

Dinamika taloženja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga u istočnom dijelu Dravske depresije

Špelić, Marko

Doctoral thesis / Disertacija

2023

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:169:766416>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Marko Špelić

**DINAMIKA TALOŽENJA
GORNJOMIOCENSKIH I PLIOCENSKIH
NASLAGA U ISTOČNOM DIJELU DRAVSKE
DEPRESIJE**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Marko Špelić

**DINAMIKA TALOŽENJA
GORNJOMIOCENSKIH I PLIOCENSKIH
NASLAGA U ISTOČNOM DIJELU DRAVSKE
DEPRESIJE**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

Dr.sc. Bruno Saftić, izvanredni profesor

Dr.sc. Koraljka Bakrač, viša znanstvena suradnica

Zagreb, 2023.



University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Marko Špelić

**DEPOSITIONAL DYNAMICS OF UPPER
MIOCENE AND PLIOCENE SEDIMENTS IN
THE EASTERN PART OF DRAVA
DEPRESSION**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:

Associate professor Bruno Saftić PhD

Senior research associate Koraljka Bakrač PhD

Zagreb, 2023.

Informacije o mentorima:

Dr.sc. Bruno Saftić, izvanredni profesor

Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Dr.sc. Koraljka Bakrač, viša znanstvena suradnica

Hrvatski geološki institut

Zavod za geologiju

Zahvale

Mentorima, profesoru dr. sc. Bruni Saftiću i dr. sc. Koraljki Bakrač za povjerenje, podršku, savjete, slobodu u istraživanju. Nadasve za završni pregled i ispravljanje doktorskog rada, za koje je su zbog posebnih okolnosti bili potrebni krajnji napori. Profesorici Orsolji Sztanó, neslužbenoj mentorici, zahvaljujem na velikodušno prenesenom znanju, iskustvu i savjetima.

Hrvatskom geološkom institutu i posebno Zavodu za geologiju na potpori. Zahvaljujem Agenciji za ugljikovodike i Ministarstvu gospodarstva, poduzetništva i obrta na dopuštenju za znanstveno korištenje podataka, naročito kolegici Tatjani Durn. Zahvalan sam svim kolegama iz INA d.d., koji su tijekom više desetljeća prikupljali podatke i napravili brojne analize bušotinskih podataka od neprocjenjivog značaja za ovaj doktorat i brojne buduće radove. Posebno hvala kolegi Zlatku Opašiću i njegovim kolegama iz skladišta jezgara u Mramor Brdu.

Hvala kolegicama dr. sc. Viktorii Baranyi i dr. sc. Valentini Hajek-Tadesse na provedenim paleontološkim analizama. Zatim, kolegi dr. sc. Tomislavu Kurečiću i kolegici Ani Kamenski mag. geol. na pomoći prilikom pregleda i snimanja jezgri u skladištu Mramor Brdo. Hvala kolegi Josipu Barbači i Jasni Severec na pomoći pri uvezu doktorata. Kolegi i profesoru Michalu Šujanu hvala na analizama starosti sedimenata, diskusijama i suradnji.

Kolegi i prijatelju dr. sc. Davidu Rukavini osobito hvala na brojnim raspravama, plemenitosti, pomoći i zajedničkoj borbi, koje traje više od jednog desetljeća. Cimeru, dr. sc. Vlatku Brčiću, kolegama dr. sc. Mihovilu Brleku, dr. sc. Ivanu Mišuru i dr. sc., Lari Wacha i ostalima, na slušanju, brojnim diskusijama, podršci, razumijevanju i spačkama. Isto tako, zahvaljujem svim kolegama iz HGI-a, RGNF-a, PMF-a te Sveučilišta Eötvös Loránd, a i šire koji su na bilo koji način pomogli.

The data analysis could not be carried out without the academic licenses of the Petrel E&P software platform from Schlumberger. I also thank AspenTech Subsurface Science & Engineering for providing Aspen SKUA license as part of the AspenTech SSE academic program.

Na kraju, najveće hvala bližnjima, posebno mojoj Aneti, zatim bratu, roditeljima i prijateljima. Hvala vam na ljubavi, slušanju i razumijevanju, iskrenosti, podršci, mudrosti, svim žrtvama, prijateljstvu, u ovoj i budućim životnim izazovima i pustolovinama.

Ovaj rad posvećujem svojim roditeljima.

„There are no beautiful surfaces without a terrible depth.“

(Friedrich Nietzsche, The Birth of Tragedy Out of the Spirit of Music)

Sažetak

U ovom doktorskom radu analizirane su gornjomiocenske i pliocenske naslage istočne Dravske depresije. Cilj istraživanja je određivanje klinoformi i parasekvencija na temelju interpretacije površinskih seizmičkih mjerenja i podataka iz dubokih bušotina te određivanje starosti naslaga korištenjem metode datiranja autigenih nuklida $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$. Pretpostavka je da se sintezom ovih rezultata može dobiti uvid u dinamiku i razvoj okoliša taloženja. Na seizmičkim podacima provedene su seizmostratigrafske analize, analize seizmičke geomorfologije te strukturalna interpretacija. Na bušotinskim geološkim podacima provedene su sedimentološke analize, odredbe starosti geokronološkim i biostratigrafskim metodama, a na karotažnim podacima su interpretirane parasekvencije. Zajedničkom interpretacijom svih izvora podataka određene su četiri litostratigrafske jedinice: formacija Medvedski breg (duboko do otvoreno jezero), formacija Andraševac (dubokovodni turbiditi), formacija Nova Gradiška (delta i plitkovodni jezerski okoliši) i formacija Pluska (aluvijalni i fluvijalni). U analiziranim naslagama određeno je pet sekvencija III. reda, koje su sastavljene od osam sekvencija IV. reda. Radiometrijskim datiranjem naslaga utvrđeno je da su jezerski okoliši prevladavali od $11,089 \pm 0,549$ do $6,713 \pm 0,272$ mil. god., a kopneni okoliši i prije $4,987 \pm 0,161$ mil. god. Rezultati analiza pokazuju da je uslijed promjenjivih smjerova taloženja dinamika taloženja bila kompleksna, što je utjecalo na složenu raspodjelu litofacijesa i različite stratigrafske granice između jedinica. Posljedica toga je otežana korelacija manjih sedimentnih tijela i jedinica viših redova na većim udaljenostima ili korištenjem samo jednog izvora podataka. Na dugoročni razvoj taložnog sustava, odnosno razvijanje sekvencija III. reda, dominantno je utjecala klima, subsidencija i tektonika, odnosno strukturalni sklop o kojem je ovisila morfologija depresije. Na razvoj sekvencija IV. reda utjecale su periodične izmjene vlažne i suhe klime te unutarnji mehanizmi taložnog sustava. Rezultati i metode istraživanja primjenjivi su u analizama geoenergetskih resursa, od još neotkrivenih akumulacija nafte i plina, geotermalnog potencijala, mogućnosti skladištenja ugljikovog dioksida do skladištenja energije ili vodika u dubokom podzemlju.

Ključne riječi: Dravska depresija, mlađi miocen, pliocen, klinoforme, Panonsko jezero, seizmostratigrafija, karotaža, apsolutne starosti, autigeni nuklidi $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$, integralna interpretacija

Extended Summary

The focus of this research is on the Upper Miocene and Pliocene sedimentary infill in the eastern part of the Drava Basin. The mentioned area has been continuously subjected to oil and gas exploration for more than 70 years; however, the ages of the final sedimentary filling, disappearance of the lacustrine environments, and subsequent development of delta plain and terrestrial environments have not been precisely estimated.

In light of the proposed theme, the research aims to determine the clinofolds and parasequences in analyzed deposits because such units can most adequately depict the most important palaeogeography and depositional environments. Furthermore, the absolute age of deposits can be resolved using the authigenic nuclides $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ dating method, while biostratigraphic analyses determine the relative age and facies. Through the data synthesis and interpretation, an attempt will be made to reconstruct the development of paleoenvironments and paleogeography in as much detail as possible, as well as to distinguish the main external and internal factors that influenced the dynamics of the Late Miocene and Pliocene sedimentation in the study area.

For this purpose, seismic reflection and borehole data were used. Specifically, the deposits were analyzed by seismostratigraphic approach; seismic geomorphology and structural analyses which were performed on the seismic data. Sedimentological analyses and absolute age determinations were performed using geochronological and biostratigraphic methods on the well-core data. The cycles and parasequences were interpreted on the well-log data, from which the schematic geological columns were made. Data integration enables the separation of environments, lithostratigraphic units, inside which sequences were interpreted. The depth, structure, and thickness maps were made for each sequence.

The analyzed sequence is composed of four lithostratigraphic units: Medvedski breg fm. (shallow to the deep open lake), Andraševac fm. (deep-water and slope-toe turbidite system), Nova Gradiška fm. (deltaic to shallow water lacustrine) and Pluska fm. (alluvial and fluvial). Three phases of third-order sequences inside the Lake Pannon lacustrine deposits were distinguished. The development of the third-order sequences was generally controlled by the ratio of accommodation and sediment supply, or more precisely, the interplay between the subsidence, climate variations, and possibly tectonics. Each unit is composed of fourth-order

sequences or parasequences sets that can also be interpreted as regressive and transgressive system tracts in classical sequence stratigraphic terms.

The results show that the deposition dynamics were rather complex due to changing sedimentary system directions affecting the complex lithofacies distribution and the stratal stacking patterns. This is especially emphasized in the evolution of the third sequence of the overfilled lake, where sediment input direction was frequent due to lateral switching of deltaic lobes. The authigenic nuclides $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ dating method results reveal that the lacustrine environments prevailed from at least $11,089 \pm 0,549$ Ma to $6,713 \pm 0,272$ Ma. The subsequent terrestrial environments were developed well before $4,987 \pm 0,161$ Ma.

The long-term, third-order evolution of the depositional system was dominantly influenced by climate, subsidence, and tectonics, and especially the structural relations that influenced the morphology of the depression. Periodic changes in wet and dry climates and internal mechanisms (e.g., frequent avulsion) controlled the development of fourth-order sequences. As a result, it is challenging to correlate smaller-scale sedimentary bodies or units of higher orders at greater distances or using a single data source (e.g., well data). The results and research methods are applicable in analyzing various geo-energy resources, especially in understanding the role of the strike variability in reservoir correlation.

Key words: Drava Basin, Late Miocene, Pliocene, clinofolds, Pannonian Lake, seismostratigraphy, well-logging, absolute age, authigenic nuclides $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$, integral interpretation

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....	4
3. PREGLED DOSADAŠNJIH SPOZNAJA	5
3.1 Iстраživanje sedimentnih bazena i sekvencijska stratigrafija	6
3.2 KLINOFORME I KLINOTEME	8
3.3 Iстраživanja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga u Panonskom bazenskom sustavu..	10
4. GEOLOŠKI RAZVOJ I GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	25
4.1 REGIONALNA GEOLOŠKA EVOLUCIJA PROSTORA PBS-A	25
4.2 GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	30
5. PODACI I METODE ISTRAŽIVANJA	40
5.1 PODACI.....	40
5.1.1 Refleksijska seizmika	41
5.1.2 Bušotinski geofizički i geološki podaci	41
5.2 METODE ISTRAŽIVANJA	43
5.2.1 Terenska istraživanja - skladište jezgri Mramor Brdo	43
5.2.2 Digitalizacija, sistematizacija i unos podataka u programski paket Petrel.....	44
5.2.3 Interpretacija seizmičkih podataka.....	46
5.2.4 Paleontološke analize	49
5.2.5 Radiometrijsko određivanje starosti sedimenata i povezane analize.....	50
5.2.6 Analiza geoloških i geofizičkih podataka u bušotinama	58
5.2.7 Integracija seizmičkih i bušotinskih podataka: Analize cikličnosti i izdvajanje sekvencija unutar analiziranog slijeda sedimenata	60
5.2.8 Pretvorba seizmičkih podataka iz vremena u dubinu	62
5.2.9 Izrada strukturnih karata, karte putanje ruba šelfa i karata debljina sekvencija.....	63
5.2.10 Analize seizmičkih atributa.....	65
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	67
6.1 SEIZMIČKA STRATIGRAFIJA, SEIZMIČKI FACIJES I GENERALNI STRUKTURNI ODNOSI	67
6.2 REZULTATI ANALIZA GEOLOŠKIH I GEOFIZIČKIH PODATAKA U BUŠOTINAMA.....	70
6.2.1 Bušotinski facijesi utvrđeni pregledom jezgri.....	71
6.2.1.1 Bušotinski facijesi lapora i glinovitih vapnenaca otvorenog jezera (BF1).....	72
6.2.1.2 Bušotinski facijesi izmjene pješčenjaka, konglomerata i lapora delte (BF2).....	73
6.2.1.3 Bušotinski facijesi lapora i silita bazenske ravnice (BF3)	74
6.2.1.4 Bušotinski facijesi masivnih pješčenjaka dubokovodnih kanala (BF4)	75
6.2.1.5 Bušotinski facijesi izmjene pješčenjaka, silita i lapora distalnih turbiditnih lepeza (BF5)	76

6.2.1.6	Bušotinski facijes slabo vezanih pješčenjaka i silita delte (BF6).....	77
6.2.1.7	Bušotinski heterolitni facijes glina, slabo vezanih silita, pješčenjaka, konglomerata i ugljena (BF7)	78
6.2.2	<i>Shematski geološki stupovi unutar bušotina</i>	80
6.2.2.1	Bušotina Podravska Slatina 4 (PS-4)	80
6.2.2.1.1	Formacija Medvedski breg	80
6.2.2.1.2	Formacija Andraševac	80
6.2.2.1.3	Formacija Nova Gradiška	81
6.2.2.1.4	Formacija Pluska	81
6.2.2.2	Bušotina Podravska Slatina 5 (PS-5)	81
6.2.2.2.1	Formacija Medvedski breg (MEB)	82
6.2.2.2.2	Formacija Andraševac	82
6.2.2.2.3	Formacija Nova Gradiška	82
6.2.2.2.4	Formacija Pluska	83
6.2.2.3	Bušotina Podravska Slatina 2 (PS-2)	83
6.2.2.3.1	Formacija Medvedski breg	83
6.2.2.3.2	Formacija Andraševac	84
6.2.2.3.3	Formacija Nova Gradiška	84
6.2.2.3.4	Formacija Pluska	85
6.2.2.4	Bušotina Čađavica 1 (Čđ-1).....	85
6.2.2.4.1	Formacija Medvedski breg	85
6.2.2.4.2	Formacija Andraševac	85
6.2.2.4.3	Formacija Nova Gradiška	86
6.2.2.4.4	Formacija Pluska	86
6.2.2.5	Bušotina Donji Miholjac 1 (DM-1)	87
6.2.2.5.1	Formacija Medvedski breg, član Sveti Matej i Croatica	87
6.2.2.5.2	Formacija Andraševac	87
6.2.2.5.3	Formacija Nova Gradiška	87
6.2.2.5.4	Formacija Pluska	88
6.2.2.6	Bušotina Magadenovac 1 (Mag-1).....	88
6.2.2.6.1	Formacija Medvedski breg, član Bačun.....	88
6.2.2.6.2	Formacija Medvedski breg	88
6.2.2.6.3	Formacija Andraševac	88
6.2.2.6.4	Formacija Nova Gradiška	89
6.2.2.6.5	Formacija Pluska	89
6.2.2.7	Bušotina Sječe 2 (Sj-2)	89
6.2.2.7.1	Formacija Medvedski breg, član Bačun.....	90
6.2.2.7.2	Formacija Medvedski breg	90
6.2.2.7.3	Formacija Andraševac	90
6.2.2.7.4	Formacija Nova Gradiška	90
6.2.2.7.5	Formacija Pluska	91
6.2.2.8	Bušotina Marjanci 1 (Mar-1)	91
6.2.2.8.1	Formacija Medvedski breg, član Bačun.....	91

6.2.2.8.2	Formacija Medvedski breg	92
6.2.2.8.3	Formacija Andraševac	92
6.2.2.8.4	Formacija Nova Gradiška	92
6.2.2.8.5	Formacija Pluska	92
6.2.3	<i>Korelacija izdvojenih okoliša i litostratigrafskih formacija</i>	93
6.2.3.1	Korelacijska shema A-A'	93
6.2.3.2	Korelacijska shema B-B'	94
6.2.4	<i>Radiometrijsko i biostratigrafsko određivanje starosti</i>	97
6.3	INTEGRACIJA REZULTATA ANALIZA BUŠOTINSKIH I SEIZMIČKIH PODATAKA	102
6.3.1	<i>Okoliši taloženja i litostratigrafska pripadnost istraživanih naslaga</i>	102
6.3.2	<i>Interpretirane sekvencije</i>	105
6.3.2.1	JSS1 (Jezerska seizmička sekvencija 1).....	105
6.3.2.2	JSS2 (Jezerska seizmička sekvencija 2).....	106
6.3.2.3	JSS3 (Jezerska seizmička sekvencija 3).....	107
6.3.2.4	JSS4 (Jezerska seizmička sekvencija 4).....	108
6.3.2.5	JSS5 (Jezerska seizmička sekvencija 5).....	109
6.3.2.6	JSS6 (Jezerska seizmička sekvencija 6).....	110
6.3.2.7	Kopnena seizmička sekvencija 1 (KSS1)	111
6.3.2.8	Kopnena seizmička sekvencija 2 (KSS2)	112
6.4	STRUKTURNE KARTE.....	117
6.4.1	<i>Strukturna karta po podlozi naslaga mlađeg miocena i pliocena</i>	117
6.4.2	<i>Strukturne karte krovinskih granica jezerskih sekvencija 1-4 (JSS1-JSS4)</i>	121
6.4.3	<i>Strukturne karte krovinskih granica jezerske sekvencije JSS5 (8), prijelaznih naslaga i kopnenih naslaga KSS1</i>	125
6.5	ANALIZE SEIZMIČKIH ATRIBUTA PO STRUKTURNIM KARTAMA.....	128
6.5.1	<i>JSS1-JSS4</i>	128
6.5.2	<i>JSS5 (klinoforme 5-8) - veliki set sigmoidalnih klinoforni</i>	131
6.5.3	<i>JSS6 (klinoforme 9-14) - set malih kosih i sigmoidalnih klinoforni</i>	134
6.5.4	<i>Prijelazne deltne naslage</i>	137
6.5.5	<i>Kopnene naslage (KSS1)</i>	137
6.6	KARTE DEBLJINA INTERPRETIRANIH SEKVENCIJA	139
6.6.1	<i>Karte debljina JSS1-JSS4</i>	139
6.6.2	<i>Karte debljina JSS5 i JSS6</i>	140
6.6.3	<i>Karte debljina prijelaznih naslaga i KSS1</i>	141
6.7	KARTA MIGRACIJE RUBA ŠELFA VELIKOG I MALOG SETA KLINOFORMI.....	145
7.	RASPRAVA	147
7.1	DIJELOVI TALOŽNOG SUSTAVA I STRUKTURNI SKLOP.....	147
7.1.1	<i>Klinoformna građa</i>	147
7.1.2	<i>Okoliši taloženja i litostratigrafske formacije</i>	151

7.1.2.1	Bazne naslage plitkog do dubokog jezera - formacija MEB	151
7.1.2.2	Dubokovodni i padinski turbiditi-formacija Andraševac	154
7.1.2.3	Delta - formacija Nova Gradiška	156
7.1.2.4	Kopneni okoliši - formacija Pluska	156
7.1.3	<i>Strukturni sklop</i>	158
7.2	GEOKRONOLOGIJA I BIOSTRATIGRAFIJA	159
7.3	DINAMIKA TALOŽENJA.....	164
7.3.1	<i>Primjena sekvencijske stratigrafije</i>	164
7.3.2	<i>Dinamika i evolucija taložnih sustava</i>	166
7.3.3	<i>Sekvencija 1: nedovoljno zapunjeno jezero</i>	169
7.3.4	<i>Sekvencija 2: uravnoteženo zapunjeno jezero</i>	169
7.3.5	<i>Sekvencija 3: prezapunjeno jezero</i>	171
7.3.5.1	<i>Sekvencije 4 i 5: završno zapunjavanje depresije</i>	172
7.3.6	<i>Primjena istraživanja</i>	175
8.	ZAKLJUČAK	177
9.	POPIS LITERATURE	182
9.1	OBJAVLJENI RADOVI	182
9.2	STRUČNA DOKUMENTACIJA	209
	ŽIVOTOPIS	211
	PRILOZI	213
	DODATAK 1	1-64

POPIS SLIKA

SLIKA 1. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA (HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/INTL/HR/EARTH/).....	4
SLIKA 2. A) KRONOLOŠKI PREGLED ZNAČAJNIH ZNANSTVENIH DOPRINOSA U STRATIGRAFIJI, SEDIMENTOLOGIJI I ANALIZAMA SEDIMENTNIH BAZENA (PREMA BRIAN RICKETTS, HTTPS://WWW.GEOLOGICAL-DIGRESSIONS.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2020/07/SEQUENCE-STRAT-TIME-LINE-3.JPG); B) RAZVOJ MODELA I METODA U SEKVENCIJSKOJ STRATIGRAFIJI (PREMA CATUNEANU I DR., 2009).....	6
SLIKA 3. IDEALIZIRANI PROGRADACIJSKI SUSTAV KLIIFORMI (PREMA TIŠLJAR, 2004; MAGYAR I DR., 2013; PATRUNO I HELLAND-HANSEN, 2018); A) SOURCE-TO-SINK SYSTEM, PRIKAZ SEDIMENTNOG SUSTAVA OD IZVORIŠNIH, KOPNENIH RIJEČNIH, DELTNIH DO JEZERSKIH SEDIMENTACIJSKIH SUSTAVA KOJI ODRAŽAVAJU KLIIFORMNU GRAĐU; B) POLOŽAJ, DIJELOVI, GEOMETRIJA I VELIČINA KLIIFORMI SA SEIZMIČKIH PROFILA IZ NASLAGA PANONSKOG JEZERA; C) PRIKAZ KLIIFORMNE GRAĐE PRIJELAZNIH I PROKSIMALNIH OKOLIŠA.	9
SLIKA 4. A) GEOGRAFSKA POZICIJA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA (HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/INTL/HR/EARTH/); B) GEOGRAFSKI POLOŽAJ KENOZOJSKIH ZALUČNIH BAZENA KARPATSKO-ALPSKO-MEDITERANSKE REGIJE (HORVÁTH I DR., 2006); C) GEOTEKTONSKI POLOŽAJ PBS-A I ISTOČNOG DIJELA DRAVSKE DEPRESIJE.	26
SLIKA 5. PRIKAZ OTVARANJA PBS-A LATERALNOM EKSTRUZIJOM I „SLAB-ROLL-BACK“ PROCESOM; 1. EUROPSKO PREDGORJE; 2. PREDGORJE (MOLASA) I „FOREDEEP“ (HORVÁTH I DR., 2006) 3. ALPSKO-KARPATSKI NAVLAČNI SUSTAV; 4. KARPATSKI FLIŠNI BAZEN; 5. RASJEDI; 6. RASJEDNO POMICANJE PARALELNO OROGENU I EKSTRUZIJA STIJENA PANONSKOG BAZENSKOG SUSTAVA.	27
SLIKA 6. PALEOGEOGRAFIJA PANONSKOG JEZERA S MREŽOM RIJEČNIH SUSTAVA TIJEKOM A) KASNOG MIOCENA I B) PLIOCENA (SZTANÓ I DR., 2020). PODRUČJE ISTRAŽIVANJA OKVIRNO JE NAZNAČENO CRVENIM, ISPREKIDANIM LINIJAMA PRAVOKUTNOG OBLIKA.....	28
SLIKA 7. TALOŽNI MODEL PANONSKOG JEZERA I VEZANIH RIJEČNIH SUSTAVA NA PROSTORU MAĐARSKE (PREMA JUHÁSZ, 1992).....	29
SLIKA 8. A) GEOLOŠKI STUP SJEVERNOHRVATSKOG BAZENA (SHB) (PREMA PAVELIĆ I KOVAČIĆ, 2018); B) GEOLOŠKI STUP DRAVSKE DEPRESIJE KAO DIJELA SHB (PREMA SAFTIĆ I DR., 2003).....	30
SLIKA 9. A) POLOŽAJ ISTOČNOG DIJELA DRAVSKE DEPRESIJE KAO DIJELA TALOŽNOG PROSTORA SHB-A U JUGOZAPADNOM, RUBNOM DIJELU PBS-A (PREMA PAVELIĆ I KOVAČIĆ, 2018); B) POVRŠINSKA GEOLOŠKA GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA I OKOLICE TE DEBLJINA NEOGENSKO-KVARTARNE ISPUNE (PREMA HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT, 2009; SAFTIĆ I DR., 2003).	31
SLIKA 10. NEFORMALNE LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE RANGA FORMACIJA I ČLANOVA: A) LITOSTRATIGRAFSKA RAŠČLAMBA NEOGENSKIH I KVARTARNIH NASLAGA NA OSNOVI DUBINSKIH PODATAKA (PREMA ŠIMON, 1973; SAFTIĆ I DR., 2003; HTTPS://WWW.AZU.HR/); B) LITOSTRATIGRAFSKA RAŠČLAMBA NEOGENSKIH I KVARTARNIH NASLAGA NA OSNOVI POVRŠINSKIH PODATAKA (PREMA KOVAČIĆ I PAVELIĆ, 2017; SEBE I DR. 2020); C) LITOSTRATIGRAFSKA PODJELA GORNJOMIOCENSKIH I PLIOCENSKIH NASLAGA PODRUČJA DRAVSKE DEPRESIJE TE USPOREDBA S JEDINICAMA ODREĐENIM NA TEMELJU DUBINSKIH PODATAKA (SEBE I DR. 2020).	35

SLIKA 11. SHEMATSKI PROFIL S DUBINSKIM LITOSTRATIGRAFSKIM JEDINICAMA I PRIKAZOM TRI NEOGENSKA MEGACIKLUSA SEDIMENTACIJE (PREMA SAFTIĆ I DR., 2003).....	39
SLIKA 12. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I KORIŠTENI PODACI (PLAVOM BOJOM SU OZNAČENI KOMPOZITNI PROFILI 1-1', 2-2' I 3-3'); IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE DGU, . HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/HOK/WMS).	40
SLIKA 13. TABLICA ZA UPIS PODATAKA.....	43
SLIKA 14. PREGLED JEZGRI U SKLADIŠTU MRAMOR BRDO; A) PRETRAŽIVANJE JEZGRI PO INTERVALIMA; B) FOTOGRAFIRANJE SVAKE JEDNOMETARSKJE KUTIJE U KOJIMA SU SMJEŠTENE JEZGRE; C) FOTOGRAFIRANJE DETALJA; D) PROUČAVANJE DETALJA POD LUPOM (T. KUREČIĆ).....	44
SLIKA 15. PROCES DIGITALIZACIJE, KONTROLE I HARMONIZACIJE PODATAKA: A) GEOLOŠKI IZVJEŠTAJ S OSNOVNIM PODACIMA SVAKE BUŠOTINE; B) VSP PODACI; C) TABLICA ZA UNOS STRATIGRAFSKIH PODATAKA; D) TABLICA ZA UNOS PODATAKA O DEVIJACIJE KANALA BUŠOTINE; E) SISTEMATIZIRANI PODACI UNUTAR MAPA.....	45
SLIKA 16. UNOS I PREGLED STRATIGRAFSKIH PODATAKA U ODNOSU NA SEIZMIČKE PODATKE.....	45
SLIKA 17. KALIBRACIJA I PROVJERA KVALITETE SEIZMIČKIH PODATAKA (CRVENA STRELICA OZNAČAVA REFLEKS KOJI JE INTERPRETIRAN DA ODGOVARA PODINI NASLAGA MLAĐEG MIOCENA).....	46
SLIKA 18. INTERPRETACIJA SEIZMIČKIH PODATAKA (PREMA SZTANÓ I DR., 2013); A) INTERPRETIRANI SEIZMIČKI PROFIL NA TEMELJU SEIZMIČKE STRATIGRAFIJE; B) INTERPRETIRANI SEIZMIČKI PROFIL IZRAVNAN PO HORIZONTU ALUVIJALNE RAVNICE, VIDLJIV ODNOS KRONOSTRATIGRAFSKIH (IZOKRONI HORIZONTI) I LITOSTRATIGRAFSKIH HORIZONATA (DIJAKRONI HORIZONTI) TE SVIH DIJELOVA KLINIFORMI.....	47
SLIKA 19. A) OBLIK I DIJELOVI KLINIFORME (PREMA RÖHNERT, 2016; WALSH I DR., 2004; ANELL I DR., 2014; PATRUNO I DR., 2015); B) PODJELA KLINIFORMI PREMA OBLIKU (MITCHUM I DR., 1977).....	48
SLIKA 20. PRIMJER INTERPRETACIJE RASJEDA NA SEIZMIČKOM PROFILU, NASTALIH KAO POSLJEDICA DVIJE FAZE DEFORMACIJE (STARIJE PANONSKA I MLAĐE PANONSKA) U MAĐARSKOM DIJELU PBS-A. VEĆINA RASJEDA SU REAKTIVIRANI STARIJI RASJEDI, KOJI UTJEČU I NA DEBLJINE PANONSKIH SEDIMENATA (PREMA TÖRO I DR., 2012).....	49
SLIKA 21. PROCES PRIPREME UZORAKA ZA PALINOLOŠKE ANALIZE (A. ČAIĆ).....	50
SLIKA 22. PRIKAZ NASTANKA $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ TE MIJEŠANJA I PREKRIVANJA U SEDIMENTACIJSKOM BAZENU (HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/INTL/HR/EARTH/ ; PREMA HTTPS://WWW.GFZ-POTSDAM.DE/EN/).....	51
SLIKA 23. A) POLOŽAJ JEZGRI U KANALU BUŠOTINA I SEDIMENTNOG SLIJEDA NA TEMELJU BUŠOTINSKIH I SEIZMIČKIH PODATAKA; B) POPREČNI PRESJEK JEZGRE I PROTOKOL UZORKOVANJA ZA ANALIZE (PLAVO POLJE 1 - DEZINTEGRACIJA I HOMOGENIZIRANJE U AHATNOM TARIONIKU ZA KALCIMETRIJU I XRD; MASLINASTO POLJE 2 - CJELOVITI, NE DEZINTEGRIRANI UZORAK ZA RADIOMETRIJSKO ODREĐIVANJE STAROSTI METODOM AUTIGENIH NUKLIDA BERILIJA I GRANULOMETRIJSKE ANALIZE).....	54
SLIKA 24. A) LASERSKI DIFRAKTOMETAR DIFFRACTION PARTICLE SIZE ANALYZER SALD-2300 (T. KUREČIĆ); B) UZORCI JEZGRI PRIPREMLJENI ZA GRANULOMETRIJSKU ANALIZU.....	55
SLIKA 25. PRIPREMA UZORAKA ZA ODREĐIVANJE STAROSTI METODOM $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$. A) UZORCI SPREMNI ZA SEPARACIJU; B) PRECIPITATI UZORAKA NAKON PRVE EKSTRAKCIJE; C) PRECIPITATI NAKON TRETIRANJA	

REZINIMA; D) PUNJENJE KATODA S UZORCIMA; E) BERILJEV OKSID NAKON SUŠENJA, SPREMAN ZA MIJEŠANJE S NIOBIJEM (AHERWAR, 2022).....	57
SLIKA 26. A) STUPCI ZA UPIS POJEDINAČNIH ODMJERA UZORAKA TE MJERENIH KONCENTRACIJA STABILNOG IZOTOPA ⁹ Be (ICP-MS) I NESTABILNOG IZOTOPA ¹⁰ Be (AMS); B) BROJ UTVRĐENIH NESTABILNIH IZOTOPA ¹⁰ Be, POSTOTAK NESIGURNOSTI I TESTOVI PRILIKOM ANALIZA. NA DESNOM KRAJU JE ODREDBA STAROSTI UZORAKA NA TEMELJU IZRAČUNA PREMA TRI RAZLIČITA INICIJALNA OMIJERA IZOTOPA ¹⁰ Be/ ⁹ Be.	58
SLIKA 27. PRIMJER KORELACIJSKE SCHEME U SLOVAČKOJ. NA SCHEMI SU INTERPRETIRANI KAROTAŽNI PODACI TE KORELIRANI I IZDOJENI OKOLIŠI TALOŽENJA I POVEZANE LITOSTRATIGRAFSKE FORMACIJE (ŠUJAN I DR. 2016).....	59
SLIKA 28. IDEALIZIRANI PRIMJER LITOSTRATIGRAFSKOG (GORE) I KRONOSTRATIGRAFSKOG (DOLJE) PRINCIPA KORELACIJE NASLAGA (PELLEGRINI I DR., 2018).....	60
SLIKA 29. DIJELOVI ANALIZA SEKVENCIJA. A) ANALIZA PUTANJE RUBA ŠELFA (GONG I DR. 2018); B) TIPOVI PREKIDA SLOJEVA ILI REFLEKSA (ENGL. STRATAL TERMINATIONS; CATUNEANU, 2019); C) RAZLIČITO VERIKALNO NALIJEKANJE SETOVA PARASEKVENCIJA (CATUNEANU, 2019).	61
SLIKA 30. KARTE I SEIZMIČKI PROFILI KLINOFORMI (SLIKE A-C IZ PELLEGRINI I DR., 2018); A) STRUKTURNA KARTA JEDNE KLINOTEME; B) KARTA DEBLJINA JEDNE KLINOTEME; C) DEBLJINE IZMEĐU DVA HORIZONTA, (POLOŽAJ PROFILA C-C' OZNAČEN CRVENOM BOJOM NA SLIKAMA A I B); D) NIZ INTERPRETIRANIH HORIZONATA GEOMETRIJA I PRUŽANJE PADINA ŠELFA; E) STRUKTURNA KARTA (LJUBIČASTO- DUBLJI DIJELOVI, PLAVIPLIĆI); F) KARTA DEBLJINA (CRVENO- TANJI DIJELOVI, LJUBIČASTO- DEBLJI) G) VIZUALIZACIJA PADINE (PREDNJI DIO) KLINOFORME (ŠELFA); H) POLOŽAJ GEOMETRIJA KLINOFORME (CRVENA BOJA, HORIZONT 1) S OZNAČENOM DEBLJINOM DO PALEOHORIZONTALNOG REFLEKSA NA SEIZMIČKOM PROFILU (POLOŽAJ PROFILA H-H' OZNAČEN CRVENOM BOJOM NA SLICI G).....	64
SLIKA 31. STRUKTURNE KARTE I ATRIBUTNE ANALIZE NA GORNJOMIOCENSKIM JEZERSKIM NASLAGAMA U DRUGIM DIJELOVIMA PBS-A; A – D RAZLIČITE ATRIBUTNE KARTE (SPECTRAL DECOMPOSITION, COHERENCE, TIME STRUCTURE) I PROFILI KOJI SLUŽE ZA VIZUALIZACIJU PODVODNIH MEANDRIRAJUĆIH KANALA, NASIPA I ASOCIRAJUĆIH FACIJESA (PREMA SZTANÓ I DR., 2013).....	66
SLIKA 32. A) SEIZMIČKI PRESJEK IZRAVANANOG SEIZMIČKOG VOLUMENA, VREMENSKI PRESJEK OZNAČEN CRNOM LINIJOM; B) VREMENSKI PRESJEK U KARTOGRAFSKOM PRIKAZU (ATRIBUT VARIJANCE).	67
SLIKA 33. KOMPOZITNI PROFIL SA SEIZMOSTRATIGRAFSKOM INTERPRETACIJOM I GLAVNIM STRUKTURAMA. POLOŽAJ PROFILA VIDLJIV NA SLICI 12 I PRILOGU 1.....	68
SLIKA 34. PRIMJER BUŠOTINSKOG FACIJESA 1. A) DIO JEZGRE; B) FRAGMENTIRANI UZORCI JEZGRE.	73
SLIKA 35. PRIMJERI BF2 U JEZGRAMA.	74
SLIKA 36. IZGLED JEZGRI KOJE PRIPADAJU BF3.	75
SLIKA 37. IZGLED JEZGRE MASIVNOG SITNOZRATOG I SREDNJEZRATOG PJEŠČENJAKA.....	75
SLIKA 38. IZGLED JEZGRI UNUTAR BF5. A) STRUKTURE ISTISKIVANJA; B) MULJNI KLASTI, KLASTI SILTITA/LAPORA U SITNOZRATOM PJEŠČENJAKU (ENGL. MUD CLAST); C) KLASTI SILTITA/LAPORA U PJEŠČENJAKU; D) IZGLED SLIJEDA NEPREKINUTE JEZGRE DUŽINE 2 M U KOJOJ DOLAZI DO GENERALNE IZMJENE DVIJE LITOLOGIJE, PJEŠČENJAKA I LAPORA.	77

SLIKA 39. JEZGRE IZ BF6, GENERALNO SASTAVLJENE OD SLABO VEZANIH PJEŠČENJAKA I SILTITA.	78
SLIKA 40. JEZGRE IZ BF7. A) SLABO VEZANI GLINOVITO-SILTOZNI SITNOZRNATI PJEŠČENJAK S MUSKOVITIMA; B) I C) SLABO VEZANI, SLABOSORTIRANI, MATRIKSPOTPORNI KONGLOMERAT I SILTOZNI SITNOZRNATI PJEŠČENJAK S MUSKOVITIMA; D) SLABO VEZANI MATRIKSPOTPORNI KONGLOMERAT (MATRIKS OD SITNOZRNATOG PIJESKA S TINJCIMA).....	79
SLIKA 41. KORELACIJSKA SHEMA A-A' IZMEĐU BUŠOTINA PS-5 I ČĐ-1.	95
SLIKA 42. KORELACIJSKA SHEMA B-B' IZMEĐU BUŠOTINA SJ-2 I MAR-1.	96
SLIKA 43. GRAFIČKI PRIKAZ IZRAČUNA APSOLUTNE STAROSTI TEMELJEM INICIJALNIH OMJERA: JEZERSKI (ŠUJAN I DR., 2016), POPLAVNA RAVNICA (ŠUJAN I DR. 2016) I DRAVA (RECENTNI POPLAVNI SEDIMENTI RIJEKE DRAVE U PODRUČJU ISTRAŽIVANJA).	99
SLIKA 44. USPOREDBA STAROSTI UZORAKA UNUTAR RAZLIČITIH BUŠOTINA S REZULTATIMA PALINOSTRATIGRAFSKIH I MIKROPALEONTOLOŠKIH ANALIZA TE S LITOSTRATOGRAFSKIM FORMACIJAMA (OKOLIŠIMA TALOŽENJA).	101
SLIKA 45. KOMPOZITNI KORELACIJSKI PROFIL 1-1' KOJI PRIKAZUJE DIJELOVE ISTRAŽIVANOG SLIJEDA SEDIMENTA S KARAKTERIZIRANIM DIJELOVIMA KLINOFORMI, LITOSTRATIGRAFSKIM JEDINICAMA I POVEZANIM OKOLIŠIMA TALOŽENJA. U DONJEM DIJELU VIDLJIV JE SF1 (FORMACIJA MEB), NA KOJEG NALIJEŽE DEBELI PAKET NASLAGA KOJE PRIPADAJU DONJEM DIJELU KLINOFORMI, ODNOSNO DUBOKOVODNIM TURBIDITIMA (FORMACIJA AND). NAKON NJEGA VIDLJIVI SU SF3 I SF4, KOJI ODGOVARAJU PREDNJEM DIJELU KLINOFORME. NAKON NJIH VIDLJIV JE SLIJED NASLAGA KOJE PRIPADAJU PRIJELAZNIM OKOLIŠIMA TALOŽENJA (FORMACIJA NGR) TE KOPNENA SEKVENCIJA, DIO FORMACIJE PLU. VERTIKALNO UVEĆANJE JE 5 PUTA. POZICIJA KOMPOZITNOG PROFILA VIDLJIVA JE NA SLICI 12 I PRILOGU 1.	104
SLIKA 46. IZRAVNATI KOMPOZITNI PROFIL PO PODINI REFLEKSA DELTNE RAVNICE (ISPREKIDANA CRNA LINIJA) KOJI APROKSIMATIVNO PRIKAZUJE IZVORNU GEOMETRIJU REFLEKSA (KLINOFORMI, PREMA SZTANÓ, 2013). NA PROFILU SU VIDLJIVE ODREDBE PUTANJE RUBA ŠELFA, ODVOJENI SETOVI KLINOFORMI, NAZNAČENI ZAVRŠECI REFLEKSA, GENERALNA LITOLOGIJA UNUTAR BUŠOTINA I KAROTAŽA OTPORNOSTI, NA TEMELJU KOJIH SU INTERPRETIRANE GRANICE SEKVENCIJA KOJE PRATE JAKE REFLEKSE NEGATIVNE AMPLITUDE. VERTIKALNO UVEĆANJE JE 5 PUTA. POZICIJA KOMPOZITNOG PROFILA VIDLJIVA NA SLICI 12.	113
SLIKA 47. KOMPOZITNI KORELACIJSKI PROFIL 1-1' S NAZNAČENOM LITOSTRATIGRAFSKIM JEDINICAMA, SEKVENCIJAMA I ODREĐENIM APSOLUTNIM STAROSTIMA. VERTIKALNO UVEĆANJE JE 5 PUTA. POZICIJA PROFILA JE VIDLJIVA NA SLICI 12.	114
SLIKA 48. OKOMITI PROFIL 2-2' NAPRAVLJEN SPAJANJEM 2D (LIJEVI DIO PROFILA) I 3D SEIZMIKE (DESNII DIO PROFILA) S ODREĐENIM LITOSTRATIGRAFSKIM FORMACIJAMA, SEKVENCIJAMA I APSOLUTNIM STAROSTIMA NASLAGA. PROFIL JE OKOMIT NA DUŽU OS DEPRESIJE ZAPADNOG DIJELA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA. VIDLJIVE SU UJEDNAČENE DEBLJINE BAZNIH REFLEKSA FORMACIJE MEB, KOJE PRATE MORFOLOGIJU PODINE NASLAGA MLAĐEG MIOCENA TE DEBELI SLIJED FORMACIJE AND. NA NJIH NALIJEŽU REFLEKSI JSS5 I JSS6. ORIJENTACIJA PROFILA JE GOTOVO OKOMITA NA SMJER PUTANJE PADINE ŠELFA IZ ČEGA JE VIDLJIVA BOČNA PROMJENA NAČINA NALIJEGANJA REFLEKSA I NJIHOVIH DEBLJINA IZMEĐU KLINOFORMI 4 I 8. VERTIKALNO UVEĆANJE JE 5 PUTA. POZICIJA VIDLJIVA NA SLICI 12.	115

- SLIKA 49. OKOMITI PROFIL 3-3' NAPRAVLJEN SPAJANJEM 2D (LIJEVI DIO PROFILA) I 3D SEIZMIKE (DESNI DIO PROFILA) S ODREĐENIM LITOSTRATIGRAFSKIM JEDINICAMA, SEKVENCIJAMA I APSOLUTNIM STAROSTIMA NASLAGA. PROFIL JE OKOMIT NA DUŽU OS DEPRESIJE ZAPADNOG DIJELA PODRUČJA ISTRAŽIVANJA. VIDLJIVE SU UJEDNAČENE DEBLJINE BAZNIH REFLEKSA FORMACIJE MEB, KOJE PRATE MORFOLOGIJU PODINE NASLAGA MLAĐEG MIOCENA TE DEBELI SLIJED FORMACIJE AND. NA NJIH NALJEŽU REFLEKSI JSS5 I JSS6. STRUKTURNO-STRATIGRAFSKI ODNOSI SU KOMPLEKSNIJI U USPOREDBI S PROFILOM 2-2'. ORIJENTACIJA PROFILA JE GOTOVO OKOMITA NA SMJER PUTANJE PADINE ŠELFA IZ ČEGA JE VIDLJIVA BOČNA PROMJENA NAČINA NALJEGANJA REFLEKSA, POLOŽAJA PADINE ŠELFA (NPR. KLINOFORMA 12) I NJIHOVIH DEBLJINA IZMEĐU KLINOFORMI 4 I 13. VERTIKALNO UVEĆANJE JE 5 PUTA. POZICIJA JE VIDLJIVA NA SLICI 12. 116
- SLIKA 50. STRUKTURNA KARTA PO PODLOZI NASLAGA MLAĐEG MIOCENA I PLIOCENA (NAZIVI POJEDINIH STRUKTURNIH ELEMENATA SU PREUZETI IZ DOKTORSKE DISERTACIJE RUKAVINA (2021). IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, [HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS](https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms)).... 120
- SLIKA 51. STRUKTURNE KARTE PO KROVINAMA INTERPRETIRANIH SEKVENCIJA JSS1, JSS2, JSS3 I JSS4. IZ KARTI JE VIDLJIVO SVE VEĆE POVRŠINSKO RASPROSTRANJIVANJE NASLAGA OD **A**) KARTE PO KROVINI SEKVENCIJE JSS1, PREKO KARTE **B**) PO KROVINI JSS2, **C**) KROVINI JSS3 DO **D**) KARTE PO KROVINI JSS4. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, [HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS](https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms))..... 124
- SLIKA 52. STRUKTURNE KARTE PO KROVINAMA INTERPRETIRANIH SEKVENCIJA JSS5 I JSS6. IZ KARTI JE VIDLJIVO SMANJENJE STRUKTURNE KOMPLEKSNOСТИ NASLAGA OD **A**) KLINOFORME 8 DO **B**) PODINE PRIJELAZNIH NASLAGA I **C**) KROVINE KSS1. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, [HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS](https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms))..... 127
- SLIKA 53. REZULTATI RMS AMPLITUDNE ANALIZE UNUTAR **A**) NASLAGA JSS1 S VIDLJIVIM LOKALNIM OBRASCIMA TALOŽENJA; **B**) JSS2 S VIDLJIVIM UTJECAJEM DUBOKOVODNIH TURBIDITA I LOKALNIM OBRASCIMA TALOŽENJA U ISTOČNOM DIJELU; **C**) JSS3 S DOMINATNIM OBRASCIMA TALOŽENJA DUBOKOVODNIH TURBIDITA; **D**) JSS4 S DOMINATNIM OBRASCIMA TALOŽENJA DUBOKOVODNIH TURBIDITA. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, [HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS](https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms)). 130
- SLIKA 54. REZULTATI RMS AMPLITUDNE ANALIZE UNUTAR NASLAGA JSS5 S VIDLJIVIM OBRASCIMA TALOŽENJA VEZANIH UZ ŠELF, PADINU ŠELFA I DUBOKOVODNE (DISTALNE) OKOLIŠE TALOŽENJA. **A**) VIDLJIVI DIJELOVI TURBUDITNOG SEDIMENTACIJSKOG SUSTAVA, VEZANOG UZ PADINU ŠELFA SA NAZNAČENIM SMJEROM DONOSA CRNOM STRELICOM; **B**) DIJELOVI TURBIDITOG SUSTAVA VEZANOG UZ PADINU S RAZLIČITIM SMJEROVIMA. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, [HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS](https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms))..... 133
- SLIKA 55. REZULTATI RMS AMPLITUDNE ANALIZE UNUTAR NASLAGA JSS6 S VIDLJIVIM OBRASCIMA TALOŽENJA VEZANIH UZ ŠELF, PADINU ŠELFA I DUBOKOVODNE (DISTALNE) OKOLIŠE TALOŽENJA; **A**) VIDLJIVI SU DIJELOVI TURBIDITNOG SEDIMENTACIJSKOG SUSTAVA NA ŠELFU (PRODELTNE LEPEZE) I U DUBOKOVODNOM DIJELU UZ NOŽICU PADINE ŠELFA S NAZNAČENIM SMJEROVIMA DONOSA SEDIMENTA (CRNE STRELICE); **B**) PRIKAZ ISTOVREMENIH OBRAZACA TALOŽENJA NA ŠELFU I U DUBOKOVODNOM PROSTORU S RAZLIČITIM

SMJEROVIMA DONOSA SEDIMENTA; C) I D) VIDLJIVI DIJELOVI SEDIMENTACIJSKOG SUSTAVA I SMJEROVI DONOSA SEDIMENTATA U ISTOČNOM DIJELU PODRUČJA ISTRAŽIVANJA. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS).	136
SLIKA 56. REZULTATI RMS AMPLITUDNE ANALIZE UNUTAR PRIJELAZNIH NASLAGA S VIDLJIVIM OBRASCIMA TALOŽENJA VEZANIM UZ DELTNE OKOLIŠE. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS).	138
SLIKA 57. REZULTATI RMS AMPLITUDNE ANALIZE UNUTAR KOPNENIH FLUVIJALNIH NASLAGA (KSS1). IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS).	138
SLIKA 58. KARTE DEBLJINA A) JSS1; B) JSS2; C) JSS3; C) JSS4 S VIDLJIVIM STRUKTURNIM SKLOPOM INTERPRETIRANIM NA STRUKTURNIM KARTAMA NA KOJE SEKVENCIJE NALIJEŽU (NPR. PODLOGA ZA JSS1 JE HORIZONT RS7, A ZA JSS2 HORIZONT 2 ITD., VIDI NA SLIKAMA 51 I 52). IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS).	142
SLIKA 59. KARTA DEBLJINE A) VELIKOG SETA KLINOFORMI, ODNOSNO JSS5 TE B) MALOG SETA KLINOFORMI, TJ. JSS6. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS).	143
SLIKA 60. KARTA DEBLJINE A) PRIJELAZNIH NASLAGA, ODNOSNO JSS6 TE B) KSS1. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS).	144
SLIKA 61. KARTA KRETANJA RUBA ŠELFA U PROSTORU ISTRAŽIVANJA. NAJSTARIJI RUB ŠELFA OZNAČEN JE BROJEM 5, A NAJMLAĐI BROJEM 15. NA KARTI SU NAZNAČENE STAROSTI RUBA ŠELFA 7 I 13, KOJE SU ODREĐENE IZOTOPNIM ANALIZAMA. IZVOR DIGITALNE ORTOFOTO SNIMKE (DGU, HTTPS://GEOPORTAL.DGU.HR/SERVICES/INSPIRE/ORTHOPHOTO_2017/WMS).	146
SLIKA 62. KOMPOZITNI KORELACIJSKI PROFIL KROZ MURSKU I DRAVSKU DEPRESIJU, U VREMENSKOM MJERILU (SLIKA 7 U SEBE I DR., 2020). PODRUČJE OVOG DOKTORSKOG ISTRAŽIVANJA JE NA PROFILU OBUHVACENO OD BUŠOTINE DRA-1 PA SVE DO ISTOČNOG KRAJA PROFILA. ČRVENI I PLAVI REFLEKSI Približno OZNAČAVAJU GRANICE SF 2. KLINOFORME SU PRAĆENE OD PODRUČJA ISTRAŽIVANJA (DONJI DIO) NA ZAPAD KAKO BI SE PRIKAZALA LOKACIJA RUBA ŠELFA (BIJELI KRUŽIĆ) I NJEGOVE PADINE (PREDNJI DIO), ODNOSNO ŠIRI KONTEKST VIDLJIVOG DIJELA NASLAGA.	150
SLIKA 63. KONCEPTUALNI SEDIMENTNI MODEL PANONSKOG JEZERA I VEZANIH OKOLIŠA TALOŽENJA. NA SLICI JE VIDLJIVA RASPROSTRANJENOST ISTOVREMENIH OKOLIŠA TALOŽENJA I NJIHOVA PRIPADNOST RAZLIČITIM LITOSTRATIGRAFSKIM JEDINICAMA.	158
SLIKA 64. A) MIGRACIJA RUBA ŠELFA U PROSTORU ISTRAŽIVANJA S ODREĐENIM APSOLUTNIM STAROSTIMA (KARTA U POZADINI PRIKAZUJE DUBINE DO PODLOGE GORNJOMIOCENSKIH I PLIOCENSKIH NASLAGA); B) REGIONALNI KONTEKST REZULTATA ODREDBE STAROSTI NASLAGA, ODNOSNO RUBOVA ŠELFA (PRILAGOĐENO PREMA MAGYAR I DR., 2013).	163
SLIKA 65. SHEMA IZDOJENIH JEDINICA UNUTAR GORNJOMIOCENSKIH I PLIOCENSKIH NASLAGA ISTOČNOG DIJELA DRAVSKE DEPRESIJE.	165

SLIKA 66. STADIJI RAZVOJA JEZERA: NEDOVOLJNO ZAPUNJENO, URAVNOTEŽENO ZAPUNJENO, PREZAPUNJENO (PREMA CAROLL I BOHACS, 1999; CARROLL I BOHACS. 1999; ZAVALA I DR., 2022).	166
SLIKA 67. USPOREDBA IZDVOJENIH LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA I VEZANIH OKOLIŠA TALOŽENJA S INTERPRETIRANIM SEKVENCIJAMA III. REDA U JEZERSKIM NASLAGAMA, ODNOSNO FAZAMA RAZVOJA I ZAPUNE DEPRESIJE 1 (NEDOVOLJNO ZAPUNJENO JEZERO), 2 (URAVNOTEŽENO ZAPUNJENO JEZERO) I 3 (PREZAPUNJENO JEZERO) PREMA MODELU BOHACS I DR. (2000). ISTO TAKO PRIKAZANE SU INTERPRETIRANE KOPNE SEKVENCije III. REDA (KSS-KSS2). UNUTAR SLIJEDA SU INTERPRETIRANE SEKVENCije IV. REDA (JSS1-JSS6), KOJE SU USPOREĐENE SA INTERPRETIRANIM SETOVIMA PARASEKVENCIJA I SUSTAVNIM TRAKTOVIMA (RST- REGRESSIVE SYSTEM TRACT, TST - TRANSGRESSIVE SYSTEM TRACT). UZ TO, NAZNAČENE SU OKVIRNE GRANICE JEDINICA II. REDA, TOČNIJE ONE OBJAVLJENE PREMA SAFTIĆ I DR. (2003) NA 2 I 3 MEGACIKLUS TE PREMA KOVAČIĆ (2004) NA TRANSGRESIVNI I REGRESIVNI SEDIMENTACIJSKI SLIJED.....	168
SLIKA 68. KONCEPTUALNA PALEGEOGRAFSKA REKONSTRUKCIJA RAZVOJA JSS5 I JSS6. BROJEVI KLINIFORMI ODGOVARAJU KLINIFORMAMA PRIKAZANIM NA PROFILIMA 1-1' (SLIKA 46, 47) I KARTI MIGRACIJE ŠELFA (SLIKA 61, 63). OBRASCI TALOŽENJA IZRAZITO SU LOKALNOG KARAKTERA I OVISNI SU O SMJERU DONOSA SEDIMENATA, ODNOSNO PREKLAPANJE POJEDINAČNIH DELTI DVA FLUVIJALNA SUSTAVA (VJEROJATNO PALEO-DRAVA I PALEO-DUNAV, ŠPELIĆ I DR., 2023).	174

POPIS TABLICA

TABLICA 1. UTVRĐENE JEDINICE SEIZMOFACIJESA IZ SEIZMIČKIH PODATAKA 1. RANGA I 2. RANGA. VERTIKALNO CRNO MJERILO NA PRIMJERIMA SEIZMOFACIJESA OZNAČAVA 100 M. PLAVA LINIJA - PODINA FORMACIJE ANDRAŠEVEC, ZELENA LINIJA - PODINA NASLAGA FORMACIJE NOVA GRADIŠKA, NARANČASTA LINIJA - PODINA NASLAGA FORMACIJE PLUSKA.	70
TABLICA 2. ODRAĐENE ANALIZE NA UZORCIMA IZ BUŠOTINSKIH JEZGRI. O- ODRAĐENO; N- NEODRAĐENO/ANALIZA NIJE BILA POZITIVNA. ZELENA I ŽUTO ZELENA POLJA OZNAČAVAJU JEZGRE UNUTAR 1. RANGA PODATAKA (3D SEIZMIČKIH PODACI), A BIJELA UNUTAR 2. RANGA.	71
TABLICA 3. IZDVOJENI BUŠOTINSKI FACIJESI UTVRĐENI NA PREGLEDANIM JEZGRAMA.....	72
TABLICA 4. REZULTATI ANALIZA STAROSTI NA 22 UZORKA JEZGRI.	97

POPIS PRILOGA

- Prilog 1. Položajna karta korištenih podataka i glavnih kompozitnih profila
- Prilog 2. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Podravska Slatina 4 (PS-4)
- Prilog 3. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Podravska Slatina 5 (PS-5)
- Prilog 4. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Podravska Slatina 2 (PS-2)
- Prilog 5. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Čađavica 1 (Čđ-1)
- Prilog 6. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Donji Miholjac 1 (DM-1)
- Prilog 7. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Magadenovac 1 (Mag-1)
- Prilog 8. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Sječe 2 (Sj-2)
- Prilog 9. Shematski prikaz geološkog stupa bušotine Marjanci 1 (Mar-1)
- Prilog 10. Shematski korelacijski profil C-C'
- Prilog 11. Korelacijska shema D-D' i usporedba korelacije sa seizmičkim profilom 4-4'

POPIS KRATICA

KRATICA	ZNAČENJE
AC	zvučna karotaža
AND	formacija Andraševac
BAČ	član Bačun
Be	berilij
BF	bušotinski facijes
CN	karotaža neutronske poroznosti
CRO	jedinica Croatica
Čđ-1	Čađavica-1
DEN	karotaža gustoće
DM-1	Donji Miholjac-1
JSS	jezerska seizmička sekvencija
GR	karotaža prirodne radioaktivnosti
KSS	kopnena seizmička sekvencija
Mag-1	Magadenovac-1
Mar-1	Marjanci-1
MEB	formacija Medvedski breg
mil. god.	milijuna godina
NGR	formacija Nova Gradiška
PBS	Panonski bazenski sustav
PLU	formacija Pluska
PS-4	Podravska Slatina-4

PS-5	Podravska Slatina-5
PS-2	Podravska Slatina-2
Pt	podloga tercijsara
Ra	karotaža prividne otpornosti
SHB	Sjevernohrvatski bazen
Sj-2	Sječe-2
SP	karotaža spontanog potencijala

1. UVOD

U sklopu ovog doktorata analiziran je slijed gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga istočnog dijela Dravske depresije. Istraživano područje je za vrijeme mlađeg miocena i pliocena bilo prekriveno Panonskim jezerom (Pavelić i Kovačić, 2018) pa je ovo istraživanje bilo usmjereno na proučavanje promjena u taložnom sustavu Panonskog jezera, prijelaznih deltnih i kopnenih fluvijalnih okoliša.

Slijed gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga dostupan je na površini u rubnim dijelovima depresije (Hrvatski geološki institut, 2009) ili pod površinom u središnjem dijelu depresije (Saftić i dr., 2003). Površinske gornjomiocenske i pliocenske naslage Dravske depresije istraživane su s ciljem izradbe listova Osnovne geološke karte i srodnih istraživanja (npr. Gorjanović Kramberger i Koch, 1909; Marković, 1985; Jamičić, 1989; Korolija i Jamičić, 1989; Kovačić i Grizelj, 2006; Kovačić i Pavelić, 2017). Podpovršinski slijed naslaga proučavan je sa svrhom rekonstrukcije lokalnih i regionalnih naftno-geoloških odnosa (npr. Šimon, 1973; Hernitz i dr. 1995) i povezanih istraživanja (Kranjec i dr. 1970; Kranjec i dr. 1976; Radić i Hrnčić, 1979; Turajlić i dr. 1979; Hernitz, 1983; Velić i dr., 2002; Saftić i dr., 2003; Velić i dr., 2012; Malvić i Cvetković, 2013; Cvetković i dr., 2018; Cvetković i dr., 2019; Kamenski i dr., 2020; Rukavina, 2021). Kroz isti period se u širem prostoru Panonskog bazenskog sustava opisuju glavni sedimentacijski okoliši, vezani biofacijesi te se određuje dijakrono zapunjavanje Panonskog jezera (npr. Juhász i Magyar, 1992; Sacchi i Horváth, 2002; Magyar i dr., 2013; ter Borgh i dr., 2013; Pavelić i Kovačić, 2018; Magyar, 2019a, 2021) uslijed regresivnog kretanja morfološkog šelfa (prema Porebski i Steel, 2003). Istraživanja utvrđuju da je zapunjavanje najviše kontrolirano klimatskim uvjetima (Uhrin i Sztanó, 2012; Gong i dr., 2018; Kovács i dr., 2021) te morfologijom dna jezera i aktivnim lokalnim tektonskim pokretima (Juhász i dr., 2007; Balázs i dr. 2018). Novijim istraživanjima, gornjomiocenske i pliocenske naslage podijeljene su na litostratigrafske jedinice i povezane okoliše taloženja (Sebe i dr., 2020).

Međutim, pregledom dosadašnjih spoznaja unutar istraživanog područja, uočen je nedostatak istraživanja usmjerenih na proučavanje naslaga gornjeg miocena i pliocena, u vidu najnovijih metoda i modela. Tako i na širem području depresije; nedostaje geokronološka odredba vremena zapunjavanja i nestanka jezerskih okoliša te kasnijeg razvoja okoliša deltne ravnice kao i pliocenskih aluvijalnih okoliša. Uz to, nije točnije određen ni odnos unutarnjih i

vanjskih čimbenika koji su utjecali na procese zapunjavanja Panonskog jezera i razvitka pliocenskih aluvijalnih okoliša.

Prema tome, jedna od hipoteza istraživanja je da je na temelju integracije bušotinskih i seizmičkih podataka, u istočnom dijelu Dravske depresije moguće izdvojiti i kartirati klinoforme i parasekvencije unutar gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga. Na osnovi izdvojenih setova parasekvencija i kartiranih klinoformi, moguće je u prostoru između bušotina izdvojiti okoliše taloženja te iste povezati s litostratigrafskim jedinicama. Biostratigrafskim i geokronološkim datiranjem sedimentata moguće je odrediti vremena zapunjavanja Panonskog jezera u istraživanom prostoru. Na temelju kartiranih klinoformi i setova parasekvencija moguće je odrediti smjer progradacije te utjecaj vanjskih i unutarnjih čimbenika na dinamiku taloženja istraživanog područja.

S obzirom da su naslage u depresiji prekrivene mlađim holocenskim sedimentima, jedina metoda za njihovo proučavanje bila je posredna, putem bušotinskih i geofizičkih podataka. U tu svrhu korišteni su seizmički refleksijski profili i volumeni te bušotinski geološki i geofizički podaci. Na arhivskim jezgrama iz odabranih bušotina provedene su sedimentološke analize i uspoređene s prethodnim rezultatima. Uzorci iz ključnih bušotina datirani su metodom autigenih nuklida $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$, a napravljene su palinološke i mikropaleontološke analize. Integralnom interpretacijom podataka određeni su okoliši taloženja i povezane litostratigrafske jedinice. Na seizmičkim podacima provedene su strukturne, seizmostratigrafske i paleogeomorfološke analize. Zajedničkom interpretacijom pokušao se odrediti prostorni raspored, međusobni odnos i dijelovi taložnog sustava. Točnije, izrađen je konceptualni taložni model, a na temelju interpretiranih sekvencija određena je dinamika zapunjavanja depresije.

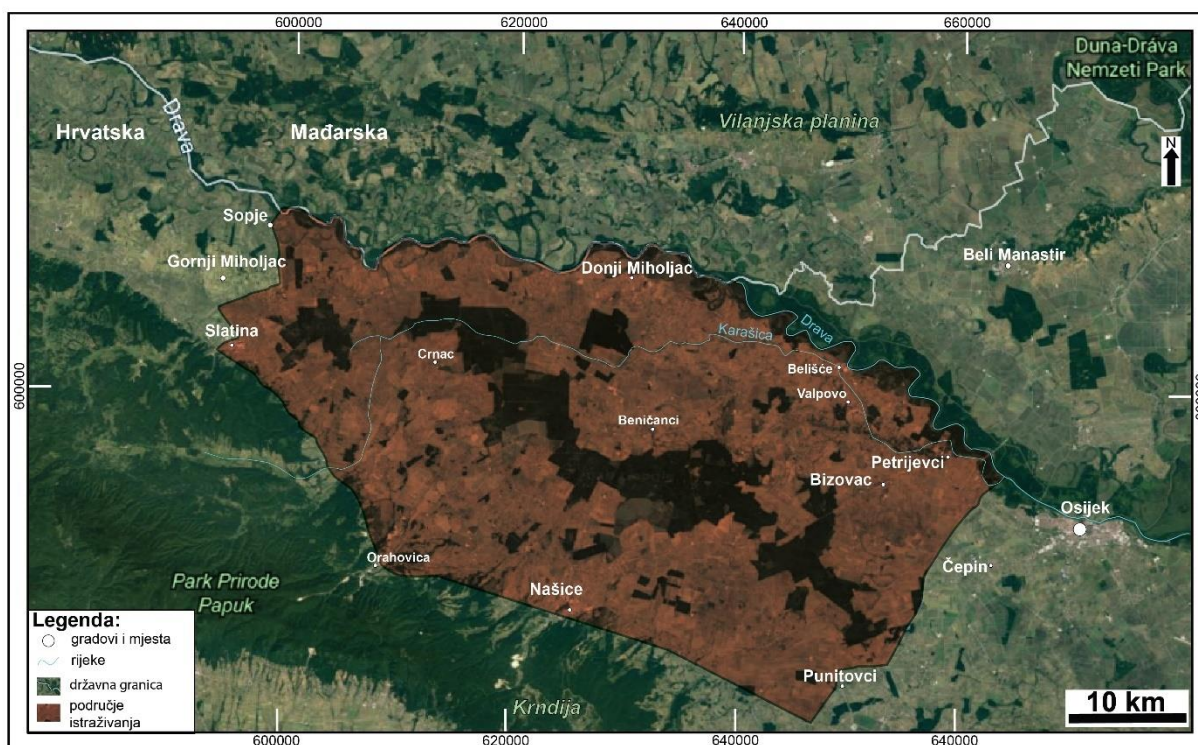
Dobiveni rezultati trebali bi poboljšati dosadašnja saznanja o dinamici taloženja u istočnoj Dravskoj depresiji i širem prostoru PBS-a. Točnije, metodom $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ dobivene su apsolutne starosti naslaga, koje su uspoređene i s biostratigrafskim zonama. Rezultati i nova saznanja vjerojatno će doprinijeti daljnjem napretku navedene metode na prostoru Panonskog bazenskog sustava. Interpretirane sekvencije III. i IV. reda predstavljaju prvi takav pokušaj analize, interpretacije i korelacije gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga na istraživanom području. Takav holistički pristup analizama sedimentnog slijeda omogućio je uvid u dinamiku taloženja, odnosno bolje poznavanje procesa i čimbenika koji su utjecali na prostorno-vremensku raspodjelu okoliša taloženja. Rezultati istraživanja unaprijedit će i dosadašnja

saznanja o putanji i položaju padine morfološkog šelfa u jugoistočnom dijelu Panonskog bazenskog sustava.

2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja smješteno je u istočnom dijelu doline rijeke Drave, točnije prostoru donje Podravine. Granicu istraživanja prema zapadu čine mjesta Slatina, Gornji Miholjac i Sopje, prema istoku Punitovci i Čepin, prema jugu slavonske gore (Papuk i Krndija), a prema sjeveru državna granica između Hrvatske i Mađarske (Slika 1).

Najveći dio područja istraživanja obuhvaća nizinsko močvarno područje doline rijeke Drave, s visinama terena u intervalu od 90 do 120 metara n.v. Prema jugu područje istraživanja je ograničeno gorama Papuk i Krndija, koje čine neprekinuti gorski niz s najvišim vrhovima Papuk (953 metara n.v.) i Kapovac (792 metara n.v.). Prijelaz u nizinu je obilježen brojnim gorskim kosama i uskim dolinama, izduženim u smjeru sjevera i sjeveroistoka. Unutar tih dolina teku brojne manje rijeke, čija se izvorišta nalaze na sjevernim padinama spomenutih gora. Najveća od njih je rijeka Karašica, koja teče usporedno s Dravom sve do naselja Petrijevci, gdje se u nju i ulijeva.



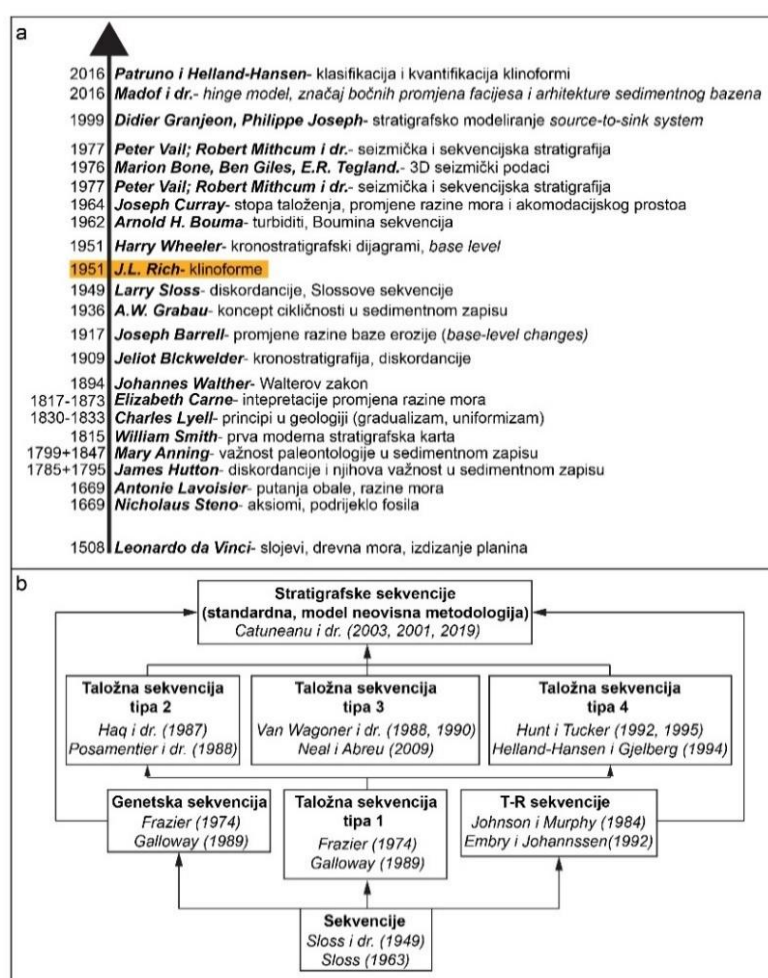
Slika 1. Područje istraživanja (<https://www.google.com/intl/hr/earth/>).

3. PREGLED DOSADAŠNJIH SPOZNAJA

Granice područja ovog istraživanja ne odražavaju današnje, kao ni paleogeografske granice cijelog Panonskog bazenskog sustava (PBS). PBS uključuje brojne depresije i njihove sedimentacijske sustave (npr. sustav Panonskog jezera), danas podijeljene političkim granicama koje umjetno odvajaju već spomenuti jedinstveni geološki sustav (Saftić i dr., 2003; Malvić i Cvetković, 2013; Sebe i dr. 2020). U ovom se radu, s obzirom na dostupnost podataka, pokušalo analizirati sedimentni zapis mlađeg miocena i pliocena istočnog dijela Dravske depresije samo na teritoriju Republike Hrvatske. Prema tome, za bolje razumijevanje ovog istraživanja važno je prikazati kako su i zašto istraživane naslage mlađeg miocena i pliocena u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava, ali i cjelokupnog PBS-a. Osim toga, za bolju orijentaciju, nužno je istraživanje dovesti u kontekst razvoja metodologija i modela unutar različitih sedimentacijskih bazena u svijetu.

3.1 Istraživanje sedimentnih bazena i sekvencijska stratigrafija

Povijesni razvoj istraživanja sedimentacijskih bazena u svijetu vezan je uz eksploataciju različitih ekonomskih resursa (Allen i Allen, 2005). Proučavanje sedimentnih bazena potaklo je razvoj stratigrafije, sedimentologije i paleontologije te stvaranje novih disciplina, kao na primjer sekvencijske stratigrafije i bazenskog modeliranja (Slika 2). Na taj je način utvrđena i dominantno klinoformna građa ispune sedimentacijskih bazena (Rich, 1951), potvrđena nizom istraživanja na izdancima i dubinskim podacima (Patruno i Helland-Hansen, 2018; Pellegrini i dr., 2020).



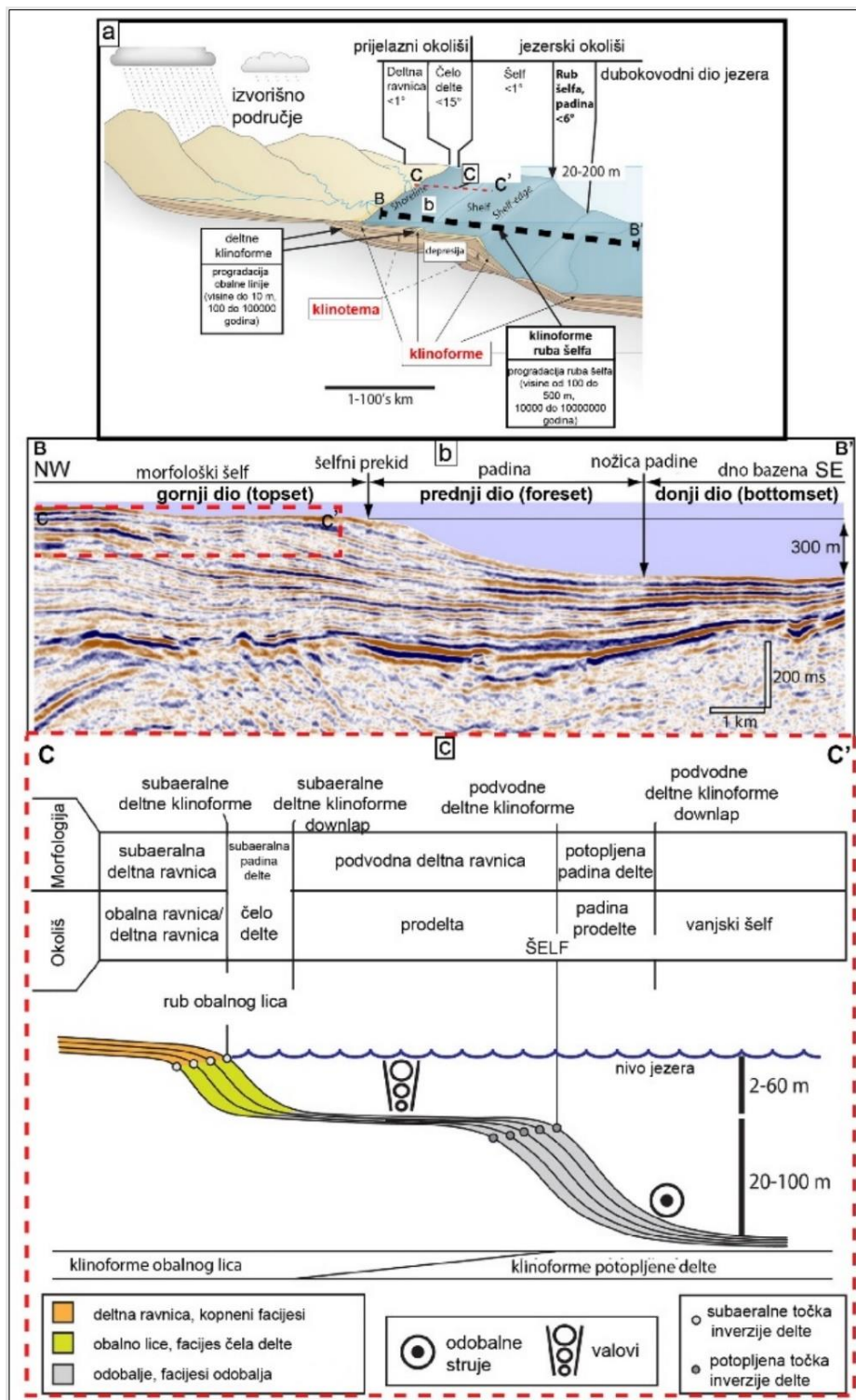
Slika 2. **a**) Kronološki pregled značajnih znanstvenih doprinosa u stratigrafiji, sedimentologiji i analizama sedimentnih bazena (prema Brian Ricketts, <https://www.geological-digressions.com/wp-content/uploads/2020/07/sequence-strat-time-line-3.jpg>); **b**) razvoj modela i metoda u sekvencijskoj stratigrafiji (prema Catuneanu i dr., 2009).

Istraživanje cikličnosti i razvoja koncepta sekvencijske stratigrafije kao alata za korelaciju i interpretaciju sedimentnog stijenskog zapisa započinje s radom Sloss i dr. (1949)

te Wheelerovim dijagramima tijekom 1950-ih i ranih 60-ih godina (Wheeler, 1958; Wheeler, 1964). Zatim, tijekom 1970-ih godina, dolazi do naglog razvoja tehnologije povezane uz seizmička snimanja, odnosno povećanja seizmičke rezolucije. Takav napredak u tehnologiji je Petera Vaila i Johna Mitchuma, uz utjecaj prethodnih koncepata Laurena L. Slossa, Harry E. Wheelera, Edwarda C. Dappelsa te Williama C. Krumbeina (Dott Jr., 2014; Bhattacharya i dr., 2016), naveo na razvoj koncepta seizmičke (Mitchum i dr., 1977) i sekvencijske stratigrafije na seizmičkim podacima (Vail i dr., 1977). Tijekom iduća tri desetljeća razvijeni su brojni modeli sekvencijske stratigrafije, većinom vezani uz posebnosti pojedinog sedimentacijskog bazena ili dostupnih ulaznih podataka (Slika 2b). Pri tome je sekvencija određivana na različite načine, a klasična formulacija sekvencije je sljedeća: „*relativno konkordantni slijed genetski srodnih slojeva ograničen diskordancijama i njima korelativnim konkordancijama*“ (Mitchum i dr., 1977; Saftić, 1998). Metoda se generalno zasniva na opažanju različitih načina nalijeganja, odnosno slaganja taložina i njihovih prekida (engl. *stratal stacking patterns*) vidljivih na seizmičkim, bušotinskim geološkim i geofizičkim te površinskim podacima na kojima se zatim izdvajaju glavne stratigrafske površine, sistemski traktovi i sekvencije (Mitchum i dr., 1977; Catuneanu, 2002). Većina modela zasnivana je na promjenama u akomodacijskom prostoru u ovisnosti o relativnim promjenama u morskim razinama, kao glavnog faktora u nastanku posebnosti u pojedinom obrascu slaganja sedimenata (Catuneanu, 2006). Međutim, primjenom modela u različitim bazenima utvrđena je njihova neadekvatnost u opisu glavnih stratigrafskih površina i mehanizama koji su kontrolirali nastanak taloženja (engl. *controlling factors*, Catuneanu, 2019). Upravo zbog toga, uvedeni su novi koncepti i standardizirana metodologija i nomenklatura prilikom interpretacije u domeni sekvencijske stratigrafije (npr. Embry, 2009; Catuneanu i dr. 2011). Isto tako, posljedično tome razvijaju se modeli taloženja s izraženijom bočnom promjenjivošću obrazaca taloženja (Posamentier i Allen, 1999; Madof i dr., 2016), što se odražava na razvoj stratigrafskih površina i sekvencija te njihovu interpretaciju (Catuneanu 2002; Helland-Hansen i Hampson, 2009; Catuneanu i Zecchin, 2016). Najvažnije za ovo istraživanje, u posljednja se tri desetljeća intenzivno testiraju i uspoređuju modeli ustanovljeni na oceanskim pasivnim rubovima s modelima razvijenim u manjim sedimentnim bazenima ispunjenim jezerskim naslagama. Autori zaključuju da se takvi modeli ne mogu izravno primijeniti u jezerskim sedimentnim bazenima jer je dinamika promjena relativnih razina i donosa sedimenata u jezera potpuno drugačija od oceana i morskih bazena (Juhász i dr. 1997; Sztanó i dr., 2013a; Kovács i dr., 2021; Zavala i dr., 2022).

3.2 Klinoforme i klinoteme

Klinoforme su kronostratigrafski horizonti koji ograničavaju sedimentna tijela (litološke jedinice) nazvane klinoteme (Slika 3; Rich, 1951; Patruno i Helland-Hansen, 2018; Pellegrini i dr., 2020). Klinoforme su najčešće vidljive unutar siliciklastičnih (Patruno i Helland-Hansen, 2018 i reference unutar publikacije) i karbonatnih (npr. Bahamonde i dr., 1997; Everts i Reijmer, 1995; Tesch i dr., 2019) sljedova u marinskim (Cattaneo i dr., 2007), deltnim (Patruno i dr., 2015) i jezerskim okolišima (Magyar, 2021; Zavala i dr., 2022). Prema smještaju, mogu se podijeliti na nekoliko vrsta, od najmanjih rubova obalnog lica i deltnih klinoformi (Slika 3c) do većih šelfnih klinoformi (Slika 3 a i b), dok one najvećih dimenzija nastaju na kontinentalnim rubovima (Patruno i Helland-Hansen, 2018; Schattner i dr., 2019; Pellegrini i dr., 2020). Nadalje, klinoformna arhitektura sedimentog slijeda je osim na planeti Zemlji uočena i u jezerskim naslagama na Marsu (Grotzinger i dr., 2015). Dakle, klinoforme i klinoteme su sasvim uobičajeni „fosilni“ zapisi paleodubina sedimentacijskih bazena, odnosno jezera (Slika 3, Zavala i dr., 2022).



Slika 3. Idealizirani progradacijski sustav klinoformi (prema Tišljar, 2004; Magyar i dr., 2013; Patruno i Helland-Hansen, 2018); **a**) *source-to-sink system*, prikaz sedimentnog sustava od izvorišnih, kopnenih riječnih, deltnih do jezerskih sedimentacijskih sustava koji odražavaju klinoformnu građu; **b**) položaj, dijelovi, geometrija i veličina klinoformi sa seizmičkih profila iz naslaga Panonskog jezera; **c**) prikaz klinoformne građe prijelaznih i proksimalnih okoliša.

3.3 Istraživanja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga u Panonskom bazenskom sustavu

Istraživanja u PBS-u većinom su vezana uz rekonstrukciju lokalnih i regionalnih naftno-geoloških odnosa. Na prostoru istočnog dijela Dravske depresije i šireg hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava provedeno je i geološko kartiranje u svrhu izrade listova Osnovne geološke karte (OGK) RH 1:100 000, temeljeno na kronostratigrafskom te OGK 1:50 000 na litostratigrafskom principu. Uz to, provođena su i multidisciplinarna istraživanja nastala kombinacijom prethodno opisanih u Sebe i dr. (2020). U sljedećim radovima detaljnije su opisana lokalna i regionalna istraživanja. Kronološkim redoslijedom, to su:

- Gorjanović-Kramberger i Koch (1909) izdaju list Daruvar, pregledne geološke karte, koncipirane na kronostratigrafskom principu
- Ožegović (1944) razdvaja facijese tada važećeg stratigrafskog razdoblja gornjeg tercijara na osnovi litološkog sastava i fosilnog sadržaja iz bušotinskih podataka
- Šimon (1963) opisuje i izdvaja litostratigrafske jedinice na temelju bušotina na polju Ivanić-Grad, unutar Savske depresije
- Pletikapić (1969) u svojoj doktorskoj disertaciji opisuje stratigrafiju, paleogeografiju i naftnoplinošnost formacije Ivanić-Grad, na prostoru Savske depresije te utvrđuje donos sedimenata iz Dinarida i Alpa
- Kranjec i dr. (1970) kartografski prikazuju rasprostiranje litostratigrafskih formacija na području Istočne Slavonije i Bosanske Posavine pri čemu su utvrdili paket velikih debljina pješčenjaka Vinkovačke formacije, na prostoru Donji Miholjac-Osijek-Vinkovci
- Šimon (1973) piše o regionalnoj korelaciji litostratigrafskih jedinica na temelju fizikalno-litološkog principa korelacije te izdvaja i tri karakteristične grupe litoloških asocijacija neogensko-kvartarne ispune HPBS-a, a u neogenski razvoj stavlja sve jedinice osim formacije Vera (kvartar); već iduće godine (1974), isti autor u suradnji s kolegom Batušićem, objavljuje litostratigrafski stup polja Beničanci, slijedeći iste principe korelacije kao i ranije
- Kranjec i dr. (1976) dalje razrađuju litostratigrafsku nomenklaturu Dravske depresije, a na temelju usporedbe s fosilnom asocijacijom, na litostratigrafski stup prethodno opisan od Šimona (1973) i Šimona i Batušića (1974) dodaju i

kronostratigrafski okvir; autori opisuju i razlike zapadnog i istočnog dijela Dravske depresije na temelju proučavanja različitih podataka iz 233 bušotine, opisuju utvrđeni litološki kontinuitet naslaga na granici sarmata i panona, ali s vertikalnom promjenom faune; sarmatska nestaje, a pojavljuje se slatkovodna panonska, dok na kontaktu naslaga donjeg i gornjeg panona utvrđuju „miješanje“ fauna: „*No tu treba kazati, da su pojedinačne odredbe mlađih panonskih vrsta situirane i nešto niže od postavljene granice, tj. u najgornjem dijelu naslaga nalaze se zajedno (npr. Congeria banatica) sa starijim panonskim oblicima*“ (Kranjec, i dr., 1976)

- Radler i dr. (1978) uočavaju sigmoidalne karakteristike mlađih miocenskih refleksa na seizmičkim profilima unutar Mađarske i pripisuju im tektonski karakter postanka
- Radić i Hrnčić (1979) pišu o dosadašnjim istraživanjima u cijeloj Dravskoj depresiji; zaključuju da je korištenje litostratigrafskih jedinica, utvrđenih od prethodno spomenutih autora, izrazito praktična metoda u naftnogeološkim istraživanjima
- Turajlić i dr. (1979) pišu o geološkim odnosima i vezanoj problematici razrade ležišta na području naftnih polja Beničanci, Obod i Ladislavci-Kučanci; zaključuju da je prostor izrazito komplicirano građen zbog kompleksne evolucije prostora te predlažu daljnja, detaljnija istraživanja za shvaćanje evolucije prostora koja će se pozitivno odraziti u istraživanju nafte i plina
- Šimon u svom doktorskom radu (1980) analizira naslage Sava-grupe unutar cijelog hrvatskog dijela PBS-a, a u istraživanjima integrira sedimentološke i geofizičke podatke te naslage odvaja na genetičke jedinice s granicama po EK-markerima; iz građe navedenih genetskih jedinica zaključuje da su nastale uslijed ritmičkog taloženja, odnosno nizom transgresivno-regresivnih sljedova.
- Hertz u svojoj sveobuhvatnoj doktorskoj disertaciji (1983) opisuje dubinsku strukturno-tektonsku građu istočne Slavonije, prirodu kontakta između litostratigrafskih formacija, njihove debljine i prostornu distribuciju. Također piše o mogućnostima korelacije jedinica, a sve potkrepljuje strukturnim i litofacijskim kartama

- tijekom 1970-ih i 80-ih godina izdaje se niz listova OGK u mjerilu 1:100 000 kartiranih na kronostratigrafskom principu; na tim se kartama i pripadajućim tumačima utvrđuje razvoj okoliša tijekom cijelog neogena na području hrvatskog dijela PBS-a (npr. list Podravska Slatina (Marković, 1985), list Daruvar (Jamičić, 1989), list Našice (Korolija i Jamičić, 1989), list Donji Miholjac (Hećimović, 1984))
- Pogácsás (1984) proučava neogenske sedimente na temelju seizmičkih profila, koristeći se principima seizmičke stratigrafije; u radu raspravlja o kronostratigrafskim obilježjima interpretiranih refleksa, a i nekima od njih dodjeljuje “kvazi” izokroni karakter
- Bérczi i Phillips (1985) objavljuju izvješće Američkog geološkog zavoda (USGS) vezano uz proučavanje jezgri tri bušotine iz Makó depresije u Mađarskoj u kojem opisuju različite facijese jezerskih i fluvijalnih naslaga mlađeg miocena i pliocena; autori izdvajaju bazni facijes (*basal facies*), facijes dubokog dijela bazena (*deep basin*), prodelti (*prodelta*), facijes čela delte (*delta fronti*) i facijes deltne ravnice (*delta plain*), a sve prikazuju taložnim modelom cjelokupnog sedimentnog sustava od kopnenih, proksimalnih do distalnih okoliša taloženja
- Kázmér (1990) u preglednom radu opisuje evoluciju Panonskog jezera, okoliše taloženja, karakteristične sedimentne facijese, fosilnu floru i faunu, paleogeografiju te dostupne mineralne resurse, nafte, plina i geotermalne vode na području PBS-a
- Juhász i Magyar (1992) opisuju glavne sedimentacijske okoliše Panonskog jezera: turbiditni okoliš, čelo delte, deltne ravnice i aluvijalne okoliše; opisuju i karakterističnu faunu svakog okoliša, a pri tome se koriste seizmičkim i bušotinskim podacima
- Pogácsás i dr. (1993) pišu o biofacijesu, biostratigrafskoj podjeli te izokronim vremenskim linijama koje ih presijecaju, odnosno nisu podudarne s njima (interpretiraju dijakronost jedinica različitih sustava)
- Pikija i dr. (1993) na temelju podataka iz bušotina u zapadnom dijelu Dravske depresije opisuju dubokovodni facijes panonske starosti te ga interpretiraju kao turbidite i dokazuju postojanje donjopanonskih *Croatica* naslaga

- Hernitz. i dr. (1995) u članku vezanom za matične stijene istočnog dijela Dravske depresije publiciraju kartu izostrata po reperu Rs7 (H) na temelju bušotinskih karotažnih podataka
- Kunštek (1995) i (1996) se kritički osvrće na dotadašnju litostratigrafsku korelaciju (Šimon, 1973; Kranjec i dr., 1976; Hernitz, 1983) i formacijama pripisuje dijakroni karakter te poziva na interdisciplinarni pristup rješavanju otvorenog pitanja dijakronosti i korelacije, kao i na ozbiljnu raspravu među hrvatskim stručnjacima o navedenim problemima u analizi našega dijela Panonskog bazena
- Avanić i dr. (1995) u svome radu prikazuju kompilacijske geološke stupove, sastavljene snimanjem nekoliko stupova na području Hrvatskog zagorja; prikazuju ih na osnovi litostratigrafskih jedinica, izdvojenih prilikom geološkog kartiranja, kao npr. u Filjak i dr. (2016) i Halamić i Belak (2022), koje dovode u stratigrafsku vezu s jedinicama utvrđenim po litološko-fizikalnom principu (Šimon, 1973); u radu su opisane i foto dokumentirane reprezentativne jezgre iz bušotina u hrvatskom dijelu PBS-a te su im dodijeljeni nazivi površinskih jedinica prikazanih na spomenutim stupovima, primijenjen je *multi-proxy* pristup, tj. napravljene su iscrpne paleontološke, mineraloške, kemijske i dr. analize jezgri i profila bušotina, a prikazani su i analizirani stupovi bušotina na kojima je vidljivo da se markeri Rs7, Rs5 i Z' ne nalaze na stratigrafskim pozicijama opisanim u prethodnim (Šimon, 1973; Kranjec i dr., 1976; Hernitz 1983) te u nekim novijim radovima (Vrbanac, 2001; Vrbanac 2002a, b)
- Juhász i dr. (1997) proučavaju obrasce taloženja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga na području Mađarske, a koriste se kontinuiranim bušotinskim jezgrama, ukupne dužine od 17.000 m, na kojima su provedene detaljne sedimentološke, paleontološke analize i magnetostratigrafsko određivanje starosti na razmaku od 0,5 m; u svakoj bušotini odvajaju transgresivne, agradacijske i progradacijske jedinice koje svrstavaju u cikluse različitih redova (od 4. do 6. reda), dok rezultati statističkih analiza svih podataka pokazuju da su u sedimentnom zapisu najizraženiji ciklusi visokih frekvencija ponavljanja, koji su vezani uz Milankovićeve cikluse (precesija i nutacija); učestale klimatske promjene područja PBS-a za posljedicu imaju promjene razine jezera koje

uspoređuju s globalnom krivuljom morske razine prema Haq i dr. (1987), a navedene krivulje su asinkrone pa autori zaključuju da između jezerskih i marinskih sekvencija nema direktne korelacije što upućuje na oprez prilikom korištenja principa i modela sekvencijske stratigrafije u naslagama Panonskog jezera i kasnijih fluvijalnih okoliša.

- Saftić (1998) u doktorskoj disertaciji obrađuje pontske facijese (prema Rögl, 1996) formacije Kloštar Ivanić, unutar Savske depresije, a na podacima karotažnih mjerenja bušotina primjenjuje analizu na principu modela genetskih stratigrafskih sekvencija; izdvaja regresivno-transgresivne cikluse na temelju površina maksimalnog preplavlivanja, koje se nalaze unutar lapora, a koji pak omeđuju pješčenjačke jedinice; u raspravi se dotiče problema stratigrafske raščlambe gornjomiocenske ispune bazena i njihovog dijakronog karaktera te zaključuje da bi rezultati magnetostratigrafskih istraživanja pomogli u rješavanju još otvorenih pitanja određivanja starosti
- Kováč i dr. (1998) godine, na temelju bušotinskih karotažnih podataka, fosilne asocijacije i seizmostratigrafske interpretacije izdvajaju pet sistemskih traktova unutar naslaga mlađeg miocena u Bečkom bazenu
- Magyar i dr. (1999a) godine u svome preglednom članku pišu o paleogeografskim odnosima na području PBS-a od sarmata do pliocena, što potkrepljuju i facijesnim kartama; u samom uvodu iznose tvrdnju kako su naslage Panonskog jezera vremenski transgresivne, a iste godine (Magyar i dr., 1999b) objavljuju još jedan članak vezan uz usporedbu biostratigrafskih, magnetostratigrafskih i kronostratigrafskih jedinica te mogućnostima korelacije u naslagama gornjeg miocena na širem prostoru PBS-a gdje zaključuju da je korelacija s Mediteranskim bazenom vrlo teška ili gotovo nemoguća, međutim, korelacija s istočnim Paratethysom je moguća na temelju mekušaca, dok je ona temeljena na sisavcima dosta neprecizna; u članku prepoznaju i jednosmjernu migraciju iz Centralnog Paratethysa u Istočni tijekom pontu (*sensu* Stevanović, 1951)
- Vrsaljko (1999) na prijelazu iz sarmata u panon prepoznaje kontinuitet sedimentacije na izdancima područja Medvednice te izdvaja biofacijese po fosilnim zajednicama te navodi da je tijekom starijeg panona bila moguća

migracija faune i iz drugih dijelova PBS-a; navodi i kako je podjela na dvije akrozone, *Radix croatica* i *Congerina banatica* neadekvatna i smatra kako su fluvijalni deltni utjecaji unutar gornjopanonskih dubokovodnih lapora posljedica sinsedimentacijske tektonike

- Ivković i dr. (2000) se u svom radu, za interpretaciju okoliša taloženja cijele Savske depresije, koriste principima seizmičke stratigrafije, a taloženje interpretiraju kroz dvije faze, retrogradacijsku i progradacijsku te utvrđuju prostorno-vremenski raspored seizmofacijesa koji odgovaraju različitim okolišima taloženja tijekom mlađeg miocena i pliocena; autori otvaraju i mogućnost donosa sedimenta iz smjera istoka u području istočnog dijela Savske depresije
- Vrbanac i dr. (2000) raspravljaju o dubini taložnog prostora za vrijeme mlađeg panona i u zaključku iznose da bi općeprihvatljivi model taložne sredine morao odgovoriti i na pitanja o izvorišnom području, transportnim i taložnim mehanizmima, geometriji pješčenjaka u vremenu, odnosima stratigrafskih jedinica (članova) unutar sedimentnog slijeda, a pri tome su bitne i seizmostratigrafske analize bazena
- Vrbanac (2001) iznosi svoje ideje o važnosti EK-markera za korelaciju neogenskih naslaga u Savskoj depresiji za koje smatra da odražavaju izokrone sedimentacijske događaje unutar naslaga mlađeg miocena; u radu prepoznaje i erozijski uvjetovane karakteristične odmake na krivuljama otpora za markere Rs7 i Rs5 te daje prijedlog da ukoliko takav slijed karotažne krivulje prividnog otpora ima geološko značenje erozijske površine, a tada bi te plohe trebalo nazivati M5 i M7; isto tako, piše da npr. EK-marker Rs5 označava približnu granicu naslaga mlađeg i starijeg panona (*sensu* Stevanović, 1951)
- Lučić i dr. (2001) opisuju okoliše taloženja, biostratigrafske asocijacije i mogućnost korelacije s naslagama istaloženim na prostoru Mediterana, kao i geodinamski razvoj HPBS-a
- Sacchi i Horvath (2002) predlažu uvođenje transdanubiana, kao novog kata u stratigrafskoj nomenklaturi miocena; prema autorima, transdanubian bi se nalazio između panonskog i pontskog kata (*sensu* Stevanović, 1951), tj. uključivao bi sedimentni slijed starosti između 9.03 i 7.43 milijuna godina, a u

podini i krovini ga definiraju dvije površine maksimalnog preplavlivanja, dok biostratigrafski pada u zone *Congerina balatonica-Lymnocardium (decorum-serbicum)* i *Congerina unguilacaprae-Prosodacnomya*; autori svoj prijedlog temelje na magnetostratigrafskim i sedimentološkim analizama bušotine Iharosbereny-1, korelaciji bušotinskih podataka sa seizmičkim profilima i izdanku Tihany- Feherpart (uz obale jezera Balaton), kojeg predlažu kao stratotip

- Velić i dr. (2002), na temelju rezultata koje je dao Šimon (1973), specifične litološke asocijacije stijena svrstavaju u okvir tri taložna megaciklusa trećeg reda
- Vrbanac (2002a) objašnjava zašto EK-markeri unutar naslaga mlađeg miocena Savske depresije predstavljaju sinkrone plohe; izdvaja cikluse sedimentacije na temelju interpretacije EK-dijagrama te raspravlja o mogućim uzrocima ciklusa (kao npr. Milankovićeve ciklusi)
- u idućem radu iz (2002b) Vrbanac na temelju sedimentoloških istraživanja jezgri iz bušotina Savske depresije izdvaja turbiditne facijese, gdje posebnu pažnju pridodaje kanalnim sedimentacijskim tijelima, a mehanizam taloženja pješčenjačka i silita opisuje kao dominantno gravitacijski, dok taloženje masivnih lapora interpretira kroz normalnu bazensku hemipelagičku sedimentaciju
- Márton i dr. (2002) utvrđuju post-pontsku (prema Rögl, 1996) CCW rotaciju od 20° u prostoru Slavonskih planina
- Vrsaljko (2003) u svojoj doktorskoj disertaciji o biostratigrafiji miocenskih naslaga Žumberačkog i Samoborskog gorja opisuje i izdvaja litostratigrafske formacije mlađeg miocena na temelju površinskih podataka te usporedbe istih s bušotinskim koji predstavljaju bazenski razvoj; zaključuje da je moguća usporedba takvih podataka; autor tvrdi da bi “*geološki ispravnije*” bilo tumačiti promijenjeni stil sedimentacije nego promjenu faune, koja je zapravo uvjetovana dominacijom deltnih nad jezerskim dubljevodnim okolišima
- Saftić i dr. (2003) iznose pregled svih sedimentacijskih okoliša tijekom miocena, a asocijaciju facijesa interpretiraju kroz tri regresivno-transgresivna ciklusa drugog reda, uglavnom uzrokovanih tektonikom; opisuju i karakter kontakta naslaga između sarmata i panona koji je ovisno o paleotopografiji kontinuiran

ili prisutan kao diskordancija, a u radu su objašnjeni i odnosi litofacijesa i vremenskih linija taloženja, tj. dijakroni karakter naslaga u mađarskom dijelu PBS-a; autori ističu da je očito sveprisutno postojanje deltnih okoliša, osim u dubokovodnim okolišima unutar depresija tijekom mlađeg pontaa, stoga je potrebno vrlo precizno datiranje okoliša

- Juhász i dr. (2004) proučavaju aluvijalne i fluvijalne kvartarne naslage u Mađarskoj; na temelju sedimentoloških analiza bušotinskih podataka iz jezgri i analiza elektrofacijesa karotažnih podataka izdvajaju cikluse taloženja koje sistematiziraju unutar sheme Weissmanna i dr. (2002) za izdvajanje ciklusa i sistemskih traktova povezane s dostupnim prostorom s visokim ili niskim potencijalom taloženja (npr. *high-accumulation space*)
- Kovačić (2004) i Kovačić i dr. (2004) na temelju površinskih podataka utvrđuju sedam litostratigrafskih jedinca unutar gornjomiocenskih naslaga i interpretiraju mehanizme transporta i taloženja te smjer progradacije; konstatiraju da se vršne gornjomiocenske naslage razlikuju od baznog dijela gornjeg miocena, na temelju postupnih promjena u mineralnom sastavu teške frakcije minerala; navode kako je slabo poznata dinamika i karakter sedimentacijskih sustava odgovornih za kontinuiranu ispunu hrvatskom dijelu PBS-a
- Pavelić (2005) piše o transgresivno-regresivnim ciklusima tijekom miocena na prostoru HPBS-a i odvaja tri ciklusa drugog reda i šest transgresivno-regresivnih ciklusa trećeg reda
- Kovačić i Grizelj (2006) na temelju rezultata petrografskih i mineraloških istraživanja gornjomiocenskih sedimenata utvrđuju da je donos sedimenata bio iz dva različita izvora, istočne Alpe i Karpati, dok za sedimente na području Slavonskih planina izvorište vjerojatno bilo u Karpatima; tvrdnje potkrepljuju i mjerenjima paleotransporta na izdancima, a na osnovi podataka konstatiraju i da Dinaridi nisu bili značajan izvor sedimenata
- Juhász i dr. (2007) na temelju sekvencijske stratigrafije, tj. analiza sedimentnog facijesa i arhitekture naslaga, dolaze do zaključka da su na cikluse trećeg reda glavni utjecaj imali tektonski procesi, dok su na one četvrtog reda utjecali Milankovićeve ciklusi; uočavaju vrlo važne tektonske događaje između 9.1 i 6.8 milijuna godina te značajan pad razine vode u jezeru prije 6.8 milijuna godina,

koji moguće označava početak nove tektonske faze (kompresija), odnosno diskordanciji između miocena i pliocena pripisuju erozijske značajke čiji je uzrok tektonika; o mogućim uzrocima diskordancije između miocena i pliocena te nekim unutar mlađeg miocena pišu i Magyar i Sztanó (2008), a prema njima, diskordancija je posljedica bočne migracije smjera donosa sedimenta, a ne hidrološke poveznice Panonskog jezera i Mediterana putem Dacijskog i Crnomorskog bazena te značajnog pada razine vode u jezeru, isto tako, prema autorima je došlo i do naginjanja starijih naslaga u smjeru bazena zbog kompresijskog režima stresa, točnije tektonske inverzije bazena, a upravo ti procesi su prema autorima zaslužni za stvaranje erozijske diskordancije

- Vasiliev i dr. (2007) su objavili rezultate magnetostratigrafskog datiranja granice sarmat-panon na lokalitetu Vranović kod Našica; rezultati nažalost nisu bili relevantni zbog utjecaja trošnosti uzorkovanih stijena i sekundarne magnetizacije; autori zaključuju da je neovisno o dobivenim rezultatima potrebno datirati navedenu granicu s ciljem boljeg shvaćanja dinamike cijelog PBS-a
- Pigott i Radivojević (2010) pišu o seizmostratigrafskim analizama i korelaciji miocenskih naslaga u smislu litostratigrafske raščlambe u Srbiji s Mađarskim dijelom PBS-a, a na osnovi analiza zaključuju da su litostratigrafske jedinice vremenski transgresivne
- Vrbanac i dr. (2010) opisuju turbidite unutar formacije Ivanić-Grad, kanalne forme koje vremenski i prostorno migriraju te lateralno rasprostiranje različitih facijesa; analize su obavljene na temelju proučavanja 2000 bušotina, na kojima je utvrđeno vrlo malo makrofosilnog sadržaja u centralnim dijelovima depresije pa su autori za interpretaciju okoliša koristili fragmente ostrakoda i palinološke analize, na temelju čega predlažu i model taloženja tijekom mlađeg panona na prostoru Savske i Dravske depresije te navode da EK-markeri Rs5 i Z' predstavljaju granice kronostratigrafskih jedinica
- Malvić i Velić (2011) u preglednom radu opisuju glavne procese koji su utjecali na nastanak ležišta ugljikovodika u hrvatskom dijelu PBS-a, a to su ponajprije u radu izdvojene i opisane glavne tektonske faze tijekom neogena i kvartara, zatim načini sedimentacije te dijageneza

- Velić i dr. (2012) u preglednom radu pišu o geološkim rezervama ugljikovodika u hrvatskom dijelu PBS-a, uz to, sistematiziraju i opisuju tipove neotkrivenih ležišta u unutar panonskih i pontskih (prema Rögl, 1996) naslaga kao stratigrafske i strukturne zamke unutar pješčenjaka s međuzrnskom poroznošću; autori zaključuju da bi se moguća stratigrafska ležišta u navedenim stijenama mogla bolje opaziti na strukturnim kartama i atributnim analizama 3D seizmičkih podataka, odnosno kartiranju kanalnih formi, lepeza i bazenskih sedimenata, a dodatna pažnja bi se trebala posvetiti borama nastalim pod utjecajem diferencijalne kompakcije ili zona rasjeda s pomakom po pružanju
- Uhrin i Sztanó (2012) zaključuju da naslage mlađeg miocena izgledaju kao jedan visokomorski sustavni trakt (HST), nadalje, testiraju model eustatskih promjena u ovisnosti o količini istaloženih sedimenata te dolaze do zaključka da između ova dva faktora nema značajnije korelacije; prema tome, zaključuju da je razina jezera bila relativno konstantna, a ovisila je o donosu vode tekućicama koje su se ulijevale u jezero pa smatraju da je jezero bilo hidrološki zatvoreno, odnosno nije bilo poveznica s drugim bazenima (npr. Dacijskim); predlažu da je u takvim hidrološkim zatvorenim bazenima bolje upotrijebiti rekonstrukciju morfologije dna bazena i paleoklimatskih uvjeta nego trajektoriju ruba šelfa za predviđanje količine i razmještaja naslaga pijesaka u dubokovodnim prostorima, kao što je to primjer u marinskim okolišima
- Törő i dr. (2012) pišu o načinima sedimentacije i progradaciji padine na području istočnog dijela masiva Mečec, a koriste se seizmičkim i bušotinskim podacima na kojima opažaju da je prije i za vrijeme progradacije dolazilo do transpresijskih i transtenzijskih deformacija te da se na području istraživanja spajaju dva progradacijska sustava iz različitih smjerova; zaključuju da je morfologija bazena bila direktna posljedica transpresijskih i transtenzijskih deformacija, a postanak diskordancija u progradacijskom sustavu interpretiraju kao rezultat nalijeganja dviju padina jedne na drugu
- Kunštek se u radu (2012) još jednom kritički osvrće na dosadašnju stratigrafsku nomenklaturu i način izdvajanja stratigrafskih jedinica u Hrvatskoj; autor smatra da je prilikom definiranja danas informalnih jedinica došlo do miješanja metodologije i termina, kao npr. izdvajanje litostratigrafskih jedinica na temelju

diskordancija jer su takve jedinice zapravo zasebne jedinice, tj. alostratigrafske jedinice, stoga još jednom poziva na osnivanje nacionalne komisije za stratigrafiju, uz čije djelovanje do ovakvih nesporazuma ne bi dolazilo

- Bakrač i dr. (2012) na temelju rezultata istraživanja fitoplanktona izdvajaju devet palinozona i utvrđuju i dvije transgresije, prvu tijekom kasnog dijela ranog panona kada su Mediteranski dinoflagelati migrirali u PBS, dok tijekom druge transgresije, za vrijeme mlađeg panona, dolazi do migracije endemske faune iz Paratethysa u Mediteran; na osnovi toga zaključuju da se unutar gornjomiocenskih naslaga mogu izdvojiti dvije površine maksimalnog preplavlivanja
- Magyar i dr. (2013) pišu o progradaciji paleo-Dunava na prostoru Mađarske i zaključuju i da jugozapadni dio PBS-a, dakle HPBS, još nije dovoljno dobro istražen; iste godine, Sztanó i dr. na temelju metodološki iscrpnog rada utvrđuju da je taloženje u PBS-a bilo kontrolirano klimatskim uvjetima, tj. temperaturnim varijacijama u vlažnijoj klimi koje su uvjetovale količinu donosa sedimenta u dubokovodni dio jezera; autori opisuju agradacijske i progradacijske klinoteme i predlažu model taloženja u dubokovodnom dijelu jezera, a u modelu naznačuju da je najveća količina pijesaka prenošena u dubokovodni dio jezera tijekom početnog dijela HST (engl. *highstand system tract*, visokomorski sustavni trakt), odnosno unutar agradacijskog postava klinoforni, a najmanja tijekom njegovog završnog dijela (progradacijski postav klinoforni)
- Malvić i Cvetković (2013) u svom preglednom radu koreliraju litostratigrafske jedinice zapadne i istočne Dravske depresije na temelju litološko-fizikalnog karaktera (Šimon, 1973), isto tako, navedene koreliraju i s Mađarskim litostratigrafskim jedinicama definiranim prema Császár (1996)
- Šujan i dr. (2016) prvi puta na prostoru Bečkog bazena (PBS) određuju apsolutne starosti gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga korištenjem radiometrijske metode određivanja starosti $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ unutar autigene faze
- Sztanó i dr. (2016) uspješno koreliraju gornjomiocenske naslage na temelju izdvojenih litostratigrafskih jedinica, između slovačkog i mađarskog dijela PBS-a i zaključuju da su sve korelirane litostratigrafske formacije vremenski transgresivnog karaktera

- Van Bakk i dr. (2017) u preglednom radu raspravljaju o mesinijskog krizi (engl. *Messinian salinity crisis* - MSC) na prostoru Paratethysa i zaključuju da su se do sada previše olako i bez preciznih datiranja, diskordancijama pripisivala obilježja MSC-a na prostoru PBS-a, stoga ostavljaju otvorenu mogućnost da je cijela stratigrafska nomenklatura unutar PBS-a kronostratigrafski pogrešna, što znači da su erozijska obilježja u sjevernijim dijelovima PBS-a (Mađarska) zapravo mlađa, točnije, uočene erozijske značajke u domeni MSC-a bi hipotetski trebale biti prisutne samo na rubnim dijelovima bazena, gdje je u to vrijeme još bilo prisutno jezero; prema tome, potrebna je integracija biostratigrafskog pristupa i seizmike te korelacija izdanaka s rubova bazena i naslaga u depresijama
- Balázs i dr. (2018) tvrde da je glavni mehanizam zapune bazena bila progradacija šelfa i deltnih okoliša dok je zapunjavanje jezera i smjerovi prijenosa sedimenata ovisili su o morfologiji dna jezera, tj. nasljednim strukturama ili aktivnim lokalnim tektonskim pokretima; autori u studiji iznose i podatke o paleodubinama Panonskog jezera, koje se kreću od 75 do 1.000 m
- Kovács i dr. (2018) u članku koji je vezan za istočni Mečec, pišu o vremenu transgresije Panonskog jezera na izdignute blokove u emerziji (nakon 8,9 milijuna godina – stariji dio panona), a na temelju asocijacije fosilnih mekušaca i litološkog sastava zaključuju da je inicijalna transgresija bila brza; navode da je evidentna sinsedimentacijska tektonika (pružni rasjedi), no glavna tektonska kompresijska faza počinje tek kasnije
- Pavelić i Kovačić (2018) objavljuju pregledni članak o sedimentologiji i stratigrafiji neogena u HPBS-u; prikazuju stratigrafski stup i modele sedimentnog razvoja Sjevernohrvatskog bazena, u tekstu zaključuju da bi proces zapunjavanja Panonskog jezera trebao biti dijakron, što potkrepljuju publikacijama
- Gong i dr. (2018) uspoređuju kliniforme marinskih okoliša na prostoru Južnokineskog mora i jezerskih okoliša Panonskog jezera unutar PBS-a, na temelju čega zaključuju da klima ima presudan utjecaj na kontrolu razine vode i donos sedimenata u jezerskim okolišima pa autori napominju da ne smije biti direktne primjene metodologije i modela sekvencijske stratigrafije utvrđene u

marinskim okolišima na one jezerske; točnije, jezera nisu samo mali oceani, već se od njih značajno razlikuju u brzini i načinu promjena razine vode te količini sedimenata i vode, odnosno postoje razlike donosa sedimenata unutar agradacijskog načina nalijeganja (veća količina pješčenjaka u jezerskim sedimentima); naime, za vrijeme vlažnijeg klimatskog perioda, nivo jezera raste, a povećava se i donos sedimenata koji se u duboki dio bazena prenose pridnenim tokovima, dok u vrijeme suhog perioda, nivo jezera pada, donos sedimenata se smanjuje i razvija se progradacijski set klinoformi, primjerice, u marinskim okolišima je i dalje karakterističan debeli donji set, dok u jezerskim progradacijskim klinoformama nedostaju istovremeni donji setovi, tj. smanjena je količina pijesaka u dubljem dijelu jezera; isto tako, autori navode da klasični modeli sekvencijske stratigrafije ne uzimaju u obzir veoma bitne razlike lateralnih promjena u načinu nalijeganja naslaga

- Magyar i dr. (2019a) opisuju razvoj paleo-Dunava tijekom neogena, u istraživanju prikazuju sukcesivno zapunjavanje bazena od sjevera (Bečki bazen) prema jugu i jugoistoku (PBS, Dacijski bazen, Crnomorski bazen)
- Magyar i dr. (2019b) proučavaju jezgre nekoliko kontinuirano jezgrovanih bušotina cijele sedimentne ispune bazena u njegovom centralnom dijelu; na temelju iscrpnih analiza, nekoliko načina datiranja i korelacije sa seizmikom, utvrđuju da je ispravna korelacija deltnih naslaga Panonskog jezera vrlo teška i praktički nemoguća bez upotrebe nekoliko vrsta analiza ili podataka; u tu su svrhu autori na jezgrama svakih 10 cm analizirali facijese, granulometriju, sedimentne strukture i prisutne makrofosile za biostratigrafsku kontrolu, a napravljene su i palinološke analize te izdvojeni i determinirani otakodi, za radiometrijska datiranja sedimenata korištene su metode datiranja autigenog izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ i magnetostratigrafija dok je za prostornu korelaciju korištena 3D seizmika i seizmički profili, interpretirani na temelju principa seizmičke stratigrafije
- Joniak i dr. (2020) određuju apsolutnu starost gornjomiocenskih fluvijalnih naslaga metodom $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$, a rezultate uspoređuju s biostratigrafskim rezultatima analize fosilnih sisavaca

- Sebe i dr. (2020) objavljuju rad s detaljnom litostratigrafskom raščlambom gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga Dravske depresije; autori istraživanje temelje na sedimentološkom, seizmostratigrafskom, biostratigrafskom, strukturno-tektonskom proučavanju izdanaka te dubinskih geoloških i geofizičkih podataka, a za raščlambu su litostratigrafske jedinice povezane s okolišima taloženja, kao i litostratigrafskim jedinicama izvorno određenim prema Šimon i dr. (1973) kao i onim određenim na prostoru susjedne Mađarske
- Kamenski i dr. (2020) testiraju geostatističke metode neuralnih mreža u izradi simulacije 3D litoloških modela gornjomiocenskih naslaga
- Sebe (2021) u gornjomiocenskim izdancima područja gore Meček izdvaja dvije faze deformacije, prva interpretirana faza vezana je uz transtenziju vidljivu u donjopanonskim laporima, a odmah nakon toga slijedi kompresijska faza s najvećom osi naprezanja orijentiranom SSZ-JJI; navedena je prema autorici izazvala reversno rasjedanje, boranje te rotaciju blokova prethodno istaloženih gornjomiocenskih lapora te stvaranje diskordancije unutar gornjomiocenskih pijesaka
- Magyar (2021) opisuje kronostratigrafski okvir gornjomiocenskih i pliocenskih (panonskih, prema Magyar i dr. 1999a) naslaga PBS-a, a rezultate seizmostratigrafskih, sedimentoloških, paleontoloških i određivanja starosti jezerskih naslaga dovodi u vezu s tipičnom klinoformnom geometrijom sedimentne ispune; autor prikazuje okoliše, faunu mekušaca i dinoflagelata koji su istovremeno nastanjivali različite dijelove Panonskog jezera te zaključuje da su kronostratigrafske površine u istraživanim naslagama, odnosno klinoforme, dobro vidljive na seizmičkim profilima, ali ne i na bušotinskim karotažnim podacima; prema tome, autor upozorava da se takve kronostratigrafske površine ne miješa s drugim glavnim litološkim i biostratigrafskim promjenama koje su prisutne između pojedinačnih klinoformi (klinoteme) na dijakronoj granici šelfa
- Kovács i dr. (2021) koristeći metode numeričkog stratigrafskog modeliranja simuliraju nastanak gornjomiocenske i pliocenske ispune Dravske depresije, a na osnovi analiza zaključuju da je jezero imalo česte promjene u razini vode, koje su ovisile o klimatskim uvjetima, dok je uzrok nastanka gornjomiocensko-

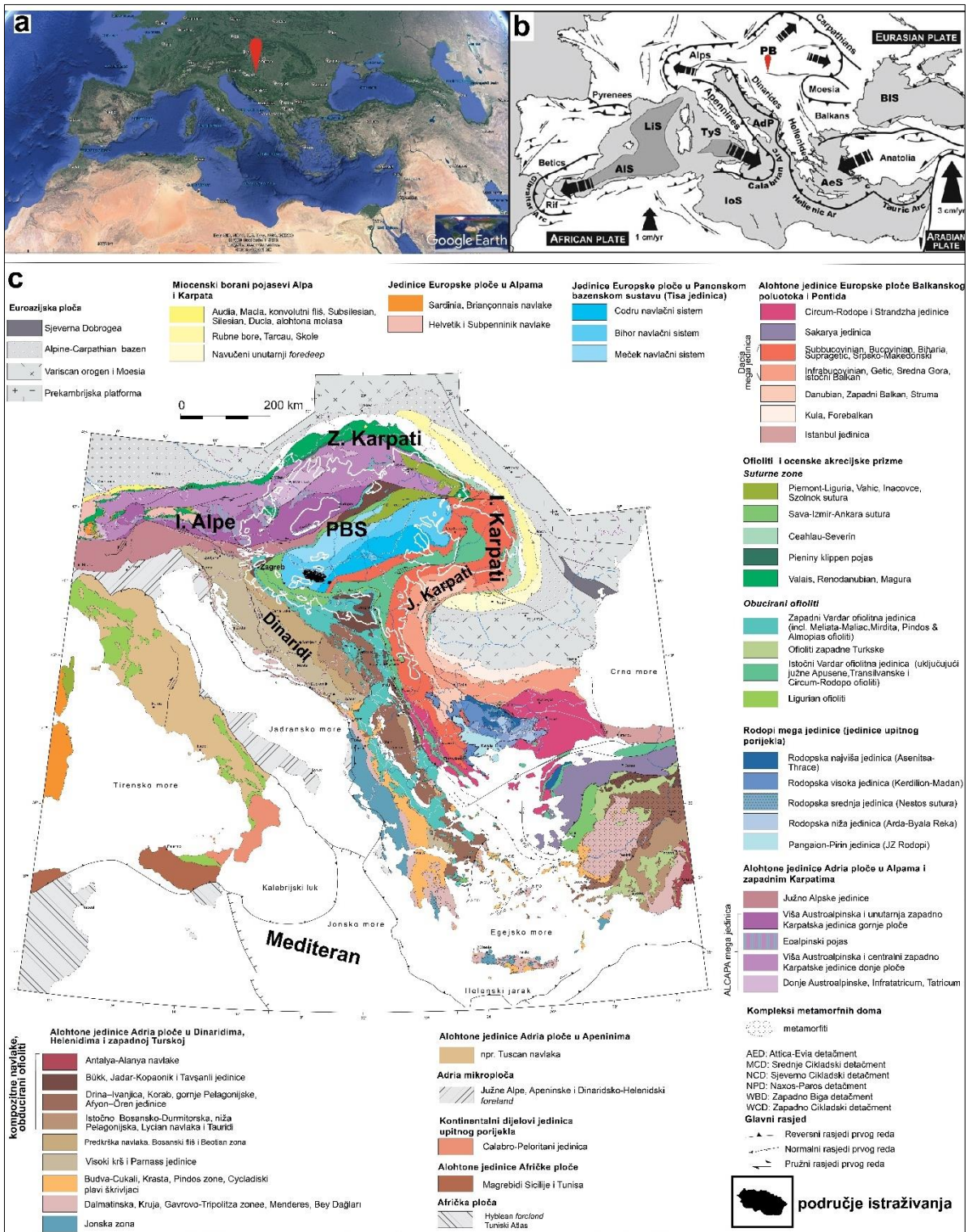
pliocenske diskordancije dominantno vezan uz utjecaj diferencijalne kompaksije starijih naslaga

- Radivojević i dr. (2022) na temelju interpretacije bušotinskih i seizmičkih podataka opisuju lokalno zapunjavanje Panonskog jezera na njegovim rubnim JI područjima, uz Karpate; rezultati analiza prikazuju zapunjavanje i migraciju padine u smjeru sjeverozapada, prema dubljem prostoru jezera
- Borzi i dr. (2022) korištenjem 3D seizmičkih i bušotinskih podataka opisuju evoluciju delte paleo-Dunava u Bečkom bazenu.

4. GEOLOŠKI RAZVOJ I GRAĐA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

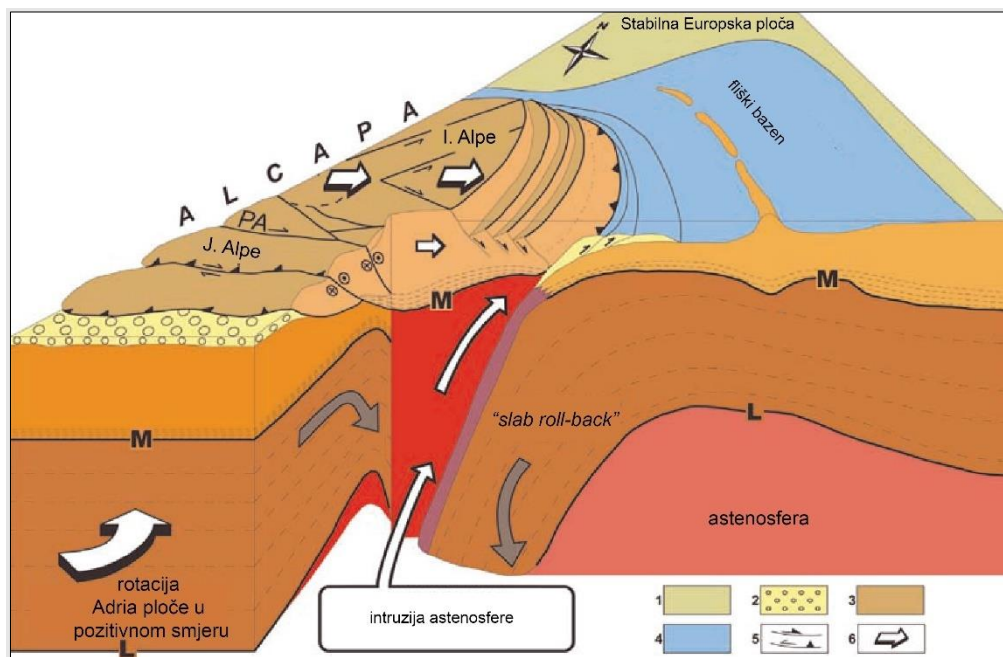
4.1 Regionalna geološka evolucija prostora PBS-a

Panonski bazenski sustav jedan je od niza kenozojskih zalučnih bazena Karpatsko-Alpsko-Mediterranske regije (Wortel i Spakman, 2000; Horváth i dr., 2015; Slika 4). Njegov razvoj posljedica je više prethodnih geodinamskih procesa, amalgamacije mikroploča Tisa i Dacia tijekom krede i zatvaranja oceana Tethys subdukcijskim i kolizijskim procesima. Tijekom krede i paleogena, spomenuti procesi uvjetovali su orogenezu Alpa i Dinarida, kao i povezane procese geneze suturnih zona na kontaktima ploča (Schmid i dr., 2020; Ustaszewski i dr., 2010).



Slika 4. **a**) geografska pozicija područja istraživanja (<https://www.google.com/intl/hr/earth/>); **b**) geografski položaj kenozojskih zalučnih bazena Karpatsko-Alpsko-Mediterranske regije (Horváth i dr., 2006); **c**) geotektonski položaj PBS-a i istočnog dijela Dravske depresije.

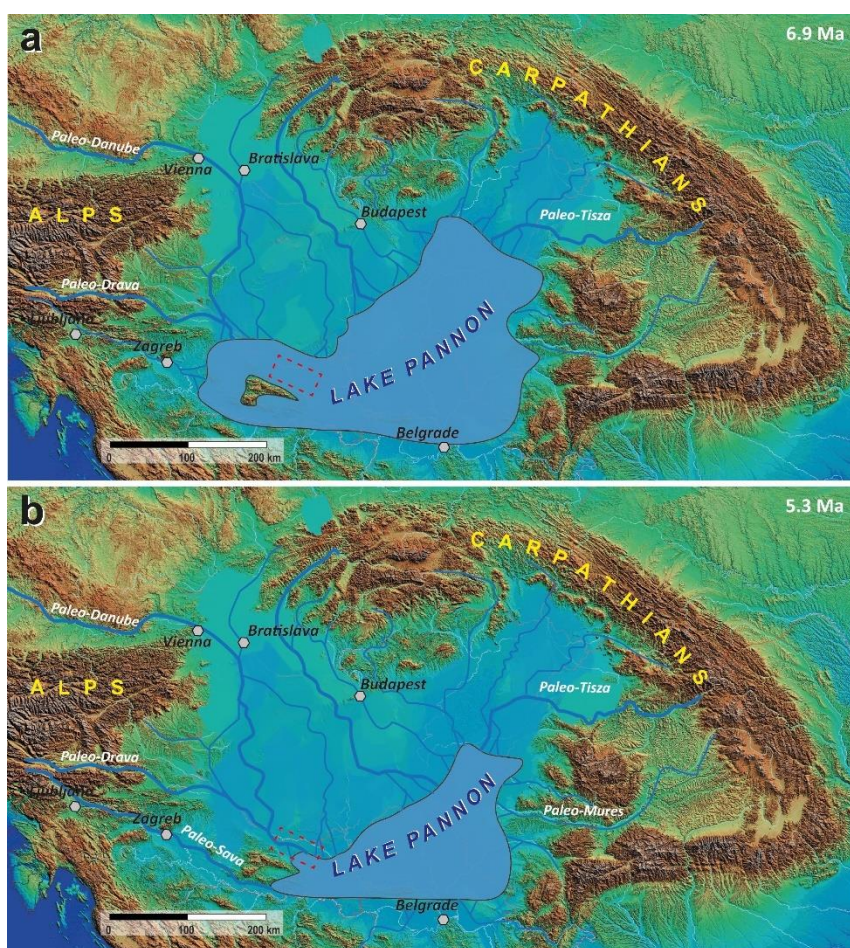
Razvoj neogenskog PBS-a započinje inicijacijom ekstenzijskog režima naprezanja na početku miocena, do kojeg dolazi zbog interakcije regionalnih geodinamskih procesa (Slika 5). Prvi proces je subdukcija Europske ploče pod Karpate, uz istovremeno povlačenje (engl. *slab roll-back*) subducirajuće ploče u smjeru istoka (Horváth i dr., 2006). Drugi važan proces je kolizija Jadranske i Europske mikroploče, što dovodi do lateralne ekstruzije istočnih Alpa tijekom oligocena (Rosenberg i dr., 2018).



Slika 5. Prikaz otvaranja PBS-a lateralnom ekstruzijom i „slab-roll-back“ procesom; 1. Europsko predgorje; 2. predgorje (molasa) i „foredeep“ (Horváth i dr., 2006) 3. Alpsko-Karpatiski navlačni sustav; 4. Karpatiski flišni bazen; 5. rasjedi; 6. rasjedno pomicanje paralelno orogenu i ekstruzija stijena Panonskog bazenskog sustava.

Početak miocena započinje tektonski dijakrona evolucija niza bazena, različitih prostornih i vremenskih trajanja sinriftne, postriftne te dvije faze tektonske inverzije bazena (Balázs i dr., 2016). Glavni mehanizam otvaranja bazena vezan je uz asimetrični tip ekstenzije (Wernicke, 1985) i to reološki oslabljenim zonama, tj. ekstenzijskim detačmentima (engl. *extensional detachment*) (Balázs i dr., 2016, 2022; Fodor i dr., 2021). Jedan od primjera takvih zona je Savska suturna zona (Ustaszewski i dr., 2010). Tako se za vrijeme početka sinriftne faze otvara niz bazena različitih veličina, praćenih heterogenim vulkanizmom i jezerskim tipom sedimentacije. Istovremeno napreduje i marinska transgresija Centralnog Paratethysa, ali vjerojatno neujednačeno u svim dijelovima PBS-a (Brek i dr., 2020). Međutim, tijekom srednjeg miocena (baden), cijeli prostor je zasigurno dio prostranog mora Paratethys (Kováč i

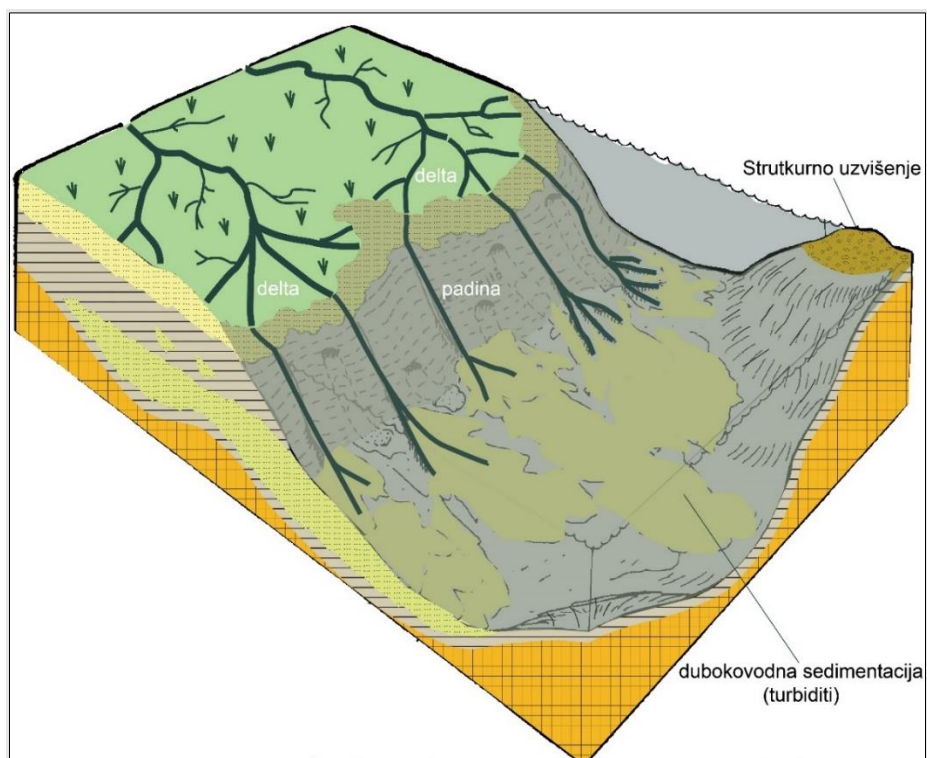
dr., 2007). Istovremeno se depresije zapunjavaju različitim tipovima sedimentnih i magmatskih stijena, kao odraz heterogenosti okoliša i aktivnosti pojedinih lokalnih normalnih rasjeda i transkurentnih rasjednih sustava (Rukavina, 2021). Zatim, krajem srednjeg miocena, dolazi do razvoja kompresijskog režima naprezanja i posljedično prve inverzije PBS-a (Horváth i dr., 2006; Tomljenović i Csontos, 2001). Bazen u mnogim dijelovima biva bez donosa sedimenta (engl. *starved basin*), a marinski okoliši se sažimaju te postupno prelaze u brakične (Pavelić, 2001; Magyar, 1999a).



Slika 6. Paleogeografija Panonskog jezera s mrežom riječnih sustava tijekom **a)** kasnog miocena i **b)** pliocena (Sztanó i dr., 2020). Područje istraživanja okvirno je naznačeno crvenim, isprekidanim linijama pravokutnog oblika.

Nakon toga, tijekom mlađeg miocena, slijedi glavna postriftna faza vezana uz regionalnu subsidenciju bazena, uzrokovanu hlađenjem litosfere (Horváth i dr., 2015). Stvoreni akomodacijski prostor pretvara se u prostrano bočato Panonsko jezero s raznovrsnim okolišima taloženja (Slika 6 i 7; Geary i dr., 2000). Zapunjavanje prostora vrši se postupno, sedimentnim materijalom erodiranim iz područja aktivnih orogena u zaleđu, Istočnih Alpa i Karpata

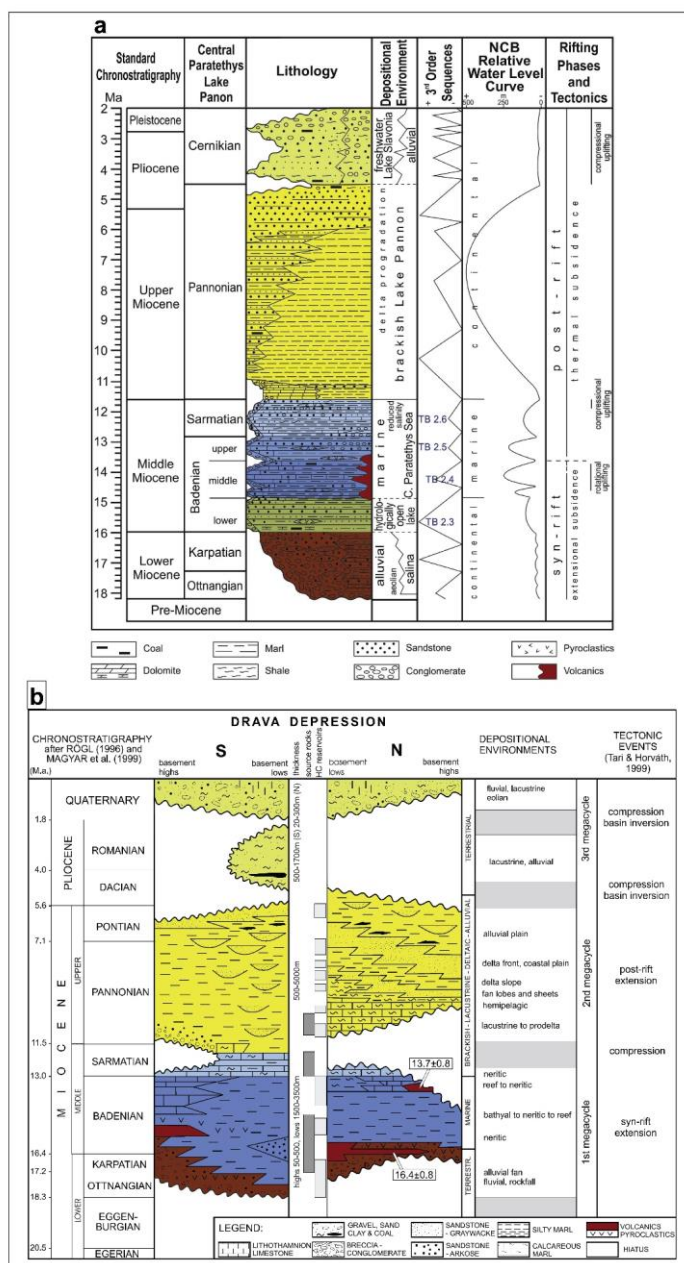
(Kovačić i Grizelj, 2006). Razvija se nekoliko velikih riječnih sustava (prethodnici Drave i Dunava), koji transportiraju vrlo velike količine materijala iz smjera sjeverozapada, sjevera i sjeveroistoka u smjeru juga i jugoistoka (Slika 6, Magyar i dr., 2013). Krajem mlađeg miocena i početkom pliocena veći dio PBS-a je zapunjen te u njima vladaju aluvijalni uvjeti taloženja, dok u krajnjem jugoistočnom dijelu preostaju ostaci Panonskog jezera (istočna Slavonija, Vojvodina i Srijem). U isto vrijeme počinje druga tektonska inverzija bazena, pod vjerojatnim utjecajem negativne rotacije Jadranske mikroploče (Bada i dr., 2007). Takav režim naprezanja je uzrokovao reaktivaciju starijih struktura, razvijanje pružnih rasjeda te pozitivnu i negativnu tektonsku inverziju, što je omogućilo istovremeno izdizanje i aktivnu subsidenciju dijelova regionalnih strukturnih jedinica (Saftić i dr., 2003; Jarosinski i dr., 2011). U tim uvjetima razvijaju se lokalni, manji sedimentacijski bazeni koji su na prostoru Savske depresije prekriveni jezerom Slavonija (Mandić i dr., 2015), odnosno nestaje cjelovito Panonsko jezero (Magyar i dr., 2013). Nabrojani uvjeti su uz još uvijek aktivnu tektonsku inverziju, jedan od glavnih faktora oblikovanja današnje geomorfologije PBS-a (Matoš i dr., 2016, Baize i dr., 2022; Henriquet i dr., 2022).



Slika 7. Taložni model Panonskog jezera i vezanih riječnih sustava na prostoru Mađarske (prema Juhász, 1992).

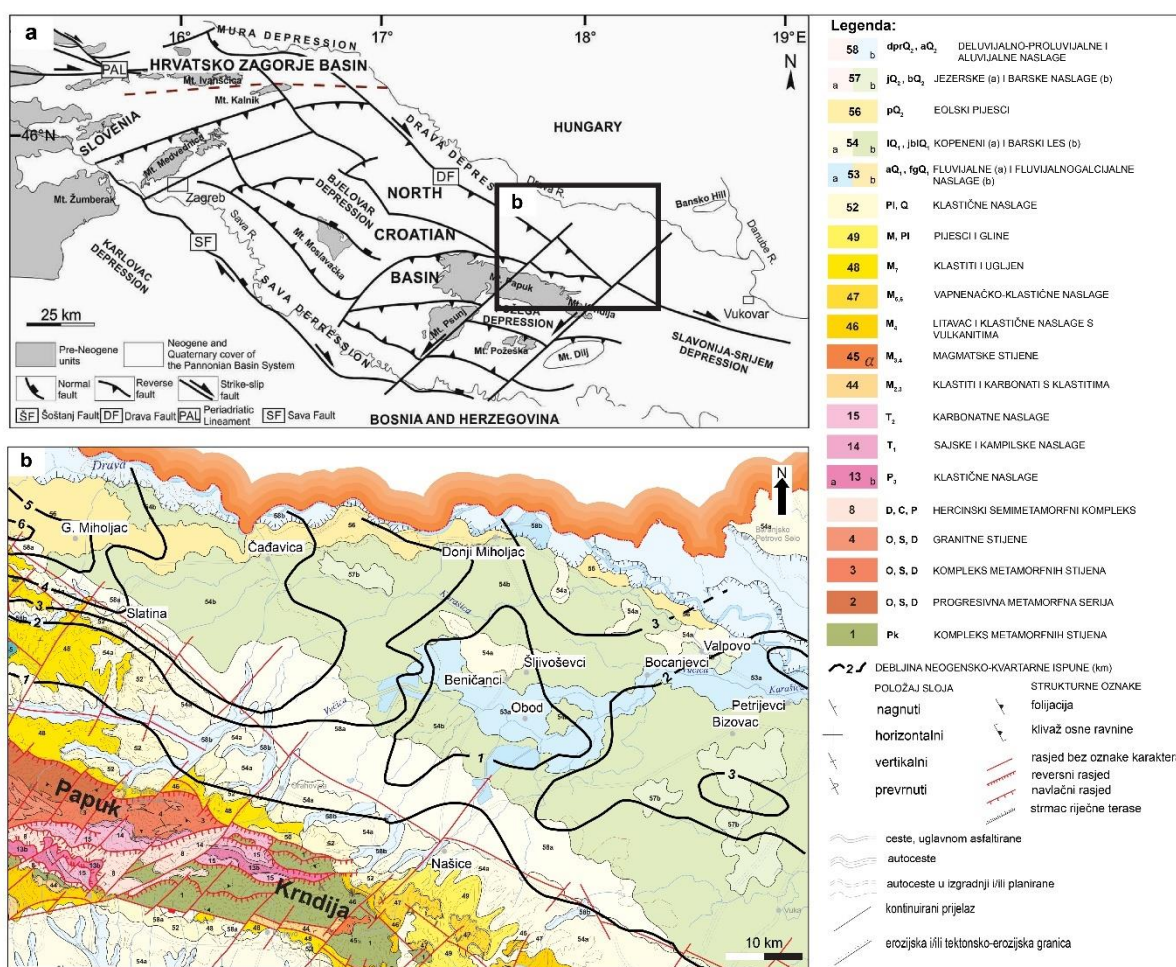
4.2 Geološka građa istraživanog područja

U istočnom dijelu Dravske depresije se s obzirom na tektonostratigrafski razvoj mogu načelno razdvojiti dvije velike i složene stratigrafske jedinice, podloga neogenskih stijena te neogenska i kvartarna bazenska ispuna (Slika 8 i 9). Geotektonski gledano, stijene podloge bazena pripadaju europskom kontinentalnom bloku Tisija (Schmid i dr., 2008). Na njih diskordantno naliježu neogenske i kvartarne stijene Sjevernohrvatskog bazena (Slika 9a i 10a).



Slika 8. **a**) Geološki stup Sjevernohrvatskog bazena (SHB) (prema Pavelić i Kovačić, 2018); **b**) Geološki stup Dravske depresije kao dijela SHB (prema Saftić i dr., 2003).

Sinriftnom razvoju pripadaju naslage od starijeg miocena do srednjeg badena, dok sve mlađe naslage pripadaju postriftnom razvoju (Pavelić i Kovačić, 2018). Opisani slijed naslaga sastoji se od tri transgresivno-regresivna megaciklusa drugog reda (Slika 8b; Saftić i dr., 2003). Izdanci stijena u istraživanom području su rijetki, većinom prekriveni kvartarnim sedimentima, ponajviše u središnjem dijelu depresije (Slika 9b). Dubina do podloge, tj. debljina neogenske i kvartarne ispune bazena najveća je u zapadnom dijelu (do 7 km), a smanjuje se na približno 1 km u području Beničanaca kao i rubovima depresije, uz lokalne varijacije na spuštenim strukturama. Debljina se ponovno povećava prema istoku, s maksimumima od 3 km južno i sjeverno od Bizovca (Slika 9b).



Slika 9. **a)** položaj istočnog dijela Dravske depresije kao dijela taložnog prostora SHB-a u jugozapadnom, rubnom dijelu PBS-a (prema Pavelić i Kovačić, 2018); **b)** površinska geološka građa istraživanog područja i okolice te debljina neogensko-kvartarne ispune (prema Hrvatski geološki institut, 2009; Saftić i dr., 2003).

Bazni, sinriftni dio bazenske ispune, odražava morfologiju paleoreljefa i tektonske aktivnosti starijemiocenskih rasjeda, srednji sinriftni ima izražene nasljedne i kompakcijske strukture, dok geometrija najvišeg nivoa sadrži sve opisane značajke i odraze najmlađe kompresijske faze (Hernitz, 1983). Najizraženije strukture u istraživanom području su antiklinale Beničanci, Bizovac i Donji Miholjac te sinklinale Petrijevci, Šljivoševci i Bocanjevci u središnjem dijelu depresije (Hernitz, 1983). Navedene strukture su vjerojatno rasjednute pružnim rasjedima „radijalna tektonska kretanja“, koji presijecaju starije rasjede dinarskog pružanja (Hernitz, 1983). Ti su rasjedi posljedica najmlađe tektonske faze inverzije bazena, pod čijim utjecajem je reaktivirana zona Dravskog rasjeda (Hernitz, 1983; Prelogović i dr., 1998). Najmlađa kompresijska faza zapaža se na morfologiji u vidu izdignutih dijelova terena, erozijskim brazdama i predisponiranošću geometrije meandara tekućica, ali i na dubinskoj građi: rasjednutost i utonjavanje Bizovačke strukture, blokovsko rasjedanje, kao i izdizanje Papuka, Krndije i Vilanjske planine (Hernitz, 1983; Sebe i dr., 2015). Prema rezultatima najnovijih istraživanja na području Papuka i Krndije, izdizanje navedenih gora počelo je krajem mlađeg miocena (usmeno priopćenje Kovačić, 2019).

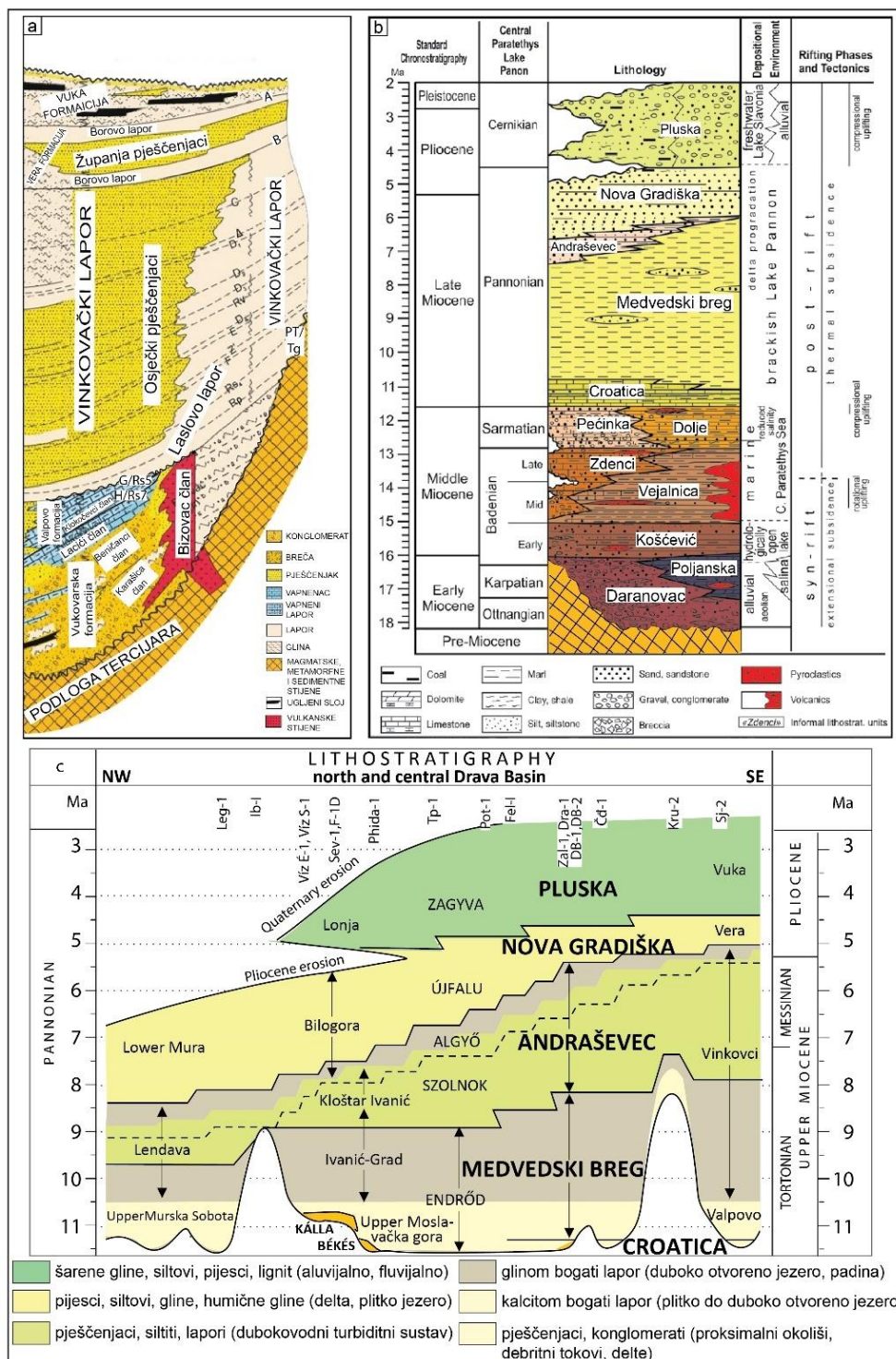
Podloga neogena sastoji se od različitih vrsta stijena i starosti, od paleozojskih pretežno magmatskih i metamorfnih stijena do sedimentnih stijena mezozojske i kenozojske starosti (Horvat i dr., 2018). Navedene stijene izdanjuju na površini u području gora Papuk i Krndija (Korolija i Jamičić, 1989; Jamičić i dr., 1989). Prema analizama podataka s površine, Jamičić (1988) razdvaja navedene stijene na tri kompleksa: Psunj-Krndija, Papučki kompleks te Radlovački kompleks, koji se međusobno razlikuju po vremenima sedimentacije i fazama metamorfizma (Horvat i dr., 2018). Opisane stijene izrazito su tektonski deformirane, odnosno borane (Jamičić i dr., 1989). Deformacije su posljedica najmanje dvije kompresijske faze, mlađe kredne do paleogenske (D1) te pliocenske i kvartarne (D2; Vukovski, 2019). Takva obilježja stijena zapažena i interpretirana na površinskim podacima, vjerojatno su posljedica izrazito zamršenog razvoja geološke građe podloge PBS-a u istraživanom području (Cvetković i dr., 2019). Stijene predneogenske podloge nabušene su i bušotinama unutar istraživanog područja, a pripadaju svim trima kompleksima utvrđenim na površini (Pamić, 1995).

Neogenski slijed stijena je u transgresivnom, a ponegdje i rasjednom kontaktu s temeljnim gorjem (Saftić i dr., 2003; Jamičić, 1989).

Na karotažnim podacima prepoznatljiva je markantna diskordancija na kontaktu temeljnog gorja (predneogenska podloga) i neogenskog slijeda, a naziva se ovisno o tipu kontakta: Tg (temeljno gorje - predneogenske stijene su magmatske ili metamorfne) ili PTc (podloga tercijska - u podlozi neogena su sedimentne stijene). Najdostupniji pregledni radovi o građi naslaga u dubini depresija su dva koje su objavili Šimon (1973) i Hernitz (1983). U središnjem dijelu Dravske depresije, donjomiocenske sinriftne stijene su u dubinskoj stratigrafskoj nomenklaturi izdvojene kao formacija Vukovar i manjim dijelom formacija Valpovo (Hernitz, 1983; Saftić i dr., 2003; Malvić i Cvetković, 2013). U bazi istočnog dijela Dravske depresije Hernitz (1983) opisuje član Bizovac koji se sastoji od vulkanita, dok na njega naliježu krupnozrnati klastiti, kvarcne i vapnene breče, lapori i pjeskoviti kalkareniti člana Karašica, zatim slijedi član Beničanci izgrađen od dolomitno-vapnenih breča te litotamijski vapnenci člana Lacić i sivi vapnoviti lapori člana Klokočevci. Na njih naliježu vapnene naslage sarmata i starijeg panona, opisane kao formacija Valpovo (Kranjec i dr., 1976). Prosječne debljine formacije Valpovo su oko 50 m, s maksimalnim debljinama u dubokim dijelovima depresije južno od Beničanaca (Hernitz, 1983). Saftić i dr. (2003) u sinriftni, starije- i srednjomiocenski slijed istočnog dijela Dravske depresije ubrajaju samo formaciju Vukovar. Za usporedbu, u zapadnom dijelu depresije izdvajaju samo član Mosti, sastavljen od krupnozrnatih klastita (breča i konglomerata) i mjestimično ugljena u baznom dijelu, zatim pješčenjaka i lapora proslojenih s vulkanitima članova Bizovac i Čeralije i u vrhu vapnovitim laporima koji su mjestimično proslojeni s pješčenjacima.

Opisani slijed je usporediv s utvrđenim naslagama unutar bušotine Bizovac-6, gdje je Hernitz (1983) opisao opetovano ponavljanje više generacija efuziva unutar sedimentnog slijeda. Sličan slijed naslaga unutar člana Mosti opisuje i Pavelić (1987) na bušotini Števkovica-11. Takvi podaci i nomenklatura o dubinskoj građi istraživanog područja mogu se dovesti u vezu s površinski utvrđenim podacima. Naime, na površini je isto tako opisan slijed donjo- i srednjomiocenskih naslaga (Kovačić i Pavelić, 2017; Filjak i dr., 2016, Halamić, 2022). Razvoj generalno započinje aluvijalnim i salina tipovima otnaških i karpatskih naslaga, točnije konglomeratima i brečama (formacija Daranovac) te dolomitima, pješčenjacima i piroklastitima formacije Poljanska (Kovačić i Pavelić, 2017; Halamić i Belak, 2022). Na njih naliježu naslage hidrološki otvorenog jezera (pješčenjaci, lapori, piroklastiti), vjerojatno donjeg badena (Kovačić i Pavelić, 2017; Halamić i Belak, 2022). Zatim slijede marinske plitkovodne naslage, biokalkareniti i konglomerati formacije Zdenci te dubokovodni lapori s proslojcima

pješčenjaka i piroklastita s vulkanitima formacije Vejalnica (Kovačić i Pavelić, 2017; Halamić i Belak, 2022). Upravo unutar opisanog slijeda naslaga, točnije na granici srednji-mlađi baden, nalazi se i granica sinriftnih i postriftnih naslaga (Pavelić i Kovačić, 2018). Vršni dio srednjeg miocena, točnije naslage sarmata, izgrađuju već opisane naslage, kalkareniti, šljunci i djelomično vapnenci formacije Pećinka te tanko uslojeni lapori s mjestimičnim proslojcima piroklastita formacije Dolje (Kovačić i Pavelić, 2017; Halamić i Belak, 2022).



Slika 10. Neformalne litostratigrfske jedinice ranga formacija i članova: **a)** litostratigrfska raščlamba neogenskih i kvartarnih naslaga na osnovi dubinskih podataka (prema Šimon, 1973; Saftić i dr., 2003; <https://www.azu.hr/>); **b)** litostratigrfska raščlamba neogenskih i kvartarnih naslaga na osnovi površinskih podataka (prema Kovačić i Pavelić, 2017; Sebe i dr. 2020); **c)** litostratigrfska podjela gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga područja Dravske depresije te usporedba s jedinicama određenim na temelju dubinskih podataka (Sebe i dr. 2020).

Prema bušotinskim podacima vapnene naslage gornjeg dijela sarmata i baznog dijela panona pripadaju već spomenutoj formaciji Valpovo (Slika 10; Malvić i Cvetković, 2013). Navedena je od naslaga u podini odvojena na temelju fizikalno-litološkog principa, točnije korelacijskim markerom H/Rs7 (Šimon, 1973), dok je od naslaga u krovini odvojena korelacijskim markerom G/Rs5. Debljina sarmatskih naslaga je reducirana, vjerojatno kao posljedica prve tektonske inverzije šireg područja PBS-a (Tomljenović i Csontos, 2001, Csontos i dr., 2002). Druga vjerojatna posljedica tog kompresijskog događaja je deformacija naslaga te stvaranje diskordancije, koja se očituje u vidu transgresivnog nalijeganja panonskih na sarmatske naslage (Sebe, 2021; Saftić i dr., 2003). Međutim, na samom rubu istraživanog područja, u okolici Našica, utvrđen je i kontinuirani prijelaz iz sarmatskih horizontalno uslojenih lapora u panonske horizontalno uslojene vapnenice i masivne lapore (Pavelić i dr., 2003). Isti razvoj, nalijeganja tanko uslojenih vapnenaca s proslojcima lapora, opisan je i na širem prostoru Sjevernohrvatskog bazena (Pavelić i Kovačić, 2018). Kontinuirani prijelaz iz Vukovarske u Valpovačku i Vinkovačku formaciju na većem dijelu naftnog polja Beničanci opisuju i Šimon i Batušić (1974), uz naznaku da je utvrđena i diskordancija na bušotini Beničanci-6 (vapneno dolomitne breče člana Beničanci na koje diskordantno naliježu lapori člana Laslovo). Bitno je napomenuti da Vrbanac (2001) utvrđuje većinski diskordantni odnos naslaga sarmata i panona u Savskoj depresiji. S obzirom na to, Vrbanac (2001) predlaže korištenje oznake M7 ukoliko je kontakt erozijski, a Rs7 za kontinuirani prijelaz. Dakle, priroda kontakta između srednjomiocenskih i gornjomiocenskih naslaga istraživanog područja vjerojatno je prostorno varijabilna, ovisna o paleogeografskim uvjetima i tektonici. Generalno su naslage gornjeg miocena na širem prostoru HPBS-a podijeljene u četiri akrozone: Croatica, Banatica, Abichi i Rhomboidea naslage (Šikić i dr., 1979). Prema dubinsko geološkim podacima, naslage gornjeg miocena istočnog dijela Dravske depresije izdvojene su u formaciju Vinkovci i formaciju Vera (Malvić i Cvetković, 2013), čije debljine dosežu i preko 1000 m na području Oboda i Beničanaca (Hernitz, 1983). Bazni dio formacije Vinkovci dominantno je izgrađen od sivih vapnovito-glinovitih lapora koji su izdvojeni kao član Laslovo lapor (Hernitz 1983; Šimon 1973). Još 1973. godine Šimon na litostratigrafskom stupu istočnog dijela Dravske depresije, između formacije Valpovo u podini i Vinkovci u krovini stavlja dvojaki karakter, diskordantni i kontinuirani. Takvi podaci su u skladu s već opisanim donjopanonskim vapnencima s proslojcima lapora, utvrđenim na izdancima Papuka i Krndije (Jamičić, 1989), izdvojenim kao formacija Croatica (Kovačić i Pavelić, 2017). Bušotinskim metodama utvrđene

debljine člana Laslovo lapora kreću se od 50 do 100 m, ali i više od 100 m u najdubljim dijelovima depresije (Hernitz, 1983). Na temelju dubinskogeoloških podataka na Laslovo lapor kontinuirano naliježu Osječki pješčenjaci (Hernitz, 1983) te njihov lateralni ekvivalent Vinkovački lapor, formacije Vinkovci (Šimon, 1973). Prema navodima iz disertacije Z. Hernitza (1983) pješčano-laporoviti razvoj cijele formacije Vinkovci prisutan je samo na istraživanom području, dok istočnije od Osijeka ne postoji. Osječki pješčenjaci su uglavnom svijetlosivih nijansi, čvrsto i slabo vezani (Hernitz, 1983). Lateralni ekvivalent Vinkovački lapor, Šimon (1973) smješta uz rubne dijelove depresije.

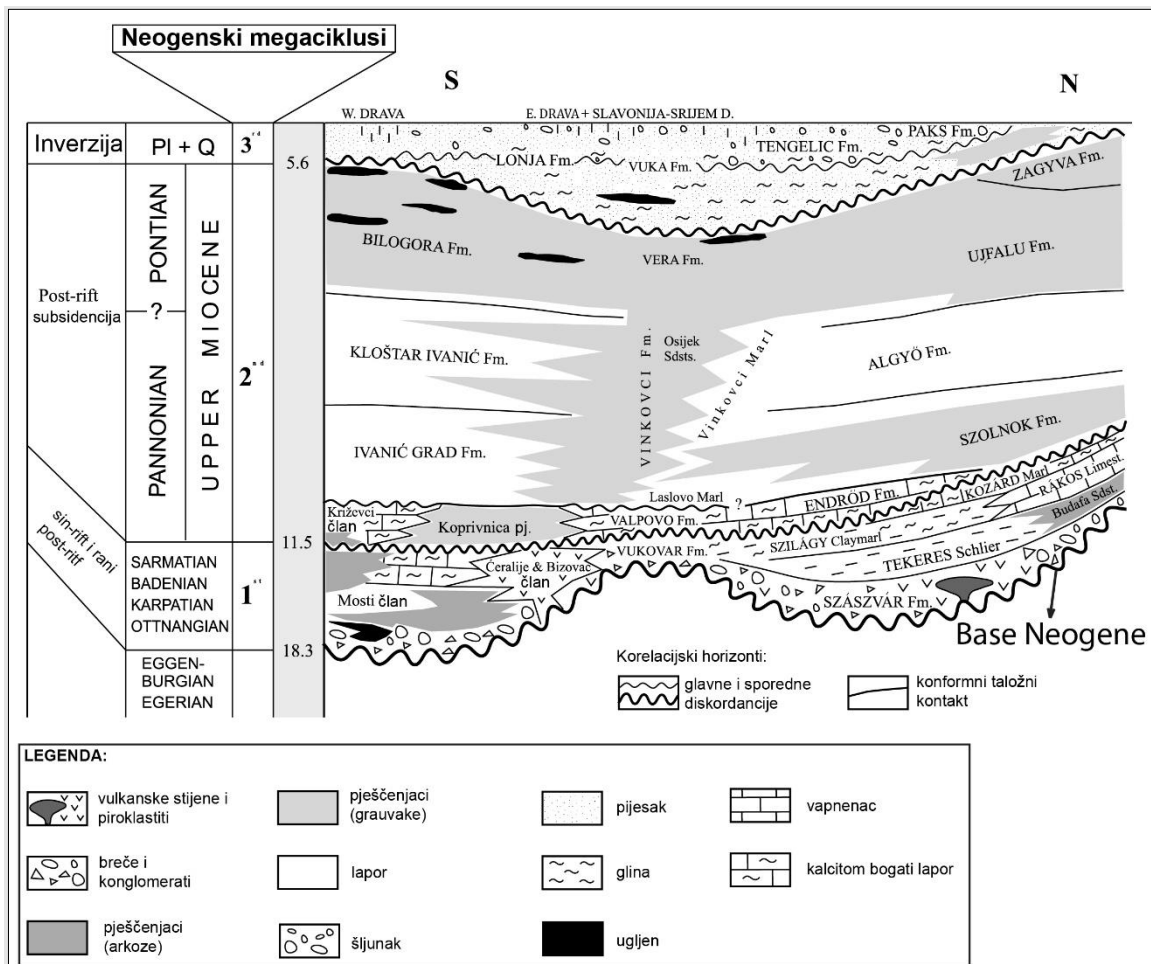
Navedena građa odgovara i površinski utvrđenim podacima na izdancima, uspoređenim i sistematiziranim na dubinskim podacima u studiji Sebe i dr. (2020). U baznom dijelu naslaga kasnog miocena dubokovodni masivni, tamni, glinoviti lapori s rijetkim ulošcima krupnijih klastita lokalnog karaktera, izdvojeni su kao formacija Medvedski breg s članovima Sveti Matej i Bačun (Kovačić, 2004; Kovačić i Pavelić, 2017; Sebe i dr., 2020). Vršni dio naslaga mlađeg miocena u istočnom dijelu Dravske depresije je na temelju dubinsko geoloških podataka od strane Šimona (1973) izdvojen kao formacija Vera. Granicu prema naslagama u podini čine naslage lapora, koje se prepoznaju kao EK-marker B, a izdvojene su kao Borovo lapor (Šimon, 1973). Na osnovi zaključka iz Hernitz (1983), jedinica Borovo ima vrlo male debljine u predjelu Našica i Donjeg Miholjca, svega desetak metara. Ista situacija opisana je i u području Beničanaca (Šimon i Batušić, 1974). Na Borovo lapor kontinuirano naliježu prvo Županjski pješčenjaci i zatim član Jarmina kao dijelovi formacije Vera (Malvić i Cvetković, 2013). Stratigrafska pripadnost ovih dviju jedinica u prostoru istraživanja određena je kao mlađi pont (*sensu* Stevanović, 1951), što prema današnjoj nomenklaturi pripada mlađem panonu (Slika 8c; Mandić i dr., 2015). Prema Hernitzu (1983), Županjski pješčenjaci formacije Vera ograničeni su na prostor uskog pojasa sjeverne uleknine, između Beničanaca, Bizovca i Valpova. Sličan razvoj prikazuje i Šimon (1973), gdje pješčenjački razvoj zauzima centar depresije, a prema rubovima dominantno prevladavaju lapori člana Borovo.

Izmjena lapora pijesaka i siltova opisana je na površini kao formacija Andraševac. Navedena formacija opisana je i na dubinskim podacima (Sebe i dr., 2020), a pripisuju se značajke okoliša dubokog dijela jezera te padine morfološkog šelfa i prodelte (Kovačić, 2004; Sebe i dr., 2020). Formaciji je u starijim studijama utvrđena mlađa pontska starost (prema Rögl, 1996) u području Slavonskih planina (Kovačić i Grizelj, 2006), dok je na temelju regionalne

seizmostratigrafske korelacije određena panonska starost (prema Hilgen i dr., 2012). Vršni dio formacije Vera zauzima već spomenuti član Jarmina (Slika 10). Ta jedinica je na prostoru istraživanja izgrađena od pretežito pješčenjaka i lapora, uz naznaku da je raspodjela dvije litologije izrazito nehomogena (Hernitz, 1983). Stratigrafska pripadnost je prema specifičnom fosilnom sadržaju, *Congeria rhomboidea* određena kao mlađi pont (*sensu* Stevanović, 1951). Član Jarmina vjerojatno odgovara površinski definiranoj formaciji Nova Gradiška (Slika 9b i c; Sebe i dr., 2020), prisutnoj na obodima Krndije i Papuka (Pavelić i dr., 2003). Formacija Nova Gradiška je karakteristična po već spomenutom fosilu *Congeria rhomboidea*, heterolitnog je facijesa (pijesak, siltovi, mjestimično ugljen), starosti mlađi panon i pliocen, a taložena je u okolišima čela delte i deltne ravnice (Kovačić, 2004; Sebe i dr., 2020). Važno je napomenuti da su opisane naslage mlađeg miocena taložene unutar Panonskog jezera (Magyar, 1999a,b) i većim dijelom su dijakronog karaktera (Saftić i dr., 2003; Pavelić i Kovačić, 2018; Sebe i dr., 2020; Kovács i dr. 2021). Prema dubinsko geološkim podacima, formacija Vera je od naslaga u krovini odvojena diskordancijom (Slika 11; Saftić i dr., 2003) ili je i ta granica dvojakog karaktera; kontinuitet u centralnom dijelu depresije i diskordancija u rubnim dijelovima depresije (Šimon, 1973; Sebe i dr. 2020). Na temelju bušotinskih podataka horizont koji odvaja spomenute naslage nazvan je A/ α' (Šimon, 1973). Valja napomenuti da u isto vrijeme, koncem panona i početkom pliocena počinje druga tektonska inverzija bazena (Tomljenović i Csontos, 2001), što neki autori dovode u vezu s nastankom ove prepoznatljive diskordancije na širem prostoru PBS-a (Magyar i Sztanó, 2008; Sebe i dr. 2020). Alternativno, Csató i dr. (2015) genezu diskordancije većinski interpretiraju kao naglo snižavanje razine vode u Panonskom jezeru, kao posljedicu šire MSC krize cijelog Mediteranskog područja.

Na opisani slijed stijena naliježu naslage formacije Vuka (Šimon, 1973). U centralnom dijelu depresije, na području Beničanaca, navedena jedinica doseže debljine i do 1000 m (Hernitz, 1983). Formacija Vuka pretežno se sastoji od glina, šljunaka, pijesaka i ugljena taloženih u fluvijalnim i potencijalno jezerskim uvjetima (Slika 11; Saftić i dr., 2003; Pavelić i Kovačić, 2018). Uslijed spomenute tektonske inverzije naslage formacije Vuka dovedene su na strukturno više pozicije u području Papuka i Krndije i ostalih Slavonskih planina (Jamičić, 1989; Pavelić i dr., 2003, Pavelić i Kovačić, 2018). Te naslage su na površini detaljno opisane i izdvojene kao formacija Cernik (Mandić i dr. 2015), a u najnovijem istraživanju dubinskih i površinskih podataka definiraju se kao formacija Pluska (Sebe i dr. 2020). Navedeni slijed sastoji se od pelita, pješčenjaka i šljunaka taloženih u fluvijalnim okolišima (Kovačić i Pavelić,

2017; Sebe i dr., 2020). Najplići dio naslaga taložen je tijekom kvartara, a sastoji se od aluvijalnih i eolskih sedimenata (Hećimović, 1984), maksimalnih debljina i do 400 m u području između Beničanaca i Čađavice (Prelogović i Velić, 1992).

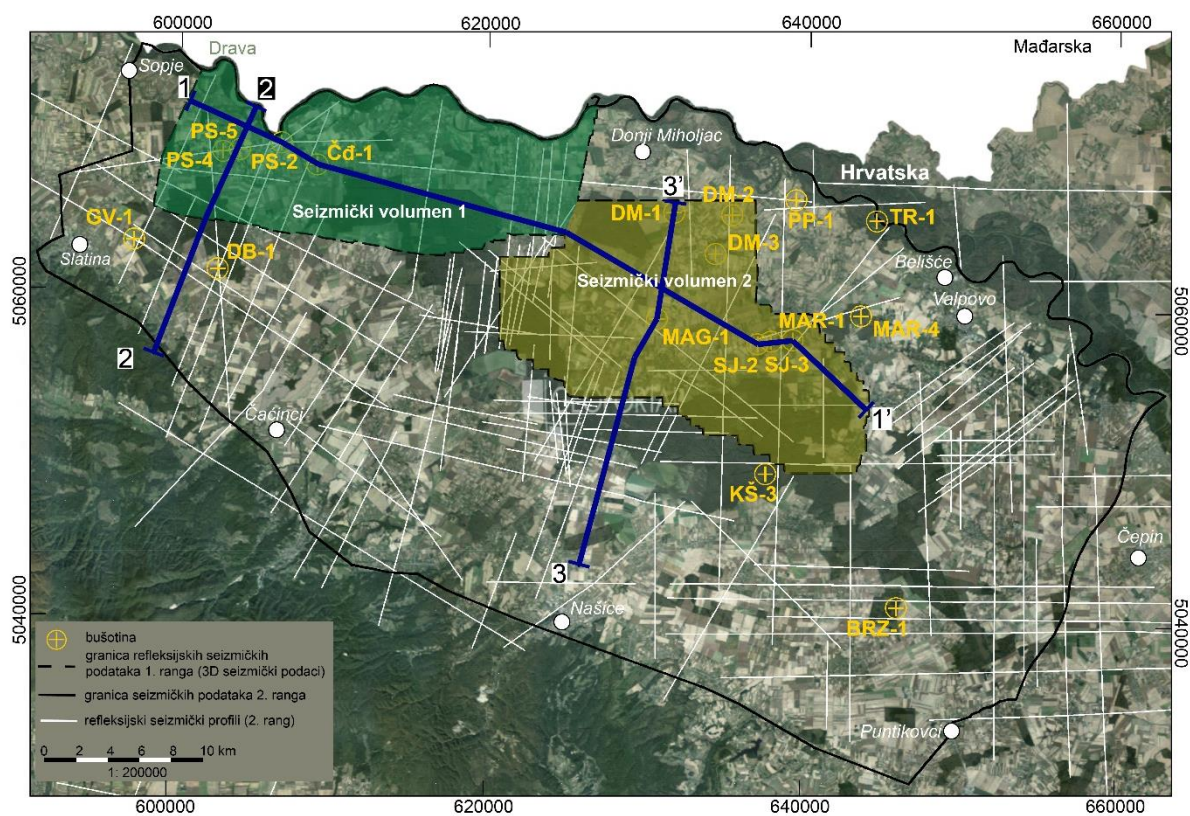


Slika 11. Shematski profil s dubinskim litostratigrafskim jedinicama i prikazom tri neogenska megaciklusa sedimentacije (prema Saftić i dr., 2003).

5. PODACI I METODE ISTRAŽIVANJA

5.1 PODACI

Analiza dubinske geološke građe temelji se na interpretaciji rezultata mjerenja refleksijske seizmike i njihovoj integraciji s rezultatima analiza podataka iz dubokih istraživačkih bušotina (Slika 12) koji su korišteni uz odobrenje Agencije za ugljikovodike (AZU <https://www.azu.hr/>). Tu se prvenstveno misli na dostupne podatke geofizičkih mjerenja u bušotinama, geološke zapise iz krhotina isplake te raznovrsne geološke analize jezgri. Navedene jezgre su sedimentološki opisane, a na uzorcima odabranih jezgri iz bušotina provedene su nove analize određivanja apsolutne starosti, palinološke i mikropaleontološke analize (odredbe ostrakoda).



Slika 12. Područje istraživanja i korišteni podaci (plavom bojom su označeni kompozitni profili 1-1', 2-2' i 3-3'); Izvor digitalne ortofoto snimke DGU, <https://geoportal.dgu.hr/services/hok/wms>).

5.1.1 Refleksijska seizmika

Za potrebe istraživanja korištena su dva seizmička volumena i refleksijski seizmički profili (Slika 12). Seizmički volumeni (3D seizmički podaci) su na temelju seizmičke rezolucije, odnosno kvaliteti svrstani u 1. rang podataka (Slika 12). Navedeni zauzimaju površinu od oko 600 km². Ostali 2D seizmički podaci čine 2. rang podataka niže kvalitete.

Seizmički volumen 1 snimljen je spektrom frekvencija od 8 do 90 Hz, a format podataka je SEG-Y obrnutog polariteta (SEG - *Society of Exploration Geophysicist*). Drugi seizmički volumen (Seizmički volumen 2) smješten je istočnije, u centralnom dijelu depresije. Snimljen je u spektru frekvencija od 8 do 20 Hz te je format podataka također SEG-Y, obrnuti polaritet. S obzirom da su oba seizmička volumena prikazana na jednak način, jedina razlika je rezolucija snimanja, što je uzrokovalo samo manje, rješive poteškoće tijekom regionalnog kartiranja i korelacije. Naime, navedeni 3D seizmički podaci preklapaju se na području jugozapadno od grada Donji Miholjac, a praćeni refleksi prepoznatljivi su na oba volumena.

Drugi tip korištenih podataka su seizmički refleksijski profili. Profili se većinom nalaze izvan područja 3D seizmičkih podataka i regionalnog su karaktera, dok neki prelaze i preko navedenih 3D seizmičkih podataka (Slika 12). Točne parametre njihove izvorne geometrije snimanja nije moguće odrediti s obzirom da su podaci ustupljeni na korištenje bez izvornih, sirovih neprocesuiranih podataka i izvještaja o njihovoj obradi. Bitno je napomenuti i da kod svih korištenih seizmičkih podataka, crvene boje amplitude označavaju povećanje, a plave smanjenje akustične impedancije.

5.1.2 Bušotinski geofizički i geološki podaci

Korišteni bušotinski podaci mogu se podijeliti na geofizičke (karotažna mjerenja) i geološke. U ovom istraživanju su od geofizičkih podataka prvenstveno korištena karotažna mjerenja spontanog potencijala (SP), prividne električne otpornosti (Ra) i prirodne radioaktivnosti (GR). Uz to, gdje je to bilo moguće, korišteni su i podaci karotaže gustoće (DEN), zvučne karotaže (AC) i neutronske karotaže (CN). Geološki podaci sadrže podatke o utvrđenom litološkom sastavu krhotina sa sita i jezgri, fosilnom sadržaju te njihovim paleontološkim i sedimentološkim analizama. Takvi su podaci i interpretacije, uz upotrebu karotažnih, sažeti u obliku završnih izvještaja svake istraživačke bušotine. U završnim

izvještajima su korištene različite stratigrafske jedinice, od litostratigrafskih iz zapadne i istočne Dravske depresije pa do kronostratigrafskih. Prema tome, izgled završnih izvještaja je različit, a uzrok nehomogenosti stratigrafskih podataka i izgleda izvještaja je veliki vremenski raspon starosti podataka, od početka istraživanja depresije tijekom 1960-ih sve do najnovijih podataka iz 2009. godine. Uz to, kao ulazni podaci su korištene i neobjavljene studije (Avanić i dr., 1995). Takvi podaci su ponajprije bili bitni zbog određivanja položaja granice naslaga sarmata i panona (podina istraživanih naslaga), izrade zapisa litologije sa sita u digitalnom formatu s ciljem usporedbe površinski utvrđenih litostratigrafskih jedinica s dubinski definiranim jedinicama. Za potrebe kalibracije bušotinskih i seizmičkih podataka i pretvorbu iz vremenskog u dubinsko mjerilo korišteni su podaci dobiveni vertikalnim seizmičkim profiliranjem (engl. *VSP*).

5.2 METODE ISTRAŽIVANJA

5.2.1 Terenska istraživanja - skladište jezgri Mramor Brdo

Terenski dio istraživanja u skladištu jezgri Mramor Brdo sastojao se od dva dijela, prvo pregleda jezgri, a zatim i njihovog uzorkovanja. Pregled jezgri obavljen je s ciljem detaljnog utvrđivanja litologije, potencijalnog fosilnog sadržaja, sedimentološkog opisa i fotodokumentacije. Tijekom prvog dijela ove faze, izdvojene su bušotine s jezgrama unutar naslaga mlađeg miocena i pliocena. Uz odobrenje kolege dr. sc. Davida Rukavine, preuzeta je tablica koju je izradio u svrhu prepisivanja opisa i analiza jezgri iz originalnih izvještaja (Slika 13). Tijekom pregleda izdvojene su pojedinačne jezgre unutar jednometarskih kutija, detaljno su pregledane i opisane sedimentološke teksture, veličine zrna, boja, reakcija s 10% klorovodičnom kiselinom, fosilni sadržaj, kao i fotografije cijelih jezgri i detalja (Slika 14). Zatim su svi podaci uneseni u spomenutu tablicu. Izdvajanje potencijalnih jezgri za uzorkovanje vršeno je na temelju stratigrafske pozicije, geografskog položaja, udaljenosti i smještaja bušotine u odnosu na položaj 3D i 2D seizmičkih podataka te kvalitete kalibracije (zakon brzina ili vertikalno seizmičko profiliranje) što je detaljnije opisano u podpoglavlju 5.2.5. Radiometrijsko određivanje starosti sedimenata i povezane analize. Tako je ukupno izdvojena 21 bušotina za uzorkovanje, od čega je analizirano ukupno 95 m jezgri. Na temelju litološkog sastava, struktura, tekstura, rezultata palinoloških analiza i analiza ostrakoda određeni su bušotinski facijesi (BF). Naziv bušotinski facijesi određen je zbog specifičnosti jezgri. Naime, većina neprekinutih jezgri, duljine od 1 do 12 m, smještena je u dubljem turbiditnom slijedu naslaga, dok su u plićim dijelovima kraće i isprekidane. Točnije, veličina su od nekoliko centimetara do iznimno nekoliko desetaka centimetara te vjerojatno predstavljaju samo jedan dio facijesa ili mjerilom većeg sedimentnog tijela. Svi uzorci su fotografirani i spremljeni u plastične vrećice s nazivom jezgre i bušotine. Nakon potrebnih analiza, uzorci će biti vraćeni u skladište jezgri.

Ime bušotine	Jezgra	Interval	Dobiveno	Stanje	Litološki opis (iz izvještaja)	Paleont. opis/sastav (iz izvještaja)	Opis jezgre	Broj slike	Uzorkovanje
	J-1	1604,6-1610,6	1,3	0,15	<ul style="list-style-type: none"> • pjščanjak, glinoviti lapor (Osječki pj. Vinkovačka fm.) 		<ul style="list-style-type: none"> • svijetlosivi, slabovezani FGS s Mus • uočeni tanji, crni, siltozni lapor (HCl=1), laminirani • Strukture: lamine • podsjeca na MEB 	3219/3220	potencijalno u laporima donjeg panona jer podsjeća na ME, malo nesigurna well rie zbog daljine sjeca, iako na svim OBR well topovi padaju podjednako na reflekte MOGUĆA ZA DONJI PANON

Slika 13. Tablica za opis podataka.



Slika 14. Pregled jezgri u skladištu Mramor Brdo; **a)** pretraživanje jezgri po intervalima; **b)** fotografiranje svake jednometerske kutije u kojima su smještene jezgre; **c)** fotografiranje detalja; **d)** proučavanje detalja pod lupom (T. Kurečić).

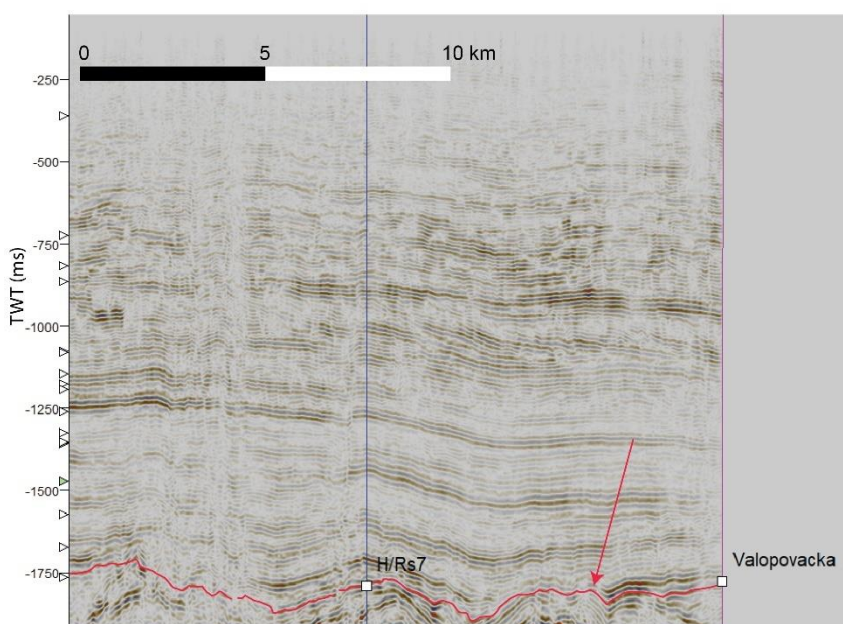
5.2.2 Digitalizacija, sistematizacija i unos podataka u programski paket Petrel

Prethodno opisani geološki i geofizički podaci prebačeni su iz skeniranog PDF formata u digitalne .xls i .txt formate. Na taj način su postali upotrebljivi za korištenje unutar programskih alata, kao što je Petrel *Exploration and Production* (E&P) kompanije Schlumberger. Svi podaci izvještaja su pregledani, a zatim su s obzirom na njih i zahtjeve programskih alata formirane Excel tablice za unos podataka radi sustavnog pregleda naziva bušotina, geografske pozicije, dubine, litostratigrafskih, kronostratigrafskih i biostratigrafskih rezultata te VSP (vertikalno seizmičko profiliranje) podataka i devijacije kanala bušotina (Slika 15). Ovako sistematizirani setovi podataka objedinjeni su unutar jednoga projekta u Petrelu. Nakon toga su pregledani seizmički refleksijski i bušotinski podaci, kako bi se odredila njihova kvaliteta. Uz to, pregledan je odnos seizmičkog facijesa, glavnih refleksa i korelacijskih horizonata (engl. *Well tops*) (Slika 16). Na taj su način sistematizirani raznovrsni podaci koji čine temelj idućoj fazi, tj. interpretaciji seizmičkih podataka.

5.2.3 Interpretacija seizmičkih podataka

U prvoj fazi interpretacije seizmičkih podataka korišteni su seizmički volumeni, a zatim i 2D seizmički podaci (Slika 12). Interpretirani su glavni refleksi, odnos i promjenjivost veličine njihove amplitude. Kartiranje i interpretacija provedena je na temelju metodologije opisane u radovima Veeken (2007), Herron (2011) i Sztanó i dr. (2013a,b). Korišteni su principi seizmičke stratigrafije (Vail, 1977) koja se temelji na pretpostavci da su seizmički refleksi zapravo vremenske linije (Slika 18b), tj. da predstavljaju kratke vremenske intervale sličnih sedimentacijskih uvjeta (Veeken, 2007), pa bi morali biti kronohorizonti u određenom mjerilu.

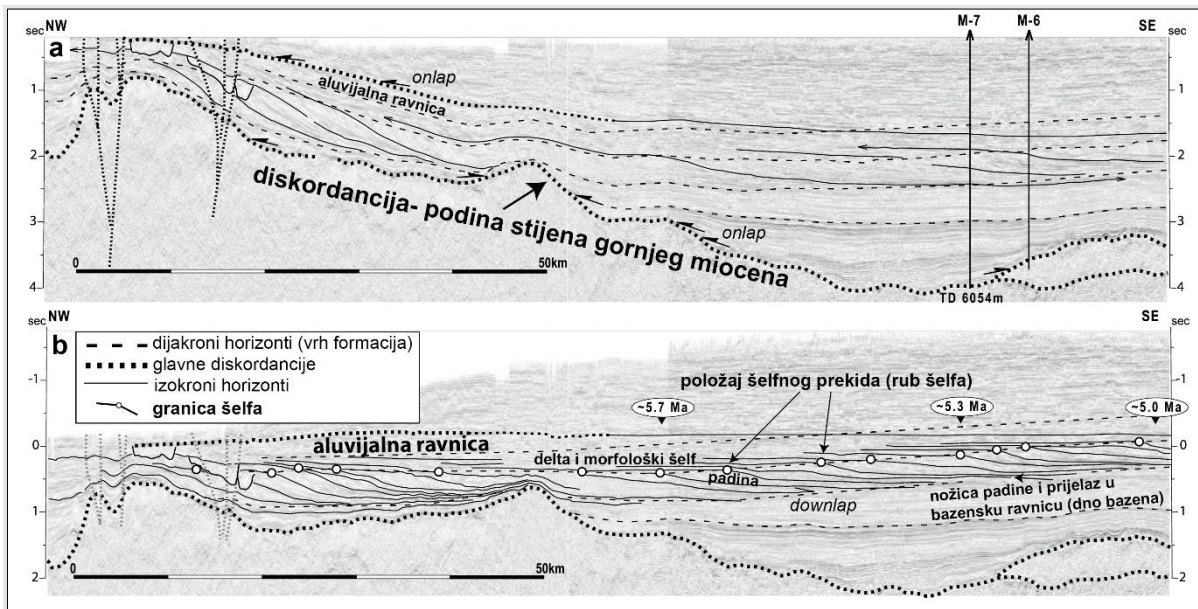
U slučaju ovog istraživanja, interpretirani su refleksi od baznih sedimenata Panonskog jezera sve do vršnog dijela progradacijskog sustava i fluvijalnog sustava u krovini (Slika 18a). Prvi korak pri interpretaciji bilo je određivanje podine istraživanih naslaga. Na primjeru slike 17 zapaža se crvenom bojom kartiran refleks koji je kalibracijom s bušotinskim podacima određen kao podina naslaga mlađeg miocena, tj. marker Rs7. Taj refleks jake pozitivne amplitude kartiran je na 3D i 2D seizmičkim podacima s ciljem izrade strukturne karte podine gornjomiocensko-pliocenske sedimentne ispune (podina istraživanih naslaga).



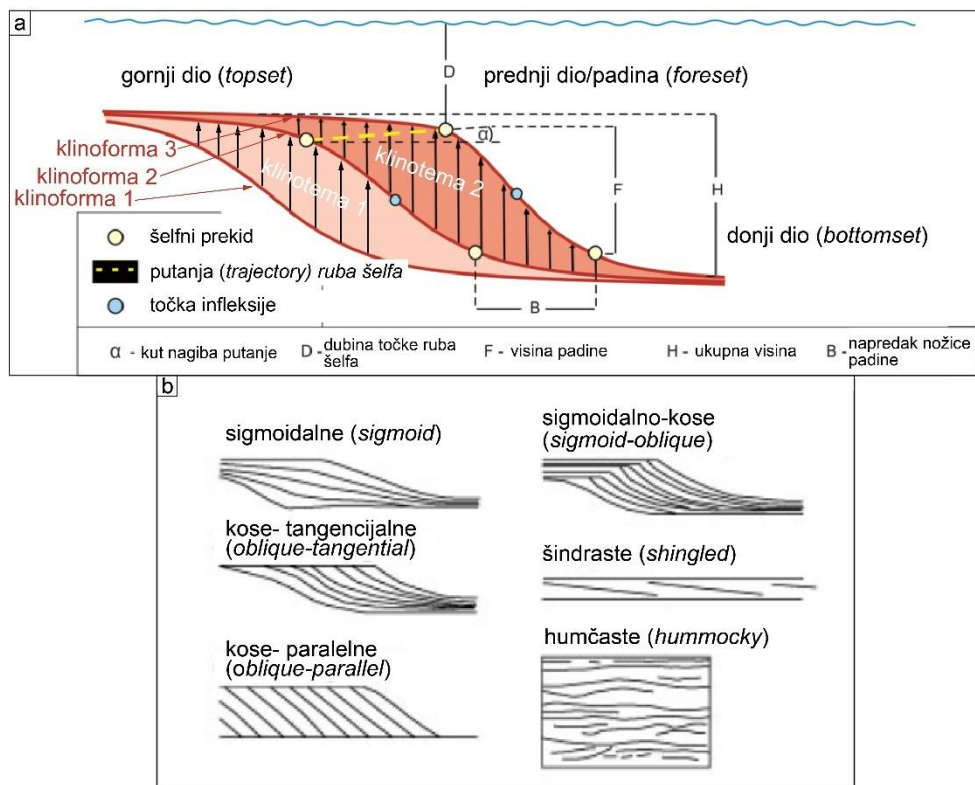
Slika 17. Kalibracija i provjera kvalitete seizmičkih podataka (crvena strelica označava refleks koji je interpretiran da odgovara podini naslaga mlađeg miocena).

Idući korak u interpretaciji sedimentne ispune Panonskog jezera svodi se na kartiranje vidljivih dijelova pojedinačnih klinoforni. Zbog lakšeg praćenja klinoforni, svrhovito je bilo

prvo kartirati paleohorizontalni refleks, koji predstavlja bazu deltne ili fluvijalne ravnice (Slika 18b; Uhrin i Sztanó, 2012; Sztanó i dr., 2013; Magyar i dr., 2013). S obzirom da strukturni nagib istraživanih naslaga nije veći od 5 do 10°, umjesto kompleksne i vremenski dugotrajne palinspastičke 3D analize primijenjena je metoda opisana u Sztanó i Magyar (2007) i Sztanó i dr. (2013). Metoda uključuje jednostavno izravnavanje paleohorizontalnog refleksa (engl. *flattening horizon*), što aproksimativno odgovara postavljanju refleksa u njihov izvorni strukturni položaj (Slika 3b, 18b). Uz takvu rekonstrukciju paleonagiba, čak i uz vremensko mjerilo moguće je očitati razliku u dubinama zalijeganja gornjeg i donjeg seta, koja je uz korekciju zbog kompakcije jednaka ili bez nje približno jednaka paleodubini jezera (Slika 3, 17b, 19a). To je jedan približni postupak, ali sasvim dovoljan u ovom mjerilu i s obzirom na veličinu područja istraživanja.



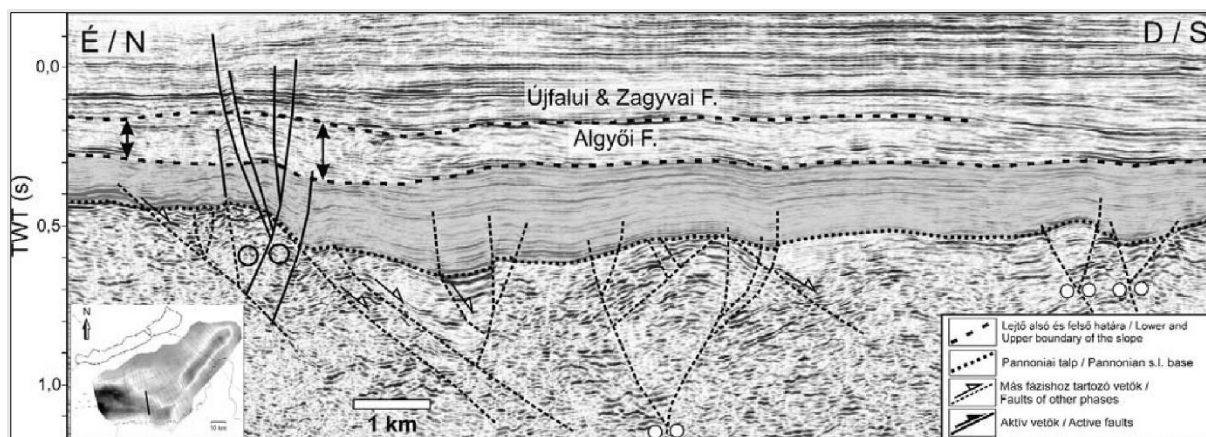
Slika 18. Interpretacija seizmičkih podataka (prema Sztanó i dr., 2013); **a**) interpretirani seizmički profil na temelju seizmičke stratigrafije; **b**) interpretirani seizmički profil izravnat po horizontu aluvijalne ravnice, vidljiv odnos kronostratigrafskih (izokroni horizonti) i litostratigrafskih horizonata (dijakroni horizonti) te svih dijelova klinoforni.



Slika 19. **a**) oblik i dijelovi klinoforme (prema Röhnert, 2016; Walsh i dr., 2004; Anell i dr, 2014; Patruno i dr., 2015); **b**) podjela klinoformi prema obliku (Mitchum i dr., 1977).

Tako se pri kartiranju klinoforme temeljem geometrije, tj. pozicije točaka infleksije razdvojio njen gornji dio (šelf/prodelta), prednji dio (padina) i donji dio (dno bazena/bazenska ravnica) (Slika 3, 19a). Idući korak je određivanje ruba šelfa, točke infleksije i stope padine iz koje se može izvesti putanja (*trajectory*) ruba šelfa, visina padine, ukupna visina klinoforme (približno jednaka paleodubini) te napredak nožice ili ruba šelfa (Slika 19a), dok je iz nagiba klinoformi moguće procijeniti litološki sastav klinotema. Opažene klinoforme na seizmičkim podacima svrstane su u jedan od klasificiranih oblika klinoformi (Slika 19b, Mitchum i dr., 1977), koji upućuju na razinu akomodacije tijekom taloženja (Catuneanu i dr., 2009). Opisana metodologija je primijenjena i u ovom istraživanju.

Metodom deskriptivne strukturne analize i interpretacije seizmičkih podataka kartirane su pojedine strukture i određeni njihovi osnovni strukturni elementi (Slika 20). Na taj je način dobiven uvid u relativni slijed tektonskih događaja koji su uvjetovali današnji strukturni sklop područja istraživanja. Kartirane strukture korištene su za izradu strukturnih karata.



Slika 20. Primjer interpretacije rasjeda na seizmičkom profilu, nastalih kao posljedica dvije faze deformacije (starijepanonska i mlađepanonska) u Mađarskom dijelu PBS-a. Većina rasjeda su reaktivirani stariji rasjedi, koji utječu i na debljine panonskih sedimenata (prema Töro i dr., 2012).

Za potrebe prikaza strukturno-stratigrafskih odnosa, geometrije refleksa i klinoforni izrađeni su kompozitni korelacijski profili. Uzdužni profil 1-1' (Slika 34), koji prati dužu os Dravske depresije izrađen je kroz ključne bušotine (PS-2, Čđ-1, Sj-2 i Mar-1). Isto tako, za prikaz svih odnosa poprečno na dužu os depresije izrađena su dva profila, jedan u zapadnom i drugi u istočnom dijelu područja istraživanja.

5.2.4 Paleontološke analize

Palinološke (palinomorfi, palinofacijes) i mikropaleontološke (ostrakodi) analize su napravljene s ciljem određivanja stratigrafske pripadnosti naslaga i odredbe okolišnih uvjeta u kojima su nastale (Bakrač i dr., 2012; Rasmussen i Dybkjaer, 2005). Dobiveni podaci su uspoređeni s taložnim modelom interpretiranim iz seizmičkih i bušotinskih podataka, a izdvojene zone su uspoređene s podacima radiometrijskog određivanja starosti.

Uzorci za palinološke analize su obrađeni i pripremljeni na matičnoj instituciji, Hrvatskom geološkom institutu (HGI), u laboratoriju Zavoda za geologiju (Slika 21; prema Moore i dr., 1991). Standardizirana priprema uzoraka uključuje tretiranje uzoraka natrijevim pirofosfatom ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), klorovodičnom kiselinom (HCl) te fluorovodičnom kiselinom (HF) kako bi se otopili karbonati i silikati. Nakon toga napravljena je flotacija u teškoj tekućini (ZnCl_2). Uzorcima su dodane dvije tablete standarda sa sporama *Lycopodium clavatum*. Iz uzoraka su zatim napravljeni preparati u glicerini želatini i u silikatnom ulju. Mikroskopske

preparate analizirala je kolegica dr. sc. Viktoria Baranyi na mikroskopu *Olympus BH2 RFC* u Zavodu za geologiju (HGI). Terminologija palinofacijesa prati nomenklaturu prema Tyson (1995).

Priprema uzoraka za određivanje ostrakoda napravljena je u laboratoriju Zavoda za geologiju (HGI). Uzorci su pripremljeni standardnom metodom šlemanja. Izdvajanje i određivanje ostrakodne faune napravila je kolegica dr. sc. Valentine Hajek Tadesse na *Zeiss* stereomikroskopu. Za određivanje faune korištena je literatura Zavoda za geologiju.

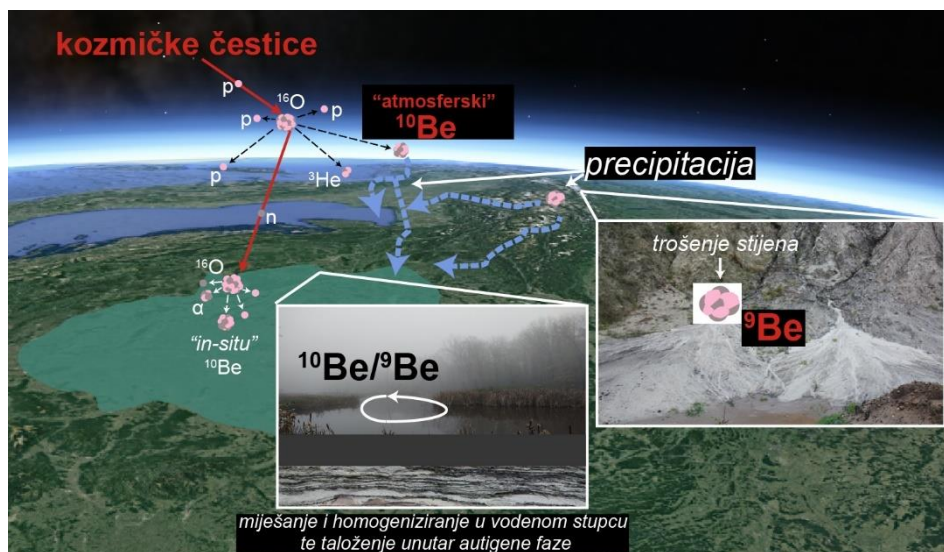


Slika 21. Proces pripreme uzoraka za palinološke analize (A. Čaić)

5.2.5 Radiometrijsko određivanje starosti sedimenata i povezane analize

Radiometrijske starosti izabranih uzoraka sedimenata određene su metodom analiza starosti autigenih nuklida $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ u sedimentu (Bourlès i dr., 1989; Lebatard i dr., 2008). Ovom metodom moguće je odrediti vremena sedimentacije, stopu erozije, dubine zalijeganja sedimenata, promjene geomagnetskog polja Zemlje itd. (Morris, 1991; Christl i dr., 2007). Takvi podaci su veoma korisni za uvid u paleogeografiju i geodinamske procese istraživanog prostora.

Najveća količina radionuklida ^{10}Be nastaje spalacijom kozmičkih zraka kisikovih i dušikovih atoma u Zemljinj stratosferi i troposferi (Slika 22; Lal i dr., 1967). Zbog toga se cjelokupna metoda često naziva metodom datiranja kozmogenih nuklida. U manjoj mjeri isti radionuklid nastaje i unutar stijena, do nekoliko metara dubine ispod Zemljine površine (Slika 22; Lal, 1988). Vrijeme poluraspada radionuklida ^{10}Be je $1,39 \pm 0,01$ milijuna godina (Chmeleff i dr., 2010), što omogućuje određivanje starosti uzoraka od 0,2 do 14 milijuna godina (Ku i dr., 1982; Bourlès i dr., 1989; Lebatard i dr., 2008, 2010). Drugi korišteni nuklid, stabilni primordijalni ^9Be , nastaje kemijskim trošenjem stijena na površini (Slika 22). U najvećim količinama nalazi se unutar minerala koji izgrađuju granite i pegmatite (Ryan, 2002), a kemijskim trošenjem ^9Be izlazi iz kristalne rešetke te biva transportiran tekućicama, eolskim sedimentima i aerosolom u vodenoj fazi ili kao izmjenjivi kation (Brown i dr., 1992). Atmosferski radionuklid ^{10}Be na Zemljinu površinu i u sedimentacijske bazene prelazi suhom ili mokrom precipitacijom (Monaghan i dr., 1986).



Slika 22. Prikaz nastanka $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ te miješanja i prekrivanja u sedimentacijskom bazenu (<https://www.google.com/intl/hr/earth/>; prema <https://www.gfz-potsdam.de/en/>).

Oba nuklida ulaze u vodeni stupac sedimentacijskog bazena, gdje se miješaju, homogeniziraju te mehanizmom sorpcije prelaze u autigene faze minerala glina (Slika 22) (Lebatard i dr., 2008; Bernhardt i dr., 2020). Pri tome će apsolutne vrijednosti ^{10}Be i ^9Be u vodenom stupcu i sedimentu ovisiti o geokemijskim i okolišnim čimbenicima, kao što je pH vode, količina organske tvari, učinkovitosti vezanja, specifičnoj površini minerala, zemljopisnoj širini, litologiji drenažnog bazena, njegovoj veličini, vremenu prijenosa itd.

(Measures i Edmond, 1983; Field i dr., 2006; Lebatard i dr., 2008; Willenbring i dr., 2010; Wittmann i dr., 2012; Šujan i dr., 2016). Oba nuklida imaju jednake geokemijske značajke, tj. omjeri izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ u vodenom stupcu i istaloženim sedimentima su jednaki, što je Bourlès i dr. (1989) eksperimentalno i dokazao. Kako bi se normalizirala vrijednost poluraspada radionuklida ^{10}Be , kao normalizirajući faktor prilikom izračuna starosti sedimenta koristi se stabilni nuklid ^9Be (Bourlès i dr., 1989). Izračun starosti autigenih $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ temelji se na sljedećoj formuli (N_t mjereni omjer $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ u uzorku; N_0 inicijalni omjer autigenog izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$; λ konstanta poluraspada; t vrijeme proteklo od sedimentacije):

$$N_t = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

Drugi važan parametar, inicijalni omjer N_0 , temelji se na mjerenju koncentracije izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ na recentnim uzorcima sedimenta. To je posebice važno jer uspješni izračun starosti ovisi o dva važna kriterija:

- a) analizirani uzorak nakon sedimentacije mora ostati u zatvorenom sustavu, bez dodavanja ili otpuštanja Be nuklida,
- b) potrebno je precizno određivanje inicijalnog omjera izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ na recentnim uzorcima.

U analizama se zbog toga nastoje koristiti sedimenti iz istog sedimentnog bazena. Točnije, vrlo je važno da recentni uzorci budu uzeti iz drenažnog bazena što sličnijih parametara, litologije izvorišnog područja te geografske širine, kao i uzorci kojima se određuje starost (Šujan i dr., 2016). Nadalje, jedan od faktora koji dodatno mogu utjecati na mjereni omjer autigenog izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ su varijacije u geomagnetskom polju i solarna aktivnost, što direktno utječe na količinu nastalog radionuklida ^{10}Be (Lebatard i dr., 2008). Međutim, studije pokazuju da je količina nastalog radionuklida u zadnjih 12 milijuna godina relativno konstantna (Ku i dr., 1982; Frank i dr., 2008), što je dovoljan vremenski interval i za pouzdano datiranje najstarijih istraživanih naslaga u ovom radu.

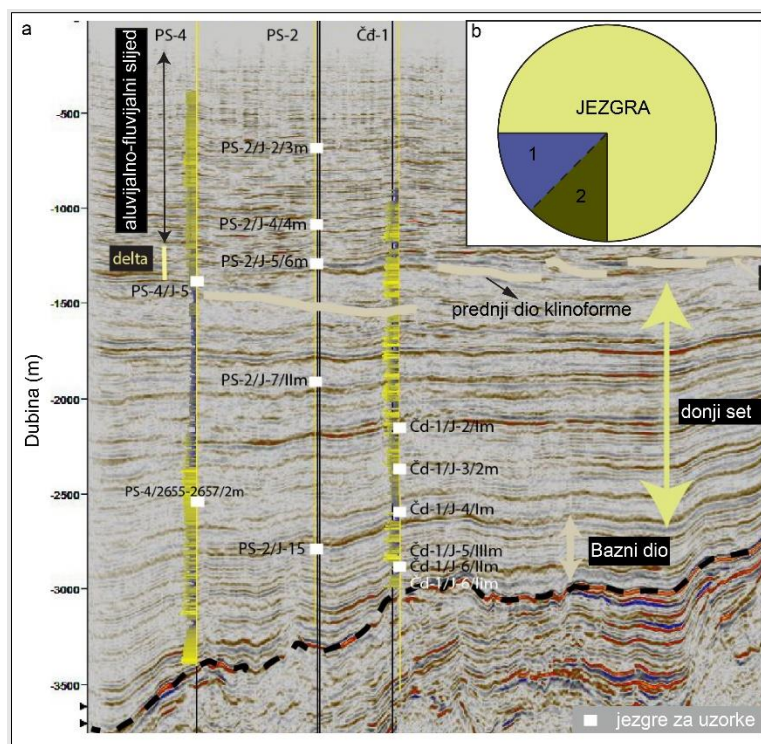
U svrhu odredbe starosti metodom autigenih izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$, koristili su se uzorci iz bušotinskih jezgri. Iako je metoda već dokazano primjenjiva u sedimentima mlađeg miocena i pliocena u prostoru PBS-a (Šujan i dr., 2016), ona je trenutno u razvitku za datiranje donjopanonskih naslaga istog prostora. Uz to, ovo je prva primjena metode na prostoru Republike Hrvatske, tj. jugozapadnog dijela PBS-a i to na uzorcima jezgri iz bušotina.

Analizirane su starosti sedimenata iz jezerskog, deltnog, ali i krovinskog kopnenog slijeda naslaga. S obzirom da granulometrijski sastav značajno utječe na mjerene koncentracije nuklida ^{10}Be i ^9Be , korištene su sitnozrnate litologije, lapori, siltovi i gline.

Uzorci za datiranje odabrani su na temelju sljedećih kriterija:

- pokrivenost 3D refleksijskom seizmikom,
- točnost povezivanja bušotinskih i seizmičkih podataka (*eng. well-tie*),
- litologija (granulometrijski sastav),
- približna litostratigrafska pripadnost,
- međusobna udaljenost bušotina,
- udaljenost uzoraka u vertikalnom slijedu unutar jedne bušotine.

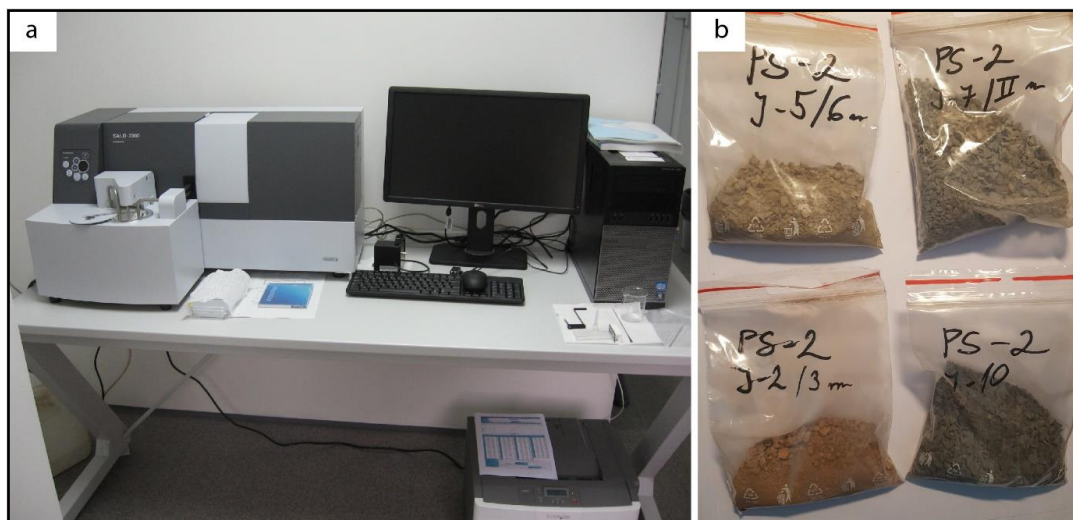
Prvo su izdvojene bušotine koje se nalaze unutar prostora pokrivenog 3D refleksijskim seizmičkim podacima (Slika 12) te one s najdetaljnijim zakonom brzina. Nakon toga, izdvojene su sve pelitne stijene određene prilikom makroskopskih pregleda u skladištu jezgri Mramor brdo i u okviru studija INA d.d. tijekom i nakon bušenja. Približna litostratigrafska pripadnost određena je kombiniranjem podataka originalnih studija i izvještaja INA d.d., pozicije unutar seizmičkog facijesa i bazenske ispune (prema Sebe i dr., 2020) te bušotinskim geofizičkim podacima (prema Juhász i dr. 2007; Sztanó i dr. 2013a; Slika 18, 23a). Korištenjem seizmičkih profila u dubinskom mjerilu s prikazanim položajima jezgri određene su bušotine u kojima su jezgre najzastupljenije kroz cijeli vertikalni slijed i nalaze se relativno blizu jedna drugoj (Slika 23a). Na taj način moguća je provjera i usporedba određenih starosti bliskih jezgri. Analizirane jezgre nisu homogenizirane standardnom metodom četvrtanja uzorka (Slika 23b). Naime, uzorci iz jezgri su arhivska građa iz dubokih bušotina starih i do 50 godina. Takvi uzorci nakon dezintegracije ne mogu biti reparirani, uz to preciznost podataka (točna pozicija u kanalu bušotine je u metarskoj rezoluciji, a jezgre su samo mali dio dimenzijama većeg sedimentnog tijela) neće značajnije utjecati na kumulativnu grešku ili reprezentativnost uzorka.



Slika 23. **a)** položaj jezgri u kanalu bušotina i sedimentnog slijeda na temelju bušotinskih i seizmičkih podataka; **b)** poprečni presjek jezgre i protokol uzorkovanja za analize (plavo polje 1 - dezintegracija i homogeniziranje u ahatnom tarioniku za kalcimetriju i XRD; maslinasto polje 2 - cjeloviti, ne dezintegrirani uzorak za radiometrijsko određivanje starosti metodom autogenih nuklida berilija i granulometrijske analize).

Na taj način određeno je potencijalnih 27 uzoraka. Kako bi se među njima izdvojili glinom bogati lapori, gline i siltiti, korištene su analize granulometrijskog sastava metodom laserskog difraktometra *Shimadzu Laser Diffraction Particle Size Analyzer SALD-2300*. Navedeni instrument radi na principu ogiba zrake lasera na čestici uzorka u suspenziji, a funkcija veličine čestice je jednaka jačini intenziteta raspršenog svjetla u svim smjerovima. Uzorke za analizu pripremila je kolegica Ana Čaić, mag. chem., a odvija se tako da se izdvaja oko 0,1 g uzorka s prethodno peroksidom odvojenom organskom tvari kojeg se zatim dezintegrira tretiranjem pirofosfatom ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) i deioniziranom vodom. Takav uzorak se na tresilici većinom ostavlja minimalno 6 sati, a najbolje tijekom cijele noći. Međutim, za uzorke u ovom istraživanju u istom vremenskom periodu nije bilo moguće napraviti dezintegraciju. Uzorci su zbog svoje kompakcije (najčešće siltiti i lapori) i nakon nekoliko dana i dalje bili cjeloviti te je takva metoda bila nepraktična. Prema tome, kako bi se odvojili glinom bogati lapori te siltiti od lapora, alternativno je kao metoda korištena kalcimetrija. Na dezintegriranim uzorcima je iz odvage na instrumentu *SCMI Calcimeter* napravljena analiza sadržaja postotnog

CaCO₃ (Slika 23b). Postupak je izveden tako da je u Erlenmeyerovu tikvicu izvagan uzorak, dodana destilirana voda te klorovodična kiselina (HCl) koncentracije 4 mol/l HCl p.a. Reakcija je počela nakon doticaja HCl s uzorkom unutar zatvorene tikvice i cijevi na eudiometru. Volumen nastalog ugljikovog (IV) oksida (CO₂) jednak je postotnom udjelu CaCO₃ u uzorku.

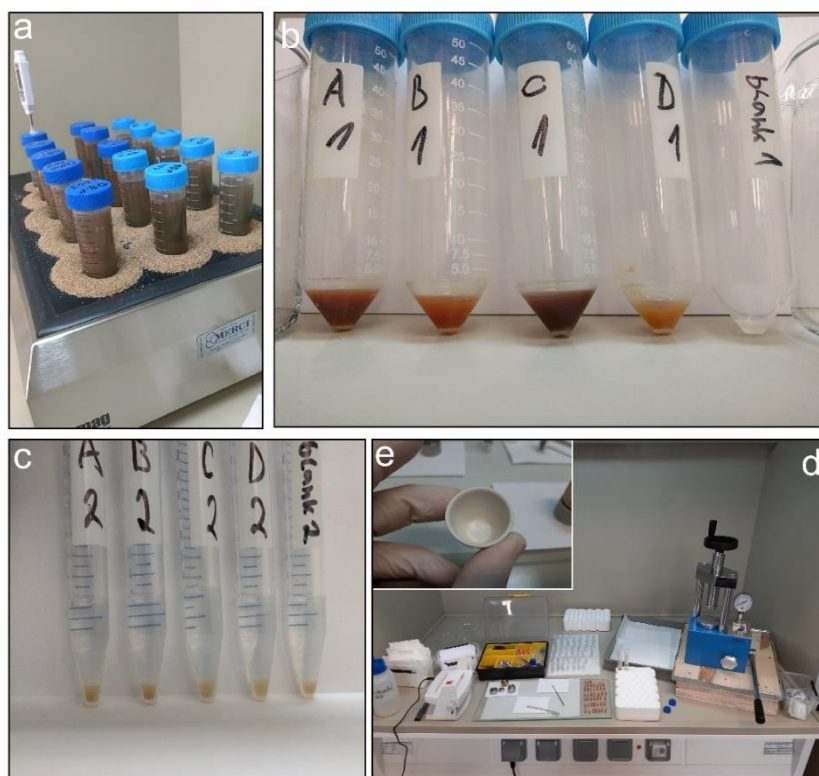


Slika 24. **a)** laserski difraktometar Diffraction Particle Size Analyzer SALD-2300 (T. Kurečić); **b)** uzorci jezgri pripremljeni za granulometrijsku analizu.

Na opisani način izdvojena su 22 uzorka za radiometrijsko određivanje starosti sedimenata. Uzorci za izračun inicijalnog omjera izotopa ¹⁰Be/⁹Be uzeti su iz kvartarnih sedimenata rijeke Drave (Slika 12). Jedan uzorak je uzet iz seta uzoraka za izradu Geokemijskog Atlasa RH (HGI, 2009), točnije iz recentne poplavne ravnice rijeke Drave s dubine od 25 cm. Ostalih pet uzoraka predstavljaju vodotočne sedimente, a uzorkovano je gornjih 3 do 5 cm sedimenta. Izdvojeno je sveukupno 6 uzoraka recentnih kvartarnih sedimenata za odredbu inicijalnog omjera izotopa ¹⁰Be/⁹Be (N₀).

Mjerenje koncentracija nuklida ¹⁰Be i ⁹Be (N_t) provodi se atomskim masenim spektrometrom (AMS, engl. *accelerator mass spectrometry*) i spektrometrijom masa uz induktivno spregnutu plazmu (ICP-MS, eng. *Inductively coupled plasma mass spectrometry*). Svi uzorci za datiranje i odredbu inicijalnog omjera N₀ odvagani su i u vrećicama od 20 g uzorka poslani na pripremu za datiranje u laboratorij dr. sc. Michala Šujana, izv. prof. pri Zavodu za geologiju i paleontologiju, Prirodoslovnog fakulteta Comenius Sveučilišta u Bratislavi. Priprema uzoraka provodi se kroz nekoliko koraka s ciljem separacije berilijevog oksida (BeO; Slika 25). Prvi korak separacije je otapanje uzorka u octenoj kiselini koji se zatim miješa 6 sati

na temperaturama od 90 do 95°C. Zagrijani i izmiješani uzorak se zatim centrifugira kako ne bi došlo do ponovne adsorpcije berilijevih nuklida na minerale glina. Separirani uzorak se zatim prenosi u bočice od 100 ml, od čega se uzima 2 ml za mjerenja koncentracije stabilnog izotopa ^9Be na ICP-MS. Ostatku u bočici od 100 ml se dodaje komercijalni berilij standard kako bi se provjerilo ima li u uzorku dovoljne koncentracije berilijevih izotopa za mjerenja. Uzorak se zatim evaporira zagrijavanjem u dva ciklusa s dodatkom dušične kiseline (HNO_3). Ekstrahirani precipitat se zatim tretiranjem s amonijevim hidroksidom (NH_4OH) i klorovodičnom kiselinom (HCl) sprema za dodavanje rezina. Rezini se u uzorak dodaju kako bi se kroz dva koraka izdvojio berilij od bora (B), aluminijsa (Al), željeza (Fe) i mangana (Mn). Nakon evaporacije očišćenog uzorka u lončićima ostaje berilijev hidroksid ($\text{Be}(\text{OH})_2$). Uzorak se zatim 60 min suši na 800°C te na kraju u njima ostaje čisti berilijev oksid (BeO). Navedeni uzorak se zatim pomiješa s niobijem (Nb). Izmiješani uzorak se na kraju dodaje u katode i spreman je za mjerenje koncentracija radionuklida ^{10}Be na AMS-u. Detaljan opis protokola pripreme uzorka opisan je u Šujan i dr. (2016) i Aherwar (2022). Koncentracije ^9Be izmjerene su u alikvotima uzoraka korištenjem ICP-MS u laboratoriju dr. sc. Andreja Chybe pri Zavodu za kemiju, Slovačke akademije znanosti u Bratislavi. Za mjerenje je korišten uređaj *PlasmaQuant ICP-MS System (Analytik Jena AG)*. Koncentracije radionuklida ^{10}Be izmjerene su AMS uređajem pri ASTER timu unutar CEREGE (*fra. Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement*) u Francuskoj, korištenjem 5 MV Tandetron akceleratora.



Slika 25. Priprema uzoraka za određivanje starosti metodom $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$. **a)** uzorci spremni za separaciju; **b)** precipitati uzoraka nakon prve ekstrakcije; **c)** precipitati nakon tretiranja rezinima; **d)** punjenje katoda s uzorcima; **e)** berilijev oksid nakon sušenja, spreman za miješanje s niobijem (Aherwar, 2022).

Dobivene vrijednosti koncentracija berilijevih nuklida iz ICP-MS i AMS analiza unesene su u standardnu excel tablicu s odmjerama tretiranog uzorka i alikvota (Slika 26a). Na temelju vrijednosti broja atoma ^{10}Be i ^9Be izračunate su faktori nesigurnosti za svaki mjereni nuklid te vrijednosti omjera navedenih nuklida (Slika 26b). Koristeći izračunate inicijalne omjere šest izabranih uzoraka iz područja istraživanja izračunata je starost uzoraka. Isto tako, izračunate su starosti uzoraka koristeći vrijednosti inicijalnih omjera iz Šujan i dr. (2016) na temelju uzoraka iz Dunavske depresije (poplavna ravnica) u Slovačkoj i jezerskih sedimenata iz jezera Balaton. Izračunate starosti uzoraka uspoređene su s rezultatima ostalih analiza. Određeni okoliši taloženja poslužili su kao kriterij za odredbu najprikladnijih starosti uzoraka.

a															
15 ml tube	10ml HNO3 sol	ICP Be(ppb) ± SD	ICP in H	natural 9Be	Sample weight	100ml empty	75 ml solution +	2ml empty t	Aliquot + 2ml	standard (ca. 45)	Mass solu Spike 9Be AMS	uncerta			
6.8996	16,8796	4,411428	0,0508	44,0261	1,0191E+17	2,2510	24,3642	97,2131	1,6613	3,7644	0,4613	72,84890	3,1E+19	1,12378E-13	2.7495
6.7070	16,6131	3,128767	0,07786	30,9938	7,1001E+16	2,7548	24,4375	96,3050	1,6574	3,7488	0,4640	71,86750	3,1E+19	1,22114E-13	3.1736
6.6748	16,5394	3,5428	0,05998	34,9482	7,7017E+16	2,2512	24,2308	93,5681	1,6485	3,7510	0,4634	69,33730	3,1E+19	8,68825E-14	2.7597
6.7037	16,5088	3,67623	0,06025	36,0458	8,4883E+16	2,2521	23,7164	96,7401	1,6572	3,7355	0,4640	73,02370	3,1E+19	6,51470E-13	2.0851
6.6639	16,5742	1,767343	0,02483	17,5149	4,1025E+16	2,2543	24,4968	98,1514	1,6410	3,7423	0,4634	73,65460	3,1E+19	3,20562E-14	3.0815
6.7651	16,6340	3,619489	0,08237	35,7168	8,2479E+16	2,2493	24,4129	97,0421	1,6428	3,7445	0,4661	72,62920	3,1E+19	4,49257E-13	2.6874
6.8494	17,1746	2,822733	0,02876	29,1453	6,3063E+16	2,2552	24,3487	93,0162	1,6512	3,7519	0,4613	68,66750	3,1E+19	6,44411E-14	2.9406

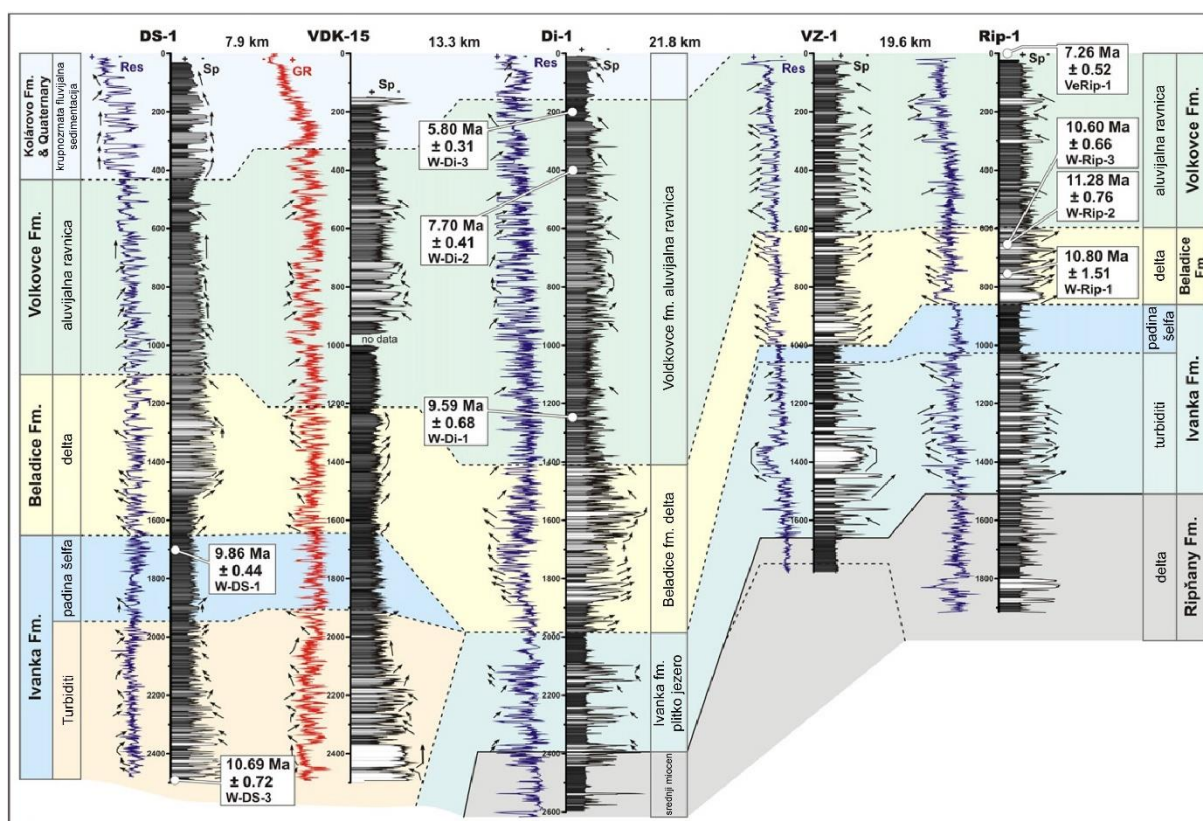
b																			
Uncertainty 10Be	Unc %	Natural 10Be/9	uncertainty 1 (test lacustrine)	Age	uncertainty test flood	Age	Uncertainty			NO Lacustri	6,99E-09	0	NO flood	4,14E-09	0	NO Drava	#####	#####	
90449	3	3,15922E-11	1,08950E-12 OK	##### ±	437.950 OK	9,756.044 ±	336.450									10,028.280 ±	402.293		
113697	3	4,97803E-11	1,88561E-12 OK	9.894.269 ±	429.986 OK	8.846.166 ±	335.081									9,118.402 ±	399.702		
70070	3	3,17864E-11	1,10990E-12 OK	##### ±	441.418 OK	9,743.782 ±	340.228									10,016.017 ±	406.150		
420218	2	2,37889E-10	6,87673E-12 OK	6.764.303 ±	242.898 OK	5,716.201 ±	165.240									5,988.436 ±	217.383		
29962	4	1,85899E-11	8,19520E-13 OK	##### ±	580.941 OK	10,817.171 ±	476.867									11,089.407 ±	548.961		
367664	3	1,65660E-10	5,55412E-12 OK	7.488.408 ±	297.459 OK	6,440.306 ±	215.926									6,712.542 ±	272.193		
54709	3	2,74864E-11	1,02015E-12 OK	##### ±	474.271 OK	10,034.622 ±	372.432									10,306.858 ±	439.782		

Slika 26. **a)** stupci za opis pojedinačnih odmjera uzoraka te mjerenih koncentracija stabilnog izotopa ^9Be (ICP-MS) i nestabilnog izotopa ^{10}Be (AMS); **b)** broj utvrđenih nestabilnih izotopa ^{10}Be , postotak nesigurnosti i testovi prilikom analiza. Na desnom kraju je odredba starosti uzoraka na temelju izračuna prema tri različita inicijalna omjera izotopa $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$.

5.2.6 Analiza geoloških i geofizičkih podataka u bušotinama

Bušotinski podaci su zapravo jedini okvir za provjeru i potvrdu interpretacije seizmičkih podataka unutar istraživane bazenske ispune (engl. *well control*). Pri tome su korišteni već spomenuti podaci, karotažna mjerenja, krhotine iz isplake i jezgre. Zapisi krhotina iz isplake (litologija sa sita) su digitalizirani i uneseni u projekt unutar E&P Petrela. Na dostupnim karotažnim podacima praćene su promjene oblika same krivulje i to nakon postavljanja osnovne linije lapora (šejla) na svakoj pojedinačnoj krivulji SP-a i Ra (R_{16}) s ciljem određivanja referentne točke za daljnju interpretaciju. Nakon toga se, prema metodologiji opisanoj u Juhász i dr. (2007), Sztanó i dr. (2013a), Rasmussen i Dybkjær (2014), Šujan i dr. (2016), Šujan i dr. (2019) pristupilo kvalitativnoj interpretaciji, najčešće kombinacijom krivulja spontanog potencijala, prividne električne otpornosti i prirodne radioaktivnosti. Postupkom odredbe otklona navedenih krivulja utvrdila se generalna promjena litološkog sastava ispune, odvojili su se taložni okoliši i definirale povezane litostratigrafske jedinice prema Sebe i dr. (2020; Slika 27). Točnije, kombinacijom krivulja spontanog potencijala i otpornosti mogu se interpretirati i odvojiti okoliši baznog dijela otvorenog plitkog do dubokog jezera, vapnoviti lapori i glinoviti lapori te sitno do krupnozrnati klastiti, zatim dubokovodni (bazenski) turbiditi i turbiditi vezani za padinu (generalno izmjena lapora, siltita i pješčenjaka), većinski pelitni sedimenti (lapori, siltovi, gline) padine šelfa (prednji dio klinoforme), kao i deltni (heterolitni facijes) i fluvijalni okoliši. Obrasci promjena i karakteristični odazivi pojedinih asocijacija litofacijesa unutar litostratigrafskih formacija detaljno su opisani u Juhász i dr. (2007) i prikazani na Slici 27.

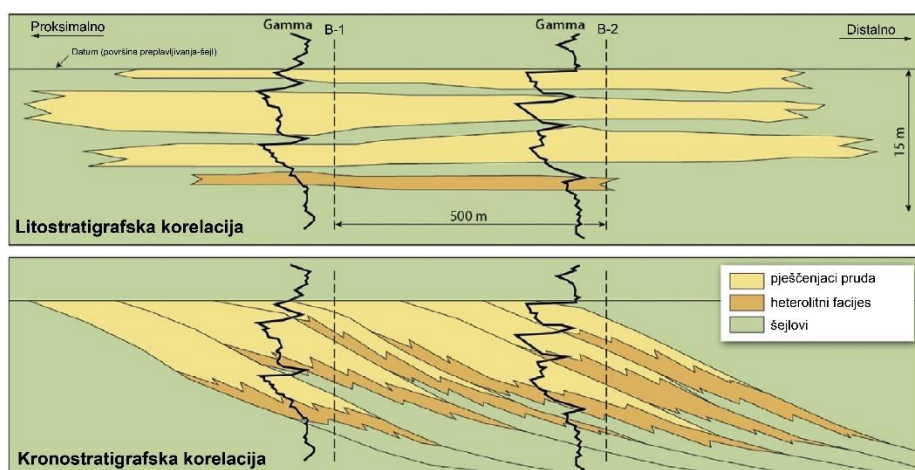
Naime, iz navedenih se krivulja primarno odvajaju propusne od nepropusnih naslaga, no treba imati u vidu da mjerenja otpornosti ovise i o granulometrijskom sastavu proučavanih naslaga i zasićenju fluidom. npr. vodom (Rider, 2002; Vrbanac, 2002a). Dakle, mogu se izdvojiti ciklusi positnjavanja i prokрупnjavanja naviše (Rider, 2002), na primjer prokрупnjavanja naviše u okolišima deltne ravnice (Sztanó i Magyar, 2007). Navedene interpretacije na temelju elektrofacijsa, litologije iz isplake i jezgri provjerene su i nadopunjene rezultatima novih palinoloških analiza i svih dostupnih podataka iz originalnih završnih izvješća. Na taj način je interpretacija okoliša taloženja i vezanih litostratigrafskih formacija (prema Sebe i dr. 2020) temeljitija. Nakon izrade pojedinačnih stupova ključnih bušotina napravljene su korelacijske sheme između dvije ili više bušotina.



Slika 27. Primjer korelacijske sheme u Slovačkoj. Na shemi su interpretirani karotažni podaci te korelirani i izdvojeni okoliši taloženja i povezane litostratigrafske formacije (Šujan i dr. 2016).

5.2.7 Integracija seizmičkih i bušotinskih podataka: Analize cikličnosti i izdvajanje sekvencija unutar analiziranog slijeda sedimentata

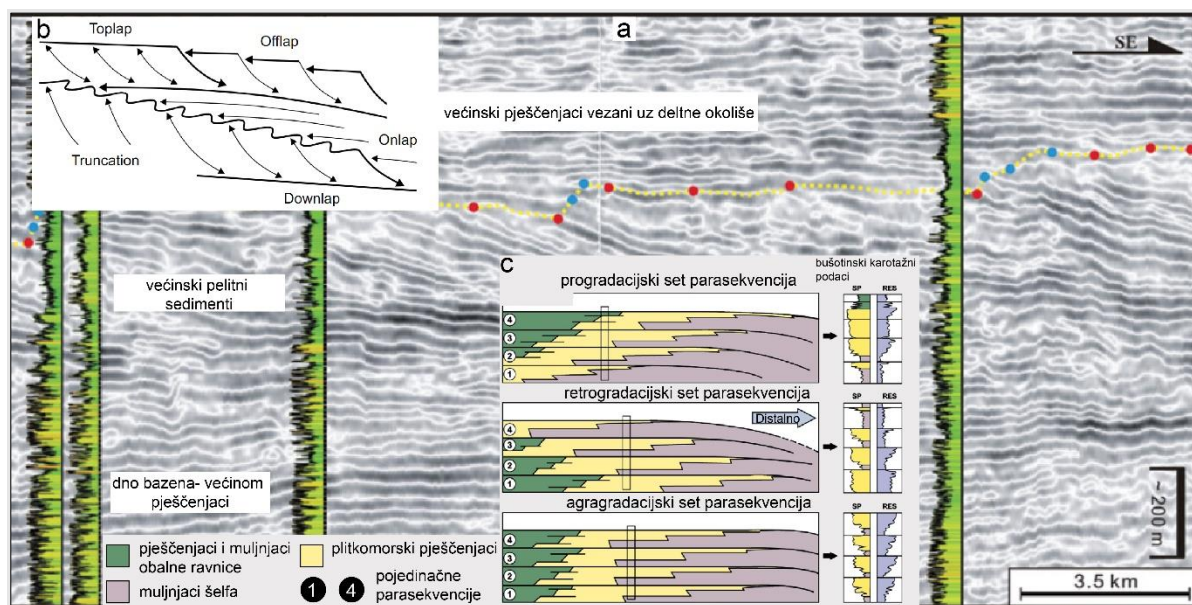
Sintezom seizmičkih i bušotinskih podataka radilo se na određivanju stvarne prostorne arhitekture sedimentacijskog sustava klinoformi. Na seizmičkim podacima vidljivi reflektori uvjetovani su unutarnjim diskordancijama unutar sedimentnog slijeda (npr. klinotema). Takve promjene u litologiji vidljive su i na bušotinskim podacima, a odvojene su u prethodnom koraku i interpretirane u smislu okoliša taloženja i litostratigrafskih formacija. Međutim, izdvojene i korelirane litostratigrafske formacije u bušotinama najčešće ne prate vremenske linije (reflekse) na seizmičkim podacima s obzirom da su dijakrone prirode. Upravo zato je za potrebe vizualizacije i kronostratigrafske korelacije potrebno povezivanje bušotinskih i seizmičkih podataka (Slika 28).



Slika 28. Idealizirani primjer litostratigrafskog (gore) i kronostratigrafskog (dolje) principa korelacije naslaga (Pellegrini i dr., 2018).

Idući korak bila je analiza ciklusa taloženja i odvajanje sekvencija. Razvoj koncepta analiza u sekvencijskoj stratigrafiji, uvjetovao je razvoj standardizacije i model neovisnog pristupa prilikom interpretacije (Catuneanu i dr., 2009; Catuneanu i dr. 2011; Catuneanu, 2019). U analizi su u obzir uzeta saznanja o različitosti interpretacije unutar marinskih i jezerskih naslaga (Juhász i dr. 1997; Sztanó i dr., 2013a; Gong i dr. 2018; Patruno i Helland-Hansen, 2018). Takva analiza podrazumijeva analizu i integraciju više vrsta podataka, u slučaju ovog istraživanja ponajprije seizmičkih i bušotinskih geofizičkih i geoloških (Catuneanu, 2019). Točnije, na seizmičkim refleksijskim podacima (sedimentom slijedu) praćeni su tipovi prekida slojeva ili refleksa (engl. *stratal terminations*), određeni oblici slaganja taložina (refleksa, engl. *stratal stacking pattern*) te priroda i geometrija glavnih stratigrafskih površina, tj. refleksa

(engl. *stratal geometries*; Slika 29b). Navedene površine su hijerarhijski podijeljene u redove, opisane u Embry (2009) i Catuneanu (2019). Praćena je i putanja ruba šelfa na temelju čega se može odrediti progradacijski, retrogradacijski i agradacijski način nalijeganja (Slika 29a; Helland-Hansen i Hampson, 2009; Sztanó i dr. 2013a; Gong i dr., 2018). Međutim, s obzirom da su seizmički podaci u najvećem dijelu pokrivali samo donji dio klinoformi (engl. *bottomset*), putanja ruba šelfa određena je samo u vršnom dijelu sedimentne ispune. Glavni kriterij za interpretaciju načina slaganja taložina bila je karotažna krivulja prividne otpornosti (Ra), čiji je obrazac bio donekle usporediv na susjednim ključnim bušotinama. Interpretacijom karotaže otpornosti na ključnim bušotinama odvojeni su progradacijski, retrogradacijski i agradacijski setovi parasekvencija u dubokovodnim jezerskim naslagama (Slika 29c). Unutar krovinskih kopnenih naslaga korišten je pristup objavljen u radu Juhász i dr. (2004). Autori su koristili koncept nazivlja i interpretacije fluvijalnih naslaga u smislu ciklusa akumulacijskog prostora (*low-increasing* i *high-accumulation space, odnosno LAS, IAS, HAS*), prvotno objavljenim u Weissmann i dr. 2002. Integracijom seizmičkih i bušotinskih podataka u vidu analiza sekvencijske stratigrafije i ciklusa, odvojene su sekvencije i ciklusi taloženja unutar gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga.



Slika 29. Dijelovi analiza sekvencija. **a**) analiza putanje ruba šelfa (Gong i dr. 2018); **b**) tipovi prekida slojeva ili refleksa (engl. *stratal terminations*; Catuneanu, 2019); **c**) različito verikalno nalijeganje setova parasekvencija (Catuneanu, 2019).

5.2.8 Pretvorba seizmičkih podataka iz vremena u dubinu

Inicijalna interpretacija odrađena je s vertikalnom osi u dvostrukom vremenu putovanja seizmičkog vala. Međutim, kako bi se mogla izvršiti detaljna interpretacija dinamike i evolucije taložnog bazena, odnosno dinamike taloženja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga bilo je potrebno pretvoriti seizmičke podatke iz vremenske domene u dubinsko, metarsko mjerilo. Točnije, geometrija refleksa (seizmičkih tragova) u dubinskom mjerilu daje geološki stvarniju sliku podzemlja, a iz interpretiranih horizonata i površina moguće je izračunati debljine pojedinih stratigrafskih i taložnih elemenata (Veeken, 2007).

Odnos vrijeme-dubina u podzemlju ovisi o brzini širenja seizmičkog vala. Umjetno izazvani seizmički val za potrebe snimanja refleksijskih seizmičkih profila predstavlja energiju elastičnog naprezanja koji u obliku fronte napreduje kroz stijene u podzemlju. Prema tome, brzina širenja seizmičkog vala ovisi o poroznosti, veličini zrna i sortiranosti, sadržaju fluida, kompakciji, dubini zalijeganja i starosti stijena. Navedeni faktori zapravo utječu na gustoću i elastična svojstva stijena, opisana modulima elastičnosti. Točnije, u stijenama se brzina longitudinalnih (kompresijskih) valova izračunava prema sljedećoj formuli:

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\sigma}{(1-2\sigma)(1+\sigma)}}.$$

gdje je k volumni modul, μ modul smicanja, E Youngov modul, σ Poissonov koeficijent.

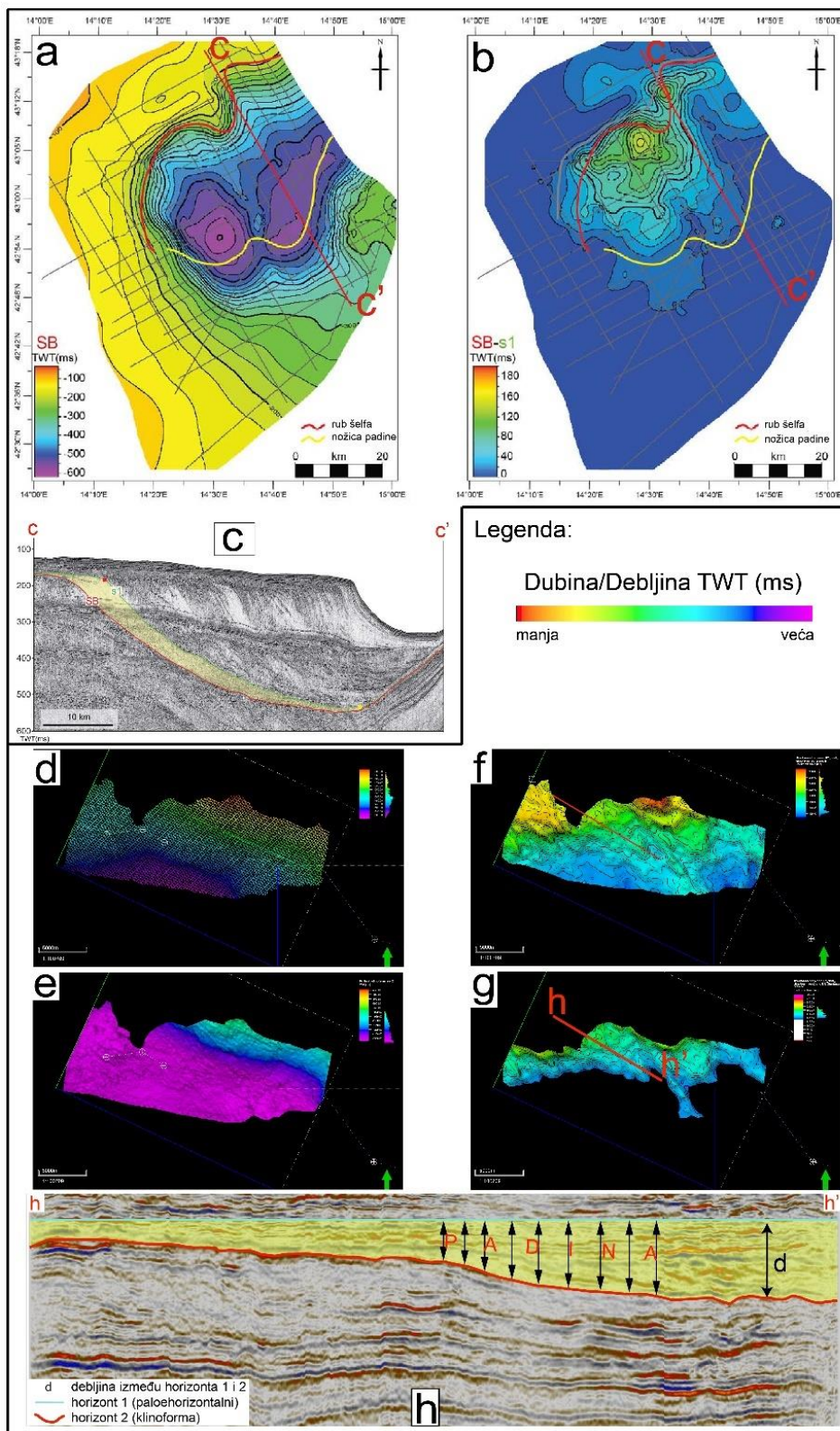
Dakle, za potrebe pretvorbe podataka iz vremenske domene u dubinsku nužno je slijed stijena u podzemlju parametrizirati pomoću modela brzina. Prema Yilmaz (2001), protokol pretvorbe seizmičkih podataka iz vremena u dubinu sastoji se od interpretacije niza horizonata u dvostrukom vremenu, korištenja zakona brzina iz bušotina te izrade karata intervalnih brzina.

U ovom istraživanju se s obzirom na ulazne podatke, zahtjeve točnosti i geološke značajke sedimentne ispune depresije odabrao intervalni model s kontinuiranim povećanjem brzina. S obzirom da se seizmički podaci razlikuju u kvaliteti, izrađena su dva modela brzina, za 1. rang i 2. rang podataka. Oba modela sastoje se od tri intervala, koji su povezani s glavnim granicama u litologiji slijeda naslaga, kao što je opisano u metodologiji prema Yilmaz (2001). Točnije, istraživane naslage mogu se općenito podijeliti na tri cjeline: jezerski dubokovodni, turbiditni slijed naslage izmjene pješčenjaka i lapora, zatim naslage padine (prednjeg dijela) i gornjeg dijela kliniformi te prijelazne deltne i krovinske fluvijalne sedimente. U programskom

paketu E&P Petrela su iz graničnih horizonata napravljene strukturne karte u vremenskom mjerilu. Zatim su korištenjem zakona brzina izmjerenih u bušotinama uzete očitane vrijednosti dvostrukog vremena i dubine. U ovom postupku je za model 1. ranga podataka korišteno 14, a za model 2. ranga podataka 26 bušotina. Na temelju izračunatih vrijednosti intervalnih brzina, korištenjem prethodno kartiranih horizonata u vremenskoj domeni, izrađene su karte intervalnih brzina pomoću kriging metode interpolacije. U tom su koraku strukturne karte korištene kao sekundarne varijable. Temeljem tri karte intervalnih brzina izrađen je model brzina korištenjem alata engl. *Advanced velocity model* programa E&P Petrel. Prilikom izrade karte podloge gornjomiocenskih i pliocenskih stijena u 1. rangu i 2. rangu podataka korišten je model brzina izračunat za 2. rang. U svim ostalim slučajevima izrade strukturnih i karata debljina korišten je model izračunat samo unutar seizmičkih volumena, odnosno 1. rangu podataka. područja podataka.

5.2.9 Izrada strukturnih karata, karte putanje ruba šelfa i karata debljina sekvencija

Nakon interpretacija niza profila unutar 3D i 2D seizmičkih podataka napravljene su plohe horizonta (engl. *surface*, Slika 30). Tim postupkom su izrađene strukturne karte u vremenskom ili dubinskom mjerilu (30e), koje se zatim dodatno uređuju s ciljem otklanjanja grešaka u interpretaciji, na primjer pogreške u praćenju refleksa kartiranog refleksa. Na takvim je strukturnim kartama moguće vidjeti sedimentološke značajke, kao npr. kanalne forme (Slika 30f). Iz strukturnih karata su zatim izrađene karte debljina, kako bi se odredio prostorni položaj ruba i padine šelfa, kao i stope padine (Slika 30f, g, h). Korištene su karte debljina između klinoformi i aproksimativno paleohorizontalnog horizonta u krovini klinoformi, točnije deltnoj ravnici (Slika 30h). Tim pristupom može se prikazati prostorni položaj padine, ukoliko se spektar boja u prikazu prilagodi samo za prikaz vrijednosti debljina koje odgovaraju padini šelfa (Slika 30g). Na nizu takvih karata koje prikazuju položaj padine pojedinačnih klinoformi je kartiranjem položaja ruba šelfa napravljena karta njegove putanje (engl. *shelf-migration map*). Metoda kojom su se koristili Pellegrini i dr. (2018) također je korištena u ovom istraživanju sa svrhom prikaza debljina izdvojenih i kartiranih sekvencija ili pojedinačnih klinotema (Slika 30a,b,c).



Slika 30. Karte i seizmički profili klinoforni (Slike a-c iz Pellegrini i dr., 2018); a) strukturalna karta jedne klinoteme; b) karta debljina jedne klinoteme; c) debljine između dva horizonta,

(položaj profila C-C' označen crvenom bojom na slikama a i b); **d**) niz interpretiranih horizonata geometrija i pružanje padina šelfa; **e**) strukturna karta (ljubičasto- dublji dijelovi, plavi- plići); **f**) karta debljina (crveno- tanji dijelovi, ljubičasto- deblji) **g**) vizualizacija padine (prednji dio) klinoforme (šelfa); **h**) Položaji geometrija klinoforme (crvena boja, horizont 1) s označenom debljinom do paleohorizontalnog refleksa na seizmičkom profilu (položaj profila h-h' označen crvenom bojom na slici g).

5.2.10 Analize seizmičkih atributa

Za još bolje razumijevanje povezanosti načina sedimentacije i transporta sedimenata, paleogeomorfologije, odredbe litologije i distribucije okoliša taloženja koristili su se različiti seizmički atributi (Slika 31). U istraživanju su korišteni: *RMS* amplituda (engl. *Root mean square*) i varijanca (engl. *variance edge method*). Atribut *RMS* amplitude seizmičkih tragova izračunava se unutar odabranog vremenskog intervala. Drugim riječima, atribut naglašava razliku akustične impedancije (*AI*) u analiziranom skupu seizmičkih podataka. To znači da će veće vrijednosti *RMS* amplituda odgovarati kontaktu litologija s većim razlikama *AI*, npr. kontaktu ispune kanala, nasipa i poplavnih sedimenata ili samih varijacija unutar ispune jednog kanala. *RMS* amplituda se izračunava prema sljedećoj formuli (*N*- broj uzoraka u intervalu; *a* amplituda seizmičkog traga):

$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N a_i^2}{N}}.$$

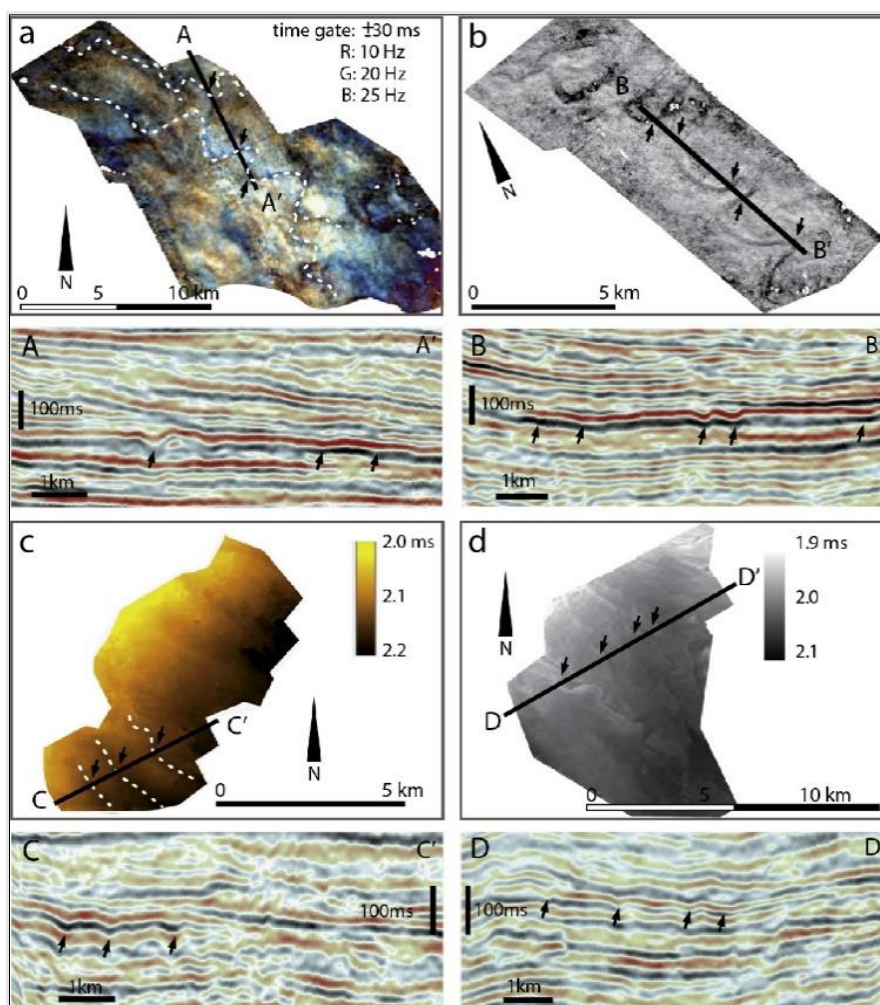
U ovom je istraživanju korišten atribut varijance - detekcija ruba (*variance edge method*) i to za vizualizaciju sedimentnih tijela, iako se prvenstveno koristi za otkrivanje diskontinuiteta (Van Bemmelen and Pepper, 2000; Barnes, 2006). Izračunata vrijednost odgovara usrednjenom vertikalnom odstupanju amplitude od prosječne vrijednosti, a definirana je prema :

$$V = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \mu)^2,$$

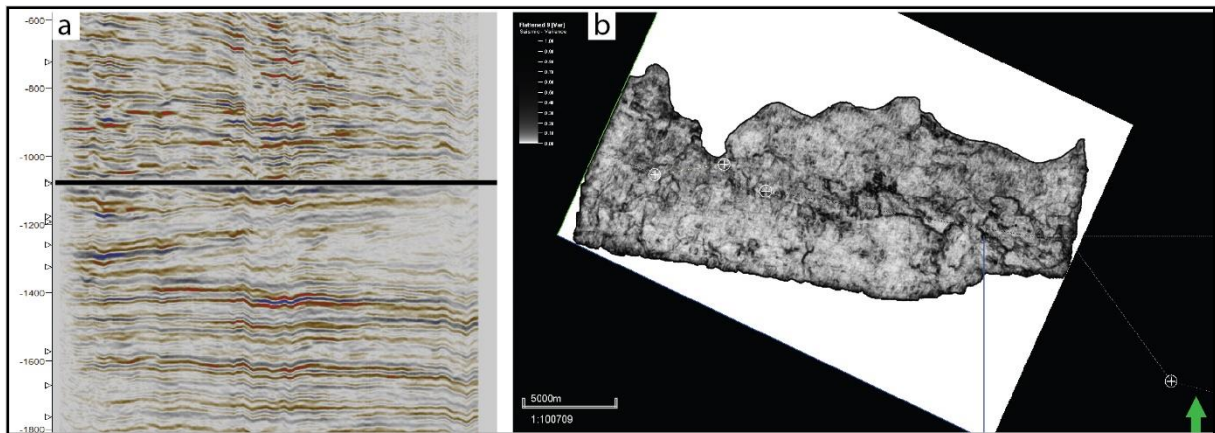
gdje je x_n broj uzorka, *N* broj uzoraka i μ je srednja vrijednost seizmičkog atributa.

Atribut je korišten na način da je cijeli seizmički volumen u vremenskom mjerilu pretvoren u atribut varijance. Nakon toga se isti izglađuje (ili ekstrahira ili izdvaja) po jednom od kartiranih horizonata. Samo izdvajanje je najbolje raditi po horizontu koji je po cijelom svom pružanju korelativna konkordancija, a ne diskordancija. Zatim se unutar dobivenog seizmičkog volumena generira vremenski presjek (engl. *time-slice*), koji se stavlja u vremensku poziciju

odabranog horizonta (Slika 32a). Takav vremenski odsječak približno prikazuje oblike (najbolje kanalne forme) za vrijeme taloženja određene jedinice (Slika 32b). Nedostatak takve metode je mogućnost da u pojedinim slučajevima vremenski presjek prolazi kroz više jedinica, a ne unutar pružanja samo jedne. Alternativna opcija bila je generiranje vremenskog presjeka u 3D prikazu te orijentiranje istog (smjer nagiba, kut nagiba, pružanje) u smjeru nagiba proučavanih naslaga, ali pri tome nije moguće koristiti i seizmičke atribute. Za detaljne interpretacije procesa taloženja prikazivao se položaj padine šelfa u određenom vremenu u kombinaciji s atributnom kartom. U takvom je prikazu moguće utvrditi točan položaj padine te istovremenih procesa na padini, njenoj stopi i u dubokovodnom, bazenskom dijelu jezera. Određivanje dijelova taložnih okoliša napravljeno je prema Tišljar (2004) i Miall (2006).



Slika 31. Strukturne karte i atributne analize na gornjomiocenskim jezerskim naslagama u drugim dijelovima PBS-a; **a – d** različite atributne karte (*spectral decomposition, coherence, time structure*) i profili koji služe za vizualizaciju podvodnih meandrirajućih kanala, nasipa i asociirajućih facijesa (prema Sztanó i dr., 2013).

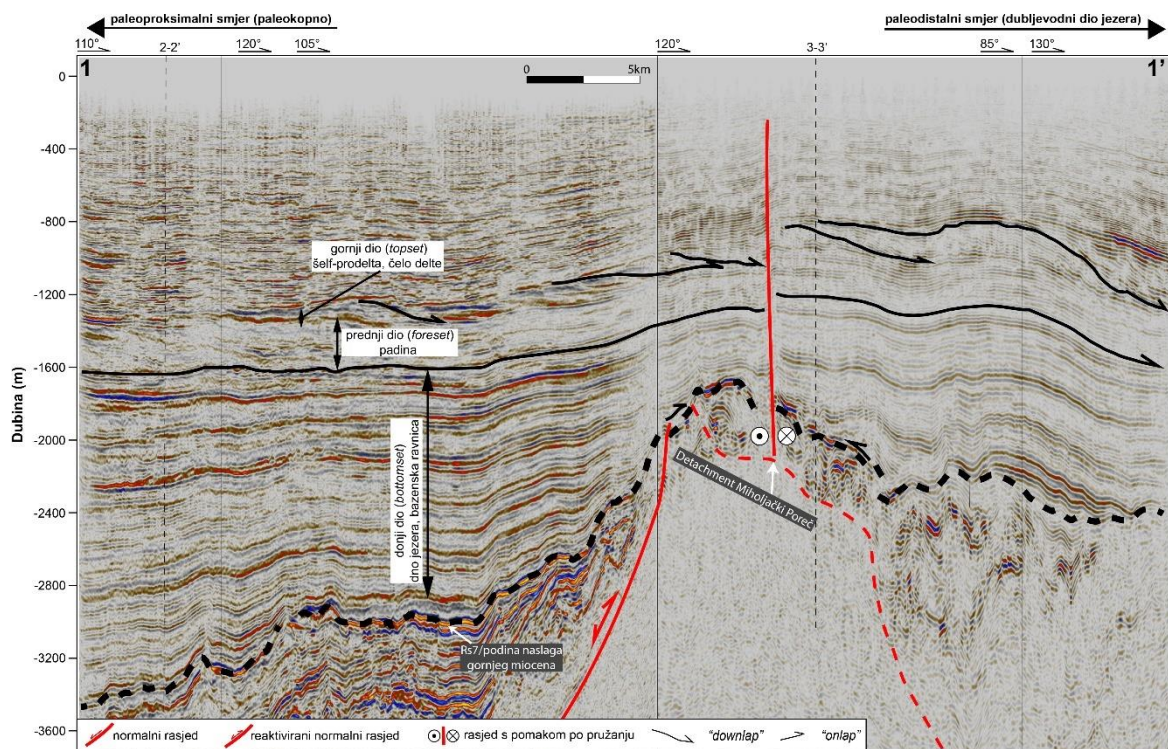


Slika 32. **a)** Seizmički presjek izravnanog seizmičkog volumena, vremenski presjek označen crnom linijom; **b)** vremenski presjek u kartografskom prikazu (atribut varijance).

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

6.1 Seizmička stratigrafija, seizmički facijes i generalni strukturni odnosi

Iz dva seizmička volumena izdvojen je kompozitni profil, 1-1' u dubinskom mjerilu (Slika 33). Na njemu su kartirani horizonti koji odgovaraju različitim gornjomiocenskim i pliocenskim jezerskim te kopnenim okolišima. Seizmostratigrafski refleks predstavlja podinu jezerskih naslaga mlađeg miocena, tj. marker H/Rs7. Navedeni refleks ima obilježja korelativne konkordancije (lijevi i desni dijelovi profila oko bušotina) ili diskordancije (središnji dio profila). Refleks je ispresijecan rasjedima, različitih relativnih pomaka, odnosno starosti. Na njega kontinuirano, ali i diskordantno (npr. *onlap* oko pozitivne strukture u središnjem dijelu) naliježu subparalelni, isprekidani refleksi, niske do visoke amplitude (Tablica 1). Iz geometrije refleksa se vidi kako prate morfologiju podine naslaga mlađeg miocena (Slika 33). Približne debljine paketa refleksa su od nekoliko desetaka do sto metara.



Slika 33. Kompozitni profil sa seizmostratigrafskom interpretacijom i glavnim strukturama. Položaj profila vidljiv na Slici 12 i Prilogu 1.

Zatim slijedi niz subparalelnih refleksa, kontinuiranih do isprekidanih, humčastih i lećastih refleksa, niske do srednje amplitude. Opisani refleksi se izmjenjuju s paralelnim do subparalelnim, generalno kontinuiranim refleksima visoke amplitude. Navedeni set refleksa zapravo u širem regionalnom stratigrafskom kontekstu predstavlja donji dio kliniformi (*bottomset*, Slika 33). Unutar refleksa moguće je prepoznati unutarnje transgresivne, *onlap* kontakte na profilima okomitim na dužu os depresije (Slika 48, 49) te kanalne forme (Slika 33). Na njima slijede isprekidani i kontinuirani sigmoidalni i lokalno humčasti refleksi, srednje amplitude. Navedeni set refleksa u smjeru istoka od desetog kilometra profila prelazi u većinom kontinuirane do isprekidane koso-tangencijalne refleksije srednjih do visokih amplituda. Lateralno razvijeni set refleksa opet prelazi u kontinuirane sigmoidalne refleksije srednjih amplituda i niske frekvencije, koji prema desnoj strani profila prelaze u većinom kontinuirane sigmoidalne refleksije srednjih amplituda (Slika 33). Opisani setovi prikazuju potpunu geometriju kliniformi, različitih prema obliku i veličini. Na osnovi geometrijskog kriterija, refleksi se mogu podijeliti na veliki set velikih sigmoidalnih (set kliniformi 1, SF3) i malih koso-tangencijalnih kliniformi (set kliniformi 2, SF4; Tablica 1).

U krovini klinoformnih refleksa razvijen je paket paralelnih, najčešće kontinuiranih do lokalno isprekidanih reflektora visokih amplituda. Debljina im je promjenjiva i kreće se do otprilike 150 m u istočnom dijelu profila. Na njih naliježe debeli paket paralelnih isprekidanih reflektora niskih do visokih amplituda. U zapadnom dijelu područja istraživanja određen je reversni rasjed, u kojem je na seizmičkom profilu 2-2' vidljiv monoklinalni oblik naslaga krovinskog krila, a okvirna vergencija strukture je prema sjeveru (Slika 12, 48; Prilog 1). U istočnom dijelu područja istraživanja vidljiva su dva strukturna uzvišenja, južni prema Krndiji i sjeverni prema strukturi oko bušotine DM-1 (Slika 49). U središnjem dijelu profila vidljiva je pozitivna struktura, vjerojatno vezana uz interpretirani reversni rasjed. Isto tako, uz sjevernu strukturu vidljiva je zona *detachmenta* Dravica (prema Rukavina, 2021), koji predstavlja pozitivno reaktiviranu strukturu, a deformira naslage unutar SF1, SF2 i SF3. U području oko bušotine B-4 određen je i rasjed koji je istočni dio naslaga doveo u strukturno viši položaj u odnosu na lijevi dio profila (Slika 33). Temeljem detaljne interpretacije 3D seizmičkog volumena 2 rasjed je određen kao lijevi tip rasjeda s pomakom po pružanju.

Tablica 1. Utvrđene jedinice seizmofacijesa iz seizmičkih podataka 1. ranga i 2. ranga. Vertikalno crno mjerilo na primjerima seizmofacijesa označava 100 m. Plava linija - podina formacije Andraševac, zelena linija - podina naslaga formacije Nova Gradiška, narančasta linija - podina naslaga formacije Pluska.

Jedinica seizmofacijesa	Primjer seizmofacijesa 1. ranga	Interpretacija	Primjer seizmofacijesa 2. ranga	Interpretacija	Karakteristike refleksa	Generalna litologija i vezani facijesi/okoliš taloženja
SF6					paralelni isprekidani reflektori malih do visokih amplituda	pijesci, šljunci, gline, ugljeni, treset kopneni fluvijalni okoliš
SF5					paralelni, najčešće kontinuirani do isprekidani reflektori visokih amplituda	heterolitni facijesi, siltovi, pijesci, gline, ugljen delta
SF4					kontinuirani i isprekidani, kosi-tangencijalni reflektori srednjih do visokih amplituda	interval nije nabušen generalno prednji dio (padina)
SF3					isprekidani do kontinuirani, sigmoidalni i lokalno humčasti refleksi srednje amplitude	većinom glinom bogati lapori, siltiti, siltovi i gline s proslojcima pješčenjaka, fragmentima ugljena i rijetko šljuncima gornji dio (self), donji dio (padina) i donji dio (turbiditni nožice padine)
SF2					izmjena subparalelnih, kontinuiranih do isprekidanih, humčastih i lečastih refleksa niske do srednje amplitude sa paralelnim do subparalelnim, generalno kontinuiranim refleksima visoke amplitude	glinom bogati lapori u donjem dijelu, a zatim izmjena lapora i pješčenjaka jezerski, dubokovodni, distalni turbiditni sustav
SF1					subparalelni, isprekidani, refleksi niske do visoke amplitude	kalcitom bogati lapori, mjestimično klastiti (pješčenjaci, konglomerati) plitko do duboko otvoreno jezero

6.2 Rezultati analiza geoloških i geofizičkih podataka u bušotinama

U poglavlju su integrirani rezultati svih analiza i interpretacija bušotinskih podataka (Tablica 2). U prvom redu to su digitalizirani zapisi litologije sa sita i litološkog sastava jezgri te rezultati interpretacije geofizičkih podataka. Prikazani su rezultati sedimentoloških analiza na jezgrama 17 bušotina od kojih je 8 prikazano u obliku shematskih geoloških stupova. Iz opisanog litološkog sastava uzoraka jezgri izdvojeni su bušotinski facijesi. Detaljni opis svih rezultata analiza iz Tablice 2 nalazi se u Dodatku 1. Izrađeni su shematski prikazi geoloških stupova svih ključnih bušotina s interpretacijama litološkog sastava, taložnih okoliša i litostratigrafskih formacija unutar gornjomiocenskih i pliocenskih jezerskih i kopnenih fluvijalnih naslaga (Potpoglavlje 6.2.2 Shematski geološki stupovi bušotina). Na kraju su prikazani rezultati analiza starosti (Potpoglavlje 6.2.4 Radiometrijsko određivanje starosti i biostratigrafija).

Tablica 2. Odrađene analize na uzorcima iz bušotinskih jezgri. o- odrađeno; n- neodrađeno/analiza nije bila pozitivna. Zelena i žuto zelena polja označavaju jezgre unutar 1. ranga podataka (3D seizmičkih podaci), a bijela unutar 2. ranga.

UZORAK	Interval jezgrovanja	ANALIZE HGI 95/96	Ostrakodi	Ostali fosilni sadržaj	Palinologija (ovo istraživanje/INA izvještaji)	CaCO ₃ (%)	Granulometrija/Petrografija	Aps. određivanje starosti	Litologija jezgra	Master log	Litologija karotažna mjerenja	Seizmika pozicija	Stratigrafska pripadnost (prema Šimon, 1973)
PS-4/J-5	1500,0-1506,3	n	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o	o
PS-4/2655-2657/2m	2655-2657	n	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o	o
PS-2/J-2/3m	798,1-804,1	n	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o	o
PS-2/J-4/4m	1195,6-1201,6	n	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o	o
PS-2/J-5/6m	1401,4-1407,4	n	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o	o
PS-2/J-7/11m	2003,8-2008,0	n	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o	o
PS-2/J-10	2290-2296,4	n	n	n	o	n	n	n	o	o	o	o	o
PS-2/J-15	2897,7-2903,3	n	o	n	o	n	n	o	o	o	o	o	o
Čd-1/J-2/1m	2280-2282,5	o	n	o	o	n	n	o	o	o	o	o	o
Čd-1/J-3/2m	2480,5-2483	n	o	n	o	o	n	o	o	o	o	o	o
Čd-1/J-4/1m	2702-2704	n	o	n	o	o	n	o	o	o	o	o	o
Čd-1/J-5/11m	2996-3000,5	n	o	n	o	o	n	o	o	o	o	o	o
Čd-1/J-6/11m	3005-3009	o	o	n	o	o	n	o	o	o	o	o	o
Čd-1/J-6/11m	3005-3009	n	o	n	o	o	n	o	o	o	o	o	o
DM-1/J-1/1m	801,8-807,5	n	o	n	o	o	n	o	o	o	o	o	o
DM-1/J-1/11m	801,8-807,5	n	o	o	o	n	n	n	n	n	o	o	o
DM-1/J-3/1m	952,6-958	n	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o	o
Mag-1/J-1/1m	1866,4-1870,5	n	o	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o
Mag-1/J-1/11m	1866,4-1870,5	n	o	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Mag-1/J-1/11m	1866,4-1870,6	n	o	o	o	o	o	n	o	o	o	o	o
Mag-1/J-1/1Vm	1866,4-1870,5	n	o	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Mag-1/J-2/1m	1977,2-1982,2	n	o	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Mag-1/J-3/1m	2193,5-2196,7	o	n	n	n	n	o	n	o	o	o	o	o
Mag-1/J-4/11m	2196-2198,7	o	o	n	o	o	n	n	o	o	o	o	o
Sj-3/J-3/11m	1897-1906	n	o	n	o	n	n	n	o	o	o	o	o
Sj-3/J-3/11m	1897-1906	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Sj-3/J-3/7m	1897-1906	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Mar-1/J-1/1m	1103,7-1109,7	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Mar-1/J-1/11m	1103,7-1109,7	n	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
GV-1/J-1/1m	2714-2719	n	o	n	o	n	o	n	o	o	o	o	o
GV-1/J-1/11m	2714-2719	o	n	n	n	n	o	n	o	o	o	o	o
GV-1/J-1/11 m	2714-2719	n	o	n	o	n	o	n	o	o	o	o	o
GV-1/J-1/1V m	2714-2719	n	o	n	o	n	o	n	o	o	o	o	o
GV-1/J-1/1Vm	2714-2719	o	n	n	n	n	o	n	o	o	o	o	o
DB/J-1/1m	3292-3294	n	o	n	n	n	n	n	o	o	o	o	o
DM-2/J-1/V m	1070-1076	n	o	n	o	n	n	n	o	n	o	o	o
DM-3/J-1/1 m	1046,4-1052,4	n	o	n	n	n	n	n	o	o	o	o	o
DM-3/J-1/11 m	1046,4-1052,4	n	n	n	o	n	o	n	o	o	o	o	o
PP-1/J-1	846-850	n	o	o	o	n	n	n	o	o	o	o	o
Tr-1/J-1	1070-1071,8	n	o	n	n	n	n	n	o	x	o	o	o
Mar-4/J-1/1m	2249-2250	n	o	n	n	o	n	n	o	o	n	o	o
Koška-3	2038-2041	n	o	o	n	n	n	n	o	o	n	o	o
BRZ-1/J-1/1m	1222-1228	n	o	o	o	n	n	n	o	o	o	o	o
BRZ-1/J-1/11m	1222-1228	n	o	n	o	n	n	n	o	o	o	o	o

6.2.1 Bušotinski facijesi utvrđeni pregledom jezgri

Na temelju pregleda jezgri izdvojeno je sedam bušotinskih facijesa (BF). Facijesi su izdvojeni na temelju stratigrafske pripadnosti, litološkog sastava, sedimentnih struktura i tekstura. Svakom facijesu je određen i taložni okoliš, a detaljan opis je dan u Tablici 3.

Tablica 3. Izdvojeni bušotinski facijesi utvrđeni na pregledanim jezgrama.

Bušotinski facijesi	Kod bušotinskog facijesa	Jezgre ključnih bušotina	Litostratigrafska pripadnost	Litološki sastav	Sedimentne teksture i strukture	Taložni okoliš
bušotinski heterolitni facijesi glina, slabo vezanih: silita, pješčenjaka, konglomerata i ugljena	BF7	PS-4/J-1(5m); PS-4/J-2; PS-2/J-2(3m); PS-2/J-3(1m), PS-2/J-3(4m); PS-2/J-1(2m); PS-2/J-3(3m); PS-2/J-3(5m); PS-2/J-4(1m); PS-2/J-4(2m);	PLU	slabo vezani: glinoviti siliti, matrikspotporni konglomerati, pješčenjaci, glina, siliti	laminacija u pješčenjacima, limonizirane glinae, fragmenti ugljena u pješčenjacima, tinjčasti (Mus) pješčenjaci	fluvijalni
bušotinski facijesi slabo vezanih pješčenjaka i silita delte	BF6	PS-4/J-5; PS-2/J-5/6m; DM-1/J-1/m; DM-1/J-1/m	NGR	izmjene slabo vezanih: silita i sitnozmatog pješčenjaka, silita, sitnozno pješčenjaka	siliti plavosive boje, pješčenjaci tinjčasti, u silitima fragmenti ugljeniziranih biljaka	delta
bušotinski facijesi izmjene pješčenjaka, silita i lapora distalnih turbiditnih lepeza	BF5	PS-4 J?/2m; PS-2/J-10; PS-2/J-15; Čđ-1/J-2/1m; Čđ-1/J-4/1m; DM-1/J-3/1m; SJ-3/J-3/1m; SJ-3/J-3/1m; SJ-3/J-3/7 m, Mar-1/J-1/1m; Mar-1/J-1/1m; Mag-1/J-1/1m; Mag-1/J-1/1m; Mag-1/J-1/1m, Mag-1/J-1/1m, Mag-1/J-2/1m; GV-1/J-1/1m, GV-1/J-1/1m, GV-1/J-1/1m, GV-1/J-1/1m, GV-1/J-1/1m, DB-1/J-1/1m	AND	cm do dm izmjene svjetlih sitnoznih, tinjčastih pješčenjaka i silita tamne boje, sitnozmatni do srednjeznati pješčenjak koji prema gore prelazi u izmjenu lapora i organski bogatog (puno org. ugljevitih tvari) silita	lečasta slojevitost, lamine silita i pješčenjaka, horizontalna i valovita laminacija, kosa laminacija, muljni klasti, strukture istiskivanja, konvolucija, pougljenizirano biljno trunej u silitima, lapori tamno smeđe boje	duboki dio jezera-distalna lepeza
bušotinski facijesi masivnih pješčenjaka dubokovodnih kanala	BF4	Čđ-1/J-3/2m; Čđ-1/J-5/1m; Čđ-1/J-6/1m; Čđ-1/J-6/1m; DM-3/J-1/1m; DM-3/J-1/1m	AND	sitno, srednji i krupnozmatni pješčenjaci, mjestimično siliti	riplovi unutar silita, rijetko muljni klasti	dubokovodni distribucijski kanal
bušotinski facijesi lapora i silita bazenske ravnice	BF3	PS-2/J-7/1m, PP-1/J-1	AND	lapori, tinjčasti siliti, sitnozni lapori	siliti i lapori tamnih boja, otisci mekušaca	duboko jezero-bazenska ravnica (lateralno od distribucijskih kanala)
bušotinski facijesi izmjene pješčenjaka, konglomerata i lapora	BF2	Mag-1/J-3/1m; Mag-1/J-4/1m, DM-2/J-1/1m, TR-1/J-1; Mar-4/J-1/1m,	MEB (član Bačun)	konglomerati, izmjena konglomerata i pješčenjaka, izmjena pješčenjaka i lapora, sitnozni lator, izmjena pješčenjaka i silita	normalna i obrnuta gradacija, loše sortirani konglomerat	duboki dio jezera-debitni tokovi
bušotinski facijesi lapora i glinoviti vapnenaca otvorenog jezera	BF1	Kš-3/J-4(1m); BRZ-1/J-1/1m; BRZ-1/J-1/1m	MEB	lapori, tinjčasti siliti, sitnozni lapori	nije utvrđeno	plitko/duboko otvoreno jezero

6.2.1.1 Bušotinski facijesi lapora i glinoviti vapnenaca otvorenog jezera (BF1)

Naslage ovog facijesa utvrđene su u jezgrama bušotina Kš-3/J-4(1m), BRZ-1/J-1/1m i BRZ-1/J-1/1m. Na temelju litotološkog sastava, palinoloških analiza i seizmostratigrafije one pripadaju formaciji Medvedski breg. Prema izdvojenim cistama dinoflagelata utvrđen je distalni okoliš taloženja u otvorenom jezeru bogatom nutrijentima. Izdvojeni bušotinski facijesi usporedivi je s facijesom masivnih lapora F1 izdvojenih u doktorskom radu Kovačić (2004) i facijesom FA2 u Bartha i dr. (2022). Debljina facijesa nije određiva zbog nedostatka neprekinutih jezgri (Slika 34).



Slika 34. Primjer bušotinskog facijesa 1. **a)** dio jezgre; **b)** fragmentirani uzorci jezgre.

6.2.1.2 Bušotinski facijes izmjene pješčenjaka, konglomerata i lapora delte (BF2)

Izdvojeni bušotinski facijes (BF2) određen je u jezgrama Mag-1/J-3/Im; Mag-1/J-4/IIIm, DM-2/J-1/Im, TR-1/J-1; Mar-4/J-1/Im (Tablica 3). Litološki sastav uzoraka je sljedeći: konglomerati, izmjena konglomerata i pješčenjaka, izmjena pješčenjaka i lapora, siltozni lapori, izmjena pješčenjaka i siltita (Slika 35). Konglomerati su loše sortirani, a uočena je normalna i obrnuta gradacija. U dijelovima jezgri izgrađenih od lapora uočeni su ostrakodi i otisci mekušaca. Palinološke analize upućuju na taloženje u proksimalnim uvjetima s obzirom na veliku količinu trunja kopnenog bilja i malu količinu vodenih palinomorfi. Naslage litostratigrafski pripadaju formaciji Medvedski breg, članu Bačun, a vjerojatno su taložene u krupnozrnatim deltama, odnosno debritnim i/ili turbiditnim tokovima. Opisani facijes usporediv je s facijesom graduiranih klastita F3 (Kovačić, 2004) i FA1a i FA1b (Bartha i dr., 2022).



Slika 35. Primjeri BF2 u jezgrama.

6.2.1.3 Bušotinski facijes lapora i siltita bazenske ravnice (BF3)

Bušotinski facijes BF3 izdvojen je u jezgrama bušotina Podravska Slatina i Podravski Podgajci, PS-2/J-7/II i PP-1/J-1. Sastoji se od siltita, tinjčastih siltita i siltoznih lapora (Slika 36). Siltiti i lapori unutar analiziranih jezgri su tamnih boja. Uočeni su i otisci mekušaca. Prema palinološkim analizama naslage su taložene u distalnom okolišu jezera s hidrodinamskim uvjetima koji pogoduju očuvanju palinomorfa. Uočen je i donos iz proksimalnih i kopnenih dijelova na temelju pretaloženih starijemiocenskih dinocista. Naslage na temelju seizmostratigrafskih i ostalih analiza pripadaju formaciji Andraševac i vjerojatno predstavljaju bazensku ravnicu, tj. bočne okoliše od distribucijskih kanala i distalnih lepeza. Usporedive su s facijesom F6 (Kovačić, 2004) i FA3 (Bartha i dr., 2022).



Slika 36. Izgled jezgri koje pripadaju BF3.

6.2.1.4 Bušotinski facijes masivnih pješčenjaka dubokovodnih kanala (BF4)

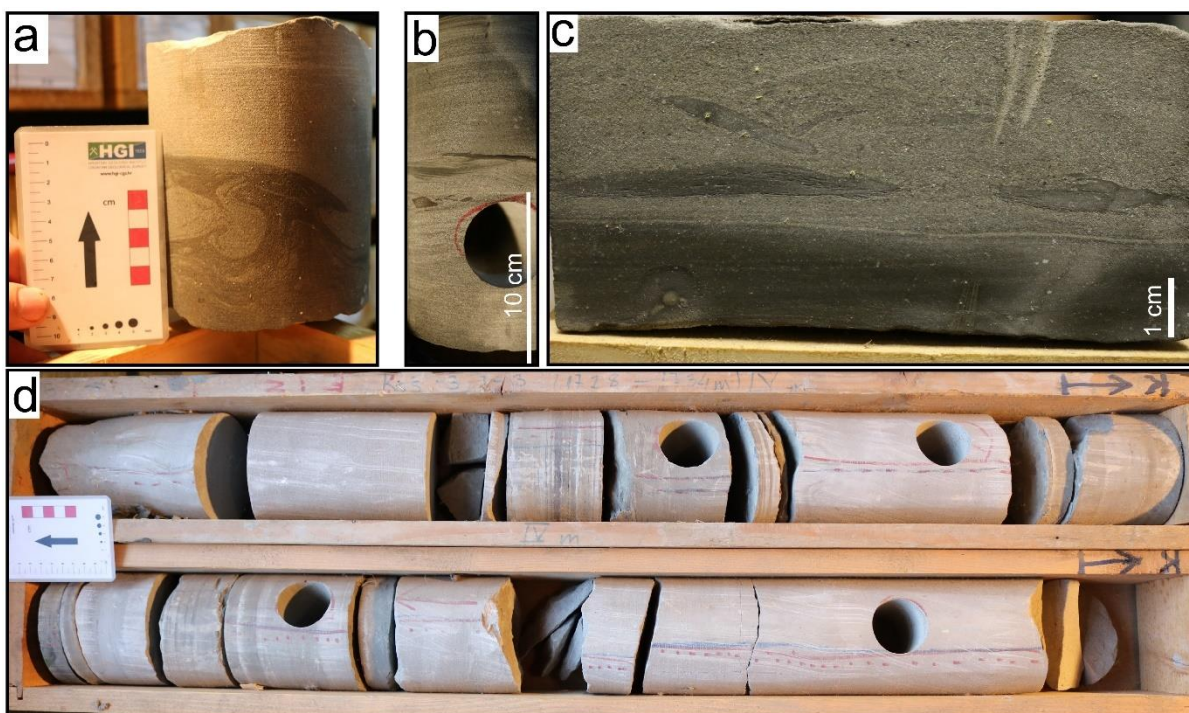
U bušotinski facijes ispune dubokovodnih kanala BF4 pripadaju jezgre iz bušotina Čađavica i Donji Miholjac, Čđ-1/J-3/2m, Čđ-1/J-5/III m, Čđ-1/J-6/II m, Čđ-1/J-6/III m, DM-3/J-1/Im i DM-3/J-1/II m. Sastoji se od sitno, srednje i krupnozrnatih pješčenjaka, mjestimično silita s riplovima te rjeđe muljnim klastima unutar pješčenjaka. Opisani facijes usporediv je s facijesom debelih pješčanih tijela i asociраних sedimenata (Kovačić, 2004), facijesom FA3 (Barth i dr., 2022) te facijesima ispune dubokovodnih kanala F5 i F6 (Tőkés i dr., 2021).



Slika 37. Izgled jezgre masivnog sitnozrnatog i srednjezrnatog pješčenjaka.

6.2.1.5 Bušotinski facijes izmjene pješčenjaka, siltita i lapora distalnih turbiditnih lepeza (BF5)

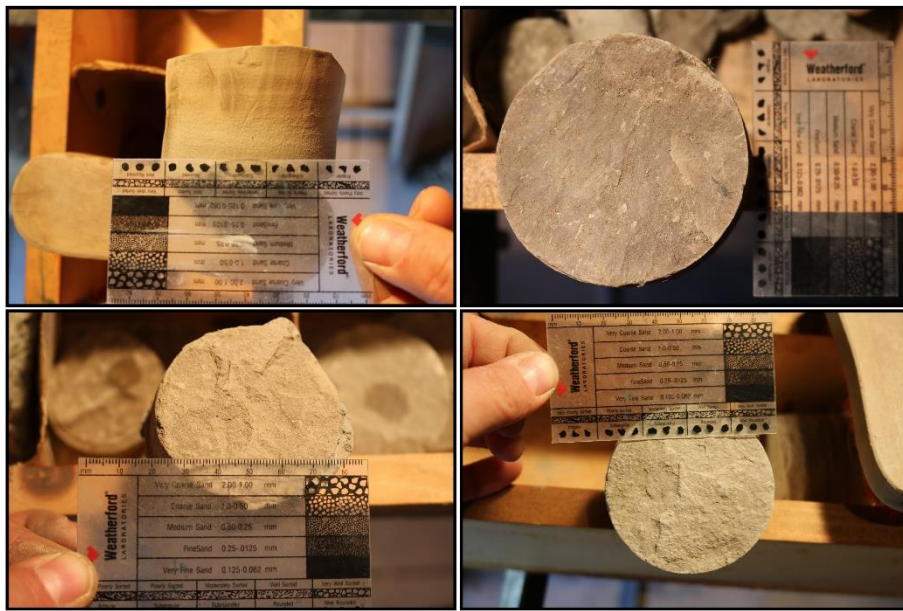
U bušotinski facijes BF5 svrstane su jezgre iz bušotina Podravska Slatina, Čađavica, Donji Miholjac, Sječe, Marjanci, Magadenovac i Gornje Viljevo, PS-4 J?/2m, PS-2/J-10; PS-2/J-15, Čđ-1/J-2/Im, Čđ-1/J-4/Im, DM-1/J-3/Im, SJ-3/J-3/IIIm, SJ-3/J-3/III m, SJ-3/J-3/7 m, Mar-1/J-1/Im, Mar-1/J-1/IIIm, Mag-1/J-1/Im, Mag-1/J-1/IIm, Mag-1/J-1/IIIIm, Mag-1/J-1/IVm, Mag-1/J-2/Im, GV-1/J-1/Im, GV-1/J-1/IIm, GV-1/J-1/IIIIm, GV-1/J-1/IVm, GV-1/J-1/Vm i DB-1/J-1/Im. Slijed se sastoji od centimetarske do decimetarske izmjene svijetlih siltoznih, tinjčastih pješčenjaka i siltita, sitnozrnatih do srednjezrnatih pješčenjaka koji prema gore prelaze u izmjenu lapora i siltita (Slika 38). Lapori i siltiti su tamni. U jezgrama je uočena lećasta slojevitost, laminirane izmjene siltita i pješčenjaka, horizontalna i valovita laminacija, kosa laminacija, muljni klasti, strukture istiskivanja, strujni riplovi, konvolucija i često karbonizirano biljno trunje u siltitima. Prema palinološkim analizama, utvrđena je velika količina kršja kopenog bilja i mala količina vodenih palinomorfa što upućuje na turbulentnu sredinu taloženja. Prema analizama BF5 pripada formaciji Andraševac, taložnom okolišu distalnih dubokovodnih turbiditnih lepeza. Opisani bušotinski facijes usporediv je s facijesom tanko uslojenih pijesaka, siltova i siltoznih lapora F8 i facijesom normalno graduiranih siltova F9 (Kovačić, 2004) te facijesom FA3 (Bartha i dr., 2022).



Slika 38. Izgled jezgri unutar BF5. **a)** strukture istiskivanja; **b)** muljni klasti, klasti silita/lapora u sitnozrnatom pješčenjaku (engl. *mud clast*); **c)** klasti sitlita/lapora u pješčenjaku; **d)** izgled slijeda neprekinute jezgre dužine 2 m u kojoj dolazi do generalne izmjene dvije litologije, pješčenjaka i lapora.

6.2.1.6 Bušotinski facijes slabo vezanih pješčenjaka i silita delte (BF6)

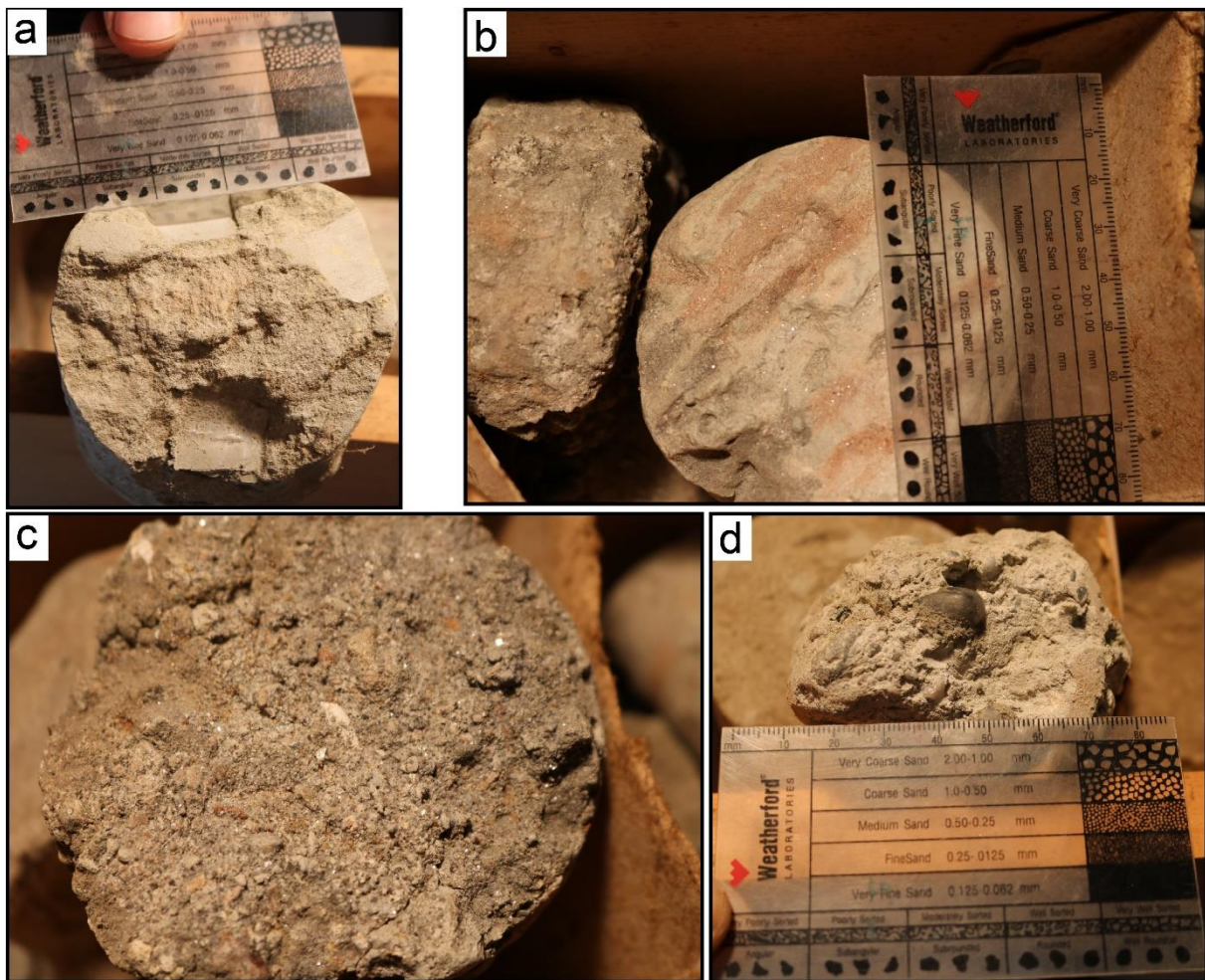
Naslagama ovog facijesa pripadaju analizirane jezgre PS-4/J-5, PS-2/J-5/6m, DM-1/J-1/m i DM-1/J-III m. Stijene ovog facijesa su slabo vezani: siliti, izmjene silita i sitnozrnatog pješčenjaka, siltoznog pješčenjaka i pješčenjaka (Slika 39). Siliti su plave boje sa sivim nijansama, pješčenjaci tinjčasti, a u silitima su česti fragmenti karboniziranih biljaka. Na osnovi provedenih analiza slijed pripada formaciji Nova Gradiška, tj. deltnim okolišima. Palinološkim analizama utvrđeno je da naslage pripadaju okolišima s povećanim riječnim utjecajem u odnosu na prethodno opisane, odnosno na blizinu deltnih sustava. Opisane prijelazne naslage usporedive su s ustanovljenim facijesom masivnih siltova F10 i facijesom laminiranih pijesaka F11 (Kovačić, 2004). Isto tako, moguća je usporedba s izdvojenim asocijacijama facijesa FA5a i FA5b u Bartha i dr. (2022).



Slika 39. Jezgre iz BF6, generalno sastavljene od slabo vezanih pješčenjaka i silita.

6.2.1.7 Bušotinski heterolitni facijes glina, slabo vezanih silita, pješčenjaka, konglomerata i ugljena (BF7)

Bušotinski facijes BF7 određen je u bušotinama Podravska Slatina, PS-4/J-1(5m), PS-4/J-2, PS-2/J-2(3m), PS-2/J-3(1m), PS-2/J-3(4m), PS-2/J-1(2m), PS-2/J-3(3m), PS-2/J-3(5m), PS-2/J-4(1m) i PS-2/J-4(2m). Na temelju analiza jezgri, zaključeno je da se BF7 generalno sastoji od slabo vezanih: glinovitih silita, matrikspotpornih konglomerata, pješčenjaka, glina i silita (Slika 40). Na jezgrama je uočena laminacija u pješčenjacima, limonitizirane gline, fragmenti ugljena u pješčenjacima te tinjčasti pješčenjaci (muskovit). Palinološke analize upućuju na taloženje u poplavnim ravnicama rijeka i uz riparijsku (engl. *riparian*, priobalna zona uz korito rijeke) zonu. Dakle, i na osnovi analiza potvrđena je litostratigrafska pripadnost formaciji Pluska, tj. fluvijalnim okolišima. Opisani BF usporediv je s izdvojenim heterolitnim facijesom F12 u radu Kovačić (2004) te asocijacijom facijesa FA6 prema Bartha i dr. (2022).



Slika 40. Jezgre iz BF7. **a)** slabo vezani glinovito-siltozni sitnozrnati pješčenjak s muskovitima; **b)** i **c)** slabo vezani, slabosortirani, matrikspotporni konglomerat i siltozni sitnozrnati pješčenjak s muskovitima; **d)** slabo vezani matrikspotporni konglomerat (matriks od sitnozrnatog pijeska s tinjcima).

6.2.2 Shematski geološki stupovi unutar bušotina

6.2.2.1 Bušotina Podravska Slatina 4 (PS-4)

Bušotina PS-4 smještena je u zapadnom dijelu područja istraživanja, unutar seizmičkog volumena 1 (Slika 12, Prilog 1). Izrađena je 1962. godine s konačnom dubinom od 3510 m, prilikom čega je probušila pliokvartarne kopnene, gornjomiocenske jezerske te srednjomiocenske marinske naslage (Prilog 2). U originalnom geološkom izvještaju podina gornjomiocenskih naslaga (H/Rs7) određena je netom prije dna bušotine, na dubini od 3500 m (Lucić, 1962).

6.2.2.1.1 Formacija Medvedski breg

Debljina jedinice procijenjena je temeljem interpretacije elektrokarotaže i zapisa krhotina sa sita. Određene su dvije litologije, lapori i pješčenjaci. U prvih dvadesetak metara slijed je u potpunosti sastavljen od lapora. Zatim je od 3655 m naviše interpretirano nekoliko paketa pješčenjaka različitih debljina. Na temelju trenda krivulja SP i Ra određen je generalni trend positnjavanja naviše, što je uz litologiju prema Sebe i dr. (2020) tipično za formaciju Medvedski breg. Krovina formacije određena je na 3330 m pa je debljina cijelog slijeda procijenjena na oko 170 m, sastavljena od BF1.

6.2.2.1.2 Formacija Andraševac

Slijed naslaga od 3330 m dubine do 1505 m određen je kao formacija Andraševac. Temeljem karotaže, podataka krhotina sa sita i jezgri, interval se generalno sastoji od izmjene pješčenjaka i lapora, glinom bogatih lapora i pješčenjaka u gornjem dijelu. Prema SP i Ra krivuljama, slijed naslaga do 2560 m izgrađen je od debelih paketa pješčenjaka proslojenih laporima. Sudeći po spomenutim krivuljama, pješčenjaci su vjerojatno više siltozni, manje propusni ili zasićeni ugljikovodicima u intervalu od 2750 do 2560 m. U sporadičnim jezgrama u navedenom intervalu su određeni srednjezrnati pješčenjaci i lapori. Opisani interval vjerojatno odgovara BF3 i BF4. U daljnjem slijedu naslaga do dubine 2115 m je na temelju elektrofacijesa određena izmjena pješčenjaka i debljih paketa lapora BF3 i BF4. Slijed naslaga do krovine formacije je sastavljen od glinom bogatih lapora sa sporadičnim proslojcima pješčenjaka. Ukupna debljina formacije u bušotini PS-4 je oko 1825 m.

6.2.2.1.3 Formacija Nova Gradiška

Na temelju analiza bušotinskih geofizičkih i geoloških podataka jedinica se sastoji od pješčenjaka, glinom bogatih lapora, lapora, glina i ugljena što djelomično odgovara BF6. Prvih sto metara slijeda prevladavajuće je izgrađen od glinom bogatih lapora proslojenih s pješčenjacima. Jezgra PS-4/J-5 je izgrađena od siltita i jako sitnozrnatih pješčenjaka (Dodatak 1). U slijedu naslaga od 2530 do 1525 m je uz pješčenjake na situ određena i glina. Od 1532 m do krovine naslaga na 1410 m, raste broj i debljina paketa pješčenjaka. Uz pješčenjake, na situ su određena dva intervala s malim postocima čistog lapora (na intervalima 1330-1315 m i 1370-1355 m). U završnom slijedu, od 1280 m do vrha, slijed naslaga je dominantno izgrađen od pješčenjaka i glinom bogatih lapora, unutar kojih se prema odredbama sa sita vjerojatno nalaze i slojevi glina te ugljena.

6.2.2.1.4 Formacija Pluska

Formacija Pluska je prema podacima sa sita, jezgri i geofizičkih bušotinskih podataka sastavljena od različitog litološkog sastava. U prvom dijelu, od 1280 m do 900 m dubine, pretežno su zastupljene izmjene pješčenjaka i glinom bogatih lapora, s pojavama ugljena na 1227 m i 1195 m dubine. Debljine pješčanih slojeva su najmanje 1 m do najviše 30 m. Od 900 m dubine prema ušću bušotine određena je izmjena generalno dva litotipa, pijesaka i glina, koji su mjestimično proslojeni s ugljenima. Uz to, prema podacima iz dvije jezgre, u intervalu su određeni slabo vezani siltiti, glinovito pjeskoviti siltiti i tinjčasti pješčenjak što odgovara izdvojenom BF7. Debljina paketa pijesaka i glina je promjenjiva, od najmanje 1 do najviše 30 m. Interpretirane debljine paketa glina su od najmanje 1 do najviše 14 m u intervalu od 627 do 613 m dubine, gdje je i prema podacima krhotina sa sita postotno najzastupljenija glina. Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.2.2 Bušotina Podravska Slatina 5 (PS-5)

Bušotina PS-5 smještena je u zapadnom dijelu područja istraživanja, unutar seizmičkog volumena 1 (Slika 12, Prilog 1). Izrađena je 1985. godine, prilikom čega je probušila kopnene fluvijalne naslage, gornjomiocenske i pliocenske jezerske (Prilog 3), srednjomiocenske i donjomiocenske morske, kopnene i jezerske naslage. Dno bušotine nalazi se u stijenama podloge neogenskog bazena (Pt) s konačnom dubinom od 5051 m. Podina gornjomiocenskih

naslaga (H/Rs7) je prema stratigrafskim rezultatima (Trogljić i dr., 1985) određena na 3460 m. U istraživanom intervalu nije bilo jezgrovanja.

6.2.2.2.1 Formacija Medvedski breg (MEB)

Podina formacije Medvedski breg poklapa se s podinom gornjomiocenskih stijena na 3450 m. Slijed naslaga generalno se sastoji od lapora, kalcitom bogatih lapora i pješčenjaka. Prvi dio slijeda, do 3400 m dubine, sastoji se od izmjene lapora i kalcitom bogatog lapora, s jednim slojem pješčenjaka debljine oko 1 m. U daljnjem slijedu do krovine formacije, koja se nalazi na 3300 m, određeno je povećanje siliciklastične komponente unutar lapora na temelju obrasca karotažnih krivulja (povećanje GR, smanjenje Ra, konstanta SP, smanjenje NEU). Uz to, prema vrhu formacije generalno raste broj i debljina pješčenih slojeva. Debljina opisanog slijeda je 160 m i vjerojatno odgovara BF1 i BF2.

6.2.2.2.2 Formacija Andraševac

Slijed naslaga formacije sastavljen je od izmjene pješčenjaka i lapora u donjem dijelu te izmjene pješčenjaka i glinom bogatih lapora u gornjem dijelu. Donji dio formacije sastavljen je od debelih paketa pješčenjaka koji se izmjenjuju s laporima do dubine od 3150 m. Od navedene dubine do dubine od približno 2850 m, pretežno prevladavaju pješčenjaci debljina od najmanje 2 m do najviše 20 m. Debljine lapora u intervalu generalno se kreću od 2 do 3 m. U intervalu od 2850 do 1980 m način nalijeganja se mijenja, izmjenjuju se generalno ciklusi positnjavanja naviše, koji započinju pješčenjacima, a završavaju laporima (BF4 i BF5). Od 1980 m naviše, dolazi do izmjene pješčenjaka i glinom bogatih lapora. Broj i debljina paketa pješčenjaka se prema vršnom dijelu smanjuje, gdje prevladavaju glinom bogati lapori s nekoliko slojeva pješčenjaka debljina oko 1 m, taloženi u okolišu padine šelfa. Krovina jedinice određena je na 1565 m dubine, što znači da je debljina formacije Andraševac 1735 m.

6.2.2.2.3 Formacija Nova Gradiška

Na temelju podataka iz krhotina isplake, formacija je sastavljena od izmjene glinom bogatih lapora i slabo do srednje vezanog pješčenjaka (vjerojatno BF6). U početnom dijelu slijeda, od podine jedinice do 1450 m, prevladavaju glinom bogati lapori s proslojcima i slojevima sitnozrnatog pješčenjaka debljina do 1m. Od 1450 m do krovine formacije na 1350 m, raste udio pješčenjaka. U početnom dijelu ovog intervala nalazi se nekoliko debljih paketa pješčenjaka (do 10 m) u izmjeni s glinom bogatim laporima. Na temelju karotažnih podataka

(GR, SP i Ra), u vršnom dijelu jedinice se izmjenjuju glinom bogati lapori i pješčenjaci, s nekoliko ciklusa debljina od 5 m prokрупnjavanja naviše. Ukupna debljina jedinice je 265 m.

6.2.2.2.4 Formacija Pluska

Naslage litostratigrafske jedinice Pluska sastavljene su od glinom bogatih lapora, slabo do srednje vezanih pješčenjaka, pijesaka, šarene gline, ugljena (lignita) i šljunaka. Ovaj litološki heterogeni slijed započinje izmjenom glinom bogatih lapora i slabo do srednje vezanih pješčenjaka s proslojcima ugljena. Prema podacima krhotina sa sita, litificirane stijene (glinom bogati lapori i pješčenjaci) određene su do dubine od 1175 m. Nakon te dubine prevladava izmjena slabo vezanih pješčenjaka i šarenih glina s proslojcima lignita. Interpretirane debljine pješčenjaka i glina na karotažnim podacima iznose od najmanje 0,5 do najviše 23 m, s opetovanim ciklusima positnjavanja naviše. U slijedu naslaga je također uočena izmjena prevladavajućeg litološkog sastava. Točnije, u određenim dijelovima je najzastupljenija glina s tanjim paketima pješčenjaka (npr. od 710 do 567 m) i obrnuto, pješčenjaci s tanjim paketima glina. Naslage odgovaraju BF7. Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.2.3 Bušotina Podravska Slatina 2 (PS-2)

Bušotina PS-2 nalazi se u zapadnom dijelu područja istraživanja, unutar seizmičkog volumena 1 (Slika 12, Prilog 1). Bušotina je izrađena 1960. godine s konačnom dubinom od 3303 m, prilikom čega su probušene kopnene te gornjomiocenske i pliocenske jezerske naslage (Jurković, 1960a; Prilog 4). Bušotina nije dosegla podinu gornjomiocenskih naslaga (H/Rs7), već je završila u njezinoj neposrednoj blizini. Prema seizmičkim podacima nedostajalo je oko 80 m.

6.2.2.3.1 Formacija Medvedski breg

Formacija Medvedski breg utvrđena je na temelju litološkog sastava, karotažnih krivulja te usporedbom s bušotinskim podacima sa susjednih bušotina (PS-4, PS-5 i Čđ-1). Dno bušotine nalazi se unutar navedene formacije (3303 m), a krovina je interpretirana na 3200 m. Početnih 8 m od dna bušotine sastoji se od kalcitom bogatih lapora koji prelaze u lapore na 3295 m. Od te dubine do krovine formacije stijene su uglavnom lapori sa sporadičnim slojevima pješčenjaka, koji su utvrđeni na temelju podataka sa sita i interpretacije karotažnih podataka. Na temelju konvencionalne karotaže određena su dva sloja debljina do 5 m u središnjem dijelu.

Istom metodom su u vršnom dijelu formacije interpretirana dva sloja pješčenjaka debljina do 1m. Facijesi vjerojatno pripadaju BF1 i BF2. Ukupna debljina formacija iznosi otprilike 183 m.

6.2.2.3.2 Formacija Andraševac

Naslage litostratigrafske jedinice Andraševac sastavljene su od izmjene lapora, pješčenjaka, glinom bogatih lapora i kalcitom bogatih lapora (terminologija prema Tišljar, 2004). Slijed naslaga od podine na 3200 m do 2000 m dubine, generalno je određen kao izmjena lapora i pješčenjaka. Debljina paketa spomenutih litotipova je promjenjiva, od paketa pješčenjaka debljine 20 m u donjem dijelu, do učestalih izmjena slojeva lapora i pješčenjaka između intervala debljih paketa (npr. interval od 2800 do 2900 m). Prema podacima iz jezgara, opisanom slijedu izmjena lapora i pješčenjaka, određeni su i siltiti, sitno, srednje i krupnozrnati pješčenjaci (ponekad masivni ili s horizontalnom ili kosom laminacijom) s dosta karboniziranih biljnih ostataka. Opisani slijed odgovarao bi BF4 i BF5. Od 2000 m dubine do krovine formacije na 1505 m, raste udio glinom bogatog lapora. U nekoliko intervala određen je i kalcitom bogati lapor (od 1950 do 1700 m). U vršnom dijelu naslaga prevladavaju glinom bogati lapori, s nekoliko izdvojenih slojeva pješčenjaka na temelju karotaže Ra. U jezgrama unutar vršnog dijela određeni su sitnozrnati pješčenjaci s horizontalnom ili kosom laminacijom te lećastom slojevitošću. Debljina formacije iznosi 1695 m.

6.2.2.3.3 Formacija Nova Gradiška

Formacija Nova Gradiška sastavljena je od glinom bogatih lapora, pješčenjaka, slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata te pijesaka, šljunaka, glina i ugljena. Početni dio slijeda, od 1505 do 1445 m, sastavljen je od glinom bogatih lapora, s karotažno izdvojenim paketom pješčenjaka debljine 31 m u krovini. Od krovinske granice opisanog paketa pješčenjaka na 1414 m naviše slijede još dva deblja paketa pješčenjaka izdvojena na karotaži Ra. Od 1374 do 1371 m dubine određen je sloj gline. Na navedeni slijed dolazi slijed generalno izgrađen od glinom bogatih lapora, unutar kojeg se na početku nalazi sloj pijesaka, a u gornjem dijelu dva sloja slabo vezanih konglomerata i pješčenjaka s krovinskom granicom na 1325 m. Zatim, od 1325 m dubine do krovinske granice formacije na 1230 m, slijedi nekoliko ciklusa prokrupnjavanja naviše. Slijed je izgrađen od izmjene debljih paketa glina s tankim paketima glina, slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata. Debljina opisane formacije iznosi 275 m.

6.2.2.3.4 Formacija Pluska

Slijed naslaga formacije Pluska sastavljen je izmjene slabo vezanih pješčenjaka, silita, i konglomerata te pijesaka, siltova, glina, šljunaka i lignita (BF7). U početnom dijelu uočena je izmjena slabo vezanih pješčenjaka, glinovitog silita i glina s jednim debljim paketom glina od 1137 do 1112 m dubine. Slijed naslaga je jednak opisanom do dubine od 820 m, gdje je prema zapisu litologije sa sita određen paket čistih glina do 625 m. Međutim, krivulja otpornosti je zadržala isti obrazac kao i u prethodnom intervalu pa je zbog toga određena izmjena glina, slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata. U jezgri unutar ovog intervala utvrđena je izmjena sivog sitnozrnatog pijeska s limonitiziranom glinom (BF6). U slijedu naslaga do površine raste udio paketa pijesaka u odnosu na gline i proslojke lignita s kojima se izmjenjuje. Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.2.4 Bušotina Čadavica 1 (Čđ-1)

Bušotina Čđ-1 nalazi se u zapadnom dijelu područja istraživanja, unutar seizmičkog volumena 1 (Slika 12, Prilog 1). Izgrađena je 1975. godine s konačnom dubinom od 3538,76 m, od čega se interval od 3089 m na gore sastoji od gornjomiocenskih i pliocenskih jezerskih i kopnenih naslaga (Hrabak, 1975; Prilog 5).

6.2.2.4.1 Formacija Medvedski breg

Podina formacije Medvedski breg u bušotini Čđ-1 podudara se s karotažnim horizontom H/Rs7, na 3089 m (Avanić i dr. 1995). Prema podacima iz Hrabak i dr., 1975, gornjomiocenske naslage diskordantno naliježu na srednjomiocenske vulkanite. Prema litološkim podacima sa sita, formacija se generalno sastoji od tamnosivih lapora s proslojcima sitnozrnatog tinjčastog pješčenjaka (BF1). Takve podatke podupiru i rezultati karotažnih mjerenja, gdje su interpretirane generalno sitnozrnate litologije s nekoliko slojeva debljine do 5 m. Na osnovi bušotinskih podataka, krovina formacije MEB određena je na 3018 m. Dakle, debljina formacije MEB u bušotini Čđ-1 je 71 m.

6.2.2.4.2 Formacija Andraševac

Na osnovi podataka krhotina sa sita, formacija AND započinje generalnom izmjenom lapora i pješčenjaka od 3089 m sve do 2150 m. Od 2150 m do interpretirane gornje granice formacije AND na 1644 m, generalno su u izmjeni pješčenjaci i glinom bogati lapori. Na

temelju interpretacije karotažnih mjerenja vidljiva je izmjena debeloslojevitih pješčenjaka i lapora u donjem dijelu (debljina do 10 m). Prema podacima s jezgri, taj se dio intervala sastoji od masivnih pješčenjaka, pješčenjaka s proslojcima siltita, izmjene pješčenjaka i lapora (BF4 i BF5). U intervalima pješčenjaka s proslojcima siltita uočeni su ciklusi positnjavanja zrna naviše. U drugom dijelu, izgrađenom od glinom bogatih lapora i pješčenjaka nema jezgrovanih intervala. Na osnovi karotažnih podataka, može se zaključiti o izmjeni debelo do tankoslojevitih krupnijeznatih i sitnijeznatih naslaga (intervala pješčenjaka i glinom bogatih lapora) s ciklusima positnjavanja naviše. U vršnom dijelu intervala na krhotinama iz sita uočeni su fragmenti ugljena. Krovinska granica formacije određena je na dubini od 1601 m, što znači da debljina iznosi 1488 m.

6.2.2.4.3 Formacija Nova Gradiška

Donja granica formacije NGR započinje na 1601 m. Prema podacima krhotina sa sita, formacija se generalno sastoji od izmjene glinom bogatih lapora, pješčenjaka (u donjem dijelu), slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata te ugljena. U donjem dijelu do 1595 m prevladavaju glinom bogati lapori s čestim proslojcima pješčenjaka. Zatim dominiraju pješčenjaci i slabo vezani pješčenjaci s proslojcima glinom bogatih lapora. Na osnovi analize bušotinskih podataka, interpretirani su i pješčenjaci u izmjeni sa konglomeratima i ugljenima. Interpretirani slojevi ugljena su najvećih debljina do 5 m, a šljunaka do 4 m. U gornjem dijelu slijeda (1355 m naviše) uočeni su ciklusi prokrupnjavanja naviše, a cijeli interval formacije NGR završava na 1215 m izmjenom pješčenjaka, konglomerata, glinom bogatih lapora i ugljena. Debljina formacije NGR iznosi 386 m.

6.2.2.4.4 Formacija Pluska

Donja granice formacije PLU podudara se s opisanim završetkom formacije NGR na 1215 m. Gornji dio formacije PLU u bušotini nije određen. Cijeli prikazani interval formacije PLU se na osnovi podataka krhotina iz isplake sastoji od izmjene pijesaka, glinom bogatih lapora i ugljena. Na temelju karotažnih podataka, izdvojeni su ciklusi positnjavanja naviše, koji često započinju šljuncima. Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.2.5 Bušotina Donji Miholjac 1 (DM-1)

Bušotina DM-1 nalazi se u središnjem dijelu područja istraživanja, unutar seizmičkog volumena 2 (Slika 12, Prilog 1). Izrađena je 1960. godine s konačnom dubinom od 1392 m, prilikom čega je probušila gornjomiocenske i pliocenske jezerske naslage od 1390 m na pliće (Jurković, 1960b; Prilog 6). Bušotina je nabušila podinu gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga u intervalu od 1390 do 1392 m koja se sastoji od metamorfnih stijena (Jurković, 1960b).

6.2.2.5.1 Formacija Medvedski breg, član Sveti Matej i Croatica

Slijed naslaga koje diskordantno naliježu na metamorfne stijene podloge (temeljno gorje) izrađen je od kvarcnog konglomerata s kalcitnim vezivom (Jurković, 1960b). Slijed započinje na 1990 m, a krovina se nalazi na 1970 m. Na konglomerate naliježu kalcitom bogati lapori debljine 5 m. Procijenjena debljina iznosi 25 m.

6.2.2.5.2 Formacija Andraševac

Formacija Andraševac unutar bušotine DM-1 sastoji se od glinom bogatih lapora, lapora, slabo vezanih pješčenjaka i glina. Slijed započinje glinom bogatim laporima u kojima od 1243 m naglo opada udio kalcitne komponente. Slijed od navedene dubine skoro je u potpunosti određen kao lapor, s nekoliko slojeva pješčenjaka debljina do 2 m (BF3). U jezgrama su pijesci određeni kao sivi do smečkasti, slabo vezani umjereno sortirani pješčenjak, s dosta muskovita, kvarcnih zrna, karboniziranih biljnih ostataka. Lapor na 1029 m oštro prelazi u gline. U slijedu glina raste broj slojeva pješčenjaka, sve do krovine formacije određene na 836 m dubine. Debljina formacije iznosi 429 m.

6.2.2.5.3 Formacija Nova Gradiška

Naslage formacije NGR izgrađene su od izmjene glina i slabo vezanih pješčenjaka (BF6). Slijed započinje debelim paketom glina od podine na 836 m do 813 m dubine. Na karotažnim podacima vidljivo je nekoliko ciklusa prokрупnjavanja naviše, što je predstavljeno sve većim udjelom i debljinama paketa pješčenjaka do krovine formacije određenu na 740 m dubine. U jezgrama su određeni sljedovi izmjene glina i siltoznih sitnozrnatih, sivih do smečkastih pješčenjaka s dosta muskovita i karboniziranih biljnih ostataka i fragmenata ugljena. Debljina formacije iznosi 96 m.

6.2.2.5.4 Formacija Pluska

Slijed naslaga formacije sastoji se od slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata, glina, pijesaka i šljunaka (BF7). U intervalu je vidljivo niz ciklusa positnjavanja naviše, koji se u početnom dijelu sastoje od izmjene pješčenjaka i glina. Od 422 m dubine su uz pijeske određeni i šljunci. Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.2.6 Bušotina Magadenovac 1 (Mag-1)

Bušotina Mag-1 nalazi se u središnjem dijelu područja istraživanja, unutar seizmičkog volumena 2 (Slika 12, Prilog 1). Izgrađena je 1973. godine s konačnom dubinom od 2802 m, prilikom čega je probušila srednjomiocenske, gornjomiocenske i pliocenske jezerske i kopnene naslage (Ilijanić i dr., 1974; Prilog 7). Podina istraživanih naslaga određena je na dubini od 2288 m.

6.2.2.6.1 Formacija Medvedski breg, član Bačun

Stijene u intervalu od 2288 m dubine do 2138 m sastavljene su od izmjene kalcitom bogatih lapora, pješčenjaka i konglomerata (BF2). Slijed je pretežno izgrađen od kalcitom bogatih lapora sa slojevima pješčenjaka i konglomerata debljina do 10 m. Prema podacima iz jezgri, konglomerati su sitnozrnati s uočenom obrnutom gradacijom. Cijeli slijed generalno positnjava naviše, tako da je u vršnom dijelu do krovine člana prisutan pretežno samo kalcitom bogati lapor. Debljina člana iznosi 150 m.

6.2.2.6.2 Formacija Medvedski breg

Slijed formacije MEB naslaga čine kalcitom bogati lapori, lapori i pješčenjaci. U početnom dijelu naslage su u potpunosti izgrađene od kalcitom bogatih lapora (BF1), koji od 2115 m do 2110 m dubine postupno prelaze u lapore. Zatim su u intervalu do krovine na 2025 m, na temelju litoloških podataka sa sita određeni samo lapori. Na temelju karotažnih podataka, određeni su i intervali koji vjerojatno odgovaraju slojevima ili proslojcima pješčenjaka. Debljina opisanog slijeda formacije Medvedski breg iznosi 113 m.

6.2.2.6.3 Formacija Andraševac

Slijed naslaga formacije Andraševac izgrađen je od lapora, pješčenjaka i glinom bogatih lapora. Interval od podine do 1440 m dubine čini izmjena lapora i pješčenjaka, gdje su prema

karotažnim podacima prisutni ciklusi positnjavanja koji završavaju s nekoliko paketa lapora, debljina do 12 m (BF4 i BF5). Prema podacima iz jezgri, prisutni su i siltiti, pješčenjaci su sitnozrnati, bogati tinjcima (muskovit i biotit), a lapori siltozni. Litološki sastav se vertikalno izmjenjuje u tankim slojevima. Od 1440 m dubine do vrha krovine formacije na 905 m, određena je izmjena glinom bogatih lapora i pješčenjaka. Pješčenjak je prema podacima litologije sa sita i dalje sitnozrnati, a bogat je tinjcima. Od 1415 m dubine, pješčenjak prelazi u slabo vezani pješčenjak. Prema karotažnim podacima, naslage u opisivanom intervalu su pretežno pijesci sa slojevima glinom bogatih lapora debljina do nekoliko metara. Debljina formacije iznosi 1120 m.

6.2.2.6.4 Formacija Nova Gradiška

Naslage formacije NGR sastavljene su od slabo vezanih pješčenjaka, glinom bogatih lapora i ugljena. Krovina formacije određena je na 756 m dubine, a interval je u potpunosti izgrađen od izmjene slabo vezanih pješčenjaka i glinom bogatih lapora, na karotažnim dijagramima vidljivih kao niz ciklusa positnjavanja naviše. U donjem dijelu intervala određeni su i slojevi ugljena debljina do 2 m. Debljina formacije iznosi 150 m.

6.2.2.6.5 Formacija Pluska

Slijed kopnenih naslaga formacije Pluska sastoji se od izmjene slabo vezanih pješčenjaka, pijesaka i glina s pojavama treseta u vršnom dijelu, blizu površine. Prema karotažnim podacima vidljiv je niz ciklusa positnjavanja, unutar kojih su i prema podacima litologije sa sita određeni intervali gdje prevladavaju gline i obrnuto (BF7). Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.2.7 Bušotina Sječe 2 (Sj-2)

Bušotina Sj-2 nalazi se u istočnom dijelu Dravske depresije, unutar seizmičkog volumena 2 (Slika 12, Prilog 1). Izrađena je 1984. godine s konačnom dubinom od 3365 m, gdje je nabušila podlogu neogenske ispune, probušila donjomiocenske i srednjomiocenske stijene, a interval od 2350 m na pliće sastoji od gornjomiocenskih i pliocenskih jezerskih i kopnenih naslaga (Šurić i dr., 1985; Prilog 8).

6.2.2.7.1 Formacija Medvedski breg, član Bačun

Donju granicu člana Bačun čini karotažni horizont H/Rs7 na dubini od 2350 m. Na osnovi bušotinskih podataka, navedeni član kontinuirano naliježe na starijim donjo i srednjomiocenskim naslagama. Član Bačun unutar bušotine Sječe-2 generalno se sastoji od izmjene lapora, pješčenjaka i konglomerata. Interval nije jezgrovan pa su debljine pojedinačnih sedimentnih tijela određene interpretacijom karotaže, a kreću se od 1 do maksimalno 10 m. Interval člana Bačun završava masivnim laporima. Krovinska granica člana Bačun interpretirana je na 2250 m, na temelju kombinacije karotažnih podataka i podataka litologije sa sita te usporedbom seizmičkim podacima. Prema tome, debljina člana u ovom dubokom dijelu depresije iznosi 100 m.

6.2.2.7.2 Formacija Medvedski breg

Na osnovi podataka litologije sa sita, ostatak formacije Medvedski breg sastoji se pretežno od lapora proslojenih s pješčenjacima. Krovina formacije Medvedski breg interpretirana je na 2067 m. Interpretacijom karotažnih dijagrama utvrđene su pojave krupnozrnatih, tanjih do debljih pješčenjačkih slojeva. Njihova debljina se smanjuje, a brojnost povećava prema krovinskoj granici formacije. Debljina opisanog slijeda formacije Medvedski breg iznosi 183 m.

6.2.2.7.3 Formacija Andraševac

Od prethodno opisane krovinske granice formacije Medvedski breg započinje formacija Andraševac. Ona se za razliku od formacije Medvedski breg u svom donjem dijelu sastoji od učestale izmjene lapora i pješčenjaka sve do 1760 m. Od navedene dubine prema gore formacija se na temelju litologije sa sita i karotažnih podataka sastoji od izmjene pješčenjaka i silita (BF5). Slojevi i paketi slojeva pješčenjaka debljina su od 1 do približno 20 m. Njihov broj i debljina značajno se smanjuju od 1250 m do 972 m, gdje se nalazi i krovinska granica formacije Andraševac. Taj interval pretežno je sastavljen od silta. Debljina formacije iznosi 1095 m.

6.2.2.7.4 Formacija Nova Gradiška

Formacija se sastoji od izmjene slabo vezanih pješčenjaka i silita sa proslojcima ugljena (BF6). U cijelom intervalu dominiraju srednjezrnati pješčenjaci, pogotovo u vršnom dijelu. Navedene litologije čine niz ciklusa prokrupnjavanja naviše. Krovinska granica formacije određena je na dubini od 799 m. Interpretirana debljina formacije iznosi 173 m.

6.2.2.7.5 Formacija Pluska

Podinska granica formacije Pluska unutar bušotine postavljena je na kraju debljih ciklusa prokrupnjavanja naviše, koji odgovaraju prethodno opisanoj formaciji. Formacija se generalno sastoji od izmjene slabo vezanih pješčenjaka, silita, pijesaka, siltova i glina. U plićim dijelovima, iznad 150 m dubine pojavljuju se ugljeni fragmenti u krhotinama sa sita. Donji dio intervala generalno se sastoji od izmjene slabo vezanih pješčenjaka i siltova (BF7). Prema podacima sa sita, od 600 m dubine sve do 150 m naslage se sastoje od izmjene šljunaka i siltova. Taj interval vjerojatno se sastoji i od sitnozrnatih i krupnozrnatih pješčenjaka koji se izmjenjuju sa siltovima. Gornju granicu formacije na osnovi dostupnih bušotinskih geoloških i geofizičkih podataka nije moguće odrediti. Opisani interval od 150 m na pliće vjerojatno predstavlja mlađe naslage kvartarne starosti. Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.2.8 Bušotina Marjanci 1 (Mar-1)

Bušotina Mar-1 nalazi se u istočnom dijelu područja istraživanja, unutar seizmičkog volumena 2 (Slika 12, Prilog 1). Izrađena je 1973. godine s konačnom dubinom od 3254 m, prilikom čega je probušila donjo i srednjomiocenske naslage te gornjomiocenske i pliocenske jezerske i kopnene naslage (Višnjić i dr., 1973; Prilog 9). Podina gornjomiocenskih naslaga nalazi se na 2345 m dubine.

6.2.2.8.1 Formacija Medvedski breg, član Bačun

Slijed naslaga člana Bačun sastoji se od kalcitom bogatih lapora, lapora i pješčenjaka. Prema podacima litologije sa sita slijed se sastoji gotovo u potpunosti od lapora. Međutim, s obzirom na dostupnost različitih karotažnih mjerenja (GR, SP, Ra, DEN, NEU i AC) te određene proslojke pješčenjaka u jezgrama, određeni su i intervali krupnozrnatih stijena, točnije paketa pješčenjaka. Debljina slojeva pješčenjaka je promjenjiva, od 2 do 10 m te raste prema vršnom dijelu formacije. Kriterij za odredbu dubine krovine formacije bila je i korelacija sa susjednim bušotinama putem seizmičkih podataka. Određena je na 2253 m dubine, a debljina člana iznosi 92 m.

6.2.2.8.2 Formacija Medvedski breg

Formacija Medvedski breg sastavljena je od lapora i pješčenjaka. Slijed naslaga pretežno je sastavljen od lapora sa slojevima srednjezrnatog pješčenjaka bogatog tinjcima (BF1 i BF2). Debljine paketa pješčenjaka kreću se od 1 do 5 m. Prema karotažnim krivuljama (npr. GR), vidljiv je porast glinovite komponente i positnjavanje cijelog slijeda naviše. Krovina formacije određena je na 2044 m dubine. Debljina cijele formacije Medvedski breg iznosi 301 m.

6.2.2.8.3 Formacija Andraševac

Slijed naslaga formacije sastoji se od lapora, glinom bogatih lapora, glina, pješčenjaka i pojava ugljena. Početni slijed naslaga sastoji se od izmjene pješčenjaka i lapora s nekoliko debljih paketa lapora debljina i do 10 m te pješčenjaka do 15 m. Prema podacima iz jezgri, pješčenjaci su sitno do srednjezrnati, tamnosivi s dosta tinjaca i karboniziranih biljnih ostataka. Pješčenjaci su i u izmjeni sa sitlitičima tamnih nijansi. Od 1630 do 1100 m dubine prevladava izmjena glinom bogatih lapora i pješčenjaka. Na osnovi podataka iz jezgri određene su izmjene sitnozrnatog pješčenjaka smeđe boje i silita svijetlo do tamno smeđe boje, a na podacima litologije sa sita na 1040 m određeni su i ugljeni. Od 1200 m na gore smanjuje se udio pješčenjaka i glinom bogatog lapora, a raste udio glina. Vršni dio formacije Andraševac gotovo je u potpunosti izgrađen od glina, s nekoliko slojeva pijeska. Krovina formacije određena je na 925 m dubine, a debljina iznosi 1119 m.

6.2.2.8.4 Formacija Nova Gradiška

Formacija NGR sastoji se od izmjene slabo vezanih pješčenjaka te pijesaka, glina i ugljena. Prema karotažnim podacima, slijed se sastoji od nekoliko ciklusa positnjavanja naviše, izgrađenog od sivih i šarenih glina, zelenkasto sivog i smeđeg slabo vezanog pješčenjaka bogatog tinjcima. Pješčenjak je u nekoliko dijelova prema podacima sa sita opisan kao srednjezrnati s krupnim listićima tinjaca, a određeno je i nekoliko proslojaka ugljena. Krovina formacije određena je na 772 m dubine, pa debljina iznosi 153 m.

6.2.2.8.5 Formacija Pluska

Slijed kopnenih naslaga formacije Pluska u bušotini sastoji se od slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata (BF7), pijesaka, šljunaka, glina i ugljena. Cijeli slijed generalno se prema karotažnim podacima sastoji od ciklusa positnjavanja naviše. U pojedinim dijelovima

slijeda veća je zastupljenost debljih paketa slabo vezanih pješčenjaka i pijesaka, dok u drugim prevladavaju gline. Unutar pijesaka ponegdje su uočene i vapnene kongrecije. Gornja granica formacije nije određiva zbog nedostataka podataka iz jezgri.

6.2.3 Korelacija izdvojenih okoliša i litostratigrafskih formacija

Na temelju izrađenih shematskih geoloških stupova (Prilozi 2 do 9) izrađene su dvije korelacijske sheme, A-A' i B-B' (Slika 41, 42). Korelacijske sheme izrađene su na bušotinama iz zapadnog i istočnog dijela područja istraživanja na kojem su u prostoru povezani okoliši taloženja i litostratigrafske formacije detaljno opisane u Sebe i dr. (2020).

6.2.3.1 Korelacijska shema A-A'

Korelacijska shema A-A' izrađena je povezivanjem rezultata bušotinskih geoloških (jezgre) i geofizičkih analiza (karotažni dijagrami) unutar bušotina PS-5 (Prilog 3) i Čđ-1 (Prilog 5). Udaljenost između bušotina iznosi 5077 m (Slika 41). Vidljiva je razlika u debljinama naslaga nastalih unutar određenog okoliša taloženja i litostratigrafskih jedinica koje pripadaju jezerskim naslagama. Formacija MEB prisutna je u obje bušotine, a debljina naslaga unutar jedinice opada prema bušotini Čđ-1. Formacija MEB je u obje bušotine sastavljena od lapora i pješčenjaka, samo što su u PS-5 prisutni i slojevi kalcitom bogatog lapora koji se izmjenjuje s laporom. Debljine naslaga formacije AND u obje bušotine iznose preko 1500 m. Međutim, vidljivo je smanjenje debljine 100-tinjak m u bušotini Čđ-1 u odnosu na bušotinu PS-5. Jedinica AND ujednačenog je litološkog sastava i načina nalijeganja naslaga. Doduše, vidljive su veće debljine slijeda izmjene lapor-pješčenjak i glinom bogati lapor-pješčenjak u PS-5 u odnosu na Čđ-1 (Slika 41). Na karotažnim podacima je isto tako vidljiv porast glinovite komponente (GR na PS-5, Slika 41) i positnjavanje prema vršnom dijelu koji pripada okolišima padine (SP i Ra krivulje, Slika 42).

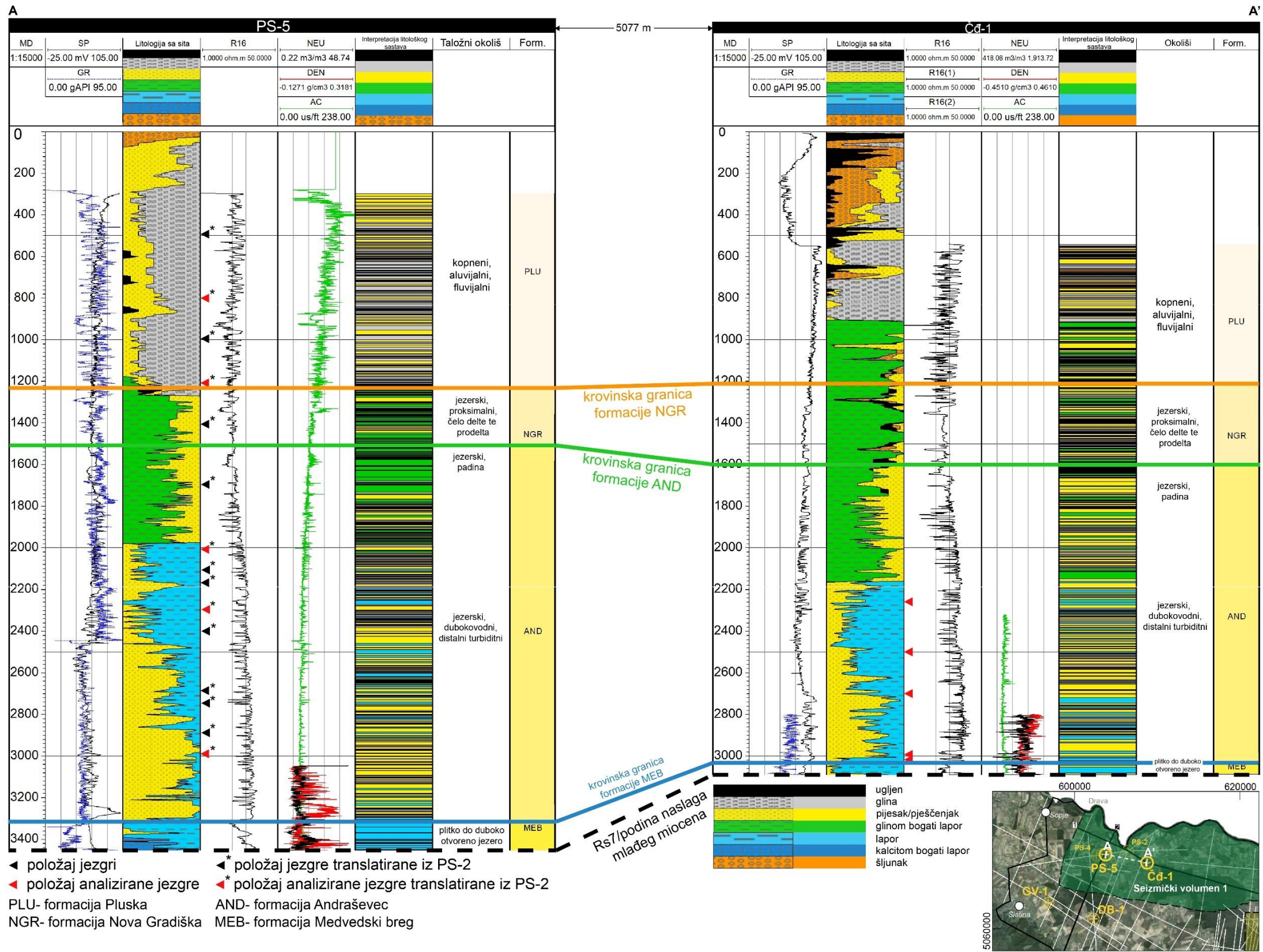
Za razliku od prethodne dvije jedinice, debljina formacije NGR veća je u bušotini Čđ-1 u odnosu na zapadniju PS-5. Obje jedinice jednakog su litološkog sastava, a vidljivi su i ciklusi positnjavanja naviše. Kopnene naslage formacije PLU gotovo su jednakih debljina (Slika 41). Unutar obje bušotine na karotažnim podacima su vidljivi česti ciklusi positnjavanja naviše, ali litološki sastav naslaga se razlikuje u manjoj mjeri. U bušotini Čđ-1, glinom bogati lapori su prisutni u većim debljinama, točnije, zastupljeni su prvih 250 m, dok u PS-5 nestaju nakon prvih

100 metara od podine (Prilog 3). Isto tako, ostatak slijeda do površine unutar PS-5 sastavljen je pretežno od slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata, pijesaka i glina sa šljuncima u samom vršnom dijelu. Nasuprot tome, u bušotini Čđ-1 prisutno je više slabo vezanih konglomerata i šljunaka i to već od 740 m dubine (Prilog 5).

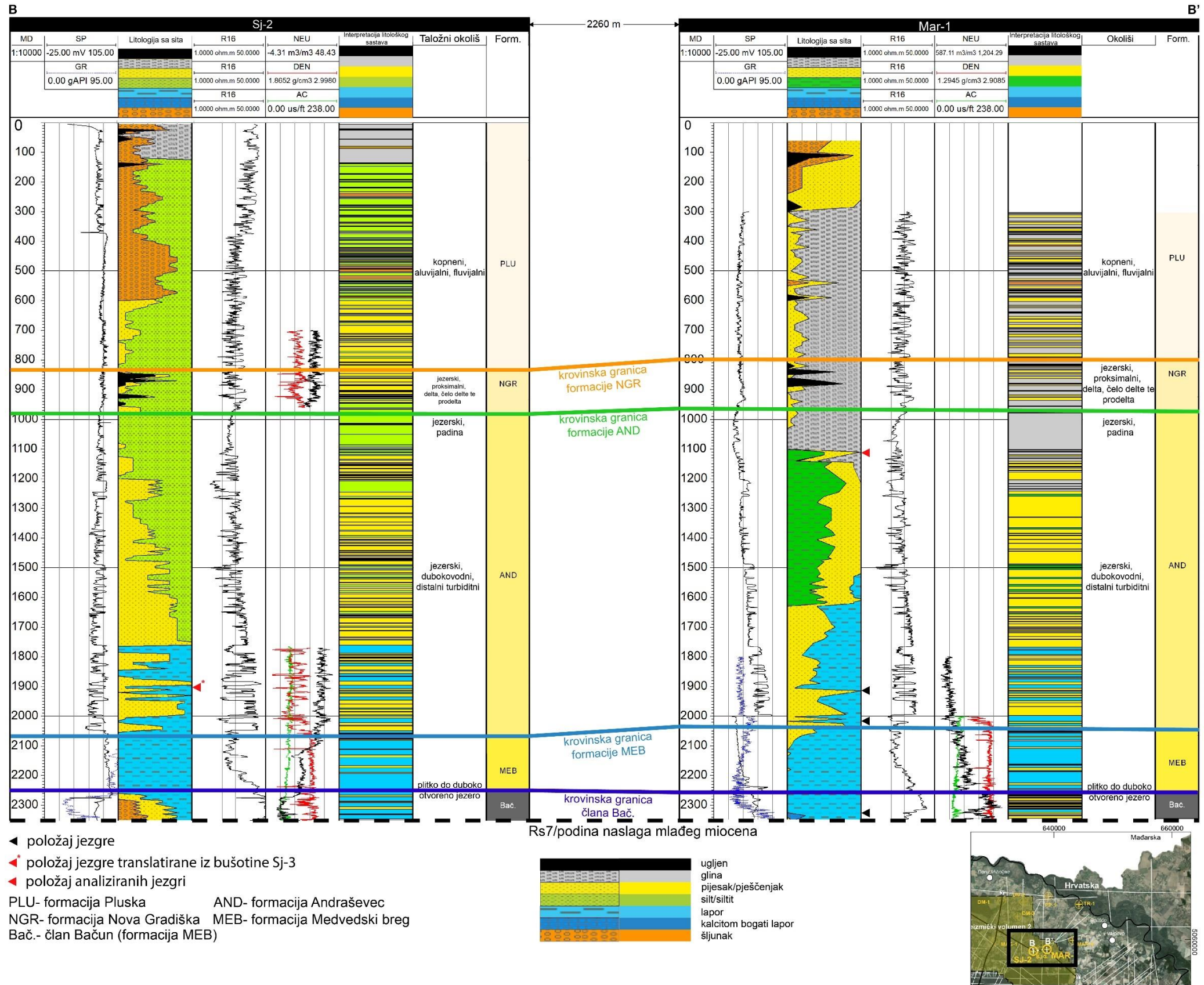
6.2.3.2 Korelacijska shema B-B'

Korelacijska shema B-B' izrađena je povezivanjem rezultata bušotinskih geoloških (jezgre) i geofizičkih analiza (karotažni dijagrami) unutar bušotina Sj-2 (Prilog 8) i Mar-1 (Prilog 9). Udaljenost između bušotina iznosi 2260 m (Slika 42). Na shemi je vidljiva vrlo mala razlika u debljinama cijelog slijeda istraživanih naslaga. U obje bušotine početni dio slijeda izdvojen je u član Bačun formacije MEB, sastavljenu od izmjene pješčenjaka, konglomerata, lapora i kalcitom bogatih lapora. Unutar bušotine Sj-2 prisutne su izmjene konglomerata, pješčenjaka i lapora, dok je u susjednoj Mar-1 ustanovljena samo izmjena pješčenjaka i lapora s tankim paketom kalcitom bogatih lapora. Debljina jedinice u obje bušotine je gotovo jednaka (90 i 100 m). Debljina pretežno laporovitog dijela formacije MEB je manja u bušotini Sj-2. Litološki sastav, načini nalijeganja i oblik karotažnih krivulja jednaki su u obje bušotine.

Debljina formacije AND veća je za 24 m u bušotini Sj-2 u odnosu na Mar-1. U početnom dijelu jedinice načini nalijeganja i izmjena lapora i pješčenjaka su vrlo slični u obje bušotine. Usporedive su i krivulje R_{16} , dok su krivulje SP sličnih obrazaca, ali su frekvencije i dužine ponavljanja drugačije. Karotaža NEU nije usporediva, a debljina izmjene lapora i pješčenjaka veća je za oko 150 m u bušotini Mar-1. Daljnji slijed i litološki sastav naslaga do krovine formacije također je različit. Naime, unutar bušotine Sj-2 izmjenjuju se pješčenjaci i siltiti, u Mar-1 prvo glinom bogati lapor i pješčenjaci, a zatim do vrha formacije prevladavaju gline. U obje bušotine u području padine prevladavaju sitnozrnati litotipovi. Karotažne krivulje SP donekle su usporedive do vršnog dijela naslaga, gdje se u potpunosti razlikuju. Sličan obrazac i oblik karotažne imaju krivulje R_{16} od početka padinskog dijela. Za razliku od opisanih formacija, jedinica NGR je deblja za 26 m u bušotini Mar-1. Sastoji se od izmjene sitnozrnatih litotipova (siltit u Sj-2, glina u Mar-1) i pješčenjaka s proslojcima ugljena. Oblici krivulja SP su različiti, a R_{16} su vrlo slični. Najmlađa jedinica, formacija PLU je deblja na bušotini Sj-2 za 27 m. Određeni su različiti litološki sastavi, prevladavajuće slabo vezani siltiti, pješčenjaci i konglomerati i šljunci na Sj-2, dok je u Mar-1 najzastupljenija izmjena slabo vezanih pješčenjaka, pijesaka i glina, a šljunak i slabo vezani konglomerati dolazi tek u proslojcima.



Slika 41. Korelacijska shema A-A' između bušotina PS-5 i Čd-1.



Slika 42. Korelacijska shema B-B' između bušotina Sj-2 i Mar-1.

6.2.4 Radiometrijsko i biostratigrafsko određivanje starosti

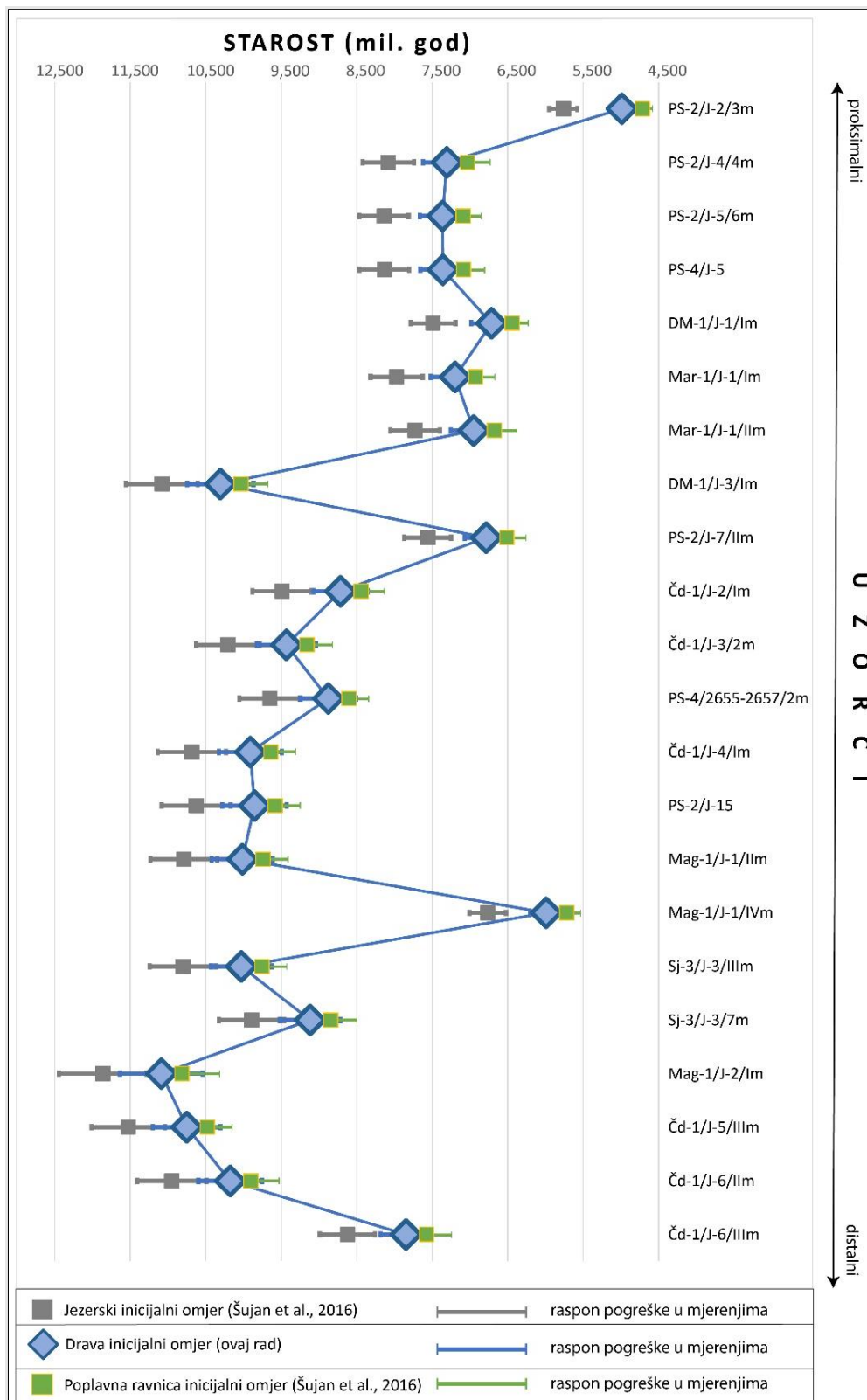
Starosti sedimenata izračunate su korištenjem tri različita inicijalna omjera: jezerski (Šujan i dr., 2016), poplavna ravnica (Šujan i dr. 2016) i Drava inicijalni omjer (recentni poplavni sedimenti rijeke Drave u području istraživanja).

Tablica 4. Rezultati analiza starosti na 22 uzorka jezgri.

		Jezerski inicijalni omjer	Poplavna ravnica inicijalni omjer	Drava inicijalni omjer
Ime	Lab ID	Starost (mil. god.)	Starost (mil. god.)	Starost (mil. god.)
Sj-3/J-3/IIIIm	Sj-3-1	10,804 ± 0,438	9,756 ± 0,336	10,028 ± 0,402
Sj-3/J-3/7m	Sj-3-2	9,894 ± 0,430	8,846 ± 0,335	9,118 ± 0,400
Mag-1/J-1/IIIm	Mag-1-1	10,792 ± 0,441	9,744 ± 0,340	10,016 ± 0,406
Mag-1/J-1/IVm	Mag-1-2	6,764 ± 0,243	5,716 ± 0,165	5,988 ± 0,217
Mag-1/J-2/Im	Mag-1-3	11,865 ± 0,581	10,817 ± 0,477	11,089 ± 0,549
DM-1/J-1/Im	DM-1-1	7,488 ± 0,297	6,440 ± 0,216	6,713 ± 0,272
DM-1/J-3/Im	DM-1-2	11,083 ± 0,474	10,035 ± 0,372	10,307 ± 0,440
PS-4/2655-2657/2m	PS-4-1	9,653 ± 0,401	8,605 ± 0,307	8,877 ± 0,370
PS-4/J-5	PS-4-2	8,133 ± 0,328	7,085 ± 0,243	7,358 ± 0,301
PS-2/J-2/3m	PS-2-1	5,763 ± 0,186	4,714 ± 0,114	4,987 ± 0,161
PS-2/J-4/4m	PS-2-2	8,082 ± 0,342	7,034 ± 0,258	7,306 ± 0,317
PS-2/J-5/6m	PS-2-3	8,138 ± 0,328	7,090 ± 0,242	7,362 ± 0,301
PS-2/J-7/IIIm	PS-2-4	7,560 ± 0,311	6,512 ± 0,229	6,784 ± 0,287
PS-2/J-15	PS-2-5	10,630 ± 0,458	9,582 ± 0,359	9,854 ± 0,425
Čd-1/J-2/Im	Čd-1-1	9,490 ± 0,391	8,442 ± 0,297	8,715 ± 0,360
Čd-1/J-3/2m	Čd-1-2	10,209 ± 0,422	9,161 ± 0,324	9,433 ± 0,389
Čd-1/J-4/Im	Čd-1-3	10,685 ± 0,452	9,637 ± 0,352	9,909 ± 0,418
Čd-1/J-5/IIIIm	Čd-1-4	11,530 ± 0,487	10,482 ± 0,382	10,754 ± 0,450
Čd-1/J-6/IIIm	Čd-1-5	10,952 ± 0,459	9,904 ± 0,357	10,177 ± 0,424
Čd-1/J-6/IIIIm	Čd-1-6	8,623 ± 0,366	7,575 ± 0,278	7,848 ± 0,339
Mar-1/J-1/Im	Mar-1-1	7,973 ± 0,346	6,925 ± 0,262	7,197 ± 0,322
Mar-1/J-1/IIIm	Mar-1-2	7,727 ± 0,328	6,679 ± 0,245	6,951 ± 0,304

Starost uzoraka korištenjem navedenih inicijalnih omjera je različita (Slika 43). Naime, korištenjem inicijalnog omjera iz jezerskih naslaga (jezerski inicijalni omjer prema Šujan i dr. 2016) dobivene su veće starosti u odnosu na druga dva inicijalna omjera. Najmanje starosti svih

uzoraka dobivene su korištenjem inicijalnog omjera iz recentnih sedimenata poplavne ravnice u Slovačkoj (Šujan i dr., 2016). Dakle, kao što je i vidljivo u grafu (Slika 43), starosti sedimenata dobivene korištenjem inicijalnog omjera iz recentnih poplavnih sedimenata rijeke Drave padaju u vrijednosti između prethodno opisanih. Analizirani uzorci podijeljeni su prema okolišima taloženja, od proksimalnih do distalnih. Najmanji raspon pogreške je u uzorku PS-2/J-2/3m, koji odgovara kopnenim fluvijalnim okolišima taloženja. Raspon starosti drugog skupa podataka odgovara uzorcima prijelaznih naslaga delte i plitkovodnih jezerskih okoliša i kreće se od 7,5 do 6,5 mil. god. Točnije, raspon pogrešaka u mjerenjima kreće se od najviše 0,342 do najmanje 0,216 mil. godina. Treći skup podataka pripada distalnijim, dubokovodnim turbiditnim okolišima sa starostima većim od 8,5 mil. god. Raspon pogreške u mjerenjima kreće se od najviše 0,518 do najmanje 0,297 mil. godina. Na grafu se jasno izdvajaju mjerenja izdvojena kao *outlier* (ekstremne vrijednosti), odnosno mjerenja koja značajno odstupaju od ostalih. To su mjerenja u sljedećim uzorcima: DM-1/J-3/I Mag-1/J-1/Vm, dok je uzorak i PS-2/J-7/II m izdvojen s tendencijom da bude ekstremna vrijednost.



Slika 43. Grafički prikaz izračuna apsolutne starosti temeljem inicijalnih omjera: jezerski (Šujan i dr., 2016), poplavna ravnicna (Šujan i dr. 2016) i Drava (recentni poplavni sedimenti rijeke Drave u području istraživanja).

Rezultati analiza starosti uspoređeni su s izdvojenim okolišima taloženja i povezanim litostratigrafskim jedinicama (prema Sebe i dr., 2020) unutar pojedinačnih bušotina. Uz to, prikazan je vremenski raspon izdvojenih zona cisti dinoflagelata (Baranyi, 2020; 2022) iz uzoraka kojima je određivana i apsolutna starost (Slika 44). Za vrijednost starosti korišten je inicijalni omjer iz recentnih poplavnih sedimenata rijeke Drave.

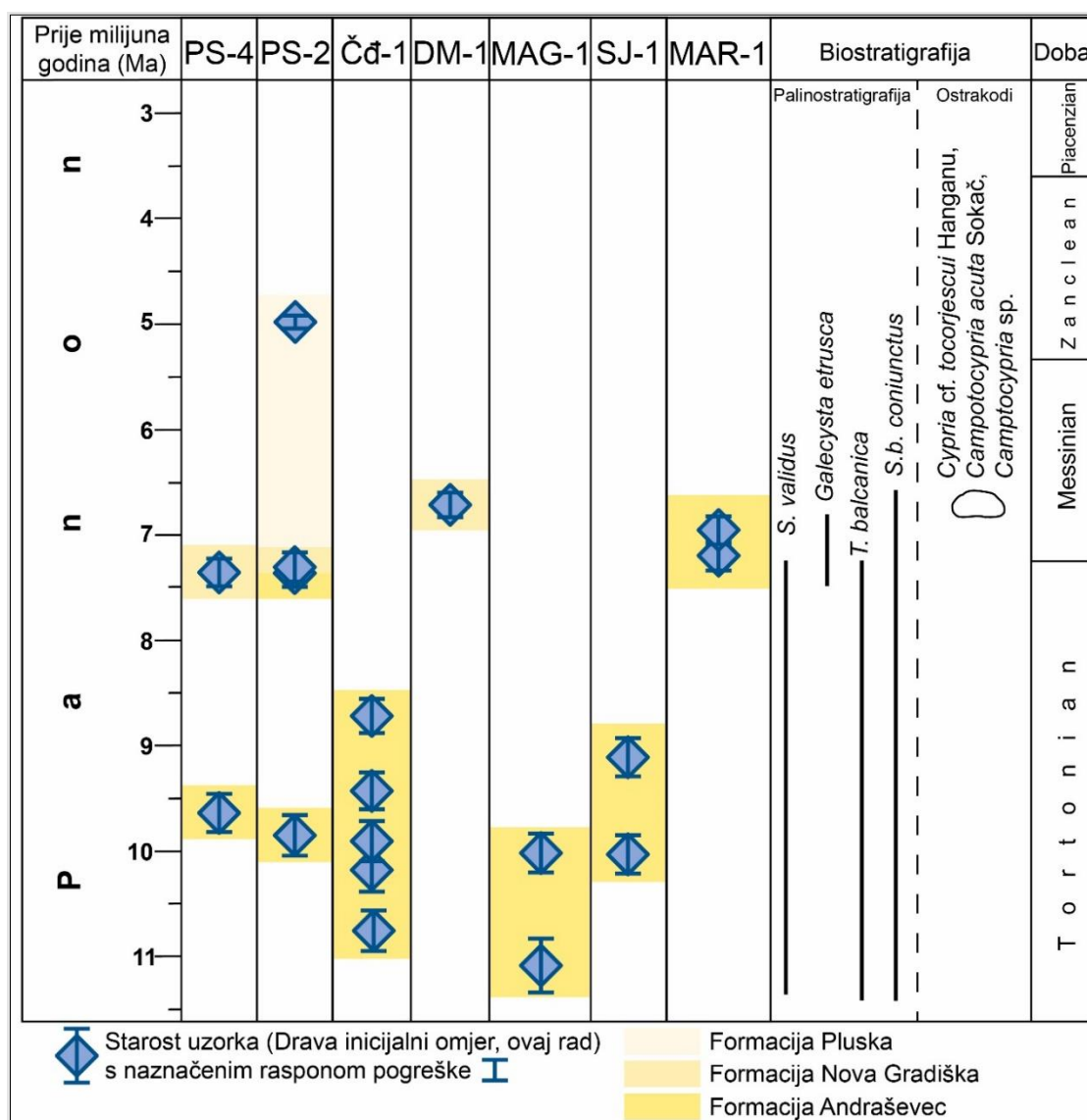
Najmlađe naslage pripadaju kopnenim fluvijalnim okolišima formacije PLU. Njihova najmanja starost određena je u jezgri PS-2/J-2/3m iz intervala dubine 798 do 804,1 m (Dodatak 1), na $4,987 \pm 0,161$ mil. god. Najstarija izmjerena starost formacije PLU je iz jezgre uzete iz intervala dubine 1195,6 do 1291,6 m (Dodatak 1, Jezgra PS-2/J-4/4m) sa starošću od $7,036 \pm 0,317$ mil god. Najmanja starost formacije NGR u jezgrama iz intervala 801,8 do 807,5 m dubine (Dodatak 1, Jezgra DM-1/J-1/Im), određena je na $6,713 \pm 0,272$ mil. god. Najveća određena starost formacije NGR u jezgrama je iz intervala dubine 1401,4 do 1407,4 m (Dodatak 1, Jezgra PS-2/J-5/6m) na $7,362 \pm 0,301$ mil. god. Najviše uzoraka pripada formaciji AND s rasponom starosti od najmlađe određene u jezgri iz intervala 1103,7 do 1109,7 m dubine (Dodatak 1, Jezgra Mar-1/J-1/IIIm) na $6,951 \pm 0,304$ mil. god. Najstarije naslage formacije AND su određene u intervalu jezgre dubine od 1977,2 do 1982,2 m (Dodatak 1, Jezgra Mag-1/J-2/Im) na $11,089 \pm 0,549$ mil. god.

Rezultati izdvajanja i određivanja ostrakoda u uzorcima kojima je određena apsolutna starost većinom su negativni, bez očuvane faune. U jednom uzorku, jezgre DM-1/J-1/Im iz intervala dubine 801,8-807,5 m određene su juvenilne forme vrsta *Cypria* cf. *tocorjescui* Hanganu, *Camptocypria acuta* Sokač i *Camptocypria* sp., koje stratigrafski pripadaju mlađem panonu. Prema podjeli na akrozone vrste pripadaju Abichi naslagama.

Prema rezultatima analiza uzoraka, odvojene su dvije s. str. biozone *Spiniferites validus* Zona (Sva) i *Galeacysta etrusca* Zone. Zona *Pontadinium pecsvaradensis* (Ppe) je upitno odvojena s obzirom da fosilni sadržaj nije bio dostatan, odnosno bio je neuvjerljiv za jasno odvajanje zone. Prema rezultatima zonacije u Bakrač i dr. (2012), starost Sva zone odgovara starijem dijelu mlađeg panona, dok je starost Get zone mlađi dio mlađeg panona. Starost uvjetno odvojena Ppe zone prema Bakrač i dr. (2012) odgovara mlađem dijelu starijeg panona.

Zona *Spiniferites validus* prisutna je u jezerskim naslagama formacije AND i NGR. Starost uzoraka u kojima je odvojena određena je u rasponu od najviše $11,089 \pm 0,549$ mil. god. do najmanje $7,362 \pm 0,301$ mil. god. Analize uzoraka pokazuju da je zona *Galeacysta etrusca*

prisutna u jedinici NGR te mlađim naslagama formacije AND. Utvrđeni raspon starosti uzoraka u kojima je prisutna *Galecysta etrusca* iznosi od najmanje $6,951 \pm 0,304$ mil. god. do najviše $7,362 \pm 0,301$ mil. god. Treća određena cista dinoflagelata je *Thalassiphora balcanica*, prisutna u jezerskim naslagama formacije AND i NGR. Starost uzoraka u kojima je određena je od najviše $11,089 \pm 0,549$ mil. god. do najmanje $7,362 \pm 0,301$ mil. god. *Spiniferites bentorii coniunctus* je određena u naslagama formacija AND i NGR, a starost uzoraka se kreće od najmanje $6,713 \pm 0,272$ mil. god. do najviše $11,089 \pm 0,549$ mil. god.



Slika 44. Usporedba starosti uzoraka unutar različitih bušotina s rezultatima palinostratigrafskih i mikropaleontoloških analiza te s litostratigrafskim formacijama (okolišima taloženja).

6.3 Integracija rezultata analiza bušotinskih i seizmičkih podataka

Integracijom rezultata analiza bušotinskih i seizmičkih podataka odvojene su i prostorno kartirane jezerske, prijelazne deltne i kopnene naslage. Unutar sedimentnog slijeda izdvojene su klinoforme i kartirani njihovi osnovni dijelovi temeljem čega su korelirani okoliši taloženja i litostratigrafske jedinice. Unutar jezerskih naslaga izdvojene su parasekvencije, setovi parasekvencija, sekvencije te ciklusi taloženja u kopnenim naslagama. Isto tako, određena su i vremena zapunjavanja Panonskog jezera na istraživanom prostoru, a sve je prikazano na shematskom korelacijskom profilu, kompozitnom korelacijskom profilu te izravnatom kompozitnom profilu.

6.3.1 Okoliši taloženja i litostratigrafska pripadnost istraživanih naslaga

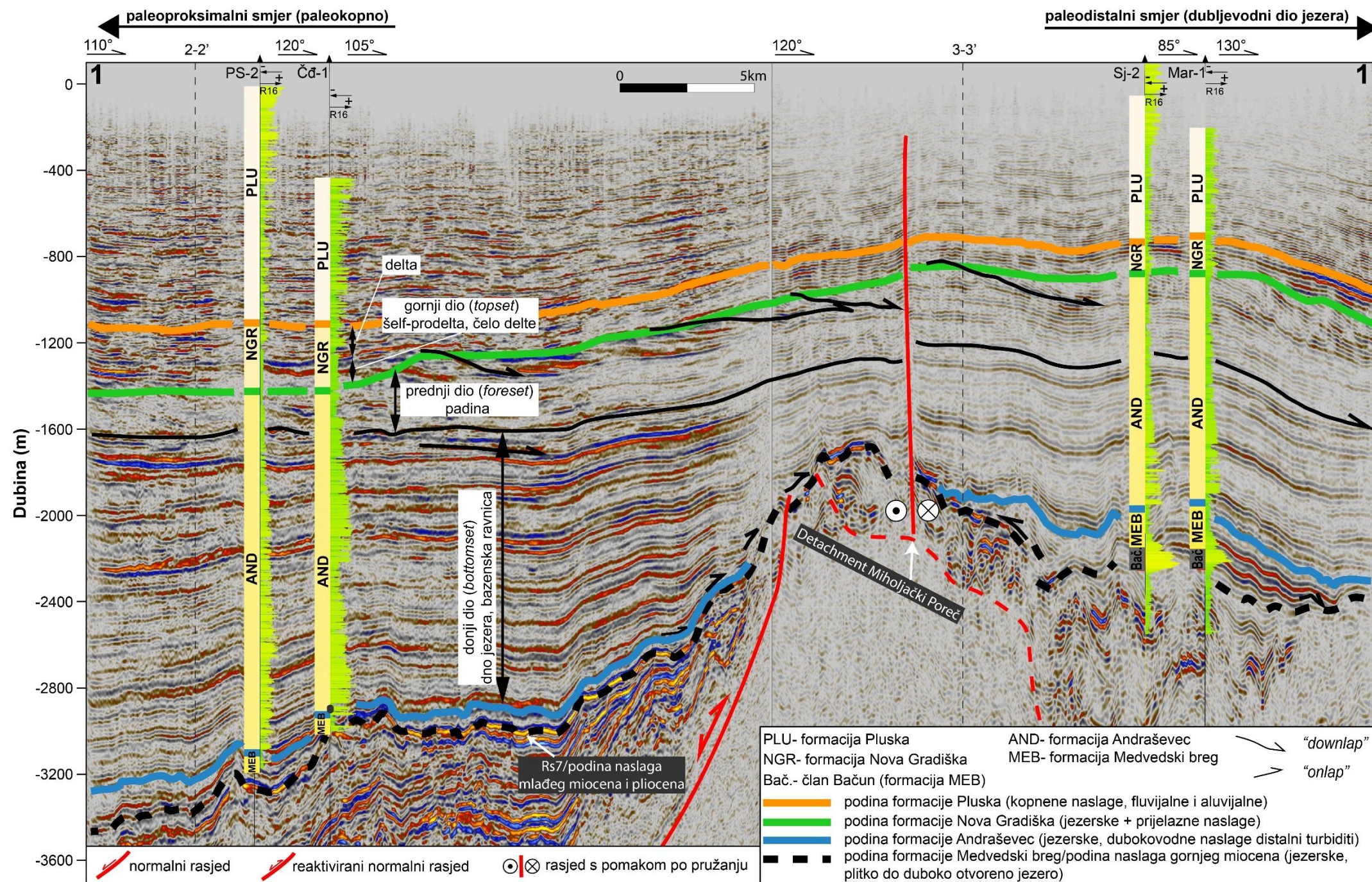
Okoliši taloženja i povezane litostratigrafske jedinice odvojene su na osnovi seizmičkog facijesa (SF), bušotinskog facijesa (BF), rezultata analiza geoloških i geofizičkih podataka u bušotinama i odnosa prikazanih na korelacijskim shemama (Slika 45). Jezerske naslage kontinuirano ili diskordantno naliježu na starijemiocenske ili na predneogensku podlogu (temeljno gorje). Bazni dio naslaga, vidljiv kao SF1 i dio BF1 pripadaju okolišima plitkog do dubokog otvorenog jezera, odnosno formaciji Medvedski breg. Debljina jedinice je promjenjiva, zadebljava prema zapadu, a zatim isklinjava oko pozitivne strukture u središnjem dijelu profila (Slika 45, 15 km u smjeru 105° od bušotine Čđ-1). Jedinica je izdvojena i u istočnom dijelu profila, uz to, da je na bušotinama Sj-2 i Mar-1 izdvojen i član Bačun koji se sastoji od krupnoklasičnih naslaga (BF2). Unutar jedinice vidljivi su *onlap* završeci refleksa, a debljine većim dijelom prate morfologiju podine naslaga gornjeg miocena i pliocena. Jedinica je korelabilna između bušotina.

Naslage formacije Andraševac donjeg dijela klinoforni paleookolišno predstavljaju duboki, distalni dio Panonskog jezera. Sastavljene su od BF3, BF4 i BF5, a na seizmičkim podacima predstavljene SF2, i dijelom SF3 i SF4, unutar kojih su negativni refleksi vrlo dobro usporedivi kroz cijelo područje istraživanja (Slika 45). Unutar refleksa vidljive su kanalne forme kao i *onlap* završeci unutar refleksa na profilima okomitim na dužu os depresije (Slike 48, 49). Isto tako, i dalje je vidljivo transgresivno nalijeganje (*onlap*) na predneogensku podlogu bazena (Slike 47, 48, 49). U gornjem dijelu jedinice vidljiv je prednji dio klinoforni koje označavaju padinu. Navedene klinoforme u distalnom dijelu imaju razvijen *downlap* završetak

prema drugim refleksima. Debljina AND najveća je u zapadnom dijelu, oko 1800 m, a smanjuje se prema istoku na manje od 1100 m istočno od bušotine Mar-1.

Krovina formacije AND određena je prema bušotinskim geološkim i geofizičkim podacima te položaju ruba šelfa, odnosno prijelazu iz prednjeg dijela u gornji dio klinoforme. Ista dijakrona granica čini podinu naslaga formacije NGR, koje su predstavljene naslagama prodelte, čela delte, delte i deltne ravnice. Naslage su sastavljene od BF6, a na seizmičkim podacima predstavljene dijelom SF3 i SF4 te u gornjem dijelu SF5. Refleksi su u gornjem dijelu većinom usporedivi na cijelom području istraživanja (Slika 45). Debljina je promjenjiva, smanjuje se od zapadnog prema istočnom dijelu područja istraživanja (Slika 45).

Formacija PLU sastavljena je od BF7, a na seizmičkim podacima vidljivim kao SF7. Naslage su fluvijalne i aluvijalne, a današnja morfologija i debljina okvirno prati morfologiju podine naslaga mlađeg miocena i pliocena. Refleksi su isprekidani i djelomično kontinuirani, pa je posljedično i mogućnost korelacije srednja do mala.



Slika 45. Kompozitni korelacijski profil 1-1' koji prikazuje dijelove istraženog slijeda sedimenata s karakteriziranim dijelovima klinoforni, litostratigrafskim jedinicama i povezanim okolišima taloženja. U donjem dijelu vidljiv je SF1 (formacija MEB), na kojem naliježe debeli paket naslaga koje pripadaju donjem dijelu klinoforni, odnosno dubokovodnim turbiditima (formacija AND). Nakon njega vidljivi su SF3 i SF4, koji odgovaraju prednjem dijelu klinoforme. Nakon njih vidljiv je slijed naslaga koje pripadaju prijelaznim okolišima taloženja (formacija NGR) te kopnena sekvencija, dio formacije PLU. Vertikalno uvećanje je 5 puta. Pozicija kompozitnog profila vidljiva je na Slici 12 i Prilogu 1.

6.3.2 Interpretirane sekvencije

Unutar proučavanog slijeda naslaga prethodno su odvojene i litološki, seizmofacijesno i facijesno, litostratigrafski te okolišno opisane jezerske, prijelazne i kopnene naslage. U koraku interpretacije setova parasekvencija ponajprije je korištena karotaža otpornosti (R_a), u kojoj su prethodno uočeni ciklusi positnjavanja i prokрупnjavanja naviše (Potpoglavlja 6.2.2 i 6.2.3, Slika 41). Iz navedenih odvojeni su progradacijski (P, crvena boja), agradacijski (A, žuta boja) i retrogradacijski (R, plava boja) setovi parasekvencija (Slika 47). Glavna metoda korelacije i interpretacije sekvencija bili su seizmički podaci. Usporedbom bušotinskih i seizmičkih podataka iz 1. ranga, utvrđena je podudarnost granica izdvojenih setova parasekvencija s glavnim seizmičkim refleksima. Točnije, setovi parasekvencija započinju progradacijskim setom koji se većinom nastavlja u agradacijski (ili bez njega) i završava retrogradacijskim setom parasekvencija. Rezultati pokazuju da granice između retrogradacijskih i progradacijskih setova prolaze jakim refleksima negativne amplitude koji odgovaraju sitnozrnatim stijenama (najčešće laporima), a usporedivi su na cijelom području 1. ranga, a mjestimično i 2. ranga (Slika 12, Prilog 1). Prema tome, u konceptu sekvencijske stratigrafije, navedeni izraženi refleksi interpretirani su kao površine preplavlivanja (engl. *flooding surface*, *FS*) i krovinske granice sekvencija IV. reda. Na taj način odvojeno je šest sekvencija u jezerskim naslagama. Prve četiri sekvencije (JSS1-JSS4) dio su donjeg dijela klinoformi, a JSS5 i JSS6 dio su velikog i malog seta klinoformi na kojem je vidljiv donji, prednji i gornji dio klinoformi. Unutar prijelaznih i kopnenih naslaga izdvojene su dvije kopnene seizmičke sekvencije III. reda (KSS1 i KSS2). Navedene sekvencije sastoje se od vertikalne i lateralne izmjene facijesa ispune kanala i poplavne ravnice, točnije, kao posljedice izmjene rastućeg (IAS), niskog (LAS) i visokog potencijala (HAS) taloženja sedimenata.

6.3.2.1 JSS1 (Jezerska seizmička sekvencija 1)

U baznom dijelu jezerskih naslaga na bušotinama PS-2 i Čđ-1 interpretiran je retrogradacijski set parasekvencija (Slika 46, 47, Prilog 10). Debljina retrogradacijskog seta jednaka je debljini stijena koje pripadaju okolišima taloženja plitkog do dubokog otvorenog jezera, a koji odgovaraju debljini formacije Medvedski breg. U susjednoj bušotini Čđ-1 odvojen je retrogradacijski set parasekvencija debljine oko 71 m koji je također debljinom jednak formaciji Medvedski breg (Prilog 10). U bušotini PS-5 interpretiran je progradacijski set parasekvencija unutar izmjene badenskih lapora i pješčenjaka (prema Trogljić i dr., 1985). Na

njih kontinuirano naliježu panonske jezerske naslage unutar kojih je interpretiran retrogradacijski set parasekvencija. Interpretirani retrogradacijski setovi parasekvencija u bušotinama prema podacima litologije sa sita sastavljeni su pretežno od lapora i rjeđe kalcitom bogatih lapora unutar kojih se nalaze slojevi pješčenjaka različitih debljina. Na seizmičkim podacima opisani slijed jasno je odvojen refleksom 1 (donji dio klinoforme, *bottomset*) negativne amplitude, koji prema bušotinskim podacima odgovara laporima (Slika 46, 47). Prema tome, navedeni refleks interpretiran je kao površina preplavlivanja i korelabilan je između bušotina na seizmičkim podacima. Na temelju značajki opisanog slijeda i seizmičkog kriterija korelacije u prostoru, slijed naslaga interpretiran je kao jezerska seizmička sekvencija 1 (JSS1, Slika 47, Prilog 10). Interpretirana površina preplavlivanja, odnosno granica sekvencije može se na seizmičkim podacima pratiti do pozitivne strukture, na koju *onlapira* u središnjem dijelu seizmičkog profila (Slika 47). Prema principu superpozicije, starost sekvencije u zapadnom dijelu veća je od $10,177 \pm 0,424$ mil. god.

6.3.2.2 JSS2 (Jezerska seizmička sekvencija 2)

Na bušotinskim podacima u istočnom dijelu područja istraživanja (Mag-1, Sj-2, Mar-1, Prilog 10) interpretirani su bazni progradacijski setovi debljina do 150 m. Naslage su izdvojene kao BF2, a izgrađene su od pješčenjaka, lapora, kalcitom bogatih lapora i konglomerata (Prilozi 7, 8, 9). Na tom setu slijede retrogradacijski setovi parasekvencija unutar istih bušotina, koji su sastavljeni od BF1, dakle pretežno lapora s proslojcima pješčenjaka. Opisani slijed naslaga formacije Medvedski breg i njenog člana Bačun se, prema analizama i interpretaciji, u istočnom dijelu sastoji od tanjeg progradacijskog na kojem slijedi retrogradacijski set parasekvencija. Gornja granica retrogradacijskog seta poklapa se s istančanim negativnim refleksom koji je moguće pratiti na podacima 1. i 2. ranga. Navedeni refleks ima *onlap* karakter prema pozitivnim strukturama (Slika 49), ali isto tako i *onlap* završetak prema starijim refleksima na profilima poprečnim na depresiju (Slika 49). Ovaj refleks negativne amplitude nalazi se unutar lapora na kraju retrogradacijskog seta parasekvencija, pa je prema tome površina izdvojena kao površina preplavlivanja. Uspoređene su značajke opisanog slijeda u istočnom dijelu sa zapadnim i refleksi koji označavaju površine plavljenja, a granice sekvencija se pokušalo korelirati seizmičkim kriterijem. Vidljiva je nepodudarnost u razvoju početnog dijela sekvencija i nemogućnost seizmičke korelacije sa JSS1 u zapadnom dijelu (Prilog 10, Slike 46, 47). Međutim, korelacija je moguća s refleksom 2 te je prema tome opisani slijed setova

parasekvencija interpretiran kao JSS2 (Slika 46, Prilog 10). Prema principu superpozicije, starost sekvencije JSS2 u istočnom dijelu područja istraživanja veća je od $11,089 \pm 0,549$ mil. god (Mag-1, Slika 50).

JSS2 je odvojen i u zapadnom dijelu područja istraživanja. Na bušotinama PS-5, PS-2 i Čđ-1 u sekvenciji JSS2 izdvojeni su u početnom dijelu setovi progradacijskih parasekvencija, a cijela sekvencija završava retrogradacijskim setovima (Slike 46, 47). Za razliku od PS-5 i Čđ-1, u bušotini PS-2 progradacijski setovi zauzimaju gotovo cijelu debljinu sekvencije (Prilog 10). Opisani setovi sastoje se od BF3, BF4 i BF5. Unutar sekvencije utvrđeni su *onlap* završeci prema pozitivnim strukturama, ali i prema starijim refleksima unutar ispune sekvencije (Slika 48, 49). Krovinsku granicu sekvencije, površinu preplavlivanja 2 moguće je pratiti i na podacima 2. ranga. Na taj način je dokazana mogućnost korelacije sa JSS2 u istočnom dijelu područja istraživanja. Starost donjeg dijela progradacijskog seta unutar JSS2 na bušotini Čđ-1 određena je na $10,177 \pm 0,450$ mil. god. ili alternativno $10,754 \pm 0,450$ mil. god (Slika 47). Prema podacima iz bušotine PS-2, starost vršnog dijela sekvencije određena je na $9,854 \pm 0,425$ mil. god (Dodatak 1).

6.3.2.3 JSS3 (Jeverska seizmička sekvencija 3)

JSS3 interpretirana u cijelom području istraživanja 1. ranga podataka, a razvoj sekvencije u bušotinama različit je u zapadnom i istočnom dijelu. U zapadnom dijelu, unutar bušotina PS-5, PS-2 i Čđ-1, sastoji se od relativno tanjeg (u odnosu na druge setove) progradacijskog seta, koji se nastavlja u agradacijski set parasekvencija, čije debljine rastu od PS-5 prema Čđ-1. Sekvencija završava relativno debelim slijedom retrogradacijskog seta parasekvencija čije su debljine obrnuto proporcionalne odnosima debljina agradacijskog slijeda. Dakle, debljine retrogradacijskog seta su najmanje u Čđ-1, a najveće interpretirane u bušotini PS-5 (Prilog 10, Slika 47). Slijed naslaga izgrađen je od BF3, BF4 i BF5, točnije, od izmjene lapora i pješčenjaka.

Za razliku od opisanog, sekvencija JSS3 se na bušotinama Mag-1, Sj-2 i Mar-1 u istočnom dijelu područja istraživanja sastoji od relativno tankog progradacijskog seta u baznom dijelu i zatim agradacijskog paketa do samog vršnog dijela (Prilog 10). Dakle, općenito u svim bušotinama interpretiran je debeli slijed agradacijskog seta parasekvencija. Navedeni setovi odgovaraju BF3, BF4 i BF5, odnosno izmjeni lapora i pješčenjaka.

Krovinsku granicu sekvencije čine debeli slojevi lapora utvrđeni na bušotinskim podacima, naročito u bušotini Sj-2 (Prilog 10), koji se podudaraju s refleksom negativne amplitude 3 (Slika 47). Taj refleks interpretiran je kao stratigrafska površina preplavlivanja, odnosno krovinska granica sekvencije JSS3 u zapadnom dijelu područja i može se pratiti kao jak seizmički refleks do istočnog dijela. Na profilima okomitim na dužu os depresije uočeni su *onlap* završeci prema pozitivnim strukturama na jugu i sjeveru, a refleksi unutar sekvencije u blizini navedenih struktura su nerijetko značajnije deformirani u obliku antiklinala (Slika 48, 49). Apsolutna starost početnog dijela sekvencije u zapadnom dijelu, u bušotini PS-2, određena je na $9,909 \pm 0,418$ mil. god., a u istočnom (Mag-1) na $11,089 \pm 0,549$ mil. god (Dodatak 1). Starost središnjeg dijela sekvencije u bušotini PS-4 određena je na $9,653 \pm 0,401$ mil. god, u Čđ-1 na $9,909 \pm 0,418$ mil. god. U istočnom dijelu starost središnjeg dijela sekvencije iznosi na Mag-1 $10,016 \pm 0,406$ mil. god., bušotini Sj-2 $9,118 \pm 0,400$ mil. god. ili prema drugom uzorku iz jezgre na $10,028 \pm 0,402$ mil. god. Vršni dio sekvencije u bušotini Čđ-1, točnije lapori unutar kojih je interpretirana krovinska granica 3, starosti su $8,715 \pm 0,360$ mil. god.

6.3.2.4 JSS4 (Jezerka seizmička sekvencija 4)

Sekvencija JSS3 interpretirana je u cijelom području istraživanja 1. ranga podataka, a razvoj sekvencije u bušotinama je različit prema rezultatima interpretacije bušotinskih podataka u zapadnom i istočnom dijelu područja istraživanja. U zapadnom dijelu, na bušotinama PS-5, PS-2 i Čđ-1 razvoj sekvencije počinje relativno tankim progradacijskim setom, koji zatim prelazi u agradacijski i u vršnom dijelu retrogradacijski (Slika 46, 47, Prilog 10). Za razliku od razvoja u bušotini PS-2 i Čđ-1, gdje je utvrđen relativno deblji agradacijski set u središnjem dijelu sekvencije, u PS-5 on nije interpretiran (Slika 46, 47). Ove naslage su u većem dijelu izgrađene od BF3, BF4 i BF5, odnosno izmjene lapora i pješčenjaka koji u vršnom dijelu pretežno prelaze u izmjenu glinom bogatih lapora i pješčenjaka (Prilog 3, 4 i 5).

U bušotinama Mag-1, Sj-2 i Mar-1 na istoku, u početnom dijelu interpretirani su relativno tanki progradacijski setovi, na kojima slijede agradacijski, zatim progradacijski i u vršnom dijelu opet agradacijski setovi parasekvencija (Prilog 10, Slike 46, 47). Naslage u bušotinama su izgrađene od BF3, BF4 i BF5, točnije lapora, silita i pješčenjaka. Navedeni setovi unutar sekvencije seizmičkim kriterijem su korelirani s naslagama bušotine DM-1, smještene na pozitivnoj strukturi prema sjeveru područja istraživanja (Slika 49). Prema interpretaciji, razvoj sekvencije u DM-1 počinje tankim retrogradacijskim setom, koji prelazi u

agradacijski set parasekvencija. Naslage su izgrađene od konglomerata u početnom dijelu te na njima od kalcitom bogatih lapora, lapora i proslojaka pješčenjaka.

Gornja granica sekvencije odgovara refleksu negativne amplitude 4 koji je prepoznatljiv i korelabilan u cijelom području istraživanja podataka 1. ranga (Slika 46, 47). Prema interpretaciji bušotinskih podataka, on se u zapadnom dijelu nalazi unutar lapora i glinom bogatih lapora s proslojcima pješčenjaka (Prilog 3, Prilog 10), a u istočnom dijelu većim dijelom unutar debelih paketa pješčenjaka proslojenih glinom bogatim laporima ili siltitima (Prilog 10). Na osnovi utvrđenih *downlap* tipa prekida refleksa, slijeda setova parasekvencija i debljeg paketa glinom bogatih lapora, ovaj refleks odgovara površini preplavlivanja i time čini krovinsku granicu JSS4. Unutar naslaga JSS4 uočeni su unutarnji *onlap* završeci refleksa, kao i prema pozitivnim strukturama. U području oko pozitivne strukture često su deformirani u obliku antiklinala, koje su povezane uz aktivnost interpretirane rasjedne zone (Slika 49). Starost sekvencije određena je u zapadnom području, na bušotini PS-2 te iznosi $7,560 \pm 0,311$ mil. god (Dodatak 1, Slika 47).

6.3.2.5 JSS5 (Jezerska seizmička sekvencija 5)

Naslage jezerske seizmičke sekvencije 5 prve su naslage u kojima je vidljiv cijeli sustav geometrije klinoforme, od donjeg dijela, padine do gornjeg dijela. Naslage predstavljaju završni dio zapunjavanja jezera i oplićavanje, a predstavljene su sigmoidalnim klinoformama (Catuneanu i dr., 2009). Analize putanje ruba šelfa od klinoforme 5 do 7 pokazuju normalnu regresiju tijekom visoke vodene razine jezera (engl. *highstand normal regression*, Catuneanu i dr., 2009), a prema Gong i dr. (2018) putanja se većim dijelom sastoji od progradacijske komponente, a malim dijelom i agradacijske (Slika 46). Završeci refleksa klinoformi između 4 i 7 u donjem dijelu imaju *downlap* karakter (istočni dio profila na slici 46). Putanja šelfa između klinoformi 7 i 8, prikazuje transgresivni trend (prema Catuneanu i dr., 2009) s retrogradacijskom i agradacijskom komponentom (Gong i dr., 2018). Završeci refleksa između klinoforme 7 i 8 na uzdužnim (Slika 46, 47) i okomitim profilima na depresiju (Slike 48, 49), pokazuju *onlap* mlađih refleksa na klinoformu 7.

Razvoj sekvencije i odvojeni setovi parasekvencija razlikuju se u zapadnom i istočnom dijelu područja istraživanja. Sekvencija u bušotinama PS-5, PS-2 i Čđ-1 započinje relativno tankim progradacijskim setom (Slike 46, 47). Prema interpretaciji, u bušotinama PS-5 i PS-2 slijed sekvencija sastoji se od izmjene progradacijskih i retrogradacijskih setova

parasekvencija. U bušotini Čđ-1, interpretirane su opisane izmjene, ali uz jedan relativno deblji agradacijski set (Prilog 10). Naslage u PS-5, PS-2 i Čđ-1 se prema podacima i interpretaciji uglavnom sastoje od izmjene glinom bogatih lapora i pješčenjaka, a na bušotini Čđ-1 su utvrđeni rijetki slojevi slabo vezanih konglomerata i ugljena (BF5 i BF6).

U istočnom dijelu, na bušotinama Mag-1, Sj-2 i Mar-1 interpretirani su relativno tanki progradacijski setovi u početku sekvencije (Prilog 10). U njihovoj krovini dolazi do izmjene progradacijskih i retrogradacijskih setova, bez utvrđene pravilnosti na svim bušotinama (Slike 48, 49). Sekvencija je u potpunosti razvijena i na pozitivnoj strukturi oko bušotine DM-1. U bušotinama Mag-1, Sj-2 i Mar-1 sekvencija završava agradacijskim setom parasekvencija. Za razliku od prethodne tri bušotine, slijed u DM-1 završava relativno tankim retrogradacijskim setom u čijoj se podini, nalazi progradacijski set parasekvencija. Naslage se sastoje od izmjene pješčenjaka, siltita i glinom bogatih lapora ili pretežno lapora (BF5).

Prema seizmostratigrafskom principu, bušotinskim podacima i određivanju sekvencija u podini, krovinska granica sekvencija JSS5 je klinoforna 8 (Slika 46, 47). Navedeni refleksi negativne amplitude moguće je lako pratiti kroz cijelo područje podataka 1 ranga. Ona predstavlja površinu preplavlivanja, a nalazi se unutar glinom bogatih lapora, glina i siltita (Prilog 2, Prilog 10). Starost sekvencije određena je unutar vršnog dijela slijeda zapadnog područja, na bušotini PS-2 te iznosi $7,358 \pm 0,301$ mil. god., a na PS-2 na $7,362 \pm 0,301$ mil. god. (Dodatak 1; Slika 47, 49). Isto tako, određena starost je u vršnom dijelu sekvencije unutar istočnog područja na $7,197 \pm 0,322$ mil. god. ili alternativno $6,951 \pm 0,304$ mil. god.

6.3.2.6 JSS6 (Jezerka seizmička sekvencija 6)

Naslage JSS6 moguće je interpretirati na osnovi seizmičkih i bušotinskih podataka jer su kao i prethodnoj sekvenciji vidljivi svi dijelovi klinoforni. One čine završni vršni dio jezerskih naslaga, koje na gore prelaze u deltne okoliše. Sekvencija je u zapadnom dijelu sastavljena od seta malih kosih klinoforni, koje u istočnom dijelu opet poprimaju sigmoidalni oblik (Slike 46, 47). Putanja ruba šelfa od klinoforne 8 do 12 sastoji se isključivo od progradacijske komponente (Slika 46), a od 12 do 13 sastoji se od podjednako od progradacijske i agradacijske komponente. Od ruba šelfa klinoforne 13 do 14 putanja šelfa je izrazito progradirajuća, a nakon toga putanja je sastavljena prevladavajuće komponente

progradacije s degradacijom. Prema Catuneanu i dr. (2009), putanja prikazuje stalnu razinu (9-12), blagu transgresiju (12-13) i pad vodene razine u jezeru (14 na dalje, Slika 46). Završeci svih refleksa klinoformi imaju *downlap* karakter (istočni dio profila, 1-1', Slika 46, 47). Refleksi iza 14 prema istoku prikazuju *offlap* karakter.

Naslage sekvencije JSS6 u zapadnom dijelu sastoje se isključivo od progradacijskog seta parasekvencija zbog toga što je probušen samo gornji dio klinoformi (*topset*). Navedene naslage izgrađene su od glinom bogatih lapora, glina, slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata i ugljena (BF6). Debljine sekvencije su veće u istočnom dijelu istraživanja, gdje se unutar paketa klinoformi mogu razdvojiti gornji dio, padina i donji dio (Slika 47). Razvoj setova parasekvencija sličan je u bušotinama DM-1, Sj-2 i Mar-1, započinje agradacijskim, a zatim slijede progradacijski setovi klinoformi do granice s isključivo deltnim okolišima. U bušotini Mag-1 slijed započinje progradacijskim setom, a zatim slijedi izmjena retrogradacijskog i progradacijskog seta parasekvencija.

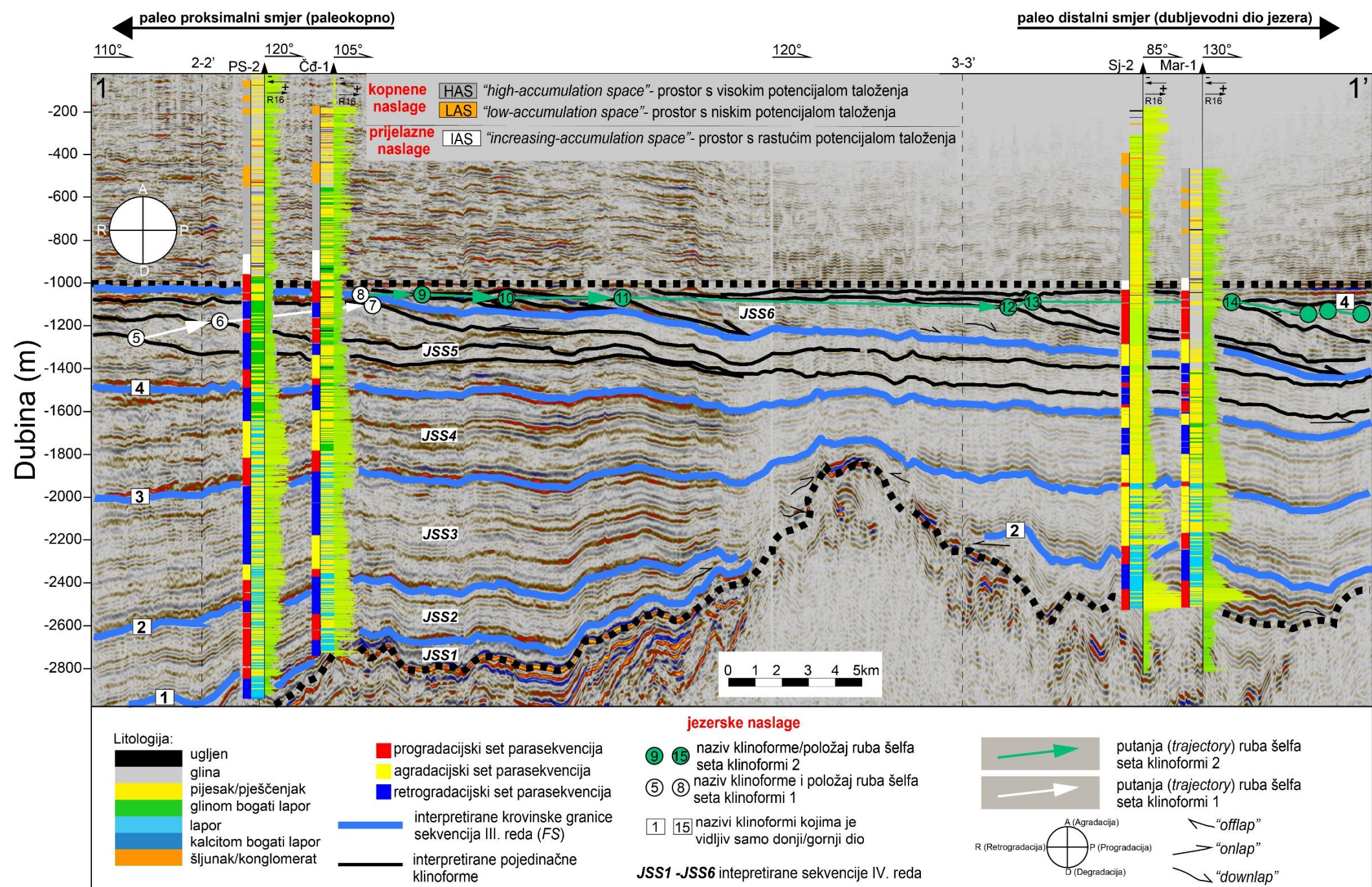
Podinsku granicu JSS6 čini seizmostratigrafski prepoznatljiva površina preplavlivanja, odnosno klinoforma 8. Krovinska granica sekvencije određena je na osnovi seizmostratigrafskog principa odredbe početka slijeda prijelaznih deltnih naslaga. Ona je određena kao uvjetni korelacijski refleks (horizont) i čini krovinu svih sekvencija u jezerskim naslagama. Starost sekvencije određena je u istočnom području, na bušotini DM-1 te iznosi $6,713 \pm 0,272$ mil. god. (Dodatak 1).

6.3.2.7 Kopnena seizmička sekvencija 1 (KSS1)

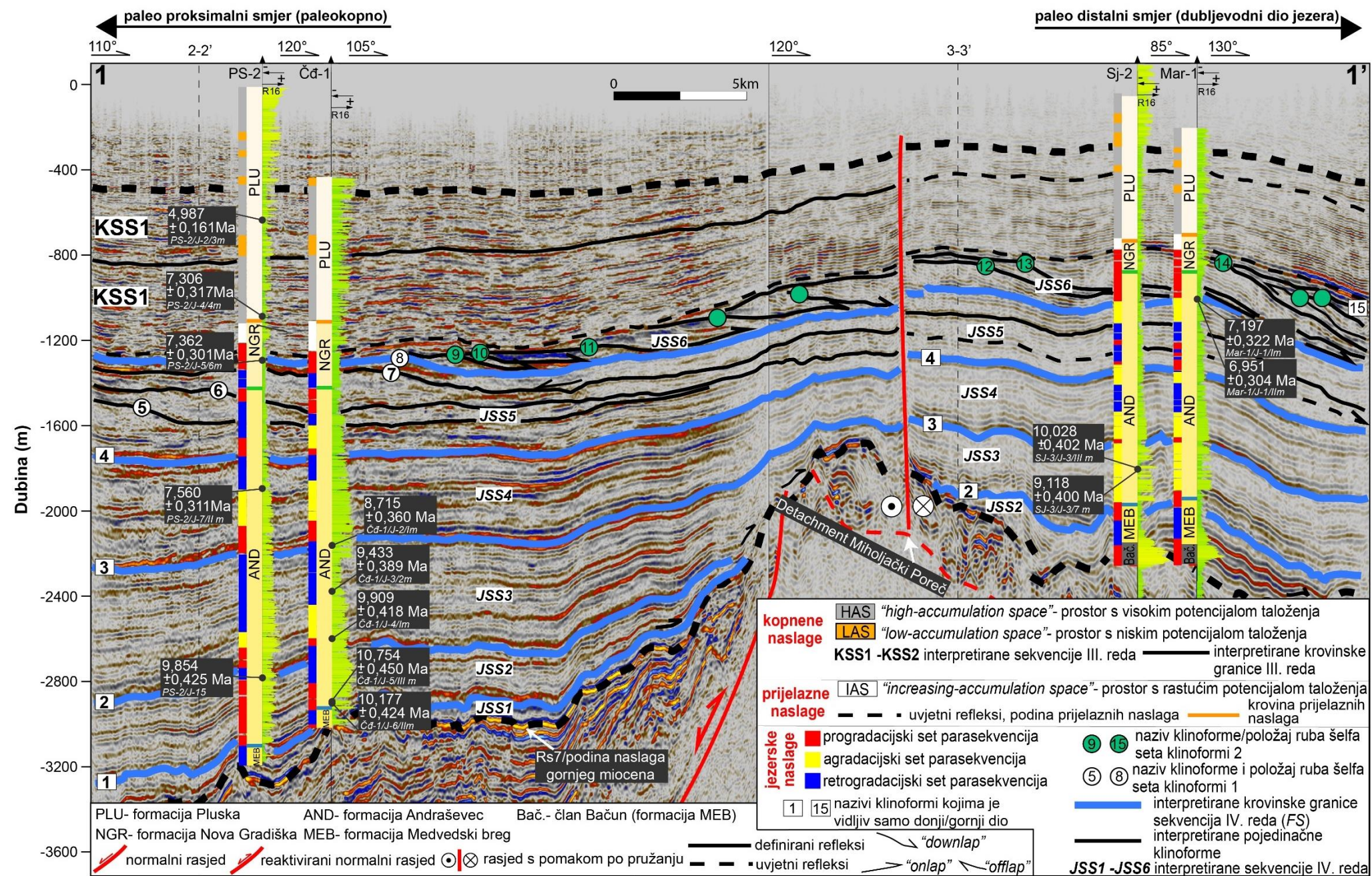
Naslage KSS1 sastoje se od prijelaznih deltnih i kopnenih naslaga (Prilog 11). U prijelaznim naslagama deltne ravnice određen je prostor s rastućim potencijalom taloženja. Jedinica se sastoji od raznovrsnih litologija: glina, slabo vezanih konglomerata, pješčenjaka i silita te glinom bogatih lapora i ugljena (BF6). Na temelju interpretacije krivulje R_{16} u krovini je određena sekvencijska jedinica HAS jedinica, odnosno prostor s visokim potencijalom taloženja (Prilog 11). Krovinska granica jedinice određena je u bušotinama PS-5, PS-2 i Čđ-1 u podini naslaga koje pripadaju sekvencijskoj jedinici LAS (prostor s niskim potencijalom taloženja). Prema seizmičkim podacima, granica se u zapadnom području istraživanja podudara s refleksom negativne amplitude, koji prema bušotinskim podacima odgovara glinama. Starost sekvencije određena je na bušotini PS-2 u donjem dijelu jedinice HAS na $7,306 \pm 0,317$ mil. god (Slika 47).

6.3.2.8 Kopnena seizmička sekvencija 2 (KSS2)

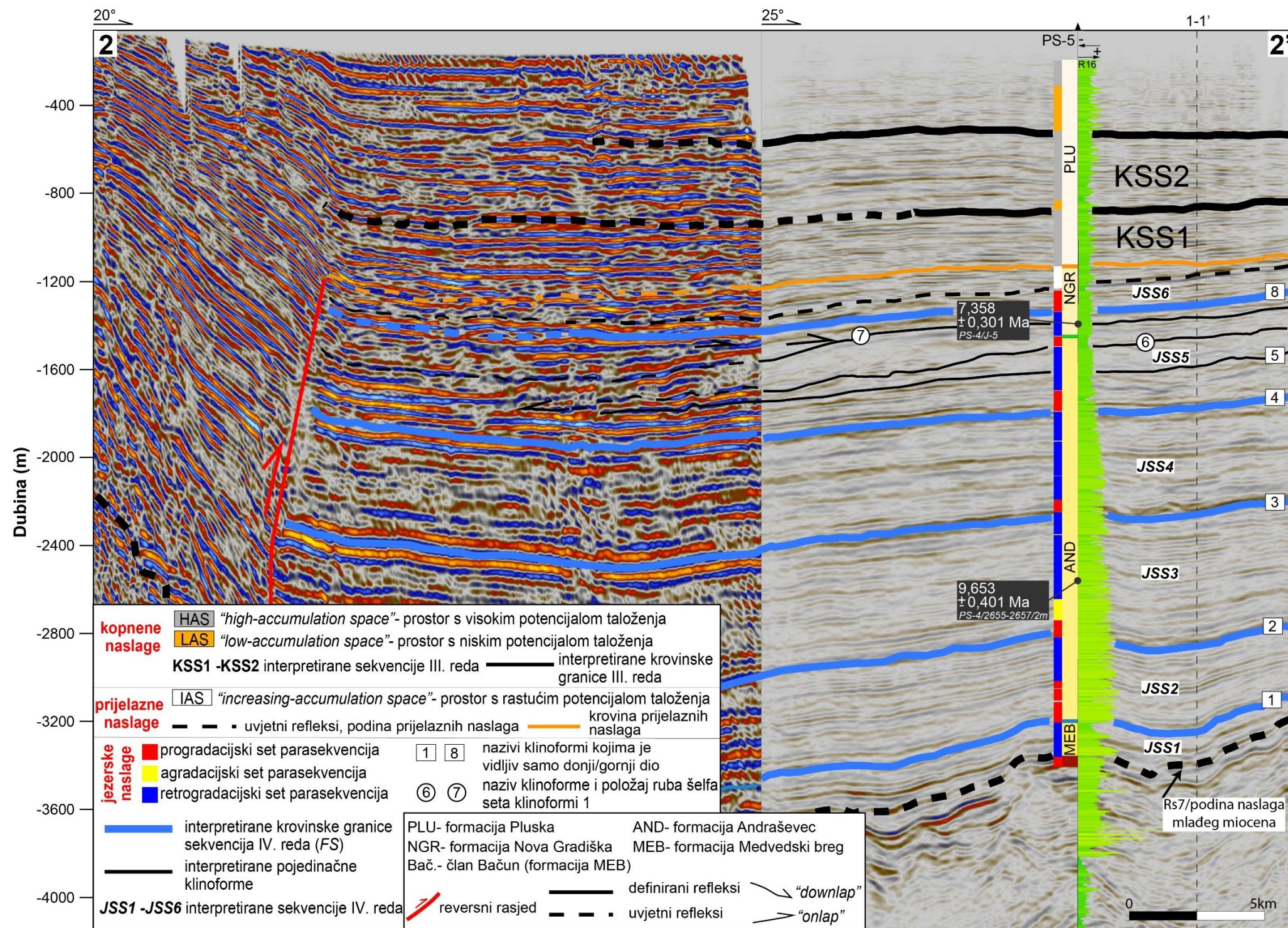
Sekvencija KSS2 sastoji se u potpunosti od kopnenih naslaga (Prilog 11). Početni dio slijeda interpretiran je kao jedinica LAS, odnosno prostor s niskim potencijalom taloženja. Debljina jedinica LAS i HAS unutar KSS2 je promjenjiva, tanja u PS-4 i PS-5, a deblja u PS-2 i Čđ-1 (Prilozi 10, 11, Slike 47, 48). Slijed naslaga prema plićem dijelu interpretiran je kao dio jedinice HAS. Prema bušotinskim podacima, sekvencija je sastavljena od slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata te pijesaka, glina, šljunaka i sporadično ugljena (BF7). Sljedovi slabo vezanih pješčenjaka i konglomerata te pijesaka i šljunaka vezani su uz jedinicu LAS. Krovina sekvencije određena je u refleksu negativne amplitude u bušotinama PS-4 i PS-5, koji čini podinu jedinici LAS. Taj refleks određen je kao uvjetni seizmički korelacijski horizont i krovinska granica istraživanih naslaga. Starost jedinice određena je u bušotini PS-2 na $4,987 \pm 0,161$ mil. god.



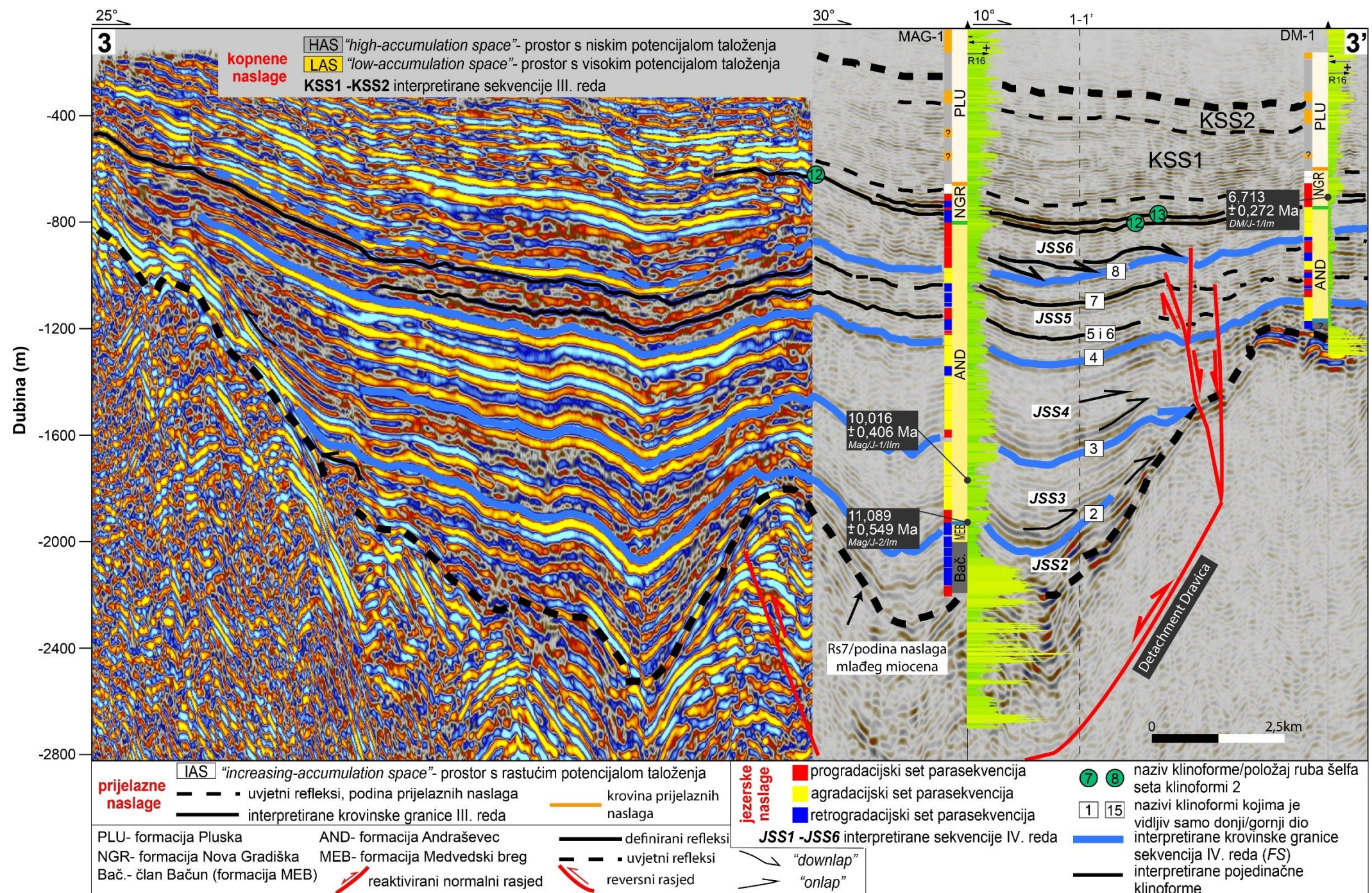
Slika 46. Izravnati kompozitni profil po podini refleksa deltne ravnice (isprekidana crna linija) koji aproksimativno prikazuje izvornu geometriju refleksa (klinoforme, prema Sztanó, 2013). Na profilu su vidljive odredbe putanje ruba šelfa, odvojeni setovi klinoforme, naznačeni završeci refleksa, generalna litologija unutar bušotina i karotaža otpornosti, na temelju kojih su interpretirane granice sekvencija koje prate jake reflekse negativne amplitude. Vertikalno uvećanje je 5 puta. Pozicija kompozitnog profila vidljiva na Slici 12.



Slika 47. Kompozitni korelacijski profil 1-1' s naznačenom litostratigrafskim jedinicama, sekvencijama i određenim apsolutnim starostima. Vertikalno uvećanje je 5 puta. Pozicija profila je vidljiva na Slici 12.



Slika 48. Okomiti profil 2-2' napravljen spajanjem 2D (lijevi dio profila) i 3D seizmike (desni dio profila) s određenim litostratigrafskim formacijama, sekvencijama i apsolutnim starostima naslaga. Profil je okomit na dužu os depresije zapadnog dijela područja istraživanja. Vidljive su ujednačene debljine baznih refleksa formacije MEB, koje prate morfologiju podine naslaga mladeg miocena te debeli slijed formacije AND. Na njih naliježu refleksi JSS5 i JSS6. Orientacija profila je gotovo okomita na smjer putanje padine šelfa iz čega je vidljiva bočna promjena načina nalijeganja refleksa i njihovih debljina između klinoformi 4 i 8. Vertikalno uvećanje je 5 puta. Pozicija vidljiva na Slici 12.



Slika 49. Okomiti profil 3-3' napravljen spajanjem 2D (lijevi dio profila) i 3D seizmike (desni dio profila) s određenim litostratigrafskim jedinicama, sekvencijama i apsolutnim starostima naslaga. Profil je okomit na dužu os depresije zapadnog dijela područja istraživanja. Vidljive su ujednačene debljine baznih refleksa formacije MEB, koje prate morfologiju podine naslaga mlađeg miocena te debeli slijed formacije AND. Na njih naliježu refleksi JSS5 i JSS6. Strukturno-stratigrafski odnosi su kompleksniji u usporedbi s profilom 2-2'. Orijentacija profila je gotovo okomita na smjer putanje padine šelfa iz čega je vidljiva bočna promjena načina nalijeganja refleksa, položaja padine šelfa (npr. klinoforma 12) i njihovih debljina između klinoformi 4 i 13. Vertikalno uvećanje je 5 puta. Pozicija je vidljiva na Slici 12.

6.4 Strukturne karte

Zbog utjecaja sinsedimentacijske tektonike na razvoj akomodacijskog prostora i transport sedimenata, seizmostratigrafsku je analizu nemoguće korektno provesti bez analize osnovnih strukturnih elemenata i evolucije strukturnog sklopa koji je u ovom području formiran u nekoliko tektonskih faza. Strukturne karte su napravljene temeljem interpretiranih sekvencija u jezerskim, prijelaznim i kopnenim naslagama. Za izradu strukturnih karata korišteni su kartirani refleksi, kojima je interpretirano značenje u okviru sekvencijske stratigrafije, odnosno dodijeljeno im je značenje stratigrafske površine preplavlivanja. Zbog dosljednosti u odnosu na prethodna istraživanja, nazivi opisanih struktura na karti podloge miocena i pliocena preuzeti su iz jednoga recentno obranjenog doktorata, odnosno iz tamo objavljene *Strukturne karte po horizontu Rs7* (Rukavina, 2021; ovdje Slika 50).

6.4.1 Strukturna karta po podlozi naslaga mlađeg miocena i pliocena

Na strukturnoj karti po podlozi naslaga mlađeg miocena i pliocena (H/Rs7) mogu se općenito odvojiti četiri zasebne strukturne domene (Slika 50). Prva domena nalazi se u zapadnom području istraživanja i predstavlja najdublji dio depresije istraživanog područja s dubinama od -2750 do -4000 m. Druga domena je taložni prostor istočnog dijela depresije s dubinama od -2000 do -2750 m, koji je od zapadnog dijela odvojen pragom *Ladislavci-Kučanci* (A). Treća domena istraživanog prostora je strukturno uzvišenje *Donji Miholjac* (F), dok četvrta domena pripada području uzdignute strukture Slavonskih gora, Papuka i Krndije na južnom rubnom području istraživanja (Slika 50).

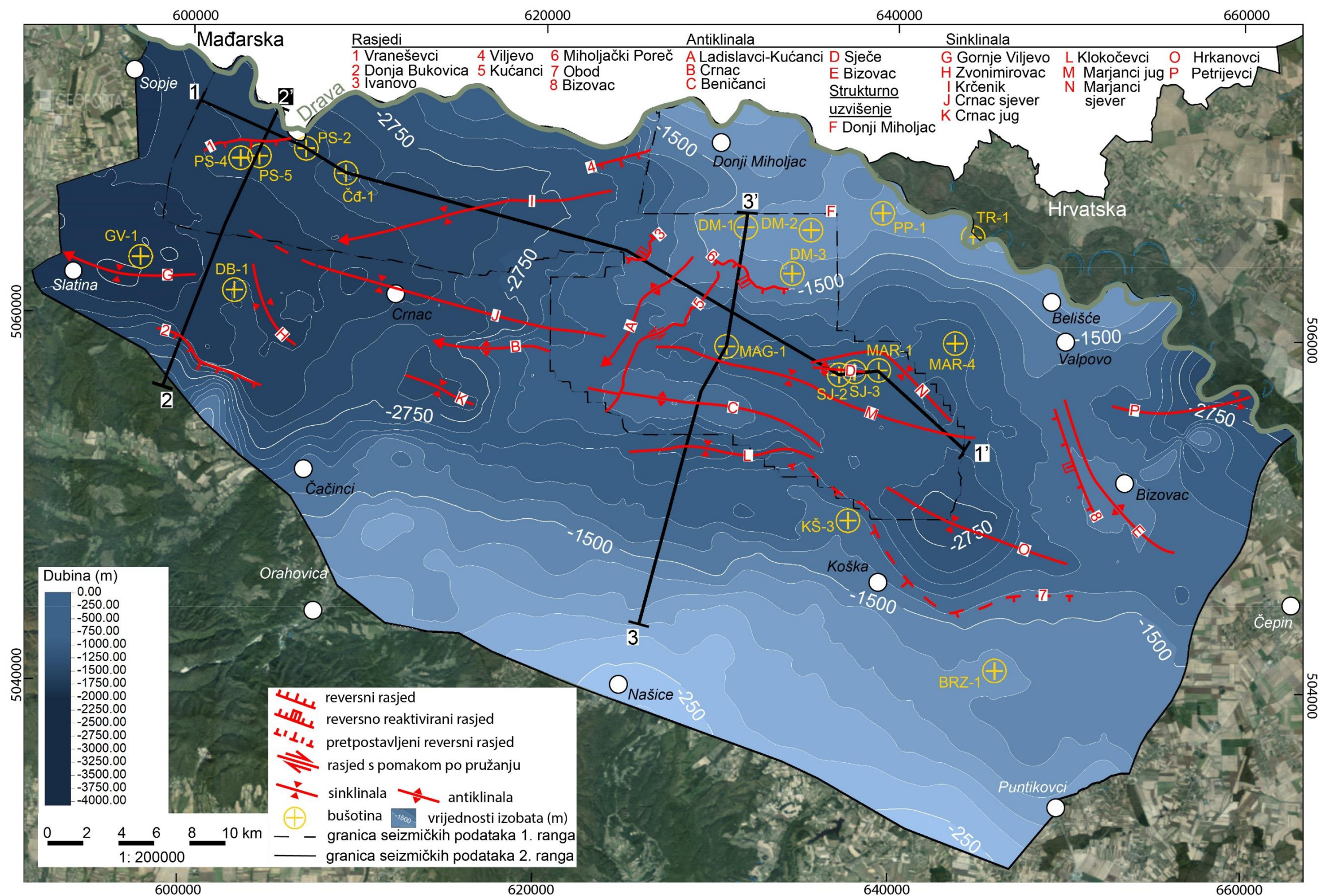
Prva strukturna domena sastavljena je od rasjeda i više odvojenih bora, antiklinala i sinklinala. Najdublji dio nalazi se unutar sinklinala *Gornje Viljevo* (G) s najvećom vrijednosti dubine od -4000 m, a čija os tone u smjeru zapad-sjeverozapad. Drugi, manji strukturni minimum interpretiran je kao sinklinala *Zvonimirovac* (H), s najvećim vrijednostima od -3500 m i općeg pružanja osi sjeverozapad-jugoistok. Opisana bora nalazi se u podinskom krilu kartiranog reversnog rasjeda *Donja Bukovica* (2) s procijenjenim pomakom od oko 600 m (prema Rukavina, 2021). Gornjomiocenske i pliocenske naslage u krovinskom krilu deformirane su u obliku monokline. U sjevernom rubnom dijelu, uz bušotine PS-5 i PS-2 kartiran je rasjed *Vraneševci* (I). Krajnji jugoistočni dio zapadne strukturne domene obilježen je sinklinalom *Crnac jug* (K) općeg pružanja zapad-sjeverozapad – istok-jugoistok i najvećom dubinom preko -3000 m. Sjeverno od nje nalazi se antiklinala *Crnac* (B) koja tone u smjeru

zapada s vrijednostima dubine od najmanje -2250 m do najviše -2750 m. Usporedno s prethodno dvije opisane, u središnjem dijelu zapadne strukturne domene, nalazi se sinklinala **Crnac sjever (J)** generalnog pružanja zapad-sjeverozapad – istok-jugoistok. Najdublji dio osi sinklinalne se prema zapadu spaja sa sinklinalama **Zvonimirovac (H)** i **Krčeničnik (I)**. Sinklinala **Krčeničnik (I)** orijentirana je pod šiljastim kutom na opisanu sinklinalu **Crnac sjever (J)** i tone u smjeru zapad-jugozapad. Sjeverozapadno krilo sinklinalne **Krčeničnik (I)** je u rubnom području rasjednuto reversnim rasjedom **Viljevo (4)**.

Kao što je već navedeno, zapadna strukturna domena je od istočne odvojena uzdignutom strukturom u području antiklinalne **Ladislavci-Kučanci (A)**. Navedena struktura dio je složenije strukture čije je pružanje pouzdano kartirano na podacima 1. ranga, od strukturnog uzdignuća **Donji Miholjac (F)** na sjeveru do južnog krila antiklinalne **Beničanci (C)**. Područje južno od antiklinalne **Beničanci (C)** dio je sinklinalne **Klokočevci (L)**, koja je prema zapadu vjerojatno dijelom odvojena rasjednom s pomakom po pružanju **Kučanci (5)**. Međutim, navedeno područje i dalje predstavlja zonu strukturnog minimuma koje se pruža od sinklinalne **Klokočevci (L)** do sinklinalne **Crnac jug (K)**. Zapadni dio strukture **Donji Miholjac (F)** rasjednuto je reversno reaktiviranim rasjedom **Ivanovo (3, Slika 47)**. Reversni pomak iznosi nekoliko desetaka metara. Spomenuta antiklinala **Ladislavci-Kučanci (A)** tone u smjeru jugozapada. Njezin nastanak vjerojatno je povezan s genezom rasjeda **Kučanci (5)** s relativnim lijevim pomakom po pružanju. Istočno krilo rasjeda (istočna strukturna domena) **Kučanci (5)** i refleks H/Rs7 dovedeno je u višu strukturnu poziciju u odnosu na zapadno (zapadna strukturna domena). Struktura je prema sjeveru ograničena reversno reaktiviranim rasjedom **Miholjački Poreč (6)**, čije se krovinsko krilo nalazi južno od uzdignute strukture **Donji Miholjac (F)**. Struktura **Donji Miholjac (F)** se izdiže od dubine od -2000 m do najpliće -1250 m, a zauzima sjeverni dio istočnog dijela istraživanog područja i pruža se od Belišća na istoku do Donjeg Miholjca prema sjeverozapadu. Struktura **Donji Miholjac (F)** ima oblik strukturnog nosa i vjerojatno je dio šire regionalne strukture podloge neogenskih i kvartarnih stijena. Interpretirane i opisane sekvencije (JSSS2-4, Slika 47) transgresivno naliježu (*onlap*) na ovu strukturu (Slike 47, 49, 50). Prema relativnoj tektonskoj aktivnosti rasjeda **Miholjački Poreč (6)**, obliku strukture i odnosu s istraživanim slijedom stijena, **Donji Miholjac (F)** se može opisati kao *horst* pod utjecajem pozitivne reaktivacije primarno ekstenzijskih struktura (*detachmenta* Miholjački Poreč prema Rukavina, 2021), a za vrijeme mlađeg miocena i pliocena predstavljao je uzvišenje dna bazena u taložnom prostoru, odnosno uzdignuti

paleoreljef. Istočna strukturna domena taložnog prostora je prema jugu ograničena pozitivnom strukturom podloge neogenskih stijena koja se uzdiže prema masivu Papuka i Krndije. Struktura prati pružanje morfologije navedenih gora, a najmanje vrijednosti dubine horizonta H/Rs7 utvrđene su u području Našica i južno od Puntikovaca, a iznose -250 m. Izdanci podloge miocenskih i pliocenskih naslaga utvrđeni su na obodima Papuka i Krndije (Korolija i Jamičić, 1989; Jamičić i dr., 1989; Sebe i dr., 2020; Pavelić i dr., 2003; Slika 10).

Istočna strukturna domena obuhvaća središnji dio depresije s nekoliko strukturnih minimuma, sinklinala. Središnji dio prostora zauzima sinklinala **Marjanci jug (M)**, generalnog pružanja ZSZ-IJI i vrijednostima dubine od -2500 do -2250 m. Prema sjeveru i sinklinali **Marjanci sjever (N)**, odvojena je antiklinalom **Sječe (D)**. Bore **Marjanci sjever (N)** i **Sječe (D)** su necilindričnog oblika. Južnu granicu prema prostoru sinklinala **Klokočevci (L)** čini istaknuta antiklinala **Beničanci (C)**, koja je u zapadnom dijelu rasjednuta lijevim pružnim rasjedom **Kučanci (5)**. Najviše vrijednosti dubine u navedenoj antiklinali iznose -1750 m. Područje jugoistočno od antiklinala **Beničanci (C)** zauzima sinklinala **Hrkanovci (O)**, sa strukturnim minimumom od -2750 m. Prema jugu, navedena je sinklinala ograničena pretpostavljenim reversnim rasjedom **Obod (7)**, koji prati pružanje zone strukturnog uzvišenja prema masivu Krndije. Područje prema istoku i sjeveroistoku od sinklinala **Hrkanovci (O)**, obilježeno je antiklinalom **Bizovac (E)**, čije je pružanje dijagonalno na prethodno opisanu sinklinalu. Uz to, jugozapadno krilo antiklinala je rasjednuto reversno reaktiviranim rasjedom **Bizovac (8)**. Granično područje, sjeveroistočno od opisanih struktura obilježeno je sinklinalom **Petrijevci (P)**.



Slika 50. Strukturna karta po podlozi naslaga mlađeg miocena i pliocena (nazivi pojedinih strukturnih elemenata su preuzeti iz doktorske disertacije Rukavina (2021). Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportala.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.4.2 Strukturne karte krovinskih granica jezerskih sekvencija 1-4 (JSS1-JSS4)

Ove karte prikazuju odnos uočenih struktura unutar gornjomiocenskih jezerskih naslaga (Slika 51). U cijelom području istraživanja vidljiv je porast broja kartiranih struktura u smjeru mlađih naslaga te njihove međusobne složenosti, naročito u području rasjedne zone **Kučanci (4)**.

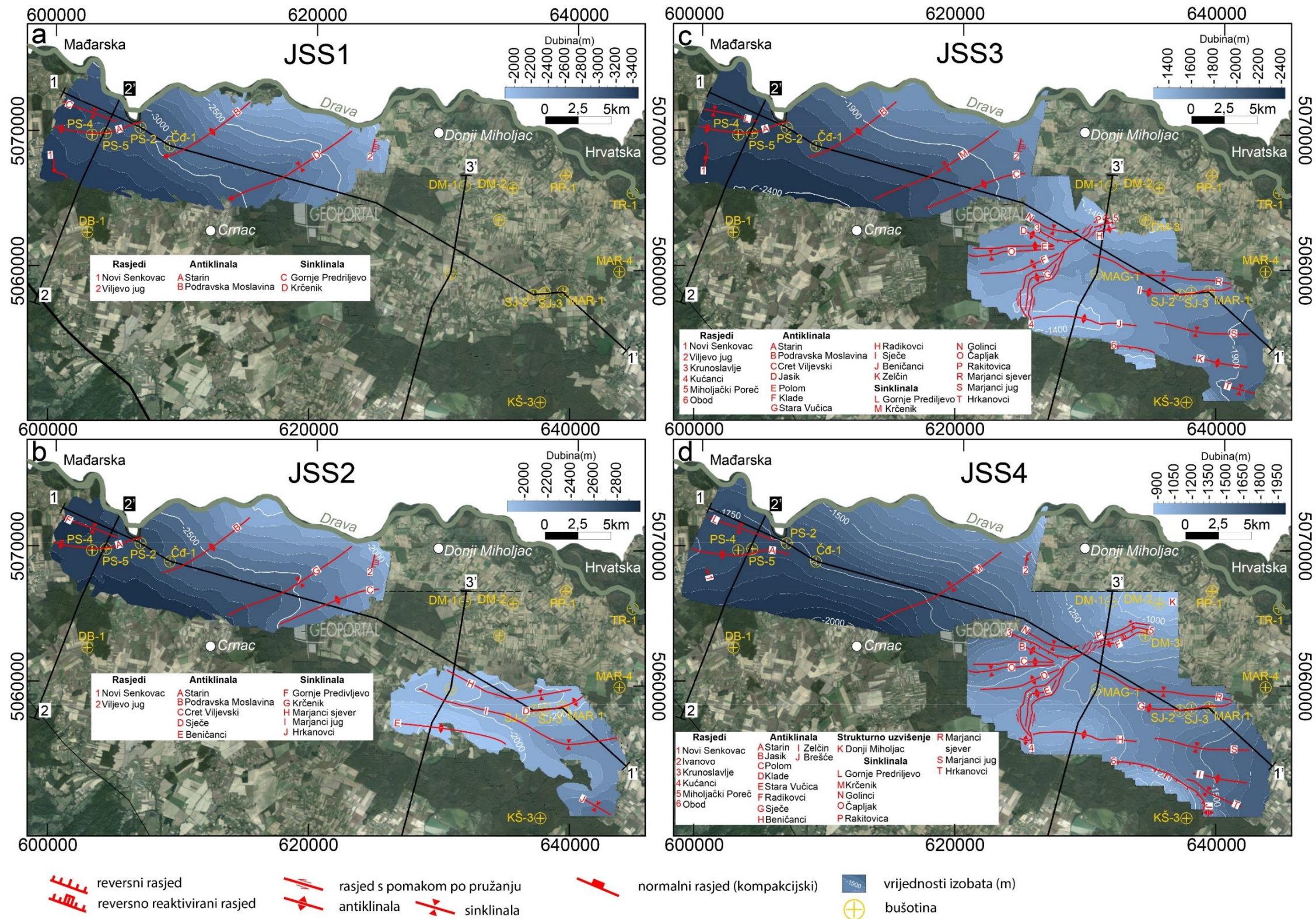
Prva interpretirana sekvencija JSS1 izdvojena je i na seizmičkim podacima 1. ranga, a prema rezultatima kartiranja i korelacije njezine krovinske granice refleksa 1 (površina preplavlivanja), jedinica je razvijena samo u području seizmičkog volumena 1 (Slika 12, 47, 48, 51a). Strukturna karta po krovini JSS1 donekle je obilježena sličnim strukturnim stilom i pretežnim obrascem vrijednosti izobata kao i strukturna karta po H/Rs7 (Slike 50, 51b). Međutim, osim prepoznatljive tonuće sinklinale **Krčeničnik (D)** izdvojene su i različite strukture u odnosu na prethodnu kartu (Slika 51). U zapadnom dijelu ističe se antiklinala **Starin (A)** čija se os pruža preko bušotina PS-4, PS-5 i prolazi sjeverozapadno od PS-2 (Slike 48, 51a). Sjeverno od opisane strukture pruža se sinklinala **Gornje Predričjevo (C)**, koja je prema jugoistoku ograničena antiklinalom **Starin (A)**, Slika 51). U jugozapadnom dijelu karte izdvojen je normalni rasjed **Novi Senkovac (I)**. U središnjem dijelu karte, prema sinklinali **Krčeničnik (D)**, nalazi se tonuća antiklinala **Podravska Moslavina (B)**, koja tone u smjeru jugozapada. U krajnjem istočnom dijelu karte nalazi se reversno reaktivirani rasjed **Viljevo jug (2)**.

Strukturna karta po krovini druge interpretirane sekvencije JSS2 kartirana je po refleksu klinoforme 2 (Slika 47). Navedena sekvencija je za razliku od prethodne JSS1 razvijena u istočnoj strukturnoj jedinici (Slika 51a, b), s kojom je i korelirana putem seizmičkih podataka 2. ranga (Slika 50). Strukturni sklop krovina JSS2 je u zapadnoj strukturnoj jedinici (Seizmički volumen 1, Slika 12, Prilog 1) gotovo jednak prethodnoj sekvenciji. U odnosu na prethodnu kartu, prisutne su sve strukture, osim rasjeda **Novi Senkovac (I)**, Slika 51a). Uz to, istočno od sinklinale **Krčeničnik (D)**, kartirana je antiklinala **Čret Viljevska (C)**, subparalelnog pružanja susjednoj sinklinali. Istočni dio krovine kartirane jedinice strukturnim sklopom i stilom gotovo je jednak karti H/Rs7 (Slike 50, 51b). Vidljive su antiklinale **Beničanci (E)** i **Sječice (D)** te **Marjanci sjever (H)**, **Marjanci jug (I)** i **Hrkanovci (J)**. Za razliku od prethodne karte, sinklinala **Marjanci sjever (H)** pruža se prema zapadu, odnosno prostoru sjeverno od bušotine Mag-1 (Slike 50, 51b).

Krovina treće interpretirane sekvencije JSS3, kartirana je po krovinskom refleksu klinoforme 3 (Slika 51c). Sekvencija je u potpunosti razvijena u području podataka 1. ranga, a strukturni sklop zapadnog dijela gotovo je jednak prethodno opisanoj strukturnoj karti po krovini JSS2 (Slike 51b, c). Točnije, za razliku od prethodne karte, u naslagama je opet vidljiva deformacija uvjetovana lokalnim normalnim rasjedom *Novi Senkovac (I)*. Unutar područja seizmičkog volumena 2, iz strukturne karte po refleksu 3 vidljivo je da naslage sekvencije JSS3 obuhvaćaju veći prostor istočne strukturne domene i manji dio uz rubove strukture *Donji Miholjac*. Vidljive su antiklinale *Beničanci (J)* i *Sječce (I)*, sinklinala *Marjanci sjever (R)* te *Marjanci jug (S)* i *Hrkanovci (T)* odvojene antiklinalom *Zelčin (K)*. Južno od antiklinale *Beničanci (J)* kartiran je reversni rasjed *Obod (6)*. U prostoru zapadno od bušotine Mag-1 i profila 3-3' (Prilog 1, Slika 12, 51), kartirana je zona već spomenutog pružnog lijevog rasjeda *Kučanci (4)*. Uz navedeni rasjed vezani su i reversni rasjed *Krunoslavje (3)* i dvije povezane strukture - antiklinala *Jasik (D)* i sinklinala *Golinci (N)*. U istočnom krilu rasjeda *Kučanci (4)* nalazi se reversno reaktivirani rasjed *Miholjački Poreč (5)* s kojim je rasjedna zona *Kučanci (4)* ograničena prema sjeveru i strukturi *Donji Miholjac*. Kartirana antiklinala *Radikovci (H)* vezana je uz aktivnost rasjeda *Miholjački Poreč (5)*. Unutar rasjedne zone *Kučanci (4)*, vidljiva je antiklinala *Stara Vučica (G)* koja naslage JSS2 i njihovu krovinu deformira pozitivnu cvjetnu strukturu (engl. *postive flower structure*). Zapadno krilo rasjedne zone *Kučanci (4)*, obilježeno je nizom antiklinala *Polom (E)* i sinklinala *Čapljak (O)* pružanja zapad-istok te antiklinalom *Klade (F)* koja početnim dijelom prati pružanje rasjedne zone *Kučanci (4)*, a zatim se pruža u smjeru zapada.

Strukturna karta po krovini sekvencije JSS4 predstavlja klinoformu 4 (Slika 51d). U zapadnom dijelu, unutar podataka seizmičkog volumena 1, slična je prethodno opisanoj strukturnoj karti. I dalje su vidljive antiklinala *Starin (A)*, sinklinala *Gornje Predriljevo (L)* i *Krčeničnik (M)*. Prostorno pružanje normalnog rasjeda *Novi Senkovac (I)* je manje u odnosu na prethodnu jedinicu, a u prostoru reversno reaktiviranog rasjeda *Viljevo jug* kartiran je samo normalni rasjed *Ivanovo (2)*. Sekvencija je od bušotine Čđ-1 do sinklinale *Krčeničnik (M)*, deformirana u prostranu monoklinu sa smjerom nagiba prema jugozapadu i kutom nagiba do maksimalno nekoliko stupnjeva. U seizmičkom volumenu 2, naslage JSS4 zauzimaju veći prostor u odnosu na prethodnu sekvenciju. I dalje su vidljive antiklinale *Beničanci (H)* i *Sječce (G)*, sinklinala *Marjanci sjever (R)* te *Marjanci jug (S)* i *Hrkanovci (T)* odvojene antiklinalom *Zelčin (I)*. Jugoistočno od antiklinale *Beničanci (J)* kartiran je reversni rasjed *Obod (6)* i uz

njege vezana antiklinala **Brešće (J)**. Zapadni dio antiklinale **Beničanci (H)** rasjednut je zonom lijevog pružnog rasjeda **Kučanci (4)**. Unutar rasjedne zone i u njezinom zapadnom krilu prisutne su sve strukture opisane na prethodnoj strukturnoj karti, točnije reversni rasjed **Krunoslavlje (3)**, antiklinale **Jasik (B)**, **Polom (E)** i **Klade (F)** te sinklinale **Golinci (N)** i **Čapljak (O)**. Unutar rasjedne zone **Kučanci (4)** i dalje je vidljiva antiklinala **Stara Vučica (E)** koja naslage JSSS2 i njihovu krovinu deformira u oblik pozitivne cvjetne strukture (engl. *postive flower structure*). Rasjed je prema sjeveru ograničen reversno reaktiviranim rasjedom **Miholjački Poreč (5)** koji bora naslage JSS4 u obliku sinklinale **Rakitovica (P)** i antiklinale **Radikovci (F)**. Naslage JSS4 kartirane su i preko strukturnog uzvišenja **Donji Miholjac (K)** i poprimaju oblik strukturnog nosa.



Slika 51. Strukturne karte po krovinama interpretiranih sekvencija JSS1, JSS2, JSS3 i JSS4. Iz karte je vidljivo sve veće površinsko rasprostranjivanje naslaga od a) karte po krovini sekvencije JSS1, preko karte b) po krovini JSS2, c) krovini JSS3 do d) karte po krovini JSS4. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.4.3 Strukturne karte krovinskih granica jezerske sekvencije JSS5 (8), prijelaznih naslaga i kopnenih naslaga KSS1

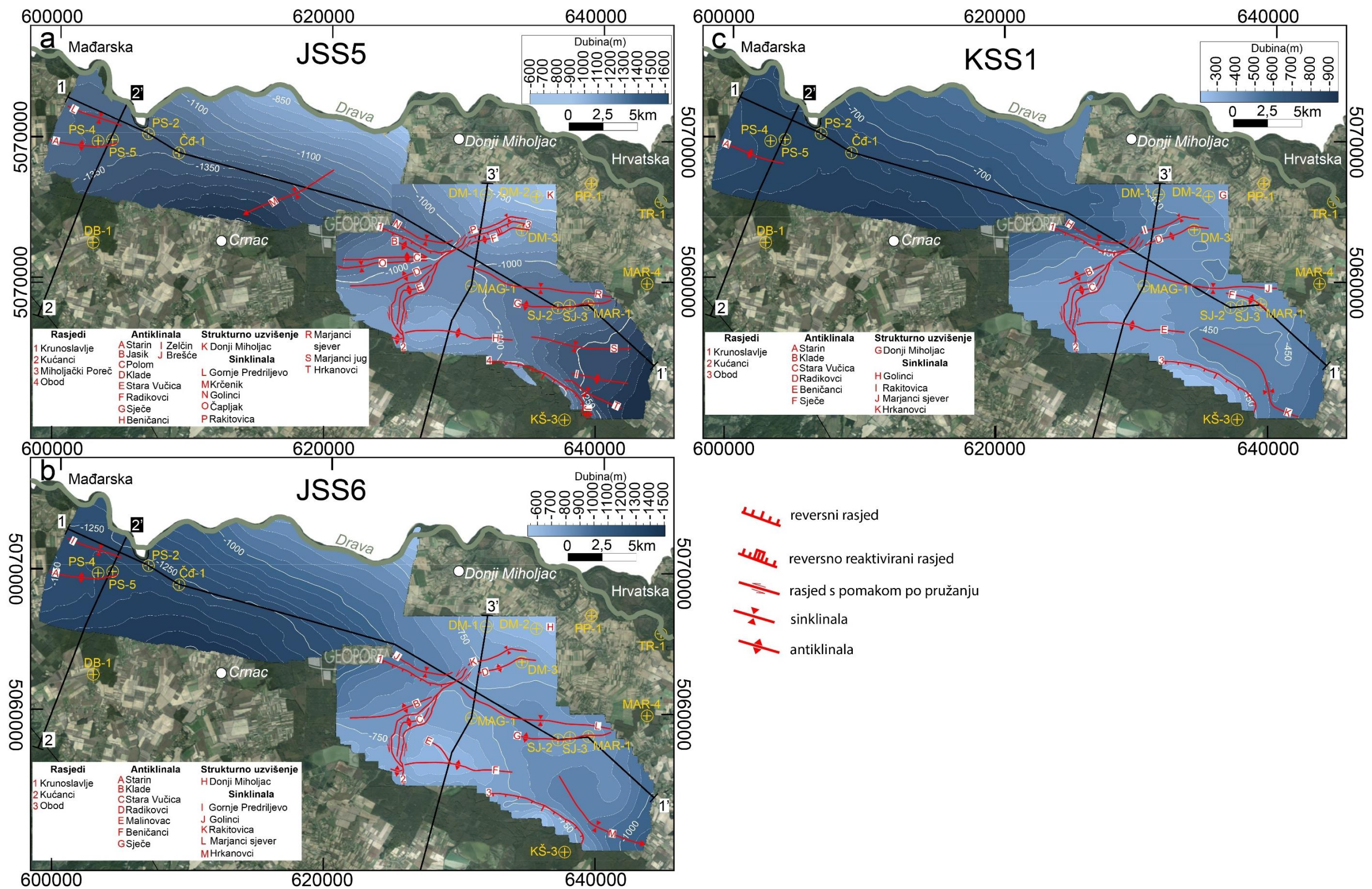
Na ovim su kartama prikazane strukture vršnog dijela jezerskih naslaga, podine prijelaznih deltnih naslaga i krovine KSS1 (Slika 52). U odnosu na prethodni set karata vidljiv je sličan strukturni stil, ali prilično jednostavniji strukturni sklop.

Strukturna karta po krovini jedinice JSS5 predstavljena je klinofomom 8, odnosno refleksom koji označava površinu preplavlivanja (Slika 52a). U odnosu na prethodnu jedinicu, u seizmičkom volumenu 1 vidljiva je antiklinala *Starin* (A) te sinklinale *Gornje Predriljevo* (L) i *Krčeničnik* (M), a rasjedi nisu kartirani. Naslage od bušotine Čđ-1 do antiklinale *Krčeničnik* (M), deformirane su u prostranu monoklinu sa smjerom nagiba prema jugozapadu i kutom nagiba do maksimalno nekoliko stupnjeva. Strukturni stil i odnosi unutar seizmičkog volumena 2 u potpunosti su isti kao u prethodnoj jedinici, točnije vidljive su istoimene strukture s jednakim strukturnim odnosima.

Strukturna karta po podlozi prijelaznih naslaga u zapadnom području (seizmički volumen 1) sadrži dvije kartirane strukture, antiklinalu *Starin* (A) i sinklinalu *Gornje Predriljevo* (I) (Slika 52b). Ostali dio zapravo čini prostranu monoklinu sa smjerom nagiba prema jugozapadu i kutom nagiba do maksimalno nekoliko stupnjeva. Strukturni sklop istočnog dijela, odnosno seizmičkog volumena 2, sličan je prethodno opisanoj karti. Vidljiva je antiklinala *Beničanci* (F) i uz nju vezana antiklinala *Malinovac* (E). Uz to, kartirana je antiklinala *Sječice* (G), kao i sinklinala *Marjančani sjever* (L) koja se prostire malo dalje prema zapadu u odnosu na prethodne naslage. Orijehtacija tonuće sinklinale *Hrkanovci* (M) drugačija je od prethodne karte, gdje zauzima samo južni rub prostora, dok se na ovoj strukturnoj karti ona pruža prema sjeverozapadu, dijagonalno na antiklinalu *Sječice* (G). U južnom dijelu je kartiran rasjed *Obod* (3). Antiklinala *Beničanci* (F) je rasjednuta zonom lijevog pružnog rasjeda *Kučanci* (2) unutar koje je i dalje vidljiva pozitivna cvjetna struktura, odnosno antiklinala *Stara Vučica* (C). U zapadnom krilu i dalje je vidljiva antiklinala *Klade* (B) istoga oblika kao i na prethodnim kartama. Međutim, nedostaju bore južno od reversnog rasjeda *Krunoslavje* (I), dok je u podinskom krilu istog rasjeda i dalje vidljiva sinklinala *Golinci* (J). Prema sjeveru je rasjedna zona ograničena samo strukturnim uzvišenjem *Donji Miholjac* (H), bez vidljivog pomaka u zoni rasjeda *Miholjački Poreč* (3), kartiranog na prethodnoj karti (Slika

52a). U tom području vidljive su samo borane naslage JSS6 i prijelaznih naslaga, točnije sinklinala *Rakitovica (K)* i antiklinala *Radikovci (D)*.

Kartirani refleks krovine KSS1 poslužio je za izradu strukturne karte u cijelom području 1. ranga podataka (Slika 52c). Unutar podataka seizmičkog volumena 1 vidljiva je samo antiklinala *Starin (A)*, a ostali dio naslaga dio je monokline sa smjerom nagiba prema jugozapadu i istim kutom nagiba kao i na prethodnim kartama. Rasjedna zona *Kučanci (2)* i povezane strukture gotovo su jednake opisanima na prethodnoj strukturnoj karti podine strukturnih naslaga. Kartirani rasjed *Klade (B)* je kraći u smjeru jugozapada, a nije vidljivo ni tjeme antiklinale *Beničanci (E)* u zapadnom krilu rasjedne zone *Kučanci (2)*. Za razliku od prethodne karte, na strukturnoj karti po krovini KSS1 istočni završetak antiklinale *Beničanci (E)* nalazi se u početnom dijelu kartirane sinklinala *Hrkanovci (K)*. Prema jugozapadu i jugu obje bore su ograničene reversnim rasjedom *Obod (3)*. Na sjeveru se nalaze antiklinala *Sječce (F)* i sinklinala *Marjanci sjever (J)* te strukturno uzvišenje *Donji Miholjac (G)*.



Slika 52. Strukturne karte po krovinama interpretiranih sekvencija JSS5 i JSS6. Iz karti je vidljivo smanjenje strukturne kompleksnosti naslaga od a) klinoforme 8 do b) podine prijelaznih naslaga i c) krovine KSS1. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.5 Analize seizmičkih atributa po strukturnim kartama

Rezultati analiza seizmičkih atributa prikazani su *RMS* atributnim kartama. Atributne karte su napravljene po krovinskom refleksu svake sekvencije, odnosno jezerskim i prijelaznim deltnim naslagama te po krovini KSS1 koja predstavlja kopnene fluvijalne naslage. Na *RMS* atributnim kartama korištena je shema boja od ljubičaste, koja prikazuje najmanje vrijednosti *RMS* amplituda, do žute i crvene boje koje prikazuju najveće vrijednosti. Pri konstrukciji karte korišten je prozor pretraživanja od 40 m, točnije do najbližeg brijega seizmičkog vala prema dolje. Na svim kartama su određeni vidljivi dijelovi sedimentnog sustava, odnosno taložna tijela poput lepeza, reznjeva, opskrbnih kanala, deltnih lepeza, meandrirajućih kanala, preljevnih sedimentata proboja kanala, poplavne ravnice itd.

6.5.1 JSS1-JSS4

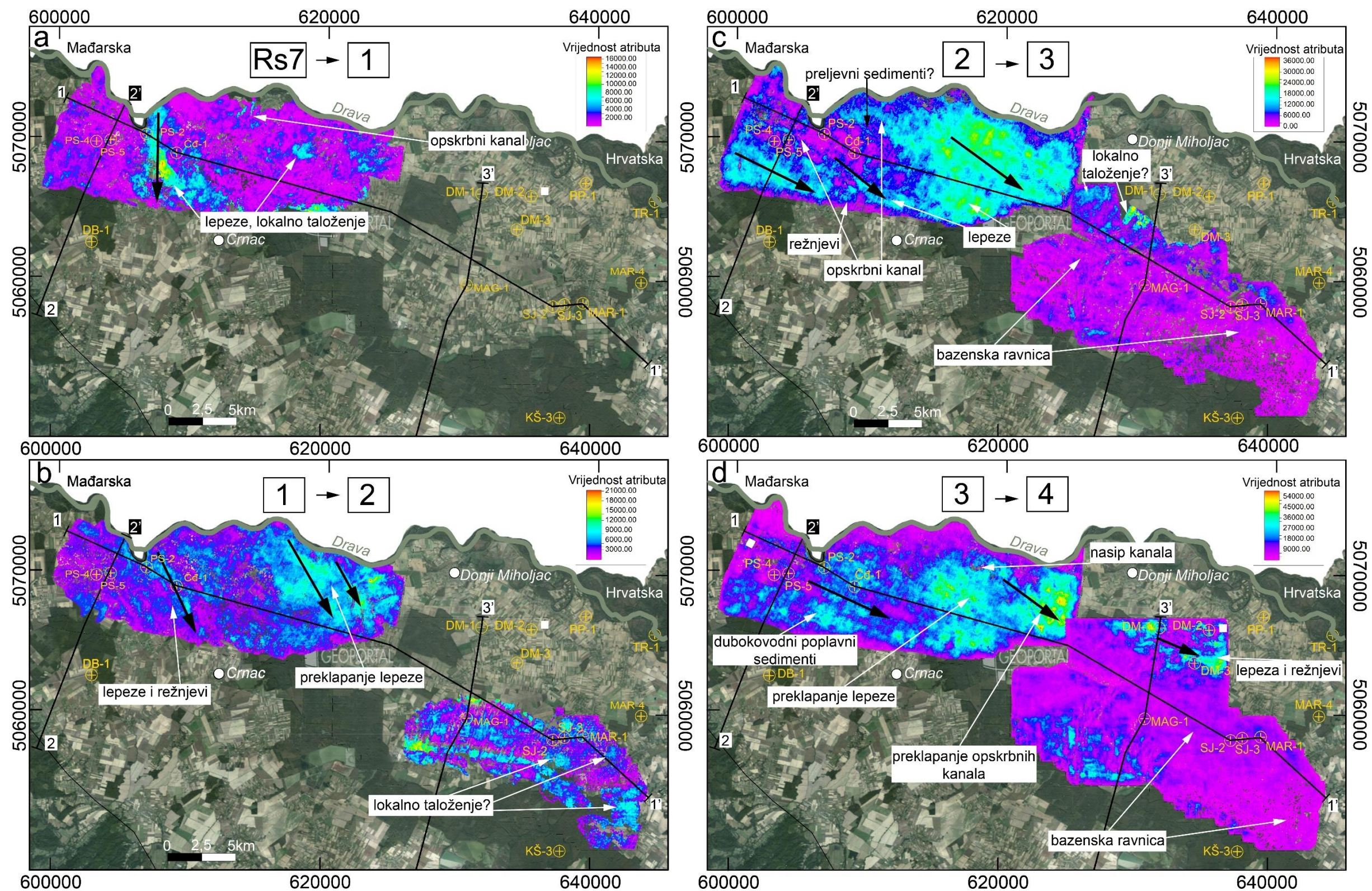
RMS analize strukturne karte po krovini JSS1 prikazuju nekoliko lepeza i opskrbnih kanala (Slika 53a). Lepeze su okomite ili orijentirane pod ostrim kutom na današnju dužu os istočnog dijela Dravske depresije. Visoke vrijednosti *RMS* amplitude nalaze se jugoistočno i južno od bušotina PS-2 i Čđ-1, pa je i vjerojatni smjer paleotransporta od sjevera prema jugu (okvirno 180°). Na sjevernim rubovima karte vidljive su forme nalik opskrbnim kanalima.

Atributna analiza po krovini formacije JSS2, u zapadnom dijelu (seizmički volumen 1) prikazuje obrasce taloženja na kojima su prepoznatljivi motivi srednjih *RMS* amplituda na kartama oblika lepeza (Slika 53b). U području bušotina PS-5, PS-2 i Čđ-1, lepeze su izduženijeg oblika s vidljivim reznjevima, dok je na istočnom dijelu kartiranog horizonta vidljivo područje srednjih amplituda, koje vjerojatno prikazuje preklapanje lepeza. Okvirni azimut smjera transporta lepeza je 130°. U istočnom dijelu su vidljiva manja područja pretežno srednjih i mjestimično visokih *RMS* amplituda oblika opskrbnih kanala i manjih lepeza. Točnije, u jugozapadnom rubnom dijelu karte nalazi se pojas srednjih do visokih amplituda lučnog oblika, na čijim su rubovima vidljivi manji elementi oblika kanala i reznjeva. Ti oblici su usmjereni prema središnjem dijelu taložnog prostora, području sinklinale *Marjanci jug*.

RMS atributna karta po horizontu 3, krovine JSS3 prikazuje kompletno taložno područje zapadnog i istočnog dijela 1. ranga podataka (Slika 53c). U zapadnom dijelu prisutne su većinom srednje *RMS* amplitude, u jugozapadnom te središnjem i istočnom dijelu odvojene uskim područjem pretežno niskih *RMS* amplituda. Uočeni su oblici reznjeva, opskrbnih kanala

i vjerojatno područja s preljevnim (probojnim) sedimentima iz opskrbnih kanala. I dalje su vidljive preklapajuće lepeze istočno od bušotine Čđ-1. Smjer transporta promijenio se u odnosu na prethodnu kartu i ovdje iznosi približno 115° . U istočnom dijelu, unutar seizmičkog volumena 2, pretežno su prisutne niske *RMS* amplitude koje odgovaraju sedimentima bazenske ravnice. Na sjevernim rubovima karte, prema području strukturnog uzvišenja *Donji Miholjac*, uočava se niz površinom malih područja srednjih do visokih *RMS* amplituda. Oblik im je nalik na opskrbne kanale i reznjeve, sa smjerom transporta od sjeveroistoka prema jugozapadu.

RMS atributna analiza karte po krovini naslaga JSS4 prikazuje još veće područje taloženja u odnosu na prethodne sekvencije (Slika 53d). U zapadnom dijelu prevladavaju srednje *RMS* amplitude, s vidljivim ocrtima opskrbnih kanala i nasipa, dubokovodnih poplavnih sedimenata koji završavaju preklapajućim kanalima po lepezama i reznjevima. Smjer transporta je jednak prethodnoj karti iznosi 115° . U istočnom području i dalje prevladava mala *RMS* amplituda, koja odgovara bazenskoj ravnici. Na području strukturnog uzvišenja *Donji Miholjac* vidljive su visoke *RMS* amplitude oblika lepeza i reznjeva, koji su subparalelni taložnim tijelima iz zapadnog dijela. Isto tako, u području oko antiklinale *Beničanci* vidljiv je niz nešto manjih nepravilnih polja visokih *RMS* amplituda. Uska zona rasjeda *Kučanci* i *Krunoslavje* vidljiva je kao područje vrlo niskih *RMS* amplituda, oko kojih se nalazi niz malih nepravilnih oblika srednje niskih *RMS* amplituda.



Slika 53. Rezultati RMS amplitudne analize unutar **a)** naslaga JSS1 s vidljivim lokalnim obrascima taloženja; **b)** JSS2 s vidljivim utjecajem dubokovodnih turbidita i lokalnim obrascima taloženja u istočnom dijelu; **c)** JSS3 s dominantnim obrascima taloženja dubokovodnih turbidita; **d)** JSS4 s dominantnim obrascima taloženja dubokovodnih turbidita. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.5.2 JSS5 (klinoforme 5-8) - veliki set sigmoidalnih klinoformi

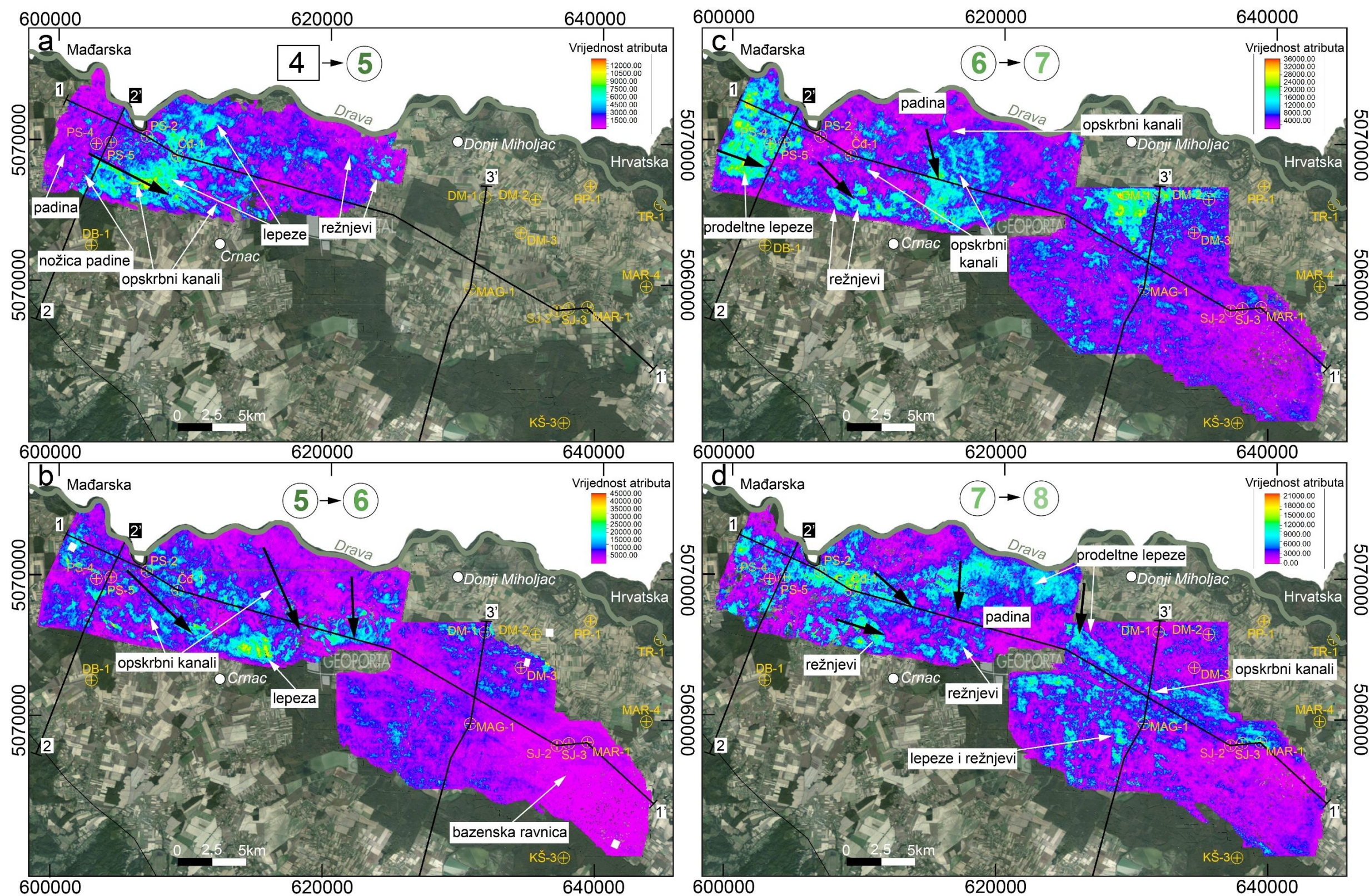
Unutar JSS5 napravljena je analiza *RMS* amplituda na svim kartiranim sigmoidalnim klinoformama (veliki set klinoformi, SF 3) kako bi se što detaljnije prikazala dinamika taloženja u završnom stadiju zapunjavanja Panonskog jezera. Razvoj i dinamika prikazana je s četiri *RMS* amplitudne karte klinoformi 5, 6, 7 i 8 (Slika 54), koje prikazuju načine i smjerove sedimentacije ovisno o geometriji i migraciji ruba šelfa.

Prema rezultatima analize *RMS* amplitude taloženje je u vrijeme nastanka naslaga između klinoforme 4 i 5 bilo obilježeno pretežno visokim amplitudama neposredno ispred nožice padine (Slika 54a). Klinoformu je bilo moguće kartirati samo na zapadnom području, odnosno seizmičkom volumenu 1. Izdvojeni su opskrbni kanali koje vode do zasebnih režnjeva i većih tijela oblika lepeza. Smjer orijentacije sedimentnih tijela je okvirno prema istoku-jugoistoku (120°).

RMS karta koja prikazuje dinamiku taloženja od klinoforme 5 do 6 proteže se kroz oba seizmička volumena (Slika 54b). U zapadnom dijelu pretežno su prisutne srednje do visoke *RMS* amplitude oblika opskrbnih kanala i lepeza. Na najistočnijem dijelu vidljivo je područje malih *RMS* amplituda koje vjerojatno odgovaraju bazenskoj ravnici, dok su na području sjeverno, južno i zapadno od bušotine Mag-1 prisutna mala nepravilna polja srednjih vrijednosti *RMS* amplituda. Navedena polja vjerojatno predstavljaju distalne opskrbne kanale, režnjeve i lepeze. Orijeantacija sedimentnih tijela je promjenjiva od sjeverozapada prema jugoistoku do gotovo sjever-jug.

Za razliku od prethodnih, *RMS* atributna analiza naslaga između klinoformi 6 i 7 prikazuje visoke *RMS* amplitude u području šelfa, koje vjerojatno odgovaraju prodeltnim lepezama na šelfu (Slika 54c). Prema istoku, istaknuta je zona s pretežno niskim *RMS* amplitudama koja pripada području padine šelfa. Na pojedinim mjestima na padini se pojavljuju izduženi oblici koji odgovaraju opskrbnim kanalima. Najistočnija zona na karti je sada pretežno označena s nešto višim, zapravo heterogenim vrijednostima *RMS* amplitude, koji se interpretiraju kao naslage na bazenskoj ravnici, ali s većim udjelom pješćane komponente. Područje sjeverno od bušotine Mag-1 obilježeno je visokim *RMS* amplitudama, koje odgovaraju opskrbnim kanalima i preklapajućim lepezama. Orijeantacija kartiranih taložnih tijela je promjenjiva.

Prema rezultatima analize *RMS* amplitude, taloženje u vrijeme nastanka naslaga između klinoforme 7 i 8 obilježeno je pretežno srednje visokim amplitudama neposredno ispred ruba šelfa unutar prodelte (Slika 54d). Vidljiv je niz oblika visokih *RMS* amplituda, koji vjerojatno pripadaju prodeltnim lepezama. Isto tako, u području padine vidljivi su režnjevi koji su vjerojatno povezani sa slampiranjem. Na istočnom dijelu karte prisutni su različiti oblici koji pripadaju lepezama i opskrbnim kanalima kojih je u odnosu na prethodnu kartu više. Vidljiva je i zona pretežno povišenih vrijednosti *RMS* amplituda koja se proteže od spoja dva seizmička volumena do bušotine Mar-1. Orijentacije taložnih tijela su različite.



Slika 54. Rezultati RMS amplitudne analize unutar naslaga JSS5 s vidljivim obrascima taloženja vezanih uz šelf, padinu šelfa i dubokovodne (distalne) okoliše taloženja. **a)** vidljivi dijelovi turbiditnog sedimentacijskog sustava, vezanog uz padinu šelfa sa naznačenim smjerom donosa crnom strelicom; **b)** dijelovi turbiditnog sustava vezanog uz padinu s različitim smjerovima. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportala.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.5.3 JSS6 (klinoforme 9-14) - set malih kosih i sigmoidalnih klinoformi

Na strukturnim kartama malih kosih klinoformi (SF 4) unutar zapadnog područja istraživanja (seizmički volumen 1) napravljena je analiza *RMS* amplituda (Slika 55a, b). Slike 55 c i d prikazuju rezultate *RMS* analize sigmoidalnih klinoformi istočnog dijela istraživanog područja (seizmički volumen 2).

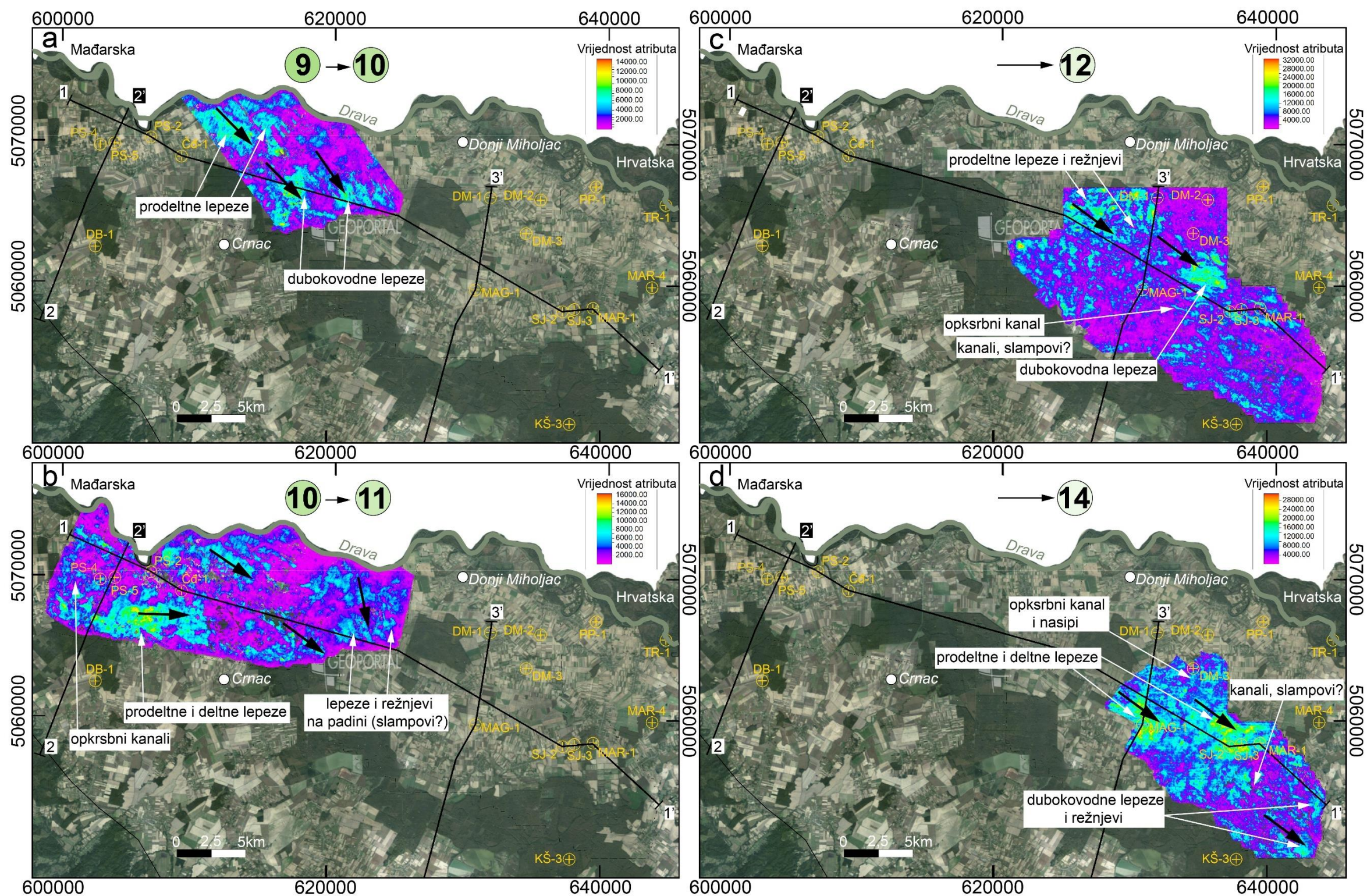
Rezultati *RMS* analiza klinoformi 9 do 10 prikazuju prostornu raspodjelu jedne od klinoformi unutar malog seta kosih klinoformi (SF 4, Slika 55a). Refleks klinoforme 10 bilo je moguće kartirati jedino u manjem prostoru seizmičkog volumena 1. Na karti su prisutne visoke i niske *RMS* amplitude oblika lepeza koje pripadaju prodelti i dubokovodnim okolišima ispod nožice padine. Orijentacija sedimentnih tijela je generalno u smjeru jugoistoka.

Na *RMS* amplitudnoj karti klinoforme 11 vidljivo je nekoliko različitih područja visokih i niskih *RMS* amplituda (Slika 55b). U zapadnom dijelu, od bušotine PS-4 do Čđ-1 vidljive su zone srednjih i visokih *RMS* amplituda, oblika lepezi i opskrbnih kanala. Na istočnom kraju karte vidljiv je niz manjih zona srednjih *RMS* amplituda, oblika lepeza, a nalaze se u području padine šelfa na kojima su vidljivi kanali i procesi slampiranja.

RMS amplitudna karta (Slika 55c) po klinoformi 12 prikazuje područja pretežno srednjih do mjestimično visokih *RMS* amplituda. Zone srednjih amplituda imaju geometriju opskrbnih kanala, a srednje do mjestimično visoke amplitude prikazuju lepeze i vjerojatno režnjeve. Odvajaju se dva tipa sedimentnih tijela, prodeltna lepeze i dubokovodne lepeze koje se nalaze neposredno uz nožicu padine šelfa. Na padini je prisutno mnoštvo nepravilnih, prostorno malih oblika srednjih do niskih amplituda koji vjerojatno prikazuju položaje kanala, slampiranja i drugih procesa na padini. Orijentacija sedimentnih tijela je od sjeverozapada prema jugoistoku.

Najmlađi dio naslaga prikazuje karta i analiza *RMS* atributa na klinoformi 14, na kojoj su prema rezultatima analiza pretežno prisutne zone srednjih do visokih *RMS* amplituda (Slika 55d). Područje od bušotine Mag-1 do Mar-1 obilježeno je srednjim i visokim *RMS* amplitudama oblika lepeza i opskrbnih kanala, dok povezane uske, izdužene zone malih *RMS* amplituda pripadaju nasipima. Područje padine zauzima veliki broj nepravilnih, malih oblika srednjih i niskih *RMS* amplituda koji su vezani uz taložna tijela i procese na padini. Iza nožice, na krajnjem istočnom dijelu karte vidljive su zone srednjih *RMS* amplituda oblika lepezi i režnjeva

te opskrbnih kanala. Orijentacija opisanih sedimentnih tijela je kao na prethodnoj karti, od sjeverozapada prema jugoistoku.



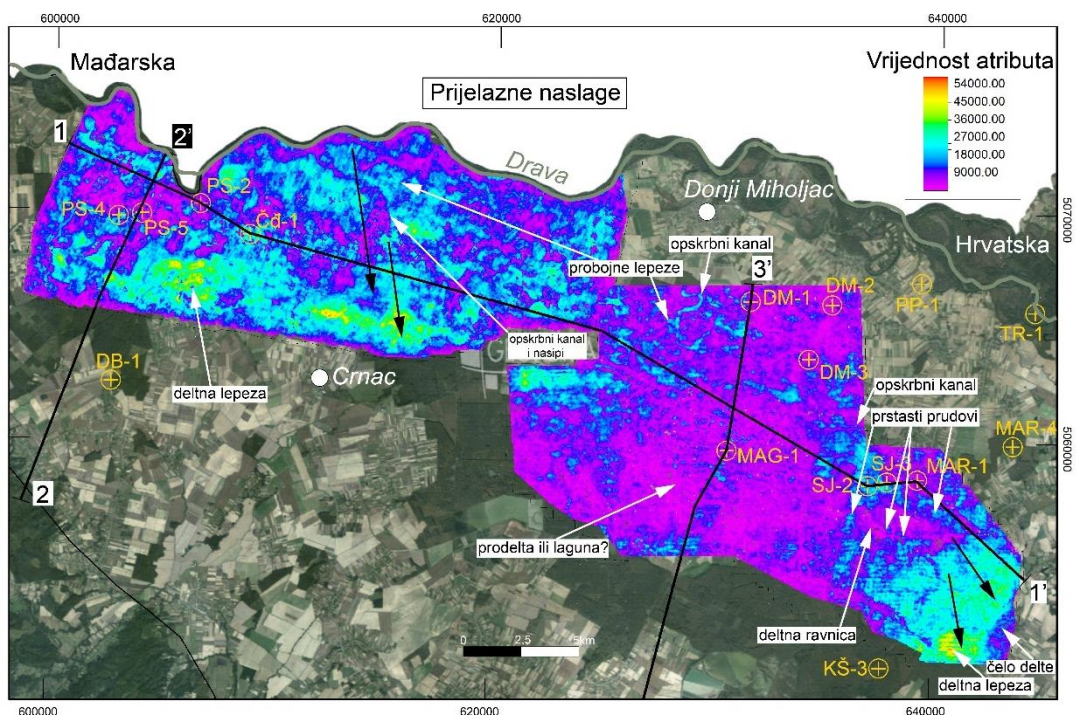
Slika 55. Rezultati RMS amplitudne analize unutar naslaga JSS6 s vidljivim obrascima taloženja vezanih uz šelf, padinu šelfa i dubokovodne (distalne) okoliše taloženja; **a**) vidljivi su dijelovi turbidnog sedimentacijskog sustava na šelfu (prodeltna lepeza) i u dubokovodnom dijelu uz nožicu padine šelfa s naznačenim smjerovima donosa sedimenta (crne strelice); **b**) prikaz istovremenih obrazaca taloženja na šelfu i u dubokovodnom prostoru s različitim smjerovima donosa sedimenta; **c**) i **d**) vidljivi dijelovi sedimentacijskog sustava i smjerovi donosa sedimenta u istočnom dijelu područja istraživanja. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportala.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.5.4 Prijelazne deltne naslage

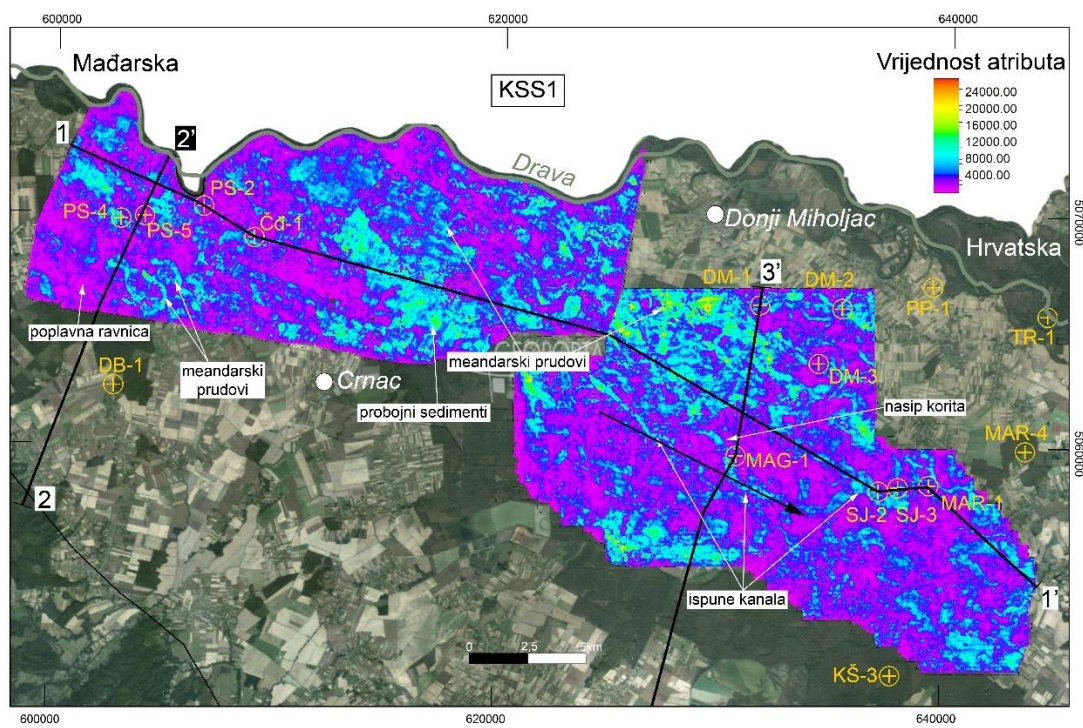
Na Slici 56 prikazani su rezultati *RMS* atributne analize unutar prijelaznih deltnih naslaga. U zapadnom dijelu, unutar seizmičkog volumena 1, vidljive su pretežno srednje i mjestimično visoke *RMS* amplitude. Oblik tih zona odgovara opskrbnim kanalima s vrlo čestim probojnim lepezama, nasipima kanala (niske *RMS* amplitude) te deltnim lepezama. Srednji azimut deltnih lepeza iznosi oko 175°. Unutar seizmičkog volumena 2 moguće je odvojiti tri područja, prvo zapadno i jugozapadno od bušotine DM-1 s nepravilnim oblicima srednjih *RMS* amplituda, zatim središnje područje oko Mag-1 s pretežno niskim *RMS* amplitudama te treće područje jugoistočno od Mag-1, sa srednjim i mjestimično visokim *RMS* amplitudama. Prvo područje prikazuje postojanje opskrbnih kanala s probojnim lepezama, dok drugo vjerojatno označava sitnozrnate sedimente područja prodelte ili lagune. Treće područje dio je deltne lepeze na kojoj je vidljivo čelo delte, a s njezine sjeverozapadne strane vidljivi su prstasti prudovi, deltna ravnica i opskrbni kanali. Orijehtacija tijela približno je jednaka onima u zapadnom dijelu.

6.5.5 Kopnene naslage (KSS1)

Rezultati *RMS* analiza po strukturalnoj karti krovine KSS1 prikazuju niz nepravilnih zona lučnog oblika, srednjih i visokih *RMS* amplituda (Slika 57). Navedena područja omeđena su prostorom niskih *RMS* amplituda koji vjerojatno pripada okolišima poplavne ravnice. Južno i jugoistočno od bušotine Mag-1 navedeni oblici određeni su kao ispune kanala paleo-fluvijalnog sustava. Uz ispune kanala vezani su nasipi korita s pretežno niskim *RMS* amplitudama, dok su probojni sedimenti lepezastog oblika, srednjih *RMS* amplituda, utvrđeni istočno od bušotine Čđ-1. Uz, to izdvojeni su i mogući meandarski prudovi. Generalna orijentacija kanala je u od sjeverozapada prema jugoistoku.



Slika 56. Rezultati RMS amplitudne analize unutar prijelaznih naslaga s vidljivim obrascima taloženja vezanim uz deltno okoliše. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).



Slika 57. Rezultati RMS amplitudne analize unutar kopnenih fluvijalnih naslaga (KSS1). Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.6 Karte debljina interpretiranih sekvencija

Na temelju izračuna debljine između izrađenih strukturnih karata napravljene su karte debljina interpretiranih sekvencija u jezerskim, prijelaznim i kopnenim naslagama. Na kartama su dodatno prikazane kartirane strukture i orijentacija sedimentnih tijela što je indikacija smjera paleotransporta procijenjena na temelju analiza seizmičkih atributa.

6.6.1 Karte debljina JSS1-JSS4

Na karti debljina JSS1 vidljivo je da je debljina jedinice neujednačena (Slika 58a). Najveće debljine su utvrđene u području južno i jugozapadno od bušotina PS-4 i PS-5, od 250 do 320 m te izdužena zona od Čđ-1 do reversnog rasjeda *Viljevo (4)* s debljinama od 150 do 210 m. U središnjem dijelu, području južno i jugoistočno od PS-2 i Čđ-1 debljine su vrijednosti 70 m, a najmanje vrijednosti utvrđene su sjeverno od Čđ-1, do 50 m.

Na karti debljina JSS2 (Slika 58b) u području volumena 1 najveće su vrijednosti zapadno i jugozapadno od PS-4 i PS-5, do 400 m. Debljina JSS2 pada u smjeru sjeveroistoka, s najmanjom vrijednošću od 70 m. Područje oko sinklinale *Krčeničnik (D)* je dio izduženog dijela povećane ukupne debljine ovih jedinica, do najviše 290 m. U seizmičkom volumenu 2 raspored debljina jedinice JSS1 je prostorno veoma promjenjiv. Najveće vrijednosti, od 270 do 310 m, prate os depresije. Na rubovima karte i u području južno od Mar-1 zabilježene su prosječne vrijednosti od 250 m, a minimalne do 190 m debljine.

Karta debljina JSS3 (Slika 58c) prikazuje sličan obrazac promjene debljina. Unutar seizmičkog volumena 1, debljine u zapadnom dijelu karte iznose do 600 m, a najmanje su izmjerene u blizini sjevernog ruba te u sjeveroistočnim i jugoistočnim dijelovima karte, s vrijednostima od 380 do najmanje 300 m. U izduženoj zoni uz sinklinalu *Krčeničnik (G)* ustanovljene su debljine do 480 m. Istočni dio karte, unutar seizmičkog volumena 2, sastoji se od pretežno većih debljina u središnjem dijelu depocentara, s vrijednostima do 380 m, dok se prema njihovim granicama interpretirane debljine sekvencije smanjuju na 240 m. Kao i na prethodnoj karti, na krajnjem jugoistoku karte, oko sinklinale *Hrkanovci (J)* prisutne su lokalno najveće debljine do 460 m.

Rasprostiranje jedinice JSS4 omogućilo je izračun debljina u gotovo cijelom području podataka 1. ranga. Debljina u najzapadnijem dijelu iznosi do 480 m. Područje istočno od Čđ-1 obilježeno je s najmanjim vrijednostima u rubnom sjevernom i južnom dijelu karte, s

debljinama do 330 m. U središnjem dijelu, djelomično uz pružanje sinklinale **Krčeničnik (G)** pruža se zona s vrijednostima debljina od 370 do 390 m. Najveće debljine unutar seizmičkog volumena 2 su u središnjem dijelu, zapadno od bušotine Mag-1, i južno od Sj-2 i Sj-3, s vrijednostima do 350 m. Prema strukturi Donji Miholjac, debljine padaju na najmanje izmjerene, a iznose od 250 do 150 m. Isto tako, debljine u području antiklinale **Stara Vučica, Klade (F)** i **Beničanci (J)** su vidno manje. Vrijednosti debljina neznatno su veće u području uz rasjed Obod.

6.6.2 Karte debljina JSS5 i JSS6

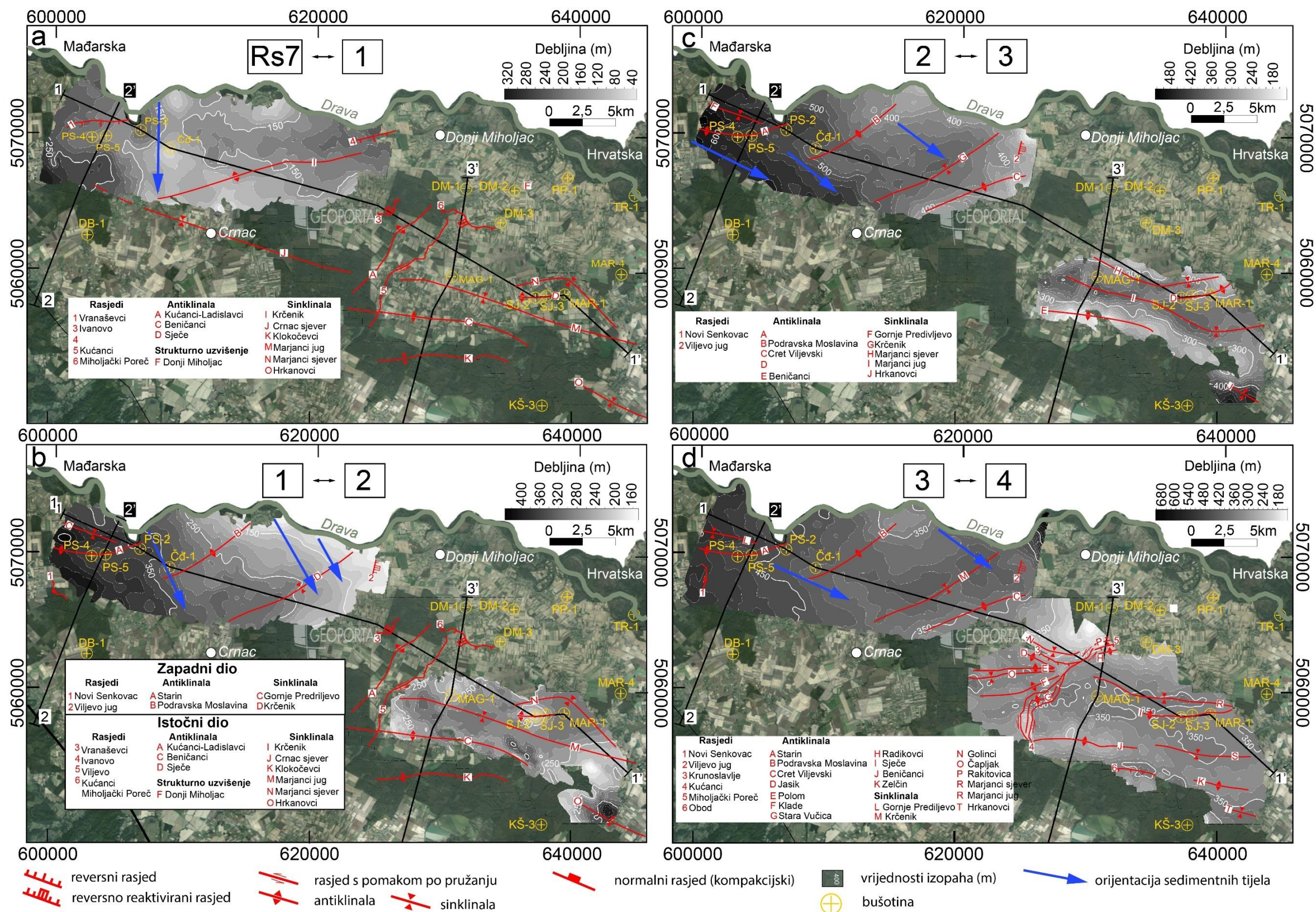
Karta debljina sekvencije JSS5 prikazana je na Slici 59a, na kojoj su pretežno najveće debljine u zapadnom dijelu i padaju prema istoku. Najveće debljine sekvencije su određene jugozapadno od PS-4 s vrijednostima od 500 m i one u smjeru navedene bušotine postupno padaju na 460 m. Debljina sekvencije se u prostor istočno i jugoistočno od bušotine Čđ-1 smanjuje, sa 420 m na 320 m. Vrijednosti debljina nastavljaju padati i u seizmičkom volumenu 2 u smjeru bušotine Mag-1, usporedno s kompozitnim profilom 1-1'. Na strukturi **Donji Miholjac (K)** utvrđena je najmanja debljina od 200 m. Prema južnom i jugoistočnom rubu karte pruža se jasna zona vrijednosti debljina od 200 do 260 m.

Debljina sekvencije JSS6 izračunata je kao razlika u dubinama strukturnih karata podine prijelaznih naslaga i klinoforme 8, koja predstavlja površinu plavljenja i granicu između sekvencija JSS5 i JSS6. Na karti debljine sekvencije JSS6, vidljivo je postupno povećanje debljina od zapada prema istočnom dijelu (Slika 59b). U području bušotina PS-4 i PS-5 određene su najmanje debljine sekvencije, s vrijednostima od 20 m. U smjeru bušotine Čđ-1 postupno se povećavaju na vrijednosti od 40 do 60 m i dalje rastu u smjeru jugozapada s najvećim debljinama do 160 m. Istočni dio područja istraživanja (seizmički volumen 2) obilježen je pretežno manjim vrijednostima u području strukture **Donji Miholjac (K)**, koje se kreću oko 100 m. Područje zapadno od zone rasjeda **Kučanci (2)** pretežno je manjih i ujednačenih debljina, s vrijednostima od 200 do 220 m. Na istom području prisutna je i lokalno najmanja debljina sekvencije, a pruža se kroz sinklinalu **Čapljak (O)**. Prostor istočno od zone rasjeda **Kučanci (2)** obilježen je porastom debljina sekvencija od 200 m do 460 m u području sinklinale **Marjanci jug (S)**.

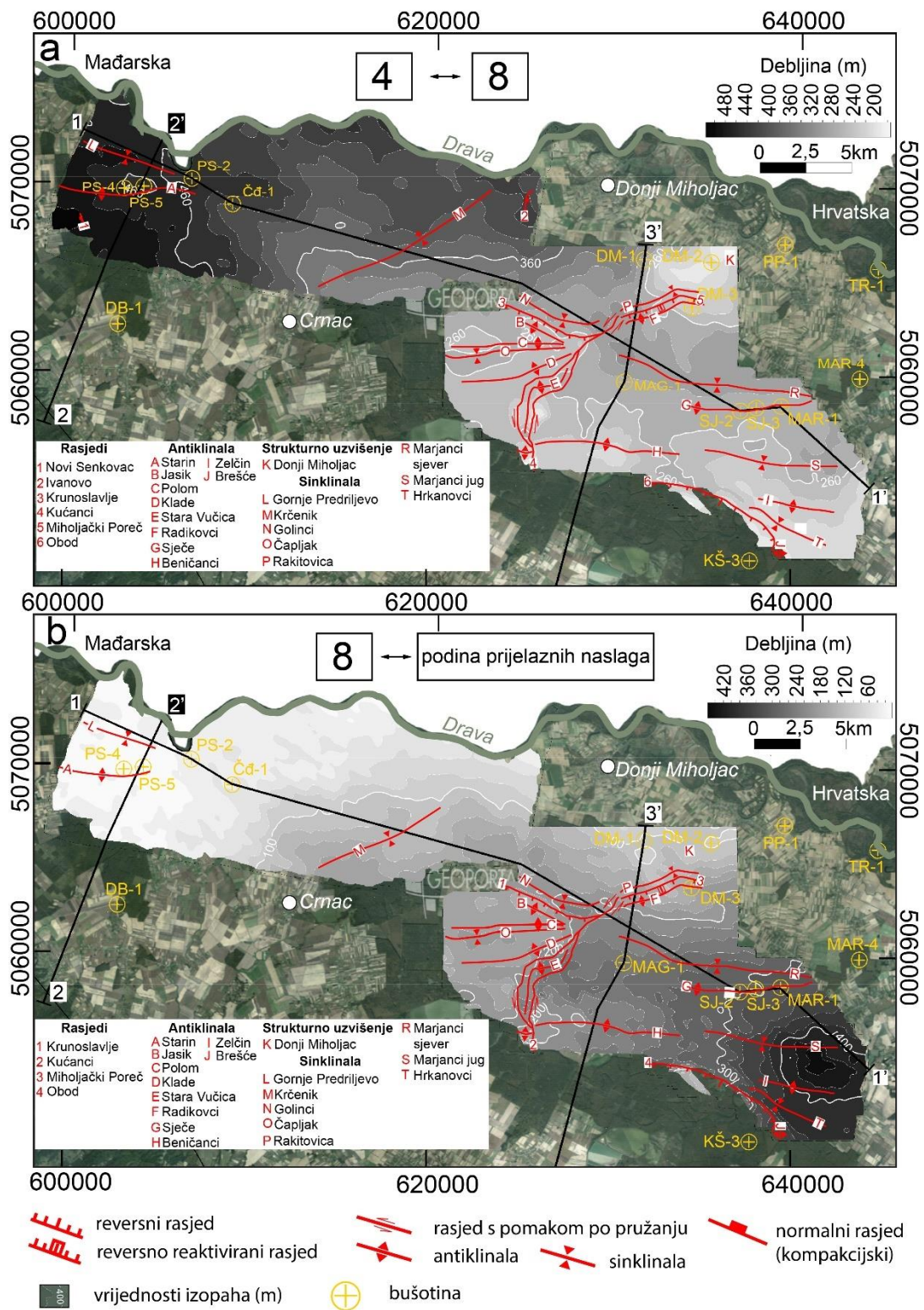
6.6.3 Karte debljina prijelaznih naslaga i KSS1

Karta debljina sekvencije prijelaznih naslaga prikazane je na Slici 60a. Jasno je vidljiva zona najvećih debljina južno i jugozapadno od Čđ-1, s izmjerenim vrijednostima od 160 do 180 m. Sekvencija je prema zapadu i sjeveru pretežnih debljina od 160 do 140 m, s lokalnim najmanjim vrijednostima od 120 m. Ističu se i vrijednosti južno od PS-4 s debljinama do 160 m unutar polja s prethodno opisanim vrijednostima od 120 m. Istočno područje načelno se dijeli na rubne sjeverne i južne dijelove s debljinama oko 120 m i lokalno središte depresije (središnji depocentar) od 120 do najviše 140 m.

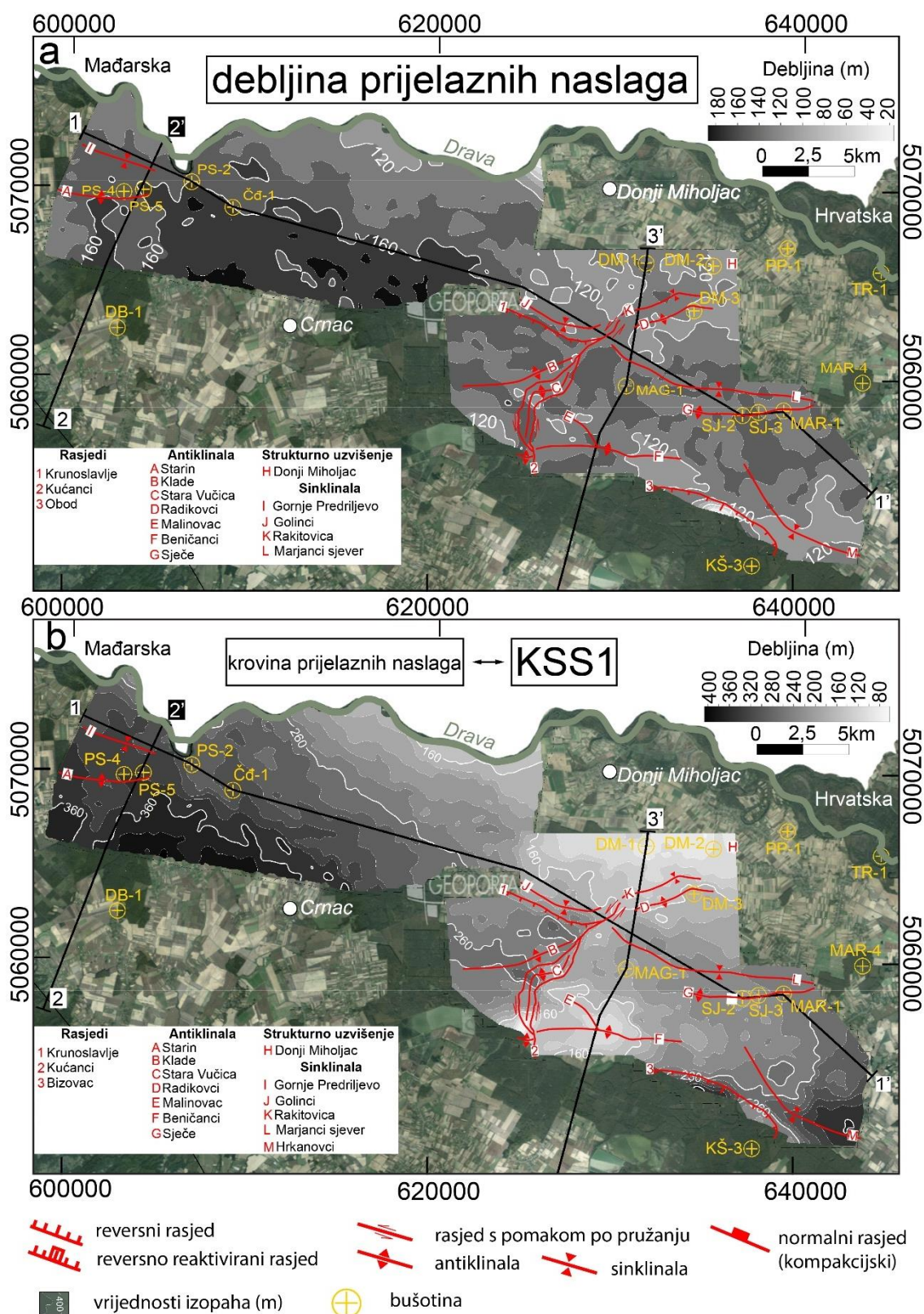
Sekvencija KSS1 pretežno ima prostorno pravilnu raspodjelu debljina (Slika 60b). Područje jugozapadno i južno od PS2 i Čđ-1 obilježeno je najvećim debljinama, od 360 do 380 m, a one se od navedene zone neprekidno smanjuju prema sjeveroistoku, sve do najmanjih vrijednosti od 160 m. Na prostoru strukture *Donji Miholjac (H)* debljine sekvencije se kreću od 80 do 160 m. Isto tako, na području antiklinale *Beničanci (F)* debljine se kreću od 140 do 160 m. Debljine također postupno rastu od bušotine Mag-1 prema jugoistoku, od 180 m do najviše 360 m.



Slika 58. Karte debljina a) JSS1; b) JSS2; c) JSS3; d) JSS4 s vidljivim strukturnim sklopom interpretiranim na strukturnim kartama na koje sekvencije naliježu (npr. podloga za JSS1 je horizont Rs7, a za JSS2 horizont 2 itd., vidi na Slikama 51 i 52). Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).



Slika 59. Karta debljine **a**) velikog seta klinoforni, odnosno JSS5 te **b**) malog seta klinoforni, tj. JSS6. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

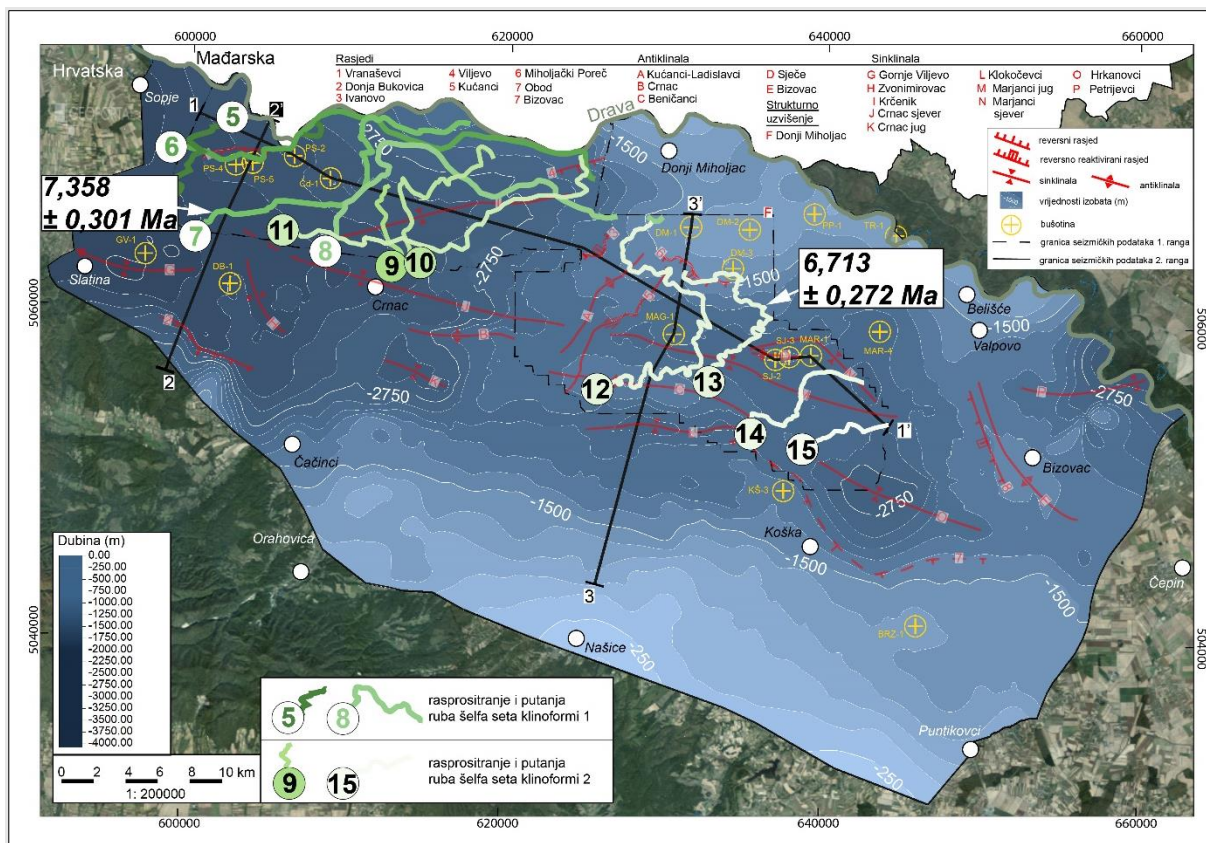


Slika 60. Karta debljine **a**) prijelaznih naslaga, odnosno JSS6 te **b**) KSS1. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

6.7 Karta migracije ruba šelfa velikog i malog seta klinoformi

Karta migracije ruba šelfa kroz istraživano područje konstruirana je na temelju seizmičke interpretacije jednoga seta velikih sigmoidalnih i jednoga seta malih kosih klinoformi (Slika 61). Na karti je u pozadini projicirana strukturna karta podloge naslaga mlađeg miocena i pliocena (H/Rs7) te kartirane strukture zbog usporedbe s općim strukturnim sklopom područja. Rubovi šelfa su kartirani jedino unutar podataka 1. ranga, odnosno dva seizmička volumena koje omogućuju detaljno prostorno kartiranje klinoformi. Rubovi šelfa klinoformi od **5** do **8** pripadaju JSS5 i setu velikih klinoformi, a od **9** do **11** malom setu klinoformi, a zajedno s rubovima šelfa do klinoforme **15** čine JSS6.

Svi prikazani rubovi šelfa odlikuju se kompleksnom geometrijom, odnosno nepravilnom i promjenjivom granicom u prostoru. Rub šelfa klinoforme **5** vidljiv je samo u zapadnom dijelu istraživanja. Rub šelfa sljedeće klinoforme (**6**) gotovo je okomite do dijagonalne orijentacije na prethodni, a po pružanju mu se orijentacija mijenja. Sljedeći rub šelfa klinoforme **7** geometrijom je donekle sličan prethodnom, ali u jednom dijelu dolazi do preklapanja. Rub šelfa klinoforme **8** ponovno je drugačijeg rasprostiranja u odnosu na prethodni. Rubovi šelfa malih klinoformi **9** i **10** donekle su usporedivi, a razlikuju se u tome što je rub šelfa **10** moguće pratiti i prema sjeveru. Nakon opisanih, rub šelfa **11** je u dijagonalnom položaju prema rubovima šelfa **9** i **10** te se oni u južnom rubnom dijelu 1. ranga i preklapaju. Rubovi šelfa od **12** do **15** slijede položaje središnjeg dijela depresije i pretežno su lučnog oblika. Ovako paleogeografski interpretiranim klinoformama, odnosno rubovima šelfa utvrđene su starosti naslaga (klinotema). U kombinaciji s mjerenjima apsolutne starosti (v. Pogl. 6.2.4), na taj način dobivena je apsolutna starost ruba šelfa **7** na $7,358 \pm 0,301$ mil. god., a ruba šelfa **13** na $6,713 \pm 0,272$ mil. god.



Slika 61. Karta kretanja ruba šelfa u prostoru istraživanja. Najstariji rub šelfa označen je brojem 5, a najmlađi brojem 15. Na karti su naznačene starosti ruba šelfa 7 i 13, koje su određene izotopnim analizama. Izvor digitalne ortofoto snimke (DGU, https://geoportal.dgu.hr/services/inspire/orthophoto_2017/wms).

7. RASPRAVA

Rasprava vezana uz rezultate različitih analiza podijeljena je u četiri glavna potpoglavlja.

U prvom potpoglavlju je temeljem integracije rezultata svih metoda opisana građa istraživanih naslaga i dijelovi njihovih taložnih sustava. Točnije, opisani su izdvojeni okoliši taloženja, mogućnosti interpretacije ovisno o rezoluciji i vrsti podataka, litostratigrafske jedinice, a na kraju su obrazloženi dosezi njihove korelacije.

Drugo potpoglavlje bavi se rezultatima i mogućnostima određivanja starosti naslaga. Prvenstveno su to podaci radiometrijskog određivanja starosti, njihova točnost, moguće greške i upotreba. Isto tako, opisani su i rezultati biostratigrafske zonacije. Navedeni podaci su dovedeni u vezu s podacima radiometrijskog određivanja starosti, pa je time bila moguća usporedba s regionalnim odredbama biozona. Na kraju su vremena završnog zapunjavanja i primjene putanje ruba šelfa dovedeni u kontekst dosadašnjih saznanja unutar cijelog PBS-a.

Treće potpoglavlje bavi se interpretacijom dinamike taloženja na temelju kartiranih klinoformi, oblika seizmičkih refleksa, RMS amplitudnih analiza te interpretiranih setova parasekvencija i sekvencija. Određeni stadiji razvoja Panonskog jezera i kopnenih okoliša postali su vidljivi nakon zajedničke interpretacije rezultata više vrsta analiza, provedenih na vrlo različitim setovima analiziranih podataka. Na taj su način rekonstruirani smjerovi i vremena zapunjavanja određenih dijelova lokalnih depresija (depo-centara) i strukturnih cjelina (strukturnih domena i strukturnih jedinica). Raspravljen je utjecaj vanjskih i unutarnjih čimbenika na dinamiku taloženja kao i posljedični dosezi korelacije novodefiniranih jedinica - parasekvencija i sekvencija.

Zadnje potpoglavlje bavi se mogućnostima primjene ovakvih metoda i analiza u industriji, odnosno u budućim znanstvenim istraživanjima.

7.1 Dijelovi taložnog sustava i strukturni sklop

7.1.1 Klinoformna građa

Na seizmičkim refleksima prepoznata su dva široko rasprostranjena seizmička facijesa (SF3, SF4; Tablica 1) koji geometrijom refleksa odgovaraju klinoformama (Slika 3). S obzirom na rezoluciju seizmičkih podataka, klinoforme kao rezultat ovog istraživanja (Slika 45, 46, 47),

prema klasifikaciji Patruno i Helland-Hansen (2018) pripadaju šelfnim klinoformama, odnosno klinoformama morfološkog šelfa (prema Porebski i Steel, 2003). Prema okolišu taloženja, navedene klinoforme morfološkog šelfa kroz svoje različite dijelove generalno predstavljaju niz različitih jezerskih i prijelaznih okoliša. Točnije, donji dio klinoforme se nalazi unutar dubokovodnih turbidita, prednji dio unutar padine morfološkog šelfa, a gornji dio sadrži prodeltu, čelo delte, deltnu ravnicu te proksimalne, odnosno plitkovodne jezerske okoliše (Slika 3, Magyar, 2021).

Klinoformna građa tipa morfološkog šelfa gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga Panonskog jezera prepoznata je u širem prostoru PBS-a (Balázs i dr., 2018; Magyar, 2019a). Na primjer: u Austriji unutar Bečkog bazena (Borzi i dr., 2022), Slovačkoj i SZ Mađarskoj u Dunavskom i Kisalföld bazenu (Sztanó i dr., 2016), Transdanubijskom području i Balatonu (Balázs i dr., 2013; Sztanó i dr., 2007), Makó depresiji u JI Mađarskoj (Sztanó i dr., 2013a), Derecske depresiji u istočnom dijelu PBS-a (Juhász i dr., 2007), Dravskoj depresiji u Mađarskoj i Hrvatskoj (Pogácsás i dr., 1993, Saftić, 2003; Uhrin i Sztanó, 2012; Sebe i dr., 2020); Savskoj depresiji u Hrvatskoj (Balázs i dr., 2018; Ivković i dr., 2000) te u Banatskoj depresiji u Srbiji (Radivojević i dr., 2022).

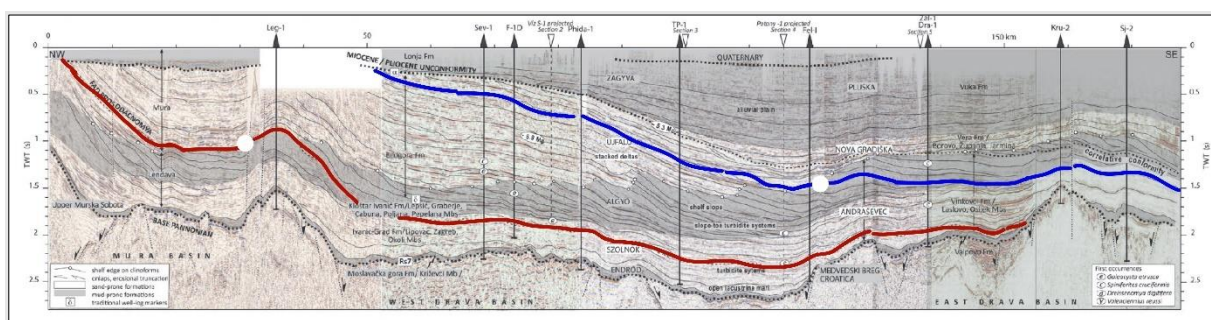
Bitno je napomenuti da su istraživanja unutar PBS-a, tijekom 80-ih, 90-ih i svrstavala sve klinoforme u deltni tip (npr. Bérczi i Phillips, 1985; Mattick i dr. 1985; Juhász i dr. 1997 Saftić i dr. 2003; Kovačić i dr. 2004; Vrbanac i dr. 2010). Međutim, novijim istraživanjima na temelju analiza refleksijske seizmike dokazano je da se visina padine u gotovo svim dijelovima PBS-a kreće se i do nekoliko stotina metara, što znači da klinoforme pripadaju padini šelfa (Balázs i dr., 2018). Napretkom istraživanja definirane su i klinoforme manjih mjerila, točnije deltne klinoforme i klinoforme obalne linije (Slika 3; Patruno i Helland-Hansen, 2018). Prema podacima iz preglednog članka Patruno i Helland-Hansen (2018), visine prednjeg dijela deltnih klinoformi kreću se od 20 do 100 m, a obalne linije od 2-60 m. Klinoforme delte odlikuju se izrazitom progradacijskom geometrijom ruba šelfa, dok su klinoforme obalne linije prepoznatljivog kosog oblika i asimetrične morfologije (Patruno i Helland-Hansen, 2018). Dakle, opisane klinoforme vidljive su na geofizičkim podacima veće rezolucije, primjerice na GPR profilima (engl. *ground penetrating radar*, npr. Lee i dr., 2005) ili na refleksijskoj seizmici visoke rezolucije (*HRS*, engl. *high resolution seismic*; npr. Correggiari i dr. 2005; Rasmussen i dr., 2008). U prostoru PBS-a se upotrebom *HRS* metode uspjelo snimiti, analizirati i

interpretirati progradacijske parasekvencije deltnih klinoformi (Sacchi i dr., 1999; Sztano i Magyar 2007; Sztanó i dr. 2013b; Balázs i dr. 2013; Loisl i dr. 2018).

Vidljivost klinoformnih refleksa na analiziranim seizmičkim podacima ovisi o granici vertikalne rezolucije odnosno, da bi se klinoforme raspoznale na seizmici, njihova veličina (reljef, visina padine, Slika 3, 19a) mora biti veća od vertikalne rezolucije podataka. S obzirom na mjerene seizmičke brzine i frekvenciju snimanja 3D seizmičkih podataka, okvirne izračunate granice vertikalnog otkrivanja na dubinama SF3 i SF4, u seizmičkom volumenu 1 (Slika 12, Prilog 1) kreću se od najviše 7,5 m (uz frekvencije 90 Hz) do najmanje 84 m (pri frekvenciji 8Hz). U seizmičkom volumenu 2 (Slika 12, Prilog 1), frekvencije snimanja kreću se od 8 do 20 Hz, što znači da su granice vertikalnog otkrivanja na dubinama SF3 i SF4 između 32 i 82 m. Klinoforme vidljive na kompozitnom profilu 1-1' (Slika 47) nalaze se na dubinama od -1258 do -951 m u seizmičkom volumenu 1 te -1120 do -825 m u seizmičkom volumenu 2. Klinoforme 9, 10 i 11 su dio malog seta klinoformi (SF5, Tablica 1), a visine padine iznose oko 60 m. Bitno je napomenuti da su to mjerene vrijednosti visine vrijednosti bez dekompakcije naslaga, odnosno prave visine padine su zasigurno puno veće (*prema* Balázs i dr., 2018). Nakon klinoforme 11, ostale klinoforme u smjeru istoka ponovno poprimaju sigmoidalni oblik (npr. klinoforme 12 i 13, Slika 47). Visina navedenih padina je također veća (Slika 46, 47). Dakle, postoji mogućnost da klinoforme 9, 10 i 11 (Slike 46, 47), pripadaju progradirajućoj delti. U prilog tome ide i podatak da je vertikalna seizmička rezolucija volumena 1 veća od volumena 2, pa je i granica vertikalnog otkrivanja manja u volumenu 2. Slijedom toga, vjerojatnost vidljivosti deltnih klinoformi veća je u seizmičkom volumenu 1 nego u volumenu 2. U tom bi se slučaju deltne klinoforme raspoznavale samo na lijevom dijelu profila 1-1' (Slika 47), a zbog seizmičke rezolucije ne bi bile vidljive na području seizmičkog volumena 2 (desni dio profila 1-1', Slika 47). Međutim, vidljivo je da se refleksi gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga na dodirnom dijelu dva volumena u potpunosti mogu korelirati i ne postoje značajnije razlike u SF. Isto tako, unutar SF5 refleksi su jednostavno kartirani i korelirani u oba seizmička volumena. Dakle, razlika u granicama vertikalnog otkrivanja nije toliko značajna da prikazuje klinoforme različitog tipa. S obzirom na navedeno i nedostupnost podataka o parametrima obrade snimljenih seizmičkih podataka, kao i na nedostatak bušotinskih podataka iz SF5, u ovom istraživanju nije bilo moguće odrediti pripadaju li klinoforme SF5 tipu klinoformi delte. Međutim, oba opisana seta klinoformi (SF3 i SF4, Tablica 1), najvjerojatnije pripadaju

klinoformama morfološkog šelfa i kao takve su sistematizirane i interpretirane u ovom istraživanju.

Analizirajući njihovu debljinu, najveći dio istraživanih jezerskih naslaga pripada donjem dijelu klinoformi, (*bottomset*), odnosno SF2 (Slika 33). Naime, prednji i gornji dio klinoforme koji odgovaraju SF2 vidljivi su zapadnije, u smjeru proksimalnijih okoliša (Slika 33, 46). S obzirom da su podaci seizmičkih volumena prostorno ograničeni (Slika 12, Prilog 1) na samo jedan dio istočnoga dijela istočne Dravske depresije, pomoć u interpretaciji nastanka naslaga SF2 predstavljaju podaci regionalnih seizmičkih profila. Takav profil vidljiv je na slici 7 u radu Sebe i dr. (2020), a prostor ovog istraživanja nalazi se 138 kilometara JJ od tog regionalnog profila (Slika 62). Na profilu je vidljivo da su naslage označene kao dio *sand-prone* formacije Andraševac (AND) dio dubokovodnog, bazenskog turbiditnog sustava. Uvažavajući osnovne principe seizmostratigrafije u kojima refleksi predstavljaju istovremene događaje u sedimentnoj ispuni (Vail i dr., 1977), moguće je korelirati istovremene proksimalne okoliše SF2. Prema tome, padina i rub morfološkog šelfa donje granice SF2 vidljivi su 120 km zapadno, točnije oko 10 km zapadno od bušotine Leg-1 (Slika 62) a gornje granice u prostoru istočno od bušotine Fel-1 (Slika 62). Dakle, analizirani dubokovodni turbiditni sustav dio je distalnih jezerskih okoliša taloženja, odnosno nalazi se u donjem dijelu klinoformi. Ovo znači da se širi kontekst razvoja naslaga može dobiti uvidom u već objavljene regionalne podatke, tj. kompozitne profile kroz cijelu depresiju (npr. Saftić i dr., 2003; Sebe i dr. 2020, Uhrin i Sztanó, 2012).



Slika 62. Kompozitni korelacijski profil kroz Mursku i Dravsku depresiju, u vremenskom mjerilu (Slika 7 u Sebe i dr., 2020). Područje ovog doktorskog istraživanja je na profilu obuhvaćeno od bušotine Dra-1 pa sve do istočnog kraja profila. Crveni i plavi refleksi približno označavaju granice SF 2. Klinoforme su praćene od područja istraživanja (donji dio) na zapad

kako bi se prikazala lokacija ruba šelfa (bijeli kružić) i njegove padine (prednji dio), odnosno širi kontekst vidljivog dijela naslaga.

7.1.2 Okoliši taloženja i litostratigrafske formacije

7.1.2.1 Bazne naslage plitkog do dubokog jezera - formacija MEB

Podinski dio naslaga predstavljen je s BF1 i BF2, a na seizmici je vidljiv kao SF1 (Tablica 1, Slike 47, 48, 49, 63). Na osnovi rezultata analiza utvrđen je sljedeći litološki sastav: kalcitom bogati lapori, lapori, pješčenjaci i konglomerati (Prilog 2-10, Dodatak 1). Područje istraživanja se i prema litološkim obilježjima baznih naslaga odvaja na zapadni i istočni dio, odnosno seizmički volumen 1 (u zapadnoj strukturalnoj domeni) i seizmički volumen 2 (dio istočne strukturalne domene, Slika 51). Točnije, u zapadnom su području prisutni lapori i kalcitom bogati lapori s proslojcima pješčenjaka, dok su u istočnom dijelu uz navedene ustanovljeni i konglomerati. Takva razdioba facijesa vidljiva je i na SF. U zapadnom području je razmjerno homogen i lako korelabilan SF1 koji zadebljava od SZ u smjeru JZ (Slike 47, 58a). U istočnom dijelu SF1 sličniji je SF2, no amplitude u baznom dijelu su veće, a refleksi neprekinuti, npr. područje oko Mag-1 i Sj-2 na Slici 48. Podaci utvrđenog palinofacijesa i ostrakodnih zajednica upućuju na povišeni salinitet vode u odnosu na kasnije vrijednosti saliniteta Panonskog jezera (Magyar, 1999a; bušotina TR-1, vidi u Dodatak 1) u većinom stabilnim, distalnim i anaerobnim okolišima taloženja, s vrlo slabim kopnenim utjecajem (bušotina Mag-1, Dodatak 1). To su na primjer područja sinklinala *Gornje Viljevo*, *Zvonimirovac* i *Marjanci jug* te područje bušotina Sj-2, Sj-3 i Mar-1 (Slika 50, 51a). U tim dubljim dijelovima depresije utvrđen je kontinuitet u taloženju od srednjeg miocena u mlađi miocen, odnosno prema seizmičkim i bušotinskim podacima donjopanonske naslage kontinuirano naliježu na srednjomiocenske (Slika 47, Avanić i dr. 1995). Dakle, duboki i relativno stabilni jezerski okoliši taloženja zauzimali su središnje dijelove zapadnog i istočnog dijela područja istraživanja (Slika 12, 47, 49, 50, 51a). Isto tako, najveće debljine baznog dijela jezerskih naslaga utvrđene su u navedenim dubokim dijelovima depresije (Slika 47, 58a, b), što upućuje na neprekinuto taloženje iz srednjeg u mlađi miocen. Zapadni i istočni dio područja istraživanja vjerojatno su bili odvojeni antiklinalom *Kučanci-Ladislavci* (Slika 50). Takva razvedena morfologija dna bazena vjerojatno je utjecala i na razliku u raspodjeli srednje i krupnozrnatih sedimenata u zapadnom i istočnom dijelu područja istraživanja. S obzirom na

utvrđene eutrofične okoliše jezera (bušotina Brz-1, Dodatak 1), visoka produkcija organske materije bez raspada u anoksičnim okolišima utjecala je i na stvaranje matičnih stijena u opisivanim naslagama istočnog dijela Dravske depresije (Vulama, 1994; Hernitz i dr., 1995, ; Velić i dr. 2012).

Međutim, osim spomenutog facijesa lapora i kalcitom bogatih lapora (BF1, Tablica 2), u opisanim dubokim dijelovima depresije utvrđene su i pojave konglomerata i pješčenjaka (BF2, Tablica 2). Utvrđeni sitnozrnati petromiktne konglomerati nesortirani su i slabozaobljenih valutica (BF2, Dodatak 1), što je vjerojatno posljedica kratkog prijenosa sedimenata (Tišljar, 2004). Konglomerati su vjerojatno nastali trošenjem srednje- i donjomiocenskih stijena te stijena podloge bazena prisutnih na izdignutim strukturama rubnih dijelova depresije (Slika 50, Marković, 1985; Korolija i Jamičić, 1989; Pamić, 1995; Cvetković i dr., 2019). Ti dijelovi su u to vrijeme predstavljali otoke ili granice pojedinačnih manjih jezera (Magyar, 1999a). S obzirom na strukturni smještaj naslaga, sedimentacija konglomerata utvrđenih u bušotini Mag-1 (Dodatak 1) vjerojatno je vezana uz izduženi lokalni taložni prostor sinklinale *Marjanci jug* (Slika 51). Naime, navedeni prostor nalazi se neposredno uz možebitna izvorišna područja antiklinale *Beničanci* i strukture *Donji Miholjac* (Slika 50), prema kojima bazni gornjomiocenski refleksi pokazuju transgresivni (*onlap*) kontakt (Slika 49). Vjerojatno su to područja na kojima su bile smještene strme obale jezera, gdje su gravitacijski tokovi (prema Yang i dr., 2020) prenosili srednjozrnate i krupnozrnate sedimente izravno u lokalne taložne prostore (Slika 64). Na navedenim naslagama dodatno bi se mogle napraviti mineraloške i geokemijske analize s ciljem bolje odredbe potencijalne provenijencije, kao što su to napravili Grizelj i dr. (2006). Istovremeno je u plićim priobalnim dijelovima jezera donos sedimenata u depresiju vjerojatno bio vezan uz Gilbert tip delti (Nemec, 1990). U plićim i dubokim stabilnim okolišima bez značajnih donosa siliciklastičnoga detritusa, taloženi su kalcitom bogati lapori i vapnenci. Na površinskim i dubinskim podacima navedeni facijesi su prema fosilnom pužu *Radix Croatica* opisani kao akrozona Croatica (Vrsaljko 1999; Lučić i dr., 2001; Sebe i dr., 2020). Navedenu paleogeografsku interpretaciju potvrđuju i rezultati analiza seizmičkih atributa na Slici 53a i b. Na ovim kartama su vidljive izolirane dubokovodne lepeze okomite na dužu os depresije u zapadnom (Slika 53a) i istočnom područja istraživanja (Slika 53b). Taj podatak upućuje na donos i taloženje srednjozrnatih i krupnozrnatih sedimenata u središnje dijelove depresije, kao dijelova lokalnih turbiditnih sustava (Mutti i Normark, 1991). Dakle, vjerojatni mehanizam nastanka gravitacijskih tokova vezan je uz kolaps nevezanih sedimenata

uz rub bazena, izazvan klimatskim ili tektonskim čimbenicima (Zavala i Arcuri, 2016). Kompresijsku fazu u vrijeme starijeg panona zabilježila je Sebe (2021) na južnim padinama planine Meček, što je moglo uzrokovati nestabilnosti padine i nastanak gravitacijskih tokova i u području istraživanja. Uz to, moguće je da je izmjena vlažne i suhe klime u vrijeme starijeg panona (Böhme i dr., 2011; Utescher i dr. 2017; Joniak i dr. 2019; Baranyi i dr. 2020; Šujan i dr. 2019) uzorkovala pojačano trošenje tijekom perioda povećane precipitacije (Budai i dr. 2019). Točnije, uslijed donosa velike količine sedimenta na padinu bujičnim tokovima, nakupljeni sedimenti na padini postali su nestabilni i pretaloženi su u duboke dijelove depresije (Slika 63, Johnson 1970; Blair, 1999; Zavala i Arcuri, 2016).

Tijekom starijeg panona dolazi do regionalnog podizanja razine vode u Panonskom jezeru (Slika 47, 49, Magyar i dr., 1999; Magyar i Geary 2000; Harzhauser i dr., 2003; Popov i dr., 2006; Pavelić i Kovačić, 2018). U bušotinama u središnjim dijelovima depresije utvrđeni su setovi retrogradacijskih parasekvencija (Slika 47, Prilog 10), dominantno taloženje lapora i smanjenje broja debelih slojeva pješčenjaka u slijedu naslaga (Prilozi 2-10). Prema tome, dio izdignutih struktura i otoka u jezeru postupno je potopljen čime je značajno smanjeno područje trošenja, odnosno izvora materijala. Posljedica toga bilo je dominantno taloženje lapora.

Opisani slijed facijesa i okoliša taloženja utvrđen je i na površini u Hrvatskom zagorju (Kovačić, 2004), na Žumberku i na Medvednici (Vrsaljko, 2003; Kovačić, 2004), dubinskim podacima u istočnom dijelu Dravske depresije (Saftić i dr., 2003; Malvić i Cvetković, 2013; Sebe i dr., 2020) te u drugim dijelovima PBS-a (npr. Juhász 1994; Sztanó i dr, 2010; Bartha i dr., 2022, Radivojević, 2014). Isto tako seizmički i bušotinski facijes, kao i slijed naslaga (Prilog 2-10, Slika 47), usporediv je s formacijom Medvedski breg (Sebe i dr., 2020). U odnosu na površinski utvrđeni tipski lokalitet i snimljene litostratigrafske stupove (Vrsaljko i dr., 1995; Kovačić, 2004), utvrđena je razlika u debljini jedinice. Rezultati ovog istraživanja prikazuju da se debljine jedinice kreću do maksimalno 320 m u zapadnom području istraživanja, dok su najveće debljine na površini, u području Požeške gore, do 180 m (Halamić i Belak, 2022) ili 160 m u području Hrvatskog zagorja (Kovačić, 2004). Navedena razlika vjerojatno je posljedica paleogeografskog smještaja proučavanih naslaga. Točnije, veće debljine prisutne su u središnjim dijelovima depresije, a manje prema rubnim dijelovima (Slika 51, Saftić i dr., 2003; Sebe i dr. 2020). Stoga su mjerene debljine naslaga u središnjem dijelu depresije veće u odnosu na utvrđene geološke stupove na rubovima nekadašnjih otočnih planina.

7.1.2.2 Dubokovodni i padinski turbiditi-formacija Andraševac

Slijed naslaga dubokovodnih turbidita obuhvaća debljinski najveći dio jezerskih naslaga (Slika 46, 47, 48, 49, 50). Naslage se dominantno sastoje od izmjene pješčenjaka, lapora, glinom bogatih lapora i siltita (Tablica 1, 2; Prilog 2-10, Dodatak 1). Prijelaz iz pretežno laporovitih naslaga formacije Medvedski breg u ponavljajuću izmjenu nekoliko opisanih litoloških sastava je kontinuiran u središnjim dijelovima depresije (Slika 46, 47), dok je u rubnim utvrđen transgresivni kontakt prema uzdignutoj strukturi *Donji Miholjac* (Slika 50). Dakle, naslage dubokovodnih turbidita talože se kontinuirano u dubokim dijelovima depresije, ali i na uzdignute strukture. Na vrhovima uzdignute strukture *Donji Miholjac* (Slika 50) utvrđeni su loše sortirani, sitnozrnati konglomerati i brečokonglomerati na koje naliježu lapori (bušotina DM-3, Dodatak 1) debljina preko 30 m (Prilog 6). Navedeni konglomerati interpretirani su kao dio kopnenih fluvijalnih ili aluvijalnih naslaga, nastalih trošenjem srednjomiocenskih i donjomiocenskih naslaga ili stijena podloge bazena (Slika 63). Druga mogućnost je da dio ili cjelokupni slijed konglomerata pripada srednjomiocenskim jedinicama tipa formacije Daranovac, Vrapče ili Vejalnica (Kovačić i Pavelić, 2017; Halamić, 2022), odnosno članu Beničanci ili Karašica unutar Vukovarske formacije (Šimon, 1973; Malvić i Cvetković, 2013). Na navedene naslage naliježu lapori, debeli i relativno homogen slijed kalcitom bogatih lapora koji oštro prelaze u glinom bogate lapore i lapore (Prilog 6). Dakle, vjerojatno je da su tijekom kopnene faze u starijem panonu taložene aluvijalne naslage. Dio tih naslaga gravitacijskim je tokovima prenošen u pliće i dublje dijelove jezera, mehanizmima opisanim u prethodnom potpoglavlju (7.1.2.2). Uslijed preplavlivanja dijelovi kopna došli su prvo u zonu priobalnih jezerskih procesa uslijed čega dolazi do pretaložavanja sedimenata. Takav slijed naslaga i mehanizam taloženja u PBS-u opisan je u okolini planine Meček od strane Kovács i dr. (2021) te Budai i dr. (2019). Nakon toga područje je potpuno preplavljeno Panonskim jezerom i vjerojatno se nalazilo na većim dubinama, na što upućuje debeli slijed opisanih sitnozrnatih naslaga (Prilog 6). Istovremeno su duboki dijelovi depresije predstavljali prostor u kojem se taloženje odvijalo gravitacijskim tokovima tipa turbidita (BF4, 5; prema Lowe, 1982; Mutti i Normark, 1991; Zavala, 2020). Na kartama donjeg seta klinoforni provedena je RMS analiza atributa i uočene su tipične dubokovodne značajke taloženja u distalnim, bazenskim uvjetima (Slika 53 c, d). Vidljivi su opskrbni kanali, nasipi kanala, probojni sedimenti, lepeze i pojedinačni režnjevi. Turbiditni sustav je na osnovi sedimentnih tekstura i struktura u jezgrama, debljina te geometrije pojedinačnih dijelova sustava određen

kao prostorno ograničeni tip turbidita (engl. *confined turbidites*, Mutti, 1985; Sinclair i Tomasso, 2002; Lomas i Joseph, 2004; Soutter i dr., 2021). Jedna od podvodnih prepreka (engl. *sill*) zacijelo je u početnom dijelu sedimentacije (do horizonta 3, Slika 47) bila izdignuta struktura antiklinale *Kučanci-Ladislavci* (Slika 50), odnosno zone rasjeda *Kučanci* (Slika 51). Taj prag vjerojatno je utjecao na razdiobu turbiditnim strujama nošenog sedimenta, tj. na većinski zastupljene sitnozrnate litofacijese u istočnom dijelu (Slika 53, 54). Na razvoj turbiditnog sustava značajno je utjecala nasljeđena razvedena topografija dna bazena, subsidencija depresije i diferencijalna kompakcija naslaga (Slika 53, Slika 47; Vrbanac i dr., 2010; Balázs i dr., 2018; Tókéš i dr., 2021). Na osnovi utvrđenog palinofacijesa i velike količine karbonizirane organske materije (Dodatak 1), mehanizam taloženja turbidita vjerojatno se odvijao hiperpiknalnim tokovima (Zavala i dr., 2012), posredstvom opskrbnih kanala (BF4, Slika 53, 54). Takvi hiperpiknalni tokovi mogli su nastati snažnim riječnim utjecajem koji je prenosio hladniju vodu bogatu sedimentom i raznim biljnim detritusom. Točnije, tijekom vlažnih perioda i pojačane precipitacije (Böhme i dr., 2011), dolazilo je do povećanog donosa hladnije vode, koja je gravitacijskim turbiditnim strujama prenosila velike količine detritusa u duboke, odnosno distalne dijelove Panonskog jezera (Kovačić i dr., 2004; Sztanó i dr., 2013a; Gilli i dr., 2013; Gong i dr., 2018). Tijekom navedenih perioda vjerojatno su zajedno sa sedimentima iz izvorišnih područja Alpi (Kovačić i Grizelj, 2006), prenošeni neočvrnuti sedimenti poplavne ravnice, obalni sedimenti, fitoklasti, ligniti iz močvarnih područja i ostali detritus (Håkson i Jansson, 1983; Sztanó i dr., 2013a). Takav razvoj okoliša upućuje na to da su delte bile smještene vrlo blizu padine šelfa i sedimenti su neposredno prenošeni na padinu (režnjevi, Slika 54) i dubokovodne okoliše.

Vršni dio turbiditnog slijeda pripada turbiditima padine morfološkog šelfa (SF3 i SF4, Tablica 1; Slike 45, 47). Slijed naslaga pretežno izgrađen od lapora, glinom bogatih lapora, glina, siltova i silita sa smanjenim udjelom slojeva i debljina slojeva pješčenjaka vidljiv je na shematskim geološkim stupovima (Prilog 2-10). Integracijom podatka očigledno je da se naslage nalaze u području prednjeg seta klinoforni pa time odgovaraju području padine te se smještajem i tipom turbidita razlikuju od dubokovodnih turbidita. Na padini su uočeni dijelovi dubokovodnog, padinskog sedimentnog sustava: opskrbni kanali, slampiranje, režnjevi, kanjoni i slično (Slika 53, 54, 63). Takvi okoliši taloženja prethodno su opisani u radovima iz drugih depresija u PBS-u (Juhász i dr. 1997; Sztanó i dr., 2013; Magyar, 2021; Radivojević i dr., 2022).

Dubokovodni i padinski turbiditi dio su formacije Andraševac (Sebe i dr., 2020), a vrlo dobro se koreliraju na temelju integracije bušotinskih i seizmičkih podataka (Slika 47).

7.1.2.3 Delta - formacija Nova Gradiška

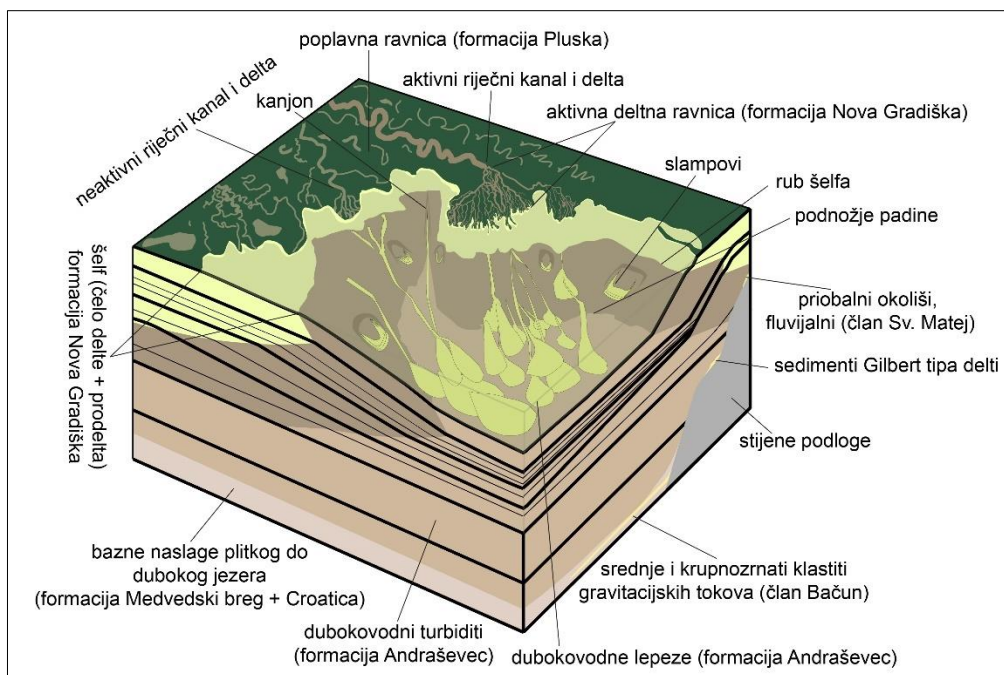
Završni slijed pripada prodeltnim i deltnim okolišima taloženja (Dodatak 1, Slika 63). Naslage su u jezgrama izdvojene kao BF6 (Tablica 2), na seizmici raspoznatljive u vidu SF5 (Tablica 1) u gornjem setu klinoforni (Slika 47). Unutar naslaga su interpretirani progradacijski setovi parasekvencija (Slika 47, 48, 49), tj. ciklusi pokrupnjavanja naviše (Sebe i dr., 2020), tipični za slijed delti (Bérczi i Phillips, 1985; Kovačić i dr., 2004). Deltne naslage u području istraživanja kontinuirano naliježu na prethodno opisane okoliše taloženja padine šelfa (Slika 47, Kovačić, 2004; Sebe i dr., 2020). Promjenjive debljine deltnih naslaga vjerojatno su posljedica frekventnih oscilacija razine vode u jezeru (Prilog 10; Kovács i dr., 2021). Uz česte oscilacije vodene razine, taloženje određenog litološkog sastava uvelike je ovisilo o bočnom premještanju i preklapanju delti (engl. *lateral switching*, Slika 63) zbog autocikličkih promjena, napuštanja opskrbnih kanala (engl. *avulsion*) ili istovremenog utjecaja delti dva različita riječna sustava (Špelić i dr., 2023). S obzirom na navedeno, korelacija naslaga je jako otežana, ukoliko se provodi samo na bušotinskim podacima i na udaljenosti od nekoliko kilometara (Prilog 10; Slika 63, Magyar i dr., 2019). Prodeltni i deltni naslage dio su formacije Nova Gradiška.

7.1.2.4 Kopneni okoliši - formacija Pluska

Kopnene naslage čine krovinu istraživanim jezerskim i prijelaznim naslagama (Slika 64). Predstavljene su BF7, a na seizmičkim podacima vidljive kao SF6 (Tablica 1, 2). Na osnovi utvrđenih ciklusa positnjavanja naviše (Prilog 11), asocijacije litofacijesa (BF7, Dodatak 1, Prilog 10, Slika 45) te palinofacijesa (Dodatak 1), naslage u krovini jezerskih naslaga najvjerojatnije u potpunosti odgovaraju kopnenim okolišima sedimentacije. Takav razvoj okoliša u području istraživanja utvrđen je i u radu Sebe i dr. (2020), gdje su na Slici 11 prikazani rezultati analize seizmičkih atributa s nizom meandrirajućih kanala unutar 1. ranga podataka (Slika 12). Seizmička geomorfologija kopnenog dijela naslaga (Slika 45) primijenjena je na temelju RMS analize i prikazuje meandre, meandarske prudove, probojne sedimente i poplavnu ravnice kao tipične fluvijalne okoliše meandrirajućih rijeka (Slika 56). Međutim, treba uzeti u obzir da su na bliskim sjeveroistočnim padinama Krndije površinski utvrđene jezerske naslage pliocenske starosti, koje naliježu na plitkovodne i deltni naslage formacije NGR (Korolija i Jamičić, 1988). Prema tome, značilo bi da su lokalni paleogeografski odnosi daleko složeniji.

Točnije, prema Korolija i Jamičić (1988) u pijescima pliocenske starosti uočena je tipična jezerska fauna *Viviparus* slojeva, zabilježenih u Savskoj depresiji (Mandic i dr., 2015; Kurečić i dr., 2021). Prema Magyar (1999) i Magyar (2021) puževi roda *Viviparus* živjeli su u proksimalnim, plitkovodnim okolišima Panonskog jezera pa bi i navedene naslage zapravo odgovarale prijelaznim okolišima NGR, unutar središnjih dijelova depresije. Druga mogućnost je da su naslage dio novog Slavonskog jezerskog sustava (Mandic i dr. 2021), koje je na prostoru Savske i Slavonsko srijemske depresije postojalo tijekom pliocena (Cvetković, 2013; Kurečić, 2017), a sjeverozapadni rub jezera se nalazio u prostoru istraživanja (Mandic i dr. 2021). Treća opcija je da su na području istraživanja uz tipične okoliše meandrirajućih rijeka, u poplavnoj ravnici postojala manja jezera tipa mrtvaja (Miall, 2006), a u njima su obitavali puževi roda *Viviparus* i ostala povezana fauna. Mehanizam prijenosa faune između manjih jezera mogao se odvijati putem ptica močvarica (Neubauer i dr. 2016), što je eksperimentalno dokazano u nizu istraživanja (Kappes i Haase, 2012; van Leeuwen i van der Velde, 2012; van Leeuwen i dr., 2013; Barboza i dr., 2022). Prema tome, u budućim istraživanjima trebalo bi dodatno istražiti površinske i dubinske naslage te usporediti njihov razvoj i starosti što bi vjerojatno pomoglo u potrazi za odgovorom na ova zanimljiva pitanja.

Korelacija istovjetnih naslaga putem bušotinskih podataka vrlo je teška i gotovo nemoguća čak i na udaljenostima od 2 do 3 km (Prilog 11). Kao što prikazuje tipični SF6, korelacija integracijom bušotinskih podataka i seizmike vrlo je zahtjevna i moguća jedino unutar sitnozrnatih naslaga, koje vjerojatno pripadaju poplavnoj ravnici. Prema svim obilježjima, opisane kopnene naslage dio su formacije Pluska.



Slika 63. Konceptualni sedimentni model Panonskog jezera i vezanih okoliša taloženja. Na slici je vidljiva rasprostranjenost istovremenih okoliša taloženja i njihova pripadnost različitim litostratigrafskim jedinicama.

7.1.3 Strukturni sklop

Odnosi baznih naslaga formacija MEB i AND prema podlozi naslaga gornjeg miocena i pliocena ukazuju na topografski jako razvedenu morfologiju depresije, odnosno dna Panonskog jezera. Navedena kartirana površina je zasigurno kroz vrijeme mlađeg miocena, pliocena i kvartara bila dodatno deformirana tektonskim pokretima (Tomljenović i Csontos, 2001; Balázs i dr., 2018). Gornjomiocenske i pliocenske naslage zadržale su izraženu nasljednu morfologiju struktura (Slika 51, 52, 58, 59, 60). Unutar sedimentnog slijeda uočeni su kompakcijski rasjedi (npr. Novi Senkovac, Slika 51, 58d). Takve strukture u gornjomiocenskim jezerskim naslagama uočene su i u drugim dijelovima PBS-a (Balázs i dr., 2018; Nyiri i dr., 2021). Na izvornu paleomorfologiju depresije zasigurno su utjecale kompresijske deformacije blokova pod utjecajem inverzije bazena u sarmatu (Tomljenović i Csontos, 2001) te početkom panona (Sebe, 2021). Prilikom navedenih tektonskih faza, pokreti su se događali na reaktiviranim izvorno ekstenzijskim rasjedima, čija je kratkotrajna aktivnost vidljiva i na seizmičkim podacima (Slika 49).

Najznačajniji kartirani rasjed je zona lijevog rasjeda *Kučanci* (Slika 51, 52). S aktivnošću rasjeda povezana je šira zona struktura u zapadnom i istočnom krilu. Primjerice, reversni rasjed *Krunoslavje* i reversno reaktivirani rasjed *Miholjački Poreč*, vezani su uz pomake lijevog i desnog krila rasjeda *Kučanci* (Slika 51, 52). Naime, kretanje istočnog krila u smjeru strukture *Donji Miholjac* kompenzirano je reversnim kretanjem i boranjem naslaga u zoni rasjeda *Miholjački Poreč* (Slika 49). U zoni rasjeda prisutne su tipične strukture za rasjede s pomakom po pružanju (Slika 51, 52), opisane u analognom modelu McClay i Bonora (2001). Regionalno gledano, rasjed bi mogao pripadati zoni površinski pretpostavljenih rasjeda pružanja JZ-SI, vidljivih na OKG listovima Podravska Slatina (Marković, 1985) i Donji Miholjac (Hećimović, 1984). Navedeni rasjed zacijelo je bio aktivan tijekom taloženja kopnenih naslaga formacije Pluska i doveo je istočne naslage na strukturno višu poziciju u odnosu na zapadne. Na temelju strukturnih karata, vidljivo je smanjenje strukturne kompleksnosti naslaga u zapadnom dijelu prema plićim dijelovima (Slika 51, 52), dok je u istočnom dijelu zona rasjeda *Kučanci* i dalje bila aktivna i mijenjala druge strukture. Isto tako, veliki pomaci zabilježeni su na rasjedu *Obod* (Slika 52).

Međutim, na interpretiranim seizmičkim profilima nigdje nije uočena značajnija diskordancija u jezerskim, prijelaznim ili kopnenim naslagama (Slika 47). Razlog tome je što se sedimentacija u središnjem dijelu depresije odvijala bez prekida (Sebe i dr. 2020). Međutim, u prostoru ovog istraživanja moguće je diskordanciju, kojoj je prema Sebe i dr. (2020) određen karakter granice miocen-pliocen, pratiti u vidu korelativne konkordancije. Navedeni je refleks interpretiran tako da predstavlja klinofornu 8 (Slika 47), a geokronološkim analizama u ovom istraživanju utvrđena mu je starost od $7,362 \pm 0,301$ mil. god. (Sebe i dr. 2020) Dakle, navedena konkordancija zasigurno ne predstavlja granicu miocena i pliocena (Slika 47, 48), već se navedena granica nalazi u plićem, vjerojatno u početnom dijelu kopnenih naslaga. Navedeni odnosi i dinamika trebali bi se dodatno istražiti u budućim istraživanjima, odnosno pronaći metode za detaljniju interpretaciju seizmike i kako povećati broj odredbi apsolutne starosti baš u toj zoni.

7.2 Geokronologija i biostratigrafija

Starosti gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga hrvatskog dijela PBS-a do sada su određivane metodom relativne starosti fosilnih mekušaca i dinoflagelata (npr. Ožegović, 1944; Šikić i dr., 1979; Vrsaljko 1999; Bakrač i dr., 2012). Navedene metode ukratko su opisane u

preglednim radovima Lučić i dr. (2001) te Pavelić i Kovačić (2018). Uz to, u drugim dijelovima PBS-a, starosti su relativnom metodom određivane i drugim biostratigrafskim metodama, primjerice određivanjem biozona sisavaca (Harzhauser i dr., 2004). Međutim, dokazano je da su fosilni mekušci Panonskog jezera migrirali zajedno s okolišima taloženja (Neubauer i dr., 2015; Magyar, 2021), a rijetki fosili sisavaca su dodatno opterećeni mogućom dijakronošću pojavljivanja u raznim dijelovima Europe (van der Meulen i dr., 2011; Madern i Van den Hoek Ostende, 2015). Prema tome, jedina pouzdana metoda određivanja starosti naslaga je geokronologija. U prostoru PBS-a provedene su magnetostratigrafske analize na svega nekoliko bušotina s kontinuiranim jezgrama (Kováč i dr., 2006; Magyar i dr., 2007), a metoda je bila neuspješna na uzorcima s površinskih izdanaka (Vasiliev i dr., 2007; Ganić i dr., 2010). Takve analize su prema Kelder i dr. (2018) bile neuspješne zbog toga što je glavni analizirani mineral nosilac magnetizma bio metastabilni gregit. Druga metoda odredbe starosti je na temelju tufova, koji do sada u području istraživanja nisu otkriveni. Navedena metoda provedena je svega na nekoliko sljedova proučavanih naslaga u PBS-u (Balázs i Nusszer, 1987; Kovács, 1992; Vasiliev i dr. 2010). Na uzorcima vulkanita u Dravskoj depresiji je provedeno datiranje K-Ar metoda, a dijelu uzoraka je određena i mlađemiocenska starost (Pamić i dr., 1995). Najnovija metoda odredbe apsolutne starosti s velikim potencijalom je odredba starosti naslaga tzv. metodom kozmogenih nuklida $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$. Metoda je prvi puta uspješno korištena u Šujan i dr. (2016), a upotrebljena je i u ovom istraživanju.

Temeljem izračuna apsolutne starosti metodom $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$, po prvi puta su dobivene apsolutne starosti gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga hrvatskog dijela PBS-a. Mjerene starosti ponajprije ovise o korištenom inicijalnom omjeru (Tablica 4), a srednje vrijednosti starosti uzoraka dalo je korištenje inicijalnog omjera recentnih sedimenata rijeke Drave (Slika 43). Pregled faktora koji utječu na procjenu inicijalnog omjera opisan je u poglavlju 5.2. Metode istraživanja (5.2.5 Radiometrijsko određivanje starosti sedimenata i povezane analize). Jedan od značajnijih faktora je podrijetlo sedimenata, koje bi trebalo biti što sličnije naslagama kojima se određuje starost (Šujan i dr., 2016, Šujan i dr., 2022). Prema tome, za inicijalni omjer je uzet *Drava inicijalni omjer* jer analizirane naslage vjerojatnije odgovaraju današnjem drenažnom bazenu, nego što odražavaju uvjete inicijalnih omjera naslaga iz Slovačke ili Mađarske. Isto obrazloženje daju Magyar i dr. (2019), tijekom određivanja starosti metodom kozmogenih nuklida u središnjem dijelu PBS-a. Uz to, pogreške druga dva inicijalna omjera u odnosu na *Drava inicijalni omjer* gotovo su jednake (Slika 43). Ukoliko se uzmu *Jezerški* ili *Poplavna*

ravnica inicijalni omjer (prema Šujan i dr., 2016), naslage koje odgovaraju donjem dijelu formacije MEB ili AND, npr. bušotine PS-2 i Čđ-1 (Tablica 4, Dodatak 1) su u tom slučaju prestare. Isto vrijedi i za naslage gornjeg dijela klinoforni, točnije, starost od 8,133 mil. god. značila bi još veće odudaranje od prethodno izračunatih regionalnih rubova morfološkog šelfa (Slika 64b).

Nadalje, raspon pogrešaka u mjerenju najmanji je u najmlađim, a najveći u najstarijim naslagama (Tablica 4, Slika 43). Ova metoda omogućuje određivanje starosti uzoraka od 0,2 do 14 milijuna godina, ukoliko se u obzir uzme da su mjerene količine radionuklida relativno jednake (Ku i dr., 1982; Bourlès i dr., 1989; Lebatard i dr., 2008, 2010). Mogući uzrok većeg odstupanja u dubljim dijelovima, odnosno starijim sedimentima Magyar i dr. (2019) povezuju sa sporijom sedimentacijom. Naime, metoda izračuna starosti razvijena je za područja s normalnom stopom sedimentacije, dok mjerenja u područjima niske stope (brzine) sedimentacije (tzv. kondenziranih naslaga), uzrokuju povećanje omjera $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ i posljedično anomalne vrijednosti starosti. Drugi uzroci odstupanja u mjerenju mogu biti tip minerala glina i nedostatak točnih odredbi porijekla analiziranih sedimenata. Međutim, kao što je prethodno navedeno, provenijencija recentnih sedimenata Drave i dalje je pretežno Alpska (Mateša, 2022), što je slično istraživanim miocenskim i pliocenskim naslagama (Kovačić i Grizelj, 2006; Grizelj i dr., 2016).

Na temelju najstarijeg uzorka unutar formacije AND, procijenjeno vrijeme početka sedimentacije u središnjem dijelu depresije je $11,089 \pm 0,549$ mil. god. (Tablica 4, Slika 43, Dodatak 1). Uzorak se nalazi 80 m iznad granice sarmat-panon pa raspon starosti i određena vrijednost odgovaraju očekivanoj starosti uzoraka. Raspon starosti formacije AND je 4,138 mil. god. (Slika 43), s već spomenutim najstarijim naslagama u zapadnom dijelu i najmlađima u istočnom dijelu područja istraživanja. Strukturna uzdignuća poplavljena su okvirno u vremenu prije 9 mil. god. (Slika 47, 49), što znači da je za transgresiju od više stotina metara bilo dovoljno oko 3 milijuna godina. Temeljem analiza dokazana je dijakrona starost formacije NGR, sa sve mlađim naslagama u smjeru istoka (Slika 43). Najmlađe određene naslage su dio formacije Pluska, $4,987 \pm 0,161$ mil. god. To znači da one pripadaju pliocenu, odnosno prostorni su ekvivalent *Vivaparus* slojevima, odnosno okolišima jezera Slavonija na prostoru Savske i Slavonsko-Srijemske depresije (Mandić i dr., 2015; Kurečić i dr., 2021).

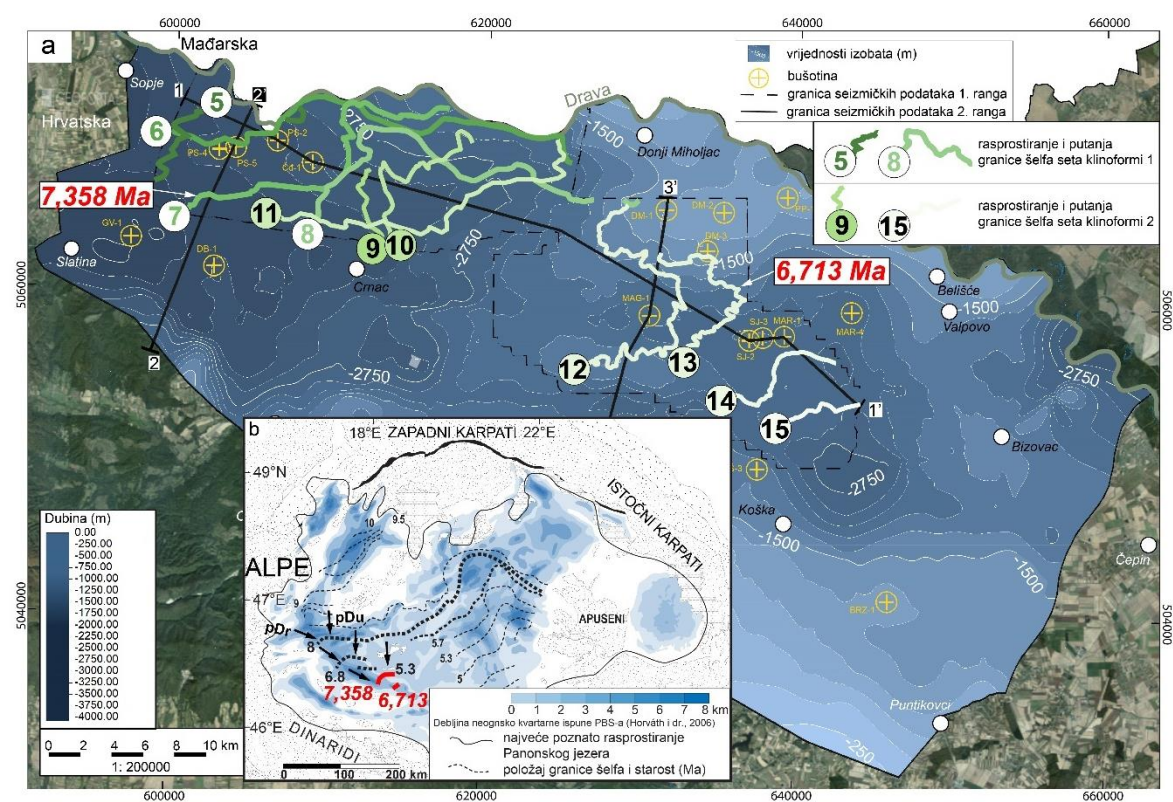
U istraživanim naslagama nisu provedene detaljne analize starosti fosilnih mekušaca (Dodatak 1). Međutim, u tablicama su navedene terenske odredbe mekušaca na jezgrama bušotina (Dodatak 1). Najveći dio jezgara nažalost je iz dubokovodnog turbidnog slijeda u kojem su nalazi fosilnih mekušaca rijetki (Magyar, 2021).

Određene vrste *Cypria cf. tocorjescui* Hanganu i *Camptocypria acuta* prema Sokač (1972) se prvi put na prostoru Medvednice javljaju u pontu (*sensu* Stevanović, 1951). Zbog loše očuvanosti ostrakodnih jedinki i malobrojnosti ostrakodnih vrsta u analiziranim uzorcima nije moguće primijeniti ostrakodne zonacije definirane na prostoru Panonskog bazena (Sokač 1972; 1989; Krstić, 1973, 1989; Jiříček, 1983). Mnoge fosilne vrste iz panonskih naslaga predstavljaju samo eko-vrste, povezane specifičnim, lokalnim biotopom, tako da sastav ostrakodne zajednice često odražava lokalne okolišne uvjete te je postavljanje granica ostrakodnih biozona često nejasno i neprimjenjivo. Prema tome, u budućim istraživanjima bilo bi dobro uzeti veću količinu uzorka za mikropaleontološke analize (šlem), što bi možebitno povećalo vjerojatnost pronalaska fosilnih ostrakodnih zajednica. Takve analize trebalo bi provesti na neprekinutim, višemetarskim jezgrama, koje su nažalost rijetke (Dodatak 1).

Utvrđene ciste dinoflagelata (dinociste) bile su brojnije u dubljevodnim i dubokovodnim naslagama, a rjeđe u plitkovodnim naslagama (Dodatak 1). Magyar (2021) objašnjava takvu razdiobu temeljem toga što su zajednice dinocista bogatije u dubokovodnim okolišima. Uz to, palinomorfe se bolje očuvaju u reduktivnim uvjetima stabilnih, mirnih okoliša i zato se većinom nalaze unutar sitnozrnatih naslaga (Bakrač, 2005). Rezultati odredbe apsolutne starosti uzoraka iz kojih su određene zone, uspoređeni su sa zonacijom prema Bakrač i dr. (2012). Zona *G. etrusca* (*Get*) u skladu je s podacima iz Bakrač i dr. (2012). Međutim, geokronološki rezultati uzoraka iz kojih je određena zona *Spiniferites validus* pokazuju da su naslage starije od prethodnih podataka (Bakrač i dr., 2012). Točnije, prema rezultatima Bakrač i dr. (2012), relativna donja granica pojavljivanja *Spiniferites validus* je 9 mil. god., dok je na temelju novih rezultata apsolutne starosti najveća starost određena na $11,089 \pm 0,549$ mil. god (Dodatak 1). Prijelazni dio izdvojen kao *Pontadinium pecsvaradensis/Spiniferites validus* starosti je $10,754 \pm 0,450$ mil. god., što je jednako donjoj granici pojavljivanja zone *Pontadinium pecsvaradensis* u Bakrač i dr. (2012). U radu Bakrač i dr. (2012) granice između zone *Spiniferites validus* i *Pontadinium pecsvaradensis* su postavljene crtkanim linijama budući da nisu bili dostupni

podaci s apsolutnim starostima. Novi podaci starosti zasigurno mogu pomoći u budućim istraživanjima i odredbama starosti naslaga.

S obzirom na podatke, zapunjavanje i nestanak jezerskih okoliša, uz regresivno kretanje morfološkog šelfa u prostoru istraživanja, starije je od dosadašnjih regionalnih pretpostavki (Slika 64). Točnije, morfološki šelf i razvitak deltnih okoliša počeo je prije $7,358 \pm 0,301$ mil. god., odnosno 2 mil. god. prije nego se do sada smatralo (Slika 64, Magyar i dr. 2013, Sebe i dr., 2020; Magyar, 2020). U budućim istraživanjima bilo bi dobro usmjeriti se na odredbu starosti uzoraka i zona u cijeloj Dravskoj depresiji kako bi se odredila ovisnost okoliša taloženja, biostratigrafskih zona, dinamike taloženja i apsolutna starost naslaga.



Slika 64. a) Migracija ruba šelfa u prostoru istraživanja s određenim apsolutnim starostima (karta u pozadini prikazuje dubine do podloge gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga); b) regionalni kontekst rezultata odredbe starosti naslaga, odnosno rubova šelfa (prilagođeno prema Magyar i dr., 2013).

7.3 Dinamika taloženja

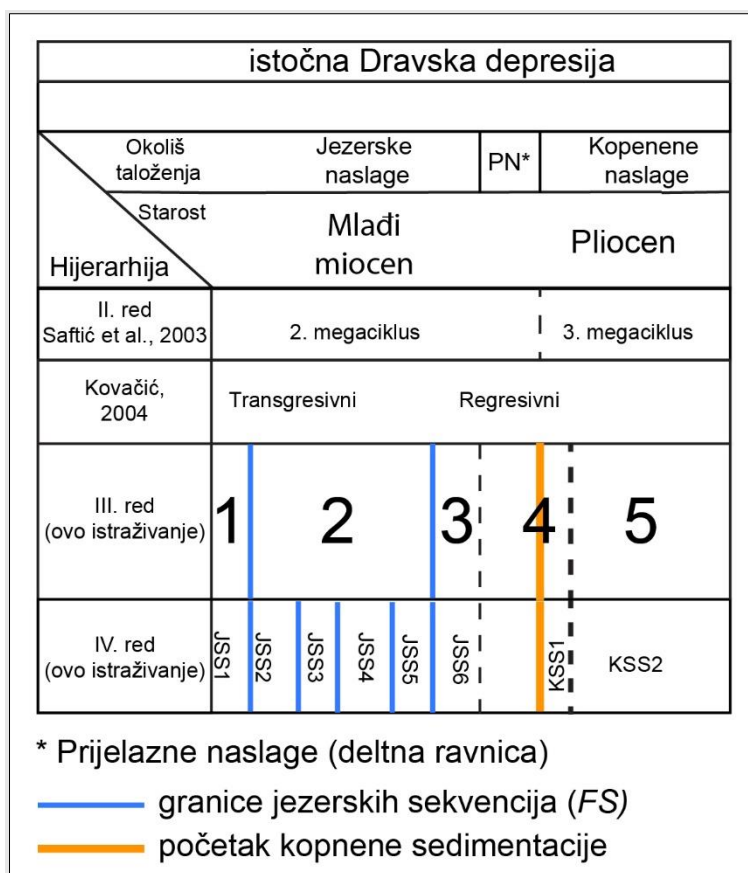
Istraživane gornjomiocenske i pliocenske, jezerske, prijelazne i kopnene naslage predstavljaju ostatke i zapis jednog vrlo dinamičnog i kompleksnog sedimentacijskog sustava. Rezultati istraživanja opisuju izrazitu vertikalnu i bočnu promjenu facijesa (Slika 63), uzrokovanu unutaršnjim i vanjskim čimbenicima koji su utjecali na sedimentaciju (ter Borgh, 2014; Kovács i dr., 2021). Glavni faktori koji su utjecali na dinamiku taloženja u drugim depresijama PBS-a su post-riftna termalna subsidencija, razina jezerske vode i količina donosa sedimenata (Uhrin i Sztanó, 2016; ter Borgh, 2014; Balázs i dr., 2018; Kovács i dr., 2021). Točnije, navedeni faktori utječu na stvaranje, odnosno povećanje ili smanjenje akomodacijskog prostora. Razina jezerske vode je u Dravskoj depresiji bila pod utjecajem klimatskih uvjeta, cikličnih promjena klime iz vlažnih u suhe periode (Uhrin i Sztanó 2012), odnosno vlažne i manje vlažne klime (Sztanó i dr., 2013). Pri tom je količina donesenog sedimenta bila direktno povezana s klimatskim uvjetima, tj. količinom vode dotekle u jezero: u vrijeme vlažnijeg klimatskog perioda i velike količine padalina, donos sedimenata je isto tako bio povećan, dok je u periodu suhe ili polusuhe klime količina padalina i donošenog sedimenta u jezero bila manja (Gong i dr. 2018). Bitno je napomenuti i već opisani utjecaj morfologije dna na smjerove taloženja pri čemu pri čemu tokovi sedimenta nisu nikad na paleobatimetrijski uzvišenim strukturama već idu k dubljim dijelovima depresije (Slika 53, 54, 55, 56). Dodatni utjecaj na morfologiju dna imala je i diferencijalna kompakcija naslaga.

Istočni dio Dravske depresije nalazi se u rubnom dijelu PBS-a (Saftić i dr., 2003; Horváth i dr., 2015), što znači da je vjerojatno bio pod značajnijim utjecajem i kompresijskih naprezanja uslijed prijenosa naprezanja iz zone konvergencije Adria ploče, Dinarida i PBS-a (Bada i dr., 2007). Takve kompresijske strukture, nastale tijekom taloženja panonskih jezerskih naslaga vidljive su na profilu 3-3' (Slika 49).

7.3.1 Primjena sekvencijske stratigrafije

Kao dodatni alat za interpretaciju dinamike taloženja korišten je lokalno razvijeni sustav jedinica, prilagođen tipičnom razvoju naslaga i korištenim podacima (prema Embry, 2007; Catuneanu i dr., 2009, Catuneanu i dr., 2011). S obzirom na postav interpretiranih setova parasekvencija (Slika 47; 48, 49, Prilog 10, 11), taloženje je bilo pod značajnim utjecajem omjera stope subsidencije i promjene razine jezerske vode, odnosno donosa sedimenata. Donos sedimenata u proučavanim jezerskim okolišima drugačiji je od klasičnih sekvencijskih modela,

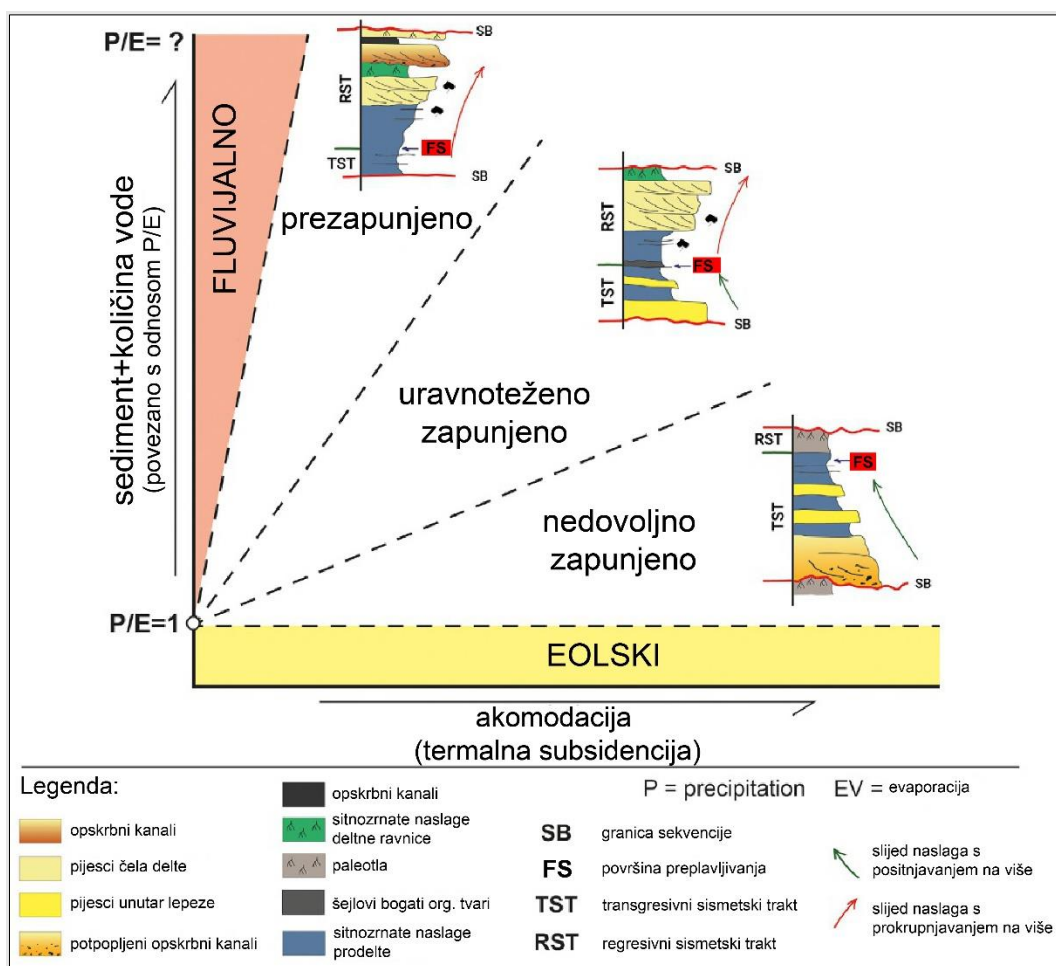
razvijenih u marinskim bazenima, kao što je opisano u prethodnom odlomku teksta i u brojnim “lokalnim” radovima (Juhász i dr. 1997; Sztanó i dr., 2013; Kovács i dr., 2021; Zavala i dr., 2022). Isto tako, u poglavlju 6.3.2 *Interpretirane sekvencije*, opisani su načini i razlozi izdvajanja sekvencija s obzirom na spomenute značajke taložina i dostupne podatke (Slika 47). S obzirom na periodičnu promjenu razine jezerske vode i načine taloženja, izdvojeni setovi parasekvencija dovedeni su u vezu s regresivnim i transgresivnim sistemskim traktovima (Slika 65). Ova dva sistemska trakta, odnosno transgresivni i regresivni ciklusi naslaga, opisani su i u prethodnim radovima unutar gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga Sjevernohrvatskog bazena (Saftić i dr. 2003; Kovačić, 2004; Pavelić i Kovačić, 2018). Na kraju su sekvencije podijeljene na sekvencije III. i IV. reda i uspoređene s opisanim prethodnim istraživanjima (Slika 65, Slika 67). Sekvencije III. reda unutar proučavanih naslaga u drugim dijelovima PBS-a uvjetovane su miješanim klimatsko-tektonskim utjecajima (Juhász i dr., 2007), dok sekvencije IV. reda odgovaraju promjenama ravnoteže između razine jezerske vode i donosa sedimenta (Vakarcs i dr. 1994; Vrbanac i dr., 2010; Sztanó i dr. 2013b; Kovács i dr. 2021).



Slika 65. Shema izdvojenih jedinica unutar gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga istočnog dijela Dravske depresije.

7.3.2 Dinamika i evolucija taložnih sustava

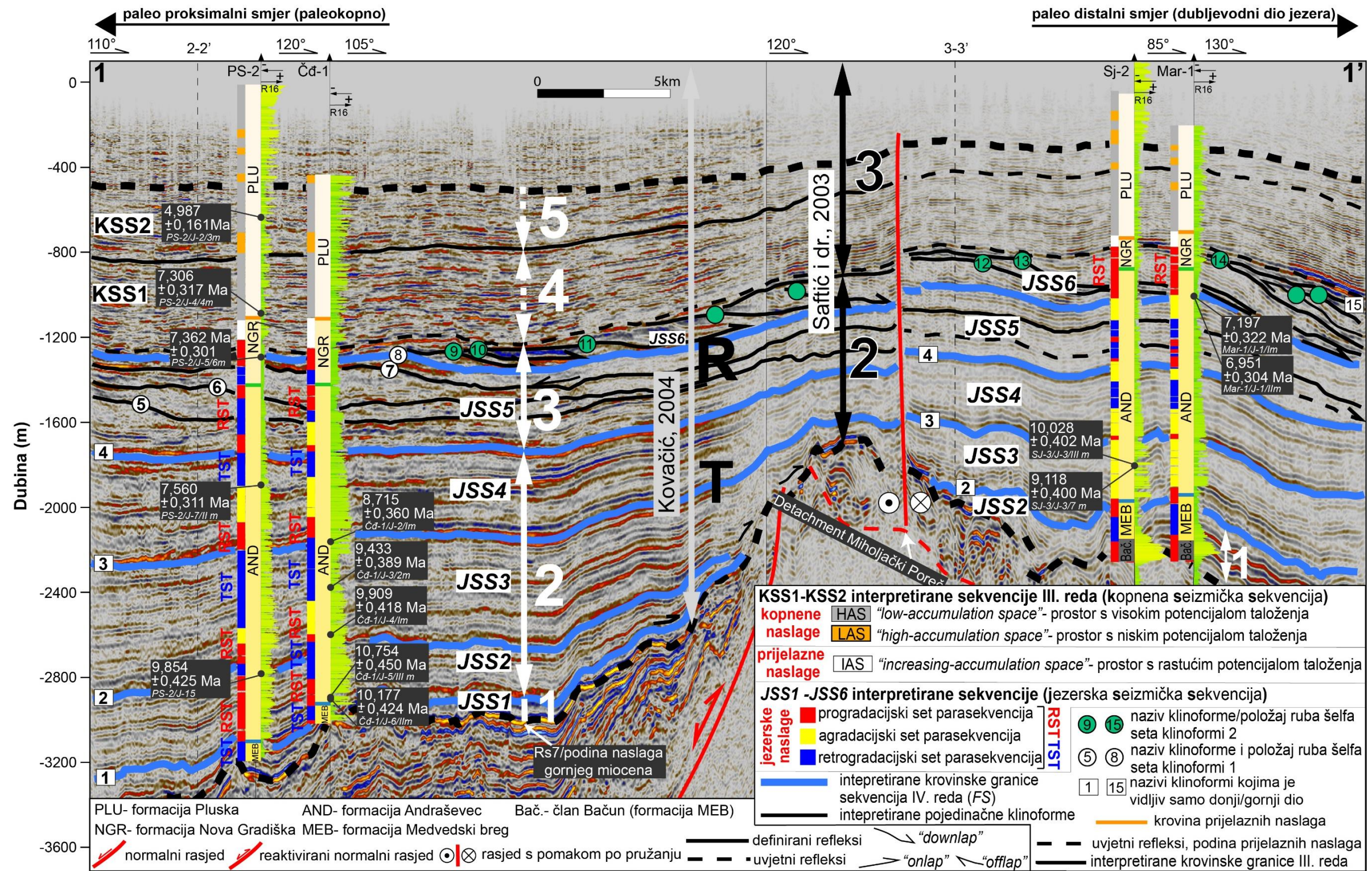
Faze razvoja i dinamika zapunjavanja istraživane depresije mogu se s obzirom na rezultate analiza i značajke taložnog sustava opisati kroz model razvoja depresija prekrivenih jezerima (Slika 66, Bohacs i dr., 2000): nedovoljno zapunjeno (engl. *underfilled*), uravnoteženo zapunjeno (engl. *balanced-filled*) i na kraju prezapunjeno (engl. *overfilled*) jezero. S obzirom na postav izdvojenih faza, one svojim trajanjem, obilježjima i načinom nalijeganja odgovaraju sekvencijama III. reda. Točnije, navedene sekvencije III. reda i tri karakteristične faze razvoja sačinjene su od jedinica nižeg reda, kraćeg trajanja, odnosno od interpretiranih sekvencija IV. reda (Slika 47, Prilog 10; prema Embry, 2007; prema Catuneanu, 2009, 2019).



Slika 66. Stadiji razvoja jezera: nedovoljno zapunjeno, uravnoteženo zapunjeno, prezapunjeno (prema Carroll i Bohacs, 1999; Carroll i Bohacs, 1999; Zavala i dr., 2022).

Dinamika taloženja u istraživanom prostoru Panonskog jezera i kasniji razvoj kopnenih okoliša uvelike je ovisio o vezama s drugim bazenima (Matenco i Andriessen, 2013). Prema jednoj skupini autora postojala je primarna veza s Dacijskim bazenom, odnosno Mediteranom (npr. Stevanović i dr., 1989; Csató, 1993; Csató i dr., 2007; Popescu i dr., 2009; Csató i dr., 2013; Csató i dr., 2015; Vasiliev i dr., 2021), a kao dokaz tvrdnje prilažu migracije mekušaca i dinoflagelata, razvijene diskordancije i numeričko stratigrafsko modeliranje. Drugi dio autora smatra da je jezero pretežno bilo hidrološki zatvoreno, odnosno endoreično jezero, s tek povremenim ili ograničenim vezama sa spomenutim bazenima (npr. Magyar i Geary, 1999; Juhász i dr., 1997; Uhrin i Sztanó, 2012; Magyar i Sztanó, 2008). Bitno je napomenuti da noviji radovi upućuju na oprez u direktnoj korelaciji PBS-a, Dacijskog i ostalih bazena nekadašnjeg prostora Paratethysa (van Baak i dr., 2017; Kovács i dr., 2021).

Panonsko jezero vjerojatno je u određenim fazama razvoja imalo vezu s Dacijskim bazenom i to putem prostora Đerdapske klisure u Karpatima (Leever i dr., 2011). Taj prostor vjerojatno je predstavljao tzv. preljevnu točku (engl. *spilling point*). Točnije, preljevna točka paleogeografski je područje gdje se višak vode prelijevao iz PBS-a za najviših razina jezerske vode i na taj način održavao ravnotežu cjelokupnog sustava (Zavala i dr., 2022; Magyar i dr., 1999). Takav mehanizam vjerojatno je utjecao i na smanjenje saliniteta jezera, kao što je to zabilježeno u jezeru Van u Turskoj (Tomonaga i dr., 2017). Panonsko jezero je u prvoj fazi razvoja tijekom starijeg panona bilo nedovoljno ispunjeno, *underfilled* period, s bočatom vodom. Uslijed značajnog vodenog donosa i transgresije jezero prelazi u fazu *balanced filled*, odnosno taloženje dubokovodnih turbidita. Nakon toga, u završnoj fazi akomodacijski prostor se smanjuje i postaje premalen za stopu donosa sedimenata pa jezero prelazi u fazu *overfilled*, odnosno postaje prepunjeno slatkovodno jezero. Slijed naslaga u toj je fazi pretežno regresivan s vidljivim kliniformama. Faze razvoja su detaljno opisane u sljedećem tekstu.



Slika 67. Usporedba izdvojenih litostratigrafskih jedinica i vezanih okoliša taloženja s interpretiranim sekvencijama III. reda u jezerskim naslagama, odnosno fazama razvoja i zapune depresije 1 (nedovoljno zapunjeno jezero), 2 (uravnoteženo zapunjeno jezero) i 3 (prezapunjeno jezero) prema modelu Bohacs i dr. (2000). Isto tako prikazane su interpretirane kopnene sekvencije III. reda (KSS-KSS2). Unutar slijeda su interpretirane sekvencije IV. reda (JSS1-JSS6), koje su uspoređene sa interpretiranim setovima parasekvencija i sustavnim traktovima (RST- regressive system tract, TST - transgressive system tract). Uz to, naznačene su okvirne granice jedinica II. reda, točnije one objavljene prema Saftić i dr. (2003) na 2 i 3 megaciklus te prema Kovačić (2004) na transgresivni i regresivni sedimentacijski slijed.

7.3.3 Sekvencija 1: nedovoljno zapunjeno jezero

Tijekom cijele sekvencije dolazi do isprekidanog porasta razine vode u jezeru, a u kombinaciji s termalnom subsidencijom područja depresije raste i akomodacijski prostor. Za vrijeme taloženja sekvencije, klimatski periodi utvrđeni u PBS-u se izmjenjuju od već opisane izmjene vlažne i manje vlažne, odnosno suhe klime (Utescher i dr. 2017; Joniak i dr. 2019; Baranyi i dr. 2021; Šujan i dr. 2019). Tijekom vlažne faze, razina jezerske vode raste i postupno se prekrivaju uzdignuti blokovi, vidljivi na *onlap* završecima refleksa i transgresivnim naslagama (Slika 48, 49, Prilog 6). Bitno je napomenuti da tijekom trajanja ove sekvencije jezero nikad nije svojom razinom doseglo preljevnu točku. U depresiji se talože regresivne parasekvencije, odnosno klastiti u izmjeni s laporima (formacija MEB, Slika 48, 49 Prilog 7). Zatim se tijekom manje vlažnog do sušnijeg perioda smanjuje donos sedimenata u središnji dio depresije pa se tamo talože lapori bogati organskom tvari (formacija MEB). Jezerska voda na početku panona bila je bočata, odnosno imala je relativno veće koncentracije iona magnezija, kalcija i stroncija u odnosu na mlađe stadije razvoja (Avanić i dr., 1995; Vrsaljko i dr., 1999; Magyar i dr., 1999a). Dakle, u spomenutim sušnijim periodima dolazilo je do smanjenja donosa novih sedimenata s lokalnih struktura, snažnije evaporacije i taloženja kalcitom bogatih lapora u plitkovodnim okolišima (član CRO, dio formacije MEB). Dakle, taloženje je bilo lokalnog tipa, a utjecaj vanjskih faktora (razina jezerske vode, termalna subsidencija, tektonika) na razvoj slijeda vjerojatno je kroz cijelu sekvenciju bio dominantan. Uz to, na razvoj pojedinačnih parasekvencija i frekventnijih sekvencija (VI. reda) možebitno su dominantno utjecali unutarnji mehanizmi sustava.

7.3.4 Sekvencija 2: uravnoteženo zapunjeno jezero

Tijekom navedene faze razvoja jezera došlo je do razvijanja ravnoteže između donosa sedimenata i akomodacije. Porast akomodacije uvjetovan je porastom razine jezerske vode i subsidencije, na regionalnom mjerilu PBS-a uvjetovanom termalnom subsidencijom (Pavelić, 2001; Saftić i dr., 2003; Horváth i dr., 2015). Ova faza razvoja Panonskog jezera obilježena je njegovim regionalno najvećim dosegom, prije 9 mil. god. (Geary i Magyar, 2000). Točnije, prema regionalnom modelu razvoja, u ovoj je fazi jezero doseglo preljevnu točku, pa je višak vode izlazio van jezera u druge bazene. Takav razvoj vjerojatno potvrđuju nalazi dinocista koje su migrirale iz Mediterana u prostor PBS-a (Popescu i dr., 2009; Bakrač i dr., 2012), što je direktan pokazatelj značajnosti opisane dinamike na lokalni razvoj okoliša taloženja i faune.

Sekvencija se sastoji od izmjene retrogradacijskih, progradacijskih i agradacijskih parasekvencija. Navedeni slijed naslaga dio je regresivnih i transgresivnih sistemskih traktova, koji čine jednu sekvenciju IV. reda (Slika 67). Drugim riječima, idealizirana sekvencija IV. reda u prostoru istraživanja sastoji se od baznih progradacijskih setova, koji prelaze u agradacijske i završavaju retrogradacijskim slijedom. Agradacijski postav parasekvencija se razvija zbog postizanja ravnoteže u donosu sedimenata i akomodacije. U depresiji se talože dubokovodni turbiditi (Prilog 2 do 9), čiji opskrbni kanali bočno i vertikalno migriraju. Takav tip nalijeganja turbiditnih naslaga na seizmičkim slikama vidljiv je kao niz refleksa velikih amplituda (Slika 47; engl. *HARP, high amplitude reflection packages*; Flood, 1991). Prema Mansor (2014), on nastaje zbog agradacije sustava opskrbnih kanala i nasipa, koji s vremenom biva napušten procesom proboja i napuštanja kanala. Prilikom tog procesa stvara se novi opskrbni kanal, unutar kojeg dolazi do agradacije, proboja nasipa i stvaranja novih kanala te dubokovodnih kanala i reznjeva. Takav proces događa se zbog promjene unutarnjih čimbenika, odnosno promjena topografije dna, brzina toka turbiditnih struja itd. Uslijed takvog načina nalijeganja, značajne su razlike u bočnim i vertikalnim promjenama facijesa (Slika 63). Prema tome, parasekvencije je vrlo teško i gotovo nemoguće korelirati u prostoru daljem od nekoliko desetaka ili stotina metara, zbog razlike između tipičnog slijeda litofacijesa u opskrbnim kanalima i bočnim bazenskim sitnozrnatim naslagama (Prilog 10). Taloženje se pretežno vrši iz smjera sjeverozapada u smjeru jugoistoka. Izmjene vlažnih i polusuhih perioda odražavaju se na turbiditni slijed naslaga formacije AND i sekvencija IV. reda. Razvijeni unutarnji *onlapi* sekvencije moguće su posljedica klimatskih i tektonskih procesa, odnosno promjena u stopi subsidencije (Slika 48, 49). Prema modelu Gvirtzman (2001), stopa subsidencije može se uvećati i do 10 puta uslijed opterećenja kore istaloženim naslagama. Međutim, takav faktor povećanja u ovom slučaju teško je za očekivati, iako nedekompaktirana debljina naslaga iznosi 2000 m (Prilog 2 do 10; Slika 58). Drugi mogući uzrok nastanka *onlapa* je kompresijski tip naprezanja, koji mijenja nagib struktura i obrasce taloženja (npr. rasjed *Miholjački Poreč*, Slika 49). Treći mogući uzrok su promjene u klimatskim uvjetima i posljedično smanjenom donosu sedimenata što utječe na dubokovodne obrasce taloženja (*HARP*). Međutim, zbog nedovoljne preciznosti izvora podataka i ograničenog prostornog obuhvata ovog istraživanja nije bilo moguće procijeniti koji je faktor dominantan u nastanku unutarnjih *onlap* završetaka refleksa.

7.3.5 Sekvencija 3: prezapunjeno jezero

Taložni sustav postupno izlazi iz ravnoteže uslijed prevladavanja faktora donosa sedimenata nad stopom akomodacije (Slika 66). Taj je proces u prostoru istočnog dijela Dravske depresije predstavljen jednim generalnim regresivnim slijedom naslaga koje pripadaju sekvenciji 3 (III. red), odnosno završnoj fazi prezapunjenog jezera (Slika 66). Prema podacima odredbe starosti (Slika 47), zapadni dio regresivnog taložnog slijeda sekvencije 3 mlađi je od $7,560 \pm 0,311$ mil. god., a stariji od $7,362 \pm 0,301$ mil. god. S obzirom da slijed uključuje oko 420 m naslaga, uz idealnu konstantnu stopu sedimentacije, može se ugrubo pretpostaviti da je starost 100 m slijeda oko 48 000 god. Dakle, uz navedene pretpostavke, promijenjeni stil sedimentacije i završna faza zapunjavanja jezera u istočnom dijelu Dravske depresije počinje prije 7,512 mil. god. Opisani slijed naslaga dio je regionalno regresivnog trenda kretanja padine šelfa u PBS-u (Slika 46; Sebe i dr., 2020). Prilikom toga procesa je u području istraživanja došlo do generalnog oplićavanja, prelaska u deltne, i na koncu kopnene okoliše taloženja (Slika 63). Točnije, dubokovodni turbiditni okoliši taloženja sekvencije 2, postupno prelaze u turbidite povezane uz stopu padine šelfa, zatim pretežno u sitnozrnate naslage padine (Prilog 2-10), prodeltne lepeze, čelo delte, deltu te na kraju i kopnene fluvijalne okoliše (Slika 55, 56, 63). Potpuni preobražaj u prijelazne i kopnene okoliše iz generalnog smjera sjeverozapada prema jugoistoku (Slika 62) dogodio se zasigurno nakon $6,7 \pm 0,272$ mil. god. Dakle, depresija je zapunjena tijekom kraja mlađeg miocena. To znači da su na obrasce taloženja, ukoliko je PBS bio spojen s ostalim bazenima, mogle utjecati promjene zabilježene u prostoru istočnog Paratethysa (van Baak i dr., 2017). Naime, prema Bakrač i dr. (2012) u prostoru Sjevernohrvatskog bazena zabilježen je kontakt te migracija faune iz prostora Paratethysa u Mediteran i to je interpretirano kao posljedica regionalne transgresije. Istraživanja Csató i dr. (2013, 2015) na temelju numeričkog modeliranja i seizmičkih podataka u mađarskom dijelu PBS-a govore u prilog tim tezama. Autori su značajne diskordancije na granici miocena i pliocena doveli u vezu s tektonikom i značajnim spuštanjem razine vode u Panonskom jezeru. Međutim, noviji radovi (van Baak i dr., 2017; Kovács i dr. 2021) osporavaju takvu povezanost i utjecaj mesinijske krize na značajno spuštanje razine Panonskog jezera zbog povezanosti s ostalim bazenima. Prema tome, interakciju Panonskog jezera u PBS-u s ostalim bazenima potrebno je dodatno istražiti i u budućim istraživanjima.

Sekvencija 3 se u prostoru istraživanja prema seizmostratigrafskim podacima sastoji od dvije sekvencije IV. reda, JSS5 i JSS6 (Slika 46, Slika 67). Dakle, regresivni slijed sastoji se od niza manjih promjena u taložnom sustavu koje su posljedica bočnih kretanja delti, tj. preklapanja delti pod kontrolom unutarnjih i vanjskih procesa (Slika 68). Takva organizacija sustava utječe na veliku bočnu promjenjivost litofacijesa, načine nalijeganja, odnosno slaganja taložina i njihovih prekida (Slika 47, 48, 49, 53, 54). Uzrok tome su klimatski uvjeti koji utječu na frekventne promjene u razini jezerske vode te unutarnji mehanizmi taložnog sustava koji utječu na učestalo bočno preklapanje deltnih sustava (Kovács i dr. 2021). Posljedica toga u praksi je da bi, na primjer, klinoforma 8 u klasičnoj sekvencijskoj interpretaciji mogla biti određena kao površina maksimalnog preplavlivanja (engl. *MFS*). Točnije, u radu Špelić i dr. (2023) dokazano je da je upravo zbog opisanih promjena u taložnom sustavu došlo do stvaranja lokalnih, prividnih stratigrafskih granica zbog preklapanja delti paleo-Drave i paleo-Dunava. Posljedica toga je i vrlo teška i gotovo nemoguća korelacija setova parasekvencija, odnosno sekvencija IV. reda na većim udaljenostima (Slika 47, 48, 49; Prilog 10). Uz to, utjecaj mesinijske krize i moguća povezanost PBS-a s ostalim bazenima na promjene obrazaca taloženja još nije isključena.

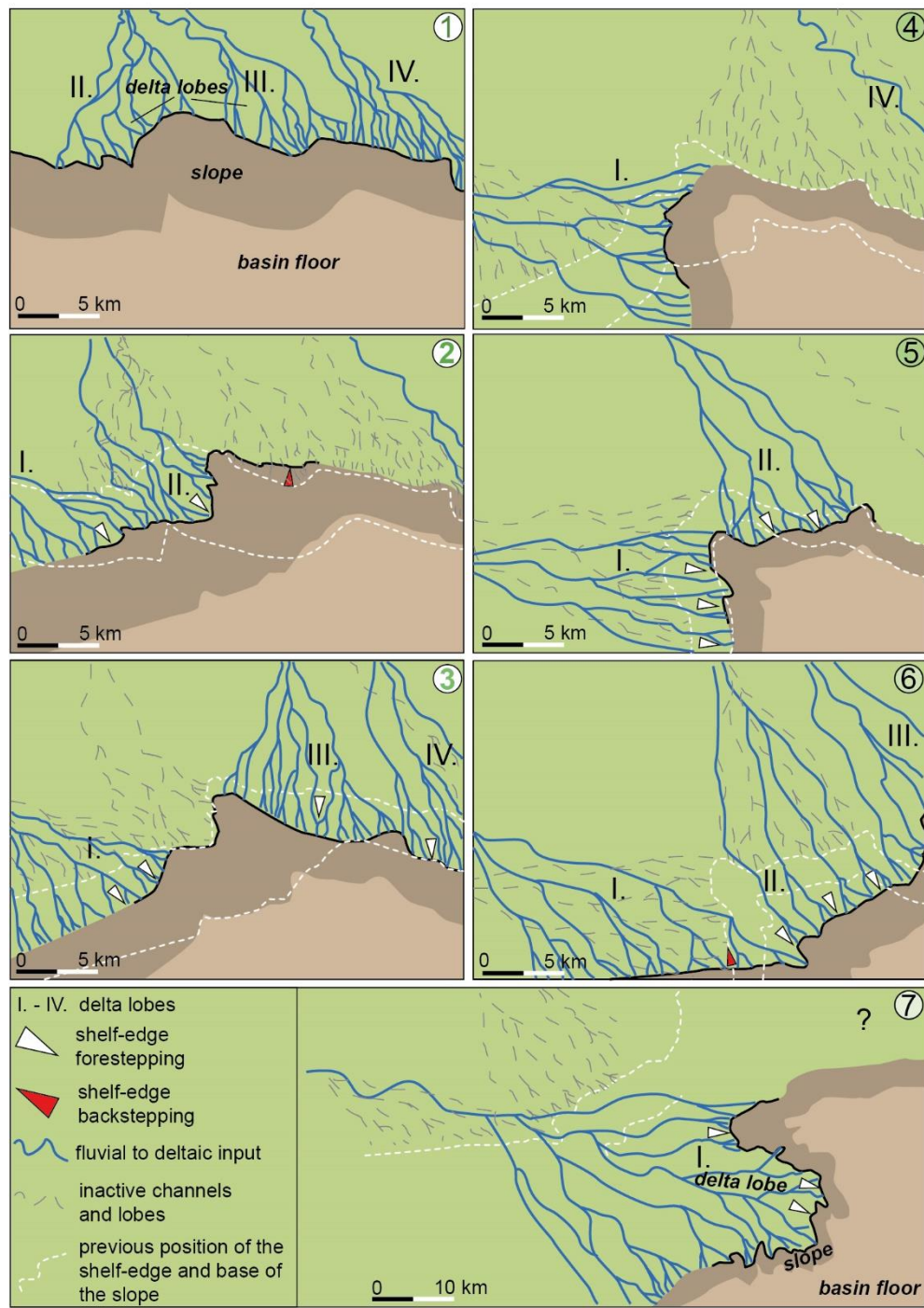
Nadalje, vidljiva velika prostorna promjenjivost u smjerovima taloženja, dužini i pružanju ruba šelfa (Slika 61) moguć je i odraz utjecaja smještaja lokalnih uzdignutih struktura (kao prepreka, npr. *Donji Miholjac*) te diferencijalne kompakcije, odnosno razvedene morfologije dna depresije. Procijenjene dubine kreću se od 450 m za vrijeme taloženja JSS5, do 80 m tijekom JSS6. Utjecaj je kao i u dosadašnjim radovima o dinamici taloženja Panonskog jezera (Uhrin i dr., 2009; Tőro i dr., 2012) zasigurno postojao, no u budućim istraživanjima trebalo bi ga dodatno kvantificirati i dovesti u odnos s dominantnim unutarnjim promjenama taložnog sustava (Kovács i dr., 2021; Špelić i dr., 2023).

7.3.5.1 Sekvencije 4 i 5: završno zapunjavanje depresije

Završno zapunjavanje istočnog dijela Dravske depresije dio je najmanje dvije sekvencije III. reda (Slika 65). U naslagama je prepoznato gotovo jednolično ponavljanje ciklusa positnjavanja naviše, koji počinju s krupnozrnatim sedimentima, kao dio fluvijalnih kanala, a završavaju sitnozrnatim sedimentima poplavne ravnice (Prilog 2-11). Takvi ciklusi vrlo teško se koreliraju i na bliskim bušotinama, njihova je korelacija čak i između bliskih bušotina upitna (Prilog 11). Prema tome, i to ostaje otvorena tema za buduća istraživanja.

U središnjem dijelu depresije dolazilo je do bočnog kretanja fluvijalnih meandara (Slika 57), koji su kroz određene periode bili manje zastupljeni, a taloženje se dominantno odvijalo u okolišima poplavnih ravnica (Prilog 11). Napuštanje i stvaranje novih meandara ponajprije je posljedica unutarnjih mehanizama, ali i promjenama u reljefu, drenažnoj mreži, vegetaciji i klimi (Vandenberghe, 2003). Prema analizama, najstariji kopneni sedimenti područja istraživanja stari su $4,987 \pm 0,161$ mil. god., odnosno pliocenske su starosti (Slika 47). Međutim, s obzirom na apsolutnu starost uzorka, kopneni fluvijalni tip taloženja zasigurno je počeo i ranije, odnosno u mlađem miocenu (Slika 67). Prema tome, na organizaciju i obrasce taloženja u sekvenciji 4 zasigurno su utjecale promjene u razini u Panonskom jezeru, koje je tada zauzimalo krajnji jugoistočni dio PBS-a (Anđelković i Radivojević, 2021; Radivojević i dr., 2022). Uz to, tijekom razvitka sekvencije 5, obrasci taloženja mogli su biti pod utjecajem promjena zabilježenih u jezeru Slavonija (Mandić i dr., 2015; Cvetković, 2013), u koje se navedeni sustav vjerojatno ulijevao.

Opisani slijed naslaga moguće je, s obzirom na debljine i cikličnost sedimenata, opisati kao jedan generalno agradacijski slijed. Uzrok stvaranja akomodacije i taloženih sedimenata te razvijanje sekvencije 4 i 5 vjerojatno je bila i aktivna tektonska inverzija bazena (Slika 52; Tomljenović i Csontos, 2001; Saftić i dr. 2003). Naime, tektonska inverzija, vidljiva i na raspodjeli kartiranih struktura (Slika 47, 52), zasigurno je bila aktivna tijekom taloženja sekvencije 4 i 5. Lokalno izdizanje struktura u rubnim dijelovima depresije, npr. Bilogore i Slavonskih planina (Matoš i dr., 2016; Wacha i dr., 2018) doprinijela je opetovanom trošenju neočvrnutih stijena i ponovnom taloženju u središnjim dijelovima depresije. Uz to, subsidencija u središnjim dijelovima depresije uslijed tektonike (Saftić i dr., 2003), moguće je bila uvećana velikim debljinama istaloženih stijena u prethodnim sekvencijama (Gvirtzman, 2001). Navedeni faktori su uz diferencijalnu kompakciju naslaga vjerojatno značajno utjecali na stvaranje lokalnih taložnih prostora u središnjim dijelovima depresija (Slika 60). Osim tektonskih faktora, na obrasce taloženja moguće su utjecale i klimatske promjene u domeni Milankovićevih ciklusa. U budućim istraživanjima trebalo bi dodatno istražiti mogući utjecaj Milankovićevih ciklusa na obrasce taloženja i razvitak sekvencija IV. reda.



Slika 68. Konceptualna paleogeografska rekonstrukcija razvoja JSS5 i JSS6. Brojevi klinoforni odgovaraju klinoformama prikazanim na profilima 1-1' (Slika 46, 47) i karti migracije šelfa (Slika 61, 63). Obrasci taloženja izrazito su lokalnog karaktera i ovisni su o smjeru donosa sedimenata, odnosno preklapanje pojedinačnih delti dva fluvijalna sustava (vjerojatno paleo-Drava i paleo-Dunav, Špelić i dr., 2023).

7.3.6 Primjena istraživanja

Uz opisana znanstvenoistraživačka saznanja o dinamici i procesima taloženja, metode i rezultati ovog istraživanja imaju i praktičnu primjenu. Korištenje podataka 3D seizmičkih istraživanja primjenom metoda seizmostratigrafije i seizmičke geomorfologije otvara nove mogućnosti u kartiranju bazena. Točnije, moguće je preciznije kartirati bazene s kompleksnim strukturnim odnosima (Thota i dr., 2022) te obilježja i prostorni raspored sedimentnih tijela koja zbog rezolucije podataka do sada nisu bili vidljivi na geološkim i geofizičkim podacima (Catwright i Huuse, 2005; Posamentier i dr. 2022). Upravo je takav pristup istraživanju sedimentnih bazena u skladu s izazovima smanjenja emisije stakleničkih plinova, odnosno prelaska na niskouglične resurse - geološko skladištenje CO₂, korištenje geotermalnih resursa, skladištenje energije i drugih plinova kao nosioca energije (metan, vodik) neophodnih u energetske tranziciji (Stephenson i dr., 2019).

Na prostoru istraživanja su dosadašnjim istraživanjima utvrđena najveća naftna i plinska polja te geotermalni potencijal (Velić i dr., 2002; Saftić i dr., 2003; Velić i dr., 2012). Međutim, prema podacima bazenskog modeliranja u Cvetković i dr. (2018), u prostoru istraživanja dokazan je preostali, neiskorišteni potencijal i za do sada neiskorištene rezerve ugljikovodika. Isto tako, dokazan je i potencijal u kopnenim naslagama. Prema tome, primjenom načina analize opisanog u ovome radu moguće je uočiti ležišta koja do sada nisu bila otkrivena te preciznije i točnije kartirati već utvrđena ležišta. Na primjer, u baznom dijelu gornjomiocenskih naslaga moguće je preciznije kartirati potencijalno matične stijene i manja ležišta unutar utvrđenih lepeza, unutar turbiditnog dijela odvojiti opskrbne kanale, nasipe i lepeze, u gornjem dijelu odvojiti manje lepeze uz padinu ili prodeltu i deltu, a u kopnenom fluvijalnom dijelu odvojiti i utvrditi prostornu raspodjelu fluvijalnih kanala. Takva sedimentna tijela su npr. pješčenjaci s međuzrnskom poroznošću (Velić i dr., 2012), koji osim nafte i plina, u međuzrnskom prostoru uvijek imaju i zasićenje vodom. Ovisno o dubini zalijeganja, moguće je odvojiti i odrediti sedimentološke značajke vodonosnika pitke vode u plićim dijelovima, a u dubljim i geotermalnih ležišta. Točnije, primjenom metode određuje se prostorna povezanost krupnije zrnatih (npr. pješčenjaka, potencijalno propusnih) i sitnozrnatih naslaga (npr. lapora, nepropusnih stijena). Opisom facijesa i okoliša taloženja moguće je odrediti unutarnju građu sedimentnih tijela i potencijalni utjecaj na petrofizikalna svojstva, što je vrlo važno u daljnjoj

razradi otkrivenih ležišta. Kao što je već prethodno napisano, navedene propusne stijene mogu se koristiti za utiskivanje plinova i skladištenje energije.

8. ZAKLJUČAK

Zajedničkom interpretacijom geoloških i geofizičkih podataka i primjenom novih metoda istraživanja moguće je dobiti nova saznanja o dinamici taloženja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga u istočnom dijelu Dravske depresije. Ovim je pristupom moguće odrediti međusobnu interakciju već postojećih strukturnih obilježja depresije i obrazaca taloženja koji utječu na razvoj taložnog sustava. Točnije, u istraživanom području do sada nisu preciznije procijenjeni smjerovi i vremena zapunjavanja i nestanka jezerskih okoliša. Uz to, nedostaju istraživanja koja bi procijenila vremena i dinamiku razvoja deltnih i kasnijih kopnenih fluvijalnih okoliša taloženja. Vremena zapunjavanja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga u prostoru Sjevernohrvatskog bazena su do sada procjenjivana na temelju relativnih odnosa biozona. Dakle, nedostajala je odredba apsolutne starosti naslaga, a s kojima bi se onda i određene biozone dovele u vezu. Kao što je već navedeno, taloženje istraživanih naslaga odvijalo se u morfološki razvedenoj depresiji, u vremenu početka tektonske inverzije bazena i učestalih oscilacija u klimatskim uvjetima. Prema tome, nužno je bilo i procijeniti utjecaj unutarnjih i vanjskih čimbenika te postojećeg strukturnog sklopa na dinamiku proučavanog taložnog sustava.

Seizmostratigrafskom analizom podataka unutar gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga istočnog dijela Dravske depresije moguće je odvojiti niz seizmičkih facijesa i klinoforni. Analizom seizmičke geomorfologije moguće je odvojiti različita sedimentna tijela, što omogućuje određivanje smjerova taloženja i promjene u taložnom sustavu. U debljinski najvećem dijelu istraživanih jezerskih naslaga vidljiv je samo donji dio klinoforni, dok je padina i gornji dio vidljiv u plićem dijelu. Na arhivskim jezgrama dubokih bušotina moguće je provesti biostratigrafske i sedimentološke analize, odnosno moguće je odvojiti bušotinske facijese i biozone. Isto tako, na karotažnim podacima vidljive su promjene u cikličnosti, pa se na taj način mogu izdvojiti ciklusi promjene veličine zrna, parasekvencije i setovi parasekvencija.

Temeljem dobivenih podataka - analiza iz jezgara, interpretiranog seizmičkog facijesa i analizama bušotinske karotaže, bilo je moguće odrediti litološki sastav proučavanih naslaga te izdvojiti okoliše taloženja i povezane litostratigrafske jedinice i u dubini depresije. Točnije, integracijom rezultata analiza odvojene su i prostorno kartirane jezerske, prijelazne deltna i kopnene naslage. Takve jedinice moguće je korelirati u podzemlju korištenjem bušotinskih

podataka i njihovim povezivanjem s rezultatima interpretacije geofizičkih mjerenja, prvenstveno seizmike. Na ovaj su način dobivena saznanja o razvoju i interakciji jezerskih, prijelaznih i kopnenih okoliša taloženja tijekom gornjega miocena i pliocena.

Geokronološko datiranje istraživanih naslaga metodom autigenih nuklida $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ pokazalo se uspješnim i korisnim. Utvrđen je dijakroni karakter okoliša taloženja i litostratigrafskih formacija. Određene su starosti dubokovodnog i turbiditnog dijela vezanog uz padinu formacije Andraševac, prodeltnih i deltnih naslaga formacije Nova Gradiška te kopnenih fluvijalnih okoliša formacije Pluska. Najstariji dio formacije Andraševac starosti je $11,089 \pm 0,549$ mil. god., a uzorak se nalazi 80 m od krovine sarmatskih naslaga. Najmlađe naslage formacije Andraševac su određene u najistočnijem dijelu istraživanja, u stopi padine. Starost im je $6,951 \pm 0,304$ mil. god. Najveća određena starost formacije NGR je $7,362 \pm 0,301$ mil. god, a najmanja starost je $6,713 \pm 0,272$ mil. god. Najmlađe naslage pripadaju kopnenim fluvijalnim okolišima formacije Pluska, najmanje apsolutne starosti $4,987 \pm 0,161$ mil. god. Najstarija izmjerena starost formacije Pluska je $7,036 \pm 0,317$ mil god. Granica miocena i pliocena nalazi se unutar kopnenih naslaga, a Panonsko jezero nestalo je s prostora istraživanja tijekom kasnog miocena.

Rezultati odredbe apsolutnih starosti analiziranih sedimenata predstavljaju prvu apsolutnu odredbu starosti gornjomiocenskih i pliocenskih jezerskih, prijelaznih i kopnenih naslaga u jugoistočnom rubnom dijelu PBS-a. Uz to, to su prvi rezultati kojima se točno utvrdila apsolutna starost istraživanih naslaga koje ispunjavaju dio Panonskog bazena u Republici Hrvatskoj. Navedeni rezultati uspoređeni su sa izdvojenim palinozonama i rijetkim nalazima ostrakoda. Dosadašnje odredbe starosti palinozona uglavnom se slažu s novim geokronološkim podacima. Točnije, starosti zona *Galeacysta etrusca* i prijelazni dio zone *Pontadinium pecsvaradensis/Spiniferites validus* u skladu su s dosadašnjim istraživanjima na prostoru Sjevernohrvatskog bazena. Međutim, geokronološki rezultati zone *Spiniferites validus* pokazuju da se donja granica zone može u ovom dijelu depresije pomaknuti s 9 mil. god. na $11,089 \pm 0,549$ mil. god.

Rezultati svih navedenih analiza omogućili su izdvajanje sekvencija III. i IV. reda, rangirajući ove jedinice prema tome koliko su značajne u promjeni taložnih okoliša i strukturnog sklopa. Sekvencije III. reda generalno su uvjetovane odnosom akomodacije i donosa sedimenata, točnije stopom subsidencije i promjenama u klimi te možebitno tektonikom

u dijelovima područja istraživanja. Sekvencije III. reda sastavljene su od jedinica IV. reda koje su dominantno uvjetovane promjenama u klimi, odnosno unutarnjim mehanizmima u taložnom sustavu. Prema tome, sekvencije III. reda odgovaraju trima fazama, odnosno nedovoljno zapunjenom, uravnoteženo zapunjenom i prezapunjenoj fazi ispune Panonskog jezera i istraživane depresije.

Prva faza u dubljim dijelovima depresije započinje bez prekida iz sarmata u panon, a izdignuti dijelovi (npr. struktura *Donji Miholjac*) su kontinuirano trošeni i preplavljivani. Sedimentacija je uvjetovana lokalnim strukturnim odnosima te klimom koja uzrokuje transgresiju jezera. Promjene u obrascima taloženja moguće su uvjetovane i kratkotrajnim fazama tektonske inverzije bazena. Korelacija sekvencija IV. reda između bušotina u depresiji otežana je zbog lokalnog razvoja.

Druga faza, uravnoteženo zapunjenog jezera dio je turbiditnih okoliša taloženja u kojem su stopa subsidencije i donos sedimenata u ravnoteži. Idealno se svaka sekvencija IV. reda unutar ove faze sastoji od ponavljanja progradacijskog, agradacijskog i retrogradacijskog seta parasekvencija, odnosno regresivnog i transgresivnog sistemskog trakta koji čine jedan ciklus sedimentacije. U depresiji se talože dubokovodni turbiditi, čiji opskrbeni kanali i lepeze bočno i vertikalno migriraju. Dakle, interpretirani setovi parasekvencija lokalnog su karaktera. Posljedica toga je da je korelacija setova parasekvencija na udaljenostima većim od nekoliko stotina metara gotovo nemoguća. Na stopu sedimentacije utjecala je klima, a morfologija dna jezera, uvjetovala je razvoj prostorno ograničenog tipa turbidita. Točnije, opskrbeni kanali, lepeze i vezani okoliši nalaze se u središnjim dijelovima depresije i obilaze uzvišene strukture (npr. *Donji Miholjac* i *Beničanci*).

Treća faza započinje pojavom padinskog dijela šelfa i generalno regresivnim slijedom naslaga koje pripadaju sekvenciji 3 (III. red), odnosno završnoj fazi prezapunjenog jezera, a završava kopnenim naslagama koje su u potpunosti zapunile depresiju. Regresivni slijed sastoji se od dvije manje sekvencije IV. reda, koje su zapravo posljedica manjih promjena u taložnom sustavu, odnosno bočnih kretanja delti. Završno zapunjavanje događa se uslijed prostorno kompleksnog napredovanja padine šelfa, a kreće se generalno od sjeverozapada prema jugoistoku, prateći središnji dio depresije. Obrasci taloženja vjerojatno su uvjetovani i strukturnim sklopom i morfologijom dna depresije. Jezero se na zapadnom dijelu istraživanja zapunilo između $7,362 \pm 0,301$ mil. god. i $7,306 \pm 0,317$ mil. god., a na istočnom dijelu prije

6,713 ± 0,272 mil. god. To znači da je ono u istočnom dijelu Dravske depresije zapunjeno oko 2 mil. god. ranije nego je bilo utvrđeno u dosadašnjim studijama. Takav sustav utječe na veliku bočnu promjenjivost litofacijesa, načine nalijeganja, odnosno slaganja taložina i njihovih prekida. Uzrok tome su klimatski uvjeti koji utječu na frekventne promjene u razini jezerske vode te unutarnji mehanizmi taložnog sustava koji utječu na učestalo bočno preklapanje deltnih sustava, ali i unutarnje promjene unutar taložnog sustava (npr. napuštanje opskrbnih kanala). Dakle, potreban je oprez u klasičnoj sekvencijskoj interpretaciji završnog slijeda u prostoru Dravske depresije i PBS-a zbog stvaranja lokalnih, prividnih stratigrafskih granica uslijed preklapanja delti. Korelacija setova parasekvencija, odnosno sekvencija IV. reda, na udaljenostima većim od nekoliko stotina metara vrlo je teška i moguće jedino uz jako dobru 3D seizmiku.

Na osnovi datiranja, kopneni dio zapunjavanja započeo je tijekom mlađeg miocena. Izdvojene sekvencije u prijelaznim i kopnenim okolišima sastoje se od vertikalne izmjene ispune kanala i poplavne ravnice. Točnije, sekvencije se sastoje od izmjene rastućeg, niskog i visokog potencijala nakupljanja sedimenata uvjetovane subsidencijom, tektonskom inverzijom i klimom. Stopa subsidencije u središnjim dijelovima depresije moguće je povećana velikim debljinama istaloženih stijena u prethodnim sekvencijama i diferencijalnom kompakcijom tih tada slabo konsolidiranih naslaga. Smjerovi taloženja prate dužu os depresije, odnosno slični su orijentaciji današnje doline rijeke Drave.

Kvaliteta rezultata istraživanja vjerojatno bi se dodatno podigla ponovnom obradom seizmičkih podataka. Točnije, mogla bi se povećati rezolucija određenih dijelova 3D seizmičkih podataka, što bi zasigurno poboljšalo razinu interpretacije. Odredbe starosti opterećene su relativno velikim rasponom grešaka, pa bi se u budućim istraživanjima trebalo usmjeriti na određivanje uzroka većeg raspona grešaka. Isto tako, izdvojene kopnene sekvencije opterećene su subjektivnošću interpretacije i oslanjanjem na karotažnu krivulju otpornosti kao na jedini kontinuirani podatak za izdvajanje i korelaciju parasekvencija.

U budućim istraživanjima trebalo bi se dodatno usmjeriti na proučavanje dinamike i mehanizama taloženja pojedinih dijelova taložnih okoliša. Nadalje, potrebno je dodatno razlučiti utjecaj morfologije dna bazena i raznih faza tektonske inverzije na obrasce taloženja. Potrebna je i korelacija sekvencija i faza razvoja na razini cijele depresije, u kojoj bi se još bolje odredili glavni faktori koji su utjecali na razvoj sekvencija, obrazaca taloženja i kompleksno

napredovanje padine morfološkog šelfa. Uz to, stavljanjem datiranih naslaga u regionalni kontekst, mogao bi se odrediti utjecaj panonske tektonske inverzije i moguće mesinijske krize na razvoj taložnog sustava.

Rezultati ovog istraživanja korisni su u istraživanju geoenergetskih resursa. Ovi postupci mogu naći primjenu u svim segmentima istraživanja potencijala za održivo upravljanje dubokim podzemljem, čak i ne samo u aktualnoj energetske tranziciji. Točnije, holistički pristup istraživanju omogućuje precizno paleogeomorfološko kartiranje sedimentnih tijela, uvažavanje njihovih sedimentoloških obilježja, kao i rekonstrukciju prostorno-vremenske raspodjele litofacijesa u ovisnosti o procesima kojima su nastali. Na taj način moguće je preciznije odrediti prostornu povezanost već određenih ležišnih stijena, debljina i rasprostranjenosti izolatorskih stijena i potencijalnih neotkrivenih zamki. U svakom dijelu taložnog sustava moguće je u prvome redu otkriti strukturne i manje stratigrafske zamke kao potencijalna ležišta nafte i plina. Uz to, moguće je precizno određivanje rasprostiranja pješčenjaka i pijesaka kao potencijalnih dubokih vodonosnika za utiskivanje plinova, crpljenje geotermalne energije, podzemno skladištenje energije, crpljenje pitke vode u plićim vodonosnicima, ali i u dubljim ako je niske mineralizacije. Prema tome, primjena opisanih metoda istraživanja, uz uvažavanje novih koncepata, može iznjedriti nove temeljne znanstvene spoznaje, a uz to se odlikuje i praktičnom upotrebom.

9. POPIS LITERATURE

9.1 Objavljeni radovi

Allen, P.A., Allen, J.R. (2005) *Basin Analysis: Principles and Applications 2nd Edition*. Wiley-Blackwell.

Anđelković F., Radivojević D. (2021) The Serbian Lake Pannon formations - their significance and interregional correlation. *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, 82 (2), 43-67.

Andreassen, K., Ødegaard, M., Rafaelsen, B. (2007) Imprints of former ice streams, imaged and interpreted using industry three-dimensional seismic data from the south-western Barents Sea. *Geological Society, London, Special Publications*, 277, 151-169.

Anell, I., Midtkandal, I., Braathen, A. (2014) Trajectory analysis and inferences on geometric relationships of an early triassic prograding clinoform succession on the northern barents shelf. *Marine and Petroleum Geology*, 54, 167-179.

Bada, G., Grenczy, G., Horváth, F., Stein, S., Cloetingh, S., Windhoffer, G., Fodor, L., Pinter, N., Pinter, I. (2007) Motion of Adria and ongoing inversion of the Pannonian Basin: Seismicity, GPS velocities, and stress transfer. *Special Paper of the Geological Society of America*, 425, 243-262.

Bahamonde, J.R., Colmenero J.R., Vera C. (1997) Growth and demise of Late Carboniferous carbonate platforms in the eastern Cantabrian Zone, Asturias, northwestern Spain. *Sedimentary Geology*, 110 (1(2)), 99-122.

Baize, S., Amoroso, S., Belić, N., Benedetti, L., Boncio, P., Budić, M., Cinti, F., Henriquet, M., Jamšek Rupnik, P., Kordić, B., Markušić, S., Minarelli, L., Pantosti, D., Pucci, S., Špelić, M., Testa, A., Valkaniotis, S., Vukovski, M., Atanackov, J., Barbača, J., Bavec, M., Brajković, R., Brčić, V., Caciagli, M., Celarc, B., Civico, R., De Martini, P., Filjak, R., Iezzi, F., Moulin, A., Kurečić, T., Métois, M., Nappi, R., Novak, A., Novak, M., Pace, B., Palenik, D. & Ricci, T. (2022) Environmental effects and seismogenic source characterization of the December 2020 earthquake sequence near Petrinja, Croatia. *Geophysical Journal International*, 230/2, 1394-1418.

Bakrač, K. (2005) Palinološka karakterizacija naslaga srednjeg i gornjeg miocena jugozapadnog dijela Panonskog bazena, doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

- Bakrač, K., Koch, G., Sremac, J. (2012) Middle and Late Miocene palynological biozonation of the south-western part of Central Paratethys (Croatia). *Geologia Croatica*, 65/2, 207-222.
- Balázs, A., Visnovitz, F., Spiess, V., Fekete N., Tóth, Zs., Hámori, Z., Kudó, I., Horváth, F. (2013) Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről. *Magyar Geofizika*, 54/2, 67-76.
- Balázs, A., Matenco, L., Magyar, I., Horváth, F., Cloetingh, S. (2016) The link between tectonics and sedimentation in back-arc basins: New genetic constraints from the analysis of the Pannonian Basin. *Tectonics*, 35, 1526-1559.
- Balázs, A., Magyar, I., Matenco, L., Sztanó, O., Tőkés, L., Horváth, F. (2018) Morphology of a large paleo-lake: Analysis of compaction in the Miocene- Quaternary Pannonian Basin. *Global and Planetary Change*, 171, 134-147.
- Balázs, A., Faccenna, C., Ueda, K., Funicello, F. (2022) The Dynamics of Forearc – Back-Arc Basin Subsidence: Numerical Models and Observations From Mediterranean Subduction Zones. *Tectonics*, 41/5.
- Balázs, E., Nusszer, A. (1987) Unterpannonischer Vulkanismus der Beckengebiete Ungarns. *Ann. Hungarian Geological Institute*, 69, 95-113.
- Baranyi, V., Bakrač, K., Krizmanić K., Botka D., Tóth E., Magyar, I. (2021) Paleoenvironmental changes and vegetation of the Transylvanian Basin in the early stages of Lake Pannon (late Miocene, Tortonian). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 284.
- Barboza, L.C., Silva G.G., Green A.J., Maltchik, L., Stenert, C. (2022) Potential dispersal of aquatic snails by waterbird endozoochory in neotropical wetlands. *Biota Neotropica*, 22/2.
- Barnes, A. (2006) Too many seismic attributes?. *Recorder*, 31, 41-45.
- Bartha, I.R., Botka, D., Csoma, V. Katona, T.L., Tóth, E., Magyar, I., Silye, L., Sztanó, O. (2022) From marginal outcrops to basin interior: a new perspective on the sedimentary evolution of the eastern Pannonian Basin. *International Journal of Earth Science*, 111, 335-357.
- Bernhardt, A., Oelze, M., Bouchez, J., von Blanckenburg, F., Mohtadi, M., Christl, M., Wittmann, H. (2020) $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ ratios reveal marine authigenic clay formation. *Geophysical Research Letters*, 47/4.

- Bérczi I. & Phillips L. (1985) Processes and depositional environments within Neogene deltaic-lacustrine sediments, Pannonian Basin, SE Hungary. *Geophysical Transactions*, 31/1-3, 55-74.
- Bhattacharya, J.P., Abreau, V. (2016) Wheeler's Confusion and the Seismic Revolution: How Geophysics Saved Stratigraphy. *The Sedimentary Record*, 14, 2, 4-11.
- Blair, T. (1999) Cause of dominance by sheetflood vs. debris-flow processes on two adjoining alluvial fans, Death Valley, California. *Sedimentology*, 46/6, 1015-1028.
- Bohacs, K.M., Carroll, A.R., Neal, J.E., Mankiewicz, P.J. (2000) Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated-sequence-stratigraphic-geochemical framework. U: Gierlowski-Kordesch, E.H., Kelts, K.R. (ur.), *Lake Basins Through Space and Time*. AAPG Studies in Geology, 46, American Association of Geologists, Tulsa, 3-34.
- Böhme, M., Winklhofer, M., Ilg, A. (2011) Miocene precipitation in Europe: Temporal trends and spatial gradients. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 304/3-4, 212-218.
- Borzi A., Harzhauser, M., Piller, W.E., Strauss, P., Siedl, W., Dellmour, R. (2022) Late miocene evolution of the Paleo-Danube Delta (Vienna Basin, Austria). *Global and Planetary Change*, 210.
- Bourlès, L., Raisbeck, G.M., Yiou, F. (1989) ¹⁰Be and ⁹Be in marine sediments and their potential for dating. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 443-452.
- Brown, E.T., Edmond, J., Raisbeck M.G., Bourlès, D.L., Yiou, F., Measures I.C. (1992) Beryllium isotope geochemistry in tropical river basins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56/6, 1607-1624.
- Brlek, M., Kutterolf, S., Gaynor, S., Kuiper, K., Belak, M., Brčić, V., Holcova, K., Wang, K-L., Bakrač, K., Tadesse-Hajek, V., Mišur, I., Horvat, H., Šuica, S., Schaltegger, U. (2020) Miocene syn-rift evolution of the North Croatian Basin (Carpathian-Pannonian Region) new constrains from Mts. Kalnik and Požeška gora volcanoclastic record with regional implications. *International Journal of Earth Sciences*, 109, 2775-2800.
- Budai, S., Sebe, K., Nagy, G., Magyar, I., Sztanó, O. (2019) Interplay of sediment supply and lake-level changes on the margin of an intrabasinal basement high in the Late Miocene Lake Pannon (Mecsek Mts., Hungary). *International Journal of Earth Sciences*, 108, 2001-2019.

- Cattaneo, A., Trincardi, F., Asioli, A., Correggiari, A. (2007) The Western Adriatic Shelf Clinoform: Energy-limited bottomset. *Continental Shelf Research*, 27, 506-525.
- Catuneanu, O. (2002) Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, 35 (1), 1-43.
- Catuneanu, O. (2006) *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam.
- Catuneanu, O. (2019) Model-independent sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 188, 312-388.
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J., Blum, M., Dalrymple, R., Eriksson, P., Fielding C., Fisher W., Galloway W., Gibling M., Giles K., Holbrook J., Jordan R., Kendall C., Macurda B., Martinsen O., Miall A., Neal J., Nummedal D., Pomar L., Posamentier H., Pratt B., Sarg J., Shanley K., Steel R., Strasser A., Tucker M., Winker, C. (2009) Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92, 1-33.
- Catuneanu, O., Galloway, W., Kendall, C., Miall, A., Posamentier, H., Strasser, A., Tucker, M., (2011) Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*, 44/3, 173–245.
- Catuneanu, O., Zecchin, M. (2016) Unique vs. non-unique stratal geometries: Relevance to sequence stratigraphy. *Marine and Petroleum Geology*, 78, 184-195.
- Catwright J., Huuse, M. (2005) 3D seismic technology: the geological ‘Hubble’. *Basin Research*, 17/1, 1-20.
- Carroll, A.R., Bohacs, K.M. (1999) Stratigraphic classification of ancient lakes: balancing tectonic and climatic controls. *Geology*, 27, 99-102.
- Chmeleff J., von Blanckenburg, F.V., Kossert, K., Jakob, D. (2010) Determination of the ¹⁰Be half-life by multicollector ICP-MS and liquid scintillation counting. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 268/2, 192-199.
- Christl, M., Mangini, A., Kubik, P.W. (2007) Highly resolved Beryllium-10 record from ODP Site 1089—A global signal?. *Earth and Planetary Science Letters*, 257/1-2, 245-258.
- Correggiari A., Cattaneo A., Trincardi F. (2005) The modern Po Delta system: Lobe switching and asymmetric prodelta growth. *Marine Geology* 222/223, 49-74.

Császár, G. (1996) *Basic lithostratigraphic units of Hungary*. The Geological institute of Hungary, Budapest.

Csató, I. (1993) Neogene sequences in the Pannonian basin, Hungary. *Tectonophysics*, 226/1-4, 377-400.

Csató, I., Kendall, C., St.C., Moore, P.D. (2007) The Messinian problem in the Pannonian Basin, Eastern Hungary — Insights from stratigraphic simulations. *Sedimentary Geology*, 201/1-2, 111-140.

Csató, I., Granjeon, D., Catuneanu, O., Baum, G.R. (2013) A three-dimensional stratigraphic model for the Messinian crisis in the Pannonian Basin, eastern Hungary. *Basin Research*, 25/2, 121-148.

Csató, I., Tóth, S., Catuneanu, O., Granjeon, D. (2015) A sequence stratigraphic model for the Upper Miocene Pliocene basin fill of the Pannonian Basin, eastern Hungary. *Marine and Petroleum Geology*, 66, 117-134.

Csontos, L., Márton, E., Wórum, G., Benkovics, L. (2002) Geodynamics of SW-Pannonian inselbergs (Mecsek and Villány Mts, SW Hungary) Inferences from a complex structural analysis. *EGU Stephan Mueller Special Publication Series*, 3, 227-245.

Cvetković, M. (2013) Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Cvetković, M., Emanović, E., Stopar, A., Slavinić, P. (2018) Petroleum system modeling and assessment of the remaining hydrocarbon potential in the Eastern part of Drava Depression. *Interpretation*. 6, 11-21.

Cvetković, M., Matoš, B., Rukavina, D., Kolenković Močilac, I., Saftić, B., Baketarić, T., Baketarić, M., Vuić, I., Stopar, A., Jarić, A., Paškov, T. (2019) Geoenergy potential of the Croatian part of Pannonian Basin: insights from the reconstruction of the pre-Neogene basement unconformity. *Journal of Maps*, 15, 651-661.

Dott R.H.Jr. (2014) Laurence L. Sloss and the Sequence Stratigraphy Revolution. *GSA Today* 24/3, 24-26.

Embry, A.F. 2009. *Practical Sequence Stratigraphy*. Canadian Society of Petroleum Geologists.

Everts A.J.W., i Reijmer J.J.G. (1995) Clinoform composition and margin geometries of a Lower Cretaceous carbonate platform (Vercors, SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 119/1-2, 19-33.

Field, C., Schmidt, G., Koch, D., Salyk, C. (2006) Modeling production and climate-related impacts on ^{10}Be concentration in ice cores. *Journal of Geophysical Research*, 111. D15107.

Filjak, R., Pikija, M., Avanić, R., Bakrač, K., Miknić, M., (2016) *Osnovna geološka karta Republike Hrvatske mjerila 1 : 50 000 - list Slavonska Požega 4*. Zagreb, Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju.

Flood, R.D., Manley, P.L., Kowsmann, R.O., Appi, C.J. and Pirmez, C. (1991) Seismic facies and late Quaternary growth of Amazon submarine fan. U: P. Weimer and M.H. Link (ur.), *Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems*. Springer-Verlag, New York, str. 415-433

Fodor, L., Balázs, A., Csillag, G., Dunkl, I., Héja, G., Jelen, B., Kelemen, P., Kövér, S., Németh, A., Nyíri, D., Selmeczi, I., Trajanova, M., Vrabec, M. (2021) Crustal exhumation and depocenter migration from the Alpine orogenic margin towards the Pannonian extensional back-arc basin controlled by inheritance. *Global and Planetary Change*, 201, 103475.

Frank, M., Backman, J., Jakobsson, M., Moran, K., O'Regan, M., King, J., Haley, B.A., Kubik, P.W., Garbe-Schönberg, D. (2008) Beryllium isotopes in central Arctic Ocean sediments over the past 12.3 million years: stratigraphic and paleoclimatic implications. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 23/1, PA1S02.

Ganić, M., Rundić, L., Knežević, S., Cvetkoc, V. (2010) The Upper Miocene Lake Pannon marl from the Filijala Open Pit (Beočin, northern Serbia) new geological and paleomagnetic data. *Annales Géologiques de la Péninsule Balkanique*, 71, 95-108.

Geary, D.H., Magyar, I., Muller, P. (2000) Ancient Lake Pannon and its Endemic Molluscan Fauna (Central Europe; Mio-Pliocene). *Advances in Ecological Research*, 31, 463-479.

Grizelj A., Peh Z., Tibljaš D., Kovačić M., Kurečić T. (2016) Mineralogical and geochemical characteristics of Miocene pelitic sedimentary rocks from the south-western part of the

Pannonian Basin System (Croatia) implications for provenance studies. *Geoscience Frontiers*, 8/1, 65-80.

Grotzinger, J.P., Gupta, S., Malin, M.C., Rubin, D.M., Schieber, J., Siebach, K., Sumner, D.Y., Stack, K.M., Vasavada, A.R., Arvidson, R.E., Calef, F. (2015) Deposition, ex-humation, and paleoclimate of an ancient lake deposit, Gale crater, *Mars Science*, 350/6257, aac7575.

Gilli, A., Anselmetti, F.S., Glur, L., Wirth, S.B. (2013) Lake Sediments as Archives of Recurrence Rates and Intensities of Past Flood Events. U: *Dating Torrential Processes on Fans and Cones*, Springer Science+Business Media, Dordrecht. 225–242.

Gong, C., Sztanó, O., Stell, R.J., Xian, B., Galloway, W., Bada, G. (2018) Critical differences in sediment delivery and partitioning between marine and lacustrine basins: A comparison of marine and lacustrine aggradational to progradational clinotherm pairs. *GSA Bulletin*, 131, 766-781.

Gorjanović Kramberger, D., Koch, F. (1909) *Osnovna geološka karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije- list Daruvar*. Beč, Militärgeographisches Institut.

Gvirtzman, Z. (2001) Lateral thickening of sedimentary units: sediment compaction vs. tectonics. *Tectonophysics*, 340/1-2, 209-115.

Håkson, L., Jansson, M. (1983) *Principles of Lake Sedimentology*. Springer.

Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, P.R. (1987) Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic. *Science*, 235, 1156-1166.

Halamić, J., Belak, M. (2022) *Tumač za Požešku goru*. Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju.

Harzhauser, M., Daxner-Höck, Piller W.E. (2004) An integrated stratigraphy of the Pannonian (Late Miocene) in the Vienna Basin. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 95/96, 6-19.

Hećimović, I. (1984) *Osnovna geološka karta SFRJ I: 100 000 - list Donji Miholjac, L 34-73*. Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.

Helland-Hansen W., Hampson G.J. (2009) Trajectory analysis and applications. *Basin Research*, 21, 454-483.

- Henriquet, M., Kordić, B., Métois, M., Lasserre, C., Baize, S., Benedetti, L., Špelić, M., Vukovski, M. (2022) Rapid Remeasure of Dense Civilian Networks as a Game-Changer Tool for Surface Deformation Monitoring: The Case Study of the Mw 6.4 2020 Petrinja Earthquake, Croatia. *Geophysical Research Letter*. 49/24, e2022GL100166.
- Hernitz, Z. (1983) Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije. Sveučilište u Zagrebu. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb. Posebno izdanje časopisa Nafta, Zagreb.
- Hernitz, Z., Velić, J., Barič, G. (1995) Origin of Hydrocarbons in the eastern part of Drava depression (Eastern Croatia). *Geologia Croatica*, 48/1, 87-95.
- Herron, D., A. (2011) First steps in seismic interpretation. *Society of Exploration Geophysicists*, Tulsa, 217.
- Hilgen, F., L. Lourens, Van Dam, J. (2012) *The Neogene period*, in *The Geologic Time Scale*. Elsevier, Amsterdam, 923-978
- Horváth, F., Bada, G., Szafian, P, Tari, G., Adam, A., Cloetingh S. (2006) Formation and deformation of the Pannonian basin: constrains from observational data. *Geological Society London Memoirs*, 32, 191-206.
- Horváth, F., Mustiz, B., Balázs, A., Végh, A., Uhrin, A., Nádor, A., Koroknai B., Pap, N., Tóth, T., Wórum, G. (2015) Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. *Geothermics*, 53, 328-352.
- Horvat, M., Klötzli, U., Jamičić, D., Buda, G., Klötzli, E., Hauzenberger, C. (2018) Geochronology of granitoids from Psunj and Papuk mts., Croatia. *Geochronometria*, 45, 198-210.
- Hrvatski geološki institut (2009) *Geološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:300.000*. Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Zagreb.
- Ivković, Ž., Matej, S., Škoko, M. (2000) Seizmostratigrafska interpretacija gornjomiocenskih i pliocenskih sedimenata Savske depresije. U: Vlahović, I., Biondić, R. 2. *Hrvatski geološki kongres (Cavtat, 2000)*. Zbornik radova, Zagreb, 219-222.
- Jamičić, D. (1988) Strukturni sklop slavonskih planina. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

- Jamičić, D. (1989) *Osnovna geološka karta SFRJ mjerila 1:100 000, list Daruvar, L 33–95*, Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Jamičić, D., Vragović, M., Matičec, D. (1989) *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Daruvar L33–95*. Zagreb, Geološki zavod, Beograd, Savezni geološki institut.
- Jarosinski, M., Beekman, F., Matenco, L., Cloeting, S. (2011) Mechanics of basin inversion: Finite element modelling of the Pannonian Basin System. *Tectonophysics*, 502, 121-145.
- Jiríček R. (1985) Die ostracoden des Pannonien, U: Papp, A., Jámboř, Á., Steininger, F.F. (ur) *Chronostratigraphie und Neostratotypen, Miozän der Zentralen Paratethys. Pannonien. VII, M6*, Akadémiai Kiadó, Budapest, str. 348-408.
- Johnson, A.M. (1970) *Physical Processes in Geology*. San Francisco: Freeman, Cooper, and Co.
- Joniak, P., Šujan, M., Fordinál, K., Braucher, R., Rybár, S., Kováčová, M., Kováč, M. (2020) The age and paleoenvironment of a late miocene floodplain alongside Lake Pannon: Rodent and mollusk biostratigraphy coupled with authigenic $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ dating in the northern Danube Basin of Slovakia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 538, 109482.
- Juhász, E., Kovács L.Ó., Müller, P., Tóth-Makk, Á., Phillips, L., Lantos, M. (1997) Climatically driven sedimentary cycles in the Late Miocene sediments of the Pannonian Basin, Hungary. *Tectonophysics*, 282/1-2, 257-276.
- Juhász, Gy. (1994) Comparison of the sedimentary sequences in Late Neogene subbasins in the Pannonian Basin, *Földtani Közlöny*, 124/4, 341-365.
- Juhász, Gy., Magyar, I. (1992) Review and correlation of the Late Neogene (Pannonian s.l.) lithofacies and mollusk biofacies in the Great Plain, eastern Hungary. *Földtani Közlöny*, 122/2-4, 167-194.
- Juhász, Gy., Müller, P., Tóth-Makk, A. (2004) Alluvial Architecture and Fluvial Cycles in Quaternary Deposits in a Continental Interior Basin, E Hungary. *Geologia Croatica*, 57/2, 171-190.
- Juhász, Gy., Pogácsás, G., Magyar, I., Vakarcs, G. (2007) Tectonic versus climatic control on the evolution of fluvio-deltaic systems in a lake basin, Eastern Pannonian Basin. *Sedimentary Geology*, 202/1-2, 72-95.

- Kamenski, A., Cvetković, M., Kolenković Močilac, I., Saftić, B. (2020) Lithology prediction in the subsurface by artificial neural networks on well and 3D seismic data in clastic sediments: a stochastic approach to a deterministic method. *GEM - International journal on geomathematics*, 8, 1-24.
- Kappes H., Haase, P. (2012) Slow, but steady: dispersal of freshwater molluscs. *Aquatic Sciences*, 74, 1-14.
- Kázmér, M., (1990) Birth, life and death of the Pannonian Lake. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 79/1-2, 171-188.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. (2002) *An Introduction to Geophysical Exploration*, 3rd Edition. Wiley.
- Kelder, N. A., Sant, K., Dekkers, M. J., Magyar, I., van Dijk, G.A., Lathouwers, Y.Z., Sztanó, O., Krijgsman, W. (2018). Paleomagnetism in LakePannon: Problems, pitfalls, and progress in using iron sulfides formagnetostratigraphy. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19/9,
- Korolija, B., Jamičić, D. (1989) *Osnovna geološka karta SFRJ mjerila 1:100 000*, list Našice, L34-85- Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Kováč, M., Barath, I., Kovačova-Slamkova, M., Pipik, R., Hlavaty, I., Hudačkova, N. (1998) Late Miocene paleoenvironments and sequence stratigraphy: Northern Vienna Basin. *Geologica Carpathica*, 49/6, 445-458.
- Kováč, M., Baráth, I., Fordinál, K., Andreyeva.Grigorovich, A., Halásová, E., Hudáčková, N., Joniak, P., Sabol, M., Slamková, M., Sliva, L., Vojtko, R. (2006) Late Miocene to Early Pliocene sedimentary environments and climatic changes in the Alpine–Carpathian–Pannonian junction area: A case study from the Danube Basin northern margin (Slovakia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238/1-4, 32-52.
- Kováč, M., Andreyeva.Grigorovich, A., Barjaktarević, Z., Brzonohaty, R., Filipescu, S., Fodor, L., Harzhauser, M., Nagymarosky, A., Oszczykko, N., Pavelić, D., Rögl, F., Saftić, B., Sliva, Lj., Studencka, B. (2007): Badenia evolution of the Central Paratethys Sea: paleogeography, climate and eustatic sea-level changes. *Geologica Carpathica*, 58/6, 579-606.

Kovács, A., Sebe, K., Magyar, I., Szuromine Korecz, A., Kocacs, E. (2018) Upper Miocene sedimentation and tectonics in the Northern Imbricate Zone (Eastern Mecsek Mts, SW Hungary). *Foldtani Kozlony*, 148/4, 327-340. 103376.

Kovács, A., Balázs, A., Špelić, M., Sztanó, O. (2021) Forced or normal regression signals in a lacustrine basin? Insights from 3D stratigraphic forward modeling in the SW Pannonian Basin. *Global and Planetary Change*, 196.

Kovács, L., (1992) Pannonian (s.l.) and Quaternary formations of borehole Bácsalmás 1. U: *Annual Report of the Hungarian Geological Institute of 1990, Hydrocarbons in Hungary*. U: Kovács, Z. (ur.), 2018. Results and Opportunities. Hungarian Energy and Public Utility Regulation Authority, Budapest, str. 193-210.

Kovačić, M. (2004) Sedimentologija gornjomiocenskih naslaga jugozapadnog dijela Panonskog bazena: doktorski rad, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet. Zagreb.

Kovačić, M., Zupanič, J., Babić, Lj., Vrsaljko, D., Miknić, M., Bakrač, K., Hećimović, I., Avanić, R., Brkić, M. (2004) Lacustrine basin to delta evolution in the Zagorje Basin, a Pannonian sub-basin (Late Miocene: Pontian, NW Croatia). *Facies*, 50, 19-33.

Kovačić, M., Grizelj, A. (2006) Provenance of the Upper Miocene clastic material in the southwestern part of the Pannonian Basin. *Geologica Carpathica*, 57/6, 495- 510.

Kovačić, M., Pavelić, D. (2017) Neogene stratigraphy of the Slavonian Mountains. U: Kovačić, M., Wacha, L., Horvat, M., (ur.) *7th International Workshop on the Neogene from the Central and South-eastern Europe* (Velika, 2017) Field trip Guidebook, Zagreb, 1-9.

Kranjec, V., Hernitz, Z., Prelogović, E., Blašković, I. (1970) Dubinsko litofacijsno kartiranje područja istočne Slavonije i Posavine. *Zbornik radova Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta*, 165-174.

Kranjec, V., Hernitz, Z., Reščec, T., Velić, J. (1976) Neki rezultati dubinskog kartiranja u Dravskoj potolini. *Nafta*, 27/3, 123-141.

Krstić, N., (1973) *Biostratigrafija kongerijskih slojeva okoline Beograda na osnovu ostrakoda*. Posebno izd. Inst. geol. geof. istr. ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, 4, 5-158.

Krstić N., (1989) Contribution by ostracods to the definition of the boundaries of the Pontian in the Pannonian Basin, (supplement, p. 45- 47). U: *Chronostratigraphie und Neostatotypen, Pliozan*, Pontien, bd. VIII, Jugosl. Akad. d. Wissen. Und Kunste, Zagreb-Beograd.

Ku, T.L., Kusakabe, M., Nelson, D.E., Southon, J.R., Korteling, R.G., Vogel, J., Nokikow, I. (1982) Constancy of oceanic deposition of ^{10}Be as recorded in ferromanganese crusts. *Nature* 299, 240-242.

Kunštek, Z. (1995) Possibilities and Range of Space Correlation by “Wireline log-time Marker”. *Naftaplin*, 16/2, 11-16.

Kunštek, Z. (1996) Correlation by the “wireline log marker” method in the marginal part of the Pannonian basin, Republic of Croatia. *Nafta*, 47/3, 91-96.

Kunštek, Z. (2012) Međunarodni stratigrafski vodič i njegova primjena u Hrvatskoj. *Naftaplin*, 72/12, 7-18.

Kurečić, T., Kovačić, M., Grizelj, A. (2021) Mineral assemblage and provenance of the Pliocene *Viviparus* beds from the area of Vukomeričke Gorice (Central Croatia). *Geologia Croatica*, 74/3, 253-271.

Lal, D. (1988) In-situ produced cosmogenic isotopes in terrestrial rocks. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 16, 355-388.

Lal, D., B. Peters. (1967) Cosmic ray produced radioactivity on the earth. U: *Kosmische Strahlung II / Cosmic Rays II*, Sitte, K. (ur.). 46, 551-612. *AAPG Bulletin*, 89/9, 1139-1155.

Lee K., Zeng., X., McMechan, G.A., Howell C.D.Jr., Bhattacharya J.P., Marcy F., Olariu, C. (2005) A ground-penetrating radar survey of a delta-front reservoir analog in the Wall Creek Member, Frontier Formation, Wyoming. *AAPG Bulletin*, 89/9, 1139-1155.

Lebatard, A.E., Bourlès, D.L., Durringer, P., Jolivet, M., Braucher, R., Carcaillet, J., Schuster, M., Arnaud, N., Monié, P., Lihoreau, F., Likius, A., Mackaye, H.T., Vignaud, P., Brunet, M. (2008) Cosmogenic nuclide dating of *Sahelanthropus tchadensis* and *Australopithecus bahrelghazali*: Mio-Pliocene hominids from Chad. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 05, 3226-3231.

Lebatard, A.E., Bourlès, D.L., Braucher, R., Arnold, M., Durringer, P., Jolivet, M., Moussa, A., Deschamps, P., Roquin, C., Carcaillet, J., Schuster, M., Lihoreau, F., Likius, A., Mackaye, H.T.,

- Vignaud, P., Brunet, M. (2010) Application of the authigenic $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ dating method to continental sediments: reconstruction of the Mio-Pleistocene sedimentary sequence in the early hominid fossiliferous areas of the northern Chad Basin. *Earth Planetary Science Letters*, 297/1-2, 57-70.
- Leever, K.A., Matenco, L., Garcia-Castellanos, D., Cloetingh, S.A.P.L. (2011): The evolution of the Danube gateway between Central and Eastern Paratethys (SE Europe): Insight from numerical modelling of the causes and effects of connectivity between basins and its expression in the sedimentary record. *Tectonophysics*, 502/1-2, 175-195.
- Lomas, S.A., Joseph, P. (2004) Confined turbidite systems. *Geological Society, London, Special Publications*, 222, 1-7.
- Loisl, J., Tari, G., Dragantis, E., Zamolyi, A., Gjerazi, I. (2018) High-resolution seismic reflection data acquisition and interpretation, Lake Neusiedl, Austria, northwest Pannonian Basin. *Interpretation*, 6 (1), SB77-SB97.
- Lowe, R.D. (1982) Sediment gravity flows; II, Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, 52(1), 279-297.
- Lučić, D., Saftić, B., Krizmanić, K., Prelogović, E., Brtivić, V., Mesić, I., Tadej, J. (2001) The Neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia. *Marine and Petroleum Geology*, 18, 133-147.
- Madern, P.A., Van den Hoek Ostende, L.W. (2015) Going south: Latitudinal change in mammalian biodiversity in Miocene Eurasia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 424, 123-131.
- Madof, A.S., Harris, D.A., Connell, D.S. (2016) Nearshore along-strike variability: Is the concept of the systems tract unhinged?. *Geology*, 44/4, 315-318.
- Magyar, I. (2021) Chronostratigraphy of clinothem-filled non-marine basins: Dating the Pannonian Stage. *Global and Planetary Change*, 205, 1-10.
- Magyar, I., Geary, D.H., Muller, P. (1999a) Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 151-167.

- Magyar, I., Sütő-Szentai, M., Lantos, L., Müller, P. (1999b) Integrated biostratigraphic, magnetostratigraphic and chronostratigraphic correlations of the Late Miocene Lake Pannon deposits. *Acta Geologica Hungarica*, 42/1, 5-31.
- Magyar, I, Sztanó, O. (2008) Is there a Messinian unconformity in the Central Paratethys?. *Stratigraphy*, 5, 245-255.
- Magyar, I., Radivojević, D., Sztanó, O., Synak, R., Ujzaszi, K., Pocsik, M. (2013) Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene. *Global and Planetary Change*, 103, 168-173.
- Magyar, I., Krezsek, C., Tari, G. (2019a) Clinofolds as paleogeographic tools: Development of the Danube catchment above the deep Paratethyan basin in Central and Southeast Europe. *Basin Research*, 32, 320-331.
- Magyar, I., Sztanó, O., Sebe, K., Katona, L., Csoma, V., Görög, Á., Tóth, E., Szuromi-Korecz, A., Šujan, M., Braucher, R., Ruzkiczay-Rüdiger, Z., Koroknai, B., Wórum, G., Sant, K., Kelder, N., Krijgsman, W. (2019b) Towards a high-resolution chronostratigraphy and geochronology for the Pannonian Stage: Significance of the Paks cores (Central Pannonian Basin). *Foldtani Kozlony*, 149/4, 351-370.
- Malvić, T., Velić, J. (2011) Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. U: Schattner, U. (ur.) *New Frontiers in Tectonic Research - At the Midst of Plate Convergence*. Zagreb, IntechOpen, str. 215-238.
- Malvić, T., Cvetković, M. (2013) Lithostratigraphic units in the Drava Depression (Croatian and Hungarian parts) – a correlation. *Nafta*, 64 (1), 27-33.
- Mandic, O., Kurečić, T., Neubauer, T.A., Harzhauser, M. (2015) Stratigraphic and palaeogeographic significance of lacustrine molluscs from the Pliocene Viviparus beds in central Croatia. *Geologia Croatica*, 68, 179-207.
- Mansor, S. (2014) Avulsion process: stratigraphic and lithologic records - Application to the Amazon and Zaïre turbidite system, doktorska disertacija, Université de Bretagne occidentale, Brest.
- Marković, S., (1985) *Osnovna geološka karta 1:100 000, list Podravska Slatina L 33–84*. Zagreb, Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.

Márton E., Pavelić D., Tomljenović B., Avanić R., Pamić J., Márton P (2002) In the wake of a counterclockwise rotating Adriatic microplate: Neogene paleomagnetic results from northern Croatia. *International Journal of Earth Sciences*, 91, 514-523.

Matenco, L., Andriessen, P. (2013) Quantifying the mass transfer from mountain ranges to deposition in sedimentary basins: Source to sink studies in the Danube Basin–Black Sea system. *Global and Planetary Change*, 103, 1-18.

Mateša, K. (2022) Usporedba recentnih dravskih sedimenata sa sedimentima dravske riječne terase na lokalitetu Novigrad Podravski, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.

Matoš, B., Vicente Pérez-Peña, J., Tomljenović, B. (2016) Landscape response to recent tectonic deformation in the SW Pannonian Basin: Evidence from DEM-based morphometric analysis of the Bilogora Mt. area, NE Croatia. *Geomorphology*, 263, 132-155.

Mattick, R.E., Rumpler, J., Phillips, R.L. (1985) Seismic stratigraphy of the Pannonian Basin in southeastern Hungary. *Geophysical Transactions*, 31, 13-54.

McClay, K., Bonora, M. (2001) Analog models of restraining stepovers in strike-slip fault systems. *AAPG Bulletin*, 85/2, 233-260.

Measures, C.I., Edmond, J.M. (1983) The geochemical cycle of ^9Be : a reconnaissance. *Earth and Planetary Science Letters*, 66, 101-110.

Miall, A.D. (2006) *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Analysis and Petroleum Geology*. New York, Springer-Verlag.

Mitchum, R.M.J., Vail, P.R. and Sangree, J.B. (1977) Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. U: Payton, C.E., (ur.) *Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration*, the American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, 26, str. 117-133.

Monaghan, M.C., Krishnaswami, S., Turekian, K.K. (1986) The global-average production rate of ^{10}Be . *Earth and Planetary Science Letters*, 76/3-4, 279-287.

Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E. (1991) *Pollen Analysis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

- Morris, J.D.(1991) Applications of 10BE to Problems in the Earth Sciences. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 19, 313-350
- Mutti, E. (1985) Turbidite Systems and Their Relations to Depositional Sequences. U: Zuffa, G.G. (ur.) *Provenance of Arenites*. NATO ASI Series. Dordrecht, Springer, str. 65-93.
- Mutti, E., Normark, W.R. (1991) An Integrated Approach to the Study of Turbidite Systems. U: Weimer, P., Link, M.H. (ur.) *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems*. Frontiers in Sedimentary Geology. New York, Springer, str. 75-106.
- Nemec, W. (1990) Aspects of sediment movement on steep delta slopes. U: Colella, A., Prior, D.B. (ur.) *Coarse-grained Deltas*. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ., 10, str. 29-73.
- Neubauer, T., Harzhauser, M., Kroh, A., Georgopoulou, E., Mandic, O. (2015) A gastropod-based biogeographic scheme for the European Neogene freshwater systems. *Earth Science Reviews*, 143, 98-116.
- Neubauer, T., Harzhauser, M., Kroh, A. (2016) Paleobiogeography and historical biogeography of the non-marine caenogastropod family Melanopsidae. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 444, 124-143.
- Nyíri, D., Tőkés, L., Zadravec, C., László, F. (2021) Early post-rift confined turbidite systems in a supra-detachment basin: Implications for the early to middle Miocene basin evolution and hydrocarbon exploration of the Pannonian Basin. *Global and Planetary Change*, 203, 103500.
- Ožegović, F. (1944) Prilog geologiji mlađeg tercijara na temelju podataka iz novijih dubokih bušotina u Hrvatskoj. *Vjesnik Hrv. drž. geol. zav. zavoda i Hrv. drž. geol. muz.*, 2/3, 391-490.
- Pamić, J. (1995) Tertiary Volcanic Rocks from the Southern Pannonian Basin, Croatia. *International Geology Review*, 37, 259-283.
- Pavelić, D. (1987) Litološke osobine Mosti-člana duboke bušotine Števkovica-11 (Istočna Hrvatska). *Nafta*, 38, 541-545.
- Pavelić, D. (2001) Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. *Basin Research*, 12, 359-376.
- Pavelić, D., Avanić, R., Kovačić, M., Vrsaljko, D., Miknić, M. (2003) Stages in the Evolution of the Miocene North Croatian Basin (Pannonian Basin System). U: Vlahović, I., Tišljarić, J., (ur.) *Evolution of Depositional Environments from the Paleozoic to the Quaternary in the Karst*

Dinarides and the Pannonian Basin. 22nd IAS Meeting of Sedimentology (Opatija, 2003), Field trip Guidebook. Zagreb, International Association of Sedimentologists, str. 155-161.

Pavelić, D. (2005) Cyclicity in the evolution of the Neogene North Croatian basin (Pannonian Basin System). U: Mabesoone, J.M., Neumann, V.H. (ur.) *Cyclic Development of Sedimentary Basins*. Dev. Sedim. Elsevier 57, str. 273-283.

Pavelić, D., Kovačić, M. (2018) Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian basin (Pannonian Basin System, Croatia) A review. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 455-469.

Patrino, S., Hampson G.J., Jackson C.A.-L. (2015) Quantitative characterisation of deltaic and subaqueous clinoforms. *Earth-Science Reviews*, 142, 79-119.

Patrino, S., Helland-Hansen, W. (2018) Clinoforms and clinoform system: Review and dynamic classification scheme for shorelines, subaqueous deltas, shelf edges and continental margins. *Earth-Science Reviews*, 185, 202-233.

Pellegrini, C., Asiolia, A., Bohacs, K. M., Drexler, T. M., Feldman, H. R, Sweet, M. L., Maselli, V., Rovere, M., Gamberi, F., Dalla Valle, G., Tincardi, F. (2018) The late Pleistocene Po River lowstand wedge in the Adriatic Sea: Controls on architecture variability and sediment partitioning. *Marine and Petroleum Geology*, 96, 16-50.

Pellegrini, C., Patrino, S., Helland-Hansen, W., Steel, R. J., Trincardi, F. (2020) Clinoform and clinothems: Fundamental elements of basin infill. *Basin Research*, 32, 187-205.

Pigott J.D., Kang M., Hyun-Chul, H. (2013) First order seismic attributes for clastic seismic facies interpretation: Examples from the East China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*. 66, 34-54.

Pigott, J.D., Radivojević, D. (2010) Seismic Stratigraphy Based Chronostratigraphy (SSBS) of the Serbian Banat Region of the Pannonian Basin. *Central European Journal of Geosciences*, 2/4, 481-500.

Pikija, M., Šikić, K., Tišljarić, J., Hrabak, N. (1993) Miocene formations of the Molve-Kalinovac area (North Croatia). *Nafta*, 44/12, 665-671.

Pletikapić, Ž. (1969) Stratigrafija, paleogeografija i naftnoplinošnost Ivanić-Grad formacije na obodu Moslavačkog masiva, doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Pogácsás, G. (1984) Seismic stratigraphic features of the Neogene Sediments in the Pannonian Basin. *Geophysical transactions*, 30/4, 373-410.

Pogácsás, G, Muller, P., Magyar, I. (1993) The Role of Seismic Stratigraphy in Understanding Biological Evolution in the Pannonian Lake (SE Europe, Late Miocene). *Geologia Croatica*, 46/1, 63-69.

Popescu, S.-M., Dalesme, F., Jouannic, G., Escarguel, G., Head, M.J., Melinte-Dobrinescu, M.C., Sütő-Szentai, M., Bakrač, K., Clauzon G., Suc, J.-P. (2009): Galeacysta etrusca, dinoflagellate cyst marker of Paratethyan influxes into the Mediterranean Sea before and after the peak of the Messinian Salinity Crisis. *Palynology*, 33/2, 105-134.

Popov, S.V., Shcherba I.G., Ilyina L.B., Neveeskaya, L.A., Paramonova N.P., Khondkarian, S.O., Magyar, I. (2006) Late Miocene to Pliocene palaeogeography of the Paratethys and its relation to the Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238/1-4, 91-106.

Porebski, S.J., Steel, R.J. (2003) Shelf-margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands. *Earth-Science Reviews*, 62/3-4, 283-326.

Posamentier HW, Allen GP (1999) *Siliciclastic Sequence Stratigraphy: Concepts and Applications*. Vol. 7, SEPM, USA, Oklahoma, Tulsa.

Posamentier, H.W., Paumard, V., Lang, S.C. (2022) Principles of seismic stratigraphy and seismic geomorphology I: Extracting geologic insights from seismic data. *Earth-Science Reviews*, 228, 103963.

Prelogović, E., Velić, J. (1992) Correlation of Quaternary Sediments and Tectonic Activity of the Eastern Part of the Drava River Depression. *Geologia Croatica*, 45, 151-162.

Prelogović, E., Saftić, B., Kuk, V., Velić, J., Dragaš, M., Lučić, D. (1998) Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. *Tectonophysics*, 297, 283-293.

Radić, J., Hrnčić, Lj. (1979) Rezultati istraživanja i perspektive naftnoplinočnosti Dravske potoline. Zbornik radova 3. god. naučnog skupa 1. sekcije ZSN JAZU (Novi Sad 1977.), 2, 333-350.

Radivojević, D. (2014) Regional geological characteristic of Miocene sediments in northern Banat region, doktorski rad, Sveučilište u Beogradu. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

- Radivojević, D., Radonjić, M., Katona, L.T., Magyar, I. (2022) Against the tide: southeast to northwest shelf-edge progradation in the southeastern margin of Lake Pannon, Banat (Serbia and Romania). *International Journal of Earth Sciences*, 111, 1551-1671.
- Rádlér, B., Saghy, Gy., Ujfalussy, A., Varga, I. (1978) Seismic exploration of unconformably dipping Neogene sediments. *Magyar Geofizika*, 19, 201-206.
- Rasmussen, E.S., Dykkjaer, K. (2014) Patterns of Cenozoic sediment flux from western Scandinavia: Discussion. *Basin Research*, 26, 338-346.
- Rasmussen, E., Dybkjaer, K. (2005) Sequence stratigraphy of the Upper Oligocene–Lower Miocene of eastern Jylland, Denmark: role of structural relief and variable sediment supply in controlling sequence development. *Sedimentology*, 52, 25-63.
- Rich, J.L. (1951) Three critical environments of deposition and criteria for recognition of rocks deposited in each of them. *GSA Bulletin*, 62, 1-20.
- Rider, M. (2002) *The geological interpretation of well logs, Second Edition*. Rider-French Consulting Ltd, 280.
- Röhnert A.D. (2016) Geometry and sedimentary facies of low-angle clinoforms, Edgeøya, Svalbard, diplomski rad, University of Oslo, Faculty of Mathematics and Natural Sciences.
- Rosenberg, C., Schneider, S., Scharf, A., Bertrandd, A., Hammerschmidt, K., Rabaute, A., Brun, J.P. (2018) Relating collisional kinematics to exhumation processes in the Eastern Alps. *Earth-Science Reviews*, 176, 311-344.
- Rögl, F. (1996) Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, 41, 65-73.
- Rukavina, D. (2021) Riftne tektonostratigrafske sekvencije donjeg i srednjeg miocena u istočnom dijelu Dravske depresije: primjena za procjenu potencijala geološkog uskladištenja ugljikovog dioksida, doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Ryan, J.G. (2002) Trace-Element Systematics of Beryllium in Terrestrial Materials. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 50/1, 121-145.
- Sacchi, M., Horváth, F. (2002) Towards a new time scale for the Upper Miocene continental series of the Pannonian basin (Central Paratethys). U: Cloetingh, S.A.P.L., Horváth, F., Bada, G., Lankreijer, A.C. (ur.), *Neotectonics and Surface Processes: The Pannonian Basin and*

Alpine/Carpathian System. European Geoscience Union, Stephan Mueller Special Publication Series 3, str. 79-94.

Sacchi, M., Horváth, F., Magyari, O. (1999) Role of unconformity-bounded units in the stratigraphy of the continental record: a case study from the Late Miocene of the western Pannonian Basin, Hungary. U: Durand, B., Jolivet, L., Horvát, F., Séranne, M. (ur.) *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications, 156, str. 357-390.

Saftić, B. (1998) Genetska stratigrafska sekvencijska analiza u pontskim naslagama zapadnog dijela Savske depresije, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni-fakultet, Zagreb.

Saftić, B., Velić, J., Sztanó, O., Juhász, G., Ivković, Ž. (2003) Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary). *Geologia Croatica*, 56/1, 101-122.

Soutter E.L., Bell D., Cumberpatch Z.A., Ferguson R.A., Sychala Y.T., Kane I.A., Eggenhuisen J.T. (2021) The Influence of Confining Topography Orientation on Experimental Turbidity Currents and Geological Implications. *Frontiers in Earth Science*, 8.

Schattner, U, José Lobo, F, López-Quirós, A, dos Passos Nascimento, JL, de Mahiques, MM. (2019) What feeds shelf-edge clinoforms over margins deprived of adjacent land sources? An example from southeastern Brazil. *Basin Research*, 2, 293-301.

Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fugenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K. (2008) The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 139-183.

Schmid S. M., Fügenschuh B., Kounov A., Maţenco L., Nievergelt P., Oberhänsli P. N., Pleuger J., Schefer S., Schuster S., Tomljenović B., Ustaszewski K., Hinsbergen, D. J.J. v. H. (2020) Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research*, 78, 308-374.

Sebe K (2021) Structural features in the Miocene sediments of the Pécs-Danitzpuszta sand pit (SW Hungary). *Földtani Közlöny*, 151/4, 411-422.

- Sebe, K., Piroska, P., Gasparik, M. (2015) Uplift history of the Villány Hills (SW Hungary) based on paleontological data. EGU General Assembly. Geophysical Research Abstracts 17.
- Sebe K, Kovačić M, Magyar I, Krizmanić K, Špelić M, Bigunac D, Sütő-Szentai M, Kovács A, Szuromi-Korecz A, Bakrač K, Hajek-Tadesse V, Troškot-Čorbić T, Sztanó O (2020) Correlation of upper Miocene–Pliocene Lake Pannon deposits across the Drava Basin, Croatia and Hungary. *Geologia Croatica*, 73/3, 177-195.
- Sinclair H.D., Tomasso, M. (2002) Depositional Evolution of Confined Turbidite Basins. *Journal of Sedimentary Research*, 72/4, 451-456.
- Sloss, L.L., Krumbein, W.C., Dapples, E.C. (1949) Integrated facies analysis. U: Longwell, C.R. (ur.), *Sedimentary Facies in Geologic History. Geological Society of America Special Paper 39*, 91-124.
- Sokač, A. (1972) Pannonian and Pontian ostracode fauna of Medvednica. *Pal. Jugoslav*, 11, 1-140.
- Sokač, A. (1989) Pontian Ostracod fauna in the Pannonian basin. V *Chronostratigraphie und Neostatotypen, Pliozan, Pontien*, bd. VIII, Jugosl. Akad. D. Wissen. Und Kunste, 672-700.
- Stephenson, M.H., Ringrose, P., Geiger, S., Bridden, M., Schofield, D. (2019) Geoscience and decarbonization: current status and future directions. *Petroleum Geoscience*, 25/4, 501-508.
- Stevanović, P. M. (1951) Pontische Stufe im engeren Sinne – Obere Congerenschichten Serbiens und der angrenzenden Gebiete.– *Serbische Akademie der Wissenschaften, Sonderausgabe, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, 2, Beograd, 187, 1-351.
- Stevanović, P., Nevesskaja, L.A., Marinescu, F., Sokač, A., Jambor, A. (1989) *Chronostratigraphie und Neostatotypen Neogen des Westlichen (Zentrales) Paratethys. VIII : Pontien. Jazu-Sanu, Zagreb-Beograd.*
- Sztanó, O., Magyar, I. (2007) Deltaic Parasequences on Gamma Logs, Ultra-high Resolution Seismic Images and Outcrops of Lake Pannon Deposits. *Joannea Geologie und Paläontologie*, 9, 105-108.
- Sztanó, O., Szafian, P., Magyar, I., Horanyi, A., Bada, G., Hughes, D.W., Hoyer, D., Wallis, R.J. (2013a) Aggradation and progradation controlled clinothems and deep-water sand delivery

model in the Neogene lake pannon, Makó Trough, Pannonian Basin, SE Hungary. *Global and Planetary Change*, 103, 149-167.

Sztanó O, Magyar I, Szónoky M, Lantos M. Müller P, Lenkey L, Katona L, Csillag G (2013b) Tihany Formation in the surroundings of Lake Balaton: type locality, depositional setting and stratigraphy. *Földtani Közölyny*, 143 (1), 73-98.

Sztanó, O., Kovač, M., Magyar, I., Šujan, M., Fodor, L., Uhrin, A., Rybar, S., Csillag, G., Tokes, L. (2016) Late Miocene sedimentary record of the Danube/Kisalföld Basin: Interregional correlation of depositional systems, stratigraphy and structural evolution. *Geologica Carpathica*, 67/6, 525-542.

Sztanó, O., Magyar, I., Katona, L. (2020) A Pannon-tó és a Balaton. U: Babinszki, E., Horváth, F. (ur.) *A Balaton kutatása Lóczy Lajos nyomdokán. Magyarhoni Földtani Társulat*, 107-126.

Šikić, K., Basch, O., Šimunić, A. (1979) *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zagreb L33-80*. Zagreb, Institut za geološka istraživanja, Beograd, Savezni geološki zavod.

Šimičević, F. (2018) Analiza seizmičkih atributa primijenjenih u strukturnoj interpretaciji trodimenzionalnih seizmičkih podataka na primjeru naftnog polja Ježevo, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Šimon, J. (1973) O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. *Nafta*, 12, 623-630.

Šimon, J., Batušić, V. (1974) O litostratigrafskom stupu naftnog polja Beničanci. Zbornik radova 1 god. znanstvenog skupa 1 sekcije ZSN JAZU (Opatija 1973), 75-89.

Šimon, J. (1980) Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješćanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni-fakultet, Zagreb.

Šujan, M., Braucher, R., Tibenský, M., Fordinál, K., Rybár, S., Kováč, M., AsterTeam (2019) Effects of spatially variable accommodation rate on channel belt distribution in an alluvial sequence: Authigenic $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ -based Bayesian age-depth models applied to the upper Miocene Volkovce Fm. (northern Pannonian Basin System, Slovakia). *Sedimentary Geology*, 397, 105566.

Šujan, M., Braucher, R., Kovač, M., Bourles, D.L., Rybar, S., Goillou, V., Hudačkova, N. (2016) Application of the authigenic $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ dating method to Late Miocene–Pliocene sequences in the northern Danube Basin (Pannonian Basin System) Confirmation of heterochronous evolution of sedimentary environments. *Global and Planetary Change*, 137, 5-53.

Šujan, M., Aherwar, K., Vojtko, R., Šarinová, K., Chyba, A., Hók, J., Grizelj, A., Pipík, R., Lalinská - Voleková, B., Rózsová, B., Aumaître, G. (2022) Long-Lived Lake and its Regression in an Isolated Intermontane Basin Dated by Authigenic $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$: The Late Miocene Lake Turiec in the Western Carpathians (u postupku recenzije).

Šumanovac, F. (2012) *Osnove geofizičkih istraživanja*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Špelić, M., Kovács, A., Saftić, B., Sztanó, O. (2023) Competition of deltaic feeder systems reflected by slope progradation: a high-resolution example from the Late Miocene-Pliocene, Drava Basin, Croatia. *International Journal of Earth Science (Geol Rundsch)*.

ter Borgh, M., Vasiliev, I., Stoica, M., Knežević, S., Maženco, L., Krijgsman, W., Rundić, L., Cloetingh, S. (2013) The isolation of the Pannonian basin (Central Paratethys): new constraints from magnetostratigraphy and biostratigraphy. *Global and Planetary Change*, 103, 99-118.

Thota, S.T., Islam, M.A., Shalaby, M.R. (2022) A 3D geological model of a structurally complex relationships of sedimentary Facies and Petrophysical Parameters for the late Miocene Mount Messenger Formation in the Kaimiro-Ngatoro field, Taranaki Basin, New Zealand. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 12, 1147-1182.

Tesch, P., Reece, S.R., Markello, R.J., Carlos Laya, J., Pope, C.M. (2019) Adding the missing third and fourth dimensions to trajectory analysis in carbonate systems. *Basin Research*, 32, 388-401.

Tišljar J. (2004) *Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina*. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Tomljenović, B., Csontos, L. (2001) Neogene-quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac basins, Croatia). *International Journal of Earth Sciences*, 90, 560-578.

Tomonaga, Y., Brennwald, M.S., Livingstone, D.M., Kwiecien, O., Randlett, M., Stockhecke, M., Unwin, K., Anselmetti, F.S., Beer, J., Haug, G.H., Schubert, C.J., Sturm, M., Kipfer, R. (2017) Porewater salinity reveals past lake-level changes in Lake Van, the Earth's largest soda lake, *Scientific Reports*, 7.

Tőkés L., Bartha, I.R., Silye, L., Krézsek, C., Sztanó, O. (2021) Multiple-scale incision-infill cycles in deep-water channels from the lacustrine Transylvanian Basin, Romania: Auto- or allogenic controls? *Global and Planetary Change*, 202, 103511.

Törő, B., Sztanó, O., Fodor, L. (2012) Inherited and syndepositional structural control on the evolution of the slope of Lake Pannon, Northern Somogy, Hungary. *Földtani Kozlony*, 142, 339-356.

Troskot-Čorbić, T., Velić, J., Malvić, T. (2009) Comparison between the Middle Miocene and the Upper Miocene source rock formations in the Sava Depression (Pannonian Basin, Croatia). *Geologia Croatica*, 62/2, 123-133.

Turajlić, V., Mateljak, M., Dević, T. (1979) Usporedni prikaz i problematika razrade ležišta naftnih polja Beničanci, Obod i Ladislavci – Kučanci. Zbornik radova 3.god. naučnog skupala sekcije ZSN JAZU (Novi Sad 1979), 2, 643-658.

Tyson, R.V. (1995) *Sedimentary Organic Matter: Organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall, London.

Uhrin, A., Magyar, I., Sztanó, O. (2009) Control of the Late Neogene (Pannonian s.l.) sedimentation by basement deformation in the Zala Basin. *Földtani Közlöny*, 193/3, 273-282.

Uhrin, A., Sztanó, O. (2012) Water-level changes and their effect on deepwater sand accumulation in a lacustrine system: A case study from the Late Miocene of western Pannonian Basin, Hungary. *International Journal of Earth Sciences*, 101, 1427-1440.

Ustaszewski, K., Kounov, A., Schmid, S.M., Schaltegger, U., Krenn, E.F.W., Fügen-Schuh, B., (2010) Evolution of the Adria–Europe plate boundary in the northern Dinarides: from continent–continent collision to back-arc extension. *Tectonics*, 29, 1-34.

Utescher, T., Erdei, B., Hably, L., Mosbrugge, V. (2017) Late Miocene vegetation of the Pannonian Basin. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 467, 131-148.

Vail, P.R., Mitchum, R.M., Todd, R.G., Widmer, J.M., Thompson, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N., Hatfield, W.G. (1977) Seismic Stratigraphy: Application to Hydrocarbon Exploration. *AAPG-Memoir No.*, 26, 49-212.

Vakarcs, G., Vail, P.R., Tari, G., Pogácsás, Gy., Mattick, R.E., Szaboâ, A. (1994) Third-order Middle Miocene-Early Pliocene depositional sequences in the prograding delta complex of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 240, 81-106.

van Baak, C.G.C., Krijgsman, W., Magyar, I., Szatno, O., Golovina, L.A., Grothe, A., Hoyle, T.M., Mandic, O., Patina, I.S., Popov, S.V., Radionova, E.P., Stoica, M., Vasiliev, I. (2017) Paratethys response to the Messinian salinity crisis. *Earth-Science Reviews*, 172, 193-223.

van der Meulen, A.,J., García-Paredes, I., Álvarez-Sierra, M. Á. van den Hoek Ostende, L.W., Hordijk, K., Oliver, A., López-Guerrero, P., Hernández-Ballarín, V., Peláez-Campomanes, P. (2011) Biostratigraphy or biochronology? Lessons from the Early and Middle Miocene small Mammal Events in Europe Biostratigraphie ou biochronologie ? Leçons des événements à petits mammifères du Miocène inférieur et moyen en Europe. *Geobis*, 44, 2-3.

van Leeuwen, C.H.A., Huig, N., van der Valde, G., van Alen, T.A., Wagemaker, C.A.M., Sherman, C.D.H., Klaassen, M., Figuerola, J. (2013) How did this snail get here? Several dispersal vectors inferred for an aquatic invasive species. *Freshwater Biology*, 58/1, 88-99.

van Leeuwen, C.H.A., van der Valde, G., (2012) Prerequisites for flying snails: external transport potential of aquatic snails by waterbirds. *Freshwater Science*, 31/3, 963-972.

Vandenberghe, J. (2003) Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas. *Quaternary Science Reviews*, 22/20, 2053-2060.

Vasiliev, I., Bakrač, K., Marijan, K., Aziz, A., Krijgsman, W. (2007) Paleomagnetic results from the Sarmatian/Pannonian boundary in north-eastern Croatia (Vranović section; Našice quarry). *Geologia Croatica*, 2, 15-163.

Vasiliev, I., Reichart, G.-J., Davies, G. R., Krijgsman, W., & Stoica, M. (2010) Strontium isotope ratios of the Eastern Paratethys during the Mio-Pliocene transition; implications for interbasinal connectivity. *Earth and Planetary Science Letters*, 292, 123-131.

Vasiliev, I., Stoica, M., Grothe, A., Lazarev, S., Palcu, D. V., van Baak, C., De Leeue, A., Sangiorgi, F., Reichart, G.H., Davies, G.R., Krijgsman W. (2021) Hydrological changes in

restricted basins: Insights from strontium isotopes on late Miocene-Pliocene connectivity of the Eastern Paratethys (Dacian Basin, Romania). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22, e2020GC009369.

Veeken, P.C.H. (2007) Seismic stratigraphy, basin analysis and reservoir characterisation. Elsevier, Amsterdam. Velić, J., Weisser, M., Saftić, B., Vrbanac, B., Ivković, Ž. (2002) Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacycles in the Croatian part of the Pannonian basin. *Nafta*, 53, 6-7.

Velić J., Malvić T., Cvetković M., Vrbanac, B. (2012) Reservoir geology, hydrocarbon reserves and production in the Croatian part of the Pannonian Basin System. *Geologia Croatica*, 65/1, 91-101.

Vrbanac, B., Šimon, J., HERNITZ, Z. (2000) Northern Croatia during the Upper Pannonian-shallow or deepwater depositional basin? U: Vlahović, I., Biondić, R. 2. *Hrvatski geološki kongres* (Cavtat, 2000)– Zbornik radova, Zagreb, str. 469-474.

Vrbanac, B. (2001) Prilog raspravi o stratigrafskom klasifikacijskom sustavu i značaju EK-markera u Savskoj potolini (R. Hrvatska). *Nafta*, 53/2, 65-70.

Vrbanac, B. (2002a) Chronohorizons Based on Resistivity Curve Variations - Upper Miocene Sediments of the Ivanić Grad Formation in the Sava Depression (NW Croatia). *Geologia Croatica*, 55/1, 11-23.

Vrbanac, B. (2002b) Facies and Facies Architecture of the Ivanić Grad Formation (Upper Pannonian) - Sava Depression, NW Croatia. *Geologia Croatica*, 55/1, 57-77.

Vrbanac, B., Velić, J., Malvić, T. (2010) Sedimentation of deep-water turbidites in the SW part of the Pannonian Basin. *Geologica Carpathica*, 61/1, 55-69.

Vrsaljko, D. (1999) The Pannonian Palaeoecology and Biostratigraphy of Molluscs from Kostanjek - Medvednica Mt., Croatia. *Geologia Croatica*, 52/1, 9-27.

Vrsaljko, D. (2003) Biostratigrafija miocenskih naslaga Žumberačkog i Samoborskog Gorja na temelju Mekušaca, doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu. Prirodoslovno matematički fakultet. Zagreb.

- Vukovski, M. (2019) Strukturna analiza mezozojskih i kenozojskih deformacijskih struktura na području zapadnog Papuka, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Vulama, I. (1994) Source Rock Potential of the Eastern Drava Depression and Some Other Source Rock Localities in Croatia as Evaluated From Well Log Data. *Geologia Croatica*, 47/2, 205-214.
- Wacha, L., Matoš, B., Lužar-Oberiter, B., Tomljenović, B., Banak, A. (2018) First post-IR IRSL dating results of Quaternary deposits from Bilogora (NE Croatia): Implications for the Pleistocene relative uplift and incision rates in the area. *Quaternary International*, 494/20, 193-210.
- Walsh, J.P., Nittrouer, C.A., Palinkas, C.M., Ogston, A.S., Sternberg, R.W., Brunskill, G.J. (2004) Clinoform mechanics in the Gulf of Papua, New Guinea. *Continental Shelf Research*, 24/19, 2487-2510.
- Weissmann, G.S., Mount, J.F. Fogg, G.E. (2002) Glacially driven cycles in accumulation space and sequence stratigraphy of a stream-dominated alluvial fan, San Joaquin Valley, California, USA. *Journal of Sediment Research*, 72/2, 240-251.
- Wernicke, G. (1985) Uniform sense simple shear of continental lithosphere. *Canadian Journal of Earth Science*, 22, 108-125.
- Wheeler, H.E., (1958) Time Stratigraphy. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*: 42/5, 1047-1063.
- Wheeler, H.E., (1964) Baselevel, Lithosphere Surface, and Time-Stratigraphy. *Geological Society of America Bulletin*, 75, 7, 599-610.
- Willenbring, J. K., von Blanckenburg, F. (2010) Meteoric cosmogenic beryllium-10 adsorbed to river sediment and soil: applications for Earth-surface dynamics. *Earth Science Reviews*, 98, 105-122.
- Wittmann, H., von Blanckenburg, F., Bouchez, J., Dannhaus, N., Naumann, R., Christl, M., Gaillardet, J. (2012) The dependence of meteoric ^{10}Be concentrations on particle size in Amazon River bed sediment and the extraction of reactive $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ ratios. *Chemical Geology*, 318/319, 126-138.

Wortel, M.J.R., Spakman, W. (2000) Subduction and slab detachment in the Mediterranean–Carpathian region. *Science*, 209, 1910-1917.

Yang, T., Cao, Y., Liu, K., Tian, J., Zavala, C., Wang, Y. (2020) Gravity-flow deposits caused by different initiation processes in a deep-lake system. *AAPG Bulletin*, 104/7, 1463-1499.

Yilmaz, Ö. (2001) *Seismic data analysis, Volume 1*. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 2065.

Zavala, C., Arcuri, M., Blanco Valiente, L. (2012): The importance of plant remains as diagnostic criteria for the recognition of ancient hyperpycnites. *Revue de Paléobiologie*, 11, 457-469.

Zavala, C. (2020) Hyperpycnal (over density) flows and deposits. *Journal of Paleogeography*, 9/17, 2-21.

Zavala, C., Arcuri, M. (2016) Intrabasinal and extrabasinal turbidites: Origin and distinctive characteristics. *Sedimentary Geology*, 337, 36-54.

Zavala C., Liu H., Li, X., Arcuri, M., Di Meglio, M., Zorzano, A., Otharán, G., Hao, B., Wang, Y. (2022) Lacustrine sequence stratigraphy: New insights from the study of the Yanchang Formation (Middle-Late Triassic), Ordos Basin, China. U: Renchao, Y., van Loon, A.J. (ur.) *The Ordos Basin, Sedimentological Research for Hydrocarbons Exploration*, 1st Edition. Elsevier.

9.2 Stručna dokumentacija

Aherwar, K. (2022) Calibration of the authigenic $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ dating for geochronological models of the upper Miocene-Pliocene sequences in the northern Carpathian-Pannonian basins: Methodology and preliminary results, Bratislava: Comenius University, Faculty of Natural Sciences. Izvješće.

Avanić, R., Pavelić, D., Kovačić, M. (1995) Građa površinskih ekvivalenata formacija Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje, Zagreb: Hrvatski geološki institut. Izvješće,

Baranyi, V. (2020) Palinološke analize uzoraka iz dubokih jezgara Dravske depresije (za potrebe doktorata M. Špelića). Zagreb: Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju. Izvješće.

- Baranyi, V. (2022) Palinofacijes i palinološke analize uzoraka iz dubokih jezgara Dravske depresije, 2. dio, (DM, GV, BRZ, PP, SJ), (za potrebe doktoranda M. Špelića). Zagreb: Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju. Izvješće.
- Jurković, A. (1960a) Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Podravska Slatina-2. Zagreb: INA Naftaplin. Izvještaj.
- Jurković, A. (1960b) Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Donji Miholjac-1. Zagreb: INA Naftaplin. Izvještaj.
- Hrabak, N. (1975) Geološki izvještaj duboke bušotine Čađavica-1 (Čđ-1). Zagreb: INA Naftaplin. Izvještaj.
- Ilijanić, N., Višnjić, D. & Trausmiller, M. (1974) Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Magadenovac-1 (Mag-1). Zagreb: INA Naftaplin. Izvještaj.
- Lucić, M. (1962) Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Podravska Slatina-4 (Ps-4). Zagreb: INA Naftaplin. Izvještaj.
- Rasmussen, E.S., Vangkilde-Pedersen, T., Scharling, P. (2008) Prediction of reservoir sand in Miocene deltaic deposits in Denmark based on high-resolution seismic data. Copenhagen: Geological Survey of Denmark and Greenland. Izvješće.
- Šimon, J. (1963) Litostratigrafske jedinice polja Ivanić-Grad. Zagreb: INA-Naftaplin. Fond struč. dok. Izvješće.
- Šurić, I., Miknić, S., Weisser, M., Vlašić, I. (1985) Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Sječce-2 (Sj-2). Zagreb: INA Naftaplin. Izvještaj.
- Trogljić, S., Dragičević, N. & Majer, E. (1985) Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Podravska Slatina-5 (PS-5).
- Van Bommel, P., Pepper, R. (2000) Seismic signal processing method and apparatus for generating a cube of variance values. Patent US06151555.
- Višnjić, D., Vican, P., Diel, M. & Cizelj, I. (1973) Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Marjanci-1. Zagreb: INA Naftaplin. Izvještaj.

ŽIVOTOPIS

Marko Špelić rođen je 3. veljače 1991. godine u Zagrebu. Osnovnu školu pohađao je u Graberju Ivaničkom, a 2009. godine maturirao je smjer Tehničar za električne strojeve s primijenjenim računalstvom u Srednjoj školi 'Ivan Švear' u Ivanić-Gradu. Iste godine upisao je studij Geologije na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu.

Preddiplomski studij Geologije završava 2012. godine. pod mentorstvom prof. dr. sc. Sibile Borojević Šoštarić. Diplomski studij smjer Geologija mineralnih sirovina i geofizička istraživanja završava s temom Petrografske značajke slabo vezanih sedimenata neogenske starosti područja zapadnih i jugozapadnih obronaka Moslavačke gore, pod mentorstvom prof. dr. sc. Josipe Velić prof. emerita te neposrednim vodstvom izv. prof. dr. sc. Marka Cvetkovića. Poslijediplomski studij Geologije upisao je 2016. godine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom 2019. godine dva mjeseca provodi na stipendijskom boravku pri Eötvös Loránd University u Mađarskoj, pod mentorstvom izv. prof. dr. Orsolye Sztanó.

Od 2015. do 2016. godine volontira i radi na geološko-paleontološkom odjelu Hrvatskog Prirodoslovnog muzeja. Na Zavodu za geologiju pri Hrvatskom geološkom institutu zaposlen je od 2016. godine, a od prosinca 2020. godine prelazi na radno mjesto višeg stručnog suradnika. Bavi se istraživanjima sedimentnih bazena na temelju bušotinske i seizmičke interpretacije i geološkim kartiranjem. Na zavodu je sudjelovao i koordinirao grupe istraživača na nizu stručnih i znanstvenih projekata, tipa HRZZ i Horizon2020.

Sudjelovao je na domaćim i međunarodnim skupovima iz područja geologije. Član je Hrvatskog geološkog društva (HGD) i Međunarodne udruge sedimentologa (IAS).

Znanstveni radovi s međunarodnom recenzijom

Špelić, M., Kovács, A., Saftić, B., Sztanó O. (2023) Competition of deltaic feeder systems reflected by slope progradation: a high-resolution example from the Late Miocene-Pliocene, Drava Basin, Croatia. *International Journal of Earth Sciences*, 112, 1023-1041.

Henriquet, M., Kordić, B., Lasserre, C., Baize, S., Benedetti, L., **Špelić, M.**, Vukovski, M., Métois, M. (2022) Rapid remeasure of dense civilian networks as a game-changer tool for surface deformation monitoring: the case study of the Mw 6.4 2020 Petrinja earthquake, Croatia. *Geophysical Research Letters*, 49/24, e2022GL100166.

Baize, S., Amoroso, S., Belić, N., Benedetti, L., Boncio, P., Budić, M., Cinti, F., Henriquet, M., Jamšek Rupnik, P., Kordić, B., Markušić, S., Minarelli, L., Pantosti, D., Pucci, S., Špelić, M., Testa, A., Valkaniotis, S., Vukovski, M., Atanackov, J., Barbača, J., Bavec, M., Brajkovič, R., Brčić, V., Caciagli, M., Celarc, B., Civico, R., De Martini, P., Filjak, R., Iezzi, F., Moulin, A., Kurečić, T., Métois, M., Nappi, R., Novak, A., Novak, M., Pace, B., Palenik, D. & Ricci, T. (2022) Environmental effects and seismogenic source characterization of the December 2020 earthquake sequence near Petrinja, Croatia. *Geophysical Journal International*, 230/2, 1394-1418.

Pollak, D., Gulam, V., Novosel, T., Avanić, R., Tomljenović, B., Hećej, N., Terzić, J., Stipčević, J., Bačić, M., Kurečić, T., Dolić, M., Bostjančić, I., Wacha, L., Kosović, I., Budić, M., Vukovski, M., Belić, N., Špelić, M., Brčić, V., Barbača, J., Kordić, B., Palenik, D., Filjak, R., Frangen, T., Pavić, M., Urumović, K., Sečanj, M., Matoš, B., Govorčin, M., Kovačević, M. & Librić, L. (2021) The preliminary inventory of coseismic ground failures related to December 2020 – January 2021 Petrinja earthquake series. *Geologia Croatica*, 74/2, 189-208.

Cvetković, M., Kapuralić, J., Pejić, M., Kolenković Močilac, I., Rukavina, D., Smirčić, D., Kamenski, A., Matoš, B., Špelić, M. (2021) Soil Gas Measurements of Radon, CO₂ and Hydrocarbon Concentrations as Indicators of Subsurface Hydrocarbon Accumulation and Hydrocarbon Seepage. *Sustainability*, 13/7, 3840, 16.

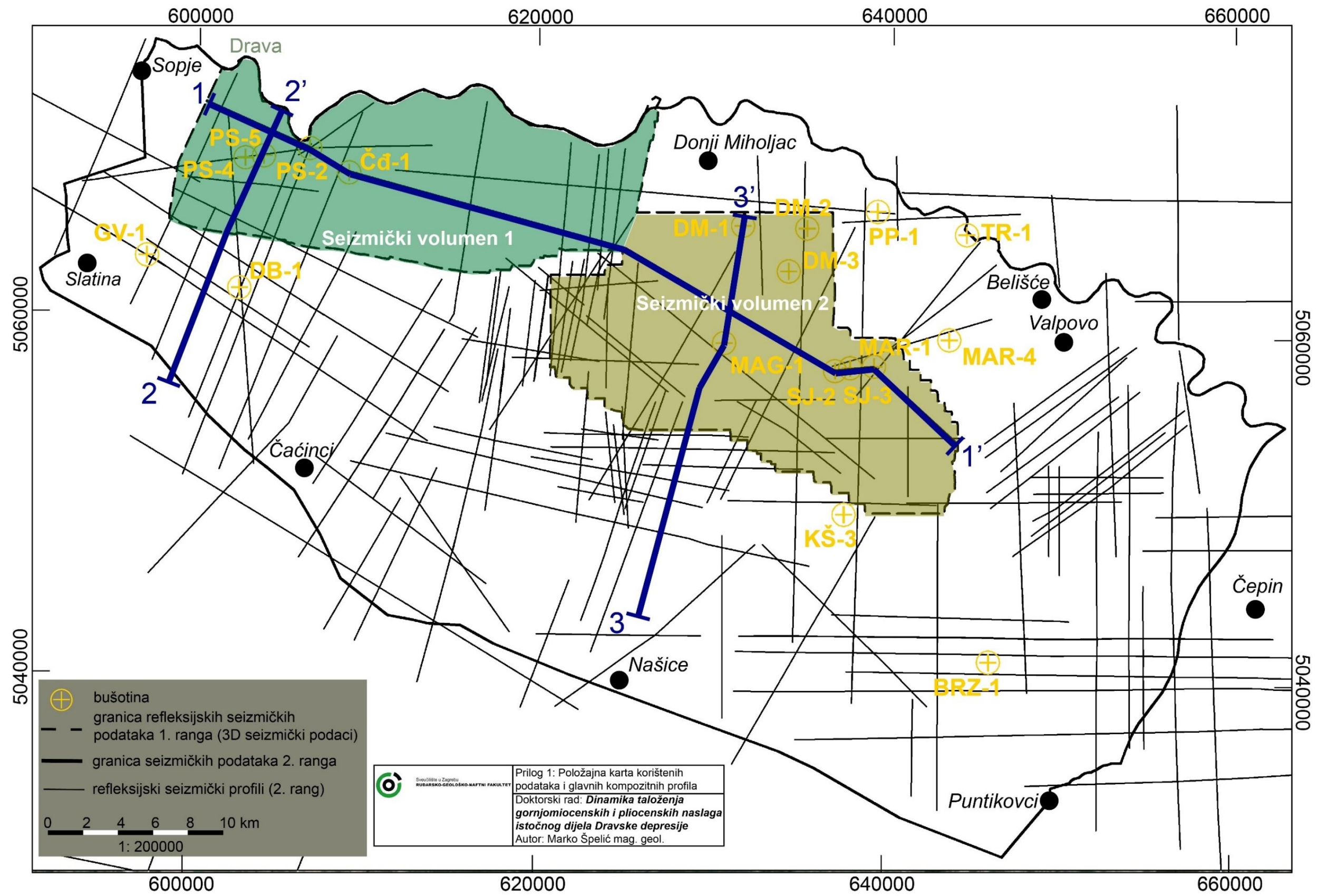
Špelić, M., Del Ben, A., Petrinjak, K. (2021) Structural setting and geodynamics of the Kvarner area (Northern Adriatic). *Marine and Petroleum Geology*, 125.

Kovács, Á., Balázs, A., Špelić, M., Sztanó, O. (2021) Forced or normal regression signals in a lacustrine basin? Insights from 3D stratigraphic forward modeling in the SW Pannonian Basin. *Global and Planetary Change*, 196, 103376, 16.


Sebe, K., Kovačić, M., Magyar, I., Krizmanić, K., Špelić, M., Bigunac, D., Sütő-Szentai, M., Kovács, A., Szuromi-Korec, A., Bakrač, K., Hajek-Tadesse, V., Troškot-Čorbić T., Sztanó, O. (2020) Correlation of upper Miocene–Pliocene Lake Pannon deposits across the Drava Basin, Croatia and Hungary. *Geologia Croatica*, 73/3, 177-195.

Špelić, M., Malvić, T., Saraf, V., Zalović, M. (2016) Remapping of depth of e-log markers between Neogene basement and Lower/Upper Pannonian border in the Bjelovar Subdepression. *Journal of Maps*, 12/1, 45-52.

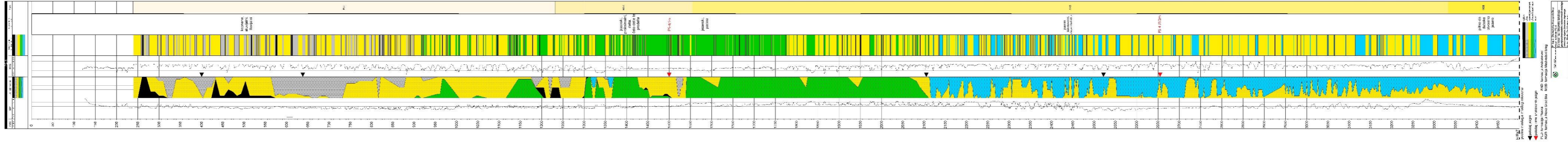
PRILOZI

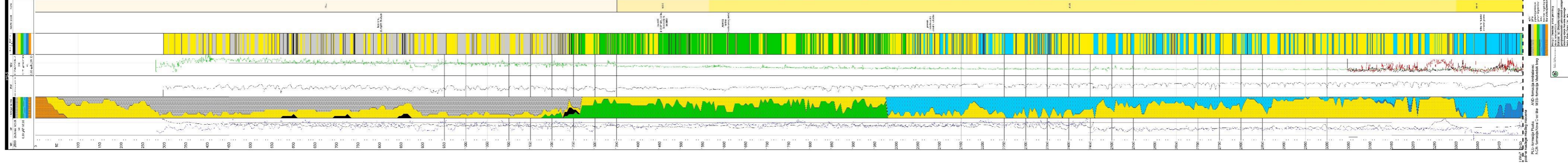


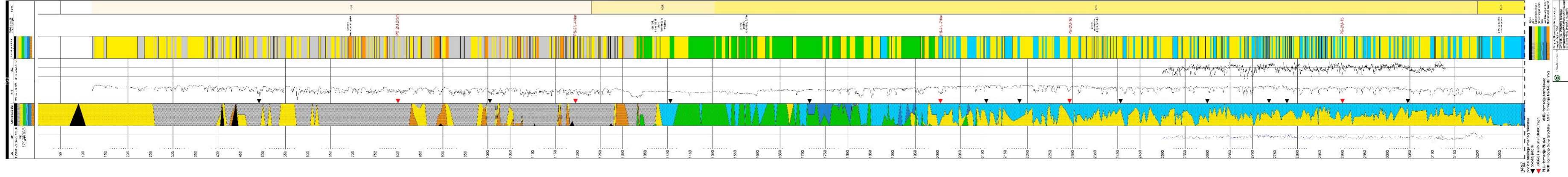
- ⊕ bušotina
 - - - granica refleksijskih seizmičkih podataka 1. ranga (3D seizmički podaci)
 - granica seizmičkih podataka 2. ranga
 - refleksijski seizmički profili (2. rang)
- 0 2 4 6 8 10 km
1: 200000

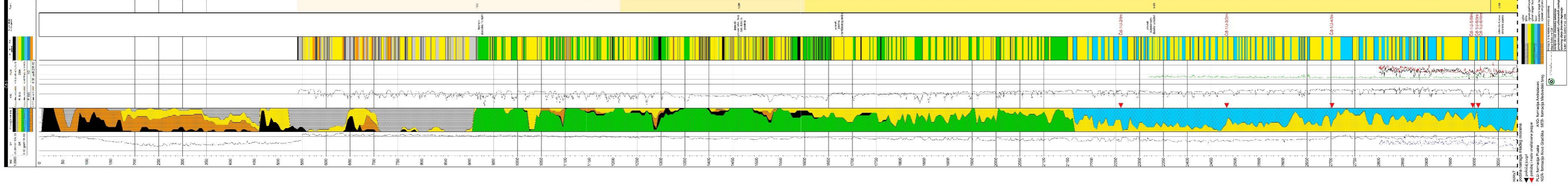

 Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO-GEOLŠKO-NAFTNI FAKULTET

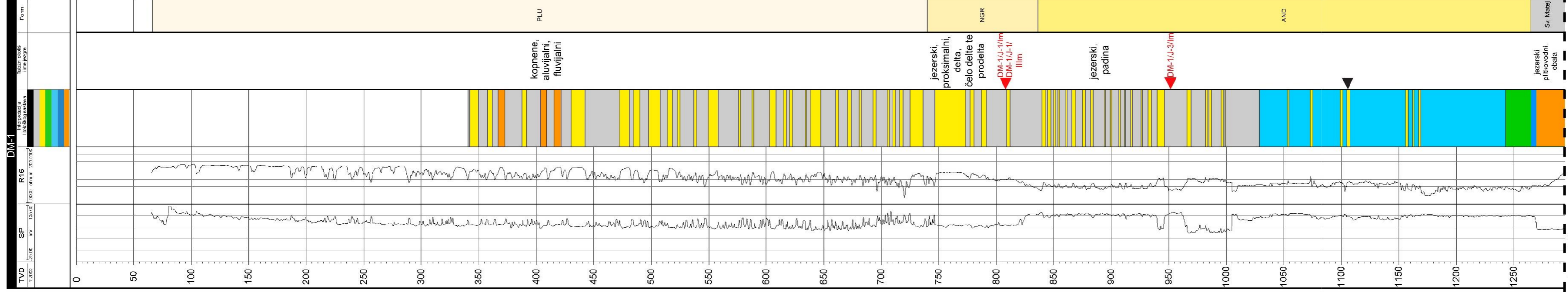
Prilog 1: Položajna karta korištenih podataka i glavnih kompozitnih profila
 Doktorski rad: *Dinamika taloženja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga istočnog dijela Dravske depresije*
 Autor: Marko Špelić mag. geol.











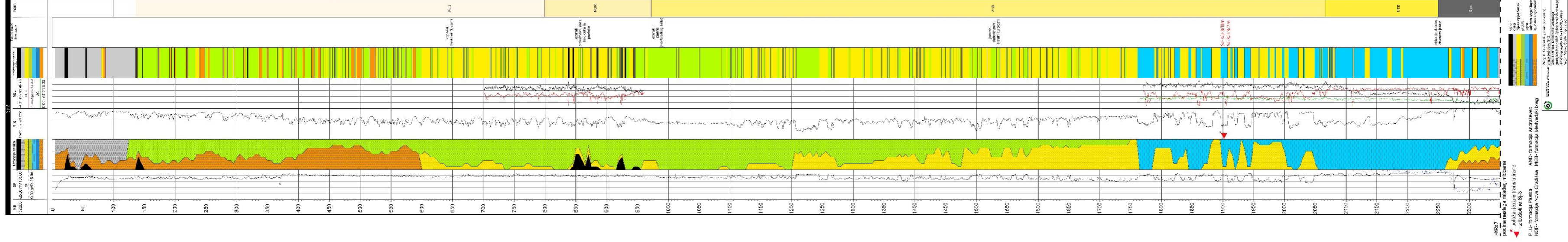
H/Rs7
 podina naslaga mladeg mioцена pirocena
 položaj jezgre
 položaj i ime analiziranih jezgri
 PLU- formacija Pluska
 NGR- formacija Nova Gradiška
 AND- formacija Andraševac
 Sv. Matej- član Sveti Matej
 unutar člana Croatia
 formacije Medvedski breg

jezgerski pilitovodni, obala
 jezgerski, padina

ugljen
 glina
 pijesak
 plinovit bogat lapor
 lapor
 kalcitom bogat lapor
 konglomerat

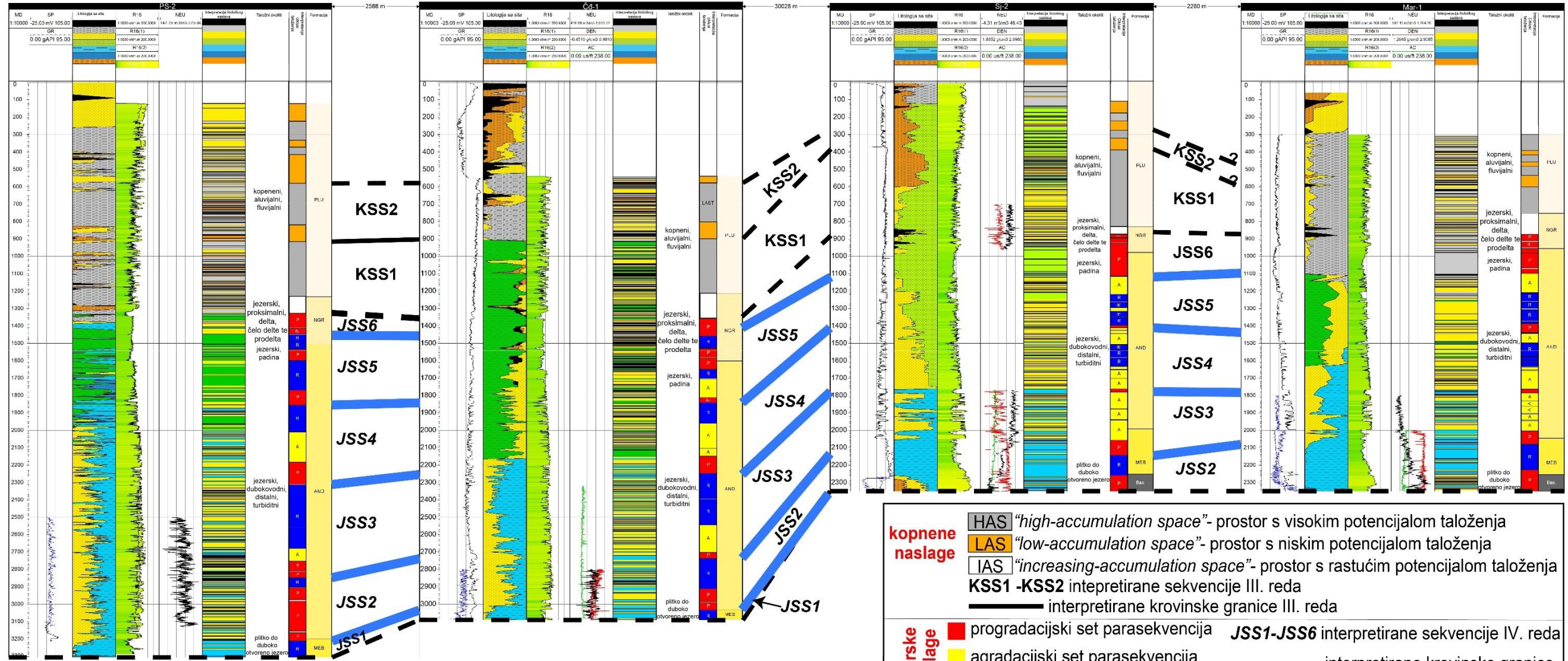
Sv. Matej

Prilog 6: Shematski prikaz geološkog stupca bušotine DM-1
 Doktorski rad: *Dinamika taložnja geografski i pirocenskih naslaga*
 Autor: Marko Štalić, mag. geol.




C

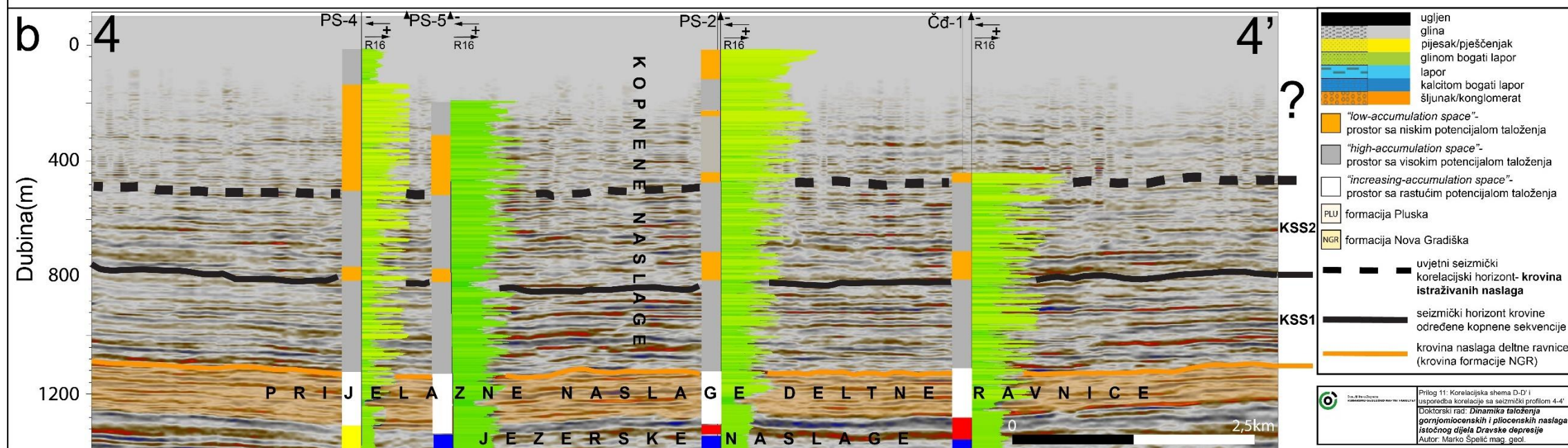
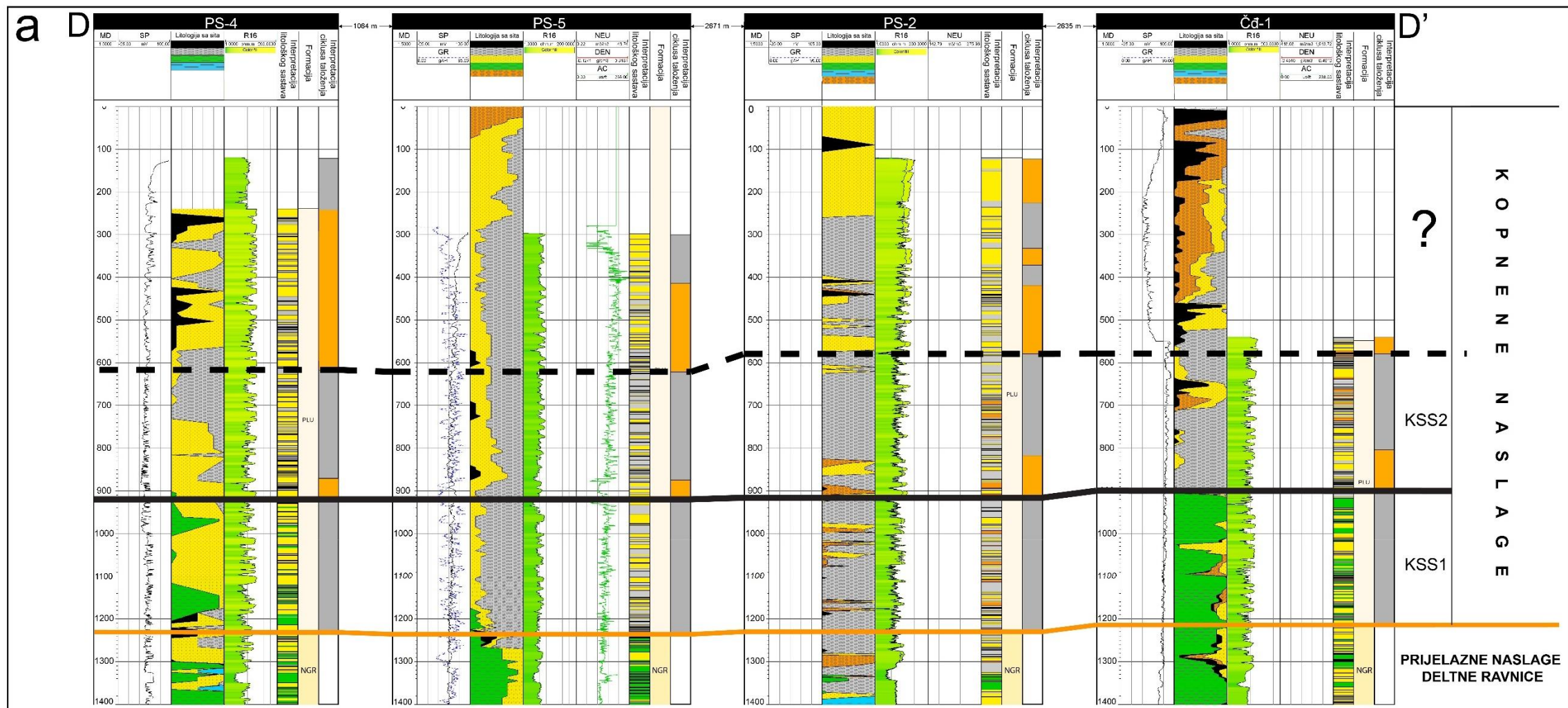
C'



Rs7/podina naslaga mlađeg miocena


 Prilog 10: Shematski korelacijski profil C-C'
 Doktorski rad: *Dinamika taloženja gornjomiocenskih i pliocenskih naslaga istočnog dijela Dravske depresije*
 Autor: Marko Špelić mag. geol.

<ul style="list-style-type: none"> ugljen glina pijesak/pješčenjak glinom bogati lapor lapor kalцитom bogati lapor šljunak/konglomerat 	<ul style="list-style-type: none"> PLU- formacija Pluska NGR- formacija Nova Gradiška AND- formacija Andraševac MEB- formacija Medvedski breg Bač.- član Bačun (formacija MEB) 	<ul style="list-style-type: none"> interpretirane krovinske granice sekvencija IV. reda definirani seizmički horizont krovine određene sekvencije uvjetni seizmički korelacijski horizont
---	---	--



DODATAK 1

Rezultati analiza na jezgrama

BUŠOTINA PS-4

Jezgra PS-4/J-5 (1500-1506,3 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: sivi pjeskoviti i tinjčasti lapor školjkastog loma te sivi sitnozrni tinjčasti čvrsto vezani pješčenjak. Na pješčenjaku su uočeni pougljenizirani djelići bilja. Uzorci lapora i pješčenjaka jako pjenušaju preliveći solnom kiselinom. Prije razmuljivanja mikrofauna nije uočena. Svijetlosivi sitnozrni laporoviti čvrsto vezani pješčenjak.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Silit do sitnozrni pješčenjak svijetlosmeđe boje. Sitnozrni do srednjezrni sivi tinjčasti pješčenjak.

Litološki sastav: Izmjena lapora i masivnog pješčenjaka

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Abichi slojevi

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $8,133 \pm 0,328$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $7,085 \pm 0,243$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $7,358 \pm 0,301$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly degraded black-brown wood particles. The palynological assemblage is impoverished consisting primarily of bisaccate conifer pollen (*Pinus*). Three chorate dinocysts (cf. *Spiniferites*?) are recorded, but their determination is not possible due to poor preservation. The data are not sufficient to assign it to any zone with certainty, based on the stratigraphic position of the sample, a late Pannonian age is inferred. Identified angiosperm pollen: *Cary*, *Alnus*, *Tilia*, *Cichorium*, *Ericaceae*, *Ambrosia*, *Tricolporopollenites* (probably *Quercus?* type) Identified spores: *Echinatisporis*, *Polypodium*, *Leiotriletes*, *Polypodiaceoisorites* (Baranyi, 2020).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: 22,53 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: gornji dio (engl. *topset*)

Interpretirani okoliš: proksimalni okoliš, delta

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): NGR (formacija Nova Gradiška)

Jezgra PS-4 J?/2m (2655-2657 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sivi tinjčasti lapor.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Lapor, tamni, sitnozrni do srednjozrnat sivi pješčenjak s tinjcima. HCl:1.

Litološki sastav: Lapor, proslojci pješčenjaka.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Miopliocen

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $9,653 \pm 0,401$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $8,605 \pm 0,307$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** 8,877 milijuna godina $\pm 0,370$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Dinocysts are common mainly represented by *Spiniferites bentorii coniunctus*, *Spiniferites pannonicus*, *Pontadinium pecsvaradensis* and few *Thalassiphora balcanica* specimens. Interpretation: late Pannonian, Sva Zone more distal association (Baranyi, 2020).

Ostrakodi: U uzorku pronađene dvije forme koje slične na planktonsku i bentičku foraminiferu, ali zbog loše očuvanosti i rekristalizacije odredbu nije moguće potvrditi.

Kalcimetrija: 31,38 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (engl. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

BUŠOTINA PS-2

Jezgra PS-2/J-2/3m (798-804,1 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Zelenkasta mekana glina krušljivog loma. Sa solnom kiselinom slabo reagira. Bijele kratke malo savinute cjevčice nejednake debljine.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Izmjena sivog slabo vezanog sitnozrnog pijeska sa slabo kompaktnim glinama. Na glinama crvene limonitizirane fleke, HCl: 0.

Litološki sastav: Izmjena slabo vezanog sitnozrnog pješčenjaka i glina.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Rhomboidea

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $5,763 \pm 0,186$ mil. god.
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $4,714 \pm 0,114$ mil. god.
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): 4,987 milijuna godina $\pm 0,161$ mil. god.

Palinologija: Barren sample. Very few organic particles are found after scanning all slides. Palynomorphs were not recorded. The lithology (red coating) indicates oxidization that explains the lack of sedimentary organic particles. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty (Baranyi, 2020).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: 1,41 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: ?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: aluvijalni, fluvijalni

Interpretirani okoliš: kontinentalni fluvijalni, aluvijalni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): PLU (formacija Pluska)

Jezgra PS-2/J-4/4m (1195,6-1201,6 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sivi pjeskoviti srednje tvrdi lijepo uslojeni lapor. Lom školjkast. Na uzorku nalaze se pougljene grančice od ostataka bilja. Kontakt lapora veoma finog zrna, pjeskoviti glineni lapor. Mekana je. Lomi se slojevito. Sa solnom kiselinom jako pjenuša.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Glinoviti slabo vezani silit/siltozna glina. Izmjena listasto crvenkastih i sivih dijelova i na prethodnom metru, HCl: 1.

Litološki sastav: Sslabo vezani glinoviti silit/siltozna glina

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Rhomboidea

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $8,082 \pm 0,342$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $7,034 \pm 0,258$ mil. god.)
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** 7,036 milijuna godina $\pm 0,317$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by impoverished palynofacies mainly degraded wood particles and bisaccate pollen grains. Angiosperm pollen are common. Dinocysts are not recorded after counting all slides. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty. Identified angiosperm pollen: *Cichorium*, *Poaceae*, *Liquidambar*; *Typha/Sparganium*, *Carya*, *Ambrosia* (Baranyi, 2020).

Ostrakodi: Kristalići pirita, komadići ugljena, dijelovi biljne stapke te jedna loše očuvana i neodrediva ostrakodna valva.

Kalcimetrija: 22,08 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: ?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: aluvijalni, fluvijalni

Interpretirani okoliš: kontinentalni fluvijalni, aluvijalni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): PLU (formacija Pluska)

Jezgra PS-2/J-5/6m (1401,4-1407,4 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Tamnije sivi, prilično mekan i sitno pješčani i tinjčasti lapor. Preleven solnom kiselinom reagira prilično intenzivno.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Slabo vezani sivi siltit s tinjcima.

Litološki sastav: Slabo vezani siltit

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Abichi slojevi

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $8,138 \pm 0,328$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $7,090 \pm 0,242$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $7,362 \pm 0,301$ mil. god.

Palinologija: The palynofacies is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly degraded wood particles. Angiosperm pollen grains are common. Several dinocyst taxa are recorded, although their abundance is rather low (*Thalassiphora balcanica*, *Pontadinium* sp., *Impagidinium spongianum*). A few specimens of the stratigraphic marker species *Galeacysta etrusca* is documented. The freshwater algae, *Pediastrum* is common. Interpretation: *Get Zone*. Identified pollen: Pinaceae (various), *Tilia*, *Ulmus*, *Pterocarya*,

Carya, Quercus, Cichorium, Ambrosia, Chenopodium, Polygonum. Identified spores: *Echinatisporis, Leiotriletes* (Baranyi, 2020).

Ostrakodi: bez faune u novim analizama; deformirani ostrakod Caspionela

Kalcimetrija: 30,40 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: ?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: gornji dio (eng. *topset*)

Interpretirani okoliš: proksimalni, delta

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): NGR (formacija Nova Gradiška)

Jezgra PS-2/J-7/II m (2003,8-2008,0 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Tamno sivi, vrlo čvrsti vapnoviti lapor. Preliven solnom kiselinom reagira prilično slabo. *Limnocardium cf. asperocostatum* (slabo očuvani otisak i dio kalupa).
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Lapor, tamnosiv, uočene tanke bijele lamine. HCl: 1.

Litološki sastav: Lapor

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Banatica slojevi

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $7,560 \pm 0,311$ mil. god.
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $6,512 \pm 0,229$ mil. god.
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): $6,784 \pm 0,287$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Among the palynomorphs, bisaccate conifer pollen and *Taxodium* pollen are recorded in high numbers. Dinocysts are very rare. Several *Spiniferites*-related cysts are observed, but their identification on species level is not possible due to poor preservation. Besides *Spiniferites* sp., only the thick-walled specimens of *Impagidinium spongianum* occur more frequently. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty. Identified pollen: Pinaceae (various), *Sciadopitys*, *Taxodium*, Identified spores: *Baculatisporites*, *Echinatisporis* (Baranyi, 2020).

Ostrakodi: nema

Kalcimetrija: 23,91 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: ?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra PS-2/J-10 (2290-2296,4 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sivi tvrdi gusti lapor školjkastog loma. Preliven solnom kiselinom veoma pjenuša. Zapažen je djelić pougljeniziranog bilja.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Kontakt tamnog lapora, siltoznog lapora i smeđeg lapora s muljnim klastovima.

Litološki sastav: Lapor

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Banatica slojevi

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Among the palynomorphs, bisaccate conifer pollen and *Taxodium* pollen are recorded in high numbers. Dinocysts are very rare. Several *Spiniferites*-related cysts are observed, but their identification on species level is not possible due to poor preservation. Besides *Spiniferites* sp., only the thick-walled specimens of *Impagidinium spongianum* occur more frequently. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty. Identified pollen: Pinaceae (various), *Sciadopitys*, *Taxodium*, Identified spores: *Baculatisporites*, *Echinatisporis* (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: nema

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: ?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra PS-2/J-15 (2897,7-2903,3 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Tamno sivi tvrdi veoma pjeskoviti lapor sa mnogo pougljeniziranih djelića bilja. Lom nepravilan. Preleven solnom kiselinom pjenuša. *Paradacna* sp. (dio otiska).
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Izmjena tamnih lapora i sivih sitnozrnatih te srednjozrnatih pješčenjaka.

Litološki sastav: Izmjena lapora i pješčenjaka

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Banatica slojevi

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,630 \pm 0,458$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $9,582 \pm 0,359$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $9,854 \pm 0,452$ mil. god.

Palinologija: The palynofacies of the sample is very poor. The sedimentary organic matter is dominated by the phytoclast group. Dinocysts are extremely rare, only two specimens are recorded after counting all slides (*Spiniferites* sp.). Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty. Identified pollen: *Ambrosia*, *Chenopodium* (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: 15,96 %

Granulometrija: nema

XRD: *nema*

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: ?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

BUŠOTINA ČĐ-1

Jezgra Čđ-1/J-2/Im (2260-2262,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Tamnosivi tvrdi lapor i svjetlo sivi pješčenjak (Pepelana pj.).
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Centimetarske do decimetarske izmjene svijetlih siltoznih pješčenjaka s tinjcima i tamnih siltita.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i siltita.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $9,49 \pm 0,391$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $8,442 \pm 0,297$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $8,715 \pm 0,360$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly degraded black-brown wood particles. Palynomorphs are extremely rare and their preservation is poor. After scanning all slides, two chorate dinocysts are recorded identified as *Spiniferites bentorii coniunctus* and *Thalassiphora balcanica*. Interpretation: late Pannonian, Sva Zone. Sporomorfa: *Pinuspolentes* sp., *Piceapollenites* sp., *Abiespollenites* sp., Bisaccites gen et sp. Indet.; Fitoplankton: *Spiniferites bentorii coniunctus* (Suto-Szentai, 1988); *S. ramosus* (Ehrenberg, 1838) Loeblich & Loeblich 1966), *S. sp.*, *Bitectatodium* sp., *Pontiadinium* sp., *Chytroeispharidia* sp., Dinoflagellata gen. et sp. indet., *Leiospharidia* sp. (Baranyi, 2021). Relativno brojna, neraznovrsna zajednica sporomorfa uglavnom bisakatnog tipa je nešto brojnija od zajednice dinocista uglavnom horatnog tipa (*Spiniferites*). Palinomorfa su općenito mehanički umjereno dobro očuvane, anaerobno biodegradirane i fluoresciraju u zlatno narančastim nijansama.; Macerali: Vitrit (80%) uglavnom slabo strukturirani, slabo zaobljeni, smeđi klasti, manjim dijelom slabostrukturirani, angluarni, tamnosmeđi do gotovo crni klasti. Amorfnii liptinit (10%) s inkluzijama sferičnog pirita fluoresciraju u narančastosmeđim

nijansama (negativna alteracija), Inertinit (10%) uglavnom angularni klasti. Kutinit (uglavnom sitni klasti) u tragovima.; Tip kerogena: III. zreo; Sredina taloženja: palinofacijes turbiditnih sukcesija; proksimalan facijes; anoksična sredina.; Starost: gornji panon (Koch, 1995).

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor-pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Čđ-1/J-3/2m (2480,5-2483 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Tamnosivi tvrdi lapor i svjetlo sivi pješčenjak (Pepelana pj.)
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Sitnozrnati, svjetlosivi tinjčasti pješčenjak (masivan). U pješčenjaku biljno trunje.

Litološki sastav: Masivni pješčenjak (i lapor?)

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $10,209 \pm 0,422$ mil. god.
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $9,161 \pm 0,324$ mil. god.

- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $9,433 \pm 0,389$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly degraded black-brown wood particles. Three palynomorphs are identified as questionable specimens of *Spiniferites*. One presumably reworked dinocyst (*Cleistosphaeridium placacanthum*) and several specimens of the freshwater algae, *Pediastrum*, are found. Interpretation: based on the stratigraphic position of the sample, a late Pannonian age is suggested. The abundance of freshwater algae indicates significant riverine influx (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: 20,68 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Čđ-1/J-4/Im (2702-2704 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Pješčenjak svijetlosive boje, lapor tamnosive do crne boje, tvrd (Poljana pj.).
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Sitnozrnati tinjčasti pješčenjak u izmjeni s tamnim laporima.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i lapora.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,685 \pm 0,452$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $9,637 \pm 0,352$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $9,909 \pm 0,418$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles and bisaccate pollen grains. The abundance of dinocysts is increased compared to the samples above. The most common types are thick-walled specimens of the proximate species *Impagidinium spongianum*. Round brown cyst of possibly heterotrophic origin, are also present (possibly *Brigantedinium* sp.). Few *Spiniferites* types and *Thalassiphora balcanica* are recorded, although in very low numbers. Interpretation: late Pannonian, Sva Zone more proximal association compared to PS-2 (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: 6,52 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Čđ-1/J-5/III m (2996-3000,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Pješčenjak sa tankim proslojcima lapora (Okoli pj.).

- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Na samom početku jezgre 2 ciklusa positnjavanja naviše (sitni pješčenjak (bijelkast) do siltozni pješčenjak, silit, tamne boje), a zatim on prelazi u masivni sitnozrnati sivi pješčenjak s tinjcima. HCl:1.

Litološki sastav: Pješčenjak s proslojcima silita

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $11,530 \pm 0,487$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,482 \pm 0,382$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $10,754 \pm 0,450$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Only few dinocysts are recorded during the palynofacies analysis, but the sample yields several *Spiniferites* specimens after scanning all slides. *Spiniferites validus* and *Spiniferites* sp. are common together with thick-walled specimens of *Impagidinium spongianum*. Round brown cysts of possibly heterotrophic origin, are also present (possibly *Brigantedinium* sp.). Interpretation: late Pannonian, Sva Zone more proximal association compared to PS-2 (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: 15,43 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Čđ-1/J-6/IIIm (3005-3009 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Pješčenjaci, tanki proslojci lapora, listići tinjaca vidljivi, dobro izložena slojevitost, uočena pukotina pod kutom od 80° zapunjena kalcitom, lapor tvrd, crne boje, lako se lomi.
- HGI analize (Studija, 1995): Fosili *Gyraulus* sp. indet, neoderedive sitne školjkice, Ostracoda (pojedinačno) (odredio K. Šikić).
- Pregled doktorat: U početku masivni srednjezrnati pješčenjak sa proslojcima tamnih siltita, a na dalje opet masivni srednjezrnati pješčenjak.

Litološki sastav: Pješčenjak s proslojcima siltita i masivni pješčenjak.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,952 \pm 0,487$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,482 \pm 0,382$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $10,754 \pm 0,450$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Only few dinocysts are recorded during the palynofacies analysis, but the sample yields several *Spiniferites* specimens after scanning all slides. *Spiniferites validus* and *Spiniferites* sp. are common together with thick-walled specimens of *Impagidinium spongianum*. Round brown cysts of possibly heterotrophic origin, are also present (possibly *Brigantedinium* sp.). Interpretation: late Pannonian, Sva Zone more proximal association compared to PS-2 (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: 27,16 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak sa pelitnim stijenama.

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Čđ-1/J-6/III m (3005-3009 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Pješčenjaci, tanki proslojci lapora, listići tinjaca vidljivi, dobro izložena slojevitost, uočena pukotina pod kutom od 80° zapunjena kalcitom, lator tvrd, crne boje, lako se lomi.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: masivni kalksiliti

Litološki sastav: Pješčenjak s proslojcima silita i masivni pješčenjak.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $8,623 \pm 0,366$ mil. god.
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $7,575 \pm 0,278$ mil. god.
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): $7,848 \pm 0,339$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Only few dinocysts are recorded during the palynofacies analysis, but

the sample yields several *Spiniferites* specimens after scanning all slides. *Spiniferites validus* and *Spiniferites* sp. are common together with thick-walled specimens of *Impagidinium spongianum*. Round brown cysts of possibly heterotrophic origin, are also present (possibly *Brigantedinium* sp.). Interpretation: late Pannonian, Sva Zone more proximal association compared to PS-2.

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: 27,16 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak sa pelitnim stijenama.

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni turbiditni okoliš

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Bušotina DM-1

Jezgra DM-1/J-1/Im (801,8-807,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Siva, prilično pjeskovita malo laporovita glina, sa vrlo tankim pješčanim proslojcima. zadnji zavoj Gastropoda glatke ljušture (*Valvata* sp.), riblja ljuska.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Sitnozrnati siltozni slabo vezani sivi do smečkasti pješčenjak s trunjem bilja, ugljena i tinjaca (Mus). Karakteristike HZB/NGR – Rhomboidea.

Litološki sastav: Slabo vezani siltozni tinjčasti pješčenjak s trunjem bilja i ugljena.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Rhomboidea

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $7,488 \pm 0,297$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $6,440 \pm 0,216$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $6,713 \pm 0,272$ mil. god.

Palinologija: The sample is dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments, biostructured wood and translucent membranous plant tissues. The presence of resin fragments indicates high terrestrial influx or proximity of the shore, the palynomorph fraction is dominated by bisaccate conifer pollen mainly *Pinus* and *Cathaya*. Spores and angiosperm pollen occur less frequently. Dinoflagellate cyst are very rare, only four Pannonian taxa are identified: *Spiniferites pannonicus*, “*Spiniferites bentorii* subsp. *coniunctus*”, “*Spiniferites virgulaeformis*?” and *Impagidinium spongianum*. Two presumably reworked taxa are recorded, *Cleistosphaeridium placacanthum* and *Lingulodinium machaerophorum*. Freshwater algae are present in small numbers represented by *Sigmopollis* sp. and *Botryococcus braunii*. Interpretation: The low yield of dinoflagellate cysts prohibits the accurate biostratigraphical evaluation. The presence of “*S. bentorii* subsp. *coniunctus* and “*S. virgulaeformis*”? indicate late Pannonian in the sense of Sütö-Szentai (2000) and Magyar & Geary (2012). High terrestrial influx and the influence of freshwater or proximity to the shore

is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and freshwater algae (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: nema faune

Kalcimetrija: 22,22 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Intepretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak/siltit?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: gornji dio (eng. *topset*)

Interpretirani okoliš: proksimalni okoliš, delta

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): NGR (formacija Nova Gradiška)

Jezgra DM-1/J-/III_m (801,8-807,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Siva, prilično pjeskovita malo laporovita glina, sa vrlo tankim pješčanim proslojcima. Zadnji zavoj gastropoda glatke ljuštore (*Valvata* sp.), riblja ljuska.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Isto kao i na DM-1/J-1/Im ali s nešto više tinjaca (Mus).

Litološki sastav: Slabo vezani siltozni, jako tinjčasti pješčenjak s trunjem bilja i ugljena.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Rhomboidea

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: The sample is dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments, biostructured wood and translucent membranous plant tissues. The presence of resin fragments indicates high terrestrial influx or proximity of the shore, the palynomorph fraction is dominated by bisaccate conifer pollen mainly *Pinus* and *Cathaya*. Spores and angiosperm pollen occur less frequently. Dinoflagellate cyst are very rare, only four Pannonian taxa are identified: *Spiniferites pannonicus*, “*Spiniferites bentorii* subsp. *coniunctus*”, “*Spiniferites virgulaeformis*?” and *Impagidinium spongianum*. Two presumably reworked taxa are recorded, *Cleistosphaeridium placacanthum* and *Lingulodinium machaerophorum*. Freshwater algae are present in small numbers represented by *Sigmopollis* sp. and *Botryococcus braunii*. Interpretation: The low yield of dinoflagellate cysts prohibits the accurate biostratigraphical evaluation. The presence of “*S. bentorii* subsp. *coniunctus* and “*S. virgulaeformis*”? indicate late Pannonian in the sense of Sütő-Szentai (2000) and Magyar & Geary (2012). High terrestrial influx and the influence of freshwater or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and freshwater algae (Baranyi, 2021).

Ostrakodi: dijelovi školjki i jedna planktonska foraminifera.

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak/silit?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: gornji dio (eng. *topset*)

Interpretirani okoliš: proksimalni okoliš, delta

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): NGR (formacija Nova Gradiška)

Jezgra DM-1/J-3/Im (952,6-958 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sivi ponešto glinoviti lapor sa vrlo sitnim ljuskicama tinjaca. Preliven slonom kiselinom kipi. *Didacna otiophorum BRUSINA*, *Limneus* sp. (*Limneus Kobelti* ?). *Didacna otiophorum BRUSINA*, *Limneus* sp. (*Limneus Kobelti*). Sivi približno meki ponešto glinoviti lapor s vrlo sitnim ljuskicama tinjaca. preliven slonom kiselinom pjenuša. *Congerina* sp. (slabo sačuvana ljuštura veće *Congerina-e*). Sivi približno meki ponešto glinoviti lapor. Preliven solnom kiselinom pjenuša. *Congerina digitifera ANDRUSOV*, *Congerina* sp. dio ljuštura (Ljuštura je tanke i uska, a greben oštar i uzak).
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Lapor i pješčenjaci.

Litološki sastav: Glinom bogati lapor i pješčenjaci.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): Abichi slojevi.

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $11,083 \pm 0,474$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,035 \pm 0,372$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $10,307 \pm 0,440$ mil. god.

Palinologija: The sample is dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments, biostructured wood, translucent membranous plant tissues and characterised by a much higher proportion of dinoflagellate cysts than the previous sample. Chorates, pterates, galeates and proximates are equally abundant. *Spiniferites oblongus*, "*S. bentorii* subsp. *coniunctus*", "*S. virgulaeformis*", *Thalassiphora balcanica*, *Pyxidinosia psilata* prema Soliman & Riding, *Impagidinium* spp., and cruciform *Virgodinium* sp. are common, while *Pontiadinium inequicornutum* and *P. obesum* occur less frequently. The galeate cyst *Galeacysta etrusca* is observed as well. The protoperidinioid cyst, *Sphaeripilosa wernerpilleri* is recorded in lower numbers. Interpretation: The presence of *G. etrusca* indicates the youngest Pannonian *Galeacysta etrusca* Zone (Süto-Szentai 2000; Bakrac et al. 2012; Magyar & Geary 2012). The palynomorph fraction with elevated dinoflagellate cyst proportions and the higher abundance of pterate-galeate forms in particular indicate more offshore, open water environments compared to DM-1/J-1/III.

Ostrakodi: krhotine školjkica i nekoliko adultnih i juvenilnih neodredivih ostrakoda

Kalcimetrija: 25,30 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor, silitit?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: kraj padine, prijelaz u donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: podnožje padine šelfa, distalni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Bušotina Mag-1

Jezgra Mag-1/J-1/Im (1866,4-1870,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Pješčenjak i lapor (Osječki pj.), *ostrakod Candona*.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Siltozni lapori na početku te srednjozrnati i sitnozrnati pješčenjak na kraju slijeda s tinjcima sive boje.

Litološki sastav: Izmjena lapora i pješčenjaka.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood and degraded black-brown particles. Palynomorphs are extremely rare and the preservation is poor. Two palynomorphs can be identified as *Spiniferites* sp. Two, presumably reworked dinocysts are identified as *Polysphaeridium zoharyi*. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty.

Ostrakodi: nema

Kalcimetrija: 18,97 %

Granulometrija: srednji dijаметar 0.085 mm, koeficijent sortiranosti 1.45, koeficijent asimetričnosti 0.615, sortiranost dobra, pjesčenjak, poluuglasta zrna

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Mag-1/J-1/II_m (1866,4-1870,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: pješčenjak i lapor (Osječki pj.)
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Izmjena pjeskovitih kalcitičnih siltita sa sitnozrnatim kalcitičnim i siltoznim sivim tinjčastim pješčenjacima.

Litološki sastav: Izmjena siltita i pješčenjaka.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,792 \pm 0,441$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $9,744 \pm 0,340$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $10,016 \pm 0,406$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Palynomorphs are extremely rare and the preservation is very poor. Two palynomorphs are identified as *Spiniferites* sp., and possibly one specimen represents *Thalassiphora balcanica*. A few presumably reworked dinocysts are identified as *Cleistosphaeridium placacanthum*. Interpretation: possibly late Pannonian, but the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty.

Ostrakodi: *Candona*

Kalcimetrija: 21,43 %

Granulometrija: srednji dijamer 0.065 mm; koeficijent sortiranosti 1.59; koeficijent asimetričnosti 0.985; sortiranost dobra, pjesčenjak, poluuglasta zrna

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pjesčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Mag-1/J-1/III_m (1866,4-1870,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: pjesčenjak i lapor (Osječki pj.)
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Siltiti u izmjeni sa sivim srednjozrnatim tinjčastim, kalcitičnim pjesčenjakom.

Litološki sastav: Izmjena siltita i pjesčenjaka.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pjesčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnicina inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Palynomorphs are extremely rare and the preservation is very poor. Dinocysts are not recorded after scanning all slides. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty.

Ostrakodi: nema

Kalcimetrija: 15,93 %

Granulometrija: srednji dijametar 0.095 mm, koeficijent sortiranosti 1.26, koeficijent asimetričnosti 0.87, dobra sortiranost, pješčenjak

XRD: nema

Intepretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak-lapor kontakt

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Mag-1/J-1/IVm (1866,4-1870,5 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: pješčenjak i lapor (Osječki pj.)
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Sitnozrnati, tinjčasti (Mus/Bio?), pješčenjak sive boje.

Litološki sustav: Izmjena siltita i pješčenjaka.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $6,764 \pm 0,243$ mil. god.
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $5,716 \pm 0,165$ mil. god.
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): $5,988 \pm 0,217$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Palynomorphs are extremely rare and the preservation is very poor.

Among them, only bisaccate conifer pollen and freshwater algae (*Pediastrum*) are frequent. Two dinocysts are tentatively identified as *Spiniferites pannonicus*, but their preservation is poor. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty..

Ostrakodi: *nema*

Kalcimetrija: 12,25 %

Granulometrija: srednji dijametar 0.09 mm. koeficijent sortiranosti 1.36. koeficijent asimetričnosti 0.80. sortiranost dobra. Pješčenjak. Uglata do poluuglasta zrna.

XRD: *nema*

Intepretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak-lapor kontakt

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Mag-1/J-2/Im (1977,2-1982,2 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: pješčenjak i lapor (Osječki pj.)
- HGI analize (Studija, 1995): *nema*
- Pregled doktorat: Izmjena sitnozrnih pješčenjaka, kalcitičnih silita tamnije boje

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i silita.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $11,865 \pm 0,581$ mil. god.
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): $10,817 \pm 0,477$ mil. god.

- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $11,089 \pm 0,549$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly wood particles. Palynomorphs are extremely rare and the preservation is very poor. Among them, only bisaccate conifer pollen and freshwater algae (*Pediastrum*) are frequent. *Spiniferites bentorii coniunctus*, *S. b. truncata* and possibly *Thalassiphora balcanica* are identified in the sample, but their preservation very poor. Interpretation: possibly late Pannonian Sva Zone, but the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty.

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: 12,27 %

Granulometrija: koeficijent sortirivosti 1.57. koeficijent asimetričnosti 1.02. dobra sortirivost. grubi silt, poluuglasta zrna.

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Mag-1/J-3/Im (2193,5-2196,7 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: pješčenjak i lapor (Osječki pj.)
- HGI analize (Studija, 1995): ima palinologija
- Pregled doktorat: Sitnozrnati konglomerat bijele boje s valuticama do 1 cm, slabovezan.

Litološki sastav: Izmjena konglomerata, pješčenjaka i lapora.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Valpovo

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: Sporomorfa: Bisaccites gen. et sp. indet.; Fitoplankton: *Spiniferites bentori pannonicus*, *S. bentorii oblongus*, *S. bentorii coniunctus*, *S. sp.*, *Ponntiadinium pescvaradensis*, *P. inaequicornutum*, *Impagidinium patulum*, *I. sp.*, *Chytroeispharedia sp.*, *Hystrichokolpoma sp.*, *Lingulodinium sp.*, *Leiosphaeridia sp.* (Suto-Szentai, 1988). Proksimatni tip dinocista apsolutno dominira u odnosu na horatne dinociste, ali i u odnosu na ostale palinomorfa. Većim su dijelom palinomorfa snažno anaerobno biodegradirana, tako da su neke od bisakata zadržale samo vanjsko obličje, a nešto otpornije dinociste su najčešće određive samo u suprageneričkoj razini. Ukupno su dinociste brojne. Palinomorfa su mehanički relativno dobro očuvane.; Macerali: amorfni liptinit (95%) fluorescira relativno homogeno višim intenzitetom u zlatnonaračastim nijansama (negativna alteracija). Česte inkluzije pirita. Sporinitin (5%) je predstavljen uglavnom dinocistama koje pokazuju relativno homogenu fluorescenciju u zlatnim nijansama. Tragovi slabo strukturiranog vitrinita.; Tip kerogena: II (i/II), niži do srednji stupanj zrelosti.; Sredina taloženja: mirna, anaerobna sredina s vrlo slabim terestričkim utjecajem. distalan facijes. Palinofacijes relativno autohtonih dijelova turbiditnih sukcesija. Starost: najdonji pont. *Pontiadinium inaequicornutum* (Baltes, 1971, Stover & Evit, 1978), amorfni liptinit. Fluorescencija plava. Tip kerogena: II (I) I/II, niži do srednji stupanj zrelosti. Sredina taloženja: mirna, anaerobna sredina s vrlo slabim terestričkim utjecajem. Distalan facijes. Palinofacijes relativno autohtonih dijelova turbiditnih sukcesija. Starost: najdonji pont (Koch, Bakrač, 1995).

Ostrakodi: nema

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: srednji dijametar 0.32 mm, koeficijent sortiranosti 2.36, koeficijent asimetričnosti 0.66, pješčenjak dobra sort., poluuglasta zrna

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor-pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: otvoreno jezero, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): član Bačun, MEB
(formacija Medvedski Breg)

Jezgra Mag-1/J-4/IIIm (2196-2198,7 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Tamnosmeđi tvrdi vapnoviti lapor. Pod udarcem čekića teško se lomi. Duž cijelog intervala dominira jedna vertikalna pukotina. (Vinkovačka fm.).
- HGI analize (Studija, 1995): ima palinologija
- Pregled doktorat: Sitnozrnati pješčenjak koji prelazi u tamni kalcitični lapor.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i kalcitom bogatih lapora.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): *nema*
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): *nema*
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): *nema*

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of dinocysts although their preservation state is rather poor. The phytoclast group contributes to the sedimentary organic matter only to lesser extent. *Spiniferites* spp. is the most abundant. Several species are recognized e.g., *Spiniferites pannonicus*, *S. maisensis*, *S. oblongus*, *S. bentorii coniunctus*. One *Spiniferites specimen* with membranous septa is observed as well. “Yellow cysts” without any tabulation pattern are frequently observed, however they cannot be identified more precisely. They belong probably to *Batiacasphaera* and/or *Pyxidinospis* but they can not be assigned to any genera with certainty. Other proximate cysts are less common compared to *Spiniferites* spp.

Among them, *Virgodinium asymmetricum* is frequent. The stratigraphical index species, *Pontiadinium pecsvaradensis* is observed in the sample. Interpretation: Sva Zone? or Ppe and Sva zones transition. (Baranyi, 2020).

Impagidinium patulum (Wall, 1967) Stover & Evitt, 1978 - amorfni litpinit, fluorescencija plava. Kvalitativan sastav palinoflore je indentičan uzorku J-3 Im, osim što u ovom uzorku kvantitativno dominira horatni tip dinocista i što su dinociste još brojnije. (sporinit 10%). Palinofacijsne značajke, tip kerogena i sredina taloženja kao i starost odgovaraju uzorku. (Koch, 1995).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: 89,89 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor-pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: otvoreno jezero, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): član Bačun, MEB (formacija Medvedski Breg)

BUŠOTINA SJ-3

Jezgra SJ-3/J-3/II m (1897-1906 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: srednjozrnati litoarenit.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Početnih 25 cm sitnozrnati do srednjozrnati pješčenjak, sivkastih do bijelih nijansi s tinjcima, a koji prema gore positnjuju u sitnozrnati pješčenjak. Između 30 i 40 cm prelazi u izmjenu lapora, sitnozrnatog pješčenjaka i organski bogatog (puno org. ugljevite tvari), siltita, s proslojcima sitnozrnatog pješčenjaka, d=10 cm. U sitnozrnatom pješčenjaku strukture istiskivanja i to na kontaktu u podini sa smečkastim siltoznim laporom. Do kraja jezgre 10 cm debeo sloj tamnog siltita koji zatim prelazi u izmjenu sitnozrnatog pješčenjaka i siltita s horizontalnom i valovita laminacijom.

Litološki sastav: Izmjena horizontalno uslojenih pješčenjaka sa strukturama istiskivanja te laminiranih siltita i lapora.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnicina inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: The samples are dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments and biostructured wood. Palynomorphs are very rare represented by conifer pollen and a single proximate dinoflagellate cyst (*Impagidinium spongianum*). Interpretation: The absence of age-diagnostic palynomorphs prohibits the biostratigraphical evaluation. High terrestrial influx or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and the low abundance of aquatic or any palynomorphs. High energy environment is likely that is not favourable for the settling, deposition and preservation of palynomorphs. Palynomorphs fall into the silt-size fraction of

sedimentary particles, however they settle preferentially in finer grained sediments in low hydrodynamic conditions due to their small density (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: tanke izmjene lapor-pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra SJ-3/J-3/III m (1897-1906 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sitno do sitnozrni litoarenit s lećama siltoznog lapora.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Generalno izmjena sitnozrnatih i srednjezrnatih pješčenjaka s tinjcima sivih nijansi i tamnijeg silita i siltoznog jako sitnozrnatog pješčenjaka s tinjcima. U početku 3 cm silita, nakon čega izmjena opisanih. Na kontaktu sitnozrnatih pješčenjaka i silita na cca 45 cm nalazi se smeđi silit koji ima oštar kontakt sa sitnozrnatim pješčenjakom. U navedenom pješčenjaku muljni klasti. Na kraju sitnozrnatih pješčenjak i silit d=80 c). Fosilni sadržaj: biljni fragmenti unutar silita.

Litološki sastav: Izmjena tinjčastih pješčenjaka i silita.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $10,804 \pm 0,438$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $9,756 \pm 0,336$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $10,028 \pm 0,402$ mil. god.

Palinologija: The samples are dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments and biostructured wood. Palynomorphs are still rare, but occur more frequently compared to SJ-3/J-3/II. A few dinoflagellate cysts are observed and identified as *Spiniferites pannonicus* and *Spiniferites oblongus*. Interpretation: The low-yield of dinoflagellate cysts prohibits the accurate biostratigraphical evaluation. *Spiniferites pannonicus* and *S. oblongus* characterise early Pannonian assemblages (Süto-Szentai 2000; Bakrac et al. 2012) but the species themselves can be present in the late Pannonian as well. High terrestrial influx or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and the low abundance of dinoflagellate cysts (Baranyi, 2022).

STARO: u jezgri 1897-1906 nađena *Silicoplacentina majzoni var. vukovarensis* (Terezija Vlahović). *Silicoplecentina majzoni var. vukovarensis* na prvom metru.

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: 18,92 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra SJ-3/J-3/7 m (1897-1906 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: *lapor*
- HGI analize (Studija, 1995): *nema*
- Pregled doktorat: Izmjena tamnijih silita, lapori i sitnozrnatog pješčenjaka u podini. U gornjem dijelu sivi do smeđi silitti, siltozni lapor s proslojcima tamnih lapora d=2 cm. Idućih 15 cm izmjene siltita koji s porastom dubine postupno prelazi u 15 cm debeo sloj sivog sitnozrnatog pješčenjaka s tinjcima. Zatim slijedi izmjena 10 cm debelih tamnih silta, ispod kojeg se nalazi oštar kontakt sa sitnozrnatim pješčenjakom d= 25 cm, koji u podini prelazi u silitit.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i siltita.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $9,894 \pm 0,430$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $8,846 \pm 0,335$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $9,118 \pm 0,400$ mil. god.

Palinologija: The samples are dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments and biostructured wood. In the palynomorph fraction bisaccate conifer pollen grains are predominant with significant contribution from freshwater algae mainly *Pediastrum*. Dinoflagellate cysts are not recorded. Interpretation: The absence of age-diagnostic palynomorphs prohibits the biostratigraphical evaluation. High terrestrial influx or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and the absence of dinoflagellate cysts. *Pediastrum* clearly indicates strong freshwater influence (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: 5,26 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotaznim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Bušotina MAR-1

Jezgra Mar-1/J-1/Im (1103,7-1109,7 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Svijetlosivi sitnozrni do prašinski slabo glinoviti kvarcni tinčasti pijesak. U prvih 30 cm jače je zaglinjen i čini se sitnijeg zrna pa je ovdje dobiven u komadima. U ostalom dijelu intervala ostali su nezdobljeni manji fragmenti koji se pod prstima raspadaju u pijesak i njihova eventualna slaba vezanost uzrokovana je vjerojatno zbog zbijenosti i neznatnim sadržajem glinovite komponente. Duž cijelog jezgrovanog intervala nisu primijećeni nikakvi tragovi ugljikovodika.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Svjetlosmeđi siltit. Uzorak kalupa mekušca.

Litološki sastav: Izmjena siltita i pješčenjaka.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vera, član Županjski pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $7,973 \pm 0,346$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $6,925 \pm 0,262$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $7,197 \pm 0,322$ mil. god.

Palinologija: The palynofacies is characterized by the predominance of wood particles and bisaccate pollen grains. Dinocysts are common, and the sample reveals a diverse association with *Galeacysta etrusca*, *Spiniferites cruciformis*, *Impagidinium spongianum*, *Thalassiphora balcaninca*, *Pontiadinium inequicornutum*, *Tectatodinium pellitum* and *Pyxidinosia psilata*. The majority of the *S. cruciformis* specimens have well-developed septa and belong to the morphotype F3 of Mudie et al. (2001) or type B in Marret et al. (2004). One specimen was recorded with reduced processes but cruciform-pyriiform central body assigned to type F4 of Mudie et al. (2001). Few dinocyst with heterotrophic affinity are present as well. Freshwater influence is suggested by the common occurrence of *Pediastrum*. Interpretation: Get Zone distal association (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: U najkrupnijoj frakciji nađene su krhotine ljuštura školjkaša te dvije neodređive krhotine ostrakoda.

Kalcimetrija: 18,68 %

Granulometrija: srednji promjer 0.02. k sortiranosti 1.77. k asimetričnosti 1.126.
grubi silt

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak/siltit?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: kraj padine, prijelaz u donji dio (eng. bottomset)

Interpretirani okoliš: podnožje padine šelfa, distalni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra Mar-1/J-1/II m (1103,7-1109,7 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sivi do tamnosivi srednje tvrdi pretežno jako pjeskoviti glinoviti lapor. Duž čitavog intervala javljaju se tanki proslojci svijetlosivog vrlo finozrnog tinjčastog pijeska, debljina 1-10 mm. Proslojci se javljaju u nepravilnim intervalima, dok se na par mjesta zapaža ritmička slojevitost. Proslojcima je mjestimično vrlo dobro markirano slojevitost pod kutem nagiba 2-3 °. Ovi proslojci smanjuju čvrstoću tako da se jezgra lako lomi duž ovih ploha. Pjeskovita komponenta je u laporu pretežno vrlo nepravilno raspoređena pa se mjestimično može zaključiti o ukrštenoj slojevitosti (kosa?). Pjeskovitost je mjestimično toliko izražena da se eventualno radi o jako glinovitim pjescima. Prelazi su postepeni i točnu granicu nije moguće definirati.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Izmjene sitnozrnog pješčenjaka, sivkasto smeđe boje i silita svijetlosmeđe boje.

Litološki sastav: Izmjena glinom bogatih lapora, sitnozrnatog, koso uslojenog pješčenjaka i silita.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vera, član Županjski pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $7,727 \pm 0,328$ mil. god.
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** $6,679 \pm 0,245$ mil. god.
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** $6,951 \pm 0,304$ mil. god.

Palinologija: The sample is characterized by the predominance of the phytoclast group, mainly degraded black-brown wood particles. Palynomorphs are represented primarily by bisaccate conifer pollen grains. Two chorate dinocysts are recorded, representing probably *Spiniferites*. Interpretation: the data are not sufficient to assign it to any zone with certainty (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: 14,24 %

Granulometrija: srednji dijametar 0.022. k sortiranosti 1.94. k asimetričnosti 1.12. grubi silt

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak/silit?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: kraj padine, prijelaz u donji dio (eng. bottomset)

Interpretirani okoliš: podnožje padine šelfa, distalni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

BUŠOTINA GV-1

Jezgra GV-1/J-1/Im (2714-2719 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Jezgra je svijetlosive do tamnosive. čak crne boje, nepravilnog loma, čvrsta, horizontalnih slojeva pješčenjaka i lapora u stalnoj izmjeni. laminirani tinjčasti pjeskoviti siltit, tinjčasti siltit.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: U gornjem dijelu sitnozrnati pješčenjak svijetlosive boje koji postupno prelazi u siltozni sitnozrnati pješčenjak s laminiranim siltit/lećama i siltit na oko 50 cm (F59). Siltit je taman, crn do siv. Na donjoj slojnoj površini ima tekstu tečenja, prema gore prelazi u siltit s lećastom i kosom? slojevitošću/laminama vrlo sitnozrnatog pješčenjaka unutar siltita (F62/63), d=10 cm. Prema gore opet masivni siltit, crn, koji opet prelazi u sektore unduloznih, kosih lamina i leća FFG unutar siltita te nanovo masivan siltit na dolje (F64/65/66).

Litološki sastav: Izmjena mjestimično koso uslojenog pješčenjaka i laminiranog siltita.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Kloštar Ivanić, član Graberje pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: The samples are dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments and biostructured wood. Other kerogen groups and palynomorphs are very rare. One single proximate dinoflagellate cyst is recorded assigned questionable to Impagidinium spongianum. Interpretation: The absence of age-diagnostic palynomorphs prohibits the biostratigraphical evaluation. High terrestrial influx or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and the low abundance of aquatic or any palynomorphs. High energy environment is likely that is not favourable for

the settling, deposition and preservation of palynomorphs. Palynomorphs fall into the silt-size fraction of sedimentary particles, however they settle preferentially in finer grained sediments in low hydrodynamic conditions due to their small density (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra GV-1/J-1/IIIm (2714-2719 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: tinjčasti subarkozni silit
- HGI analize (Studija, 1995): *Congerina banatica R. Hoernes*, (odredio D. Vrsaljko), (Odredio K. Šikić) Starost: gornji panon; Sediment: izmjena pješčenjaka I pjeskovitog lapora s ostacima bilja-fragmenti kongerija.
- Pregled doktorat: U početnom dijelu tamni silit s laminama i teksturama, interkalacijama vrlo sitnozrnatog pješčenjaka s tinjcima. Prvih 30 cm, proslojak s kosom laminacijom. Od 30 cm pa 70 cm na dolje, u vrhu izmjene crnog, tamnog silita sa fragmentima ugljevitih org. tvari i sitnozrnatog, bijelo-sivog pješčenjaka s tinjcima. Na dolje izmjena s navedenog sa strukturama.

Litološki sastav: Izmjena silita i pješčenjaka sa strukturama (npr. interkalacije, kosa laminacija).

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Kloštar Ivanić, član Graberje pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: nema

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor-pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra GV-1/J-1/III_m (2714-2719 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: tinjčasti šejl
- HGI analize (Studija, 1995): *Congeria banatica* R. Hoernes, (odredio D. Vrsaljko), (Odredio K. Šikić) Starost: gornji panon; Sediment: izmjena pješčenjaka i pjeskovitog lapora s ostacima bilja-fragmenti kongerija.
- Pregled doktorat: Prvih 20 cm sitnozrnatih pješčenjaka, sivkaste boje s tinjcima, koji u idućih 10 cm prelazi u izmjenu proslojaka i lamina sa tamnijim siltitom te do kraja sivih sitnozrnatih do srednjezrnatih pješčenjaka sa mjestimično proslojcima i lećama

tamnijeg silita. Uz to, s kosim laminacijama i proslojcima, unduliranim silitima unutar s tinjcima debljine 0,60 m.

Litološki sastav: Izmjena silita i pješčenjaka sa strukturama (npr. lećasta slojevitost)

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Kloštar Ivanić, član Graberje pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: The samples are dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments and biostructured wood. Other kerogen groups and palynomorphs are very rare. One single proximate dinoflagellate cyst is recorded assigned questionable to *Impagidinium spongianum*. Interpretation: The absence of age-diagnostic palynomorphs prohibits the biostratigraphical evaluation. High terrestrial influx or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and the low abundance of aquatic or any palynomorphs. High energy environment is likely that is not favourable for the settling, deposition and preservation of palynomorphs. Palynomorphs fall into the silt-size fraction of sedimentary particles, however they settle preferentially in finer grained sediments in low hydrodynamic conditions due to their small density (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra GV-1/J-1/IVm (2714-2719 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: tinjčasta litična arkoza
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: U prvom dijelu laminirana, horizontalna i undulozna izmjena vrlo sitnozrnatog pješčenjaka i tamnijih siltita s proslojcima siltita i muljnim klastima. Na gore, od 40 cm, iz prijelaz iz sitnozrnatog pješčenjaka u srednjezrnati pješčenjak . Nakon 10 cm oštar kontakt sa siltoznim sitnozrnatim pješčenjakom nešto tamnije sivih nijansi.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka siltita i sa strukurama (npr.muljni klasti)

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Kloštar Ivanić, član Graberje pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: The samples are dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments and biostructured wood. Other kerogen groups and palynomorphs are very rare. One single proximate dinoflagellate cyst is recorded assigned questionable to *Impagidinium spongianum*. Interpretation: The absence of age-diagnostic palynomorphs prohibits the biostratigraphical evaluation. High terrestrial influx or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and the low abundance of aquatic or any palynomorphs. High energy environment is likely that is not favourable for the settling, deposition and preservation of palynomorphs. Palynomorphs fall into the silt-size

fraction of sedimentary particles, however they settle preferentially in finer grained sediments in low hydrodynamic conditions due to their small density (Baanyi, 2022).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra GV-1/J-1/Vm (2714-2719 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: tinjčasta litična arkoza
- HGI analize (Studija, 1995): ima palinologija
- Pregled doktorat: Generalno izmjena tamnih siltita i sitno do srednjezrnatih pješčenjaka svijetle boje sa sedimentnim strukturama te sitno do srednjezrnatih pješčenjaka sa laminama siltita s org. tvari.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka siltita i sa strukturama (npr. muljni klasti)

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Kloštar Ivanić, član Graberje pješčenjaci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): *nema*

- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: Palinomorfa su snažno anaerobno biodegradirana te je moguća samo supragenerička klasifikacija na nivou *Bisaccites* gen. et sp. I *Dinoflagellata* gen. et sp. Indet.; Macerali: Vitrinit (95%) uglavnom slabo strukturirani, angularni, do slabo zaobljeni, tamnosmeđi, manjim dijelom smeđi klasti. Amorfni liptinit (5%) s inkluzijama sferičnog pirita fluorescira u narančastožutim nijansama (negativna iteracija). Inertinit u tragovima. Tip kerogena: III. zreo; Sredina taloženja: palinofacijes turbiditnih sukcesija: proksimalan facijes; anoksična sredina (Koch i Bakrač, 1995).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

BUŠOTINA DB-1

Jezgra DB-1/J-1/Im (3292-3294 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: lapor i pješčenjak
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: glinoviti slitit tamne boje

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i silita

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): *nema*
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: nema

Ostrakodi: prerezi ljuskica ostrakoda

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. bottomset)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

BUŠOTINA DM-2

Jezgra DM-2/J-1/Im (1070-1076 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Lapor i konglomeratični brečokonglomerat, pješčenjak; sivi srednjevni kvarcno tinjčasti pješčenjak približno jednolike veličine zrna. Slabo je vezan. Drobi se pod prsima. Pod udarcem čekića se lako lomi u nepravilne komade. zavodnjen je. (Osječki pješčenjak).
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: loše sortirani, sitnozrnati konglomerati, lapori s ostrakodima (d=2-3m), ali danas očuvan samo dio s konglomeratima.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i silita

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Laslovo lapor

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: Sample DM-2/J-1/V was palynologically barren. No palynomorphs are recorded except the exotic marker *Lycopodium*, and very few sedimentary organic particles are encountered. *STARO: Silicoplacentina sp/ ?Silicopl. Majzoni/ ostrakoda (1060 m)* (Katica Kalac).

Ostrakodi: nema

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. bottomset)

Interpretirani okoliš: otvoreno jezero, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): član Sv. Matej?, MEB
(formacija Medvedski Breg)

BUŠOTINA DM-3

Jezgra DM-3/J-1/Im (1046,4-1052,4 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sivi srednjeznati kvarcno tinjčasti pješčenjak približno jednolike veličine zrna. Slabo je vezan. Drobi se pod prsima. Pod udarcem čekića se lako lomi u nepravilne komade. zavodnjen je. (Osječki pješčenjaci)
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Siltozni tinjčasti sitnozrnati pješčenjak (Mus).

Litološki sastav: Siltozni sitnozrni pješčenjak.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: nema

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

Jezgra DM-3/J-1/IIm (1046,4-1052,4 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Sivi srednjezrnati kvarcno tinjčasti pješčenjak približno jednolike veličine zrna. Slabo je vezan. Drobi se pod prsima. Pod udarcem čekića se lako lomi u nepravilne komade. zavodnjen je. (Osječki pješčenjaci)
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Siltozni tinjčasti sitnozrnati pješčenjak (Mus).

Litološki sastav: Siltozni sitnozrni pješčenjak.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: The sample is dominated by terrestrially derived plant debris mainly degraded black brown wood fragments, biostructured wood, and translucent membranous plant tissue. The palynomorph fraction is composed mainly of bisaccate conifer pollen. Angiosperm pollen, spores and dinocysts are less common. Several freshwater algae (*e.g.*, *Sigmopollis*, *Pediastrum*) and reworked dinocysts are observed. The dinoflagellate cysts are represented by *Tectatodinium pellitum*, *Spiniferites validus*, *Sphaeripilosa wernerpilleri*, *Thalassiphora balcanica*, "*Virgodinium sp.*", *Impagidinium sp.* Interpretation: The low yield of dinoflagellate cysts prohibits the accurate biostratigraphical evaluation. The presence of *Spiniferites validus* and *T. balcanica* indicates the late Pannonian *Spiniferites validus* biozone. This assemblage is at least as old as that or younger. High terrestrial influx with freshwater influence or proximity to the shore is inferred from the high abundance of terrestrial plant debris and the presence of freshwater algae (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

BUŠOTINA PP-1

Jezgra PP-1/J-1 (846-850 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: lapor. 1 m uzorak- krhotine školjkaša i jedan neodredivi fragment ostrakoda (*Candona?*) 2 m- fragmenti ostrakoda od kojih se za neke može pretpostaviti da potječu od amplociprisa i kaspiola (*Amplocypris sp.*, *Candona (Caspiolla) ? sp.*, *C*; 3m: *Silicoplaentina sp.*, krhotine školjkaša i jedna veoma loše očuvana pretaložena ? donjosarmatska foraminifera (*Elphidium*) odredila Šikić, L., (1976).
- HGI analize (Studija, 1995): *nema*
- Pregled doktorat: Sivi, svijetlosivi do tamno sivi siltozni lapor, do kalcitični lapor s dosta tinjaca.

Litološki sastav: Laporoviti silit s tinjcima.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Osječki pješčenjaci

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): *nema*
- Poplavna ravnicina inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): *nema*
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): *nema*

Palinologija: The samples are dominated by terrestrially derived plant debris mainly by biostructured wood fragments with high abundance of palynomorphs. In the palynomorph fraction, bisaccate pollen grains are predominant but dinoflagellate cysts are encountered frequently as well. Both chorate and proximate cysts are recorded. The most common taxa are *Thalassiphora balcanica*, "*Nematosphaeropsis bicorporis*", *Impagidinium globosum*, *I. spongianum*, *Pyxidinospis psilata* prema Soliman & Riding, cruciform variant of *Virgodinium* and an unidentified palynomorph Acritarch indet. Accessory, less frequent taxa are *Pontadinium sp. 1* prema Baranyi et al. 2021, *Spiniferites validus*, *S. oblongus* and *Tectatodinium pellitum*. In the terrestrial fraction, Taxodioideae pollen are recorded in considerable amount following the overwhelming dominance of conifer pollen *Pinus*, *Cathaya*

and *Picea*. *Abies* pollen is less common. Interpretation: The presence of *Spiniferites validus* clearly indicates late Pannonian age. The specimens referred to as “*N. bicorporis*” are very similar to *Galeacysta etrusca* and likely represent a hitherto unknown morphological variant of the latter species. The assemblage is tentatively assigned to the *Spiniferites validus-Galeacysta etrusca* zones. The diverse and abundant dinoflagellate cyst assemblage indicates offshore, open water environment with lower hydrodynamic conditions favourable for the deposition and preservation of palynomorphs. Freshwater and terrestrial influx are evidenced by freshwater algae and the presence of reworked older Miocene dinocysts (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: Jedna valva vrste *Hemicytheria cf. pejinovicensis* (Zalányi) te nekoliko krhotina školjkica. Starost ostrakodne faune: Panon.

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor-pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: distalni, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): AND (formacija Andraševac)

BUŠOTINA TR-1

Jezgra TR-1/J-1 (1070-1071,6 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Pješčenjak, tvrdi do srednjtvrđi lapor, sive do sivo zelene boje.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Svijetlosivi sitnozrnatog pješčenjaka s tinjcima, biljnim trunjem, lapor. Fosilni sadržaj: ostrakodi i školjkaši.

Litološki sastav: Izmjena pješčenjaka i lapora.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Vinkovci, član Laslovo lapor

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: nema

Ostrakodi: U uzorku ima najviše juvenilnih *Hemicytheria* sp.. Nalaze se i *Loxococoncha* cf. *spinosa* Sokač, *Loxococoncha rhombovalis* Pokorný, *Loxocorniculum hastatum* (Reus), *Pontoniella* sp. te nekoliko krhotina adultnih *Camptocypria* sp. Starost ostrakodne faune: gornji panon. Okoliš: nađene ostrakodne jedinke ukazuju na povišen salinitet jezerske vode.

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor-pješčenjak

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: otvoreni jezero, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): MEB (formacija Medvedski Breg)

BUŠOTINA MAR-4

Jezgra Mar-4/J-1/Im (2249-2250 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Jezgra je izgrađena od gustog laporovitog vapnenca i laporovitih lapora. Boje je smečkasto sive sa jednim proslojkom gustog kvarcnog pješčenjaka. Nagib ovog proslojka je 7 stupnjeva. Na plohama uočljivi su listići tinjca.
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Srednje do krupnozrnati pješčenjak te sitnozrnati konglomerat, tamni siltozni lapor.

Litološki sastav: Izmjena sitnozrnatog konglomerata, srednje do krupnozrnatog pješčenjaka, siltoznog lapora i lapora.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): formacija Moslavačka gora, član Križevci

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: nema

Ostrakodi: nema

Kalcimetrija: 64,51 %

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: lapor/vapnenac?!

Položaj na temelju seizmičkih podataka: donji dio (eng. *bottomset*)

Interpretirani okoliš: otvoreno jezero, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): MEB (formacija Medvedski Breg)

BUŠOTINA KŠ-3

Jezgra Koška-3/J-4(1m) (2038-2041 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: Svijetlosmeđi laporoviti vapnenac
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: U vrhu bijeli masivni vapnenci tipa madston, d= 20 tak cm, a zatim do kraja trakasta izmjena sivih i više glinovitih siltita i svijetlih cm do 2 cm svijetlih gustih vapnenaca.

Litološki sastav: vapnenci/lapori?.

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): *Radix Croatica*

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016): nema
- Drava inicijalni omjer (ovaj rad): nema

Palinologija: nema

Ostrakodi: *Ostracod* sp., *Globigerina* sp.,- pretaloženo (Annamarie Brodarić)

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: propusno?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: bazni dio

Interpretirani okoliš: otvoreno jezero

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): član CRO (član Croatica), MEB (formacija Medvedski Breg)

BUŠOTINA BRZ-1

Jezgra BRZ-1/J-1/Im (1222-1228 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: glinoviti vapnenac. riblji zubi, *Ostracod* sp., *Glibigerinoides trilobus* REUSS, *Globigerinoides saculiferus* (BRADY), *Globigerinoides biophaerica* TODD, *Globorotalia obesa* BOLLI, *Globigerina praebulloides* BLOW, *Globigerina concina* REUSS, *Globigerina* cf. *ciperoensis*, *Globigerinoides quadrilobatus* D'ORB, *Melonis soldani* (D'ORB), *Pullenia bulloides* (D'ORB), *Elphidium complanatum* (D'ORB), *Stilostomela* sp., *Sphaeroidina bulloides* (D'ORB), *Elphidium complanatum* (D'ORB), *Stilostomela* sp., *Sphaeroidina bulloides* D'ORB, *Globigerina officinalis* SUBB., *Globoquadrina langhiana* CITA et PREMOLI- pretaložene
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: bijeli, kaveno bijeli lapori sa fragmentima biljnog trunja.

Litološki sastav: Lapor

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): *Radix croatica*, *Congerina banatica*

Odredba starosti metodom 10Be/9Be:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: The sedimentary organic matter is characterized by the predominance of chorate and proximate dinoflagellate cysts with less contribution from terrestrially-derived plant debris. The most abundant taxa are *Pyxidinosia psilata* prema Soliman & Riding, *Spiniferites hennersdorfensis*, *S. bentorii* subsp. *truncata*, *S. bentorii* subsp. *coniunctus*, *Spiniferites* cf. *pachydermus*, and *Sphaeripilosa wernerpilleri*. *Pontadinium pecsvaradensis* and *Spiniferites oblongus* are less common. The terrestrial fraction is dominated by conifer pollen (*Pinus*) with few Taxodioideae pollen grains. Interpretation: The presence of *Spiniferites hennersdorfensis*, *S. bentorii* subsp. *coniunctus* and *Pontadinium pecsvaradensis* indicate the interval from the upper part of the *Pontadinium pecsvaradensis* (*Ppa*) Zone and lower part of

the *Spiniferites validus* Zone (*Sva*) according to Bakrač et al. (2012). This interval is designated as “*Spiniferites paradoxus*” or *S. hennersdorfensis* Zone in the Hungarian literature and indicates the early-late Pannonian transition (Magyar & Geary 2012). Similar assemblage was recorded at Mag-1 J-4/II, at 2196-2196.7 m during the previous analysis. The high abundance of dinoflagellate cysts indicates offshore, open lake environment, while the predominance of the *Spiniferites* group might point to eutrophic, nutrient rich-conditions inferred also from the moderate presence of the protoperidinoid cyst, *S. wernerpilleri* (Baranyi, 2022).

Ostrakodi: fragmenti nježnih neodredivih candonskih formi.

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: propusno?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: bazni dio

Interpretirani okoliš: otvoreno jezero, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): MEB (formacija Medvedski Breg)

Jezgra BRZ-1/J-1/IIIm (1222-1228 m)

Terenski pregled jezgre:

- INA izvještaj: glinoviti vapnenac
- HGI analize (Studija, 1995): nema
- Pregled doktorat: Bijeli, kaveno bijeli lapori sa sporadičnim fragmentima biljnog trunja.

Litološki sastav: Vapnenci-lapori?

Stratigrafska pripadnost (INA izvještaj): *Radix croatica*, *Congerina banatica*

Odredba starosti metodom $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$:

- **Jezerski inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Poplavna ravnica inicijalni omjer (Šujan i dr., 2016):** nema
- **Drava inicijalni omjer (ovaj rad):** nema

Palinologija: The sedimentary organic matter of the sample is primarily is characterized by the predominance of chorate and proximate dinoflagellate cysts and bisaccate conifer pollen with some contribution from terrestrially-derived degraded black-brown plant debris. The most common dinoflagellate cyst taxa are: *Spiniferites validus*, *S. bentorii* subsp. *coniunctus*, *Impagidinium spongianum*, and *Tectatodinium pellitum*. Less frequent are the taxa *Spiniferites maisensis*, *S. hennersdorfensis*, *S. cf. pachydermus*, *Sphaeripilosa wernerpilleri*, *Thalassiphora balcanica*. *Interpretation: The presence of Spiniferites validus and Thalassiphora balcanica indicate the late Pannonian Spiniferites validus Zone (Sva) (Sütő-Szentai, 2000; Bakrač et al. 2012). The high abundance of dinoflagellate cysts indicates offshore, open lake environment. Membranous and pterate dinocysts e.g., T. balcanica also support distal, open-water settings (Baranyi, 2022).*

Ostrakodi: bez faune

Kalcimetrija: nema

Granulometrija: nema

XRD: nema

Interpretacija litologije na karotažnim mjerenjima: propusno?

Položaj na temelju seizmičkih podataka: bazni dio

Interpretirani okoliš: otvoreno jezero, turbiditni

Odredba litostratigrafske formacije prema Sebe i dr., (2020): MEB (formacija Medvedski Breg)