986,081	10	1,4
433	6499672,456	4759524,947	5	2
434	6519181,409	4753663,56	11,4	1,8
435	6514255,779	4767314,926	10	2,6
436	6505526,619	4783187,784	10	2,4
437	6524573,612	4729131,798	10	2,9
438	6505272,364	4797406,76	10	3,1
439	6507255,024	4761972,25	10	2,3
440	6511893,986	4766866,181	10	1,9
441	6509839,62	4779415,545	10	2,6
442	6505854,991	4779188,96	5	2,1
443	6488827,255	4760867,511	10	3,3
444	6478152,373	4788220,774	10	3,3
445	6461394,467	4797738,863	10	2,3
446	6486662,884	4779533,608	10	4,1
447	6471643,309	4746588,158	10	2,7
448	6476513,636	4784116,064	5	2,5
449	6469424,075	4743709,634	5	3
450	6465457,719	4799272,024	5	2,4
451	6480029,341	4791214,292	10	2,6
452	6504657,157	4744419,353	10	3
453	6511745,51	4758201,485	10	1,8
454	6503676,124	4744752,041	10	1,8
455	6479120,108	4759779,816	10	2,7

456	6532291,151	4760710,403	10	2,1
457	6533787,721	4754830,084	10	2,3
458	6460148,947	4792858,078	10	2,5
459	6501547,5	4764079,4	5	2
460	6498690,198	4744418,166	10	2,7
461	6481248,008	4762439,56	10	2,2
462	6507523,843	4738867,823	10	2,1
463	6507901,346	4767304,912	10	2,3
464	6488007,036	4758202,962	10	2,7
465	6503423,795	4760414,284	5	2,8
466	6499836,144	4767856,122	10	2,2
467	6501055,355	4792183,844	10	3
468	6498783,392	4795738,782	10	2,6
469	6514416,19	4768537,177	10	2,2
470	6514244,666	4772758,026	10	2,1
471	6521728,44	4774443,695	10	1,9
472	6471296,272	4761141,47	10	3,9
473	6470025,14	4787030,156	10	3,2
474	6509622,734	4759531,254	5	1,8
475	6466535,687	4738169,119	5	3,7
476	6507420,738	4759417,532	10	2,2
477	6481623,397	4780434,253	5	2,7
478	6485621,054	4786645,307	10	3,5
479	6484829,101	4759764,549	10	2,5
480	6520099,18	4774994,2	10	2,3
481	6503016,71	4758747,883	10	2,3
482	6501467,259	4756636,897	5	3,4
483	6532340,889	4750046,603	10	2,4
484	6525212,334	4756348,769	10	1,9
485	6507797,368	4787744,452	5	2,7
486	6510067,622	4790524,517	5	2,5
487	6507242,156	4774635,749	12,6	3,1
488	6505541,692	4763525,879	10	1,9
489	6507339,748	4758862,039	10	2,1
490	6508979,381	4752310,122	10	2,6
491	6488916,191	4765310,672	9,4	3,5
492	6483456,027	4765210,854	5	3,6
493	6512437,788	4781752,481	10	2,3
494	6528022,943	4747361,874	10	3,4
495	6491002,518	4741314,044	10	4,1
496	6522559,275	4769225,35	10	3,3
497	6529020,076	4743367,033	10	1,8
498	6521801,554	4751116,383	10	2,3
499	6525817,32	4747242,261	10	2,4
500	6464475,888	4766728,031	10	4,3
501	6532109,734	4747046,304	10	2,1

502	6520462,34	4734339,264	5	3,2
503	6479364,78	4759779,064	5	2,2
504	6511226,633	4725210,188	10	1,9
505	6540857,607	4718322,256	10	1,8
506	6501788,07	4782186,168	10	2,6
507	6507472,476	4787744,101	10	2,8
508	6527505,704	4774686,457	10	2,4
509	6499182,445	4755526,079	10	3,4
510	6525079,563	4747906,052	10	2,3
511	6490313,56	4773528,687	10	2,4
512	6463903,349	4796725,09	10	2,6
513	6497796,991	4760636,195	10	2,5
514	6519414,54	4757885,323	10	1,9
515	6524155,42	4755234,187	10	1,2
516	6507922,05	4748643,217	10	2,1
517	6498283,558	4751416,298	10	2,2
518	6504816,553	4750639,92	10	2,5
519	6505191,818	4796629,083	10	2,6
520	6505231,872	4740865,216	5	1,8
521	6520232,979	4784881,278	10	2,1
522	6499673,99	4776187,432	10	1,8
523	6496075,363	4745752,227	10	2,3
524	6481877,858	4784321,592	10	2,4
525	6488369,854	4779086,062	10	2,3
526	6523090,785	4756341,395	10	1,7
527	6511625,198	4732097,583	10	2,1
528	6512497,727	4793638,908	10	2,2
529	6517798,677	4783541,536	10	2
530	6517054,615	4788649,673	10	2
531	6518608,124	4784765,623	10	2
532	6516168,539	4785537,101	10	2,5
533	6517960,935	4783653,042	10	1,9
534	6519026,641	4780323,293	10	1,9
535	6514921,279	4798753,784	10	1,7
536	6498782,173	4790295,487	11,8	3,7
537	6519343,186	4783434,597	10	2,2
538	6502195,506	4778631,534	10	2,6
539	6487831,177	4751205,157	5	2,2
540	6521181,595	4740117,507	10	1,6
541	6512983,812	4794084,153	5	1,8
542	6512285,089	4729321,768	5	1,6
543	6519417,903	4785767,636	10	2
544	6509647,915	4740980,866	10	1,7
545	6512375,558	4770977,115	10	2,2
546	6511402,086	4768753,785	10	2,7
547	6501547,379	4764745,896	10	2,2

548	6508257,526	4741090,2	10	2,1
549	6510875,365	4793191,833	10	2
550	6500896,475	4752304,67	10	1,8
551	6524228,895	4757567,18	10	1,7
552	6532981,068	4752826,693	10	2,2
553	6462657,782	4762072,176	13	3,9
554	6519555,176	4794655,073	10	2,2
555	6460813,612	4753306,816	9,1	3,3
556	6479586,237	4778996,023	10	3,5
557	6519236,505	4792543,49	10	2,5
558	6516474,741	4793425,05	10	2,2
559	6480614,394	4796989,188	10	2,3
560	6485335,211	4767428,155	10	3,1
561	6490453,185	4757421,441	10	2,2
562	6504231,876	4773300,339	10	2,5
563	6522598,916	4782000,355	10	1,7
564	6482813,751	4768989,316	10	3,8
565	6486300,079	4761205,458	10	2,7
566	6493309,331	4758084,423	8,7	2,2
567	6495931,664	4776633,143	10	2,2
568	6498615,884	4774521,344	10	1,9
569	6485389,86	4755097,864	10	2,7
570	6515894,634	4798644,866	5	2,3
571	6522848,929	4730458,899	10	2,5
572	6501715,275	4740863,6	10	2,2
573	6474892,743	4763459,948	10	2,4
574	6474909,058	4789676,275	9,1	3,1
575	6528096,157	4769578,883	10	3
576	6517899,456	4775987,939	10	2
577	6460150,793	4779416,113	10	3,4
578	6472140,869	4787909,769	5	2,8
579	6491984,635	4741979,262	5	1,8
580	6495992,666	4744197,168	10	2,1
581	6523564,38	4736903,827	10	2,2
582	6461317,199	4798405,862	10	3,1
583	6460100,851	4743091,238	5	2,6
584	6493051,599	4745754,748	10	4
585	6495665,026	4743197,67	9,3	3,3
586	6485859,244	4745432,842	10	3,8
587	6462659,571	4777180,014	10	2,1
588	6489546,358	4751424,42	0,8	2,5
589	6534089,557	4759830,356	10	2,4
590	6480718,126	4776659,87	10	3
591	6479870,037	4765109,539	10	2,5
592	6471143,145	4744257,549	10	2
593	6488325,004	4753425,896	10	2,7

594	6483930,647	4759211,224	5	2,5
595	6487931,076	4761313,4	10	2,9
596	6499266,342	4770633,272	10	3,9
597	6481169,897	4763661,695	10	4,2
598	6491042,18	4770639,47	5	3
599	6494857,351	4755639,229	5	2,9
600	6524896,684	4753348,403	10	2,5
601	6494379,642	4769413,84	10	3,8
602	6491033,751	4764418,812	10	2,9
603	6495927,252	4769745,925	10	2,9
604	6476057,965	4770231,879	10	3,3
605	6487191,918	4758537,719	9,2	2,8
606	6482799,829	4763546,25	10	4
607	6507170,93	4764527,064	10	3,1
608	6489327,568	4767753,832	10	3,1
609	6484676,128	4764208,209	10	4,9
610	6520901,628	4751669,034	10	2,6
611	6529304,437	4753476,684	10	3
612	6513175,847	4734877,237	5	2,6
613	6520016,337	4718453,973	10	2,1
614	6486715,496	4765092,521	10	3
615	6461252,774	4758747,47	10	2,5
616	6497464,247	4744751,8	10	2,8
617	6478169,459	4768447,356	10	2,6
618	6522668,883	4785444,292	10	2,5
619	6508534,964	4782302,071	5	3,4
620	6487752,36	4752760,433	10	3
621	6519717,8	4737114,096	10	2,2
622	6500161,663	4752193,565	10	2,8
623	6495671,537	4752861,609	7	3,4
624	6499023,247	4776965,117	10	3,8
625	6475971,413	4745793,929	10	3,4
626	6468743,452	4755709,634	5	3,1
627	6533295,886	4755272,037	10	4
628	6531018,719	4753484,137	10	2,2
629	6506140,19	4730535,701	10	2,3
630	6468899,547	4771927,329	10	2,8
631	6479503,552	4778551,93	10	2,9
632	6493804,906	4764526,703	10	2,5
633	6474932,787	4752240,408	10	2,8
634	6527209,801	4746358,914	10	2,9
635	6481652,308	4761216,534	10	2,7
636	6482809,319	4798871,683	10	4,1
637	6471507,102	4772471,264	10	3,9
638	6465216,802	4752283,157	10	2,6
639	6489032,063	4786083,361	10	2,9

640	6493990,056	4788409,77	10	2,5
641	6488021,187	4766089,802	10	2,4
642	6526169,706	4762128,65	10	2,6
643	6470078,064	4743706,734	10	4,1
644	6480475,165	4748889,741	5	3,3
645	6508348,361	4733314,844	5	2,5
646	6478355,217	4750118,073	5	2,9
647	6492185,729	4773637,287	10	2,6
648	6515509,794	4752876,879	10	2,5
649	6522516,361	4757339,254	10	2,2
650	6479675,648	4754668,329	10	3,2
651	6531158,934	4722049,018	10	2,6
652	6496417,459	4772522,724	10	2,3
653	6494466,975	4776300,985	10	2,4
654	6494457,761	4765525,859	10	2,7
655	6530715,6	4766590,727	10	2,5
656	6511982,471	4762756,258	10	2,8
657	6469427,787	4780700,802	10	3
658	6515516,677	4749766,628	10	2,4
659	6515105,188	4751209,78	10	3
660	6521146,633	4724566,465	13,4	2,8
661	6501058,308	4765523,404	10	2,2
662	6501546,995	4766856,471	10	2,8
663	6494605,17	4746753,002	10	2,6
664	6497460,494	4735643,373	10	4,2
665	6512974,681	4755204,44	10	2,5
666	6522314,245	4744008,827	5	2,6
667	6503502,644	4766190,608	10	2,4
668	6468981,925	4789812,118	10	3
669	6528528,196	4743698,243	10	2
670	6500976,722	4766523,142	10	3,1
671	6524349,885	4769564,671	10	2,6
672	6469461,945	4752151,706	23,3	5
673	6464330,634	4785502,657	10	3,8
674	6511466,984	4778862,59	10	2,6
675	6482188,142	4778766,436	9,5	3,9
676	6495352,525	4763303,499	10	2,5
677	6499022,414	4772521,739	10	3,3
678	6500324,834	4789628,794	10	2,4
679	6513006,623	4737876,033	5	2,5
680	6514746,458	4766427,276	10	2,7
681	6482286,544	4754327,736	10	4,9
682	6511940,38	4739429,251	10	2,8
683	6504298,418	4798517,001	10	3,3
684	6462570,996	4731302,638	10	2,6
685	6510281,996	4754866,754	10	3,7

686	6502845,041	4781631,052	10	2,6
687	6516742,081	4749658,368	10	3,1
688	6494064,55	4781078,006	10	4
689	6469039,561	4749043,301	10	3,8
690	6473723,999	4756355,035	10	3,6
691	6477805,722	4756895,85	10	4,2
692	6460955,215	4735199,479	10	3,5
693	6479207,822	4761779,041	10	4,2
694	6465815,468	4741394,038	10	3,9
695	6495111,269	4767635,91	10	3,6
696	6469243,148	4757929,029	33	4,2
697	6470781,691	4755256,23	33	4
698	6477326,598	4760007,76	33	3,7
699	6475269,905	4755127,311	33	4,7
700	6478707,075	4758114,862	29,7	5,5
701	6496748,412	4782742,362	10	3
702	6507080,61	4773413,658	10	2,5
703	6505124,792	4776744,533	10	3,4
704	6511043,708	4737428,386	10	4,1
705	6461450,584	4764856,074	10	2,9
706	6510844,762	4760421,682	10	2,7
707	6472162,52	4793130,872	10	3,8
708	6524664,911	4726466,253	8,9	3,3
709	6484635,218	4781870,778	10	4,1
710	6502360,849	4769744,834	10	4,1
711	6465989,916	4776162,648	10	3,2
712	6516207,629	4768763,279	10	3,2
713	6463162,949	4794840,55	10	3,1
714	6473511,797	4764687,141	10	4,3
715	6476193,829	4762566,572	10	4,1
716	6515371,283	4778647,935	10	4,6
717	6485679,879	4776203,082	33	4,6
718	6477608,382	4795554,427	15	5,1