

# Stratigrafske, naftnogeološke i paleoekološke značajke sarmatskih taložina zapadnog dijela Savske depresije

---

**Majstorović Bušić, Ana**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:679703>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Ana Majstorović Bušić

**STRATIGRAFSKE, NAFTNOGEOLOŠKE I  
PALEOEKOLOŠKE ZNAČAJKE  
SARMATSKIH TALOŽINA ZAPADNOG  
DIJELA SAVSKE DEPRESIJE**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2019



University of Zagreb

Faculty of Science  
Department of Geology

Ana Majstorović Bušić

**STRATIGRAPHIC, PETROLEUM  
GEOLOGICAL AND PALEOECOLOGICAL  
FEATURES OF SARMATIAN DEPOSITES IN  
WESTERN PART OF THE SAVA  
DEPRESSION**

DOCTORAL DISSERTATION

Zagreb, 2019



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Ana Majstorović Bušić

**STRATIGRAFSKE, NAFTNOGEOLOŠKE I  
PALEOEKOLOŠKE ZNAČAJKE  
SARMATSKIH TALOŽINA ZAPADNOG  
DIJELA SAVSKE DEPRESIJE**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

dr. sc. Jasenka Sremac, red. prof.  
dr. sc. Josipa Velić, prof. emerita

Zagreb, 2019





University of Zagreb

Faculty of Science  
Department of Geology

Ana Majstorović Bušić

**STRATIGRAPHIC, PETROLEUM  
GEOLOGICAL AND PALEOECOLOGICAL  
FEATURES OF THE SARMATIAN  
DEPOSITS IN THE WESTERN PART OF  
THE SAVA DEPRESSION**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:  
Dr. Jasenka Sremac, Full Prof.  
Dr. Josipa Velić, Prof. Emerita

Zagreb, 2019

Ova doktorska disertacija izrađena je u Istraživanju i razvoju portfelja, INA- Industrija nafte d.d. i Geološko-paleontološkom zavodu pri Geološkom odsjeku Prirodoslovno- matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Jasenke Sremac i prof. emer. dr.sc. Josipe Velić, u sklopu Dokorskog studija geologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno- matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

## *Zahvale*

*Zahvaljujem svojim mentoricama, prof. dr. sc. Jasenki Sremac i prof. emer. dr. sc. Josipi Velić na strpljenju, nesebično pruženom znanju, vodstvu i pomoći u radu.*

*Zahvaljujem i članovima povjerenstva za ocjenu rada, prof. dr. sc. Marijanu Kovačiću, prof. dr. sc. Tomislavu Malviću i doc. dr. sc. Đurđici Pezelj na vrlo korisnim komentarima i brojnim savjetima kojima su pomogli učiniti ovaj rad boljim.*

*Zahvaljujem svima koji su na bilo koji način pridonjeli izradi ovog rada i kolegama na podršci tijekom mog poslijediplomskog studija.*

*Na kraju veliko hvala obitelji na potpori i razumijevanju, posebno mojoj djeci Matiji i Gabrieli kojima posvećujem ovaj rad.*

|                                                                                                                             |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1. UVOD.....</b>                                                                                                         | <b>- 1 -</b>  |
| <b>2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....</b>                                                                  | <b>- 3 -</b>  |
| <b>2.1. GEOLOŠKA I PALEONTOLOŠKA ISTRAŽIVANJA .....</b>                                                                     | <b>- 3 -</b>  |
| <b>2.2. NAFTNOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA.....</b>                                                                                | <b>- 5 -</b>  |
| <b>3. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....</b>                                                                   | <b>- 6 -</b>  |
| <b>4. PREGLED TEMELJNIH GEOLOŠKIH ODNOSA .....</b>                                                                          | <b>- 10 -</b> |
| <b>4.1. PALEOGEOGRAFSKI POLOŽAJ SREDIŠNJEG PARATETISA .....</b>                                                             | <b>- 10 -</b> |
| <b>4.2. RAZVOJ NEOGENSKIH NASLAGA U HRVATSKOM DIJELU PANONSKOG<br/>BAZENSKOG SUSTAVA (HPBS) .....</b>                       | <b>- 13 -</b> |
| <b>4.3. ODREDBA SARMATA I PODJELA SARMATSKIH TALOŽINA NA<br/>PROSTORU PBS-A I SAVSKE DEPRESIJE .....</b>                    | <b>- 16 -</b> |
| <b>4.4. LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE SAVSKE DEPRESIJE .....</b>                                                               | <b>- 25 -</b> |
| <b>5. PRIKUPLJENI PODATCI O SARMATSKIM TALOŽINAMA ZAPADNOG<br/>DIJELA SAVSKE DEPRESIJE KORIŠTENI U INTERPRETACIJI .....</b> | <b>- 29 -</b> |
| <b>5.1. POVRŠINSKA SMJESTIŠTA SARMATSKIH TALOŽINA ZAPADNOG<br/>DIJELA SAVSKE DEPRESIJE.....</b>                             | <b>- 29 -</b> |
| <b>5.2. POTPOVRŠINSKI NALAZI SARMATSKIH TALOŽINA ZAPADNOG DIJELA<br/>SAVSKE DEPRESIJE .....</b>                             | <b>- 33 -</b> |
| <b>5.3. ODABRANE ISTRAŽIVAČKE BUŠOTINE U KOJIMA PALEONTOLOŠKI<br/>NIJE DOKAZAN ILI PRETPOSTAVLJEN SARMAT .....</b>          | <b>- 51 -</b> |
| <b>5.4. SEIZMIČKI PODATCI I KARTE KORIŠTENI ZA INTERPRETACIJU ...</b>                                                       | <b>- 57 -</b> |
| <b>6. PRIKUPLJENI MATERIJAL I ANALITIČKE METODE.....</b>                                                                    | <b>- 60 -</b> |
| <b>6.1. TERENSKI RAD I NAČIN UZORKOVANJA .....</b>                                                                          | <b>- 60 -</b> |
| <b>6.2. LABORATORIJSKE ANALIZE PRIKUPLJENIH UZORAKA.....</b>                                                                | <b>- 62 -</b> |
| <b>6.2.1. Mikropaleontološke analize.....</b>                                                                               | <b>- 62 -</b> |
| <b>6.2.2. Analize nanoplanktona .....</b>                                                                                   | <b>- 63 -</b> |
| <b>6.2.3. Palinološke analize .....</b>                                                                                     | <b>- 63 -</b> |
| <b>6.1.4. Kalcimetrija i petrografske analize .....</b>                                                                     | <b>- 64 -</b> |
| <b>6.1.5. Geokemijske analize .....</b>                                                                                     | <b>- 65 -</b> |

|                                                                                                                                       |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>6.3. KOMPILACIJA REZULTATA I TEORIJA PRIMJENE KAROTAŽNIH I KARTOGRAFSKIH METODA .....</b>                                          | <b>- 68 -</b>  |
| 6.3.1 Dubinskogeološke metode .....                                                                                                   | - 68 -         |
| 6.3.1. Uporabljene geomatematičke metode .....                                                                                        | - 71 -         |
| <b>7. REZULTATI .....</b>                                                                                                             | <b>- 77 -</b>  |
| <b>7. 1. REZULTATI DETALJNOG ISTRAŽIVANJA SMJESTIŠTA SVETA NEDELJA .....</b>                                                          | <b>- 77 -</b>  |
| 7.1.1 Opis smjestašta .....                                                                                                           | - 78 -         |
| 7.1.2. Mikropaleontološke analize .....                                                                                               | - 81 -         |
| 7.1.3. Analize nanoplanktona .....                                                                                                    | - 82 -         |
| 7.1.4. Palinološke analize .....                                                                                                      | - 83 -         |
| 7.1.5. Petrografske analize i kalcimetrija .....                                                                                      | - 88 -         |
| 7.1.6 Geokemijske analize odabranih uzoraka lokaliteta Sveta Nedelja .....                                                            | - 91 -         |
| <b>7.2. DUBINSKOGEOLOŠKI PODATCI, ANALIZE I PROSTORNI PRIKAZI..</b>                                                                   | <b>- 97 -</b>  |
| 7.2.1. Bušotine s dokazanim sarmatom prema fosilnom sadržaju u jezgrovanom materijalu .....                                           | - 97 -         |
| 7.2.2. Odabrane istraživačke bušotine u kojima paleontološki nije dokazan sarmat                                                      | - 115 -        |
| <b>7.3. Revizija nazivlja mikrofosila .....</b>                                                                                       | <b>- 131 -</b> |
| <b>8. RASPRAVA.....</b>                                                                                                               | <b>- 136 -</b> |
| 8.1. UTVRĐIVANJE I PREPOZNAVANJE SARMATSKIH TALOŽINA .....                                                                            | - 136 -        |
| 8.2. POVRŠINSKI PODATCI SMJESTIŠTA SVETA NEDELJA .....                                                                                | - 137 -        |
| <b>8.3. DUBINSKI NAFTNOGEOLOŠKI PODATCI DOBIVENI KORELACIJOM KAROTAŽE PRIRODNE RADIOAKTIVNOSTI I SEIZMIČKOM INTERPRETACIJOM .....</b> | <b>- 140 -</b> |
| 8.3.1. Interpretacija profila 1-1' (uključuje bušotine B-14, B-16, B-12) .....                                                        | - 141 -        |
| 8.3.2. Interpretacija profila 2-2' (uključuje bušotine B-12, B-10, B-9) .....                                                         | - 144 -        |
| 8.3.3. Interpretacija profila 3-3' (uključuje bušotine B-1, B-27, B-9, B-10) .....                                                    | - 147 -        |
| 8.3.4. Interpretacija profila 4 4' (uključuje bušotine B-11, B-8) .....                                                               | - 150 -        |
| 8.3.5. Interpretacija profila 5 5' (uključuje bušotine B-5, B-26) .....                                                               | - 152 -        |
| 8.3.6. Interpretacija profila 6-6' (uključuje bušotinu B-24) .....                                                                    | - 154 -        |
| 8.3.7. Interpretacija profila 7-7' (uključuje bušotine B-13, B-20, B-21) .....                                                        | - 155 -        |

|                                                                              |         |
|------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 8.3.8. Interpretacija profila 8-8' (uključuje bušotine B-22, B-28, B6) ..... | - 158 - |
| 8.3.9. Interpretacija profila 9-9' (uključuje bušotine B-6, B-18, B13) ..... | - 161 - |
| 8.3.10. Interpretacija profila 10-10' (uključuje bušotine B-15, B2) .....    | - 164 - |
| 8.4. INTERPRETACIJA I PROSTORNA RAZDIOBA TALOŽNIH OKOLIŠA<br>SARMATA.....    | - 167 - |
| 8.5. NAFTNOGEOLOŠKI ZNAČAJ SARMATSKIH TALOŽINA .....                         | - 175 - |
| 8. ZAKLJUČAK.....                                                            | - 177 - |
| 9. PROŠIRENI SAŽETAK .....                                                   | - 179 - |
| 10. EXTENDED ABSTRACT .....                                                  | - 182 - |
| 11. POPIS KORIŠTENE LITERATURE.....                                          | - 185 - |
| 11.1. OBJAVLJENI RADOVI (BEZ OCJENSKIH) .....                                | - 185 - |
| 11.2. OCJENSKI RADOVI .....                                                  | - 193 - |
| 11.3. FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE .....                                       | - 194 - |
| 12. ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA.....                                | - 196 - |

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Doktorska disertacija

### STRATIGRAFSKE, NAFTNOGEOLOŠKE I PALEOEKOLOŠKE ZNAČAJKE SARMATSKIH TALOŽINA ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE

ANA MAJSTOROVIĆ BUŠIĆ

Rad je izrađen u INA-Industrija nafte d.d, Avenija Većeslava Holjevca 10, Zagreb i u Geološko-paleontološkom zavodu pri Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 102 a, Zagreb.

Sažetak: Tijekom srednjeg miocena područje zapadnog dijela Savske depresije dio je jugozapadnog ruba nekadašnjega Središnjeg Paratetisa, odnosno današnjega hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava. Zbog prekida veze s Mediteranom i Indopacifikom tijekom sarmata započela je izolacija Središnjeg Paratetisa, što se očituje kroz pojavu endemske faune. Ovisno o paleoreljefu, intenzitetu erozije i energiji vode razvijaju se različiti tipovi okoliša. Razmatrajući bušotinske podatke uočeno je kako je sarmat vrlo rijetko prepoznat i izdvojen kao zaseban kat. Gornja granica sarmatskih taložina obično je bolje izražena te ju je moguće prepoznati po EK markeru Rs7, jer jezgre sedimenata ispod EK markera Rs7 sadrže miocensku fosilnu faunu stariju od panona. U cilju stjecanja uvida u rasprostranjenost i razvoj sarmata na površini prikupljeni su podatci iz brojnih radova te je istraživana i srednjomiocenska (sarmatska) fosilna flora i fauna na izdancima Svetonedeljskog brega. Rasprostranjenost sarmatskih taložina u dubini kreirana je i na temelju izvješća dubokih bušotina. Uspoređujući mikropaleontološke i petrografske karakteristike stijenskog materijala iz bušotina i karotažnih krivulja, na karotažnoj krivulji prirodne radioaktivnosti (engl. skr. GR) uočen je interval porasta vrijednosti prirodne radioaktivnosti ispod EK markera Rs7. Taj interval povećane radioaktivnosti na istraživanom području približno odgovara donjoj granici sarmatskih naslaga. U svrhu izradbe karte taložnih okoliša u vrijeme sarmata, svi površinski i dubinski podatci o taložnim okolišima grupirani su u četiri kategorije i to: (1) plitkog, (2) prijelaznog, (3) dubljeg i (4) kopnenog okoliša. Na taj je način svakoj analiziranoj točki u prostoru pridružena indikatorska vrijednost nazvana indikator okoliša. Na podatcima je primijenjeno više metoda kartiranja, te je utvrđeno da je najprimjerenija metoda koja prikazuje razdiobu okoliša tijekom sarmata metoda najmanjih kvadrata.

Ključne riječi: sarmat, Paratetis zapadni dio Savske depresije,

Rad sadrži: XVII + 198 stranica, 130 slika, 13 tablica, 130 literaturni navod

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnjoj geološkoj knjižnici Geološkog zavoda Prirodoslovno-matematičkog fakulteta i Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu

Mentori: Prof.dr.sc. Jasenka Sremac, PMF, Sveučilište u Zagrebu  
Prof. emerita dr. sc. Josipa Velić, RGNF, Sveučilište u Zagrebu

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Marijan Kovačić, PMF, Sveučilište u Zagrebu  
Doc. dr. sc. Đurđica Pezelj, PMF, Sveučilište u Zagrebu  
Prof. dr. sc. Tomislav Malvić, RGNF, Sveučilište u Zagrebu

Rad prihvaćen: 11. listopada 2019.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Doctoral thesis

### STRATIGRAPHIC, PETROLEUM GEOLOGICAL AND PALEOECOLOGICAL FEATURES OF THE SARMATIAN DEPOSITS IN THE WESTERN PART OF THE SAVA DEPRESSION

ANA MAJSTOROVIĆ BUŠIĆ

Thesis completed in INA Plc, Avenija Većeslava Holjevca 10, Zagreb and in Division of Geology and Paleontology, Department of Geology, Faculty of Science, Horvatovac 102a, Zagreb.

**Abstract:** During the Middle Miocene (Sarmatian), sedimentary basins in the western part of the Sava Depression belonged to the south-western part of the Central Paratethys. Area belongs to the south-western part of the Croatian part of Pannonian Basin System. Sea. Isolation of the Central Paratethys from the Mediterranean and Indo-Pacific began during the Sarmatian period and led to the occurrence of the endemic fauna. Evolution of environments was controlled by paleorelief, erosional intensity and water energy. Sarmatian is very rarely recognized and distinguished as a stage in well data. The approximate boundary between the Sarmatian and the Lower Pannonian is recognized by e-log marker Rs7 and sediments below the Rs7 contain Miocene fossil fauna older than the Pannonian. In order to define the distribution and development of Sarmatian outcrops, data from numerous papers were collected and the Middle Miocene (Sarmatian) fossil flora and fauna were analyzed at outcrops in the area of Svetonedeljski breg. Distribution of Sarmatian sediments was also determined based on deep wells reports. Potential boundary was observed on the gamma-ray well log curve (abb. GR). This interval of increased radioactivity roughly corresponds to the bottom of the Sarmatian deposits. In order to map depositional environments during the Sarmatian, all outcrops and well data of depositional environments are grouped into four categories: (1) shallow, (2) transitional, (3) deeper and (4) terrestrial environments. In this way, each analyzed point is assigned an indicator value called an environmental indicator. The few mapping methods were applied and the most appropriate method that represents the spatial data distribution was the least-squares method.

**Keywords:** Sarmatian, Paratethys, western part of the Sava depression

**Thesis contains:** XVII + 198 pages, 66 figures, 13 tables, 130 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central geological library, Horvatovac 102a, Zagreb and the National and University library in Zagreb

**Supervisors:** Professor Jasenka Sremac, Faculty of Science, Zagreb  
Professor emerita Josipa Velić, Faculty of Mining Croatian. Zagreb

**Reviewers:** Professor Marijan Kovačić, Faculty of Science, Zagreb  
Assistant professor Đurđica Pezelj, Faculty of Science, Zagreb  
Professor Tomislav Malvić, Faculty of Mining, Zagreb

**Thesis accepted:** October 11th, 2019



## POPIS SLIKA U TEKSTU

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Slika 3.1.</b> Geografski položaj istraživanog područja (prema topografskoj karti 1:25000, Državni geodetski zavod).....                                                                                                                                                                              | 7  |
| <b>Slika 3.2.</b> Topografska karta istraživanog područja (prilagođeno prema prema topografskoj karti 1:25000, Državni geodetski zavod).....                                                                                                                                                             | 8  |
| <b>Slika 4.1.</b> Paleogeografska karta Središnjeg Paratetisa, srednji miocen (Rögl, 1998, prilagođeno iz Vrsaljko et al., 2006).....                                                                                                                                                                    | 10 |
| <b>Slika 4.2.</b> Stratigrafska korelacija srednjeg i kasnog miocena (prilagođeno iz Neubauer et al. 2015).....                                                                                                                                                                                          | 11 |
| <b>Slika 4.3.</b> Evolucija prolaza između bazena Središnjeg i Istočnog Praratetisa tijekom srednjeg miocena, A- kasni baden B-rani sarmat (Palcu et al., 2015.) slika nije prevedena zbog prevelikog broja grafičkih detalja te gubitka kvalitete koji bi se dogodili prilikom prijevoda (rasteri)..... | 12 |
| <b>Slika 4.4.</b> Depresije hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava (prilagođeno iz Prelogović et al 1998, Lucić et al. 2001 i Velić, 2007).....                                                                                                                                                    | 13 |
| <b>Slika 4.5.</b> Glavni tektonski događaji u neogenu hrvatskog dijela Panonskog bazena (prilagođeno iz Malvić i Velić, 2011).....                                                                                                                                                                       | 14 |
| <b>Slika 4.6.</b> Sedimentološki i stratigrafski shematski stup Sjevernohrvatskog bazena (prilagođeno iz Pavelić i Kovačić (2018).....                                                                                                                                                                   | 15 |
| <b>Slika 4.7.</b> Geografski položaj miocenskih stratotipova za područje Središnjeg Paratetisa (prilagođeno iz Piller et al., 2007). Neki autori i pont svrstavaju u stratotip PBS-a.....                                                                                                                | 17 |
| <b>Slika 4.8.</b> Raspon razdoblja sarmata u Središnjem Paratetisu prema različitim autorima (iz Palcu et. al., 2015).....                                                                                                                                                                               | 18 |
| <b>Slika 4.9.</b> Paleogeografska karta ranog samata (prema Popov et al., 2004). Slika nije prevedena zbog prevelikog broja grafičkih detalja te gubitka kvalitete koji bi se dogodili prilikom prijevoda (rasteri).....                                                                                 | 19 |
| <b>Slika 4.10.</b> Paleogeografska karta Paratetisa na području Panonskog bazena tijekom sarmata (Popov et al., 2004). Slika nije prevedena zbog prevelikog broja grafičkih detalja te gubitka kvalitete koji bi se dogodili prilikom prijevoda (rasteri).....                                           | 20 |
| <b>Slika 4.11.</b> Biostratigrafija sarmata Središnjega Paratetisa (prilagođeno iz Piller i Harzhauser, 2005; Vrsaljko, 2003).....                                                                                                                                                                       | 21 |
| <b>Slika 4.12.</b> Dio miocena (15.97-5.33 mil. god), geokronologija, geomagnetizam, biozonacija planktonskih foraminifera, stratigrafija kisikovih izotopa (prilagođeno iz Piller et al., 2007).....                                                                                                    | 22 |
| <b>Slika 4.13.</b> Biozone srednjeg miocena na osnovi bentičkih foraminifera (pilagođeno iz Pezelj i Drobnjak, 2019).....                                                                                                                                                                                | 23 |

|                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Slika 4.14.</b> Razvoj okoliša; baden-sarmat, shematski profil područja Medvednice (preuzeto iz Vrsaljko, 2006).....                                                                                                     | 25 |
| <b>Slika 4.15.</b> Shematski stratigrafski stup Savske depresije (Interna dokumentacija INA d.d.; prilagođeno iz Šimon, 1963, 1980).....                                                                                    | 27 |
| <b>Slika 5.1.</b> Smjestašta opisanih sarmatskih naslaga na površinskim izdancima (isječak Geološke karte RH 1:300 000, ur.Velić & Vlahović, 2009).....                                                                     | 29 |
| <b>Slika 5.2.</b> Smjestašta potpovršinskih nalaza sarmatskih taložina (isječak Geološke karte RH 1:300 000, ur. Velić & Vlahović, 2009).....                                                                               | 33 |
| <b>Slika 5.3.</b> Mikrofosilana zajednica sarmata; B-2; 1182,6-1194,9 m; 1 m, 0,80 m (Hernitz-Kučenjak i Premec-Fuček, 2015).....                                                                                           | 36 |
| <b>Slika 5.4.</b> <i>Semseya lamellata</i> ; B-2; 1182,6-1194,9 m; 3 m (Hernitz-Kučenjak i Premec Fuček, 2015).....                                                                                                         | 36 |
| <b>Slika 5.5.</b> Bušotina B-5, jezgra-65 (petrografski izbrusak) – glinoviti lapor s kršjem školjkaša, piritom i organskom tvari (Veseli et al., 2013).....                                                                | 37 |
| <b>Slika 5.6.</b> Bušotina B-5, jezgra-65 (petrografski izbrusak) – glinoviti lapor s organskom tvari i piritom (Veseli et al., 2013).....                                                                                  | 38 |
| <b>Slika 5.7.</b> Bušotina B-5, jezgra-66 (petrografski izbrusak) – glinoviti lapor s piritiziranim foraminiferama (Veseli et al., 2013).....                                                                               | 38 |
| <b>Slika 5.8.</b> Bušotina B-5, jezgra-67 (petrografski izbrusak)- glinoviti lapor, nakupine kalcita, globule pirit (Veseli et al., 2013).....                                                                              | 39 |
| <b>Slika 5.9.</b> Bušotina B-12, interval 2220-2230 m, zajednica bentičkih foraminifera sarmata, A- <i>Anomalinoides dividens</i> , B- <i>Cibicidoides</i> sp, C-miliolida, D- <i>Nonion</i> sp. (Veseli et al., 2014)..... | 44 |
| <b>Slika 5.10.</b> Bušotina B-12, interval 2200 – 2210 m, palinološka zajednica (Veseli et al., 2014).....                                                                                                                  | 44 |
| <b>Slika 5.11.</b> Zajednica bentičkih foraminifera bušotine - B13 (sarmat:2210-2220 m), (Zlatar et al., 2014).....                                                                                                         | 47 |
| <b>Slika 5.12.</b> Izolirana organska tvar, liptodetrinit u amorfnoj organskoj tvari, lijevo prolazno svijetlo, desno plavo fluorescentno svijetlo, B-13 interval 2200-2220 m (Španić i Troškot-Čorbić, 2014).....          | 50 |
| <b>Slika 5.13.</b> Položajna karta odabranih 2D seizmičkih profila.....                                                                                                                                                     | 57 |
| <b>Slika 5.14.</b> Strukturna karta po plohi EK markeru Rs7 (prema Takaču).....                                                                                                                                             | 58 |
| <b>Slika 5.15.</b> Strukturna karta po plohi EK markera Rs7 (Velić, 1980).....                                                                                                                                              | 59 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Slika 6.1.</b> Položajna karta izdanaka lokaliteta Sveta Nedelja (Google maps).....                                                                                                                                                                                             | 61 |
| <b>Slika 6.2.</b> Položajna karta izdanaka smjesta Sveta Nedelja na geološkoj karti (isječak OGK list Zagreb prema Šikić K. et al., 1978).....                                                                                                                                     | 61 |
| <b>Slika 6.3.</b> Skladište jezgara Mramor brdo.....                                                                                                                                                                                                                               | 62 |
| <b>Slika 6.4.</b> Uređaj Autokalcimetar.....                                                                                                                                                                                                                                       | 65 |
| <b>Slika 6.5.</b> Generiranja ugljikovodika i CO <sub>2</sub> uslijed razgradnje organske tvari Rock Eval pirolizom (modificirano prema Tissot i Welte, 1984).....                                                                                                                 | 66 |
| <b>Slika 6.6.</b> Primjer odredbe Ek-markera na karotažnim krivuljama.....                                                                                                                                                                                                         | 70 |
| <b>Slika 6.7.</b> Primjer sučelja u programu Decision Space.....                                                                                                                                                                                                                   | 77 |
| <b>Slika 7.1.</b> Izdanak 5.....                                                                                                                                                                                                                                                   | 79 |
| <b>Slika 7.2.</b> Izdanak 7.....                                                                                                                                                                                                                                                   | 80 |
| <b>Slika 7.3.</b> Značajne vrste foraminifere izdanaka 5: 1- <i>Elphidium josephinum</i> , 2- <i>Anomalinoides dividens</i> , 3- <i>Porosononion granosum</i> , 4- <i>Elphidium aculeatum</i> 5- <i>E. hauerinum</i> , 7- <i>E. reginum</i> , 8- <i>Nonion bogdanowiczii</i> ..... | 82 |
| <b>Slika 7.4.</b> Uzorak 5A; 1. <i>Calcidiscus tropicus</i> ; 2. dio kokosfere <i>C. tropicus</i> ; 3. <i>C. floridanus</i> .....                                                                                                                                                  | 83 |
| <b>Slika 7.5.</b> Petrografski izbrusak uzorka 5A –madston.....                                                                                                                                                                                                                    | 88 |
| <b>Slika 7.6.</b> Petrografski izbrusak uzorka 5C- madston do vekston s ljušturicama fosila.....                                                                                                                                                                                   | 89 |
| <b>Slika 7.7.</b> Petrografski izbrusak uzorka 5C- madston.....                                                                                                                                                                                                                    | 89 |
| <b>Slika 7.8.</b> Petrografski izbrusak uzorka 7A- vekston.....                                                                                                                                                                                                                    | 89 |
| <b>Slika 7.9.</b> Petrografski izbrusak uzorka 7B –madston.....                                                                                                                                                                                                                    | 90 |
| <b>Slika 7.10.</b> Petrografski izbrusak uzorka Bora 4-madston, lijevo: s analizatorom, desno-bez analizatora.....                                                                                                                                                                 | 90 |
| <b>Slika 7.11.</b> Dijagram odnosa vodikovog indeksa i T <sub>max</sub> .....                                                                                                                                                                                                      | 92 |
| <b>Slika 7.12.</b> Karotažni i litološki podaci iz bušotine B-1 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                        | 98 |
| <b>Slika 7.13.</b> Tamnosivi siltni lapor iz bušotine B-1, dio jezgre-4, 2. metar.....                                                                                                                                                                                             | 98 |
| <b>Slika 7.14.</b> Bušotina B-1, jezgra-4, 2. metar (petrografski izbrusak1)- madston s paralelnim anastomozirajućim laminiranim setom s glinovitom ispunom. Rijetko su pristuna siliciklastična zrna dimenzije silta.....                                                         | 99 |
| <b>Slika 7.15.</b> Bušotina B -1, jezgra-4, 2. metar (petrografski izbrusak 2)- madston s nepravilnim laminama s glinovitom ispunom te organskom tvari.....                                                                                                                        | 99 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Slika 7.16.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-2 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                              | 100 |
| <b>Slika 7.17.</b> Sivi laminirani lapori iz bušotine B-2, dio jezgre 1 (II., III. i IV. metar).....                                                                                                                                                                                      | 100 |
| <b>Slika 7.18.</b> Bušotina B-2, jezgra-1, 4. metar (petrografski izbrusak)- madston do vekston s presjecima ostrakoda. Unutar madstona mjestimice je prisutna organska tvar.....                                                                                                         | 100 |
| <b>Slika 7.19.</b> Litološki podatci iz bušotine B-3 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                                          | 101 |
| <b>Slika 7.20.</b> Lapor iz bušotine B-3, dio jezgre 1.....                                                                                                                                                                                                                               | 101 |
| <b>Slika 7.22.</b> Bušotina B-3, jezgra-1 (petrografski izbrusak)- madston do vekston s presjecima ostrakoda.....                                                                                                                                                                         | 102 |
| <b>Slika 7.23.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-5 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                              | 103 |
| <b>Slika 7.24.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-6 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                              | 104 |
| <b>Slika 7.25.</b> Kalcitom bogati lapor iz bušotine B-6, dio jezgre-9.....                                                                                                                                                                                                               | 104 |
| <b>Slika 7.26.</b> Lapor iz bušotine B-6, dio jezgre-10.....                                                                                                                                                                                                                              | 104 |
| <b>Slika 7.27.</b> Bušotina B-6; jezgra-10 (petrografski izbrusak)-madston do vekston.....                                                                                                                                                                                                | 105 |
| <b>Slika 7.28.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-7 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                              | 105 |
| <b>Slika 7.29.</b> Bušotina B-7; jezgra-2 (petrografski izbrusak 1)- fosiliferni pekston do grejnstone.....                                                                                                                                                                               | 106 |
| <b>Slika 7.30.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-8 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                              | 106 |
| <b>Slika 7.31.</b> Kalcitom bogati lapor bušotine B-8, dio jezgre-3,1.metar.....                                                                                                                                                                                                          | 107 |
| <b>Slika 7.32.</b> Lapor bušotine B-8, jezgra-4/I., II.,III. i IV. Metar.....                                                                                                                                                                                                             | 107 |
| <b>Slika 7.33.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-9 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                              | 108 |
| <b>Slika 7.34.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-10 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                             | 109 |
| <b>Slika 7.35.</b> Kalcitom bogati lapori bušotine B-10, jezgra-6/I., II. Metar.....                                                                                                                                                                                                      | 109 |
| <b>Slika 7.36.</b> Bušotina B-10; jezgra-6, 1. metar (petrografski izbrusak) 1- unutar madstona prisutan set paralelnih malo glinovitih neravnih lamina te lamina organske tvari., 4- presjeci ostrakoda te siliciklastična zrna unutar madstona s laminama (vjerojatno stromatolit)..... | 110 |
| <b>Slika 7.37.</b> Bušotina B-10; Jezgra-6, 2. metar (petrografski izbrusak)- organska tvar te siliciklastična zrna unutar madstona.....                                                                                                                                                  | 110 |
| <b>Slika 7.38.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-11 (istraživani interval).....                                                                                                                                                                                             | 111 |
| <b>Slika 7.39.</b> Siltni lapori bušotine B-11, jezgra-1/I., II., III. i V. metar.....                                                                                                                                                                                                    | 111 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Slika 7.40.</b> Bušotina B-11; jezgra-1, 5. metar (petrografski izbrusak)- madston, raspršena organska tvar, ljušturice ostrakoda, zrnca biotita.....                                                                                                                                                          | 112 |
| <b>Slika 7.41.</b> Bušotina B-11; jezgra-1/5 m (petrografski izbrusak)- madston, raspršena organska tvar, listići biotita, presjeci ostrakoda te siliciklastična zrna.....                                                                                                                                        | 112 |
| <b>Slika 7.42.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-12 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 113 |
| <b>Slika 7.43.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-13 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 114 |
| <b>Slika 7.44.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-14 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 114 |
| <b>Slika 7.45.</b> Bušotina B-14; jezgra-6,2. metar (petrografski izbrusak) – madston s paralelno raspršenom organskom tvari, prisutna je i siliciklastična komponenta.....                                                                                                                                       | 115 |
| <b>Slika 7.46.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-15 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 116 |
| <b>Slika 7.47.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-16 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 117 |
| <b>Slika 7.48.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-17 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 118 |
| <b>Slika 7.49.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-18 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 119 |
| <b>Slika 7.50.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-19 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 120 |
| <b>Slika 7.51.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-20 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 121 |
| <b>Slika 7.52.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-21 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 122 |
| <b>Slika 7.53.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-22 (istaživani interval).....                                                                                                                                                                                                                      | 123 |
| <b>Slika 7.54.</b> Bušotina B-22; jezgra-3,2. metar (petrografski izbrusak) - madston do vekston u kojem je prisutna organska tvar u vidu nakupina te kratkih planparalelno orijentiranih traka .....                                                                                                             | 123 |
| <b>Slika 7.55.</b> Bušotina B-22; jezgra-3, 5. metar (petrografski izbrusak) – madston do vekston s presjecima ostrakoda.....                                                                                                                                                                                     | 124 |
| <b>Slika 7.56.</b> Bušotina B-22; jezgra-1; J-3,7. metar (petrografski izbrusci)1- laminirani madstone, horizontalna i kosa laminacija; 2- uvećani prikaz tamne lamine, rijetke ljušturice fosila i raspršena organska tvar.....                                                                                  | 124 |
| <b>Slika 7.57.</b> Bušotina B-22; jezgra-3, 8. metar (petrografski izbrusci) 1- laminirani madston u kojem je prisutna vertikalna pukotina ispunjena kalcitnim cementom; 2- laminirani madston mjestimično prisutna organska tvar; 3- madston s presjecima fosila te vertikalna pukotina ispunjena cementom ..... | 125 |
| <b>Slika 7.58.</b> Bušotina B-22; jezgra-4, 1-2.metar, floutston; 2-3.metar,presjek crvene alge u grejnstonu; 3- 4. metar, aksijalni presjek aglutinirane foraminifere u madstonu; 4-6.metar, pekston.....                                                                                                        | 125 |

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Slika 7.59.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-23 (istaživani interval).....                                                                                                 | 126 |
| <b>Slika 7.60.</b> Bušotina B-23; jezgra-4/1 m (petrografski izbrusak) pukotine ispunjene organskom tvari u madstonu ili diskontinuirane planparalelne lamine organske tvari u madstonu..... | 126 |
| <b>Slika 7.61.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-24 (istaživani interval).....                                                                                                 | 127 |
| <b>Slika 7.62.</b> Bušotina B-24; jezgra-1, 1- 3. metar, vekston; 2-5.metar, madsto.....                                                                                                     | 128 |
| <b>Slika 7.63.</b> Bušotina B-24; jezgra-2,2. metar– presjek planktonske foraminifere (vjerojatno Orbulina) i presjeci ljušturica ostrakoda, madston do vekston.....                         | 128 |
| <b>Slika 7.64.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-25 (istaživani interval).....                                                                                                 | 129 |
| <b>Slika 7.65.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-26 (istaživani interval).....                                                                                                 | 129 |
| <b>Slika 7.66.</b> Karotažni i litološki podatci bušotine B-27 (istaživani interval).....                                                                                                    | 130 |
| <b>Slika 7.67.</b> Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-28 (istaživani interval).....                                                                                                 | 131 |
| <b>Slika 8.1.</b> Korelacijski profil 1-1' kroz bušotine B-14, B-16, B-12.....                                                                                                               | 142 |
| <b>Slika 8.2.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 1-1' (B-14 B-16 B-12)..                                                                                         | 143 |
| <b>Slika 8.3.</b> Korelacijski profil 2-2' kroz bušotine B-12, B-9 i B-1.....                                                                                                                | 145 |
| <b>Slika 8.4.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 2-2' (B-12, B-9 i B-10).....                                                                                    | 146 |
| <b>Slika 8.5.</b> Korelacijski profil 3-3' kroz bušotine B-1, B-27 ,B-9 i B-10.....                                                                                                          | 148 |
| <b>Slika 8.6.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 3-3' ( B-1, B-27 ,B-10 i B-9).                                                                                  | 149 |
| <b>Slika 8.7.</b> Korelacijski profil SvJ-1 i Ka-24-4' kroz bušotine B-11 i B-8.....                                                                                                         | 150 |
| <b>Slika 8.8.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 4-4' kroz (B-11 i B-8).....                                                                                     | 151 |
| <b>Slika 8.9.</b> Korelacijski profil profil 5-5' kroz bušotine B-5 i B-26.....                                                                                                              | 152 |
| <b>Slika 8.10.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil -5' (B-5 i B-26).....                                                                                          | 153 |
| <b>Slika 8.11.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) 6-6' (B-24).....                                                                                                      | 154 |
| <b>Slika 8.12.</b> Korelacijski profil 7-7' kroz bušotine B-13, B-20 i B-21 poravnato po Rs5.....                                                                                            | 156 |
| <b>Slika 8.13.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) 7-7' ( B-13, B-20 i B-21).....                                                                                        | 157 |
| <b>Slika 8.14.</b> Korelacijski profil 8-8' kroz bušotine B-22, B-28 i B-6.....                                                                                                              | 159 |

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Slika 8.15.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 8-8' ( B-22, B-28 i B-6).....                          | 160 |
| <b>Slika 8.16.</b> Korelacijski profil 9-9' kroz bušotine B-6, B-18 i B-13.....                                                      | 162 |
| <b>Slika 8.17.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) 9-9' ( B-6, B-18 i B-13).....                                 | 163 |
| <b>Slika 8.18.</b> Korelacijski profil 10-10' kroz bušotine B-15 i B-2.....                                                          | 165 |
| <b>Slika 8.19.</b> Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 10-10' (B-15 i B-2B).....                              | 166 |
| <b>Slika 8.20.</b> Položaj točaka korištenih prilikom kartiranja.....                                                                | 170 |
| <b>Slika 8.21.</b> Karta okoliša interpolirana metodom najbližeg susjedstva.....                                                     | 171 |
| <b>Slika 8.22.</b> Karta okoliša interpolirana metodom najbližeg susjedstva sa primjenom ublažavanja oštih rubova („smoothing“)..... | 172 |
| <b>Slika 8.23.</b> Sučelje u programu Decision Space sa prikazom ulaznih varijabli.....                                              | 173 |
| <b>Slika 8.24.</b> Karta okoliša dobivena metodom „Least squares“ najmanjih kvadrata.....                                            | 174 |

## POPIS TABLICA

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablica 5.1.</b> Bušotine s dokazanim/pretpostavljenim sarmatom prema fosilnom sadržaju....                               | 34  |
| <b>Tablica 5.2.</b> Rezultati Rock-Eval pirolize krhotina iz isplake bušotine Bušotina B-12, 2130-2230 m (Španić, 2014)..... | 46  |
| <b>Tablica 5.3.</b> Rezultati Rock-Eval pirolize krhotina iz isplake bušotine B-13 (Španić i Troškot-Čorbić, 2014).....      | 49  |
| <b>Tablica 5.4.</b> Sadržaj ekstrabilne organski tvari u uzorcima bušotine B-13 (Španić i Troškot-Čorbić, 2014).....         | 50  |
| <b>Tablica 6.1.</b> Usporedba TAI-VR (% Ro) (interna skala INA d.d., prema Španić i Troškot-Čorbić).....                     | 67  |
| <b>Tablica 7.1.</b> Foraminifere po analiziranim uzorcima (izdanak 5, Sveta Nedelja).....                                    | 71  |
| <b>Tablica 7.2.</b> Rezultati kalcimetrije uzoraka lokaliteta Sveta Nedelja.....                                             | 88  |
| <b>Tablica 7.3.</b> Rezultati određivanja sadržaja ugljika iz organskih spojeva i Rock-Eval pirolize.....                    | 91  |
| <b>Tablica 7.4.</b> Jezgrovani intervali odabranih bušotina.....                                                             | 97  |
| <b>Tablica 7.5.</b> Pregled novog (važećeg) i starog nazivlja foraminiferskih taksona.....                                   | 131 |
| <b>Tablica 8.1.</b> Kategorije kartiranih okoliša.....                                                                       | 167 |
| <b>Tablica 8.2.</b> Indikatori okoliša površinskih smjestaša.....                                                            | 168 |
| <b>Tablica 8.3.</b> Indikatori okoliša dubinskih smjestaša.....                                                              | 169 |



## **POPIS TABLI U TEKSTU**

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>TABLA I</b> Palinološka zajednica u uzorcima Svetonedeljskog brega (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić )..... | 87 |
| <b>TABLA II</b> Uzorak 5A .....                                                                                                           | 93 |
| <b>TABLA III</b> Uzorak 5C.....                                                                                                           | 94 |
| <b>TABLA IV</b> Uzorak 7C.....                                                                                                            | 95 |
| <b>TABLA V</b> Bora 4.....                                                                                                                | 96 |

## **POPIS JEDNADŽBI**

**Jednadžba 6.3:** Izraz za Euklidovu udaljenost

**Jednadžba 6.4 :** Odnos zavisne i nezavisne varijable

**Jednadžba 6.5:** Opći model višestruke linearne regresije

**Jednadžba 6.6:** Model višestruke linearne regresije u slučaju linearne veze

**Jednadžba 6.7:** Vektorska jednadžba linearne regresijske veze u obliku sustava od  $n$  jednadžbi

**Jednadžba 6.8:** Procjena vrijednosti parametara

**Jednadžba 6.9:** Normalne jednadžbe metode najmanjih kvadrata

## 1. UVOD

Područje Sjeverne Hrvatske predstavljalo je tijekom srednjeg miocena jugozapadni rub Središnjeg Paratetisa. Tijekom sarmata prekidaju se veze s Mediteranom i Indopacifikom, slanošću pada i razvijaju se endemske faune (npr. **Rögl, 1998, Piller et al., 2007**). Ovisno o paleoreliefu, intenzitetu erozije i energiji vode razvijaju se različiti tipovi okoliša. U priobalju je čest kopneni utjecaj (donos klastičnog materijala, kopnena flora), a nađu se i pretaloženi badenski fosili, koji otežavaju odredbe starosti. U lagunskim okolišima talože se taložine sitnijeg zrna, dok u se dubljemorskim okolišima takve naslage talože neprekinuto, pa ih je, u oba slučaja, teško razlikovati od badenskih.

Kada razmatramo bušotinske podatke primjećujemo kako je sarmat vrlo rijetko prepoznat i izdvojen kao zaseban kat. Gornja granica sarmata obično je bolje izražena te ju je moguće prepoznati po EK markeru Rs7. Prema EK markerima postavljene su i granice litostratigrafskih jedinica ranga formacija unutar hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava (skr. HPBS). U zoni markera Rs7 nalazi se granica između naslaga sarmata i donjeg panona, odnosno jezgre sedimenata ispod EK markera Rs7 sadrže miocensku fosilnu faunu stariju od panona. To ne znači da plohe tih markera predstavljaju točnu kronostratigrafsku granicu, no ona se nalazi negdje u njihovoj zoni i varijacije starosti markera nekoliko redova veličine su kraće od starosti (pod)katova koje dijele.

Prijelaz badena u sarmat nije uočen kao prepoznatljiv EK marker koji bi odredio zonu unutar koje se može odrediti ta granica. Razlog je litološka sličnost naslaga gornjeg badena i sarmata, pogotovo u dubljim dijelovima taložnog bazena, odnosno kontinuitet taloženja u prostoru Paratetisa. Nadalje, glavni problem u određivanju sarmata iz bušotinskih podataka je mali broj dostupnih jezgara iz navedenog intervala i malobrojne paleontološke analize. Upravo zbog toga se često u interpretaciji dubinskogeoloških podataka smatralo da sarmata nema.

Međutim, kako je sarmat opisan na brojnim izdancima, sasvim je izvjesno da se nalazi i u dubini, samo nije prepoznat. Kartiranje sarmatskih taložina je zahtijevan zadatak zbog malog broja podataka i nemogućnosti regionalnog kartiranja debljina, a dostupni podatci su uz to i izrazito grupirani (klasterirani). Zbog toga je ispravno donošenje zaključaka iz ograničenoga skupa mjerenja iznimno važno. Nužno je dobro poznavati tehnike i metode kojima se ti podatci mogu primjereno obraditi te na takav način pružiti što više pouzdanih i nepristranih rezultata.

Cilj ovog rada je proširiti postojeće spoznaje o sarmatskim taložinama zapadnog dijela Savske depresije, kako bi se dobio uvid u stratigrafske, paleoekološke i paleogeografske osobitosti sarmatskih taložina. Također, razmotriti mogućnost stvaranje nove, jasnije metode prepoznavanja intervala sarmatskih taložina iz dubinskih podataka na mjestima gdje nema stijenskog materijala. Dati nove rezultate o modelu sarmatskih taložnih okoliša uporabom najprimjerenijih geomatematičkih metoda, te procijeniti naftnomatične značajke. Plan istraživanja uključivao je prikupljanje baze podataka o zabilježenim površinskim i potpovršinskim smjestištima sarmatskih taložina. Zatim prikupljanje i odabir uzoraka za laboratorijske analize, izradbu litoloških stupova bušotina, odredbu ili reviziju odredbe Ekmarkera Rs7 te, na kraju, primjenu odabranih geoloških i geomatematičkih metoda radi povezivanja podataka i prikaza geološke evolucije prostora.

U rezultatima ovoga rada prikazano je prostiranje naslaga taloženih u vrijeme sarmata u zapadnom dijelu Savske depresije, ali i njihovi taložni okoliši. Istraživačko područje je odabrano zbog dostupnih podataka o sarmatskim površinskim i bušotinskim smjestištima, koji su omogućili povezivanje dubine i površine. Kako su sarmatske naslage na mnogim mjestima bogate organskom tvari, one su promatrane i kao potencijalne matične stijene koje imaju naftnogeološki potencijal. U budućnosti će na mjestima gdje su generirale ugljikovodike biti moguće promatrati i njihov potencijal kao nekonvencionalnih ležišta. U tom smislu ovaj rad predstavlja najdetaljniji pregled sarmatskih naslaga u analiziranom prostoru, a koji obuhvaća kako dubinske tako i površinske podatke, koji su međusobno korelirani i uspoređeni. To je načinjeno uporabom različitih metoda i to mikropaleontološkim i petrografskim analizama, interpretacijom karotažnih dijagrama, seizmičkom interpretacija, geomatematičkim metodama kartiranja te drugim metodama.

## 2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

O miocenskim naslagama objavljeni su brojni radovi i napisan je niz diplomskih i doktorskih radova. Naslage su također proučavane u svrhu naftno-geoloških istraživanja te velik broj podataka i studija pripada Fondu stručne dokumentacije Ine. U ovom pregledu poglavito su odabrani radovi koji se odnose na sarmat te radovi koji su ključni za određivanje geološkog razvoja. Navedeni su po kronološkom redoslijedu. Podcrtani radovi se odnose na istraživano područje.

### 2.1. GEOLOŠKA I PALEONTOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Gorjanović-Kramberger (1908 a,b) napisao je velik broj radova o kenozojskim naslagama Medvednice. Prvi je objavio cjelovitu geološku kartu Medvednice s odgovarajućim tumačima za geološke karte Zagreb i Zlatar-Krapina. Unutar "tercijarnih naslaga" (Međunarodno povjerenstvo za stratigrafiju 2004. godine ukinulo je period tercijar) izdvojio je oligocen, stariji mediteran, mlađi mediteran (danas baden), sarmat i pliocen. Kochansky (1944) istražuje i detaljno prikazuje naslage i makrofaunu morskog miocena na južnim i jugozapadnim stranama Medvednice. Šimon (1963) je prvi puta utvrdio i opisao neformalne litostratigrafske jedinice u Savskoj depresiji. Šikić (1967, 1968) se bavi mikropaleontološkim istraživanjima, na osnovi kojih donosi nove spoznaje o stratigrafiji badena i sarmata. Kranjec (1972) i Kranjec et al. (1977) kroz niz radova, provode paleostrukturu analizu zapadnog dijela Savske depresije. Papp (1974) opisuje sarmatske naslage lokaliteta Nexing u Bečkom bazenu. Bajraktarević, (1982 a,b) detaljno prikazuje fosilnu mikrofaunu i nanofaunu laporovitih naslaga srednjeg miocena (baden i sarmat) pojedinih dijelova Medvednice. Nove spoznaje o strukturalnoj građi zapadnog dijela Savske depresije detaljno opisuje Velić (1980) te izrađuje strukturalne karte po plohama Ek-markera i repera. Šikić (1995) daje geološki pregled cijelog područja Medvednice, gdje je niz autora sudjelovao u opisu pojedinih lokaliteta. Brodarić et al. (2000) su iz uzoraka stijena odabranih bušotina u hrvatskom dijelu Panonskog bazena, paleontološkim analizama utvrdili mikrofosile sarmatske starosti. Na temelju nalaza vrste *Semseya lamellata* i badenske mikrofaune pretpostavljena je kontinuirana sedimentaciju iz badena u sarmat. Od foraminifera dominiraju elfidiji s provodnim vrstama *Elphidium hauerinum*, *E. josephinum* i *E. reginum*. Velić et al. (2002), Velić (2007), Malvić i Velić (2011) opisuju tri taložna megaciklusa te dvije transpresije i transtenzije u neogensko-kvartarnom

slijedu sedimenata Panonskog bazenskog sustava (skr. PBS). Sarmat smještaju u razdoblje prve transpresije koja je trajala krajem prvog i početkom drugog megaciklusa u tektonskom razvoju HPBS-a. **Pavelić (2001, 2002, 2005)** opisuje razvoj Središnjeg Paratetisa i Panonskog bazenskog sustava. **Vrbanac (2002)** navodi da jezgre sedimenata ispod EK markera Rs7 sadrže miocensku fosilnu faunu stariju od panona. **Vrsaljko (2003)** je na temelju fosilnih mekušaca unutar sarmata izdvojio *Ervila – Mactra* zonu. **Bajraktarević i Galović (2004)** su na temelju silicijskog (silikoflagelati, dijatomeje) i karbonatnog nanoplanktona potvrdili sarmatsku starost pojedinih lokaliteta na obroncima Medvednice. **Harzhauser i Piller (2004, 2004a)** u radovima opisuju sarmatske naslage zapadnog dijela Središnjeg Paratetisa. Isti autori **Harzhauser i Piller (2005)** objavljuju rad u kojem iznose dokaze o morskom razvoju sarmata. **Vrsaljko et al. (2005)** piše o stratigrafiji i paleogeografiji miocenskih naslaga Žumberka i Svetonedeljskog Brega. **Pezelj (2006)** je u doktorskoj disertaciji odredila badenske i sarmatske okoliše na području Medvednice koristeći bentičke foraminifere, ostrakode, kemijski sastav sedimenta te atktivnost prirodnih radionuklida. Izdvojila je pet badenskih i jedan sarmatski okoliš (unutarnji šelf). **Hajek-Tadesse (2006)** u doktorskoj disertaciji određuje donjo- i srednjomiocenske ostrakode na prostoru sjeverne Hrvatske. Izdvojila je pet ostrakodnih zona: NO-5 (otnang), NO-6 (karpat), NO-7 (donji baden), NO- 8 (srednji baden) i NO-9 (gornji baden). **Vrsaljko et al. (2006)** na temelju mekušaca, foraminifera i ostrakoda daju pregled razvoja okoliša gornjeg badena i sarmata na području Medvednice. Definirali su četiri facijesa, naslage male karbonatne platforme, naslage otvorenog mora, priobalne okoliše smanjenog saliniteta i lagune. **Piller et al. (2007)** daju detaljan pregled stratigrafije Središnjeg Patatetisa. **Brajković (2011)** je analizirao spore i pelud sarmatskih naslaga okolice Podsuseda. Rezultati su omogućili rekonstrukcije biljnih zajednica koje su postojale u doba sarmata u jugozapadnom dijelu Paratetisa. **Malvić (2012)** daje pregled razvoja Hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava (HPBS) s glavnim taložnim i tektonskim odlikama. **Bakrač (2012)** je prepoznala devet palinoloških biozona miocenskih naslaga središnje i istočne Hrvatske. U vrijeme sarmata opisana je palinološka biozona *Polysphaeridium zoharyi - Lingulodinium machaerophorum*. **Pezelj et al. (2013)** na osnovi distribucije foraminifera analiziraju paleokoliše južnog dijela Panonskog bazena tijekom srednjeg miocena. **Premec Fuček et al. (2015)** su na osnovi bogate i provodne fosilne zajednice opisali naslage badena i sarmata u području jugoistočno od Samobora. U laporima kod Sv. Nedelje (lokaliteti Kladje i Breg) neprekinuto se talože naslage donjeg sarmata. Mikrofosilna zajednica badena i sarmata iz istraživaniog područja slična je naslagama Medvednice. **Krizmanić i HERNITZ KUČENJAK (2015)** su u dvije istraživačke bušotine na području Savske depresije na temelju palinološke zajednice te mikropaleontološke

zajednice bentičkih foraminifera ustanovili sarmatske naslage. **Pavelić i Kovačić (2018)** daju pregled stratigrafije Sjevernohrvatskog bazena. **Harzhauser et al. (2018)** opisuju granicu sarmata i panona zapadnog djela Bečkog bazena na temelju jezgrovanog bušotinskog materijala. Detaljno su proučavali panonske i sarmatske transgresivno-regesivne sekvencije. Niti u jednoj analiziranoj jezgri nisu utvrdili gornjosarmatske naslage te su tijekom prijelaza sarmata u panon opisali emerziju rubnog dijela Bečkog bazena.

## 2.2. NAFTNOGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

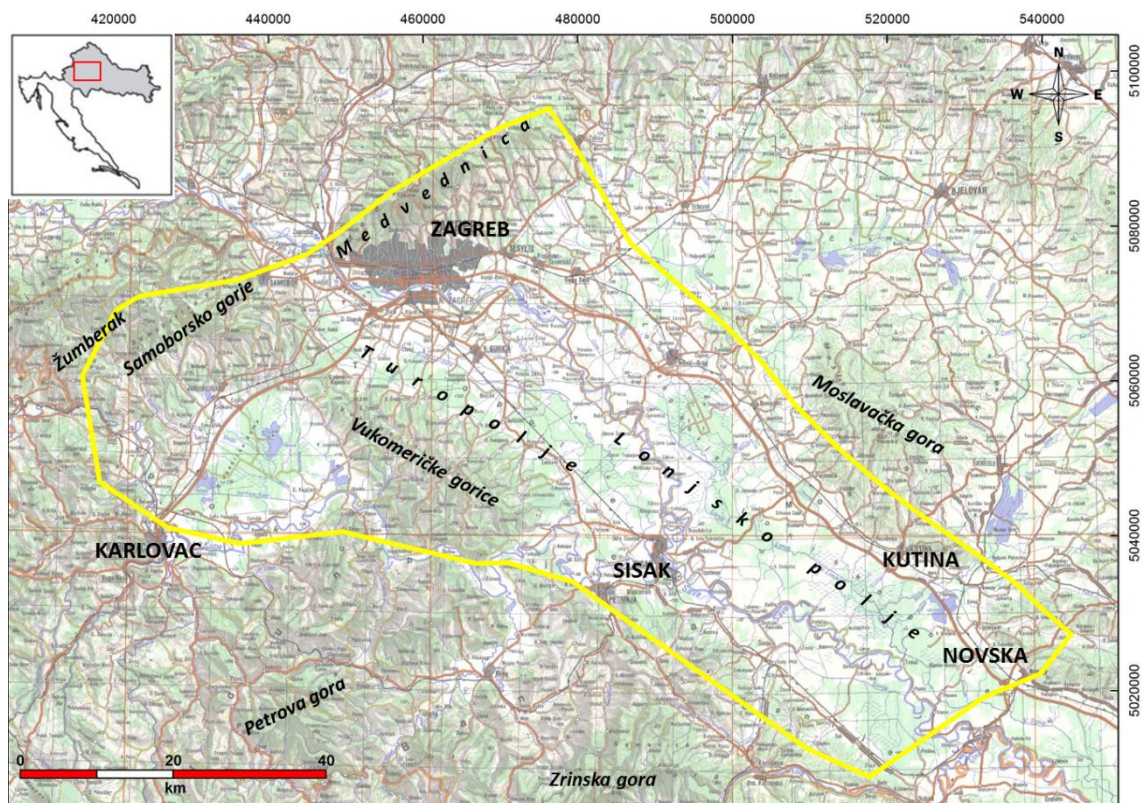
Brojna istraživanja neogenskih taložina učinjena su sa svrhom pronalaska zaliha ugljikovodika. Postoji niz radova o ugljikovodičnim sustavima, npr. **Jović (2009)**, **Vrbanac et al. (2010)**, **Novak Zelenika (2012)**, **Novak (2015)**, koji su dali uvid u naftnogeološke odnose. Većina tih radova razmatra značajke i rasprostiranje gornjomiocenskih rezervoarskih stijena. U ovom potpoglavlju dan je kratak pregled radova proizašlih iz potpovršinskih istraživanja, značajnih za ovaj rad. Prve analize facijesa i starosti matičnih stijena u Hrvatskoj započeli su prije više od 70 godina. **Ožegović (1944)** opisuje sarmatske laminirane bituminozne sedimente nađene u poljima Gojlo i Janja Lipa (Savska depresija) koji su određeni kao matične stijene. **Alajbeg et al. (1990)** zaključili su da sve nafte potječu od sličnih matičnih stijena. Njihovo je podrijetlo povezano s bakterijski prerađenim morskim algnim materijalom koji je više ili manje bio miješan s materijalom s kopna i taložen u suboksičnom okolišu. **Barić (1996)** u sažetom radu o rezultatima geokemijskog istraživanja hrvatskog dijela Panonskog bazena zaključuje da je većina matičnih stijena starosti donjeg do srednjeg miocena. U kasnijim radovima **Barić et al. (2000, 2001)** određuju naftne sustave miocena u kojima se matične stijene, glinoviti vapnenci i kalcitni lapori badena do donjeg panona nalaze na dubini većoj od 1600 m, a u njima prevladava kerogen tipa II. **Lučić et al. (2001)** opisuju razvoj neogenskih naslaga i njihov ugljikovodiči potencijal. **Troskot-Čorbić et al. (2009)** na temelju brojnih geokemijskih i statističkih analiza opisuju matične stijene srednjeg miocena (baden, sarmat) i gornjeg miocena (donji panon) područja Savske depresije. Matične stijene oba intervala su lapori, kalcitni lapori, glinoviti vapnenci i šejlovi. Prosječna vrijednost ukupnog ugljika iz organskih spojeva (*TOC-total organic carbon*) je 1,30 - 1,37. Intervali matičnih stijena nalaze se na dubini od 1200 do 3362 m. Utvrđeno je linearno povećanje zrelosti s dubinom. U sjeverozapadnom i središnjem dijelu Savske depresije analizirani stratigrafski intervali su slični. Prevladava kerogen tipa II (u manjoj mjeri tip I). Povoljni tip organskog facijesa taložen je u anoksičnim dubljim dijelovima

depresije. U panonu kontinuirana sedimentacija sličnih facijesa odvija se u dubljim dijelovima depresije i zaštićenim okolišima u kojima se odvija postupan prijelaz iz morskog u bočati i jezerski okoliš. U jugoistočnom dijelu depresije, unutar intervala badenskih matičnih stijena, utvrđen je kerogen tipa II i III. Ovakav sastav potječe iz okoliša s povećanim terigenim utjecajem, što ukazuje na prisutnost disoksičnih sredina koje se općenito nalaze bliže rubu taložnih bazena. **Blažeković Smojić et al. (2016)** su istraživanjem nafte iz dvije savske bušotine ukazali i na postojanje nafte podrijetlom iz karpatskih matičnih intervala, koja se po svojim osnovnim i specifičnim parametrima razlikuje od spomenutog savskog prosjeka.

### **3. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOG PODRUČJA**

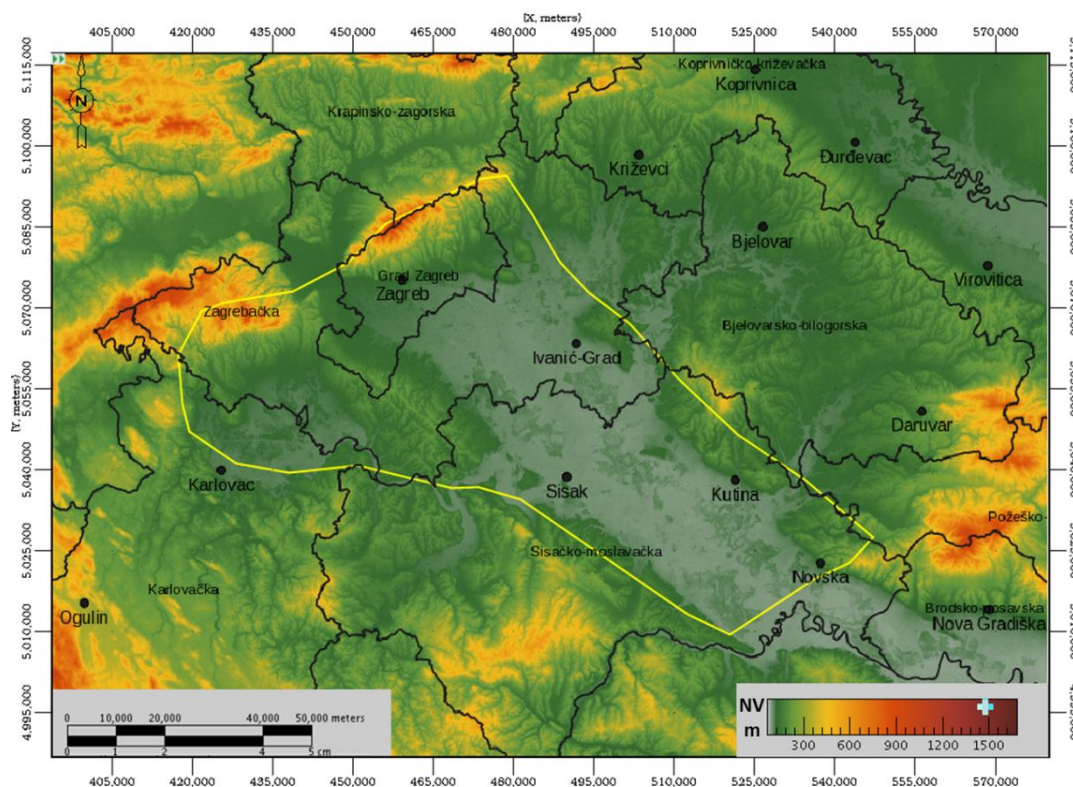
Područje istraživano u disertaciji pripada zapadnom dijelu Savske depresije (**slika 3.1.**). Geografski se područje nalazi na prostoru sjeverne Hrvatske, a teritorijalno pripada Gradu Zagrebu, Zagrebačkoj, Sisačko-moslavačkoj županiji te dijelu Karlovačke županije. Središnji dio je ravničarski s dolinama rijeke Save, Lonje i Česme. Prema rubovima krajolik postaje brežuljkast. Na jugozapadnom rubu nalazi se Samoborsko gorje i Žumberak, a na sjeverozapadnom Medvednica. Jugoistočni dio čine Vukomeričke gorice koje razdvajaju ravničarski kraj Turopolja do Petrove i Zrinske gore. Na sjeveru granica istraživanja je rub Savske depresije, odnosno završava na rubovima Moslavačke gore (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatska>).





*Slika 3.1. Geografski položaj istraživanog područja (prema topografskoj karti 1:25000, Državni geodetski zavod)*

Geomorfološki je krajolik obilježen gorsko-brežuljkastim područjima te nizinsko-ravničarskim krajevima (slika 3.2.). Gore su relativno niske, a najviša je Medvednica s vrhom Sljeme od 1033 metara nadmorske visine. Slijedi Samoborsko gorje s najvišim vrhom Japetićem na 879 metara nadmorske visine. Moslavačka gora i njen najviši vrh Vis nalaze se na 444 m nadmorske visine, te Vukomerečke gorice s najvišim vrhom Režidovka od 255 m nadmorske visine zaokružuju cjelokupno istraživačko polje ([https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Hrvatske\\_planine](https://hr.m.wikipedia.org/wiki/Hrvatske_planine)).



**Slika 3.2.** Topografska karta istaživanog područja (prilagođeno prema prema topografskoj karti 1:25000, Državni geodetski zavod)

Područje istraživanja obuhvaća dio Republike Hrvatske u kojem danas živi oko 1 500 000 ljudi, što čini gotovo trećina stanovništva države. Najveći grad, sjedište istoimene županije, ujedno i glavni grad Republike Hrvatske je Zagreb s oko 800 000 stanovnika. U Zagrebačkoj županiji živi oko 320 000 ljudi, a veći gradovi su Velika Gorica s 65 000 stanovnika, Samobor s 36 000 stanovnika, Zaprešić s 25 000 stanovnika i Jastrebarsko s 17 000 stanovnika. U Sisačko-Moslavačkoj županiji živi 170 000 ljudi, a veći gradovi su Sisak s 45 000 stanovnika, Petrinja sa 23 000 stanovnika, Kutina sa 22 000 stanovnika i Novska s 13 000 stanovnika. U Karlovačkoj županiji živi 130 000 ljudi, a veći gradovi su Karlovac s 55 000 stanovnika, Ogulin s 13 000 stanovnika i Duga Resa s 11 000 stanovnika (<https://www.zagrebacka-zupanija.hr>; <https://www.zagreb.hr>; <https://www.kazup.hr>; <https://smz.hr>).

Klima na istraživanom području je brdsko-planinska i kontinentalno-panonska, gdje postoje manje razlike ovisno o nadmorskoj visini. Klimatske prilike su povoljne i umjerene bez velikih temperaturnih ekstrema i postoji pravilna izmjena godišnjih doba. Temperatura zraka zimi je u prosjeku od 0 °C do -2 °C, a ljeti iznad 20 °C u nizinskim područjima. U planinskim i brdskim dijelovima zimi je temperatura zraka u prosjeku od 0 °C do -3 °C, a ljeti je temperatura ispod 20 °C (Šegota i Filipčić A, 1996).

Promet na ovom području je jako razvijen, što zbog blizine grada Zagreba kao glavnog grada, što zbog sjecišta prometnih putova između istoka i zapada, te sjevera i juga Republike Hrvatske i europskih prometnih koridora. Osim velikog broja državnih, županijskih i lokalnih cesta važno je spomenuti autoceste kao okosnicu cestovnog prometa. Važne prometnice su A1 Zagreb-Dubrovnik duljine 554 kilometara, A2 Zagreb-Macelj duljine 61 kilometara, A3 Bregana-Lipovac duljine 307 kilometara, A4 Zagreb-Goričan duljine 97 kilometara, A1 i A6 Zagreb-Rijeka duljine 146,5 kilometara i na kraju A11 Zagreb-Sisak duljine 48 kilometra. Željeznički promet je isto tako dobro razvijen i umrežen, a važniji prometni pravci su Savski Marof-Zagreb-Šid duljine 330 kilometara, Zagreb-Karlovac-Rijeka duljine 230 kilometara, Zagreb-Karlovac-Split duljine 423 kilometara, Zagreb-Sisak-Novska duljine 117 kilometara. Od Siska prema Dunavu treba spomenuti plovnost rijeke Save. Premda je kao najpovoljniji način prometovanja robe i putnika, unazad 30-ak godina, zbog ratnih razaranja i izgradnje cestovne mreže ovaj oblik prometovanja je zanemaren, iako stvari kreću u boljem smjeru. U samom središtu područja istraživanja, treba spomenuti i međunarodnu zračnu luku Zagreb – „Franjo Tuđman“ u Velikoj Gorici, kao najveću i najvažniju zračnu luku u Republici Hrvatskoj. Kroz nju je godine 2018. prošlo je 3 400 000 putnika i oko 13 500 tona robe i svake godine se bilježi povećanje protoka putnika i robe (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatska>).

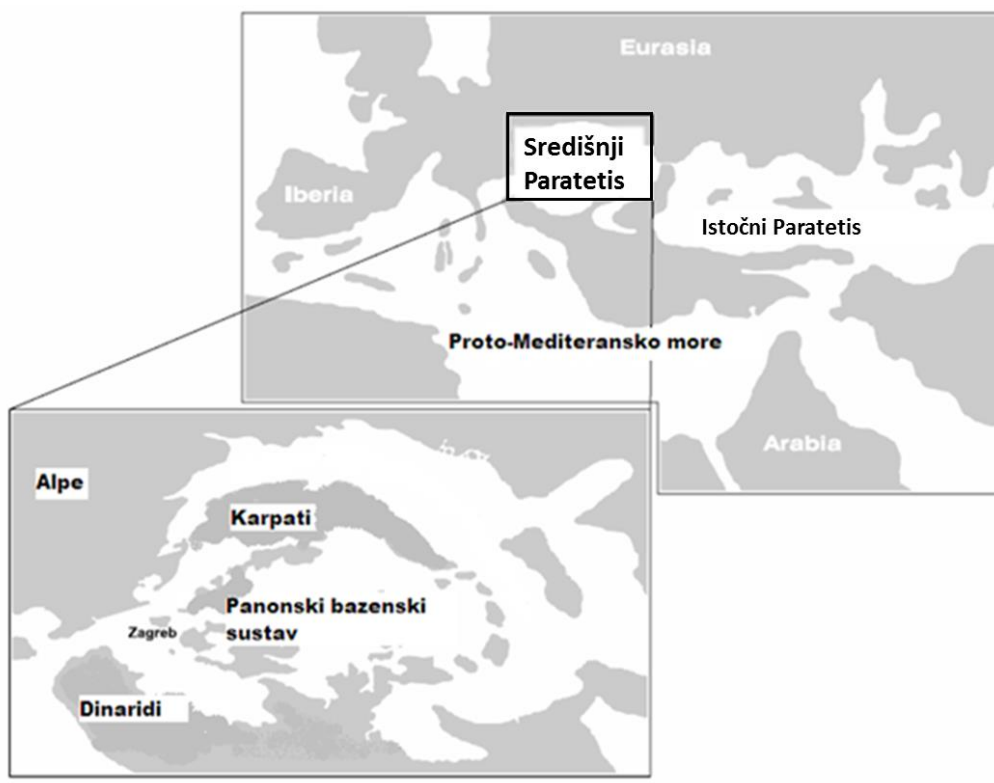


## 4. PREGLED TEMELJNIH GEOLOŠKIH ODNOSA

Istraživano područje zapadnog dijela Savske depresije dio je jugozapadnog ruba nekadašnjega Središnjeg Paratetisa i današnjega Panonskog bazenskog sustava. U poglavlju je opisan paleogeografski položaj Paratetisa tijekom srednjeg miocena te razvoj Panonskog bazenskog sustava (PBS-a).

### 4.1. PALEOGEOGRAFSKI POLOŽAJ SREDIŠNJEG PARATETISA

Područje Sjeverne Hrvatske tijekom srednjeg miocena paleogeografski je pripadalo jugozapadnom rubu Središnjeg Paratetisa, a u geotektonskom smislu čini jugozapadni dio Panonskog bazenskog sustava (**slika 4.1.**; npr. **Pavelić, 2001; Pavelić, 2002; Vrbanac, 2010; Malvić, 2012, Pavelić i Kovačić, 2018**).



***Slika 4.1.** Paleogeografska karta Središnjeg Paratetisa, srednji miocen (Rögl, 1998, prilagođeno iz Vrsaljko et al., 2006)*

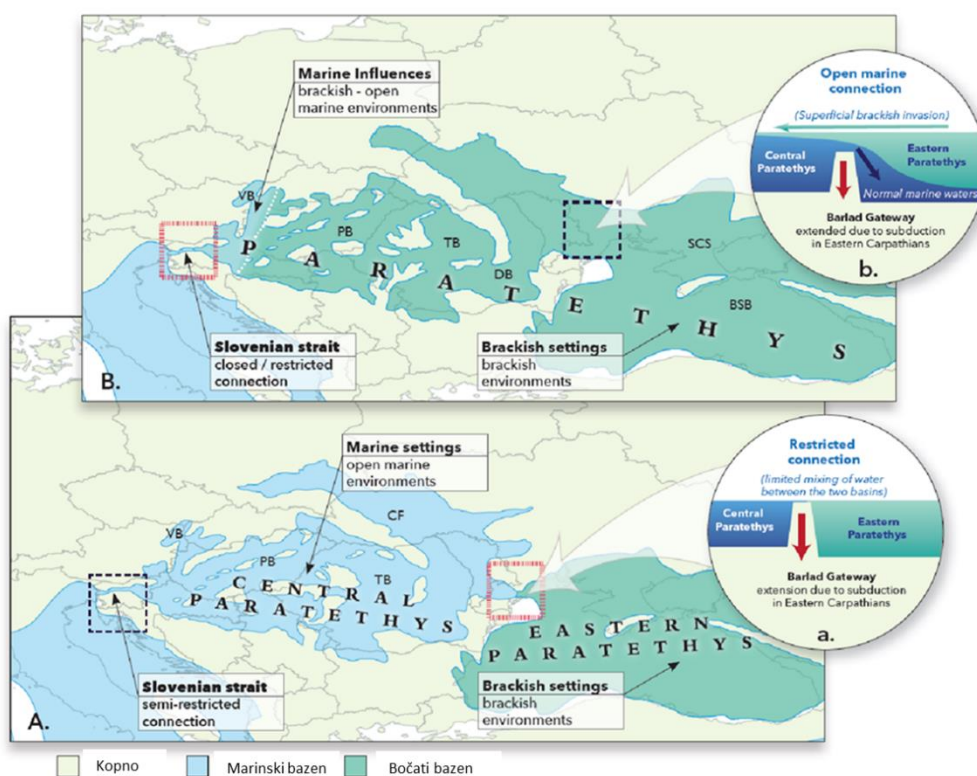
Paratetis je bilo epikontinentalno more nastalo razdvajanjem od zapadnog Tetisa krajem eocena i početkom oligocena. Tetis tada nestaje kao paleogeografska cjelina, a umjesto njega razvijaju se dva različita područja – Mediteran i Paratetis. Složena geodinamska povijest

Paratetisa, otvaranja i zatvaranja morskih prolaza rezultirala je razvojem endemskih fauna te različite kronostratigrafske/geokronološke podjele. Unutar Paratetisa razlikujemo Istočni (dugovječniji), Središnji (pretpostavljamo kratkotrajni) i Zapadni Paratetis. Unutar njih izdvojeni su lokalni katovi (npr. **Harzhauser et al., 2004**). Zbog neprekinutog morskog razvoja stratigrafska podjela Mediterana (ex. Tetisa) je jedinstvena na standardnoj stratigrafskoj ljestvici, dok su razvoj i podjela Paratetisa kompleksniji. (**Rögl, 1996, 1998; Harzhauser et al., 2004; Leever et al. 2010, Neubauer et al. 2015, Kovač et al. 2018** i dr.; **slika 4.2.**).

**Slika 4.2.** Stratigrafska korelacija srednjeg i kasnog miocena (prilagođeno iz Neubauer et al. 2015)

kronostratigrafskih i geokronoloških podjela regionalnih katova Središnjeg Paratetisa (npr. **Piller et al., 2007; Kovač et al.; Neubauer et al. 2015, Kovač et al. 2017; Kovač et al. 2018**). Eustatske promjene razine mora i geodinamički procesi koji su ključni za otvaranje i zatvaranje morskih prolaza, povezuju se s geokronološkim i biostratigrafskim podacima (**Kovač et al, 2018**).

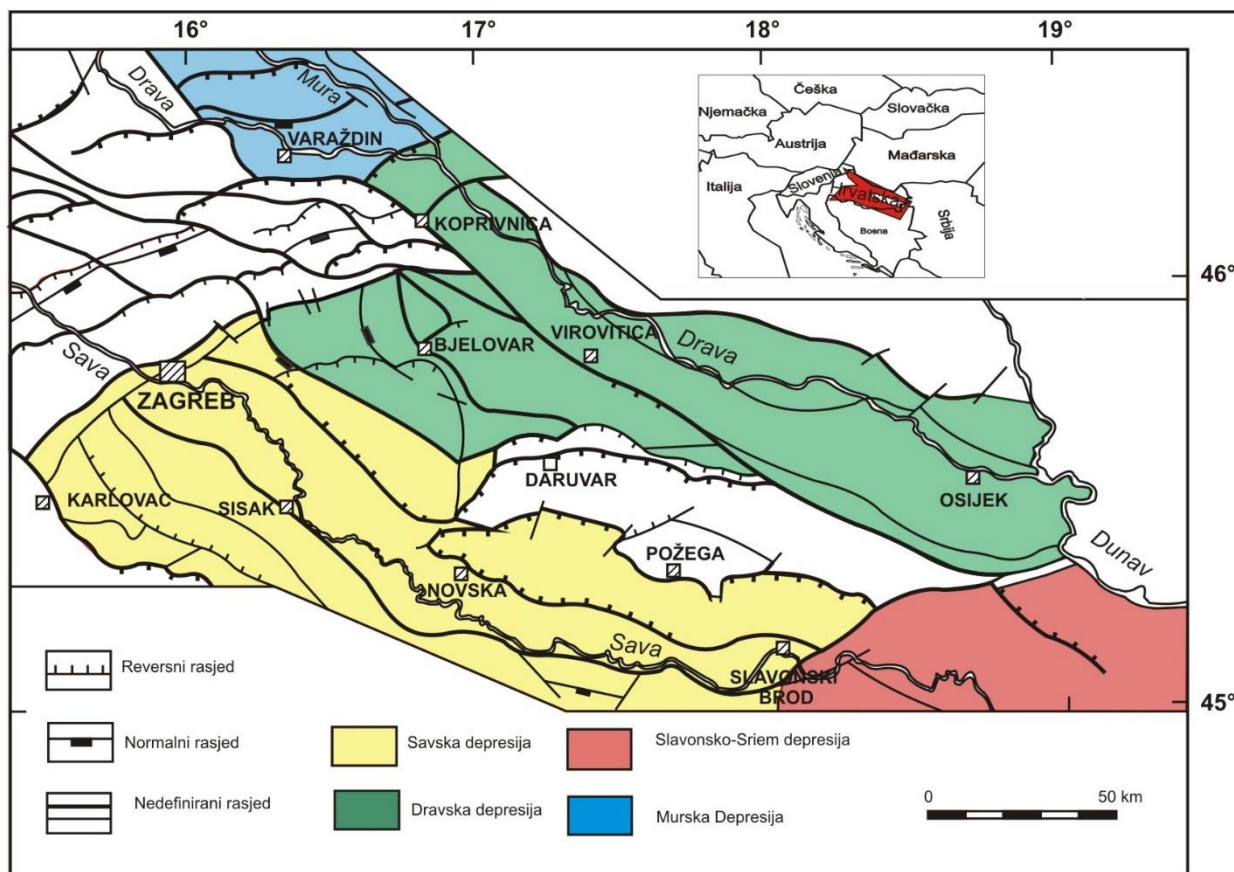
Morski Središnji Paratetis je u periodu kasnog badena spojen sa bočatim Istočnim Paratetisom otvaranjem Barlaskog prolaza (**Popov et al., 2014**). Barlaski prolaz se početkom sarmata razvio u širok koridor otvorenog mora te su dva Paratetiska predjela činila jedinstveno Paratetisko more (**slika 4.3.**). Slična endemska fauna ukazuje na izmjenu vode Središnjega i Istočnog Paratetisa.



**Slika 4.3.** Evolucija prolaza između bazena Središnjeg i Istočnog Paratetisa tijekom srednjeg miocena, A- kasni baden B-rani sarmat (Palcu et al., 2015.) slika nije prevedena zbog prevelikog broja grafičkih detalja te gubitka kvalitete koji bi se dogodili prilikom prijevoda (rasteri)

## 4.2. RAZVOJ NEOGENSKIH NASLAGA U HRVATSKOM DIJELU PANONSKOG BAZENSKOG SUSTAVA (HPBS)

Panonski bazenski sustav okružen je Alpama, Karpatima i Dinaridima te zauzima najveći dio Središnjeg Paratetisa. Hrvatski dio Panonskog bazenskog sustava (HPBS) sastoji se od niza manjih, dubokih depresija – Murska, Savska, Dravska i Slavonsko-srijemska depresija (**slika 4.4.**).



**Slika 4.4.** Depresije hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava (prilagođeno iz Prelogović et al 1998, Lucić et al. 2001 i Velić, 2007)

Neogensko-kvartarni slijed sedimenata Panonskog bazenskog sustava može se podijeliti u tri taložna megaciklusa (Velić et al. 2002; Saftić et al., 2003; Velić, 2007; Malvić i Velić, 2011). Prvi megaciklus traje od ranog do srednjeg miocena i vezan je uz transtenzijsku, sin-riftnu tektoniku i ranu post-riftnu fazu razvoja Panonskog bazena, a traje do taloženja krovine sarmatskih sedimenata. Karakteriziran je heterogenim litološkim sastavom. Utjecaj tektonike na sedimentaciju u sin-riftnoj fazi je velik, a posljedica je raznolikost u uvjetima taloženja i brojnost litofacijesa Drugi taložni megaciklus litološki je karakteriziran pretežno izmjenama pješčenjaka i lapora i svih prelaznih litologija. Traje od srednjeg do kasnog miocena i vezan je

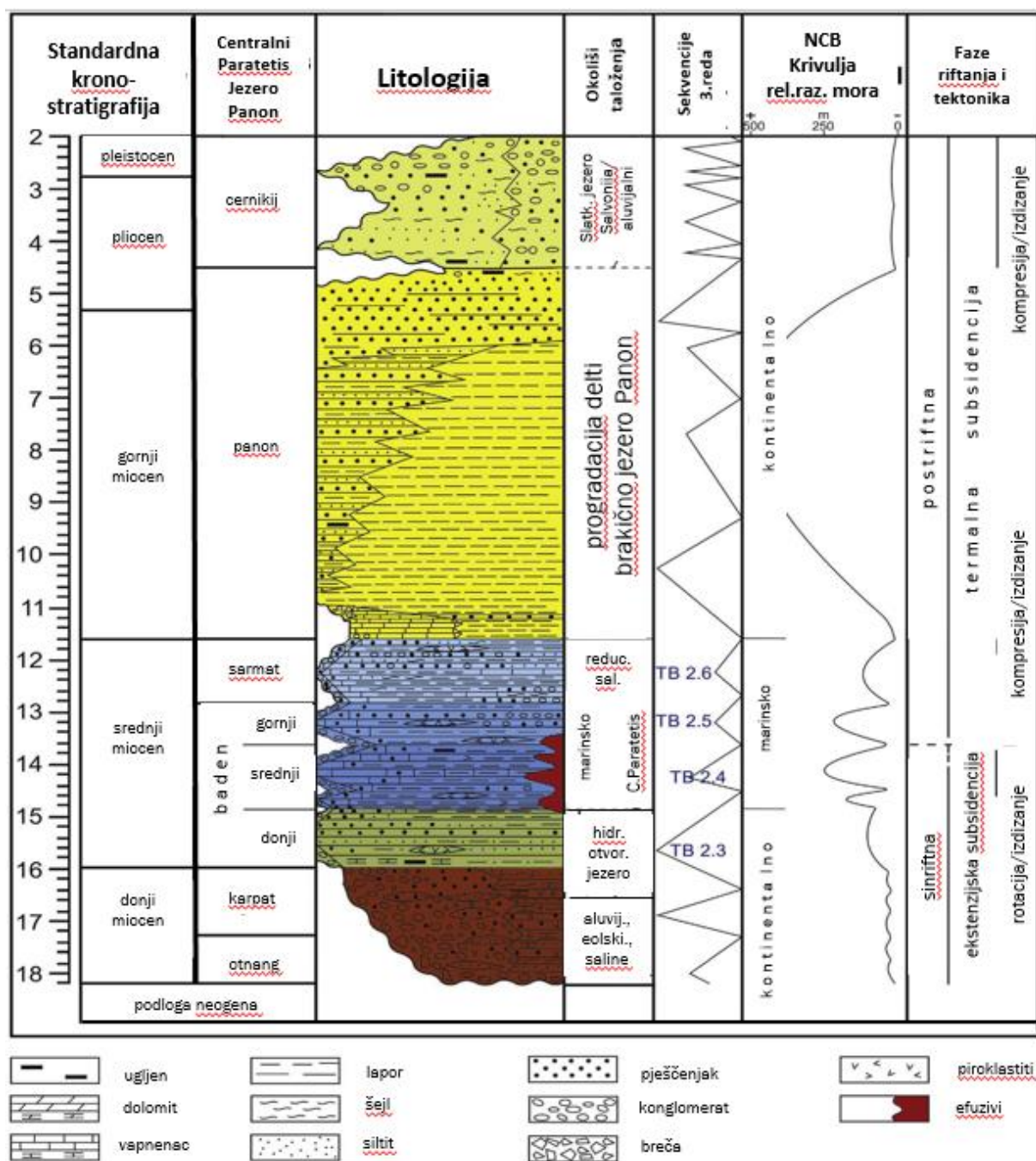
uz transtenzijsko post-riftno termalno spuštanje bazena. Treći megaciklus je pliocensko kvartarne starosti, a sastoji se od pijeska, gline i šljunka i mjestimično lignita i treseta. Krajem prvog i početkom drugog megaciklusa je razdoblje prve transpresije u tektonskom razvoju Panonskog bazena koja je trajala tijekom sarmata (**slika 4.5.**).

| I MEGACIKLUS                 |    |         |                                                                          |    |    |    | II MEGACIKLUS                      |                                                                             |    |       |   |      |       | III MEGACIKLUS                                                                |   |   |   |                     |   |  |
|------------------------------|----|---------|--------------------------------------------------------------------------|----|----|----|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|-------|---|------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---------------------|---|--|
| starost u milijunima godina  |    |         |                                                                          |    |    |    |                                    |                                                                             |    |       |   |      |       |                                                                               |   |   |   |                     |   |  |
| 19                           | 18 | 17      | 16                                                                       | 15 | 14 | 13 | 12                                 | 11                                                                          | 10 | 9     | 8 | 7    | 6     | 5                                                                             | 4 | 3 | 2 | 1                   | 0 |  |
| otnang                       |    | kar-pat | baden                                                                    |    |    |    | sarmat                             | panon                                                                       |    |       |   | pont |       | dacij, romanij                                                                |   |   |   | pleistocen, holocen |   |  |
|                              |    |         |                                                                          |    |    |    |                                    | rani                                                                        |    | kasni |   | rani | kasni |                                                                               |   |   |   |                     |   |  |
| moguća djelomična ekstenzija |    |         | prva transtenzijska faza                                                 |    |    |    | prva transpresijska faza           | druga transtenzijska faza                                                   |    |       |   |      |       | druga transpresijska faza                                                     |   |   |   |                     |   |  |
|                              |    |         | lokalno trošenje stijena s kopna i mehanizam donosa aluvijalnim lepezama |    |    |    | oplićavanje i smanjenje saliniteta | udaljeni klastični izvor materijala i mehanizam donosa turbiditnim strujama |    |       |   |      |       | završno strukturno formiranje, migracija ugljikovodika, kontinentalni okoliši |   |   |   |                     |   |  |

**Slika 4.5.** Glavni tektonski događaji u neogenu hrvatskog dijela Panonskog bazena  
(prilagođeno iz Malvić i Velić, 2011)

Na temelju brojnih dosadašnjih radova **Pavelić i Kovačić (2018)** izradili su shematski geološki stup Sjevernohrvatskog bazena (**slika 4.6.**). Regionalni katovi središnjeg Paratetisa prilagođeni su iz **Piller et al. (2007)**, **Mandić et al. (2015)** i **Neubauer et al. (2015)**. Srednjobadska transgresija preuzeta je iz rada **Ćorić et al. (2009)**. Prikaz sekvencija 3. reda iz rada **Hardenbola et al. (1998)**. Faze riftovanja i tektonski razvoj iz **Pavelić (2001)**, a krivulju razine mora prilagodili su iz radova **Pavelić et al. (1998)**, **Vrsaljko et al. (2006)**, **Pezelj et al. (2007)** i **Ćorić et al. (2009)**. Krivulja razine vode jezera Panon je izrađena prema **Vrsaljko et al. (2003)** i temelji se na paleoekološkim značajkama fosila i mehanizmima taloženja.





**Slika 4.6.** Sedimentološki i stratigrafski shematski stup Sjevernohrvatskog bazena  
(prilagođeno iz Pavelić i Kovačić (2018))

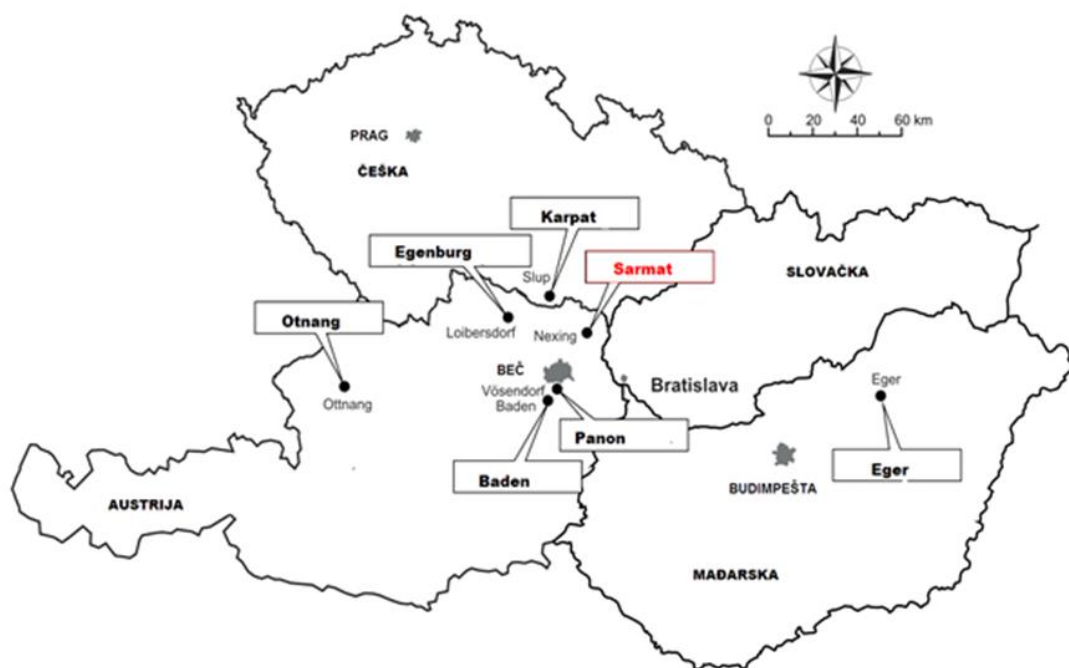
Tijekom donjeg miocena talože se slatkovodni jezerski i aluvijalni sedimenti. O prvoj marinskoj transgresiji kad Sjevernohrvatski bazen (izuzevši Bazen Hrvatskog Zagorja) postaje dio Središnjeg Paratetisa postoje različita mišljenja. Prema ranijim istraživanjima (npr. Šikić, 1968) marinska transgresija započela je na granici otnanga i karpata. U nekim novijim radovima je prikazano da marinska transgresija započinje u karpatu (Hernitz-Kučenjak et al., 2018). Na temelju biostratigrafskih proučavanja asocijacije nanoplanktona i foraminifera na dva

lokaliteta, jednog u području Medvednice, a drugog na Papuku (**Ćorić et al., 2009**), zaključeno je da sedimenti ranije određeni kao marinski karpatski, a također i jezerski otnanški u stvari pripadaju donjem badenu, dakle da je marinska transgresija počela milijun godina iznad donje granice srednjega miocena. Datiranjem tufa ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) unutar prvih marinskih sedimenata na lokalitetu Medvednice dobivena je starost od 14,8 mil. god. (**Marković, 2017**). **Mandić et al. (2012)** su pomoću analiza vulkanskog pepela ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) Kalnika utvrdili istovremeni početak inicijalnog riftanja u južnom dijelu PBS-a i Dinaridskog jezerskog sustava. Datiranjem tufova ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) Karlovačke i Glinske subdepresije su zaključili da je jezerska sedimentacija u južnom PBS-u trajala do ranog badena. Pavelić i Vranjković (2008) su na temelju površinskih lokaliteta i jezgrovanog materijala odabranih istražnih bušotina Savske depresije zaključili da su jezerski sedimenti pripadali karpatu i najnižem badenu, a prve marinske naslage donjem badenu. Na lokalitetu Laz Bistrički **Kovačić et al. (2016)** su datiranjem tufa  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  metodom utvrdili apsolutnu starost naslaga od 15,42 mil. god. što bi odgovaralo donjem badenu, a u prijašnjim istraživanjima lokalitet se interpretirao kao jezerski okoliš otnanga. Krajem srednjeg miocena, odnosno sarmata dolazi do izolacije bazena (npr. **Rögl, 1998**) i formiranja jezera Panon (npr. **Pavelić i Kovačić, 2018**), dok posljednju fazu predstavlja klastična sedimentacija u Slavonsko jezero tijekom kata cernik (*Viviparus* slojevi) (**Mandić et al., 2015**). Tijekom panona dominantan je mehanizam taloženja turbiditnim strujama, a glavni izvor sedimenata su istočne Alpe (npr. **Vrbanac et al., 2010; Malvić, 2012**).

#### **4.3. ODREDBA SARMATA I PODJELA SARMATSKIH TALOŽINA NA PROSTORU PBS-A I SAVSKE DEPRESIJE**

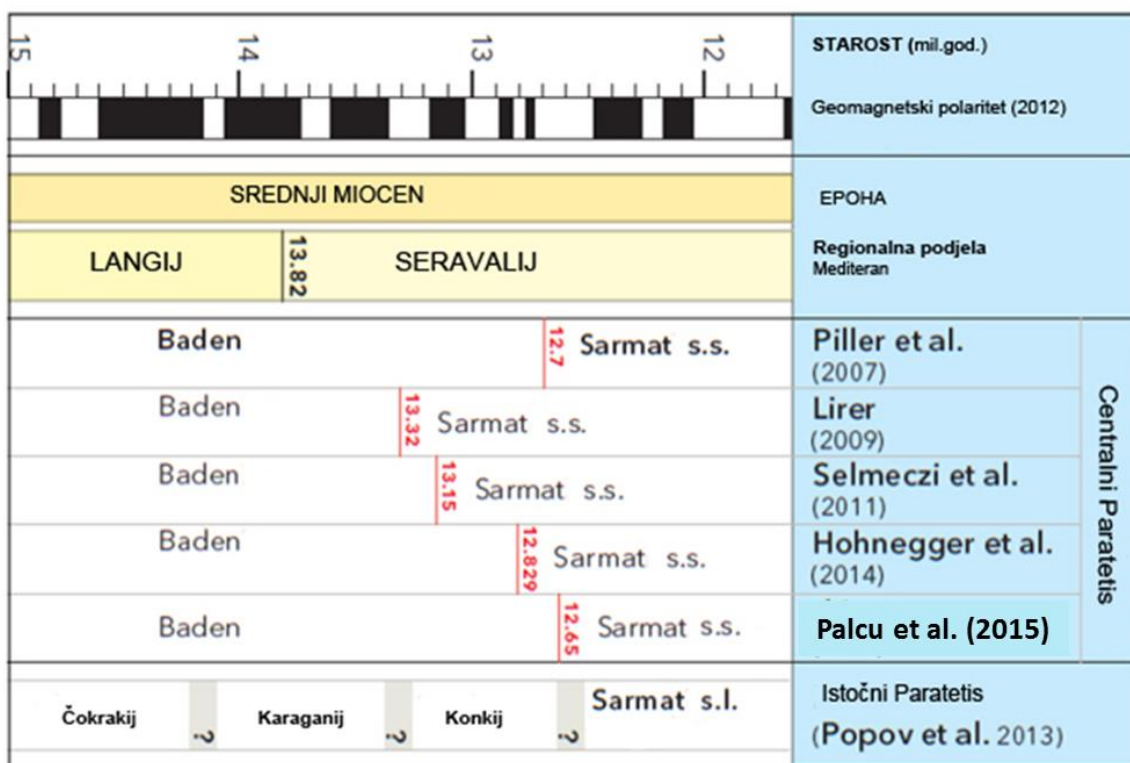
Tijekom sarmata (od 13,32 do 11,6 milijuna godina) koji je dio srednjeg miocena, započela je izolacija Paratetisa zbog prekida veze s Mediteranom i Indopacifikom (**Rögl 1998**). Izolacija se očituje kroz pojavu izrazito endemske faune i smanjenje broja stenohalinih vrsta (**npr. Kolesnikov 1935; Papp et al. 1974; preuzeto iz Piller et al., 2007**). Ovaj neobičan sastav faune prepoznao je Suess već 1866-te godine kada je i uveo termin sarmat. Suess je definirao sarmat kao regionalni kat i to pretežno prema mekušcima. Lokalitet Nexing u Bečkom bazenu (**slika 4.7.**) odabran je za stratotip sarmata, iako su na tom području razvijene samo taložine gornjeg dijela sarmata (**Piller et al., 2007**). Također prijelaz prema panonu je litološki jednoličan te prema promjeni litologije granica nije vidljiva. Brojna istraživanja stratigrafije Bečkog bazena omogućila su pregled razvoja cijelog kata. Za donji dio sarmata karakteristični

su siliciklastične taložine. Gornji sarmat odlikuje se mješovitim karbonatno-siliciklastičnim taložinama (**Harzhauser i Piller, 2004**).



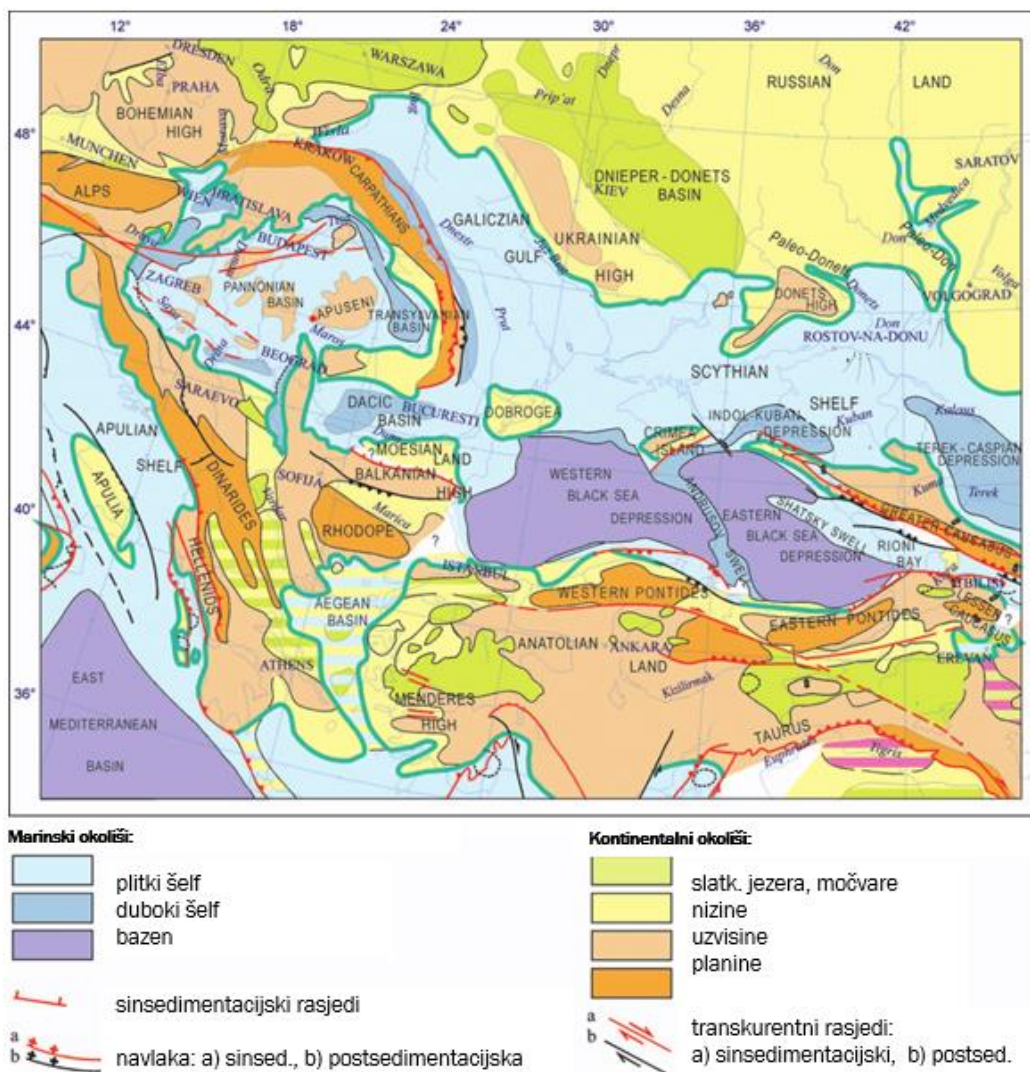
**Slika 4.7.** Geografski položaj miocenskih stratotipova za područje Središnjeg Paratetisa (prilagođeno iz Piller et al., 2007). Neki autori i pont svrstavaju u stratotip PBS-a.

Prema različitim autorima pojam sarmat *sensu stricto* obuhvaća vremenski raspon od 13,32 do 12,65 milijuna godina pa do 11,6 milijuna godina u Središnjem Paratetisu. Na prostoru Mediterana sarmat s.s. (s.str.) korelira s gornjim servalom (**slika 4.8.**).



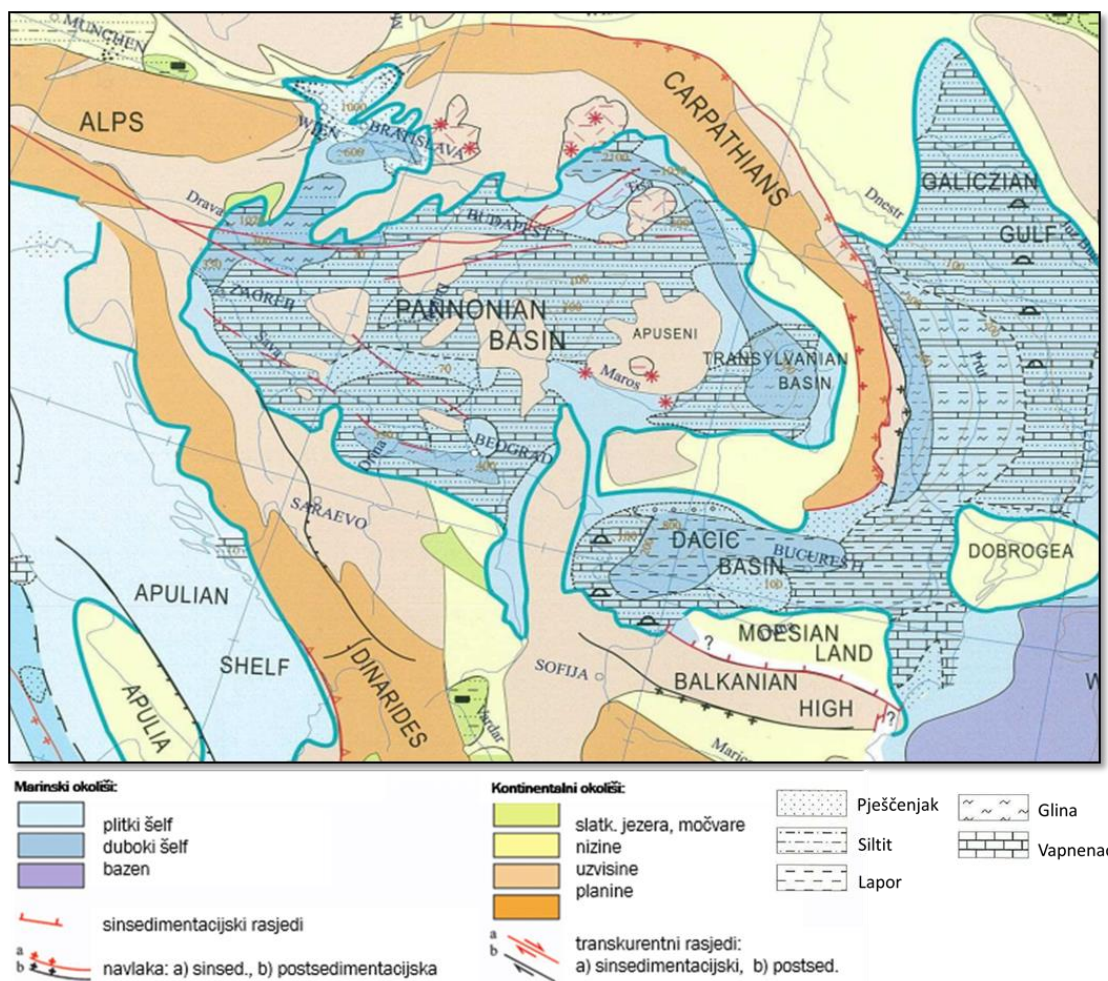
**Slika 4.8.** Raspon razdoblja sarmata u Središnjem Paratetisu prema različitim autorima (iz Palcu et. al., 2015)

Morska veza Središnjeg Paratetisa s Mediteranom u srednjem badenu bila je kroz Slovenski prolaz tzv. Transtetijski koridor. Točno vrijeme postojanja koridora nije poznato, ali je moguće da je bio otvoren i tijekom ranog sarmata (**Bartol et al., 2004**). Rasprostiranje Paratetisa tijekom ranog sarmata prikazano je na **slici 4.9.**, a na području Panonskog bazena tijekom sarmata **slikom 4.10**. Na prikazanim paleogeografskim kartama (**Popov et al. 2004**) područje zapadnog dijela Savske depresije pripada okolišu plitkog morskog šelfa.



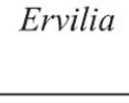
**Slika 4.9.** Paleogeografska karta ranog samata (prema Popov et al., 2004). Slika nije prevedena zbog prevelikog broja grafičkih detalja te gubitka kvalitete koji bi se dogodili prilikom prijevoda (rasteri)





**Slika 4.10.** Paleogeografska karta Paratetisa na području Panonskog bazena tijekom sarmata (Popov et al., 2004). Slika nije prevedena zbog prevelikog broja grafičkih detalja te gubitka kvalitete koji bi se dogodili prilikom prijevoda (rasteri)

Početak sarmata određen je pojavom endemskih fauna mekušaca i foraminifera (npr. **Piller et al., 2007**). Razvoj tih specifičnih endemskih fauna omogućio je uspostavu biostratigrafske podjele (**slika 4.11.**).

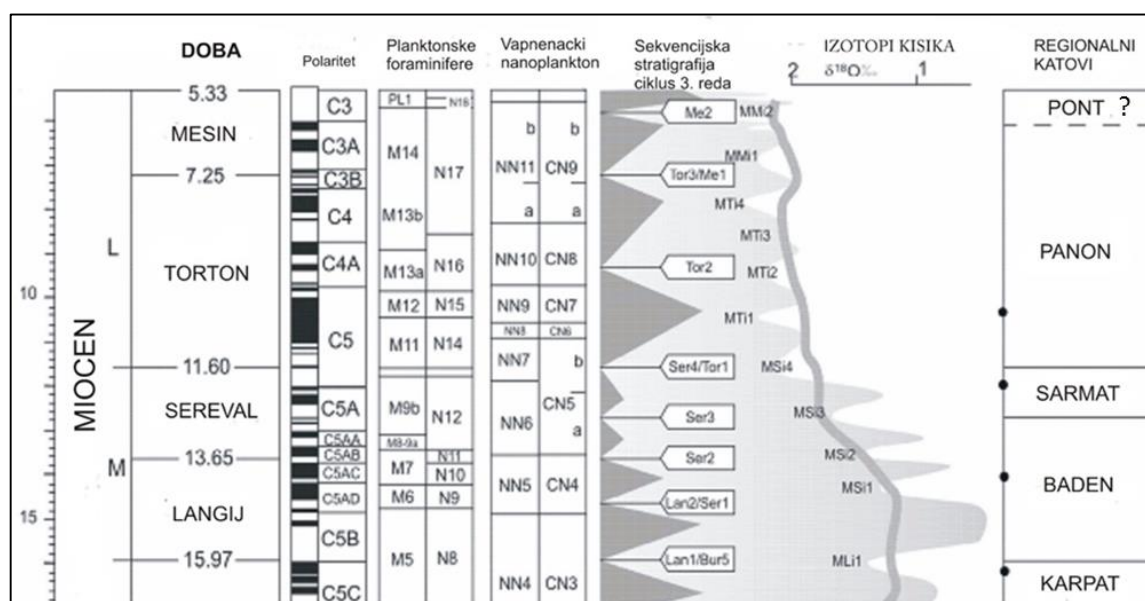
| Mekušci |                                                                                                            | Foraminifere                                                                                                                                                                                                                         | Mekušci,<br>Vrsaljko, 2003                                                           |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| SARMAT  | <i>Mactra</i><br>         | <i>Porosononion granosum</i><br>                                                                                                                    |  |
|         | g. <i>Ervilia</i><br>     |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                      |
|         | d. <i>Ervilia</i><br>     | <i>Elphidium hauerinum</i><br>                                                                                                                      |                                                                                      |
|         | <i>Mohrensternia</i><br> | <i>Elphidium reginum</i><br><br><i>Anomalinoides dividens</i><br> |                                                                                      |

**Slika 4.11.** Biostratigrafija sarmata Središnjega Paratetisa (prilagođeno iz Piller i Harzhauser, 2005; Vrsaljko, 2003)

Biozone koje su utvrđene na temelju mekušaca i foraminifera nisu potpuno usporedive. U donjem sarmatu mogu se razlikovati *Mohrensternia* zona i Donja *Ervilia* zona prema mekušcima, odnosno *Anomalinoides dividens*, *Elphidium reginum* i *Elphidium hauerinum* zone prema bentičkim foraminiferama. Gornji sarmat odgovara *Porosononion granosum* zoni, koja je prema mekušcima podijeljena na Gornju *Ervilia* zonu i *Mactra* zonu. **Vrsaljko (2003)** je na temelju fosilnih mekušaca unutar sarmata izdvojio *Ervila – Mactra* zonu koja označava mirnije i relativno dublje okoliše (**slika 4.11.**). Također je izdvojio *Pirenella* zonu koja je značajna za plitke priobalne okoliše, često s pretaloženim badenskim mekušcima (**Vrsaljko, 2003**). U vršnom dijelu sarmatske naslaga izdvojio je *Dorsanum* zonu koju ukazuje na plitkovodne okoliše (**Vrsaljko, 2003**). *Ervila – Mactra* zona proteže se kroz cijeli sarmat, dok su *Pirenella* i *Dorsanum* zone lokalnog značaja. Značajan biostratigrafski podatak je nalaz rijetke vrste *Semseya lamellata* Franzenu, budući da je ona vezana isključivo za niže slojeve donjeg sarmata (**Bajraktarević, 1982**).

Dobru korelativnost omogućuje vapnenački nanoplankton. Razdoblje sarmata obuhvaća zone NN6 i NN7. Odsutnost vrste *Sphenolithus heteromorphus* može ukazivati na NN6 zonu,

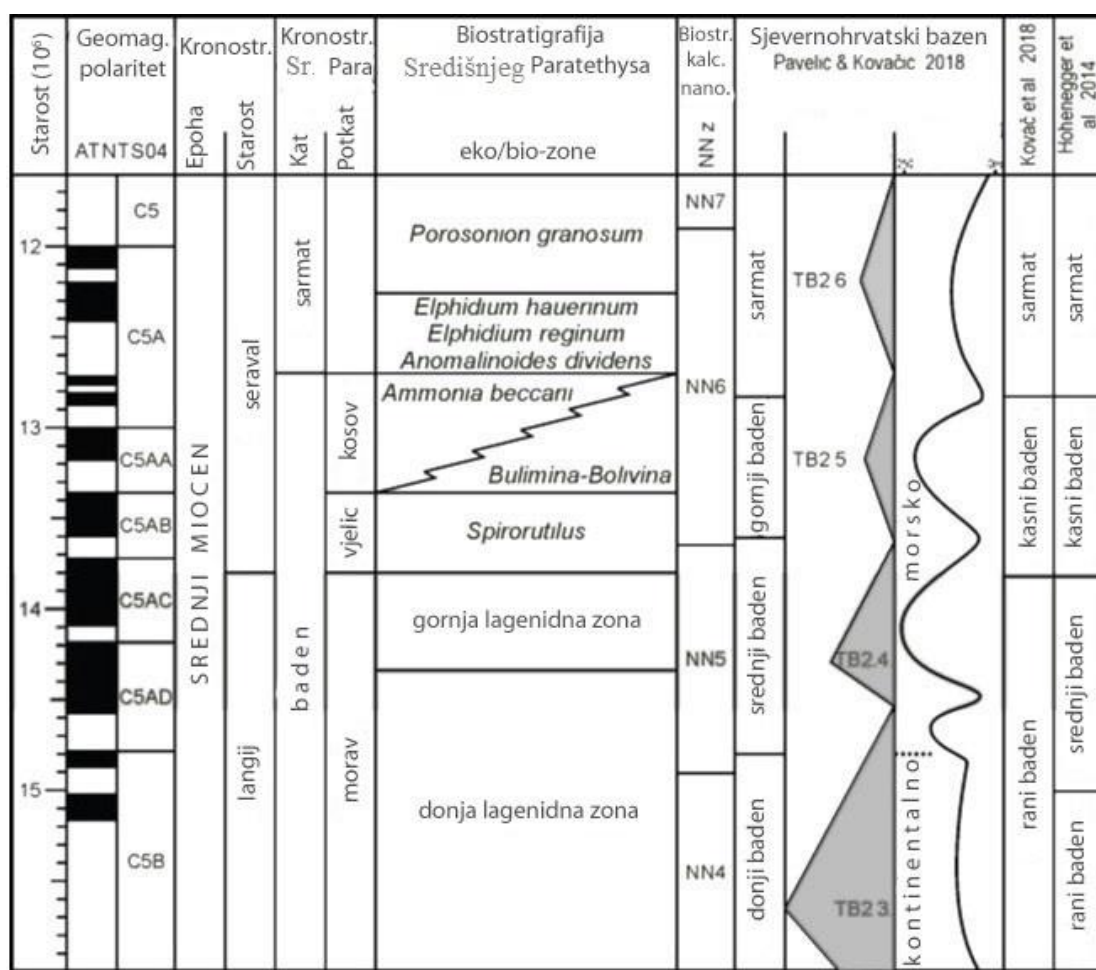
a pojava vrste *Discoaster kugleri* u gornjem dijelu korelira se s NN7 zonom (Piller et al., 2007). Krivulje promjene razine mora povezane granicama unutar sekvencijske stratigrafije definirali su Hardenbol et. al., (1998). Niska razina mora (lowstand) na granici baden/sarmat može se korelirati s granicom sekvencije Ser-3 (preuzeto iz Piller et al., 2007). Granica sarmat/panon korelira se sa sekvencijskom granicom Ser4/Tor1 koja je podudarna granici seravalijske/torton (Lourens et al., 2004, preuzeto iz Piller et al., 2007). Cijeli sarmat podudara se ciklusom 3. reda (Haq et al., 1988, Harzhauser i Piller 2004b, preuzeto iz Piller et al., 2007) (slika 4.12.).



**Slika 4.12.** Dio miocena(15.97-5.33 mil. god), geokronologija, geomagnetizam, biozonacija planktonskih foraminifera, stratigrafija kisikovih izotopa (prilagođeno iz Piller et al., 2007)

**Pezelj i Drobnjak (2019)** su prikazali korelaciju katova s biozonama bentičkih foraminifera (slika 4.13.). U Središnjem Paratetisu sarmat započinje zonom *Anomalinoidea dividensis*, dalje slijede zone *Elphidium reginum* i *Elphidium hauerinum*, te u gornjem djelu sarmata zona *Porosonion granosum*. **Kovač et al. (2018)** i **Hohenegger et al. (2014)** te **Pavelić i Kovačić (2018)** u Sjeverohrvatskom bazenu donju granicu sarmata prikazuju prema relativnoj krivulji promjene razine mora.





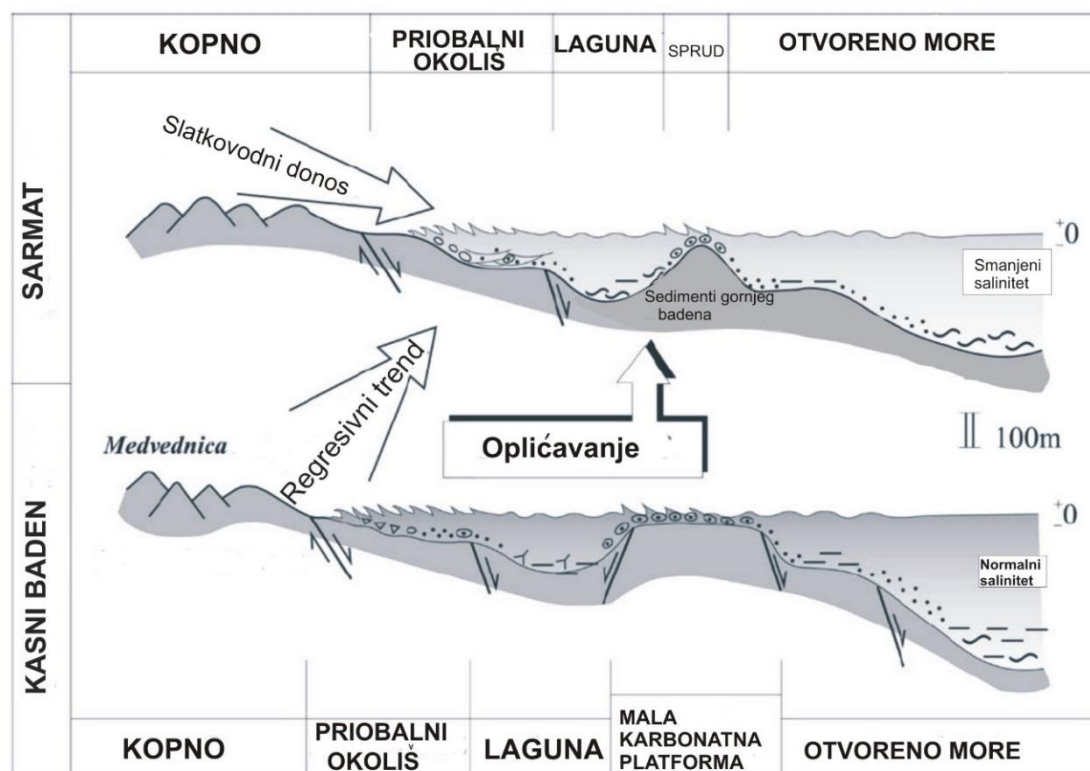
**Slika 4.13.** Biozone srednjeg miocena na osnovi bentičkih foraminifera (pilagođeno iz Pezelj i Drobnjak, 2019)

**Bajraktarević i Galović (2004)** su na temelju silikoflagelata, dijatomeja i vapnenačkog nanoplanktona potvrdili sarmatsku starost pojedinih lokaliteta na obroncima Medvednice. Na sjeveroistočnim padinama Medvednice na temelju zajednice vapnenačkog nanoplanktona utvrđena je pripadnost sarmatskih naslaga vršnom dijelu NN6 i donjem dijelu NN7 zone, koje su taložene u toplijim klimatskim uvjetima. Na južnim i jugozapadnim padinama Medvednice utvrđena je pripadnost sarmatskih naslaga gornjem dijelu NN7 - NN8 zone vapnenačkog nanoplanktona, gdje dolazi do oscilacija klime i razvoja vrsta vezanih za umjerenija klimatska područja. Spomenutom zajednicom fosila dokazana je povezanost s ostalim morskim prostorima, te sedimentacijom karakterističnom za rubne predjele Paratetisa.

Prijelaz sarmata u panon obilježen je izumiranjem velikog broja vrsti mekušaca i foraminifera. Razvija se endemska zajednica mekušaca (preuzeto iz **Piller et al., 2007**). Istraživanja magnetizma stijena u sjevernoistočnoj Hrvatskoj (Našice-smjestište Vranović) ukazuju na nazočnost magnetita i hematita u sarmatskim taložinama i niski sadržaj magnetita u

panonskim stijenama (**Vasiliev et al., 2007**). Sarmatska zajednica palinomorfi sastoji se od morskih dinocisti koje su tolerantne na smanjenu slanost i bočate okoliše **Bakrač (2005)** . U ranom panonu ekološki uvjeti postaju nepovoljni za dinoflagelate i javlja se drugačija zajednica fitoplanktona. Sličan biostratigrafski i paleokolišni trend zabilježen je i u Mađarskoj (**Sütő-Szentai, 1988**, preuzeto iz **Vasiliev et al., 2007**), što upućuje da je tipičan za čitavi Središnji Paratetis (**Vasiliev et al., 2007**).

Sarmatske taložine odlikuju se raznovrsnim litologijama koje su rezultat taloženja u različitim taložnim okolišima na relativno malom prostoru. U kasnom badenu dominiraju karbonatne, a u sarmatu siliciklastične taložine. Također su zabilježeni različiti događaji na prijelazu gornjeg badena u sarmat. Uočava se neprekinuti slijed slojeva ili diskordancija (npr. **Vrsaljko et al., 2006**). Različite granice i okoliši taloženja opisani su na nekoliko lokaliteta na Medvednici (**Vrsaljko et al., 2006**). Na razvoj taložnih okoliša utječu različiti čimbenici kao što su paleoreljef, intenzitet erozije, energija vode, lokalna tektonika. Budući da razvoj bazena ukazuje na transgresivno - regresivni slijed, koji je tipičan za Središnji Paratetis i Panonski bazenski sustav, važno je uzeti u obzir vanjske čimbenike, uključujući otvaranje i zatvaranje veze s oceanom, klimu i regionalne tektonske događaje (**Rögl i Steininger, 1984; Kovač et al., 1997; Hardenbol et al., 1998; Pavelić, 2001; Pavelić et al., 2003; Vrsaljko et al., 2005, 2006**). Shematski prikaz razvoja taložnih okoliša kasnog badena i sarmata prikazan je **slikom 4.14**.



**Slika 4.14.** Razvoj okoliša; baden-sarmat, shematski profil područja Medvednice (preuzeto iz Vrsaljko, 2006)

Svaki od ovih okoliša imaju različite facijesne karakteristike i koje se međusobno jasno razlikuju. U priobalnom okolišu osim sarmatskih često se nalaze i pretaloženi badenski fosili. Ponekad se u najstarijem dijelu sarmatskih naslaga talože konglomerati. Petrografski sastav ukazuje na jaki kopneni utjecaj i taloženje u plitkoj sredini. U lagunskim okolišima ograničena veza sa otvorenim morem očituje se u fosilnoj zajednici, a taložine su sitnozrnatiye. U okolišu dubljeg mora sedimenti kasnog badena i sarmata su vrlo slični. Prisutan je postupni prijelaz paleoekoloških obilježja iz morskog u bočati okoliš. Takav postupni prijelaz upućuje na sedimentaciju u dubljem dijelu okoliša na kojeg nije imao utjecaj pad razine mora na kraju badena (Vrsaljko et al., 2006). Važni čimbenici koji su utjecali na rasprostranjenost mikrofossilnih zajednica su promjene dubine taložnog bazena te kao posljedica oscilacije u količini kisika pri morskom dnu i raspoloživost hrane (Pezelj, 2006).

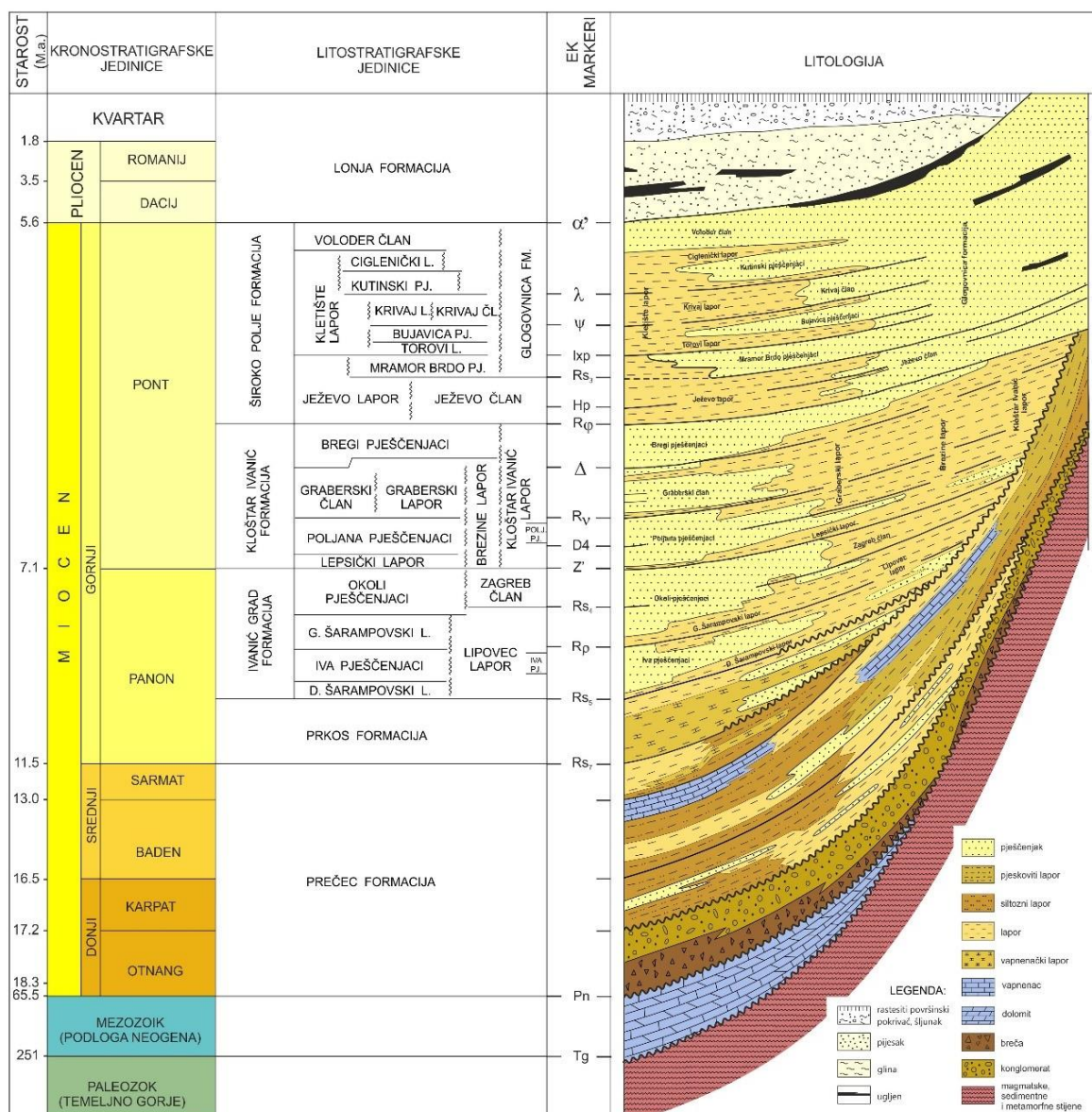
#### 4.4. LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE SAVSKE DEPRESIJE

Litostratigrafska nomenklatura u hrvatskom dijelu Panonskog bazena obuhvaća neogensko-kvartarne sedimentne stijene (ponegdje magmatske) koje su opisane litostratigrafski i stijene u

podlozi neogena (**Šimon, 1963, 1969, 1973, 1980; Pletikapić, 1964; Velić 1980**). Litostratigrafska podjela obuhvaća formalne i neformalne jedinice. Formalne jedinice su one koje su prepoznate kao službeni nazivi geoloških jedinica u nekoj državi, a i međunarodno (**Velić, 2007; Velić et al., 2015**), te se dugo vremena nalaze u službenoj uporabi. Neformalne litostratigrafske jedinice su one koje nisu službeno korištene i/ili uvedene u odgovarajući stratigrafski kodeks.

Litostratigrafske jedinice prvi puta je utvrdio Šimon, 1963. godine opisujući stijene polja Ivanić u Savskoj depresiji. Daljnja opsežnija istraživanja proširena su na čitavu Savsku depresiju te primijenjena u ostalim depresijama. Šimon (1980) prikazuje cjelovitu litostratigrafsku razradbu po depresijama HPBS-a. Opisane litostratigrafske jedinice se upotrebljavaju u naftnogeloškoj praksi desecima godina. Neogensko-kvartarne naslage u Savskoj depresiji raščlanjene su u šest formacija: Prečec, Prkos, Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić, Široko Polje i Lonja (**slika 4.15.**).

## SHEMATSKI STRATIGRAFSKI STUP SAVSKE DEPRESIJE



**Slika 4.15.** Shematski stratigrafski stup Savske depresije (Interna dokumentacija INA d.d.; prilagođeno iz Šimon, 1963, 1980)

U HPBS-u postoji izravna veza litostratigrafije i kronostratigrafije. Stoga je potrebno navesti kako se danas koriste dva pristupa raščlanjivanja gornjega miocena u Sjevernoj Hrvatskoj. Prema nekim novijim istraživanjima u stratigrafiji miocena Panonskog bazenskog sustava, pa tako i HPBS-a, nekadašnji kat pont je zamijenjen podkatom gornjeg panona (npr. **Mandić, 2015; Pavelić i Kovačić, 2018**), jer ne postoji prepoznatljivi stratotip, tj. litologija i paleoekološka zajednica kojom bi se unutar PBS-a pontski kat zasebno izdvojio.

Međutim ovdje, kao i kod nekih drugih autora (npr. **Malvić et al., 2019a**) pontski kat je zadržan kod opisivanja geološke povijesti. To je načinjeno zbog postojeće litostratigrafske podjele koja se desetljećima uspješno koristi u dubinskoj geologiji HPBS-a, odnosno s činjenicom kako su granice litostratigrafskih jedinica utvrđene prepoznavanjem elektrokarotaznih markera. Ti markerni slojevi predstavljaju lapore debele nekoliko metara, bočnoga prostiranja na desetke kilometara, a odraz kojih se može pratiti kao karakteristični ocrtna krivulji otpornosti i dokazani su na kilometarskim udaljenostima. Također, stijene formacije Kloštar-Ivanić (donji pont, naslage „Abichi“) mogu se često vrlo lako razlikovati od stijena formacije Ivanić-Grad (gornji panon, naslage „Banatica“), kako po povećanom udjelu pješčenjaka (turbiditskoga podrijetla), tako i boji te čvrstoći lapora.

U geološkoj karti Hrvatske (**Velić i Vlahović, 2009**) sarmatske su naslage na površini prikazane u dvije litostratigrafske jedinice, Pećinka i Dolje. **Vrsaljko (2003)** je opisao i predložio spomenute jedinice prema kojima litostratigrafska jedinica Dolje predstavlja dubljevodne ili lagunske okoliše, a Pećinka rubne okoliše.

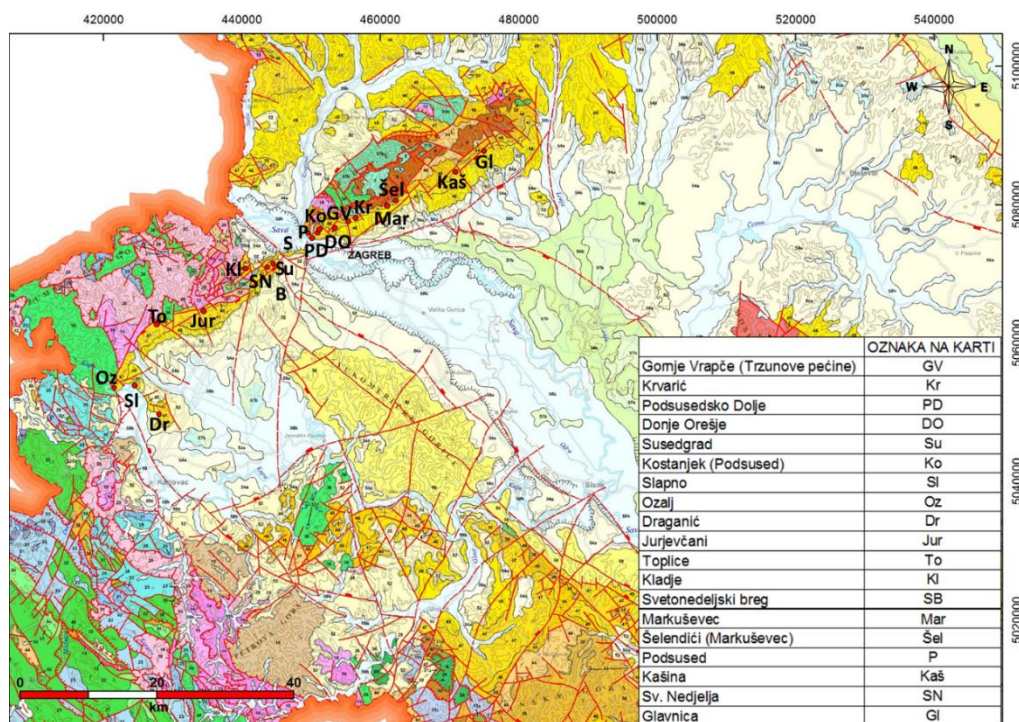


## 5. PRIKUPLJENI PODATCI O SARMATSKIM TALOŽINAMA ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE KORIŠTENI U INTERPRETACIJI

U ovom poglavlju prikazani su svi podaci koji su korišteni u radu. Podatci su pregledani i preuzeti u svrhu utvrđivanja na koliko površinskih i potpovršinskih smjesta su opisane sarmatske naslage. Neki od tih podataka postoje u geološkim izvještajima bušotina, dok su ostali prikupljeni iz objavljenih i neobjavljenih radova. U radu su također korišteni odabrani seizmički profili te strukturne karte intervala od interesa.

### 5.1. POVRŠINSKA SMJESTIŠTA SARMATSKIH TALOŽINA ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE

Da bi dobili uvid u rasprostranjenost i razvoj sarmata na izdancima prikupljeni su podaci iz brojnih objavljenih i neobjavljenih radova te geološke karte (**slika 5.1.**). Iz radova su prikupljeni podaci o taložnim okolišima koji su kasnije korišteni u kartiranju (podpoglavlje 8.3.)



**Slika 5.1.** Smjesta opisanih sarmatskih naslaga na površinskim izdancima (isječak Geološke karte RH 1:300 000, ur. Velić & Vlahović, 2009)

**Vrsaljko et al. (2006)** tumače prijelaz badena u sarmat te obilježje granice na četiri lokaliteta na Medvednici. Na lokalitetu Gornje Vrapče (**slika 5.1.**) uočena je jaka erozijska granica između badenskih i sarmatskih naslaga koja se očituje u vidljivim pukotinama isušivanja u najgornjim badenskim naslagama te pretaloženom gornjobadenskom faunom unutar transgresivnih sarmatskih naslaga (**Vrsaljko et al., 2006**). Na području Gornjeg Vrapča, tj. na Trzunovim pećinama, taloženi su biokalkareniti. Sadržavaju brojne skeletne i druge karbonatne čestice. Od foraminifera značajne su vrste *Elphidium flexuosum grilli*, *E. hauerinum* i fragmenti mekušaca *Musculus sarmaticus*, *Pirenella picta* itd. (**Šikić, 1995**). Facijes pripada plitkom, morsko-bočatom priobalnom okolišu gdje su za vrijeme sarmata vladali visokoenergijski uvjeti.

Diskordantna granica badenskih i sarmatskih naslaga na lokalitetu Krvarić (**slika 5.1.**) je prepoznata zbog pojave tankog sloja glinom bogatog boksita koji dokazuje kratku emerziju na granici baden sarmat. Litološki baden i sarmat su slični i zastupljeni su biokalkarenitima (**Vrsaljko et al., 2006**).

Na smjestaštu Podsusedsko Dolje (**slika 5.1.**) zabilježena je kutna diskordancija između badenskih i sarmatskih naslaga (kut je 10° manji od badenskih slojeva). U donjem dijelu sarmatskih taložina nalaze se konglomerati i pješčenjaci koji su prekriveni sitnozrnatim taložinama taloženim u lagunama smanjene slanosti. Glavno paleoekološko obilježje lapora je foraminiferska zajednica *Elphidium–Protelphidium–Porosonion* koja ukazuje na smanjenu slanost (**Vrsaljko et al., 2006**).

Neprekinuto taloženje iz badenskih u sarmatske sedimente zabilježeno je na lokalitetu Donje Orešje (**Pezelj, 2006**) (**slika 5.1.**). Prijelaz se odlikuje postupnim promjenama paleoekoloških obilježja od normalne morske do faune smanjene slanosti. Neprekinuti prijelaz ukazuje na taloženje u dubljem dijelu bazena koji nije značajno bio pogođen padom razine mora na kraju sarmata (**Pezelj, 2006; Vrsaljko et al., 2006**). Litološke razlike u badenskim i sarmatskim naslagama nema. U stupu su opisani horizontalno laminirani laporovito-vapnenačke taložine. Detaljnom analizom mikrofosilnih zajednica Donjeg Orešja potvrđen je kontinuirani prijelaz gornjeg badena u sarmat (**Pezelj i Sremac, 2010; Pezelj et al., 2017**). Donji dio slijeda pripada zoni *Bulimina-Bolivina* kasnog badena, srednji dio sarmatskoj zoni *Anomalinoidea dividens*, a gornji dio također sarmatskoj zoni *Elphidium hauerinum* (**Pezelj et al., 2017**). U donjem dijelu donjeg sarmata uz provodne vrste foraminifera i ostrakoda uočen je i znatan broj badenskih vrsta što ukazuje na prijelazni karakter od badenskih prema tipično sarmatskim naslagama (**Pezelj i Sremac, 2010**).



Iz doktorskog rada **Brajković (2011)** u okolici Podsuseda zabilježen je paleookoliš priobalnog područja poplavne ravnice uz obalu plitkog oslađenog mora sa suptropskom klimom. U radu je usporedio je rezultate rada **Pilara (1883)** u kojoj je paleobotanički analizirana sarmatska fosilna flora. Jedan od lokaliteta je Susedgrad (**slika 5.1.**) koji pripada gornjem sarmatu, a drugi je Podsusedsko Dolje. U Susedgradu su opisani svijetli, žutosvijetli do sivkasti lapori, tankouslojeni, mjestimično s milimetarskim laminama.

Na smjestaštu Kostanjek (Podsused) (**slika 5.1.**) opisan je prijelaz sarmata u donji panon. Sarmatske naslage se sastoje od horizontalno laminiranog siltnog lapora i lapora u kojem je uočena izmjena tamnih i svijetlih lamina. Fosilna zajednica sastoji se od malih školjkaša (*Ervilia* sp.), ostataka riba, ostrakoda i miliolida. Prijelaz sarmata u panon obilježen je nestankom morskih fosilnih vrsta (**Mandić et al., 2016**).

Kod Markuševca (**slika 5.1.**) donji dio sarmatskih naslaga sastoji se od krupnozrnatih klastita (konglomerata) i normalno građiranog pijeska, na koje slijede laminirani lapori. Sarmatski klastiti diskontinuirano naliježu na badenske biokalkarenite, dok je prijelaz prema panonu kontinuiran. Od fosila nađeni su foraminifere, ostaci riba i mekušaca, karbonizirani ostaci biljaka i vapnenački nanoplankton (**Avanić et al. 1995; Galović et al., 2000; Galović et Bajraktarević, 2006**).

U okolici Markuševca u zaseoku Šelendići (**slika 5.1.**) opisane su naslage donjeg sarmata koje transgresivno leže na naslagama donjeg badena. U donjem dijelu nalazi se facijes koso uslojenih biokalkarenita u kojem se nalaze i pretaloženi badenski fosili na koje slijedi facijes paralelno uslojenih lapora. (**Pavelić et al., 1995**).

**Vrsaljko et al. (2005)** su opisali četiri miocenske paleogeografske provincije: Žumberak, Plešivica-Sveta Jana, Samobor-Sveta Nedelja i Grdanjci. U području Grdanjca nedostaju sarmatski, panonski i pontski sediment.

Paleogeografska provincija Žumberak: Na smjestaštu Slapno (**slika 5.1.**) sarmatske taložine naliježu na tijaske dolomite (**Vrsaljko, 2003**). Litološki to su brečo-konglomerati u muljnoj potpori. Krupnozrnati klastiti najvjerojatnije su taloženi iz gravitacijskih tokova na vrlo strmoj padini (**Vrsaljko, 2003, Vrsaljko et al., 2005**). Sarmat je dokazan na temelju mekušaca (*Pirenella picta* i *Modiolus incrassatus*) koji se javljaju unutar matriksa, između bioklasta. Slični krupnozrnati razvoj sarmata nalazi se na lokalitetu Ozalj (**slika 5.1.**) (**Pikija et al. 1989; Vrsaljko, 2003**). Sarmatske naslage lokaliteta Draganić (**slika 5.1.**) odlikuju se čestom izmjenom laminata i debrita (**Vrsaljko, 2003**).

Paleogeografska provincija Plešivica-Sveta Jana: Na smjestaštu Jurjevčani (**slika 5.1.**) (**Pikić et al. 1984**) tijekom sarmata talože se pretežno laminiti i podređeno krupnozrnati klastiti mjestimično

Debljine veće od 150 metara (**Vrsaljko, 2003**). U okolici lokaliteta **Toplice** (**slika 5.1.**) talože se krupnozrnati klastiti sarmata na algnim vapnencima badena (**Vrsaljko, 2003**).

Paleogeografska provincija Samobor-Sveta Nedelja: sarmat je opisan na lokalitetima Kladje i Svetonedeljski breg (**slika 5.1.**). Taloženje se neprekinuto nastavlja na badenske naslage. Granica između dva kata može se odrediti samo na temelju promjena u mikrofosilnoj zajednici foraminifera i mekušaca (**Vrsaljko, 2003**). Sarmatske naslage Svetonedeljskog brega pretežno su izrazito laminirani lapori (**Vrsaljko et al. , 2005**). U donjem dijelu moguće je uočiti sloj pješčenjaka koji se sastoji od biogenog detritusa pretaloženog od badenskih naslaga. Ukupna debljina sarmatskih naslaga je oko 70 metara (**Vrsaljko et al., 2005**). Na osnovi bogate i provodne fosilne zajednice **Premec Fuček et al. (2015)** opisali su naslage badena i sarmata u području jugoistočno od Samobora. Na lokalitetima Kladje i Breg neprekinuto se talože naslage donjeg sarmata koje su zastupljene glinovitim i kalcitom bogatim laporima koji mogu biti kompaktni, pločasti ili laminirani.

Analizom mikrofosilne zajednice uzoraka sakupljenih u okolici Podsuseda (**slika 5.1.**). (makadamski put koji se nastavlja na Aleju Seljačke bune) opisane su donjosarmatske naslage. Od foraminifera dominira rod *Elphidium*, a planktonskih rodova nema. Nađeni su i ostrakodi s dominantnim rodом *Xestoleberis*, koji se javlja u plitkovodnim bočatim sredinama. Karakteristike zajednice upućuju na plitku zonu unutarnjeg šelfa, u kojoj je došlo do oslađivanja i uspostave bočatih uvjeta (**Majstorović, 2004**).

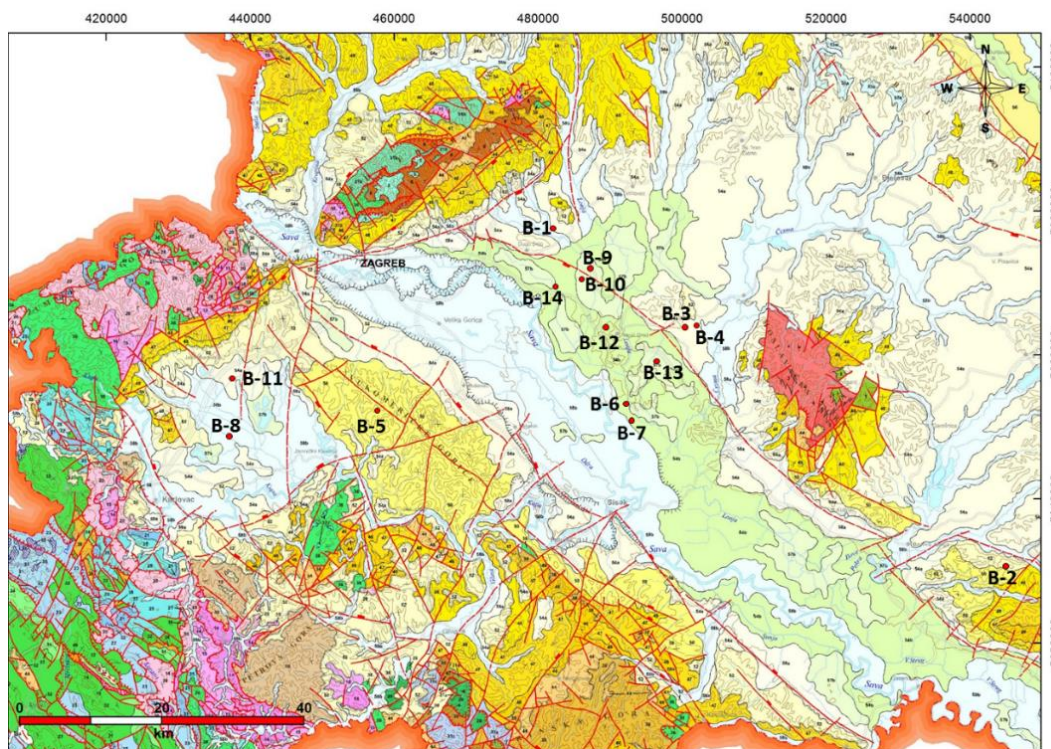
Na jugoistočnim obroncima Medvednice između sela Kučilovine i Kašine je na temelju bentičkih foraminifera utvrđen kontinuirani slijed sarmatskih naslaga. Određena je Zona *Anomalinoidea badensis* koja pripada donjem sarmatu. Donjosarmatske naslage taložene su u plitkom okolišu normalne slanosti. Slijedi prijelazna zona između srednjeg (Zona *Elphidium reginum*) i gornjeg dijela (Zona *Elphidium haurenium*) donjeg sarmata, taložena u dubljem, bočatom okolišu. Određena je i gornjosarmatska Zona *Porosonion granosum*. Veća brojnost foraminiferske zajednice ukazuje na stabilnije ekološke uvijete (**Drvarić, 2006**).

Na području Sv. Nedelje (**slika 5.1.**). analizirani su sarmatski palinomorfi i uspoređeni s mikrofosilnom zajednicom. U svim uzorcima prevladava pelud četinjača, uz njih pronađene su i drvenaste kritosjemenjače, a u dva od tri uzorkovana sloja nađena je i pelud trave. Interpretacijom je zaključeno da je sarmatski paleokoliš zastupljen miješanim mezofilnim šumama u uvjetima umjereno toplije subtropske klime (**Fleck Gavran, 2011**).

Analizom mikrofosilne zajednica na smjestaštu Glavnica (**slika 5.1.**), utvrđen je prijelaz iz donjeg dijela gornjeg badena (*Buliminsko-Bolivinska* zona) u gornji dio badena (zona osiromašenja) i zatim Zonu *Anomalinoides badenensis*, koja odgovara donjem sarmatu. Okoliš se mijenja od dubokomorskog normalnog saliniteta do plitkomorskog, lagunarnog bočatog okoliša sarmatske starosti (Novak, 2006).

## 5.2. POTPOVRŠINSKI NALAZI SARMATSKIH TALOŽINA ZAPADNOG DIJELA SAVSKE DEPRESIJE

Da bi dobili uvid u rasprostranjenost sarmatskih taložina u dubini pregledani su izvještaji bušotina i interni Inini dokumenti te su prikupljeni podaci o utvrđenom sarmatu. Kad se razmatraju bušotinski podaci primjećujemo da je sarmat vrlo rijetko prepoznat i izdvojen kao zasebni kat. Samo je u 14 bušotina sarmat određen ili pretpostavljen prema fosilnom sadržaju. (**tablica 5. 1., slika 5.2.**). U ovom potpoglavlju odredbe i nazivlje foraminifera preuzete su iz izvještaja u izvornom zapisu i obliku. Revizija nazivlja svih spomenutih vrsta i rodova prikazana je u potpoglavlju 7.3.



**Slika 5.2.** Smjestašta potpovršinskih nalaza sarmatskih taložina (isječak Geološke karte RH 1:300 000, ur. Velić & Vlahović, 2009)

**Tablica 5.1.** Bušotine s dokazanim/pretpostavljenim sarmatom prema fosilnom sadržaju

| Bušotina | god. bušenja | Rs7   | TD     | krovina sarmata | podina sarmata | debljina     | jezgra u intervalu |
|----------|--------------|-------|--------|-----------------|----------------|--------------|--------------------|
|          |              | MD(m) | MD(m)  | MD(m)           | MD(m)          |              |                    |
| B-1      | 1988         | 1738  | 2428   | 1738            | 1804           | 66           | +                  |
| B-2      | 1976         | 1180  | 2263   | 1180            | 1200           | 20           | +                  |
| B-3      | 1952         | 366   | 427,3  | 366             | 393            | 27           | +                  |
| B-4      | 1952         | 259   | 328,7  | 259             | 299,5          | 40,5         | +                  |
| B-5      | 1952         | 830   | 997    | 830             | 849            | 19           | +                  |
| B-6      | 1967         | 2406  | 2604   | 2406            | 2452           | 46           | +                  |
| B-7      | 1975         | 2112  | 2711,4 | 2112            | 2133           | 21           | +                  |
| B-8      | 1983         | 1384  | 4145   | 1384            | 1466           | 82           | +                  |
| B-9      | 1978         | 2357  | 3181   | 2350            |                |              | +                  |
| B-10     | 1971         | 1478  | 2120,5 | 1478            | 1528           | 50           | +                  |
| B-11     | 1997         | 350   | 883    | 350             | 450            | 100          | +                  |
| B-12     | 2014         | 2131  | 2883   | 2131            | 2230           | 99           | isplaka            |
| B-13     | 2014         | 2210  | 2600   | 2210            | 2260           | 50           | isplaka            |
| B-14     | 1972         | 2698  | 2730,3 | 2698            | 2730+ $\chi$ m | 32+ $\chi$ m | +                  |

### Bušotina B-1

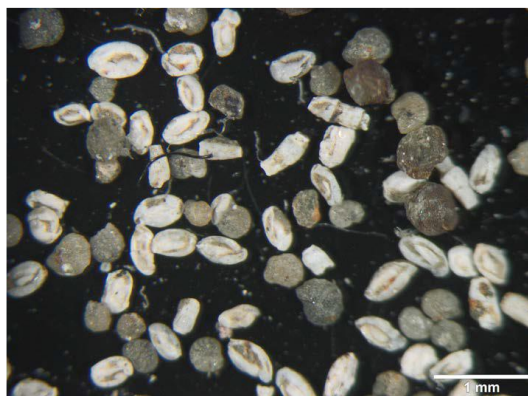
U intervalu pretpostavljene sarmatske starosti izvađena je jezgra 4 (1745-1747) koja je opisana kao tvrdi lapor u izmjeni s tamnosivim siltnim laporom i proslojcima svijetlosivog sitnozrnatog srednje vezanog pješčenjaka. Jezgra je dobivena u komadima veličine 2 do 15 cm. U litološkom prikazu jezgrovanih intervala u prvom metru je određen pjeskoviti lapor s glinovito karbonatnom osnovom koja sadrži pjeskovitu komponentu. U drugom metru opisana je mikrokristalina kalcitna osnova koja sadrži glinovitu ili organsku tvar u obliku lamina, te je određen laminirani mikrit. Od fosila uočene su miliolide, a budući da nisu uočeni drugi mikrofosili uža determinacija nije navedena (izvješće bušotine, 1988). U ponovljenim mikropaleontološkim analizama (Premec Fuček, 2016) u jezgri 4 su određeni *Globigerina* sp., *Globigerinoides* sp., *Cibicides lobatulus*, *Anomalinoides* sp., ostrakodi, miliolide i biljni utrusci. Pretpostavlja se da je to sarmat s pretaloženim badenskim planktonom, a okoliš taloženja unutarnji šelf.

### Bušotina B-2

Sarmat je određen na dubini od 1180 do 1200 metara u facijesu sivog laminiranog lapora (izvješće bušotine, 1977). Mikrofauna ukazuje na plitkovodni okoliš. Pretežno se tu nalaze *Semseya lamellata* Franz., *Articulina* cf. *tamanica* Bogdanowich., *Quinqueloculina akneriana* Gerke, *Nodobaculariella* cf. *transcarpatica* Venglsinski, *Elphidium aculeatum* d'Orbigny, *E.*

*subumbilicatum* Czjzek, *E. hauerinium* d'Orbigny, *Protelphidium subgranosum* Egger. Navedeno je potvrđeno jezgrom u intervalu od 1187 do 1191 metara (izvješće bušotine, 1976). Jezgra -1 (1187,6-1191,9 m) je opisana kao tamnosivo do smeđi kalcitom bogati lapor unutar kojeg se javljaju proslojci svijetlosivog do smeđeg glinovitog vapnenca. Do pucanja jezgre dolazi po plohama slojevitosti. Uočene su sitne pukotine zapunjene kalcitom, tragovi ostataka organske tvari i tragovi plaženja crva. Osnovu stijene čine mikritni kalcit i minerali glina uz sporadična zrna detritičnog kvarca, dok su globulice pirita i organske tvari neravnomjerno raspršene u osnovi (izvješće bušotine, 1977). Od mikrofaune u prvom do trećem metru jezgre određene su *Semseya lamellata* Franz., *Articulina* cf. *sarmatica* Karrer., *A.* cf. *tamanica*, *Quinqueloculina reussi* Bogdanovich., *Q. akneriana*, *Nodobacularella* cf. *transcarpatica*, *Elphidium*, *aculeatum*, *E. subumbilicatum*, *E. hauerinium*, *P. subgranosum* Egger, *Florilus* sp., *Elphidium* sp., *Globigerina bulloides* d'Orbigny. Određen je sarmat i morska sredina sedimentacije. U izbrusku četvrtog metra jezgre vidljivi su presjeci rijetkih miliolidnih formi, dok je materijal obrađen metodom muljenja bez mikrofosila (izvješće bušotine, 1977). Navedena mikrofauna ukazuju na plitkovodni razvoj s bočatom tendencijom (izvješće bušotine, 1977).

Revizijom bušotinskog materijala i postojećih analiza potvrđena je sarmatska starost navedenog intervala (Hernitz-Kučenjak i Premec Fuček, 2015). Opisane su naslage sarmata (1200-1180 m) s karakterističnom mikrofosilnom zajednicom (**slika 5.3.**). Mikrofosilna zajednica jezgrovanog intervala (1187-1191 m) je male bioraznolikosti, ali mikrofosili su relativno dobro očuvani i brojni. Određen je mikrofosil provodan za naslage sarmata – *Semseya lamellata* Franz. (slika 5.4.) Provodni fosil *Semseya lamellata*, je još uvijek nedovoljno istražene taksonomske pripadnosti. Prvo je smatrana foraminiferom (**Šikić, 1975**), a zatim cistom dinoflagelata (**Bajraktarević, 1983**). **Streng (2004)** u svojem radu objašnjava da zbog svoje veličine (oko 1 mm) ne pripada skupini dinoflagelata. Bentičke foraminifere su brojne po primjercima, ali ne i po broju vrsta. Od foraminifera određene su slijedeće vrste i rodovi: *Elphidium crispum* Linné, *E. aculeatum*, *E. hauerinum*, *Elphidium* sp., *Nonion* sp. i miliolide (Hernitz-Kučenjak i Premec Fuček, 2015).



**Slika 5.3.** Mikrofosilna zajednica sarmata; B-2; 1182,6-1194,9 m; 1 m, 0,80 m (Hernitz-Kučenjak i Premec-Fuček, 2015)



**Slika 5.4.** *Semseya lamellata*; B-2; 1182,6-1194,9 m; 3 m (Hernitz-Kučenjak i Premec Fuček, 2015)

### Bušotina B-3

Sarmatske naslage su razvijene od 366 m do 393 metara u facijesu tamnih bituminoznih lapora, pjeskovitih lapora uz nešto pješčenjaka (izvješće bušotine, 1952). Iz jezgre 1 na dubini 365,5 do 370,5 i uzoraka sa sita izdvojene sljedeće karakteristične foraminifere: *Elphidium reginium* d'Orbigny, *E. crispum*. Također su određene *Truncatulina dutemplei* d'Orbigny, *Globigerina triloba* Reuss, *G. buloides* d'Orbigny, *Rotalia beccarii* Linne. Nađene su i riblje ljušturice te mnogo otisaka jezgri roda *Cardium* (izvješće bušotine, 1952).

### Bušotina B-4

Jezgre 17 (254,9-259,9 m) i 21 (272,4-277,7 m) su litološki opisane kao pjeskoviti lapori u kojima nisu izdvojeni fosili. U jezgri broj 22 (295,3-299) utvrđena je bogata sarmatska fauna *Elphidium fichtelianum* d'Orbigny, *E. aculeatum*, *E. reginium*, *E. crispum*, zatim *Truncatulina dutemplei*, *R. beccarii*, *Asterigerina guerichi*, *Nonion commune* d'Orbigny, *Nonionina soldani*



d'Orbigny (izvješće bušotine, 1952). U jezgri 23 (299,5-305,5 m) nije utvrđena sarmatska fauna te su određeni *Amphistegina hauerina* d'Orbigny, *Robulus orbicularis* d'Orbigny, *Robulus cultratus* Montfort, *Miliola* sp., *Crisia* sp (Briozoa). Gornja granica sarmata je određena na dubini Ek-markera Rs7 (259 m), a donja neposredno između jezgara J-22 i J-23 na dubini od 299,5 metara.

### Bušotina B-5

Pojedini stratigrafski članovi u bušotini B-5 određeni su prema dobivenim jezgrama i elektrokarotažnom dijagramu. Prema navedenom sarmatske naslage nalaze se na dubini od 830 do 849 m (izvješće bušotine, 1952). Od foraminifera određene su *Elphidium aculeatum* d'Orbigny, *E. macelum* d'Orbigny, *E. crispum*, *E. reginium* i *Nonion granosum* d'Orbigny. Litološki se izmjenjuju pjeskoviti i glinoviti uslojeni lapori s proslojcima pješčenjaka i krupnozrnatog brečolikog pješčenjaka. U intervalu je izvađeno 9 kontinuiranih jezgri, debljine od 2 do 0,10 m, ali jezgre nisu u potpunosti sačuvane. Jezgra-65 i 66 (837,5-838,5) su opisane kao lapor s ostacima *Cardium* sp. Od fosila nađeni su *Cardium* sp. i brojni biljni ostaci (izvješće bušotine, 1952). U sklopu studije iz 2013-te godine jezgre 65, 66 i 67 su ponovo analizirane (Veseli et al., 2013). Od jezgre-65 (836-837 m) sačuvano je samo 3 cm. Opisan je siltno-glinoviti lapor s kršjem školjkaša, nepravilnim nakupinama pirita, sitno raspršenom tamnom organskom materijom i globulama pirita (**slika 5.5.** i **slika 5.6**). Mikropaleontološkim analizama u jezgri-65 utvrđena je mikrofosilna zajednica sastavljena od rijetkih fragmenata školjkaša i ostrakoda na temelju koje nije moguće odrediti stratigrafsku pripadnost.

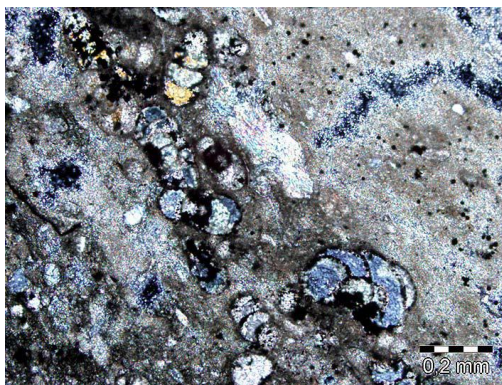


**Slika 5.5.** Bušotina B-5, jezgra-65 (petrografski izbrusak) – glinoviti lapor s kršjem školjkaša, piritom i organskom tvari (Veseli et al., 2013)



**Slika 5.6.** Bušotina B-5, jezgra-65 (petrografski izbrusak) – glinoviti lapor s organskom tvari i piritom (Veseli et al., 2013)

Od jezgre-66 (837-838 m) sačuvano je samo 10 cm. Sastoji se od zelenkastosivog homogenog glinovitog lapora s brojnim presjecima i otiscima školjkaša. U glinovitom laporu utvrđene su brojne piritizirane male bentičke foraminifere čije su komorice ispunjene kvarcom, anhidritom i gipsom (slika 5.7.). Mikropaleontološkim analizama u utvrđena je mikrofosilna zajednica sastavljena od malih bentičkih foraminifera, *Nonion* sp., te fragmenata školjkaša (*Limnocardium* sp.) i gastropoda na temelju koje nije moguće odrediti stratigrafsku pripadnost. Okoliš taloženja je plitki s niskom energijom vode (Veseli et al., 2013).



**Slika 5.7.** Bušotina B-5, jezgra-66 (petrografski izbrusak) – glinoviti lapor s piritiziranim foraminiferama (Veseli et al., 2013)

Od jezgre-67 (838,5-839,1) sačuvano je samo 5 cm. Sastoji se od zelenkasto sivog glinovitog lapora koji u sparitnoj osnovi, sitno raspršene globule pirita, te rijetko kršje ostrakoda (slika 5.8.). Mikropaleontološkim analizama osim rijetkog kršja ostrakoda nije utvrđena druga mikrofosilna zajednica.





**Slika 5.8.** Bušotina B-5, jezgra-67 (petrografski izbrusak)- glinoviti lapor, nakupine kalcita, globule pirita (Veseli et al., 2013)

### Bušotina B-6

Sarmat je određen na dubini od 2410 do 2452 m, u kojoj se nalazi tipična sarmatska fauna- *Ervilia podolica* (izvješće bušotine, 1976). Unutar izdvojenog sarmata jezgrovan je interval jezgre 9 (2443-2445,2) gdje su opisani kalcitom bogati lapori i konglomeratični pješčenjak, te su uočene sitne krhotine foraminifera i ostrakoda, *Cardium* sp., *Cardium Gleichbergense* Papp i krhotine piritiziranih foraminifera. U jezgri 10 (2445 -2447) opisan je tvrdi kalcitom bogati lapor (izvješće bušotine, 1976). Od fosila uočeni su sitni vrlo oštećeni fosili, juvenilni *Cardium* sp. i *Ervilia podolica* Eichwald. Gornja granica sarmata određena je na dubini od 2406 m. Prema izvješću bušotine Prkos formacija nedostaje, tako da se taložine formacije Ivanić Grad graniče s formacijom Prečec. U zoni Rs7 označena je diskordancija, a u gornjem dijelu formacije Prečec utvrđen je sarmat (izvješće bušotine, 1976).

### Bušotina B-7

U izvješću bušotine pojedini stratigrafski članovi određeni su prema dobivenim jezgrama i izdvojenim regionalnim EK-markerima. Sarmat je određen na dubini od 2112 do 2133 metra. U stratigrafskom prikazu bušotine na sarmatski kat slijedi panon, te nedostaje formacija Prkos. U jezgri od 2131 do 2133,5 m određeni su sljedeći fosili: *Ammonia beccarii* Linne, *Elphidium macellum* Fichtel i Moll, *E. rugosum* d'Orbigny, *E. crispum*, *Elphidium* sp., *Cibicides* sp., *Orbulina suturalis* Bronn, *Bolivina dilatata* Reuss, te je opisana morska (eventualno bočata) sredina tijekom sarmata (izvješće bušotine, 1975). Litološki to su kalcitom bogati lapori i pješčenjaci (izvješće bušotine, 1975).

## Bušotina B-8

Prema stratigrafskom izvještaju iz 1983 godine sarmat je određen na dubini od 1384 do 1466 metara. U naslagama jezgre 3 (1392-1394 m) litološki je određen laminirani kalcitni i glinoviti lapor sa ostacima biljaka i školjki (izvješće bušotine, 1983). Također je navedena bogata mikrofosilna zajednica *Anomalinoides badenensis* d'Orbigny, *Ammonia beccarii* Linné, *Bolivina sarmatica* Didkowski, *Bulimina elegans* d'Orbigny, *Bulimina* sp., *Cibicides lobatulus* Walker i Jacob, *Elphidium hauerinum*, *E. macellum*, *E. subumbilicatum*, *E. glabrum*, *E. rugosum*, *Elphidium* sp., *Nonion bogdanowiczi* Voloschinowa, *N. serenus*, *Quinqueloculina consobrina* d'Orbigny, *Porosonion subgranosum* ostrakodi, riblji zub (izvješće bušotine, 1983). U jezgri 4 (1462-1467 m) opisan je lapor s biljnim ostacima unutar kojeg su određeni *Anomalinoides badenensis* d'Orbigny, *Ammonia beccarii* Linné, *Bolivina elongata* d'Orbigny, *B. sarmatica*, *B. dilatata*, *Bulimina aculeata* d'Orbigny, *B. elegans*, *B. pyrula*, *Cassidulina oblonga* Reuss, *Cibicides badenensis* d'Orbigny, *Chilostomella oolina* Schweiz, *Protelphidium subgranosum* Egger, *Florilus boueanus* d'Orbigny, *Elphidium ukrainikum* Krasheninnkov, *E. rugosum*, *E. fichtelianum*, *E. aculeatum*, *E. glabrum*, *E. macellum*, *E. subumbilicatum*, *E. flexuosum grilli*, *Globigerinoides trilobus* Reuss, *Globigerina nepenthes* Todd, *G. diplostoma*, *G. concinna*, *G. apertura*, *G. praebuloides*, *G. woodi*, *G. glutinata*, *Globoquadrina* sp., *G. obesa*, *G. tarchanensis*, *Heterolepa haidingeri* Brady, *Nonion* cf. *biporus* Krasheninnkov, *N. serenus*, *Nodosaria* sp., *Quinqueloculina consobrina*, *Quinqueloculina* cf. *boueana* d'Orbigny, *Q. acneriana rotunda* Gerke, *Sigmoilina* sp., U sklopu interne studije (Veseli et al., 2013) detaljno su analizirane jezgre 3 i 4 te su opisi preuzeti iz spomenute studije. Od jezgre-4 sačuvano je oko 1,5 metara u komadima veličine 2-4 cm. jezgra se sastoji od tankih izmjena sitnozrnastih kalkarenacejskih pješčenjaka, siltnih lapora i lapora s tendencijom positnjavanja prema gore. Baze pješčenjaka su erozijske, neravne i oštre a prijelaz u siltne lapore i lapore je postupan. Kalkarenacejski pješčenjaci se sastoje od mješavine siliciklastičnog detritusa tj. zrna ekstrabazenskog podrijetla i vapnenačkih zrna intrabazenskog podrijetla te manje količine karbonatno-glinovitog matriksa. U siliciklastičnom detritusu dominiraju dobro sortirana, uglasta zrnca kvarca dok se zrna feldspata i listići tinjaca nalaze u podređenoj količini. Vapnenačka zrna se pretežito sastoje od bioklasta bentičkih, nešto manje planktonskih foraminifera, kršja školjkaša i bodljikaša. Foraminifere su često intenzivno piritizirane te globule glaukonita najmanje zastupljene unutar ovih pješčenjaka. Siltni lapori u gustoj karbonatnoj-glinovitoj osnovi sadrže varijabilnu količinu sitnog siliciklastičnog detritusa dimenzija silta koji je istog sastava kao i pješčenjaci, lamine i/ili sitno dispergiranu organsku materiju te fosilni detritus. Fosilni detritus je podjednako zastupljen planktonskim i bentičkim

foraminiferama te kršjem bodljikaša i školjakaša. Smanjenjem količine siliciklastičnog detritusa povećava se udio planktonskih foraminifera, pa u višim dijelovima slijeda siltni lapori postupno prelaze u fosiliferne lapore. Tamna organska materija je pretežito sitno dispergirana ili ima paralelnu orijentaciju unutar stijene. Ponekad zbog paralelne orijentacije organske materije te izmjene partija bogatijih i siromašnijih sa siliciklastičnim detritusom lapori pokazuju horizontalnu laminaciju. Mikropaleontološkim analizama u uzorcima Jezgre-4 utvrđena je slijedeća zajednica planktonskih i bentičkih foraminifera. Primjerci planktonskih foraminifera su češći te su određene slijedeće vrste i rodovi *Globorotalia transsylvanica* Popescu, *G. bykovae* Aisenstat, *Globigerina tarchanensis* Subbotina & Chutzieva, *Globigerina* sp., *G. praebulloides*, *Globigerinoides* sp., *Turborotalita quinqueloba* Natland, *Orbulina universa* D'Orbigny i *Praeorbulina* sp. Uz relativno velik broj odraslih jedinki planktonskih foraminifera, zamijećeni su i juvenilni oblici. Bentičke foraminifere zastupljene su vrstama i rodovima *Cibicidoides lobatulus* Walker i Jacob, *Cibicidoides* sp., *Brizalina* sp., *Nonion* sp., te miliolidama. Organski ostatak je slabo zastupljen u maceratu stijene i gotovo 90 % je amorfan. Amorfna tvar je najvećim dijelom raspršena i samo mjestimice je grupirana u klastere. Lignohuminski klasti kerogena su rijetki. U cijelom izbrusaku je uočeno samo nekoliko loše sačuvanih i biodegradiranih cisti dinoflagelata, malo peludnih zrna (većinom bisakate) i par spora tako da liptinitna komponenta čini manje od 10% organskog ostatka. Od jezgre-3 sačuvano je oko 0,7 metara iz I. i II. metra u komadima veličine 2-4 cm. Jezgra se pretežito sastoji od gustog lapora, osim dijela I m (I .m, 0,6-1,0 m) koji zbog povišenja karbonatne komponente prelazi u glinovite vapnence ( $\text{CaCO}_3$ , 50-86 %) sive boje. Mjestimično se unutar lapora nalaze milimetarske lamine siltita (II. m 0,70-0,80 m). Lapori-glinoviti vapnenci se sastoje od guste kalcitno-glinovite osnove u kojoj se nalaze rijetke male planktonske i bentičke foraminifere, sitno raspršena ili u obliku malih lamina raspoređena, tamnosmeđa organska materija te pojedinačna zrna kvarca siltnih dimenzija i sitne globulice pirita. Milimetarske lamine silta sastavljene su od uglastih zrna kvarca, feldspata i sitnih listića tinjaca Planktonske foraminifere su ponekad zahvaćene piritizacijom različitog intenziteta. Mikropaleontološkim analizama u uzorcima jezgre-3 utvrđeno je svega nekoliko sitnih planktonskih i bentičkih foraminifera na temelju čega nije moguća odredba starosti jezgrovanog intervala. Organski ostatak je razmjerno slabo zastupljen u maceratu stijene. Najveći dio palinofacijesa (80 %) je amorfna tvar. Većinom je raspršena i tek na par mjesta je grupirana u klaste. Lignohuminski klasti kerogena su izuzetno rijetki, tako da ostatak od 20 % organskog ostatka predstavlja liptinitna komponenta sastavljena od ostataka zelenih algi, rijetkih cisti dinoflagelata različitih peludnih zrna, te nekoliko spora. Od zelenih algi su prisutni jedino predstavnici prazinofigeja

koje su znakovite za plitke lagune, deltne i općenito priobalne okoliše smanjenog saliniteta. Određene su vrste *Hidasia rugosa* Hajos 1966 i *Cymatiosphaera* sp.). Od nekoliko uočenih dinocisti, određene su sljedeće: *Operculodinium* sp., *Spiniferites* sp. i *Lingulodinium* sp. Fosilima siromašna utvrđena zajednica fitoplanktona, odnosno, cisti dinoflagelata i fikoma prazinofigeja, ne omogućuje sigurnu odredbu starosti. Ipak, i takva palinocenoza uz uvažavanje superpozicije sedimenata, može ukazivati na srednjomiocensku (baden, sarmat) starost uzorka stijene.

### **Bušotina B-9**

Jezgra 2 (2366-2367,3 m) je dobivena u komadima od kojih jedan dio pripada brečokonglomeratu, dok je drugi lapor. Brečokonglomerat je loše sortirani, izgrađen od odlomaka karbonatnih stijena, čerta, kvarcita, kvarca, feldspata, tinjaca i odlomaka najvjerojatnije nekih eruptivnih stijena. Lapor je smeđesive boje i sadrži žilice kalcita, bez mikrofaune (izvješće bušotine, 1979). Donja granica sarmata nije određena. U izvještaju iz 2010. godine u laporu jezgre 2 opisan je mikrit sastavljen od karbonatnog mulja, kvarca, sericita, mjestimično kalcificiranih ostrakoda i žila kalcita. Samo je jedan uzorak izabran za palinološke analize. Macerat je bogat organskom tvari. Najveći dio palinofacijesa (90%) je amorfnu tvar. Samo 10 % je terestičke i liptinitne komponente sastavljene od dinocisti i polena. Ciste dinoflagelata su brojne ali jako biodegradirane i teško prepoznatljive. Od uočenih dinocisti određene su sljedeće: *Spiniferites* sp., cf. *Hystriocholpoma* sp., i cf. *Polysphaeridium* sp. Može se pretpostaviti da je okoliš taloženja vjerojatno dublji, distalni, morski, miocenske starosti (Sokolović et al., 2009). Ponovljenim mikropaleontološkim analizama (Premec Fuček, 2016) u intervalu jezgre 2 (2366-2367,3 m) prepoznati su ostrakodi, male bentičke foraminifere, *Globigerinoides* sp., *Globigerina* sp., krhotine koralinacjia i biljni utrusci. Pojedini fosili ukazuju na gornji baden, ali je pretpostavljeno da su pretaloženi u sarmat (Premec Fuček, 2016).

### **Bušotina B-10**

Jezgra je opisana kao pjeskoviti i kalcitom bogati lapor. Na osnovu mikrofosilne asocijacije utvrđena je sarmatska starost (izvješće bušotine, 1971). Određeni su *Nodophtalmidium tibia* Jones i Parker, *Articulina problema* Bogdanowicz, *Quinqueloculina* sp., *Elphidium rugosum*, *Rotalia* sp., *Leptocythere* sp. (izvješće bušotine, 1971). Ponovljenim mikropaleontološkim analizama (Premec Fuček, 2016) sarmat je ustanovljen u intervalu od 1478 do 1527 m na osnovi foraminifere *Anomalinoides dividens* Luczkowska, koja ukazuje na donji sarmat. Također su prepoznati ostrakodi, miliolide, male bentičke foraminifere, biljni utrusci i nekoliko

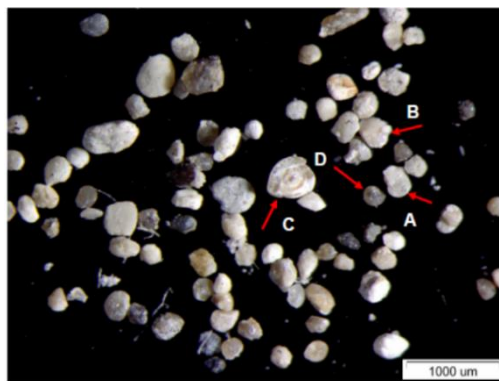
pretaloženih planktonskih foraminifera. U jezgri J-6 (1478-1480,6 m) utvrđen je *Anomalinoides* sp., a u jezgri 7 (1523-1527 m) *Anomalinoides dividens* Luczkowska.

### **Bušotina B-11**

Naslage sarmata određene su u intervalu od 350 do 450 m (izvješće bušotine, 1998). Jezgra 1 (416-422 m) je opisana kao siltni lapor s proslojcima siltita, arenita i brečokonglomerata. Glinovito karbonatna mikrokriptokristalina osnova sadrži detritus veličine silta do sitnog pijeska (tinjci, kvarc, feldspati, čert, kalcit) te fosilni detritus (ostrakode). Od opakih minerala prisutne su globulice pirita. Detaljnim mikropaleontološkim analizama materijala sa sita i jezgrovanog intervala (416-422 m) izdvojena je bogata fauna foraminifera: *Elphidium reginum* d'Orbigny, *E. aculeatum*, *E. advenum*, *E. macellum*, *E. fichtelianum*, *E. crispum*, *E. hauerinum*, *Porosonion granosum* d'Orbigny, *A. beccarii* i mnoštvo miliolida i ostrakoda. U ovakvom plitkom okolišu uočene su krhotine mekušaca i rijetko lišće obalnog bilja.

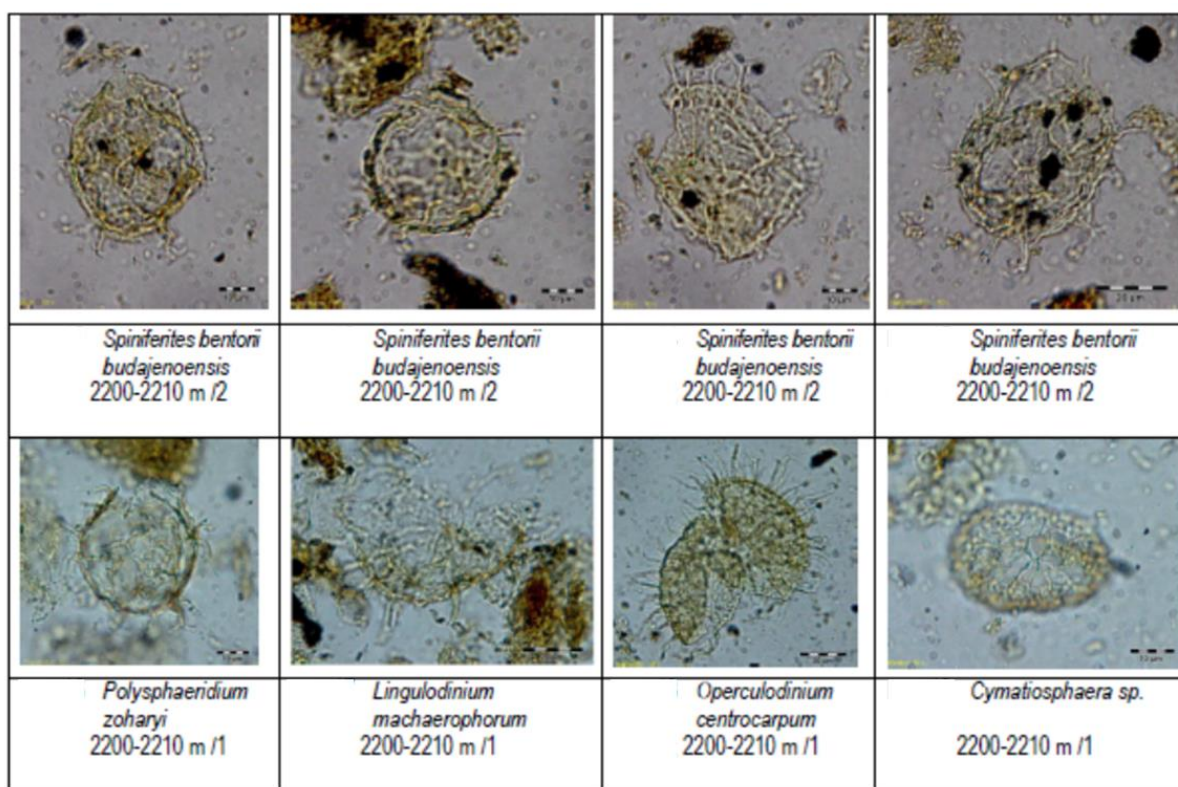
### **Bušotina B-12**

Iz uzoraka sa sita s dubine 2220-2230 m izdvojene su bentičke foraminifere koje mikropaleontološkom interpretacijom ukazuju na sarmat. U intervalu od 2230-2190 m su određene *Anomalinoides dividens* Luczkowska, *Cibicidoides* sp., *Nonion* sp., *Elphidium* sp., te miliolide (**slika 5.9.**). Osim toga u tankim izbruscima (2000-2210 m, 2210- 2220 m) nađene su pretaložene, intenzivno piritizirane donjobadenske planktonske foraminifere i nekoliko krhotina crvenih algi (Veseli et al., 2014). U uzorku na dubini 2220-2230 m utvrđena je provodna vrsta *Anomalinoides dividens* Luczkowska, što je marker za granicu između gornjeg badena i sarmata (**Filipescu, 2004; Kovac et al., 2007**) i vrsta ukazuje na normalan do lagano smanjen salinitet (**Filipescu. 2004; Piller et al., 2007; Gebhardt et al., 2009**). Rod *Elphidium* živi do dubine od 70 m, a rod *Nonion* i do dubine od 180 m (**Murray, 2006**). Uz miliolide, koje su također nađene u ovom uzorku, može se zaključiti da se sedimentacija naslaga odvijala u plićem morskom okolišu uz lagano smanjen salinitet (Veseli et al., 2014).



**Slika 5.9.** Bušotina B-12, interval 2220-2230 m, zajednica bentičkih foraminifera sarmata, A- *Anomalinoides dividens*, B- *Cibicidoides* sp., C- *miliolida*, D- *Nonion* sp. (Veseli et al., 2014)

Palinološki je unutar intervala od 2230 do 2190 m obrađen samo uzorak s dubine 2200 - 2210 m (**slika 5.10.**). Macerat je bogat organskim ostatkom. Amorfnu tvar prevladava u palinofacijesu s oko 70% udjela. Lignohuminskih klasta kerogena je tek oko 10%. Liptinitnog kerogena je oko 20%, a sastoji se od malo peludi (većinom bisakate) i spora, ostataka zelenih algi i dinoflagelata. Od ostataka zelenih algi su najbrojniji predstavnici prazinofigeja od kojih su određene sljedeće vrste: *Mecsekia orientalis* Sutő-Szentai 1986, *Mecsekia incrassata* Sutő-Szentai 1986, *Mecsekia spinosa* Hajos 1966, *Cymatiosphaera* sp. *Hidasia* sp. i *Tasmanites* sp. Razred Chlorophyceae je zastupljen predstavnicima kolonijalnih algi *Botryococcus brauni* Kutzing 1849. Od cisti dinoflagelata su najzastupljenije vrste: *Polysphaeridium zoharyi* (Rossignol 1962) Bujak et al. 1980, *Lingulodinium machaerophorum* (Deflandre i Cookson 1955) Wall 1967, *Spiniferites bentori budejenoensis* Sutő-Szentai 1986, *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg 1838) Loeblich i Loeblich 1966, *Spiniferites* cf. *bentori* (Rossignol 1964), Wall i Dale 1970, *Spiniferites* sp., *Operculodinium centrocarpum* (Deflandre i Cookson 1955) Wall 1967, *Hystrichokolpoma* sp. i *Selenopemphix* sp. Macerali su biodegradirani. Cijela asocijacija palinoloških fosila upućuje na sarmatsku starost stijena, a poglavito dinociste *Polysphaeridium zoharyi* i *Lingulodinium machaerophorum* čija brojnost biostratigrafski svrstava uzorak u zonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (**Bakrač, 2005**), predloženu ekozonu za područje Paratetisa. Nalaz vrste *Spiniferites bentori budejenoensis* potkrepljuju tu odredbu i uz bogatu tafocenožu prazinofiga (*Mecsekia* spp., *Cymatiosphaera* spp.) pridružuje stijene sarmatskoj biozoni *Spiniferites bentori budejenoensis* – *Mecsekia incrassata* (**Sutő-Szentai, 1988; Lučić et al. 2001**) (Veseli et al., 2014).



**Slika 5.10.** Bušotina B-12, interval 2200 – 2210 m, palinološka zajednica (Veseli et al., 2014)

U zajednici dinoflagelatata i njihovih cisti prevlast preuzimaju *Polysphaeridium zoharyi*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Spiniferites* spp., *Operculodinium* spp. i druge. Izolacija i promjena saliniteta se zapaža i po sve većem broju prazinoficeja i njihovih fikoma. Litološki su sarmatske naslage predstavljene izmjenom kalcitom bogatih lapora i tankih proslojaka pješčenjaka. Kalcitom bogati lapori su svijetlosmeđe, tamnosmeđe i tamnosive boje. Sastoje se od guste, mikroskopski neprozirne glinovito-kalcitne osnove koja u sebi sadrži od vrlo male do velike količine siliciklastičnog detritusa dimenzija od silta do sitnozrnastog pijeska. Pješčenjaci su svijetlosive do sivosmeđe boje a zastupljeni su pretežito biokalkarenitima dok su kalkarenacejski pješčenjaci nešto manje zastupljeni (Veseli et al., 2014). Palinološkom asocijacijom prevladavaju eurihalini organizmi zastupljeni rijetkim dinocistama, ali brojnim prazinoficejama koje su učestalije u stabilno stratificiranim taložnim sustavima (Veseli et al., 2014). Na osnovi opisanih litofacijskih i biofacijskih obilježja kalcitom bogatih lapora i tankih proslojaka pješčenjaka u intervalu od 2230 do 2190 m je utvrđeno da su te sarmatske taložine su taloženi u mirnom plitkomorskom okolišu smanjenog saliniteta u proksimalnoj i zaštićenoj sredini sa stabilno stratificiranim vodenim stupcem bez značajnijeg donosa materijala s kopna (Veseli et al., 2014).



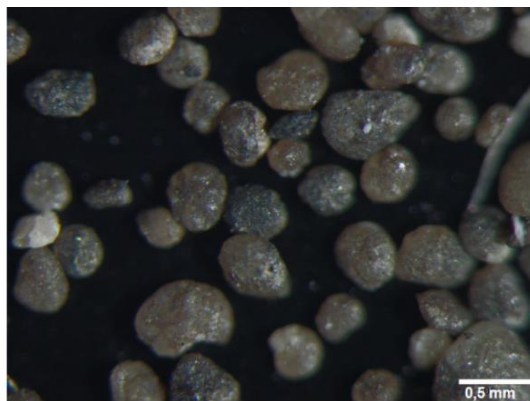
Na dubini od 1900 do 2450 m su lapori i kalcitom bogati lapori koji su dobre do vrlo dobre matične stijene. Kerogen je tipa II, a njegovo podrijetlo je pretežno algno. Naslage u navedenom intervalu po sadržaju i kvaliteti organske tvari nisu homogene, tako da pojedini uzorci krhotina nemaju matične karakteristike. Stijene do dubine oko 2150 m termički su nezrele. U intervalu sarmata (2131-2230) napravljene su Rock-Eval analize na 11 uzoraka (**tablica 5.2.**) (Španić, 2014). Interval je karakteriziran povećanim sadržajem organske tvari koji varira od 0,4% do 2,44%) (u prosjeku 1,85 % organskog ugljika u 11 analizirana uzorka). Kerogen je uglavnom tip II. U intervalu postoje varijacije u količini i kvaliteti organske tvari ipak, većina uzoraka ima karakteristike dobre do vrlo dobre matične stijene.

**Tablica 5.2.** Rezultati Rock-Eval pirolize krhotina iz isplake bušotine Bušotina B-12, 2130-2230 m (Španić, 2014)

| Interval/<br>dubina<br>(m) | C <sub>org</sub><br>(%) | S <sub>1</sub>              | S <sub>2</sub>              | S <sub>3</sub>                | T <sub>max</sub><br>(°C) | PI   | S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> | HI                          | OI                            | Min C<br>(%) |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|
|                            |                         | $\frac{mg\ HC}{g\ stijene}$ | $\frac{mg\ HC}{g\ stijene}$ | $\frac{mg\ CO_2}{g\ stijene}$ |                          |      |                                | $\frac{mg\ HC}{g\ C_{org}}$ | $\frac{mg\ CO_2}{g\ C_{org}}$ |              |
|                            |                         |                             |                             |                               |                          |      |                                |                             |                               |              |
| 2130-2140                  | 1,26                    | 0,48                        | 6,16                        | 0,74                          | 426                      | 0,07 | 8,32                           | 489                         | 59                            | 7,87         |
| 2140-2150                  | 1,62                    | 0,66                        | 7,63                        | 1,02                          | 430                      | 0,08 | 7,48                           | 471                         | 63                            | 7,64         |
| 2150-2160                  | 1,39                    | 0,75                        | 7,10                        | 0,67                          | 427                      | 0,10 | 10,60                          | 511                         | 48                            | 7,94         |
| 2160-2170                  | 0,40                    | 0,04                        | 0,83                        | 0,27                          | 429                      | 0,05 | 3,07                           | 208                         | 68                            | 6,22         |
| 2170-2180                  | 1,13                    | 0,57                        | 4,50                        | 0,85                          | 429                      | 0,11 | 5,29                           | 398                         | 75                            | 5,39         |
| 2180-2190                  | 2,44                    | 1,63                        | 13,45                       | 0,74                          | 426                      | 0,11 | 18,18                          | 551                         | 30                            | 5,23         |
| 2180-2190                  | 2,00                    | 0,07                        | 9,94                        | 0,78                          | 426                      | 0,01 | 12,74                          | 497                         | 39                            | 5,12         |
| 2190-2200                  | 0,86                    | 0,24                        | 4,08                        | 0,29                          | 428                      | 0,05 | 14,07                          | 474                         | 34                            | 8,03         |
| 2200-2210                  | 0,57                    | 0,13                        | 2,07                        | 0,42                          | 430                      | 0,06 | 4,93                           | 363                         | 74                            | 8,52         |
| 2210-2220                  | 0,79                    | 0,14                        | 2,42                        | 0,38                          | 428                      | 0,05 | 6,37                           | 306                         | 48                            | 7,91         |
| 2220-2230                  | 0,59                    | 0,16                        | 1,23                        | 0,92                          | 430                      | 0,11 | 1,34                           | 208                         | 156                           | 8,92         |

### Bušotina B-13

Sarmat je ustanovljen u uzorku krhotina sa sita u intervalu od 2210 do 2220 m. Opisani interval nije jezgrovan. Mikropaleontološkom analizom utvrđen je veći broj rekristaliziranih bentičkih foraminifera (**slike 5.11.**) te rijetki ostrakodi. Određeni se su *Elphidium* cf. *reginum* d'Orbigny, *E. macellum*, *Elphidium* sp., *Nonion* sp. i *Ammonia* sp. (Zlatar et al., 2014).



**Slika 5.11.** *Zajednica bentičkih foraminifera bušotine - B13 (sarmat:2210-2220 m), (Zlatar et al., 2014)*

U intervalu sarmata opisani su lapori, kalcitom bogati lapori te kalkarenacejski pješčenjaci. Od siliciklastičnog detritusa lapori sadrže kvarc dimenzije pijeska i nešto muskovita te raspršeni pirit i organsku tvar (Zlatar et al., 2014). Na osnovi gore opisanih litofacijskih i biofacijskih obilježja stijena može se pretpostaviti da su sarmatske taložine odlagane u mirnom plitkomorskom okolišu, zaštićenoj sredini na području unutarnjeg šelfa (laguna) bez značajnijeg utjecaja s kopna osim povremenog donosa manjih količina karbonatnog i siliciklastičnog detritusa iz priobalnih plićaka. Stijene iz intervala od 2210 do 2220 m nisu palinološki istraživane. U intervalu od 2270-2210 m zabilježeno je nešto više foraminifera, međutim zajednica je niskog stupnja očuvanosti što je otežavalo determinaciju. U dva uzorka 2260-2270 m 2250-2260 m, zajednica foraminifera je relativno raznovrsnija i nešto bolje sačuvana. Prevladavaju bentičke foraminifere te su određeni slijedeći rodovi i vrste: *Guttulina communis* d'Orbigny, *Eponides repandus* Fichtel i Moll, *Glandulina ovula* d'Orbigny, *Oridorsalis umbonatus* Reuss, *Cibicidoides* sp. i *Lenticulina* sp. Od planktonskih foraminifera prepoznate su *Globigerinoides* cf. *quadrilobatus* d'Orbigny, *G. trilobus*, *Globorotalia* cf. *scitula* Brady, *Globigerina bulloides* d'Orbigny, *G. diplostoma*, *G. tarchanensis*, *Globigerina* sp., *Praeorbulina glomerata* Blow, *Globigerinoides* sp., *Globoquadrina* sp., *Tenuitella* sp. i *Cassigerinella* sp. U tri uzorka koja se nalaze pliće (2240-2250 m, 2230-2240 m i 2220-2230m), mikrofosilna zajednica je vrlo oskudna i nešto nižeg stupnja očuvanosti nego li u dva prethodna uzorka. Tu su određene *Globigerina* sp., *Globigerinoides* sp, *Paragloborotalia* sp. od planktonskih oblika te *Elphidium* sp., *Nonion* sp. i *Amphistegina* sp. od bentičkih foraminifera (Zlatar et al., 2014).

Palinološki su analizirani intervali 2240 – 2250 m, 2230 – 2240 m, 2220 – 2230 m U maceratima je organski ostatak bogato zastupljen. Prevladava amorfnu tvar (80 – 90 %).

Lignohuminskih klasta kerogena je malo (do 10 %). Liptinitne komponente je u svim maceratima oko 10 %, a sastoji se od razmjerno brojnih cisti dinoflagelata, nešto manje peludi (najviše bisakalnog tipa) i još manje od ostataka zelenih algi. Svi macerali su jako biodegradirani. Uz brojne Dinoflagellata gen. et sp. indet., uočene su sljedeće vrste dinocisti: (2240 – 2250 m) *Areoligera* sp., *Distatodinium* cf. *paradoxum*, *Operculodinium centrocarpum*, *Operculodinium israelianum*, *Operculodinium* sp., *Spiniferites* sp., *Surculosphaeridium longifurcatum* (Firtion 1952) Davey et al. 1966, *Cleistosphaeridium* sp., *Apteodinium* sp. i *Homotryblum* sp., (2230 – 2240 m) *Lingulodinium* sp., *Operculodinium* sp. *Spiniferites pseudofurcatus* (Klumpp 1953) Sarjeant 1970, *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg 1838) Loeblich i Loeblich 1966, *Spiniferites* sp., *Homotryblum* sp., *Systematophora placacantha* (Deflandre i Cookson 1955) Davey et al. 1969, (2220 – 2230 m) *Polysphaeridium zoharyi*, *Spiniferites pseudofurcatus* (Klumpp 1953) Sarjeant 1970, *Spiniferites ramosus* (Ehrenberg 1838) Loeblich i Loeblich 1966, *Spiniferites* sp., *Glaphyrocysta* sp. *Operculodinium centrocarpum*, *Operculodinium* sp., *Systematophora placacantha* (Deflandre i Cookson 1955) Davey et al. 1969, *Systematophora* sp., *Lingulodinium* sp., *Homotryblum* sp. i *Hystriocholpoma* sp. Zajednica cisti dinoflagelata upućuje na badensku starost stijena, posebice nalaz vrste *Systematophora placacantha* (Deflandre i Cookson 1955) koja prema palinozonaciji srednjeg i mlađeg miocena Jugozapadnog dijela Paratetisa (**Bakrač, 2005**) označava badensku istoimenu biozonu za obali bliže okoliše. Međutim, upravo zbog proksimalnijeg okoliša u palinofacijesu nema pučinske ali i provodnije badenske dinociste *Unipontidinium aquaeductum* (Piasecki 1980) Wrenn 1988. Značajna degradiranost i otežana odredbe većeg broja uočenih dinocisti u palinofacijesu, te nešto širi stratigrafski raspon pojavljivanja vrste *Systematophora placacantha*, (primjerice, oligocen-srednji miocen (**Powell, 1992**); eocen-srednji miocen (**Bolli et al. 1985**) rezultirali su opreznijom odredbom starosti analiziranih stijena - donji do srednji miocen (Zlatar et al., 2014).

Sedimentacija se najvjerojatnije odvijala u razmjerno plitkom i obali proksimalnijem morskom okolišu koji je najčešće bio zaštićen od utjecaja otvorenog mora, na što upućuje izostanak pučinskih palinomorfi (npr. *Impagidinium* sp.) i brojnost areoligeracejskih vrsta (primjerice *Glaphyrocysta* sp.) znakovitih za zatvorene (lagunarne) morske okoliše (Jimenez-Moreno et al. 2006) (Zlatar et al., 2014).

U intervalu (2270-2210 m) ima bentičkih i planktonskih foraminifera no, loše su očuvane. Karakteristične vrste potpuno nedostaju. I palinološki macerati stijena su bogati palinomorfama, ali također biodegradirane i teško odredive. Stijene su donjo do srednjo

miocenske starosti, a nisu preciznije kronostratigrafski određene zbog netipične zajednice, izostanka uže provodnih fosila ili čak potpunog nedostatka fosilnih ostataka (Zlatar et al., 2014).

Iz bušotinskih uzoraka napravljene su detaljne geokemijske analize (Španić i Troškot-Čorbić, 2014). Matične stijene registrirane U intervalu od 2100 do 2260 m registrirane su matične stijene dobrih obilježja. Uzorak kalcitnih lapora s dubine 2200-2220 m, koji zbog velike količine i kvalitete organske tvari koju sadrži predstavlja vrlo dobru matičnu stijenu čiji generativni potencijal premašuje 11 mg HC/g stijene (**tablica 5.3.**).

**Tablica 5.3.** Rezultati Rock-Eval pirolize krhotina iz isplake bušotine B-13 (Španić i Troškot-Čorbić, 2014)

| Lab. oznaka uzorka | Interval/dubina<br>*ekstrahirani uzorci | C <sub>org</sub> (%) | S <sub>1</sub><br>mg HC<br>g stijene | S <sub>2</sub><br>mg HC<br>g stijene | S <sub>3</sub><br>mg CO <sub>2</sub><br>g stijene | T <sub>max</sub><br>(°C) | PI   | S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> | HI<br>mg HC<br>g C <sub>org</sub> | OI<br>mg CO <sub>2</sub><br>g C <sub>org</sub> | MinC<br>(%) |
|--------------------|-----------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|-------------|
| GK14-12            | 1800-1820                               | 0,64                 | 0,02                                 | 1,19                                 | 0,25                                              | 429                      | 0,02 | 4,76                           | 186                               | 39                                             | 5,05        |
| GK14-13            | 1820-1840                               | 0,66                 | 0,02                                 | 1,59                                 | 0,20                                              | 431                      | 0,01 | 7,95                           | 241                               | 30                                             | 6,32        |
| GK14-14            | 1840-1860                               | 0,79                 | 0,03                                 | 1,84                                 | 0,28                                              | 431                      | 0,01 | 6,57                           | 233                               | 35                                             | 5,44        |
| *GK14-14           | 1840-1860                               | 0,79                 | 0,01                                 | 1,83                                 | 0,28                                              | 432                      | 0,01 | 6,54                           | 232                               | 35                                             | 5,47        |
| GK14-15            | 1860-1880                               | 0,80                 | 0,03                                 | 2,34                                 | 0,22                                              | 434                      | 0,01 | 10,64                          | 292                               | 28                                             | 7,04        |
| GK14-16            | 1880-1900                               | 0,58                 | 0,03                                 | 1,59                                 | 0,21                                              | 431                      | 0,02 | 7,57                           | 274                               | 36                                             | 7,20        |
| GK14-17            | 1900-1920                               | 0,71                 | 0,04                                 | 2,93                                 | 0,13                                              | 436                      | 0,01 | 22,54                          | 413                               | 18                                             | 6,21        |
| GK14-18            | 1920-1940                               | 0,80                 | 0,03                                 | 3,07                                 | 0,23                                              | 438                      | 0,01 | 13,35                          | 384                               | 29                                             | 6,69        |
| *GK14-18           | 1920-1940                               | 0,78                 | 0,01                                 | 2,82                                 | 0,17                                              | 438                      | 0,00 | 16,59                          | 362                               | 22                                             | 6,83        |
| GK14-19            | 1940-1960                               | 0,67                 | 0,03                                 | 2,03                                 | 0,23                                              | 434                      | 0,02 | 8,83                           | 303                               | 34                                             | 7,06        |
| GK14-20            | 1960-1980                               | 0,86                 | 0,06                                 | 2,98                                 | 0,17                                              | 435                      | 0,02 | 17,53                          | 347                               | 20                                             | 7,04        |
| GK14-21            | 1980-2000                               | 0,62                 | 0,04                                 | 1,87                                 | 0,17                                              | 434                      | 0,02 | 11,00                          | 302                               | 27                                             | 7,36        |
| GK14-22            | 2000-2020                               | 0,59                 | 0,04                                 | 1,91                                 | 0,18                                              | 436                      | 0,02 | 10,61                          | 324                               | 31                                             | 7,51        |
| GK14-23            | 2020-2040                               | 0,75                 | 0,07                                 | 2,84                                 | 0,20                                              | 436                      | 0,03 | 14,20                          | 379                               | 27                                             | 6,33        |
| *GK14-23           | 2020-2040                               | 0,75                 | 0,01                                 | 2,63                                 | 0,21                                              | 437                      | 0,01 | 12,52                          | 351                               | 28                                             | 6,47        |
| GK14-24            | 2040-2060                               | 0,51                 | 0,08                                 | 2,07                                 | 0,18                                              | 436                      | 0,04 | 11,50                          | 406                               | 35                                             | 4,20        |
| GK14-35            | 2060-2080                               | 0,67                 | 0,05                                 | 1,50                                 | 0,74                                              | 435                      | 0,03 | 2,03                           | 224                               | 110                                            | 6,61        |
| GK14-36            | 2080-2100                               | 0,84                 | 0,04                                 | 2,32                                 | 0,24                                              | 438                      | 0,02 | 9,67                           | 276                               | 29                                             | 6,02        |
| GK14-37            | 2100-2120                               | 1,01                 | 0,10                                 | 3,77                                 | 0,34                                              | 436                      | 0,03 | 11,09                          | 373                               | 34                                             | 6,71        |
| GK14-38            | 2120-2140                               | 0,97                 | 0,11                                 | 4,07                                 | 0,31                                              | 438                      | 0,03 | 13,13                          | 420                               | 32                                             | 7,76        |
| GK14-39            | 2140-2160                               | 1,27                 | 0,15                                 | 4,50                                 | 0,40                                              | 436                      | 0,03 | 11,25                          | 354                               | 31                                             | 6,60        |
| *GK14-39           | 2140-2160                               | 1,23                 | 0,00                                 | 4,06                                 | 0,55                                              | 436                      | 0,00 | 7,38                           | 330                               | 45                                             | 6,78        |
| GK14-40            | 2160-2180                               | 0,58                 | 0,12                                 | 2,37                                 | 0,29                                              | 436                      | 0,05 | 8,17                           | 409                               | 50                                             | 9,16        |
| GK14-41            | 2180-2200                               | 0,55                 | 0,10                                 | 2,44                                 | 0,09                                              | 439                      | 0,04 | 27,11                          | 444                               | 16                                             | 9,93        |
| GK14-42            | 2200-2220                               | 2,13                 | 1,18                                 | 11,62                                | 0,30                                              | 429                      | 0,09 | 38,73                          | 546                               | 14                                             | 7,81        |
| *GK14-42           | 2200-2220                               | 1,77                 | 0,01                                 | 8,92                                 | 0,36                                              | 431                      | 0,00 | 24,78                          | 504                               | 20                                             | 7,99        |
| GK14-43            | 2220-2240                               | 0,36                 | 0,14                                 | 1,29                                 | 0,12                                              | 431                      | 0,10 | 10,75                          | 358                               | 33                                             | 8,95        |
| GK14-44            | 2240-2260                               | 1,69                 | 1,02                                 | 7,71                                 | 0,37                                              | 426                      | 0,12 | 20,84                          | 456                               | 22                                             | 7,18        |
| GK14-45            | 2260-2280                               | 0,61                 | 0,17                                 | 1,33                                 | 1,59                                              | 438                      | 0,11 | 0,84                           | 218                               | 261                                            | 3,37        |
| GK14-46            | 2280-2300                               | 0,53                 | 0,10                                 | 0,70                                 | 2,19                                              | 439                      | 0,12 | 0,32                           | 132                               | 413                                            | 1,79        |
| GK14-47            | 2300-2320                               | 0,05                 | 0,01                                 | 0,05                                 | 0,16                                              | 438                      | 0,15 | 0,31                           | 100                               | 320                                            | 0,88        |
| GK14-48            | 2320-2340                               | 0,76                 | 0,16                                 | 1,92                                 | 0,65                                              | 442                      | 0,08 | 2,95                           | 253                               | 86                                             | 5,68        |

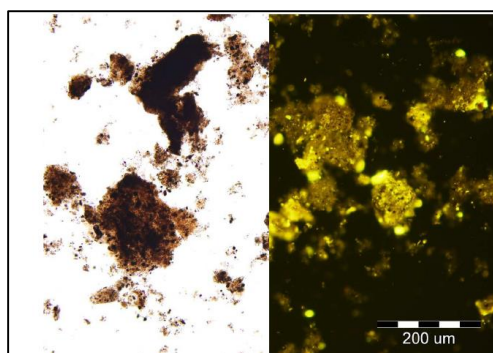
Maksimalna temperatura pirolize od u prosjeku 434°C, te produkcijski indeks od 0,03 ukazuju da je organska tvar u dijagenezi (**tablica 5.3.**). Katagenetski stupanj je dostignut na cca. 2200 m. Sadržaj topljive organske tvari u uzorcima krhotina iz isplake u odnosu na ugljik iz organskih spojeva je općenito skroman (uglavnom ne prelazi 10%) što je pokazatelj kako termičke nezrelosti i/ili loše kvalitete kerogena tako i odsustva značajnije količine migriranih ugljikovodika. Iznimka je uzorak s dubine 2200-2220 m koji zbog vrlo dobre količine i kvalitete

organske tvari, i najvjerojatnije početka generiranja, sadrži povećanu količinu bitumena (tablica 5.4., Španić i Troškot-Čorbić, 2014) .

**Tablica 5.4.** Sadržaj ekstrabilne organski tvari u uzorcima bušotine B-13 (Španić i Troškot-Čorbić, 2014)

| Lab. oznaka uzorka | Interval/ dubina (m) | C <sub>org</sub> (%) (Leco) | Ekstrakt (ppm) | EOM/ (C <sub>org</sub> *100) |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|
| GK14-14            | 1840-1860            | 0,79                        | 261            | 3,29                         |
| GK14-18            | 1920-1940            | 0,80                        | 369            | 4,59                         |
| GK14-23            | 2020-2040            | 0,86                        | 471            | 5,48                         |
| GK14-64            | 2124-2133 II/0.50    | 1,26                        | 903            | 7,17                         |
| GK14-66            | 2124-2133 IV/0.70    | 2,11                        | 1765           | 8,36                         |
| GK14-70            | 2124-2133 VIII/0.55  | 2,03                        | 1889           | 9,31                         |
| GK14-39            | 2140-2160            | 1,30                        | 641            | 4,93                         |
| GK14-42            | 2200-2220            | 2,21                        | 3685           | 16,67                        |
| GK14-48            | 2320-2340            | 0,78                        | 620            | 7,96                         |
| GK14-75            | 2354-2363 III/0.50   | 0,25                        | 216            | 8,78                         |
| GK14-77            | 2354-2363 V/0.40     | 0,63                        | 291            | 4,65                         |
| GK14-81            | 2354-2363 IX/0.40    | 0,54                        | 340            | 6,31                         |
| GK14-53            | 2440-2460            | 0,93                        | 640            | 6,90                         |
| GK14-56            | 2500-2520            | 2,15                        | 934            | 4,34                         |

Mikroskopskom ispitivanju podvrgnuto je pet uzoraka kerogena iz intervala 1800-2260 m. U uzorcima prevladava amorfnu organsku tvar pretežno algi-bakterijskog podrijetla, uz prisutnost kako akvatičnih tako i terestričnih liptinita (alginita odnosno sporinita). Na terestrični utjecaj pokazuje i prisutnost niskoreflektirajućeg macerala huminitno-vitrinitne grupe desmokolinita. Kako mjerenje vitrinitne refleksije nije bilo moguće provesti, termička zrelost je procijenjena bojom organske tvari u prolaznom svjetlu; prema njoj, kerogen se nalazi u kasnoj diagenezi ili prijelazu diageneza-katageneza (slika 5.12.; Španić i Troškot-Čorbić, 2014).



**Slika 5.12.** Izolirana organska tvar, liptodetrinit u amorfnu organskoj tvari, lijevo prolazno svjetlo, desno plavo fluorescentno svjetlo, B-13 interval 2200-2220 m (Španić i Troškot-Čorbić, 2014)

## **Bušotina B-14**

Prema izvješću bušotine iz 1972. godine sarmat nije utvrđen. U jezgri -6 (2728,4-2730,3 m) nisu nađeni fosili. Litološki je opisan tvrdi, kompaktni lapor unutar kojeg su vidljivi listićavi biljni ostaci (izvješće bušotine, 1972). Prema Pavelić i Vranjković (2008) unutar jezgrovanog intervala lapora (2728,4- 2730,3 m) utvrđena je starost baden-donji sarmat na temelju nanoplanktona (NN5-NN6). Također je utvrđen kerogen tip II i TOC 2,33 % (Pavelić i Vranjković, 2008). Jezgra-6 je geokemijski analizirana (2730,4 m: baden – donji sarmat) (Pavelić i Vranjković, 2008). Uzorak sivosmeđeg kalcitnog lapora je bogat organskom tvari (2,33 % Corg). Vrijednost genetskog potencijala je 10,97 mg HC/g stijene. Dobra generirajuća sposobnost potvrđena je i pirolizom ekstrahiranog uzorka ( $S_2 = 8,51$  mg HC/g stijene). Stijena je dobrih matičnih obilježja. Dobar ugljikovodični potencijali posljedica je povoljnog tipa organskog facijesa tj, kerogena tipa II ( $HI=473$  mg HC/g Corg) koji je dostigao početni katagenetski stupanj termičke pretvorbe. Stijena sadrži amorfnu organsku tvar i vodikom bogate liptinitne macerale (10 %) uz tragove vitrinita i inertinita. Organska tvar je alno-bakterijskog podrijetla, TAI i mjerenja vitrinitne refleksije (0,64 % Ro) određuju katagenetski stupanj termičke pretvorbe. Sadržaj sumpora je također velik i iznosi 12,87 %. Vrijednost izotopnih odnosa u kerogenu iznosi  $-23,19$  ‰  $\delta^{13}C$  što potvrđuje alno podrijetlo i anoksične uvjete tijekom taloženja izvorne organske tvari. Sadržaj topive organske tvari u uzorku je velik i iznosi 5772 ppm. Matična stijena sadrži organsku tvar alnog podrijetla (kerogen tip II) i granično zreli stupanj termičke pretvorbe. Dominacija fitana nad pristanom potvrđuje anoksične uvjete tijekom taloženja organske tvari. Vrijednost izotopnih odnosa u bitumenu ( $-24,75$  ‰  $\delta^{13}C$ ) je korelatna s onom dobivenom u kerogenu.

## **5.3. ODABRANE ISTRAŽIVAČKE BUŠOTINE U KOJIMA PALEONTOLOŠKI NIJE DOKAZAN ILI PRETPOSTAVLJEN SARMAT**

U ovom potpoglavlju razmatrane su duboke istraživačke bušotine s najvećim nabušenim debljinama formacije Prečec u kojima prema mikrofosilnom sadržaju nije prepoznat sarmat. Bušotine su smještene u najdubljim dijelovima Savske depresije ili su u blizini površinskih smjestašta na kojima je dokazan sarmat. Posebno su razmatrane biostratigrafske interpretacije u intervalu ispod Ek-markera Rs7. Pokušalo je utvrditi na kojoj dubini se javlja fosilna zajednica provodna isključivo za baden i da li je gornji dio badena pretpostavljen na temelju fosila šireg stratigrafskog raspona pojavljivanja.

### **Bušotina B-15**

Bušenje je obustavljeno u naslagama formacije Prečec na dubini od 4712 m. Mikropaleontološkim analizama sarmatske naslage nisu utvrđene te je u intervalu od 2900 do 3200 metara određen gornji baden, a od 3200 do 3900 m donji do srednji baden. Odredbe su napravljene na temelju jezgovanog materijala i krhotina iz isplake. Unutar intervala gornjeg badena izvađene su dvije jezgre. Jezgra 6 (2983-2985 m) izgrađena je od sivog, tvrdog lapora s proslojcima svijetlog, sitnozrnog, čvrsto vezanog pješčenjaka. Od fosila nađene su neodredive juvenilne forme foraminifera. Jezgra 7 (2147-2149 m) litološki je izgrađena od tamnosivog tvrdog siltnog lapora i svijetlosivog, sitnozrnog do srednjezrnog čvrsto vezanog pješčenjaka koji je petrografskom odredbom određen kao biokalkarenit. Za mikropaleontološke analize korišteni su prijašnji izbrusci i podatci iz izvješća (Premec Fuček et al., 2016). Gornji baden određen je nalazom *Globigerinoides* sp., *Globigerina bulloides*, *Globigerina* sp., *Spiroplectammina* sp.

### **Bušotina B-16**

Bušotina je dosegla dubinu od 4116 metara, probušivši 1647 metara formacije Prečec. Zbog loše očuvanost mikrofosila (rekristalizacija, piritizacija, otapanje i deformacije kućica) u intervalu od 2469 do 3450 m, nije bila moguća detaljnija podjela te je za cijeli interval pretpostavljena badenska starost (Premec Fuček et al., 2016). Prema fosilnoj zajednici na dubini od 2845 m uočena je dubljovodna zajednica, dok je od 2469 do 2845 zajednica plićeg morskog okoliša. U intervalu su određeni *Cibicides lobatulus* Walker & Jacob, *Bolivina* sp., *Bulimina* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Amphistegina* sp., *Elphidium* sp., koralinaceje, briozoi, koralji, *Lithothamnion* sp., *Lithophyllum* sp (Premec Fuček et al., 2016). U jezgri 4 (2657-2663 m) dobiven je litotamnijski vapnenac, petrografskom odredbom određen biokalkrudit, dok je iz jezgre 5 (2822-2823,5 m) dobiven siltni fosiliferni lapor s par proslojaka kalkarenitskog pješčenjaka.

### **Bušotina B-17**

Bušotina je izbušena do dubine od 4100 m završivši u naslagama formacije Prečec. Za biostratigrafsku interpretaciju korišten je interni dokument (Premec Fuček et al., 2016). Bušotina je odabrana zbog detaljnije podjele badena koja na bušotini B-16 nije bila moguća zbog očuvanosti fosilne zajednice. Od 2570 m do 3137 m određen je baden na osnovu vrsta i



rodova *Cibicides lobatulus* Walker & Jacob, *Bolivina* sp., *Bulimina* sp., *Uvigerina* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Amphistegina* sp., *Heterolepa* sp., *Elphidium* sp., *Orbulina suturalis* Brönnimann, *O. universa*, *Globigerinoides quadrilobatus*, *Globigerionoides trilobus* Reuss, *G. bulloides* Blow. Srednji baden počinje na dubini od 3137 pojavom badenske vrste *Praeorbulina glomerata* Blow. Iz intervala određenog gornjeg badena izvađene su dvije jezgre. U jezgri 5 (2773-2775,45) opisan je siltni lapor, konglomeratični pješčenjak i kalcitom bogati lapori, a u jezgri 6 (2954-2958,4) kalcitom bogati lapor i sivosmeđi biokalkarenit. Unutar intervala gornjeg badena prema fosilnoj zajednici, odnosno većoj zastupljenosti planktonskih foraminifera na 2950 m opisan je dublji okoliš s većim utjecajem otvorenog mora (Premec Fuček et al., 2016).

### **Bušotina B-18**

Bušotina B-18 izbušena je do dubine od 3720 m završivši u podlozi „tercijara“. Na temelju mikropaleontoloških obilježja fosilne zajednice interval od 2178 do 2555 m je određen kao baden, dubljevodnog okoliša. U materijalu iz isplake i jezgrama određene su *Orbulina suturalis* Brönnimann, *Praeorbulina sicana*, *P. glomerata*, *Globigerina concinna*, *G. trilobus*, *G. diplostoma*, *G. tarchanensis*, *Heterolepa dutemplei*, *Sphaeroidina bulloides*, *Textularia* sp. i krhotine koralinaceja (Premec Fuček et al., 2016). Prvo pojavljivanje vrste *Praeorbulina glomerata* je iz materijala iz isplake na dubini 2320 m. U plićim intervalima javljaju se *O. suturalis*, *Globorotalia* sp, *Globigerinoides* sp. U jezgri 1 (2499-2501 m) opisan je sitno do srednje zrnati, srednje vezani vapnenački pješčenjak, biokalkarenit. Jezgra 2 (2507-2510 m) je litološki heterogena, izgrađena od sitno do srednje zrnatog, srednje vezanog vapnenačkog pješčenjaka, biokalkarenita, pjeskovitog lapora i konglomeratičnog pješčenjaka (Premec Fuček et al., 2016).

### **Bušotina B-19**

Bušotina je izbušena do dubine od 2819 metara završivši u siltnim laporima formacije Prečec. U intervalu od 2212 do 2320 m određen je gornji baden, a od fosila nalazi se *Orbulina universa*, *Globigerina bulloides*, *G. praebulloides*, *G. concinna*, *Elphidium crispum*, *Cibicidoides* sp., *Gyroidina* sp. i ostrakodi, a okoliš šelf s utjecajem otvorenog mora. Donji do srednji baden je u intervalu od 2320-2520 m (Premec Fuček et al., 2016).

## Bušotina B-20

Bušotina je dosegla dubinu od 5003 metra unutar naslaga formacije Prečec. Od uzoraka su bili dostupni samo tanki izbrusci jezgrovanih intervala. Baden je utvrđen u intervalu od 3432 do 4230 metra (Premec Fuček et al., 2016). Gornji baden određen je u intervalu od 3432 do 3820 metra. U jezgri 5 (3450-3451 m) nađene su rijetke i sitne bentičke foraminifere, među kojima i *Nonion* sp. te je kao okoliš određen marinski šelf. Litološki je opisan tamnosivi tvrdi vapneno pjeskoviti lapor. Jezgra 6 (3518-3520 m) sadrži rodove *Elphidium* sp., *Cibicides* sp., *Ammonia* sp., *Heterolepa* sp. i vrstu *Globigerina bulloides* (Premec Fuček et al., 2016). Litološki je dobiven tamnosivi tvrdi siltni mjestimično klacitom bogati lapor s tankim proslojcima srednjezrnatog dobro vezanog pješčenjaka. U jezgri 7 (3678-3680) opisan je litotamnijski i laporoviti vapnenac, a određeni su *Globigerina connicina*, *G. bulloides*, *Orbulina suturalis*, *O. universa*, *Elphidium* sp., *Bulimina* sp., *Bolivina* sp., *Amphistegina* te koralinaceje i briozoi. Starost naslaga iz jezgre 8 (3831-3833 m) je određena kao srednji baden i tu je prepoznatljiva vrsta *Praeorbulina glomerosa* (Premec Fuček et al., 2016).

## Bušotina B-21

Konačna dubina bušotine je 4505 m. Amfibolite temeljnog gorja nabušila je na 4365. Unutar jezgara 4 i 5 (2811-2814 m) opisan je silit i utvrđena je dubljevodna badenska mikrofosilna zajednica. Određeni su *Orbulina suturalis*, *Praeorbulina sicana*, *P. glomerosa*, *Globigerina concinna*, *G. bulloides*, *G. diplostoma*, *G. praebulloides*, *Globigerinoides quadrilobatus*, *G. trilobus*, *Globigerinella obesa*, *Globorotalia mayeri*, *Heterolepa dutemplei*, *M. soldani*, *Lithothamnion* sp., *Amphistegina* sp (Premec Fuček et al., 2016). U bušotini fosilnim nalazom nisu dokazane sarmatske naslaga.

## Bušotina B-22

Bušenje je obustavljeno na dubini od 2951 metara u škriljancima podloge neogena, koji su nabušeni na 2796 metara. U jezgri 3 (1762,8-1769,3 m) litološki su opisani tamnosivi srednje tvrdi lapor, lapor i pješčenjak. Unutar kalcitom bogatog lapora su uočeni rijetki presjeci sitnih rotaloidnih formi i bentičkih foraminifera *Elphidium crispum* i *Cibicides lobatulus* te je pretpostavljena sarmatska starost (izvješće bušotine 1975). Pretpostavljeni interval je nabušen do 1825 metara dubine. U jezgri 4 (1825-1831 m) litološki su opisani sitnozrnati pješčenjak, sivi čvrsti kalcitom bogati lapori laminirani sivi lapor. U prvom metru jezgre određena je loše sačuvana mikrofauna: *Asterigerina planorbis* d'Orbigny, *Bolivina* sp., *Elphidium fichtellianum* d'Orbigny, *E. crispum*, *Cibicides* cf. *badensis* d'Orbigny, *C. lobatulus*, *C. cf. ungerianus*,

*Heterolepa* sp., bodlje ježinaca i kamene jezgre ostrakoda, te je pretpostavljena starost gornjeg badena ili sarmata. U ostalim metrima jezgre određeni su *Elphidium crispum*, *Elphidium* sp., *Cibicides* sp., *Textularia* sp., *Heterolepa* sp., *Globigerina* sp., *Cibicides lobatulus*, *Amphistegina* cf. *lessonii* d'Orbigny, *Ammonia beccarii*, *G. trilobus*, *Quinqueloculina* sp. fragmenti koralinacea, briozoa, školjkaša i bodlje ježinaca. Pretpostavljena je morska sedimentacija badena (izvješće bušotine, 1975). Prema mikropaleontološkoj analizi (Premec Fuček et al., 2016) interval gornjeg badena je određen do 1860 metara dubine na osnovi koralinaceja, briozoa, *miliolidae*, *Cibicides lobatulus*, *Bolivina* sp., *Bulimina* sp., *Uvigerina* sp., *Anomalinoides* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Amphistegina* sp., *Heterolepa* sp., *Orbulina universa*, *O. suturalis*, *Globigerina trilobus*, *G. bulloides*. *Globigerinoides quadrilobatus*, Donji do srednji baden od 1860 do 2520 prigrébenski: koralinaceje, briozoi, ježinci, *C. lobatulus*, *Bolivina* sp., *Bulimina* sp., *Uvigerina* sp., *Anomalinoides* sp., *Amphistegina* sp., *Heterolepa* sp. i morski dubljvodni: *Globovalia mayeri*, *Praeorbulina transitoria*, *P. glomerata*, *Orbulina suturalis*, *Globigerinoides quadrilobatus*, *Globigerina connexa*, *G. trilobus*, *G. diplostoma*, *G. praebulloides*, *Globigerina tarchanensi*.

## **Bušotina B-23**

Bušotina je dosegla dubinu od 2608 metara nabušivši stijene temeljnog gorja na dubini od 2480 metara. Prema mikropaleontološkim analizama (Premec Fuček et al., 2016) gornji baden je određen do dubine od 1500 metara, a u intervalu su nađeni rodovi *Ammonia* sp., *Globigerinoides* sp., *Globigerina* sp., *Cibicides* sp., miliolide i *Lithothamnion* sp. Donji do srednji baden je u intervalu od 1500 do 1715 metara. Jezgra-4 (1371-1374 m) litološki predstavlja sivi i sivosmeđi tvrdi siltni, mjestimično pjeskoviti lapor. Unutar lapora nalaze se vrlo tanki proslojci svjetlosivog dobro vezanog kvarcnog pješčenjaka i sivobijelog kalcitom bogatog lapora. Jezgra je unutar intervala koji je prema završnom izvještaju bušotine određen kao baden, sarmat se ne spominje. Od fosila su određeni *Ostracoda* sp. i *Bolivina* sp. i neodredivi organski ostaci (izvješće bušotine, 1990). U izvještaju iz 2010. godine jezgra je određena kao tanko laminirani mudstone s mikritom. Mudston se sastoji od gline, kvarca, feldspata, sericita, kalcita, dolomita i mjestimično pirita. Organska tvar je dobro zastupljena u maceratu stijene. Najveći dio plalinofacijesa je amorfna tvar, a mali dio predstavlja liptinitna komponenta organske tvari sastavljena od nekoliko loše sačuvanih i biodegradiranih zrna polena, ostataka algi i dinocisti. Sedimentacija se vjerojatno odvijala u nešto dubljem morskom

okolišu (planktonske foraminifere i rijetki lignohuminski klasti) moguće tijekom badena (Sokolović et al., 2009).

### **Bušotina B-24**

Istraživačka bušotina na termalnu vodu dosegla je dubinu od 1311,4 metra. Karbonatne naslage podloge nabušene su na dubini od 1012 metra. Jezgra-1 (516,7-524 m) je određena kao siltni fosiliferni kalcitni lapor i finoizrnat pješčenjak. U jezgri se izmjenjuju tanke lamine smeđesivog lapora, malo tamnijeg jače glinovitog lapora i par proslojaka finozrnatog pješčenjaka. U kriptokristalastoj osnovi lapora vide se brojni kalcitizirani i piritizirani mikrofosili, kvarc dimenzije grubog silta kao siltna primjesa, te pirit. Mikroskopskim izbruscima zahvaćen je kontakt jako pjeskovitog lapora i finozrnatog pješčenjaka. Glinovito karbonatna osnova lapora sadrži kvarc, malo feldspata, tinjaca i fragmente čerta dimenzija sitnog pijeska, te mikrofosile. Detritus pješčenjaka je finoizrnat pa je teško odrediti tip pješčenjaka (izvješće bušotine, 1987). Jezgra 2 (791- 797,5 m) je određena kao pjeskoviti fosiliferni kalcitni lapor. U gustoj glinovito-karbonatnoj osnovi lapora vide se brojne kalcitizirane i piritizirane kućice fosila, kvarc, tinjci dimenzija sitnog pijeska koji čine pjeskovitu primjesu. Prisutni su pirit i hematit (izvješće bušotine, 1987). Paleontoloških odredaba nema.

### **Bušotina B-25**

Pojedini stratigrafski članovi određeni su prema dobivenim jezgrama i elektrokarotažnom dijagramu. Prema navedenom sarmatske naslage nalaze se na dubini od 765 do 795 m. Litološki su opisani tvrdi kalcitom bogati lapori i pjeskoviti lapori, s školjkašima roda *Cardium* sp. i brojnim biljnim ostacima (izvješće bušotine, 1952).

### **Bušotina B-26**

Pretpostavljena dubina sarmatskih naslaga je od 1298 do 1315 m dubine. Naslage nisu utvrđene jezgrovanjem, nego su izdvojene na temelju elektrokarotažnih dijagrama i korelacije sa okolnim bušotinama. Prema probama iz isplake vidljivo je da su izgrađene od kalcitom bogatih lapora bez pješčanih proslojaka (izvješće bušotine, 1953).

### Bušotina B-27

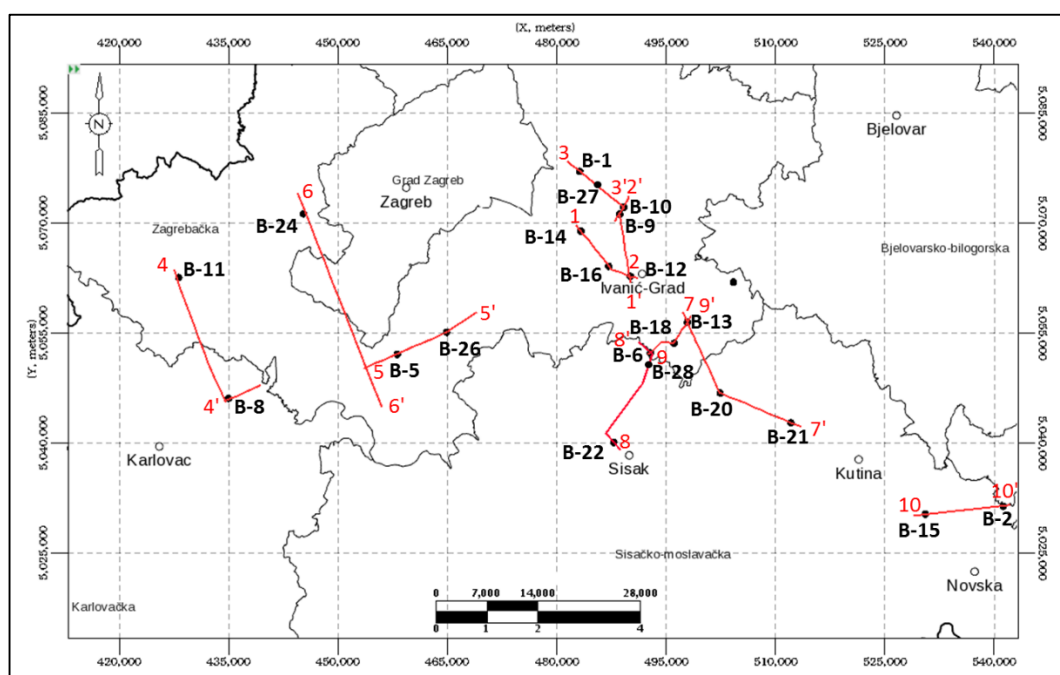
Bušotina je dosegla dubinu od 2277 metara unutar naslaga formacije Prečec. U jezgri 10 (2173-2176 m) određena je *Anomalina* sp., krhotine neodredivih foraminifera, spikule spužvi te djelići litotamnija te je pretpostavljen plitki morski okoliš taloženja. Prema obližnjim bušotinama polja Lupoglav pretpostavljeno je da su sarmatske naslage probušene, iako nisu dokazane za sarmat tipičnom faunom (izvješće bušotine, 1971).

### Bušotina B-28

Istraživačka bušotina B-28 izbušena je do 2844 m dubine m završivši u podlozi tercijara. U jezgri 2 (2194,7-2197,7 m) dobiven je biokalkarenit koji sadrži karbonatni detritus, fragmente rekristaliziranih fosilnih organizama. Od ostalih sastojaka nalazi se kvarc, izmjenjeni feldspati, ulomci kvarcita, kvarcnog pješčenjaka i pelita, a vezivo je srednjezrnati kvarc. Pretpostavljena je badenska starost (izvješće bušotine, 1978).

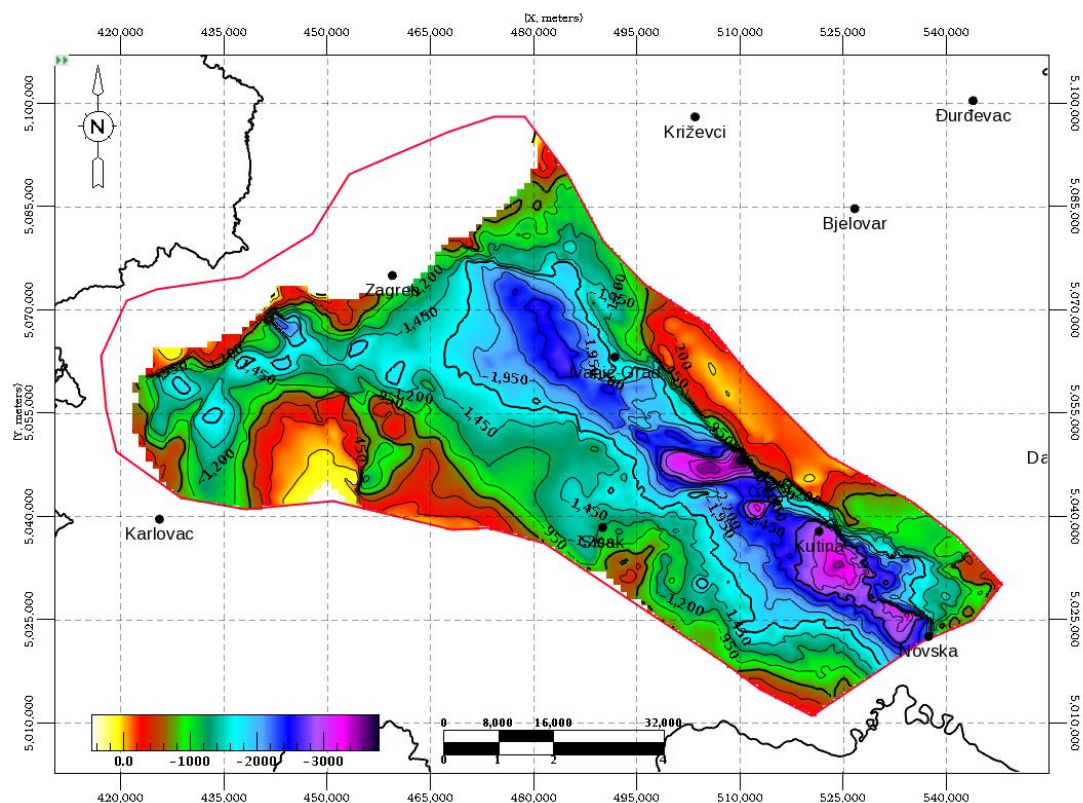
## 5.4. SEIZMIČKI PODATCI I KARTE KORIŠTENI ZA INTERPRETACIJU

U svrhu interpretacije rasprostriranja sarmatskih naslaga u zapadnom dijelu Savske depresije pregledani su brojni seizmički profili te su odabrani oni koji prolaze ili se nalaze u blizini bušotina u kojima je dokazan ili pretpostavljen sarmat (**slika 5.13.**).



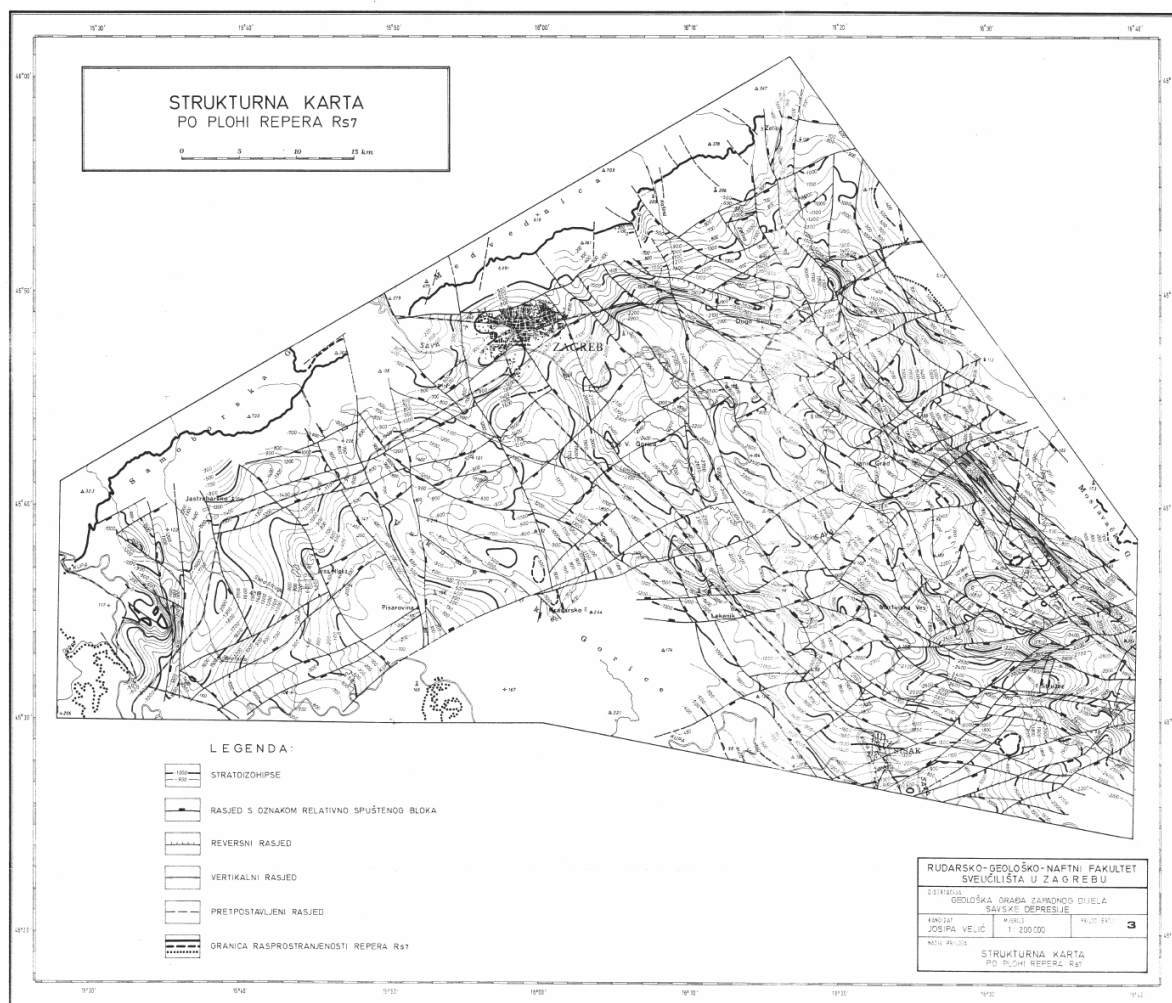
**Slika 5.13.** Položajna karta odabranih 2D seizmičkih profila

Nadalje, u radu je korištena i strukturna karta po plohi EK markera Rs7 koju je interpolirao Damir Takač (**slika 5.14.**).



**Slika 5.14.** Strukturna karta po plohi EK markeru Rs7 (prema Takaču, neobjavljeno)

Za usporedbu je korištena i strukturna karta po plohi Ek-markera Rs7 koju je prvi put izradila Velić (1980) u svojoj disertaciji (**slika 5.15.**).



**Slika 5.15.** Strukturna karta po plohi EK markera Rs7 (Velić, 1980)

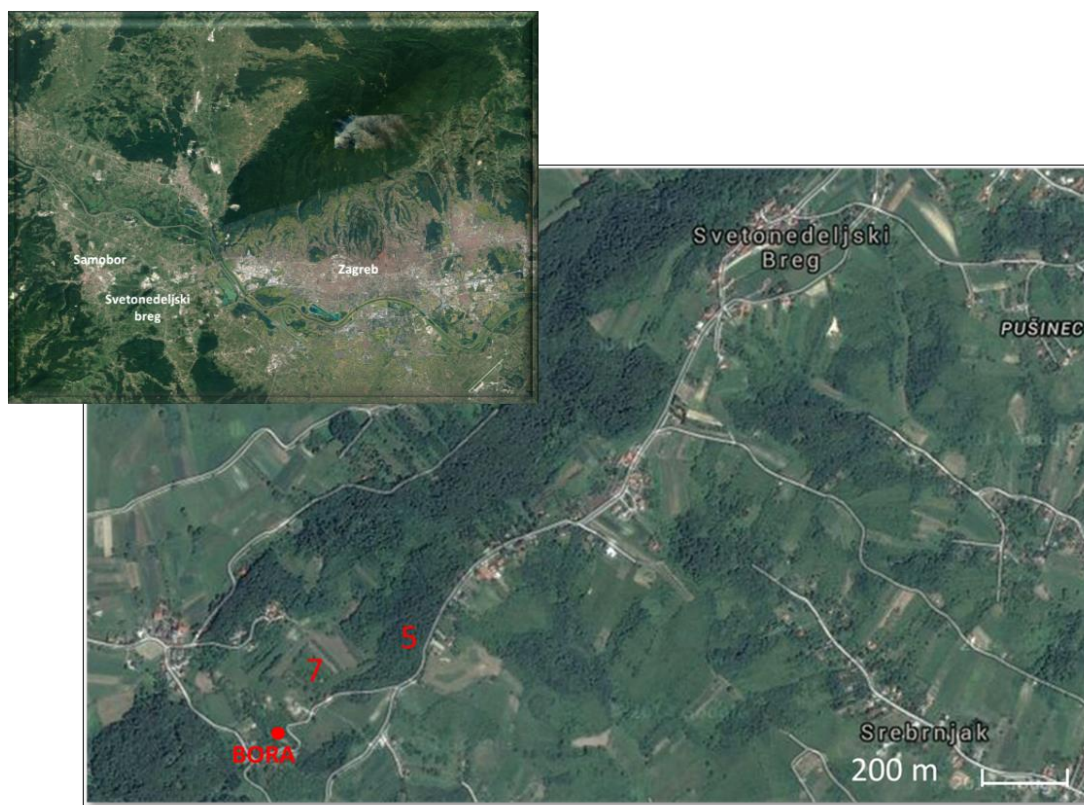


## 6. PRIKUPLJENI MATERIJAL I ANALITIČKE METODE

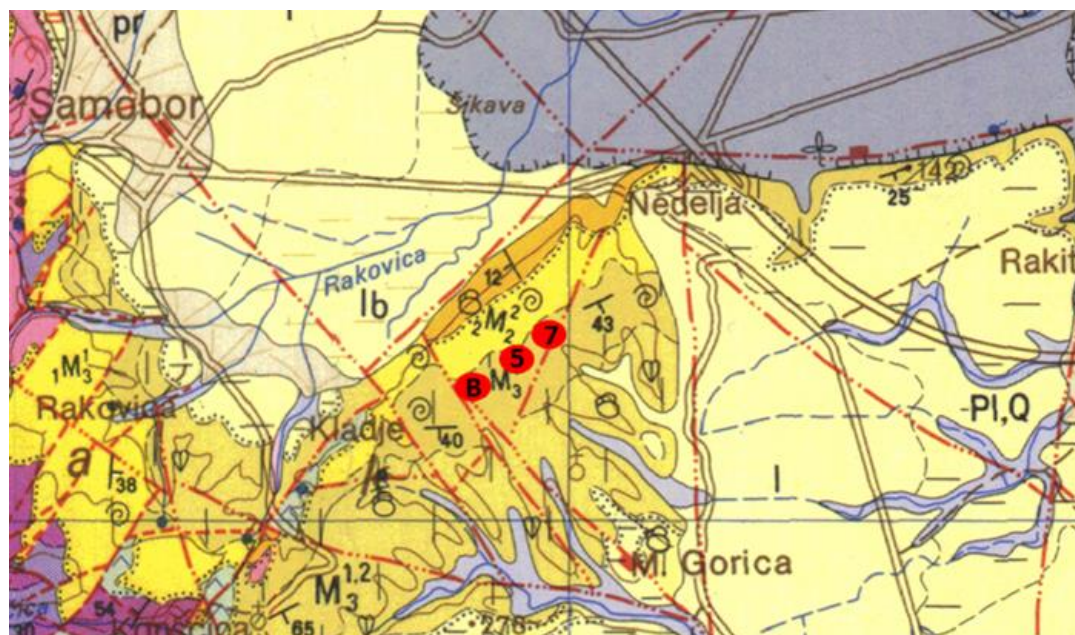
Za izradu doktorske disertacije istraživana je srednjomiocenska (sarmatska) fosilna fauna prikupljena tijekom vlastitih terenskih istraživanja na izdancima. S obzirom na pokrivenost dosadašnjih istraživanja površinskih smjesta pozornost je bila usmjerena na područje Svetonedeljskog brega gdje su sarmatske taložine manje istraživane u odnosu na sarmatske naslagama obronka Medvednice. Položaj istraženih smjesta određen je na osnovi objavljenih i neobjavljenih radova i geološke karte (**Šikić et al. 1979**). Dosadašnja istraživanja površinskih izdanaka na istraživanom području opisana su u poglavlju 5.

### 6.1. TERENSKI RAD I NAČIN UZORKOVANJA

U sklopu terenskog rada napravljeno je detaljno istraživanje površinskih izdanaka lokaliteta Svetonedeljskog brega na mjestima na kojima se nalaze pretpostavljene ili dokazane naslage srednjomiocenske, odnosno sarmatske starosti (**slike 6.1., 6.2.**). Svetonedeljski breg nalazi se jugozapadno od Medvednice u bližoj okolini grada Sveta Nedelja. Da bi se došlo do povoljnih stupova na terenu je sakupljeno više uzoraka i napravljen je veći broj probnih analiza. Uzorci koji nisu bili sterilni i kod kojih je primijećen raznolik mikrofosilni sadržaj odabrani su za detaljne analize (**slika 6.1., slika 6.2.**). Izdanak Bora mikropaleontološki je analiziran kod Vlaisaljević (2017) te su odabrana dva uzorka sarmatske starosti za daljnje palinološke, sedimentološke i naftnogeološke analize. Mikropaleontološke analize uzoraka izdanaka 7 analizirane su u sklopu diplomskog rada (Pekćec, 2019), a u ovom radu su izrađene palinološke, sedimentološke i naftnogeološke analize.



**Slika 6.1.** Položajna karta izdanaka lokaliteta Sveta Nedelja (Google maps, 1.4. 2018.)



**Slika 6.2.** Položajna karta izdanaka smjesta Sveta Nedelja na geološkoj karti (isječak OGK list Zagreb prema Šikić K. et al., 1978)

### 6.1.1. JEZGRE USKLADIŠTENE U MRAMOR BRDU

Terenski rad uključio je i odlazak u skladište jezgara Mramor brdo (**slika 6.3.**) u svrhu pregleda, opisa i prikupljanja uzoraka jezgara bušotina koje su vjerojatno ili sigurno zahvatile sarmatske naslage u odabranom prostoru.



***Slika 6.3.** Skladište jezgara Mramor brdo*

Prvo su izdvojene bušotine koje su nabušile ili probušile formaciju Prečec, tj. lapore srednjomiocenske starosti. U tu svrhu pregledano je preko 150 istraživačkih bušotina. Od pregledanih jezgri, 140 bušotina je jezgrovano u naslagama Prečec formacije. Budući da se u zoni EK markera Rs7 nalazi krovina sarmata prvo su odabrane bušotine koje su jezgrovanjem zahvatile naslage oko toga markera. Većina bušotina načinjena je pedesetih i šezdesetih godina prošlog stoljeća, a u navedenom je intervalu, nažalost, zabilježen relativno mali broj dostupnih jezgara (45 jezgara u intervalu oko EK markera Rs7) i paleontoloških analiza, stoga su pregledani i dostupni uzorci materijala iz isplake iz dvije bušotine. Opisi sakupljenih materijala i postojećih analiza dani su u potpoglavlju 5.2. Ukupno je analizirano 28 bušotina, a iz jezgrovanog materijala 11 bušotina izrađeni su petrografski izbrusci opisani u potpoglavlju 7.2.

## 6.2. LABORATORIJSKE ANALIZE PRIKUPLJENIH UZORAKA

U potpoglavlju opisane su laboratorijske analize provedene na prikupljenim uzorcima.

### 6.2.1. Mikropaleontološke analize

Uzorci (5A, 5B i 5C) sakupljeni na lokalitetu Sveta Nedelja obrađeni su metodom muljenja (mokrog prosijavanja). Od svakog uzorka obrađeno je po 400 grama materijala. Usitnjeni

materijal se namakao u vodi u kojoj je dodano malo vodikovog peroksida (30 %). Nakon toga sediment se ispiru vodom preko sita određenih dimenzija (1,0; 0,25; 0,2; 0,125; 0,063 mm). Sadržaj sa sita je pregledan u mikroskopu Zeiss Stemi SV8 te je izdvojen je mikrofosilni sadržaj u Frankove ćelije i taksonomski su određene vrste. Pri određivanju mikrofosila korištena je stručna literatura: **Papp i Schmid (1985)**; **Cicha et al. (1998)** te znanstveni radovi: **Branzila (2004)**; **Fordinal et al., (2005)**; **Ćorić et al. (2009)**; **Toth, (2008)**; **Toth i Gorog, (2008)**; **Toth et al., (2009)**; **Toth et al., (2010)**; **Jasionowski, (2012)**; **Gebhardt et al., (2009)**; **Filipescu et al., (2010)**; **Filipescu et al., (2014)**. Ekološki zahtjevi preuzeti su iz **Murray (1991, 2006)**. Fauna je analizirana u svrhu rekonstrukcije paleoekoliša, odredbe starosti i određivanje fosilnih zajednica i okoliša.

### 6.2.2. Analize nanoplanktona

Iz uzoraka (5A, 5B i 5C) kojih koji su obrađeni metodom muljenja uzet je materijal za analizu nanoplanktona. Uzorke je pripremio stručni suradnik Šimun Aščić, prof. geologije i geografije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Za determinaciju, odnosno određivanje vrste nanofosila, korišteni su **Perch-Nielsen (1985)**, **Bown (1998)**, **Bartol (2009)**, **Young et al. (2014)**, a nanozone su određene prema **Martini (1971)**. Odvojeni materijal je centrifugiran te je preostali talog pomoću kapaljke prenesen na predmetno stakalce i zatim zagrijavan kako bi isparila sva tekućina. Mikroskopiranje je obavljeno pomoću svjetlosnog mikroskopa „Zetopan Reichert“, na povećanjima 1250x i 1600x. Fotografije su snimljene pomoću fotoaparata Canon EOS 400D.

### 6.2.3. Palinološke analize

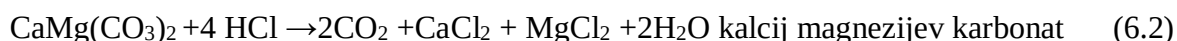
Za palinološku analizu je odabrano osam površinskih uzoraka stijena označenih Sveta Nedelja 5A, 5B, 5C, 7A, 7B, 7C, BORA 4 i BORA 7. Palinološke analize provedene su u laboratoriju Sektora istraživanja i razvoja portfelja u INA d.d. (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić).

Svi uzorci su obrađeni na uobičajen i najčešće korišten način palinološke maceracije i pripreve palinoloških izbrusaka. Uzorci stijena su najprije oprani u 7 %-tnoj klorovodičnoj kiselini („solna kiselina” – HCl), a zatim ostavljeni da se osuše. Nakon sušenja su samljeveni u laboratorijskoj drobilici na dimenziju gornje granične veličine krhotina od 1 cm. Od tako

pripremljenih uzoraka odvagano je po 100 g stijene za maceraciju koja u stvari podrazumijeva otapanje karbonata, otapanje silikata i izdvajanje organskog ostatka. U svrhu otapanja karbonata uzorak stijene je tretiran s 200 do 250 ml 18 %-tne klorovodične kiseline (HCl). Zatim je slijedilo otapanje silikata pri čemu je uzorak stijene, u kojem više nema karbonatne komponente, tretiran 40 %-tnom fluorovodičnom kiselinom (HF). Nakon toga je započeo postupak izdvajanja organskog ostatka. Ostatak dobiven kemijskim otapanjem uzorka stijene dalje je obrađen teškom tekućinom (2,1 kg/l). Teška tekućina je otopina cinkovog klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ) u 15 %-tnoj klorovodičnoj kiselini (HCl), a dobivena je zagrijavanjem tih dvaju kemijskih spojeva uz stalno miješanje na elektromagnetskoj miješalici. Težina 100 ml teške tekućine mora iznositi 0,21 kg. Svrha obrade teškom tekućinom je separiranje plivajuće frakcije (organski ostatak), frakcije palinomorfi i drugih organskih čestica te taloga na dnu ( $\text{ZnCl}_2$  i zaostali minerali). Uzorak je zatim stavljen u kivete i centrifugiran u centrifugi 10 min pri brzini od 3600 okretaja u minuti, da bi se odvojili kruti dijelovi odnosno palinološko-organski macerati od zaostalih minerala. Zatim je macerat pročišćen metodom vibriranog prosijavanja na mikronskim sitima (10, 15 ili 20 mikrona). Nakon toga je macerat centrifugiran 10 min na 3600 okretaja. Iz dobivenog macerata su izrađeni palinološki izbrusci. Uobičajeno je da se od jednog macerata izrade 2 palinološka izbruska (ponekad 1 ili 3).

#### 6.1.4. Kalcimetrija i petrografske analize

Za određivanje udjela karbonatne komponente odabrano je osam površinskih uzoraka stijena označenih Sveta Nedelja 5A, 5B, 5C, 7A, 7B, 7C, BORA 4 i BORA 7. Mjerenje kalcitne i dolomitne komponente u postotnom udjelu u uzorku se određuje na uređaju Autokalcimetru ver. 2004 tvrtke Geolog (**slika 6.4.**). Mjeri se udio atoma ugljika u uzorku 1 g stijene na osnovi mjerenja volumena  $\text{CO}_2$  koji je nastao kao produkt sljedećih reakcija (**izraz 6.1., 6.2.**):



Za obje reakcije se koristi klorovodična kiselina (HCl) poznate koncentracije 18 %. Reakcije su različite brzine, za određivanje udjela kalcijevog karbonata proces traje 20 sekundi dok je za određivanje dolomita potrebno 900 sekundi. Uzorak stijene treba biti samljeven u



prah i koristi se 1 g uzorka. Kalcimetrija je provedena u laboratoriju Sektora istraživanja u INA d.d.



**Slika 6.4.** Uređaj Autokalcimetar

Bušotinski materijal iz jedanaest bušotina priređen je tehnikom izrade izbrusaka. Također su izrađeni petrografski izbrusci iz osam površinskih uzoraka stijena sa Svetonedeljskog brega (5B, 5C, 7A, 7B, 7C, BORA 4 i BORA 7). Priprema uzoraka tim metodama provedena je u Mokrom laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda pri Geološkom odsjeku PMF-a.

#### **6.1.5. Geokemijske analize**

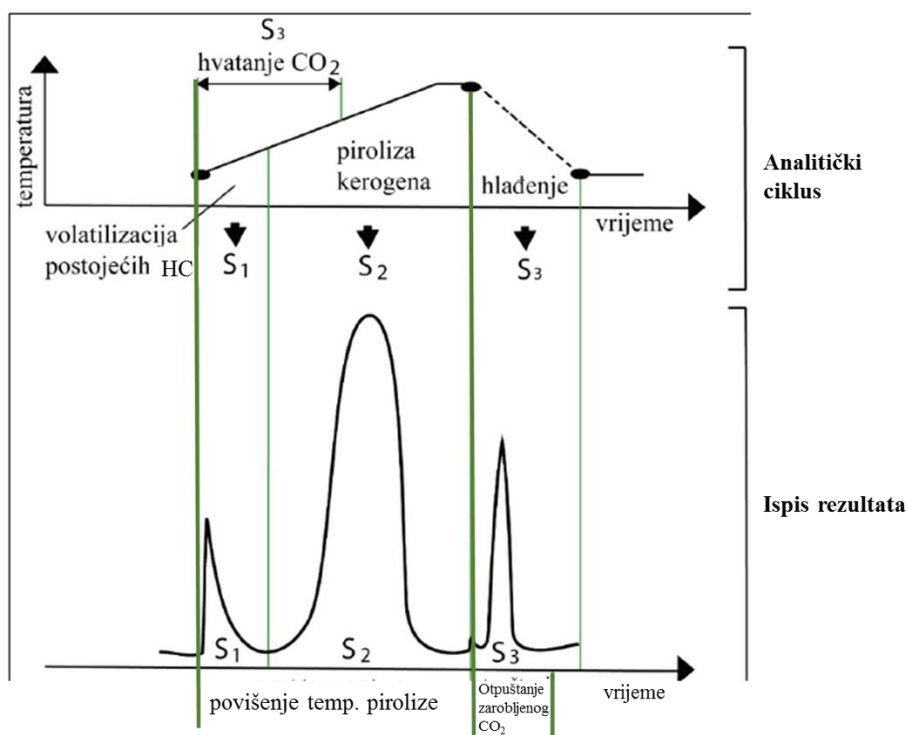
Geokemijske analize i interpretacija rezultata površinskih uzoraka stijena s područja Svete Nedelje provedeni su u laboratoriju Istraživanje stijena i fluida u INA d.d. (Troskot-Čorbić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Napravljene su sljedeće analize:

1. Određivanje ugljika iz organskih spojeva
2. Rock-Eval piroliza
3. Organskopetrografska ispitivanja izoliranog kerogena.

Geokemijskom ispitivanju podvrgnuto je osam kojih uzoraka stijena s područja Svete Nedelje. Svi uzorci podvrgnuti su analizi ugljika iz organskih spojeva i Rock-Eval pirolizi, a četiri odabrana uzorka mikroskopskoj analizi izoliranog kerogena.

Organski ugljik određen je na determinatoru ugljika LECO IR 212 i izražen kao maseni postotak. Kod određivanja organskog ugljika uzorak je prethodno tretiran 18 %-tnom vrućom klorovodičnom kiselinom u svrhu odstranjenja karbonata. Uzorci su zatim podvrgnuti Rock-Eval pirolizi na Vinci Technologies Rock-Eval 6 instrumentu prema metodi koju je opisao **Espitalie et al. (1977, 1985)**. Usitnjeni uzorak se zagrijava do 550 °C u internoj atmosferi bez

kisika. Na temperaturi od 250 ° C dolazi do otpuštanja (volatizacije) slobodnih ugljikovodika u stijeni, a njihova količina prikazuje se na dijagramu kao maksimum vrijednosti  $S_1$ . Daljnjim porastom temperature (do 300 ° C) dolazi do termičke razgradnje kerogena, odnosno krekiranja te otpuštanja ugljikovodika koji predstavljaju preostali (rezidualni) matični potencijal, a koji se registriraju kao vrijednost  $S_2$ . Količina  $\text{CO}_2$  koja nastaje otpuštanjem kisika iz kerogenske strukture registrira se kao  $S_3$  (slika 6.5.).



**Slika 6.5.** Generiranja ugljikovodika i  $\text{CO}_2$  uslijed razgradnje organske tvari Rock Eval pirolizom (modificirano prema Tissot i Welte, 1984)

Uz navedene mjerene parametre  $S_1$  (mg HC/g stijene),  $S_2$  (mg HC/g stijene),  $S_3$  (mg  $\text{CO}_2$ /g stijene), tu je još i  $T_{\text{max}}$  (° C) - maksimalna temperatura pirolize, odnosno temperatura pri kojoj se za vrijeme pirolize otpušta najviše ugljikovodika i ujedno zrelosni parametar. Vrijednost  $S_2$  kao preostali generativni potencijal stijene, prikazuje količinu ugljikovodika koju bi stijena mogla dati kad bi se nastavilo njeno zalijeganje i sazrijevanje u prirodnim uvjetima zalijeganja.

Geokemijski parametri izvedeni od parametara mjerenih Rock-Eval pirolizom su  $C_{\text{org}}$  (mas. %) - sadržaj ugljika iz organskih spojeva, HI (mg HC/g  $C_{\text{org}}$ ) - vodikov indeks ( $S_2/C_{\text{org}}$ ), OI (mg  $\text{CO}_2$ /g  $C_{\text{org}}$ ) - kisikov indeks ( $S_3/C_{\text{org}}$ ),  $S_2/S_3$  – indeks tipa ugljikovodika, tj. omjer udjela morske, algalno-bakterijske i terestričke komponente u kerogenu i PI ( $S_1/S_1+S_2$ ) – produkcijski ili transformacijski indeks, pokazuje količinu generiranih ugljikovodika. Prevelike vrijednosti



moгу ukazivati na ugljikovodike koji su došli u uzorak migracijom ili kontaminacijom kod bušenja/analize.

Vrijednost  $C_{org}$  određuje se spaljivanjem preostale organske tvari nakon pirolize na 600 °C, koja se registrira kao rezidualni organski ugljik. Ta se vrijednost pribraja vrijednosti piroliziranog organskog ugljika, izmjerenoj iz količine ugljikovodika generiranih samom pirolizom – zajedno daju vrijednost ukupnog organskog ugljika. Instrument Rock Eval 6 ima i mogućnost direktnog mjerenja ukupne količine anorganskog ugljika u stijeni ( $C_{min}$ ). Rezultati pirolitičkih ispitivanja prikazuju se s dubinom, po profilu bušotine i na karakterističnim dijagramima OI vs HI (modificirani Van Krevelenov) i Tmax vs HI.

U smislu organskopetrografskih ispitivanja provedene su mikroskopske analize organske tvari u prolaznoj, plavoj i fluorescentnoj svjetlosti, pri čemu je organska tvar pregledana i fotografirana mikroskopom Olympus BX 51. Određen je volumni odnos macerala (u postotcima), boja fluorescencije i indeks termičke promjene (engl. *Thermal Alteration Index*, TAI), kojim se određuje zrelost organske tvari na palinomorfima i amorfnoj organskoj tvari (Staplin, 1969). S obzirom da ispitivanja refleksije vitrinita (% Ro) kojom se određuje zrelost organske tvari na maceralima vitrinitne skupine, nisu bila primjenjiva zbog slabe kvalitete istih, u radu je korištena interna, empirijski dobivena skala vrijednosti TAI (INA d.d., prema Španić i Troskot-Čorbić; **tablica 6.1.**) koje su korelantanje s vrijednostima refleksije vitrinita u ispitivanom istraživačkom području. Svi značajniji detalji su fotografirani.

**Tablica 6.1.** Usporedba TAI-VR (% Ro) (interna skala INA d.d., prema Španić i Troskot-Čorbić)

| Konverzija     |           |
|----------------|-----------|
| TAI            | % Ro      |
| 1 <sup>+</sup> | <0,35     |
| 2 <sup>-</sup> | 0,35-0,45 |
| 2              | 0,45-0,55 |
| 2 <sup>+</sup> | 0,55-0,70 |
| 3 <sup>-</sup> | 0,70-0,95 |
| 3              | 0,95-1,25 |
| 3 <sup>+</sup> | 1,25-2,00 |
| 4 <sup>-</sup> | 2,00-3,00 |
| 4              | >3,00     |

### 6.3. KOMPILACIJA REZULTATA I TEORIJA PRIMJENE KAROTAŽNIH I KARTOGRAFSKIH METODA

Kabinetski rad se sastoji od objedinjavanja podataka s površinskih smjesta na kojima je utvrđen sarmat. Fosilna fauna prikupljena na Svetoj Nedelji je analizirana i determinirana. Iz postojećih izvješća bušotina i internih Ininih izvještaja prikupljeni su svi dostupni podatci o utvrđenom sarmatu uz revidiranje postojećih podataka (npr. stari nazivi fosila). Također su analizirane postojeće karotažne krivulje i revidiran i određen položaj EK-markera Rs7 u zoni utvrđenog sarmata.

#### 6.3.1 Dubinskogeloške metode

Dubinskogeloške metode mogu se podijeliti na geofizička mjerenja u bušotinama (karotažna mjerenja, karotaža), seizmička mjerenja te razne metode analize uzoraka dobivenih bušenjem (jezgre, uzorci sa sita).

Obrada opisanih dubinskogeloških podataka načinjena je u programima tvrtke Hulliburton, Landmark Openworks R2003, R5000 (StratWork, SeisWork and Decision Space) i Petrel tvrtke Schlumberger. Rezultati analize bušotinskog materijala opisani su u potpoglavlju 6.1.4.

##### 6.3.1.1. Karotažna mjerenja

Karotaža obuhvaća niz mjerenja u bušotinama kojima se utvrđuju svojstva i stanje probušenih stijena. U prvome redu, te su metode razvijene kako bi zamijenile skupo vađenje jezgre pri bušenju. Naziv karotaža potječe od francuskog izraza “carottage” što znači izvlačenje, izmamljivanje. Često se koristi i engleski izraz “logging” koji također znači izvlačenje (**Malvić i Velić, 2008**). Najvažnija geofizička mjerenja u bušotinama temelje se na mjerenjima električne otpornosti ili vodljivosti stijena, električnog potencijala, učinaka prirodne i pobuđene radioaktivnosti te brzine širenja elastičnih valova u probušenim stijenama. Rezultati mjerenja prikazuju se različitim krivuljama, a interpretacija podataka omogućuje konstrukciju profila bušotine (**Malvić i Velić, 2008**). Pomoću karotažnih krivulja mogu se napraviti korelacije, povezujući iste/slične litofacijese.

Koristile su se krivulje spontanog potencijala (SP), električne otpornosti (R) i na kojima su dostupne prirodne radioaktivnosti (GR), prividne gustoće stijena (DEN) te zvučna karotaža (AC).

Mjerenje spontanog potencijala jedno je od osnovnih karotažnih mjerenja. Krivulje spontanog potencijala (SP) važne su kod odredbe propusnih i nepropusnih slojeva, posebno kod izmjena propusnih pješčenjaka i nepropusnih lapora. Krivulja SP-a jedan je od indikatora lapora, a razlika između "linije lapora" (osnovne linije nepropusnih stijena) i "linije pijeska" (osnovne linije propusnih stijena) naziva se statički spontani potencijal (SSP), koji se može koristiti u računu otpornosti sloja ili udjela lapora. Sve vrijednosti na krivulji SP-a očitavaju se od osnovne linije. Prema dogovoru, otkloni lijevo utvrđuju se kao negativni (propusne naslage), a desno pozitivni (nepropusne naslage). To pravilo vrijedi kad su slojne vode slane (visokomineralizirane), a isplaka slatka, tj. kad je salinitet slojne vode veći od saliniteta isplake, što je najčešći slučaj u naftogeološkoj praksi.

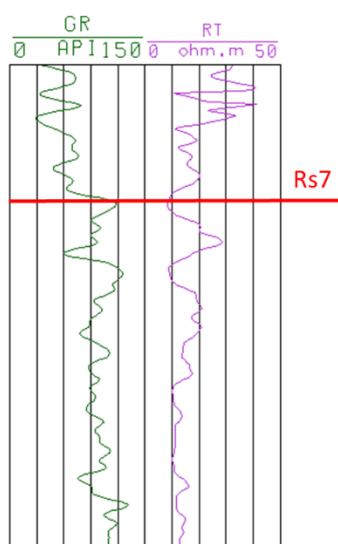
Mjerenje električne otpornosti (R) daje podatke o električnoj vodljivosti naslaga odnosno o vodljivosti fluida kojim je ispunjen njihov porni prostor te služi za određivanje litologije i vrste fluida u stijeni. Pješčenjaci, vapnenci, dolomiti i čertovi, evaporiti i ugljeni slojevi odlikuju se visokom otpornošću mineralnog matriksa (više od  $10^6 \Omega m$ ). Električna otpornost je nešto slabija u glinovitim taložinama unutar kojih je voda vezana u kristalnoj rešetci, a u pješčenjacima je, zbog veće efektivne šupljikavosti, električna otpornost jača. Čista voda je izolator, no podzemna voda sadržava ione otopljenih mineralnih soli, pa postaje električni vodič. Otpornost slojne vode opada s dubinom zbog povećanja koncentracije iona i temperature (topljivosti). Ako je porni prostor ispunjen plinskim i tekućim ugljikovodicima otpornost raste (**Balić, 1993.; Malvić i Velić, 2008**).

Budući da u proučavanim naslagama dominiraju lapori, u interpretaciji je korištena krivulja prirodne radioaktivnosti (GR). Prirodna radioaktivnost stijena u podzemlju (GR) označava stupanj prirodne radioaktivnosti naslaga i koristi se za određivanje vrste stijena u bušotini. Povišena prirodna radioaktivnost je obilježje pelitnih naslaga (glina, lapora, šejlova), dok je u psamitskim taložinama ona znatno manja.

Kompenzirana neutronska karotaža (CNL), karotaža gustoće (DEN) te zvučna karotaža (AC) se provode s ciljem određivanja litološkog sastava i šupljikavosti stijene. Procjena šupljikavosti je pod utjecajem litološkog sastava naslaga te su potrebne korekcije na litologiju i vrstu fluida u stijeni.

U naftnogeloškoj praksi uobičajena je korelacija pomoću EK markera. Marker (ključni slojevi) imaju jasno prepoznatljiva svojstva (niz otklona sličnih vrijednosti na karotažnim dijagramima) na nekome području koja ih odvajaju od stijena u krovini i podini. Služe za korelaciju, jer su obilježeni malom debljinom, no velikim bočnim rasprostiranjem. Uži pojam su elektrokarotažni markeri (EK markeri, engl. “E-log markers”) kojima je glavno obilježje jednak i lako prepoznatljiv oblik krivulje na karotažnim dijagramima, a posebno na krivuljama otpornosti. Korelacijski se horizonti u pravilu postavljaju unutar sitnozrnatih sedimenata. Kod korelacije je preporučljivo praćenje dva repna sloja, jednog u krovini, a drugog u podini korelirane jedinice (**Velić et al. 2015**).

U Hrvatskoj su prema EK markerima postavljene granice litostratigfskih jedinica ranga formacija, a rjeđe članova. U zoni markera Rs7 nalazi se granica između naslaga sarmata i donjeg panona (formacije Prečec i Prkos), ali samo onda kada ga se prepozna unutar neprekinutog slijeda sedimenata prema karakterističnom obliku na krivulji specifične otpornosti (**Velić, 2007**). Jezgre sedimenata ispod EK markera Rs7 sadrže miocensku fosilnu faunu stariju od panona. To ne znači da plohe tih markera predstavljaju točnu kronostratigfsku granicu, no nalaze se negdje u njihovoj zoni (**Vrbanac, 2002; Velić, 2007**), odnosno vrijeme taloženja markera je nekoliko 2 ili 3 reda veličine kraće od trajanja katova. EK marker Rs7 u najčešće karakterizira porast vrijednosti GR, uz istovremeni pad vrijednosti specifičnog otpora (**slika 6.6.**) koji je povezan sa smanjenim udjelom kalcitne komponente koja je povećana u zoni gornjega panona (formacija Prkos), tj. između markera Rs5 i Rs7.



**Slika 6.6.** *Primjer odredbe Ek-markera na karotažnim krivuljama*

### 6.3.1.3. Seizmička mjerenja i interpretacija

U istraživanju ugljikovodika od velike su važnosti seizmičke metode kojima se dobije uvid u građu podzemlja. Primjena seizmičkih metoda sastoji se u emitiranju umjetno izazvanog seizmičkog vala koji se širi podzemljem, reflektira i refraktira) i nakon toga stiže na prijamnik. Analiziranjem promjena brzina širenja valova moguće je zaključivati o građi podzemlja. Ovisno o tipu vala koji se koristi, seizmički podatci mogu biti refrakcijski i refleksijski.

Refleksijska seizmika se zbog razlučivosti u dubljim dijelovima koristi u istraživanju ugljikovodika, dok se refrakcijska seizmika koristi za plitka istraživanja do nekoliko stotinjak metara (**Šumanovac, 2012**). Snimanje seizmičkih podataka se obavlja po dvodimenzionalnim (2D) seizmičkim profilima ili se snima trodimenzionalni (3D) seizmički volumen. Kod 2D izvor energije i prijemnici se nalaze na liniji snimanja dok je kod 3D linija prijemnika okomita na liniju izvora energije (**Takač, 2007**). Kao izvor energije najčešće se koristi vibrator, a kao prijemnici se koriste geofoni. Reflektirani signal dolazi od reflektora do uređaja za detekciju vala (geofona) i snima se u digitalnom obliku na magnetskoj traci ili disku. Kvaliteta dobivenih terenskih podataka poboljšava se raznim metodama obrade. Zbog morfologije terena prije obrade svi seizmički tragovi moraju biti svedeni na horizontalnu liniju koja se zove seizmički datum ili ravnina svođenja. U području Panonskog bazenskoga sustava seizmički datum se nalazi na +100 m jer najveći dio reljefa varira oko te vrijednosti. Seizmički podatci se prikazuju u dvostrukom vremenu prolaska zvučnog vala od površine do sloja i natrag do površine ili, nakon transformacije, u dubinskom mjerilu. Za uspostavu vremensko dubinskih odnosa koristi se zakon brzina tj. vertikalna raspodjela brzina širenja elastičnih valova kroz podzemlje. Prije interpretacije seizmičkih profila potrebno je kalibrirati bušotinske sa seizmičkim podacima, odnosu prema zakonu brzina vremensku skalu prikazati u dubinskoj. Bušotinski podatci omogućuju izvrsnu okomitu razlučivost u neposrednoj blizini bušotine, dok seizmički podatci omogućuju bolji uvid u strukturne (rijetko i stratigrafske) u međubušotinskom prostoru (**Prskalo, 2006**).

### 6.3.1. Uporabljene geomatematičke metode

Geomatematičke metode obuhvaćaju klasične statističke analize, geostatističke algoritme za izradbu karata i neuronske mreže. U geologiji je česta usporedba višestrukih skupina podataka, npr. s različitih smjesta, usporedba dubinskih i površinskih podataka. Dva najčešća

alata kojima se može tražiti međusobna ovisnost dviju ili više varijabli, ali i ovisnost podataka jedne varijable s tim istim podacima na drugim smjestaštima u prostoru (autokorelacija) su linearna korelacija i regresija. Koeficijent korelacije koji se označava slovom „r” može poprimiti vrijednosti u rasponu od -1 do 1 (tj. potpune negativne ili pozitivne korelacije). Vrijednost 0 označava nepostojanje bilo kakve linearne veze. Interpretator na temelju poznavanja pravila, posebice empiričkih, znanstvene grane u kojoj se korelacija računa može proglasiti određenu numeričku vrijednost koeficijenta dovoljno velikom (npr. **Malvić i Prskalo, 2007, 2008**).

#### 6.3.1.2 Kartiranje i interpolacijske metode

Dubinske geološke karte mogu prikazivati različite varijable. Najčešće se izrađuju strukturne, paleostrukturne, litofacijsne, karte debljina te karte šupljikavosti. Linije na kartama koje povezuju sve točke s jednakom vrijednosti kartiranog parametra i konstruiraju se postupkom interpolacije ili ekstrapolacije. Interpolacija je postupak crtanja odgovarajućih linija jednakih vrijednosti na karti, a kojima se dodjeljuju odgovarajuće vrijednosti unutar prostora između točkastih mjerenih podataka. Ekstrapolacija je postupak crtanja odgovarajućih linija jednakih vrijednosti na karti, a kojima se dodjeljuju odgovarajuće vrijednosti izvan granica površine ili prostora omeđenim najudaljenijim točkastim mjerenim podacima, pa do ruba karte. Zbog nepreciznosti, te vrijednosti su pretpostavljene, te zato postoje ograničenja kolika može biti širina zone ekstrapolacije (**Malvić i Medunić, 2015**).

Procjenu, odnosno interpolaciju moguće je načiniti na temelju poznatih vrijednosti promatrane primarne varijable (autokorelacija) ili uz pomoć vrijednosti jedne ili više drugih sekundarnih varijabli na istom prostoru. Uvjet je da su sekundarne varijable u jakoj korelaciji s primarnom varijablom. Postoje razne metode procjene, odnosno razne interpolacijske metode i tehnike za takav pristup, a to su različite tehnike krigiranja i kokrigiranja.

Za izradu karte okoliša korištene su dvije metode: metoda najbližeg susjedstva i metoda najmanjih kvadrata. Zbog malog broja točkastih podataka koji su grupirani bilo je potrebno izabrati najprimjereniju metodu kartiranja za skup s malim brojem podataka. Primjena odgovarajuće interpolacijske metode na malom broju podataka razmatrana je u radovima **Malvić et al. (2019a,b)**. U radovima su analizirani podatci šupljikavosti i propusnost u donjopontskim ležištima ugljikovodika u Savskoj depresiji. Usporedba metoda najbližeg susjedstva i inverzne udaljenosti dana je u radu **Malvić et al. (2019b)**, a upotreba krigiranja u

radu **Malvić et al. (2019a)**. Metoda najbližeg susjedstva (engl. „Nearest Neighbourhood“) dodjeljuje vrijednost najbliže točke svakom čvoru mreže. Metoda je korisna u slučaju kada postoji relativno velika zona bez podataka, a potrebno je načiniti preglednu kartu. Veličina zone mora biti prikladno određena na temelju poznatih podataka i tipa kartirane varijable, kao što je prikazano u radu **Balić et al., 2008** na primjeru kartiranja šupljikavosti. U slučaju kada nedostaje nekoliko podataka, moguće je ovom metodom „nadopuniti“ praznine na relativno djelotvoran način. Karta dobivena ovom metodom nije pouzdana, no može označavati približnu razdiobu parametara (**Malvić i Medunić, 2015**). Metoda najbližeg susjedstva je u upotrebljenom računalnom programu Decision space nazvana metodom najbliže točke (eng. „Closest point“), ali se radi o jednakim metodama koje udaljenost u prostoru računaju prema izrazu za Euklidovu udaljenost (**izraz 6.3**):

$$d(x, T) = \sqrt{(X_1 - T_1)^2 + \dots + (X_n - T_n)^2} \quad (6.3)$$

Gdje su:

$d$  - udaljenost,

$n$  - veličina uzorka,

$x$  i  $T$  - točke u prostoru.

Metoda najmanjih kvadrata koristi se u slučaju kada među dvjema varijablama postoji statistički značajan odnos dokazan regresijskom analizom kojom se nastoji u dijagram rasipanja ucertati pravac regresije koji će najbolje opisati odnos promatranih varijabli. Traži se linija koja minimizira odstupanje u smjeru osi Y, na kojoj su smještene sve pogreške, a koja se nalazi između eksperimentalnih točaka i pravca regresije. Prilikom izračuna koristi se zbroj kvadrata reziduala, kako bi sve vrijednosti bile pozitivne. Dobivena regresijska linija ovisnosti pokazuje koliko mjerenje odstupa od aproksimacije te omogućava predviđanje vrijednosti mjerene veličine u područjima koja nisu obuhvaćena mjerenjem (**Malvić i Medunić, 2015**). Najčešće se procjenjuju prosječne vrijednosti zavisne varijable kada su nezavisne varijable fiksne. Određivanje regresijske jednadžbe opisala je u disertaciji **Mesić Kiš (2017)** u primjeni kartiranja univerzalnim krigiranjem. Kada se osvrnemo izloženo u toj disertaciji, jednadžbu je moguće upotrijebiti u kartiranju okoliša, koristeći EK marker Rs7 kao nezavisnu varijablu i okoliš kao zavisnu. U geologiji niti jedna varijabla nije nezavisna od ostalih, ali kod niza parova tu zavisnost nije moguće materijalno dokazati jer je stohastička ili fraktalna. Zato je odabrana



takva analiza koristeći Ek-marker Rs7 kao nezavisnu varijablu jer za nju postoji niz izrađenih kvalitetnih i detaljnih karata. Ako nezavisna varijabla  $X$  ima vrijednosti  $x_1, \dots, x_n$ , a zavisna varijabla  $y_1, \dots, y_n$ , odnos između dvije varijable  $X$  i  $Y$  prikazuje se modelom (Mesić Kiš, 2017):

$$y_i = f(x_i) + e_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (6.4)$$

gdje je  $f(x)$  regresijska funkcija, a  $e_1, \dots, e_n$  nezavisne slučajne varijable. U slučaju jedne nezavisne varijable govorimo jednodimenzijskom ili jednostavnom regresijskom modelu. a u slučaju više njih, riječ je višestrukom regresijskom modelu (Mesić Kiš, 2017).

Opći model višestruke linearne regresije je:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_k) + e \quad (\text{aditivni oblik})$$

ili

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_k) \times e \quad (\text{multiplikativni oblik}) \quad (6.5)$$

gdje je  $y$  zavisna varijabla, što je u ovom slučaju okoliš. Nezavisne varijable su očitane dubine zaljezanja Ek-markera Rs7, dok varijabla  $e$  predstavlja nepoznata odstupanja od funkcionalnog odnosa. Ukoliko se pretpostavi kako je veza između zavisne i nezavisnih varijabli linearna, model iz gornje jednadžbe je model višestruke linearne regresije (Mesić Kiš, 2017):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_k x_k + e \quad (6.6)$$

gdje je  $y$  (okoliš) opet zavisna varijabla,  $x_1, x_2, \dots, x_k$  nezavisne varijable,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  nepoznati parametri ili regresijski koeficijenti, a  $e$  je slučajna varijabla.

Ukoliko se pretpostavi kako se linearna regresijska veza između zavisne varijable i odabranog skupa nezavisnih varijabli utvrđuje na osnovi uzorka veličine  $n$  (npr.  $n$  mjerenja

odabranih varijabli), u tom slučaju se vektorska jednađba može napisati u obliku sustava od  $n$  jednađbi (Mesić Kiš, 2017):

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \beta_0 + \beta_1 x_{11} + \beta_2 x_{12} + \cdots + \beta_j x_{1j} + \cdots + \beta_k x_{1k} + e_1 \\
 y_2 &= \beta_0 + \beta_1 x_{21} + \beta_2 x_{22} + \cdots + \beta_j x_{2j} + \cdots + \beta_k x_{2k} + e_2 \\
 &\vdots \\
 y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \cdots + \beta_j x_{ij} + \cdots + \beta_k x_{ik} + e_i \\
 &\vdots \\
 y_n &= \beta_0 + \beta_1 x_{n1} + \beta_2 x_{n2} + \cdots + \beta_j x_{nj} + \cdots + \beta_k x_{nk} + e_n
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

Procjena vrijednosti parametara može se izvršiti metodom najmanjih kvadrata. Ako uvrstimo u  $Y = X\beta + e$  umjesto vektora parametara  $\beta$  vektor njihovih procjena, tada je (Mesić Kiš, 2017):

$$\begin{aligned}
 Y &= X\hat{\beta} + \hat{e} \\
 \hat{e} &= Y - X\hat{\beta}
 \end{aligned} \tag{6.8}$$

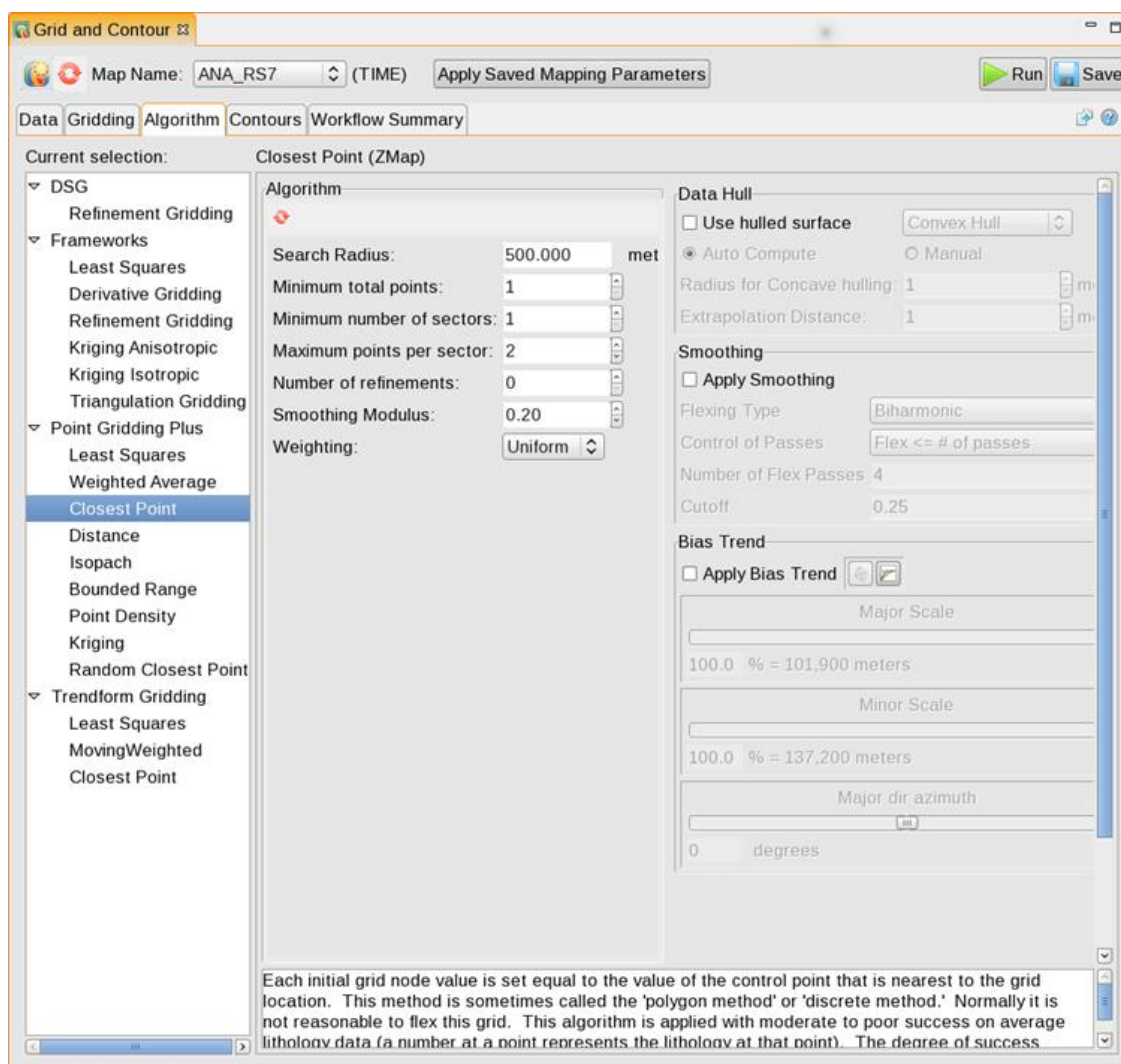
gdje  $\hat{e}$  predstavlja procjenu slučajne varijable na bazi uzorka  $e$  i zove se rezidualnim odstupanjem. Procjena koeficijenata  $\beta$  dobije se iz rješenja normalnih jednađbi metode najmanjih kvadrata (Mesić Kiš, 2017):

$$\begin{aligned}
 n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i2} + \cdots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik} &= \sum_{i=1}^n y_i \\
 \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_{i1} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{yi1^2} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} + \cdots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{ik} &= \sum_{i=1}^n x_{i1} y_i
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{cccccccc}
& \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n x_{ik} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{ik} x_{i1} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{ik} x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 = \sum_{i=1}^n x_{ik} y_i & (6.9)
\end{array}$$

Traži se linija koja minimizira odstupanje u smjeru osi Y, na kojoj su smještene sve pogreške, a koja se nalazi između eksperimentalnih točaka i pravca regresije. Prilikom izračuna koristi se zbroj kvadrata reziduala, kako bi sve vrijednosti bile pozitivne. Dobivena regresijska linija ovisnosti pokazuje koliko mjerenje odstupa od aproksimacije. Višestruka regresijska analiza dubine Ek-markera i geografske širine i dužine prikazana je u radu **Mesić Kiš i Malvić (2018)**. Prilikom korištenja dobivenog trenda dobivene karte Ek-markera Rs5, Z i Delta dale su realniju sliku prostora nego u slučajevima kad se trend nije koristio, što su dokazali i krosvalidacijom (**Mesić Kiš i Malvić, 2018**).

Karte su izrađene pomoću programa Decision Space tvrtke Halliburton. Decision Space je jedan od glavnih programa koji se koristi u istraživanju nafte i plina u Inite je postojala važeća licencija kod njegove uporabe. Glavna prednost je što omogućuje interaktivnu analizu, interpretaciju i obradu velike količine podataka iz raznih izvora (seizmički i bušotinski podatci). Također pruža mogućnost izrade karata različitim interpolacijskim metodama (**slika 6.7.**).



*Slika 6.7. Primjer sučelja u programu Decision Space*

## 7. REZULTATI

Detaljna analiza podataka načinjena je na površinskom uzorcima sa lokaliteta Sveta Nedelja te bušotinskih podataka o sarmatskim naslagama u zapadnom dijelu Savske depresije. Rezultati istraživanja su prikazani u sljedećim potpoglavljima.

### 7. 1. REZULTATI DETALJNOG ISTRAŽIVANJA SMJESTIŠTA SVETA NEDELJA

Nakon većeg broja probnih mikropaleontoloških analiza na prikupljenim uzorcima odabranih izdanaka na kojima su snimljeni stratigrafski stupovi (izdanak 5 i 7) napravljene su

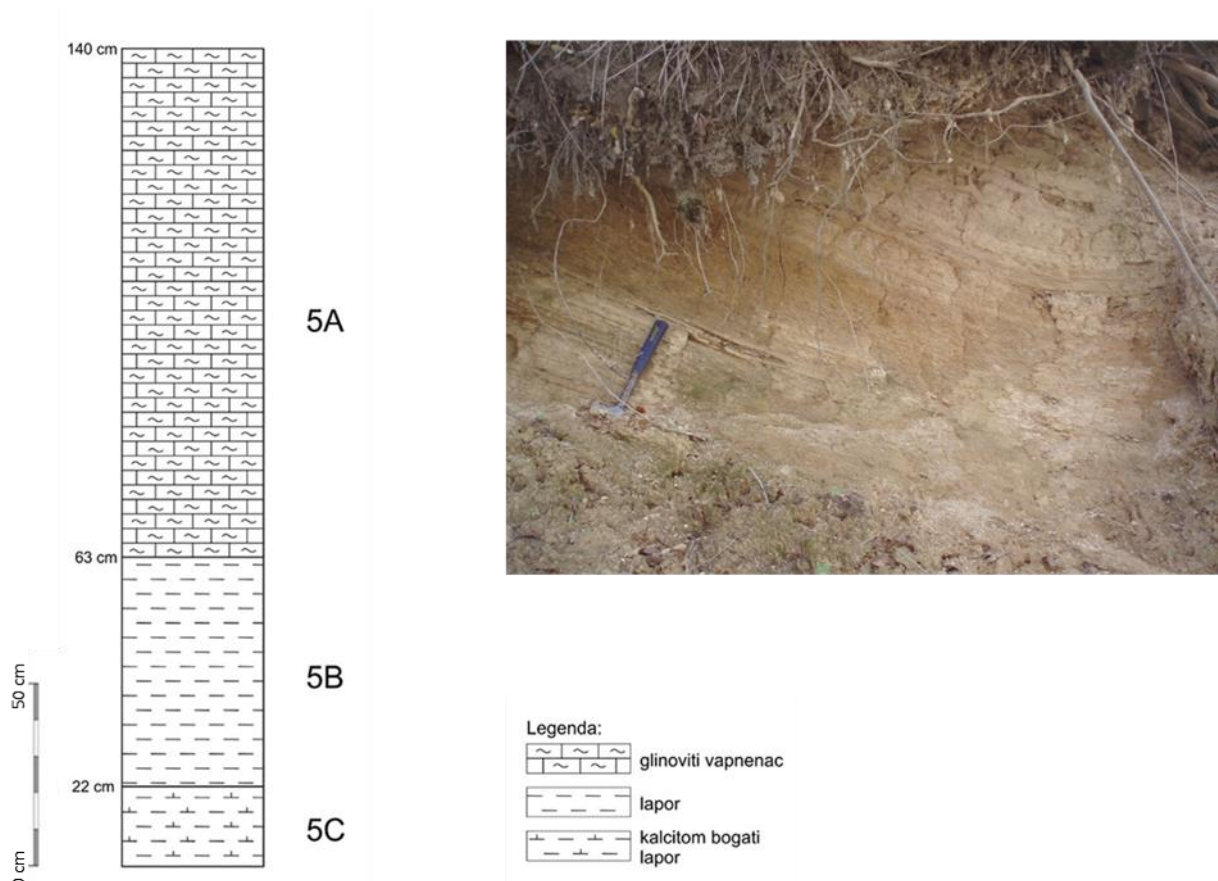
detaljne paleontološke, sedimentološke i naftnogeološke analize. Izdanak 7 mikropaleontološki je obrađen u sklopu izrade diplomskog rada Pekćec (2019), dok je u izdanak 5 mikropaleontološki obrađen u ovom radu. U izdvojenom mikropaleontološkom materijalu iz uzoraka su taksonomski određene vrste.

Uzorci izdanka 7 (7A, 7B i 7C) i izdanka 5 (5A, 5B i 5C) su dalje palinološki, sedimentološki i naftnogeološki analizirani. Rezultati palinoloških analiza te geokemijske analize i interpretacija prikazani su u internim Ininim dokumentima (Krizmanić, 2018, Troškot-Čorbić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić).

### 7.1.1 Opis smjesta

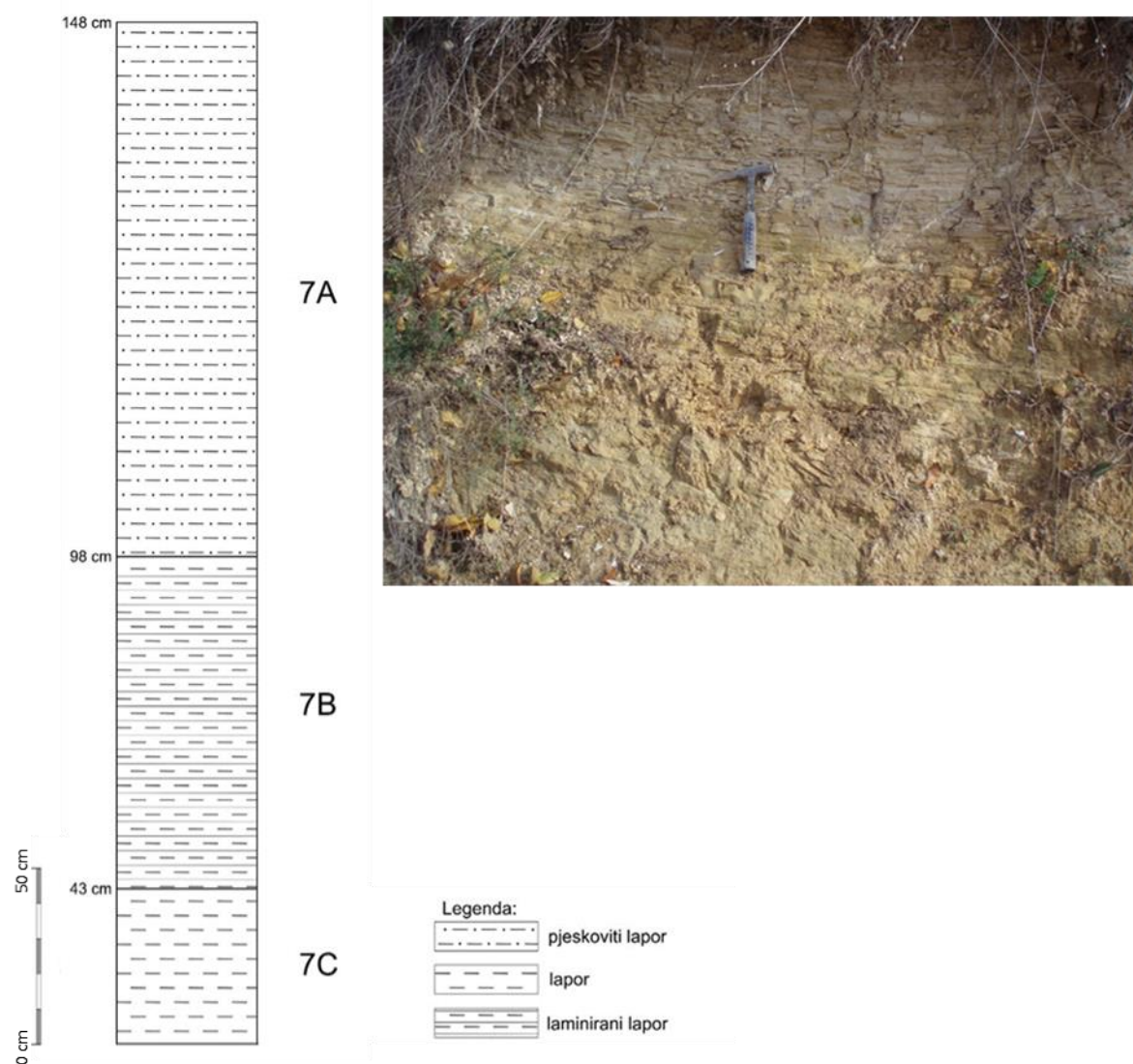
U ovom potpoglavlju su opisani izdanci odabrani tijekom terenskog rada za daljnje detaljne analize.

Izdanak oznake 5 se nalazi na otkrivenom dijelu uz lokalnu cestu na nadmorskoj visini od 299,5 m. Izdanak je visok 140 cm. Uočene su tri litološki različite cjeline te je iz svake uzet uzorak. Donji dio je 22 cm visine i sastoji se od svijetlih pločastih lapora (kalcitom bogati lapori). Na njega slijede 41 cm debeli smeđi lapori. Od visine 63 cm pa do kraja izdanka (140 cm) određeni su glinoviti vapnenci (**slika 7.1.**).



**Slika 7.1. Izdanak 5**

Izdanak oznake 7 se nalazi na otkrivenom dijelu uz lokalnu cestu na nadmorskoj visini od 235,9 m. Izdanak je visok 148 cm (**slika 7. 2.**). Unutar tri uočene litološki različite cjeline uzeti su uzorci. Donji dio je 43 cm visine i sastoji se od smeđih laminiranih lapora. Na njemu slijede 49 cm debeli svijetli lapori. Od 92. cm pa do najviše dijela izdanka (148 cm) uočeni su pjeskoviti lapori (**slika 7.2.**).



***Slika 7.2. Izdanak 7***



### 7.1.2. Mikropaleontološke analize

U ovom radu su mikropaleontološki analizirani uzorci izdanaka 5 (5A, 5B, 5C). Podjednak broj vrsta i rodova određen je u uzorcima 5A (12 vrsta i 1 rod) i 5C (13 vrsta). U uzorku 5B određeno je šest rodova (**Tablica 7.1.**).

**Tablica 7.1.** Foraminifere po analiziranim uzorcima (izdanak 5, Sveta Nedelja)

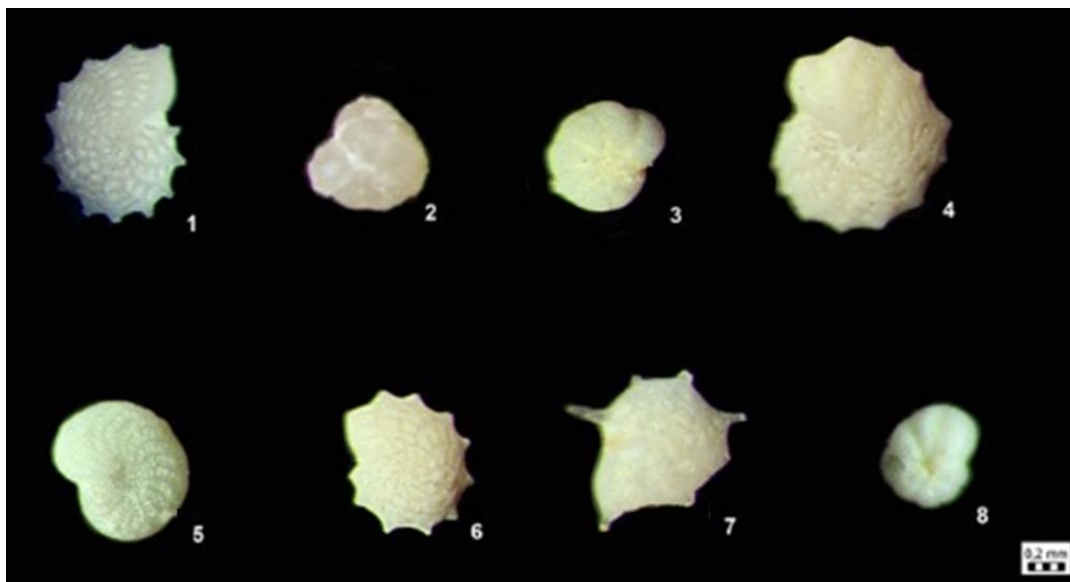
| FORAMINIFERE                                   | 5A | 5B | 5C |
|------------------------------------------------|----|----|----|
| <i>Anomalinoidea dividens</i> Luczkowska       | +  |    |    |
| <i>Anomalinoidea</i> sp.                       | +  |    |    |
| <i>Bolivina sarmatica</i> Didkovskiy           | +  |    |    |
| <i>Cibicidoides lobatulus</i> (Walker & Jacob) |    |    | +  |
| <i>Cibicidoides ungerianus</i> (d'Orbigny)     |    |    | +  |
| <i>Cycloforina badenensis</i> (d'Orbigny)      | +  |    |    |
| <i>Elphidium aculeatum</i> (d'Orbigny)         |    |    | +  |
| <i>Elphidium crispum</i> (Linné)               | +  |    | +  |
| <i>Elphidium fichtelianum</i> (d'Orbigny)      |    |    | +  |
| <i>Elphidium josephinum</i> (d'Orbigny)        | +  | +  | +  |
| <i>Elphidium macellum</i> (Fichtel & Moll)     | +  |    |    |
| <i>Elphidium reginum</i> (d'Orbigny)           |    | +  |    |
| <i>Elphidium grilli</i> Papp                   |    | +  | +  |
| <i>Elphidium hauerinum</i> (d'Orbigny)         | +  | +  | +  |
| <i>Elphidium obtusum</i> (d'Orbigny)           | +  | +  | +  |
| <i>Nonion bogdanowitzi</i> Voloshinova         | +  |    | +  |
| <i>Nonion commune</i> (d'Orbigny)              |    |    | +  |
| <i>Orbulina suturalis</i> Brömmann             | +  |    |    |
| <i>Planostegina costata</i> (d'Orbigny)        |    |    | +  |
| <i>Porosonion granosum</i> (d'Orbigny)         | +  | +  | +  |

Mikrofosilna zajednica **uzorka 5A (tablica 7.1.)** je loše očuvana. Brojne kućice su cementirane, što je otežalo odredbu. U uzorku su nađene jedinke vrste *Anomalinoidea dividens*, *Nonion bogdanowitzi*, *Bolivina sarmatica*, *Orbulina suturalis* i brojne vrste elfidija koji svojom brojnošću dominiraju u uzorku. U mikrofosilnoj zajednici izdvojeni su i ostrakodi, koji su relativno brojni u zajednici, ali nisu raznoliki. Dominiraju primjerci razdvojenih glatkih ljuštura. Od ostalih fosila uočeni su ostaci riba, fragmenti koštica i zubi te fragmenti mekušaca i briozoa.

Mikrofosilna zajednica u **uzorku 5B (tablica 7.1.)** je dobro očuvana, ali nije raznolika, odnosno nađeno je samo 6 različitih vrsta. Od foraminifera u uzorku su utvrđene razne vrste elfidija. Kućice su dobro očuvane, bez oštećenja te dominiraju elfidiji s izraženom

ornamentacijom. Određeni su *Porosononion granosum*, *Elphidium grilli*, *E. hauerinum*, *E. reginum*. Ostrakoda nema, a od ostalih fosila prepoznati su fragmenti košćica i zubi riba.

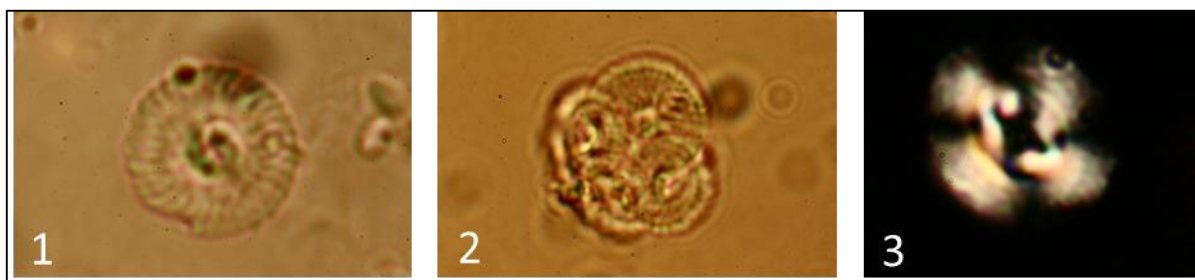
Mikrofosilna zajednica u **uzorku 5C (tablica 7.1.)** je lošije očuvana od zajednice 5B, ali bolje od 5A. Foraminifere su brojne i raznolikih vrsta. U uzorku prevladavaju elfidiji. Određeni su *Elphidium aculeatum*, *E. crispum*, *E. fichtelianum*, *E. grilli*, *E. hauerinum*. Od ostalih foraminifera određeni su *Asterigerina* sp., *Cibicides lobatulus*, *Cibicides ungerianus*, *Planostegina costata*, *Nonion commune* i *N. bogdanowitzi*. Ostrakodi su malobrojni, otvorenih ljuštura. Od ostalih fragmenata fosila nalazimo dijelove ribljeg zuba. Brojnije i značajnije vrste foraminifera određene u uzorcima izdanka 5 fotografirane su fotoaparatom Canon EOS 1100 (**slika 7.3.**).



**Slika 7.3.** Značajne vrste foraminifere izdanka 5: 1- *Elphidium josephinum*, 2- *Anomalinoides dividens*, 3- *Porosononion granosum*, 4-6- *Elphidium aculeatum* 5- *E. hauerinum*, 7- *E. reginum*, 8- *Nonion bogdanowitzi*

### 7.1.3. Analize nanoplanktona

U analiziranim uzorcima izdanka 5 nanofosili su utvrđeni samo u uzorku 5 A. U uzorku su određeni: *Calcidiscus tropicus* Kamptner, 1956 sensu Gartner, 1992 (starost NN4-NN19) *Cyclicargolithus floridanus* (Roth & Hay, u Hay et al., 1967) Bukry, 1971 (starost paleogen-NN7) (**slika 7.4.**). Vrsta *Calcidiscus tropicus* je dosta zastupljena, čak i cijelim kokosferama.



**Slika 7.4.** Uzorak 5A; 1. *Calcidiscus. tropicus*; 2. dio kokosfere *C. tropicus*; 3. *C. floridanus*

#### 7.1.4. Palinološke analize

U **uzorku 5A** organski ostatak je dobro zastupljen u maceratu stijene. Amorfna tvar prevladava u palinofacijesu s oko 60% udjela. Lignohuminskih klasta kerogena je oko 10%. Liptinitnog kerogena je 30%, a sastoji se cisti dinoflagelata, malo peludi (većinom bisakate) i još manje prazinofigeja (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Od dinocisti su najzastupljenije vrste: *Polysphaeridium zoharyi* (Rossignol 1962) Bujak et al. 1980, *Lingulodinium machaerophorum* (Deflandre i Cookson 1955) Wall 1967, *Impagidinium* sp., *Operculodinium israelianum* (Rossignol 1962) Wall 1967 i *Operculodinium centrocarpum* (Deflandre i Cookson 1955) Wall 1967. Palinoasocijacija upućuje na sarmatsku starost stijena, a poglavito dinociste *Polysphaeridium zoharyi* i *Lingulodinium machaerophorum* čija brojnost biostratigrafski svrstava uzorak u palinološku biozonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (**Bakrač, 2005**) (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić).

U **uzorku 5B** Macerat je izuzetno bogat organskim ostatkom. Amorfna tvar čini oko 50% udjela. Lignohuminskih klasta kerogena je tek oko 10 %. Liptinitnog kerogena ima oko 40 %, a sastoji se od dinocisti (brojni su proksimatni oblici znakoviti za distalnije i dublje okoliše), peludi i spora, kutikula, ostataka zelenih algi, akritarka i hitinskih ovojnica kućica foraminifera (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Od ostataka zelenih algi su najbrojniji predstavnici prazinofigeja, a određene su sljedeće vrste: *Tyrrhodiscus mecsekensis* Nagy 1965 *Cymatiosphaera* sp., *Hidasia* sp. i *Tasmanites* sp. Od cisti dinoflagelata su najzastupljenije vrste: *Polysphaeridium zoharyi*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Impagidinium* sp. *Impagidinium patulum* (Wall) Stover i Evitt 1978, *Operculodinium centrocarpum* i *Hystriochokolpoma* sp. Određena je sarmatsku starost stijena, a brojnost vrsta *Polysphaeridium zoharyi* i *Lingulodinium machaerophorum* biostratigrafski svrstava uzorak u

sarmatsku palinološku biozonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (**Bakrač, 2005**) (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić).

Macerat **uzorka 5C** je bogat organskim ostatkom. Amorfne tvari u palinofacijesu ima do 40% udjela. Lignohuminskih klasta kerogena je malo (do 10 %), a uočeno je tek nekoliko strukturiranih bioklasta i potpuno oksidiranih ostataka višeg bilja. Liptinitna komponenta je izuzetno dobro zastupljena i čini čak do 50 % palinofacijesa. Najzastupljenija su zrna različite peludi, malo manje spora, zatim su prisutne dinociste, pa kutikule, ostaci zelenih algi, akritarke i par hitinskih ovojnica kućica foraminifera. Od ostataka zelenih algi su najbrojniji predstavnici prazinofigeja (*Leiosphaeridia* sp i *Tasmanites* sp.) (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Od cisti dinoflagelata su najzastupljenije vrste: *Polysphaeridium zoharyi*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Hystrichokolpoma rigaudiae* Deflandre i Cookson, 1955, *Hystrichosphaeropsis obscura* Habib, 1972, *Impagidinium* sp. i *Operculodinium* sp. Stijena je sarmatske starosti, a temeljem obilježja cijele palinološke asocijacije i brojne zastupljenosti vrsta *Polysphaeridium zoharyi* i *Lingulodinium machaerophorum* biostratigrafski svrstava uzorak u sarmatsku palinološku biozonu za područje Paratetisa *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (**Bakrač, 2005**) (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić).

Macerat u **uzorku 7A** je bogat organskim ostatkom od čega polovica (50 %) otpada na amorfnu tvar. Lignohuminski klasta kerogena čine oko 20 % palinofacijesa, a karakterizira ih velika zastupljenost biostrukturiranih fitoklasta. Liptinitnog kerogena je 30 %, a sastoji se brojnih i različitih dinocisti, puno različitih zrna različite peludi i spora te kutikula i ostataka zelenih algi (kloroficeje i prazinofigeje) (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Iz razreda *Prasinophyceae* su utvrđeni rodovi *Hidasia* sp. *Cymatiosphaera* sp. i *Tasmanites* sp., a iz razreda *Chlorophyceae* samo *Botryococcus brauni* Kützinger 1849. Od dinocisti su najzastupljenije vrste: *Polysphaeridium zoharyi*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Impagidinium patulum*, *Impagidinium* sp., *Operculodinium israelianum*, *Spiniferites bentorii budejensis* Sütő-Szentai 1986, *Spiniferites* sp., *Systematophora* sp. i *Hystrichokolpoma* sp. Palinoasocijacija upućuje na sarmatsku starost stijena, a poglavito dinociste *Polysphaeridium zoharyi* i *Lingulodinium machaerophorum* čija brojnost biostratigrafski svrstava uzorak u palinološku biozonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (**Bakrač, 2005, 2012**) (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić).

U **uzorku 7B** organski ostatak je bogato zastupljen u maceratu stijene. Oko 40 % palinofacijesa čini amorfna tvar. Lignohuminski klasta kerogena je oko 20 %, a najzastupljeniji je liptinitni tip kerogena s oko 50 % udjela. Liptinitni spektar čine izuzetno brojna i različita

fosilna pelud i spore, kutikula, malo ostataka zelenih algi (kloroficeje i prazinoaliceje) te najmanje dinocisti (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Od prazinoaliceja su utvrđeni rodovi *Hidasia* sp. i *Tasmanites* sp., a od kloroficeja samo *Botryococcus brauni*. Od dinocisti su određene samo *Polysphaeridium zoharyi*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Impagidinium* sp. i *Operculodinium* sp. Palinoasocijacija upućuje na sarmatsku starost stijena. Uzorak spada u palinološku biozonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (Bakrač, 2005) (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić).

U **uzorku 7C** macerat je bogat organskim ostatkom. Udio amorfne tvari u palinofacijesu je oko 40%, a liptinitnog kerogena, kojeg čine brojna zrna različite peludi i malo manje spora, kutikule, zatim ostaci zelenih algi, dinociste, akritarke i rijetke hitinske ovojnica kućica foraminifera, ima oko 50%. Lignohuminskih klasta kerogena je malo (do 10 %). Od prazinoaliceja su utvrđeni rodovi *Cymatiosphaera nuda* Hajós 1964, *Cymatiosphaera undulata* Hajós 1964, *Cymatiosphaera* sp., *Hidasia rugosa* Hajós 1964, *Hidasia* sp. *Mecsekia* sp. (?) i *Tasmanites* sp., a od kloroficeja samo *Botryococcus brauni*. Određene su dinociste *Polysphaeridium zoharyi*, *Impagidinium* sp. i *Hystriochokolpoma* sp (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Stijena je sarmatske starosti i najvjerojatnije biostratigrafski spada u sarmatsku palinološku biozonu za područje Paratetisa *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (Bakrač, 2005).

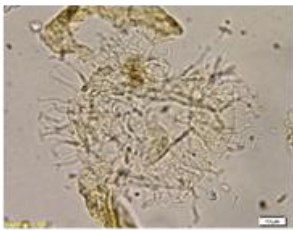
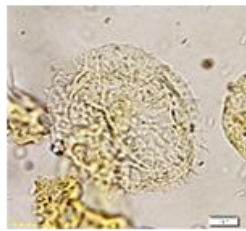
U **uzorku Bora 4** macerat je izuzetno bogat organskim ostatkom. Udio amorfne tvari u palinofacijesu je oko 30%, a liptinitnog kerogena, kojeg čine brojna zrna različite peludi i spora, kutikule, malo prazinoaliceja i samo par dinocisti, je čak do 60 %. Udio lignohuminskih klasta kerogena je oko 10 %. Od prazinoaliceja su utvrđeni rodovi *Hidasia* sp., *Cymatiosphaera undulata*, *Cymatiosphaera* sp. i *Mecsekia* sp. (?). Od dinocisti su najzastupljenije vrste *Polysphaeridium zoharyi*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Operculodinium centrocarpum* i *Systematophora* sp (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Palinoasocijacija upućuje na sarmatsku starost stijena. Uzorak spada u palinološku biozonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (Bakrač, 2005).

U **uzorku Bora 7** macerat je siromašan organskim ostatkom. Uočeno je malo nakupina amorfne tvari, malo lignohuminskih klasta (oksidirani, crni) i tek nekoliko sporomorfa (pelud) i palinomorfa (dinociste i zelene alge). Od kloroficeja je utvrđen samo ostatak alge *Botryococcus brauni*. Dinociste su zastupljene s par primjeraka vrsta *Polysphaeridium zoharyi* i *Systematophora* sp. Palinoasocijacija upućuje na sarmatsku starost stijena. Uzorak spada u

palinološku biozonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (**Bakrač, 2005**). U **Tabli 1** prikazana je palinoasocijacija uzoraka Svetonedeljskog brega.



**TABLA 1 . Palinološka zajednica u uzorcima Svetonedeljskog brega (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić )**

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |     |    |
| <i>Polysphaeridium zoharyi</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5A                          | <i>Lingulodinium machaerophorum</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5A                     | <i>Operculodinium israelianum</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5A                         | <i>Operculodinium centrocarpum</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5A                        |
|    |    |      |    |
| <i>Impagidinium sp.</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5B                                 | <i>Hystriocholpoma rigaudiae</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5C                        | <i>Hystriocholpoma obscura</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5C                            | <i>Impagidinium patulum</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 7A                               |
|  |  |   |  |
| <i>Cymatiosphaera undulata</i><br>Sveta Nedelja, uzorak BORA4                       | <i>Cymatiosphaera nuda</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 7C                              | <i>Hidasia rugosa</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 7C                                     | <i>Hidasia sp.</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 7B                                        |
|  |  |  |                                                                                       |
| <i>Tythodiscus mecsekensis</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 5B                          | <i>Tasmanites sp.</i><br>Sveta Nedelja, uzorak 7C                                   | <i>Operculodinium centrocarpum</i><br>Sveta Nedelja, uzorak BORA7                     |                                                                                       |

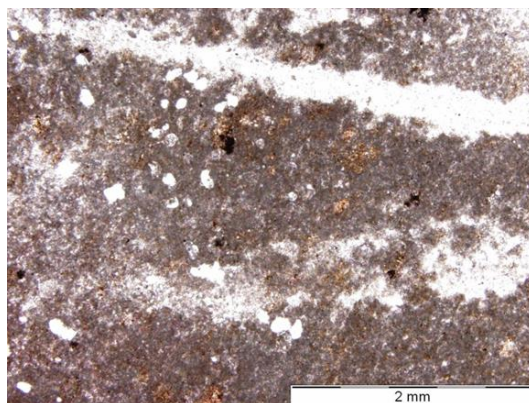
### 7.1.5. Petrografske analize i kalcimetrija

Rezultati mjerenje kalcitne i dolomitne komponente prikazani su u **tablici 7.2.**

**Tablica 7.2.** Rezultati kalcimetrije uzoraka lokaliteta Sveta Nedjelja

| Uzorak | CaCO <sub>3</sub> (%) | CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (%) |
|--------|-----------------------|-----------------------------------------|
| 5A     | 81,4                  | 5,3                                     |
| 5B     | 39,5                  | 3,5                                     |
| 5C     | 73,5                  | 2                                       |
| 7A     | 50                    | 3                                       |
| 7B     | 61,6                  |                                         |
| 7C     | 63,4                  | 1                                       |
| Bora 4 | 29                    | 5                                       |
| Bora 7 | 89                    | 0,08                                    |

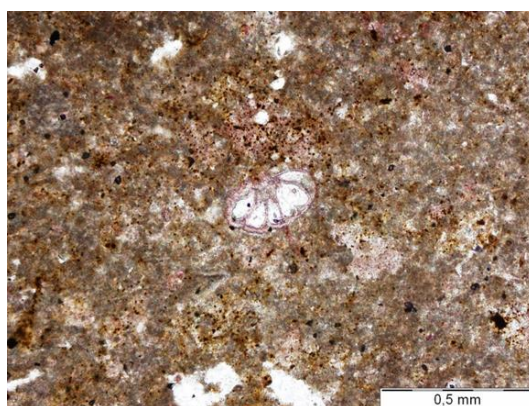
U **uzorku 5A** stijena je na osnovi petrografskog izbruska i kalcimetrije određena kao madston. Osnovu čini mikrit u kojoj je prisutna i glinovita komponenta. Rijetko su prisutne rekristalizirane ljušturice fosila te zrna kvarca. Također je rijetko prisutna i organska tvar koja je mjestimično piritizirana (**slika 7.5.**).



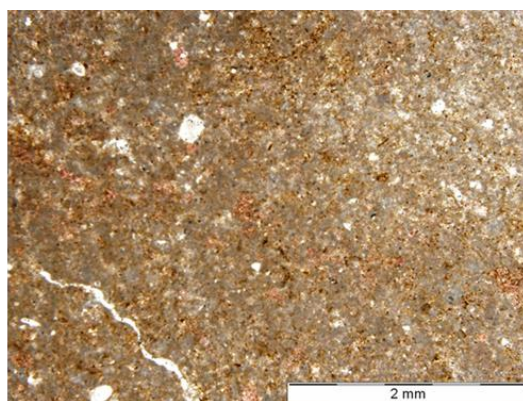
**Slika 7.5.** Petrografski izbrusak uzorka 5A –madston

Stijena **uzorka 5B** je na osnovi udjela kalcitne i dolomitne komponente određena kao lapor. Stijena **uzorka 5C** je na osnovi petrografskog izbruska i kalcimetrije određena kao kalcitom bogati lapor. Osnova je glinovito karbonatna, u kojoj su prisutne rekristalizirane ljušturice fosila (**slika 7.6.**). Rijetko su prisutna siliciklastična zrna kvarca dimenzija silta, koja su većinom kalcitizirana (**slika 7.7.**). Uzorak stijene je hematitiziran.



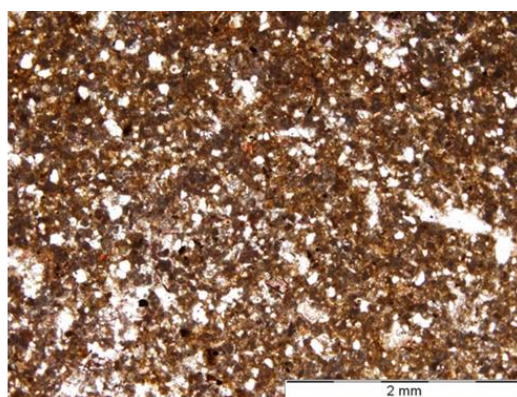


**Slika 7.6.** Petrografski izbrusak uzorka 5C- madston do vekston s ljušturicama fosila



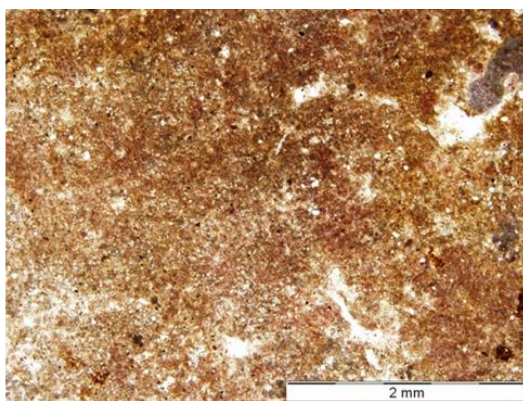
**Slika 7.7.** Petrografski izbrusak uzorka 5C- madston

Stijena **uzorka 7A** je na osnovi petrografskog izbruska i kalcimetrije određena kao pjeskoviti lapor. U glinovito karbonatnoj masi prisutna su zrna kvarca te malo feldspata dimenzija vrlo sitnog pijeska, poluzaobljena do poluuglata te rekristalizirane ljušturice fosila (**slika 7.8.**). Mjestimično je vidljiva moldička šupljikavost.



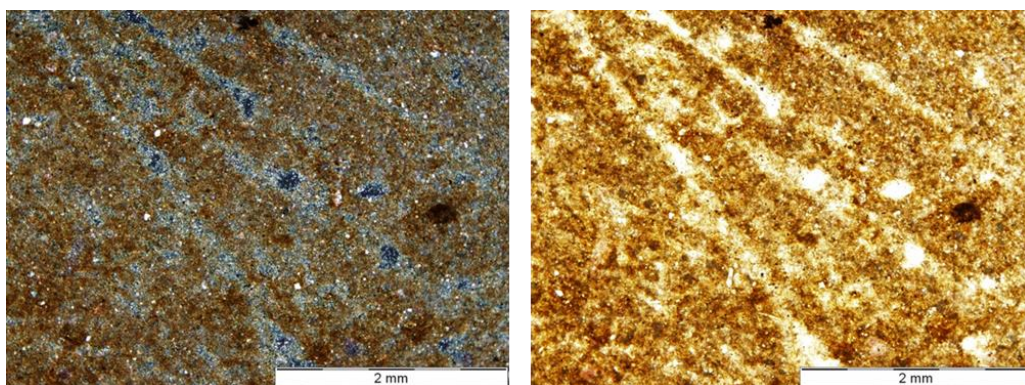
**Slika 7.8.** Petrografski izbrusak uzorka 7A- vekston

Stijena **uzorka 7B** je na osnovi petrografskog izbruska i kalcimetrije određena kao lapor. U glinovito karbonatnoj masi prisutna su siliciklastična zrna, uglavnom kvarca, dimenzija silta, te kristalići karbonata (**slika 7.9.**).



**Slika 7.9.** Petrografski izbrusak uzorka 7B -madston

Stijena **uzorka 7C** je na osnovi makroskopskog uzorka i kalcimetrije određena kao lapor. Stijena **uzorka Bora 4** je na osnovi petrografskog izbruska i kalcimetrije određena kao lapor. Osnovu čini glinovito karbonatna masa u kojoj su rijetko prisutna zrna kvarca, feldspata, fragment čerta dimenzija silta te rekrystalizirane ljušturice fosila. Rijetko su prisutne i nakupine pirita (**slika 7.10.**).



**Slika 7.10.** Petrografski izbrusak uzorka Bora 4-madston, lijevo: s analizatorom, desno-bez analizatora

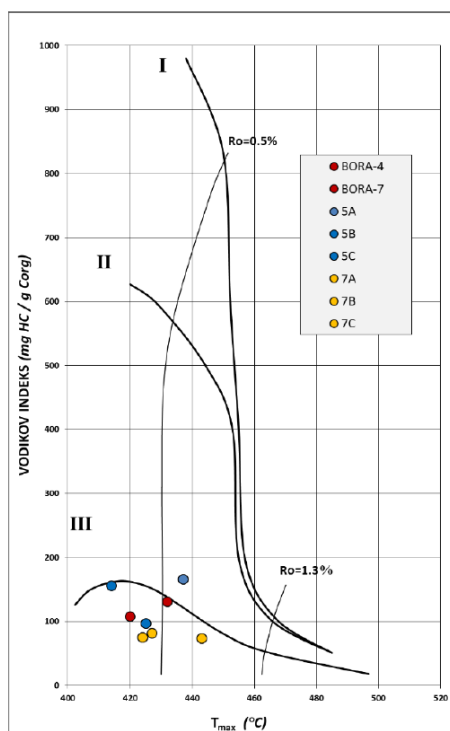
Stijena **uzorka Bora 7** je na osnovu makroskopskog uzorka i kalcimetrije određena kao glinoviti vapnenac.

### 7.1.6 Geokemijske analize odabranih uzoraka lokaliteta Sveta Nedelja

Analizirani površinski uzorci stijena sarmatske starosti s područja Sv. Nedjelje sadrže podjednaku količinu organske tvari, koja se kreće od 0,29 do 0,47 %  $C_{org}$ , dakle ispod granice za klastične matične stijene (**tablica 7.4.**,  $C_{orgLeco}$ ) (Troskot-Čorbić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). Sukladni su i rezultati određivanja sadržaja ugljika iz organskih spojeva Rock Eval pirolizom (od 0,19 do 0,53 %  $C_{orgRE}$ , **tablica 7.4.**). Organska tvar je predstavljena kerogenom tipa III ( $HI=75-166$  mg HC/g Corg). Upadljivi su izuzetno veliki kisikovi indeksi, što je manjim dijelom posljedica oksidirane organske tvari, a većim raspadanja karbonata na nižim temperaturama (**tablica 7.3.**). Skromna količina i kakvoća kerogena rezultirali su vrlo niskim generativnim potencijalom ( $S_2 < 2$  mg HC/g stijene). Stijene su nezrele, u diagenetskom stupnju termičke pretvorbe ( $T_{max}$  generalno ispod  $435^{\circ}C$ ,  $PI < 0,05$ ). Nešto povišena maksimalna temperatura pirolize kod dva uzorka posljedica je specifičnog organskog facijesa i male količine organske tvari (Troskot-Čorbić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić ).

**Tablica 7.3.** Rezultati određivanja sadržaja ugljika iz organskih spojeva i Rock-Eval pirolize

| Lab. oznaka uzorka | $C_{orgLeco}$ (%) | Rock Eval       |                                             |                                             |                                                            |                              |      |           |                                                       |                                                                      |           |
|--------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------|------|-----------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
|                    |                   | $C_{orgRE}$ (%) | $S_1$<br><small>mg HC<br/>g stijene</small> | $S_2$<br><small>mg HC<br/>g stijene</small> | $S_3$<br><small>mg <math>CO_2</math><br/>g stijene</small> | $T_{max}$<br>( $^{\circ}C$ ) | PI   | $S_2/S_3$ | HI<br><small>mg HC<br/>g <math>C_{org}</math></small> | OI<br><small>mg <math>CO_2</math><br/>g <math>C_{org}</math></small> | Min C (%) |
| BORA-4             | 0,40              | 0,45            | 0,02                                        | 0,48                                        | 1,85                                                       | 420                          | 0,04 | 0,3       | 108                                                   | 412                                                                  | 6,64      |
| BORA-7             | 0,30              | 0,19            | 0,01                                        | 0,24                                        | 1,64                                                       | 432                          | 0,02 | 0,1       | 131                                                   | 882                                                                  | 9,98      |
| 5A                 | 0,36              | 0,31            | 0,01                                        | 0,52                                        | 1,55                                                       | 437                          | 0    | 0,3       | 166                                                   | 497                                                                  | 8,14      |
| 5B                 | 0,47              | 0,53            | 0,03                                        | 0,82                                        | 1,86                                                       | 414                          | 0    | 0,4       | 156                                                   | 353                                                                  | 4,91      |
| 5C                 | 0,40              | 0,46            | 0,01                                        | 0,45                                        | 2,37                                                       | 425                          | 0,03 | 0,2       | 97                                                    | 517                                                                  | 9,18      |
| 7A                 | 0,29              | 0,32            | 0,01                                        | 0,24                                        | 1,54                                                       | 443                          | 0,05 | 0,2       | 74                                                    | 477                                                                  | 6,61      |
| 7B                 | 0,37              | 0,39            | 0,02                                        | 0,32                                        | 1,35                                                       | 427                          | 0,1  | 0,2       | 82                                                    | 344                                                                  | 6,96      |
| 7C                 | 0,29              | 0,29            | 0,01                                        | 0,22                                        | 0,98                                                       | 424                          | 0,1  | 0,2       | 75                                                    | 334                                                                  | 7,86      |

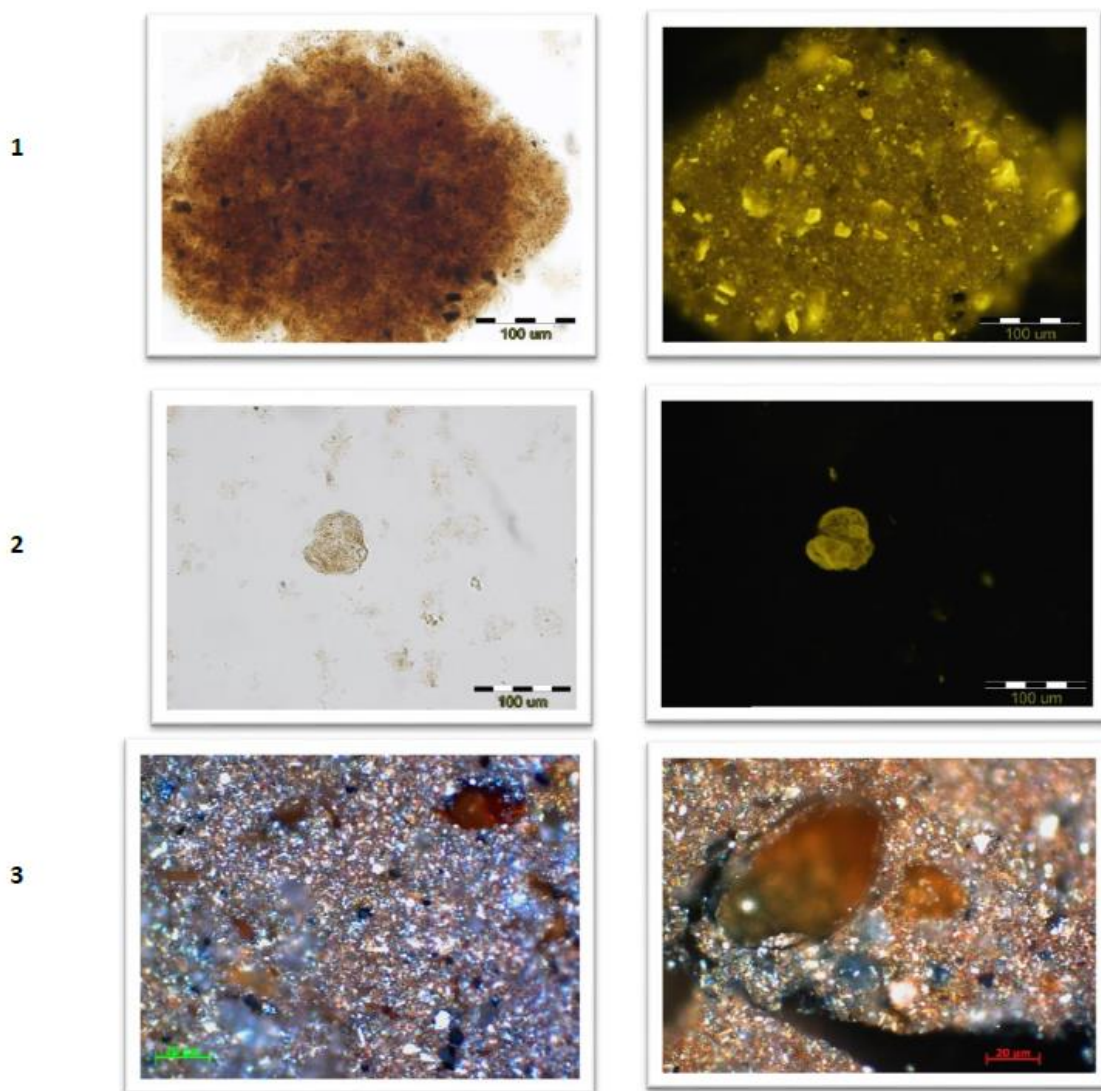


**Slika 7.11.** Dijagram odnosa vodikovog indeksa i Tmax

Četiri uzorka (BORA-4, 5A, 5C i 7C, **tabla II do V**) podvrgnuti su mikroskopskom ispitivanju izoliranog kerogena. Svi uzorci sadrže praktički identični organski facijes. U njemu prevladava amorfna organska tvar (oko 80 % ukupne organske tvari) slabe smeđe fluorescencije, što je pokazatelj skromne kvalitete u smislu generiranja ugljikovodika. Preostalu organsku tvar čine gotovo isključivo liptiniti među kojima prevladavaju sporinit i u manjoj mjeri alginit (ciste dinoflagelata). U tragovima se nalaze vrlo sitna i zaobljena zrnca pretaloženog vitrinita i fuzinita. Prema boji palinomorfa u prolaznom svjetlu i njihovoj jakoj fluorescenciji organska tvar je u ranoj dijagenezi (TAI 1+ do 2-).



**TABLA II Uzorak 5A**

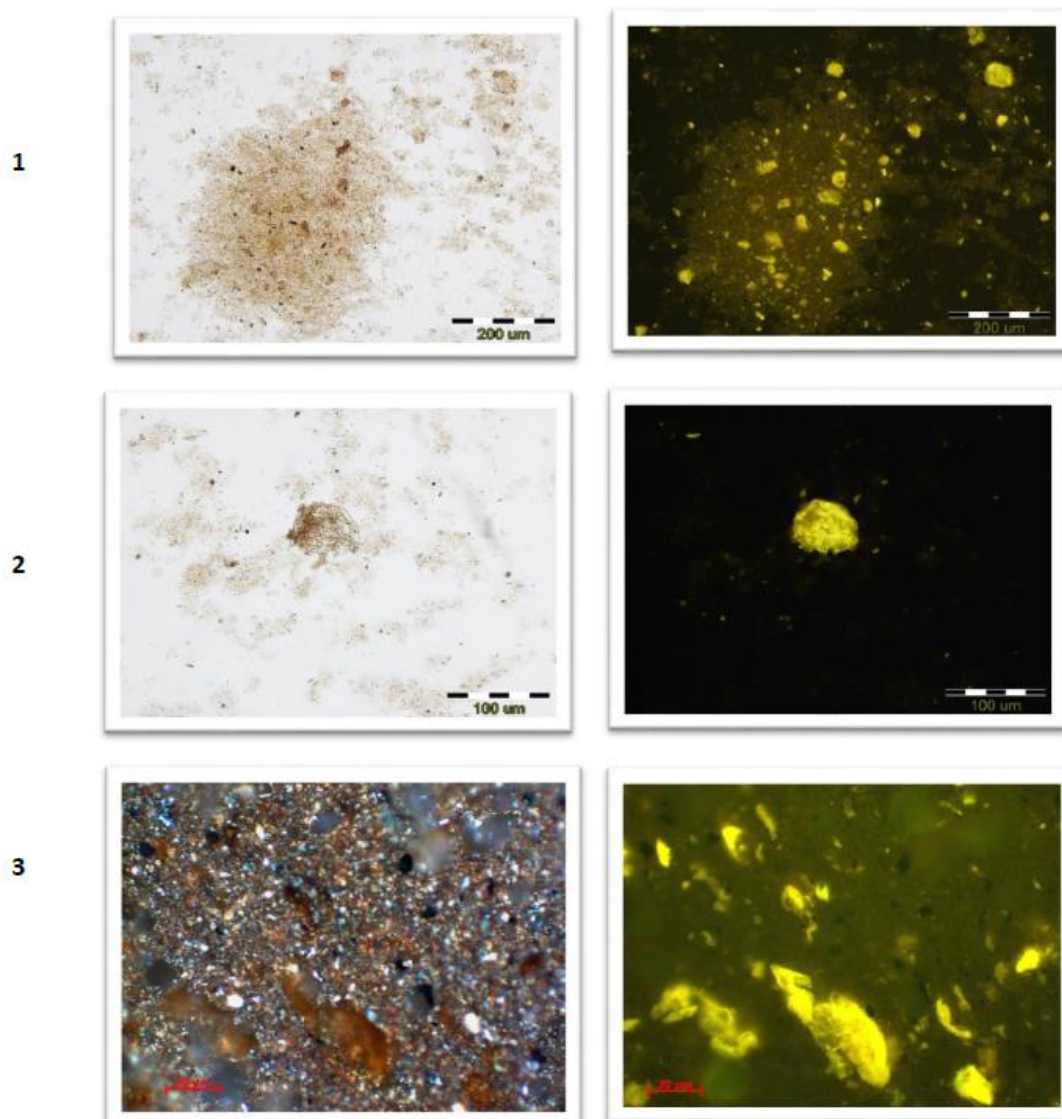


1. Izolirana amorfna organska tvar, prolazno svjetlo (lijevo). Vidljive rijetke tamne (crne) čestice vitrinita i inertinita. Isti detalj (desno), plavo fluorescentno svjetlo. U slabo oker-smeđoj fluorescentnoj amorfnoj masi vidljive žuto-flourescentne čestice liptinitne maceralne grupe (sporinit, liptodetrinit).

2. Izdvojen detalj liptinit, sporinit (prolazno svjetlo lijevo, plavo fluorescentno svjetlo- desno)

3. Amorfna organska tvar, reflektirano svjetlo, uljna imerzija

**TABLA III Uzorak 5C**

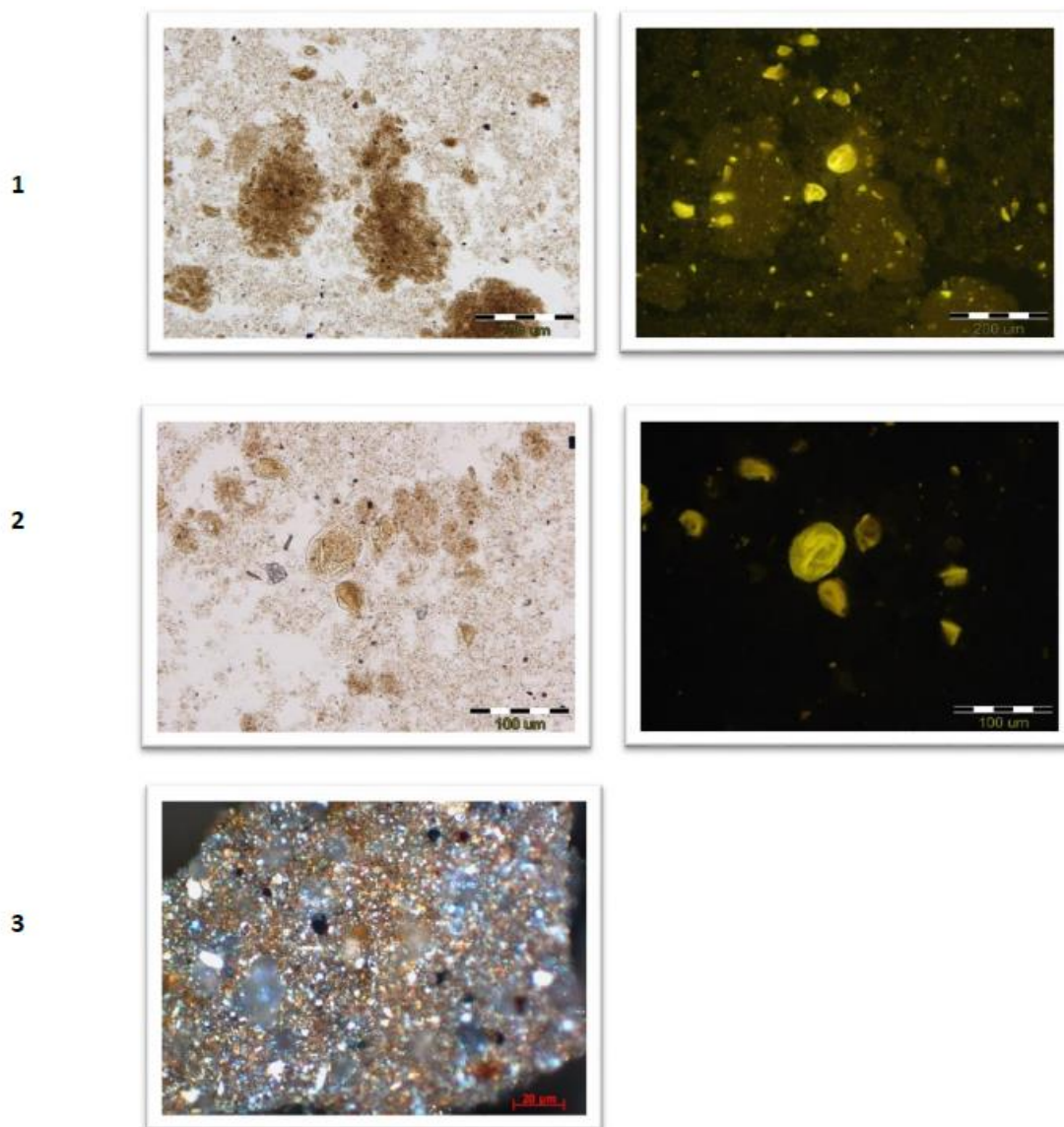


1. Izolirana amorfna organska tvar, prolazno svjetlo (lijevo). Isti detalj, plavo fluorescentno svjetlo (desno). U smeđoj fluorescentnoj amorfnoj masi vidljive žuto-flourescentne čestice liptinitne maceralne grupe (sporinit, liptodetrinit).

2. Izdvojen detalj liptinit, dinoflagelata (prolazno svjetlo lijevo, plavo fluorescentno svjetlo desno)

3. Amorfna organska tvar, reflektirano svjetlo, uljna imerzija (lijevo), plavo fluorescentno svjetlo (desno)

**TABLA IV Uzorak 7C**

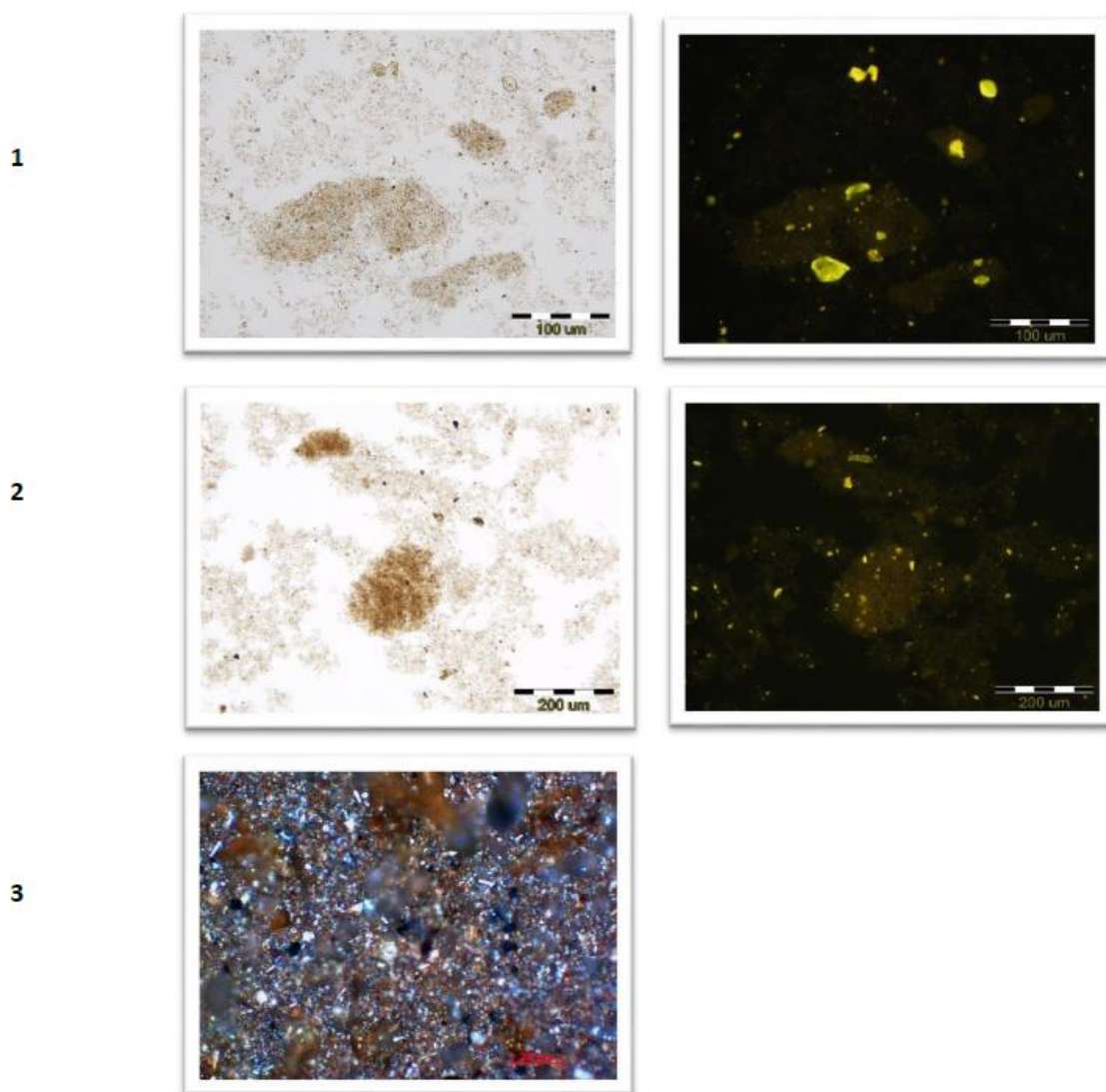


**1. i 2.** Izolirana amorfna organska tvar, prolazno svjetlo (lijevo). Isti detalj plavo fluorescentno svjetlo (desno). U smeđe fluorescentnoj amorfnoj masi vidljive žuto fluorescentne čestice liptinitne maceralne grupe (sporinit, liptodetrinit).

**3.** Amorfna organska tvar, reflektirano svjetlo, uljna imerzija



**TABLA V Bora 4**



**1. i 2.** Izolirana amorfna organska tvar, prolazno svjetlo (lijevo). Isti detalj plavo fluorescentno svjetlo (desno). Vidljive čestice liptinitne maceralne grupe (žuto)

**3.** Amorfna organska tvar, reflektirano svjetlo, uljna imerzija

## 7.2. DUBINSKOGEOLOŠKI PODATCI, ANALIZE I PROSTORNI PRIKAZI

Sarmatski horizont je često određen i korelacijom elektrokarotažnih dijagrama bez odredbe fosilnog sadržaja. U daljnje razmatranje su uzete bušotine u kojima je nađen fosilni sadržaj koji dokazuje ili upućuje na sarmatsku starost. Također su razmatrani podatci bušotina u kojima je određen baden, ali se prema fosilnoj zajednici, korelacijom krivulja i seizmičkom interpretacijom može pretpostaviti sarmatska starost.

### 7.2.1. Bušotine s dokazanim sarmatom prema fosilnom sadržaju u jezgrovanom materijalu

U ovom potpoglavlju dan je pregled istraživačkih bušotina zapadnog dijela Savske depresije u kojima je određena sarmatska starost prema fosilnom sadržaju u jezgrovanom materijalu (**tablica 7.4.**). Pregledana fosilna fauna jezgrovanog materijala dokazuje da se krovina sarmata nalazi u zoni EK-markera Rs7. Za sve bušotine izrađeni su litološki stupovi sa prikazom karotažnih mjerenja. Ek-marker Rs7 je određen ili revidiran. Radi prikupljanja dodatnih podataka iz preostalog jezgrovanog materijala izrađeni su izbrusci, te je fotografiran dostupan bušotinski materijal iz jezgri.

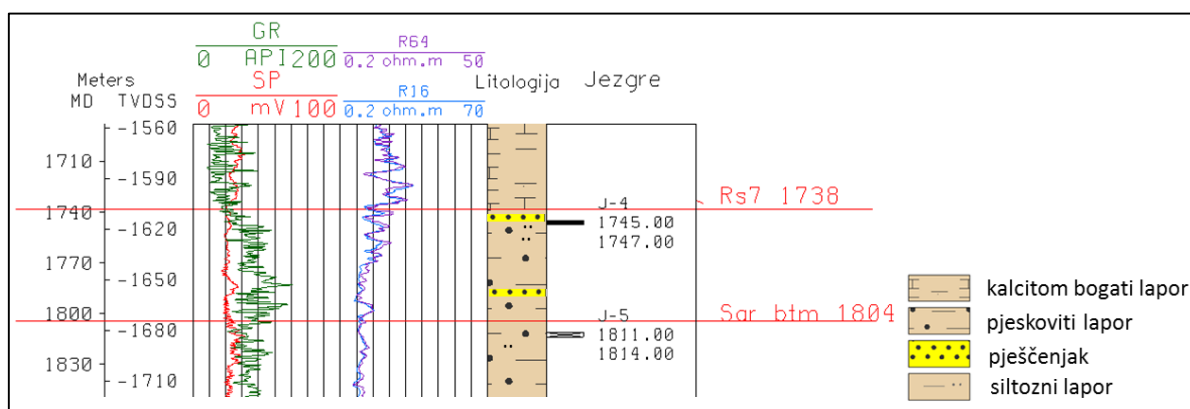
**Tablica 7.4.** Jezgrovani intervali odabranih bušotina

| Bušotina | god. bušenja | Rs7   | TD     | JEZGRE |                 |             | LITOLOŠKI OPIS (Dossier bušotine)                  |
|----------|--------------|-------|--------|--------|-----------------|-------------|----------------------------------------------------|
|          |              | MD(m) | MD(m)  | br.    | interval        | dobiveno(m) |                                                    |
| B-1      | 1988         | 1738  | 2428,0 | J-4    | 1745-1747       | 2           | kalcitom bogati lapor, pješčenjak i siltozni lapor |
| B-2      | 1976         | 1180  | 2263   | J-1    | 1187-1191       | 4           | kalcitom bogati lapor                              |
| B-3      | 1952         | 366   | 427,3  | J-1    | 365,5-370,5     | 5           | kalcitom bogati lapor, bituminozni lapor           |
| B-4      | 1952         | 259   | 328,7  | J-17   | 254,9-259,9     | 5           | pjeskoviti lapor                                   |
|          |              |       |        | J-21   | 272,4-277,7     | 2,5         | pjeskoviti lapor                                   |
| B-5      | 1952         | 836   | 997    | J-66   | 837,5-838,5     | 1           | lapor                                              |
| B-6      | 1967         | 2406  | 2604   | J-9    | 2443-2445,2     | 1,9         | kalcitom bogati lapor                              |
|          |              |       |        | J-10   | 2445-2447       | 0,9         | kalcitom bogati lapor                              |
| B-7      | 1975         | 2112  | 2711,4 | J-2    | 2131-2133,5     | 1           | kalcitom bogati lapor                              |
| B-8      | 1983         | 1500  | 4145   | J-3    | 1392-1394       | 2           | siltozni i kalcitni lapor                          |
|          |              |       |        | J-4    | 1462-1467       | 5           | siltozni i kalcitni lapor                          |
| B-9      | 1978         | 2357  | 3181   | J-2    | 2366-2367,3     | 0,3         | polimiktni brečokonglomerat, lapor                 |
| B-10     | 1971         | 1479  | 2120,5 | J-6    | 1478-1480       | 2,3         | pjeskoviti i kalcitom bogati lapori                |
| B-14     | 1972         | 2698  | 2730,3 | J-6    | 2728,4 - 2730,3 | 1,9         | lapor                                              |
| B-11     | 1997         | 350   | 883    | J-1    | 416-422         | 5,4         | siltozni lapor, pješčenjak i brečokonglomerat      |

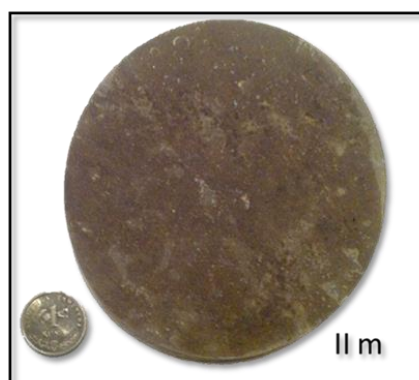
#### Bušotina B-1

U bušotini B-1 analizirana je jezgra, odabrana zbog blizine Rs7, koji je određen na dubini od 1738 metara (**slika 7.12.**). Ispod Ek-markera Rs7 jezgra 4 je izvađena u intervalu od 1745 do 1747 metara, te su unutar jezgre pretpostavljene sarmatske taložine s pretaloženim

badenskim taložinama (popoglavlje 5.2.) Iz drugog metra jezgre u intervalu tamnosivog siltnog lapora (**slika 7.13.**) izrađeni su izbrusci.



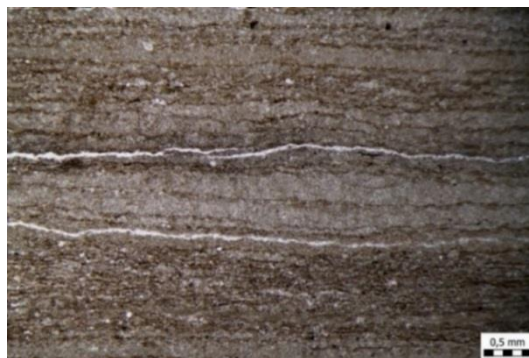
**Slika 7.12.** Karotažni i litološki podaci iz bušotine B-1 (istraživani interval)



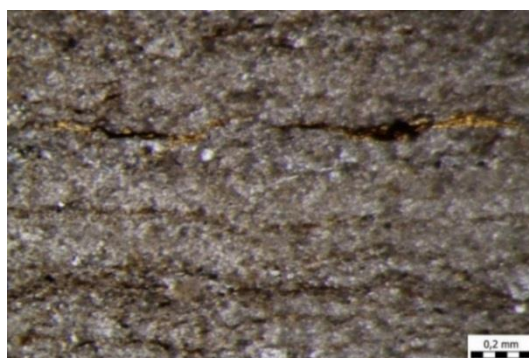
**Slika 7.13.** Tamnosivi silti lator iz bušotine B-1, dio jezgre-4, 2. metar

Ispod donje granice sarmatskih naslaga, iz jezgre 5 (1811-1814 m) dobiven je tamnosivi pjeskoviti lapor. Zbog male količine sačuvanog materijala iz jezgre nisu napravljene dodatne analize. Na karotažnoj krivulji GR uočen je interval porasta prirodne radioaktivnosti ispod Ekmarkera Rs7 te je na osnovi toga određena donja granica sarmatskih naslaga.

Iz uzoraka jezgre 4 izrađeni su petrografski izbrusci. Na osnovi petrografskog izbruska stijena je određena kao madston. U izbrusku 1 su vidljive lamine te se vjerojatno radi o stromatolitu. Unutar madstona prisutan je paralelni anastomozirajući laminirani set s glinovitom ispunom (**slika 7.14.**). Na **slici 7.15.** vidljiva je i ispunu organske tvari.



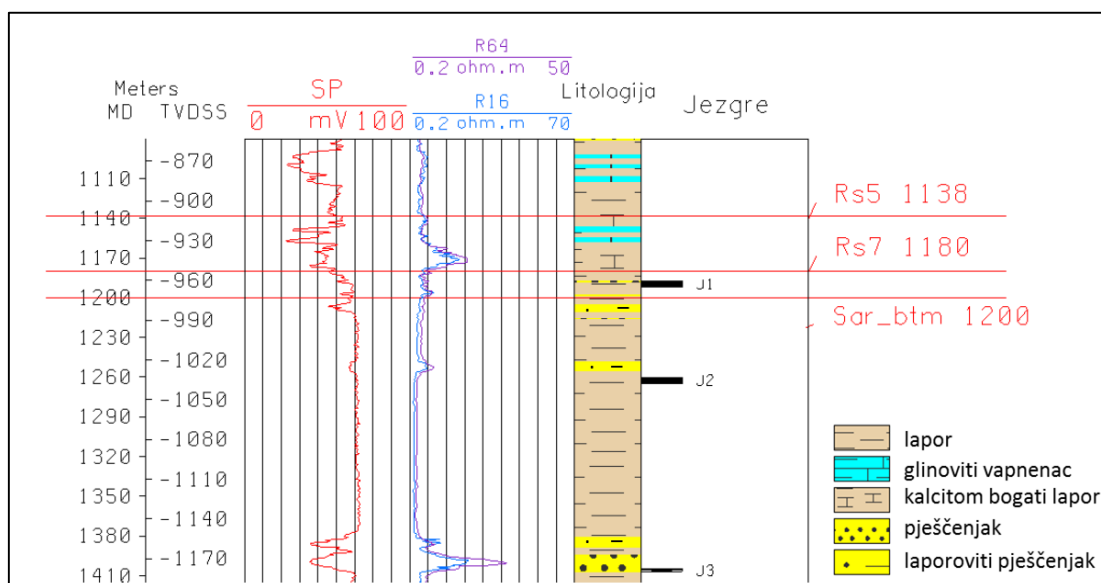
**Slika 7.14.** Bušotina B-1, jezgra-4, 2. metar (petrografski izbrusak 1)- madston sa paralelnim anastomozirajućim laminiranim setom s glinovitom ispunom.  
*Rijetko su prisutna siliciklastična zrna dimenzije silta*



**Slika 7.15.** Bušotina B -1, jezgra-4, 2. metar (petrografski izbrusak 2)- madston s nepravilnim laminama s glinovitom ispunom te organskom tvari

## **Bušotina B-2**

U bušotini B-2 EK marker Rs7 je određen na dubini od 1180 m (**slika 7.16.**). Sarmatske naslage jezgropane su u intervalu od 1187,6 do 1191,9 metrara (jezgra-1) (**slika 7.17.**) unutar sivog laminiranog lapora. Dostupni karotažni podatci i interpretacija litologije prikazani su **slikom 7.16.**



**Slika 7.16.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-2 (istraživani interval)



**Slika 7.17.** Sivi laminirani lapori iz bušotine B-2, dio jezgre 1 (II., III. i IV. metar)

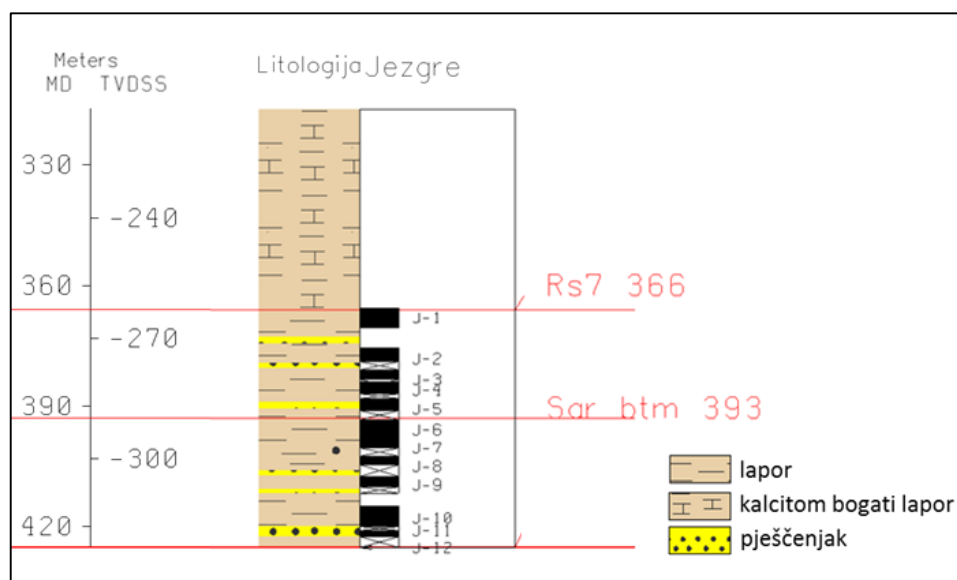
Izbrusci od prvog do trećeg metra nisu uspjeli, pa je prikazan samo četvrti metar jezgre 1. Na osnovi petrografskog preparata stijena je određena kao madston do vekston (**slika 7.18.**).



**Slika 7.18.** Bušotina B-2, jezgra-1, 4. metar (petrografski izbrusak)- madston do vekston s presjecima ostrakoda. Unutar madstona mjestimice je prisutna organska tvar

### Bušotina B-3

Bušotina B-3 nema digitaliziranih krivulja. Marker Rs7 preuzet je iz izvještaja (izvještaj, 1952) na dubini od 366 metara. Litologija je interpretirana prema opisu materijala iz isplake (slika 7.19.).



**Slika 7.19.** Litološki podatci iz bušotine B-3 (istraživani interval)

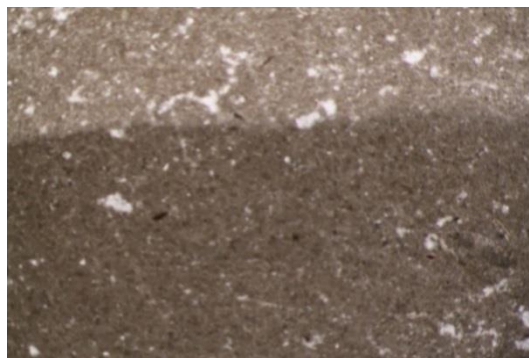
U skladištu jezgara Mramor brdo dostupna je jezgra 1 na dubini 365,5 do 370,5 metara (slika 7.20.).



**Slika 7.20.** Lapor iz bušotine B-3, dio jezgre 1

Iz jezgre-1 napravljen je izbrusak. Stijena je na osnovi petrografskog izbruska određena kao madston do vekston (slika 7.21.).

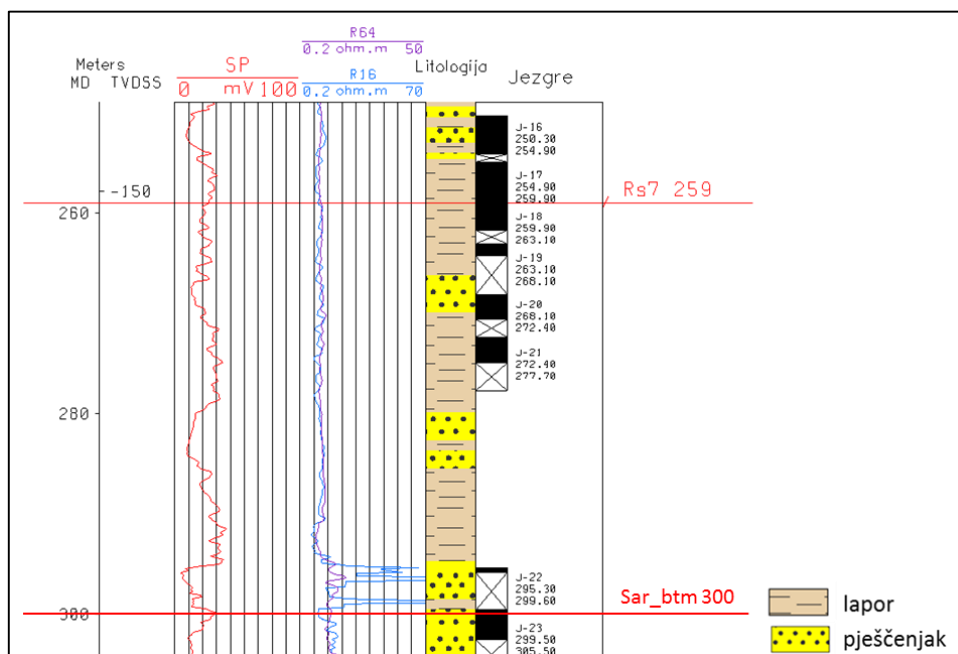




**Slika 7.21.** Bušotina B-3, jezgra-1 (petrografski izbrusak)- madston do vekston s presjecima ostrakoda

### Bušotina B-4

Ek-marker Rs7 bušotine B-4 određen je na dubini od 259 m (**slika 7.22.**). Budući da je bušotina iz 1952. godine, nažalost jezgra u kojoj je utvrđen sarmat nije sačuvana u skladištu u Mramor brdu. Za analizu su uzete preostale dvije jezgre iz zanimljivog intervala. Jezgra 17 koja je neposredno iznad Rs7 i jezgra 21 koja je iznad jezgre kojom je utvrđen sarmat. Izbrusci odabranih jezgara nisu uspjeli.

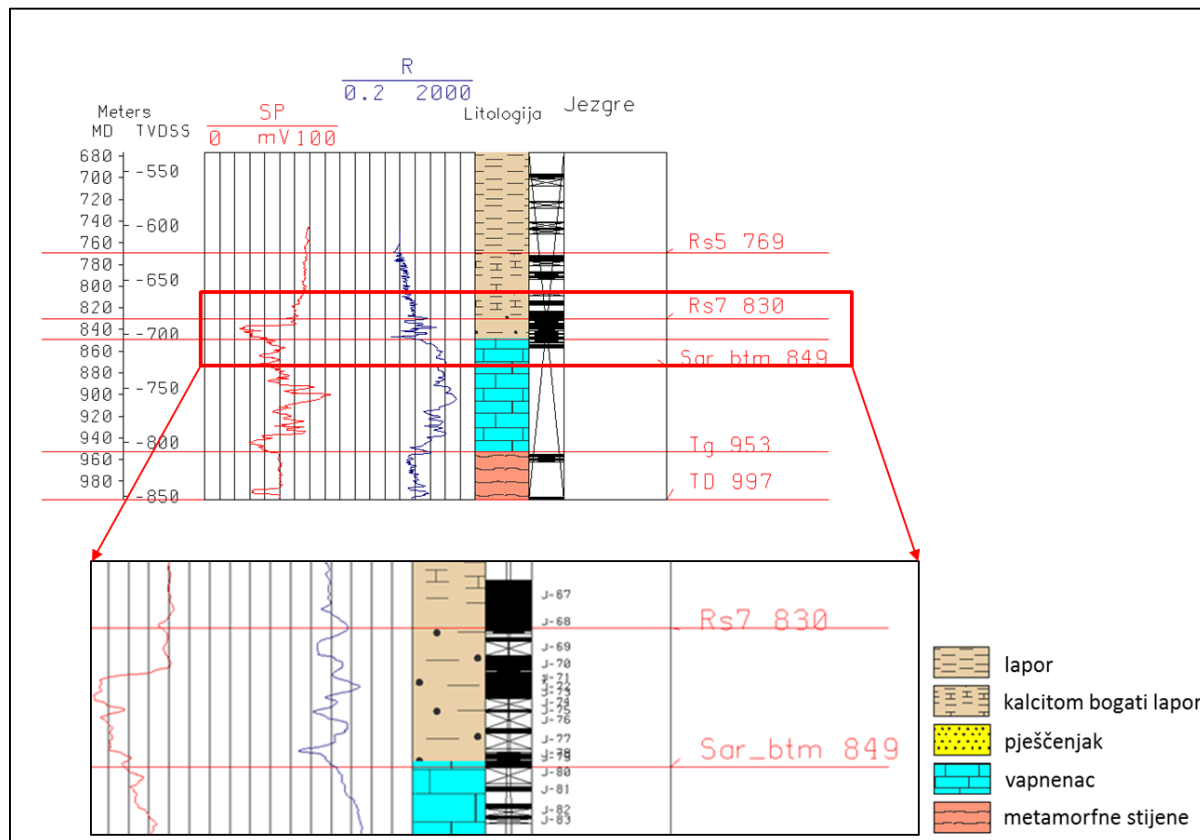


**Slika 7.22.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-4 (istraživani interval)



## Bušotina B-5

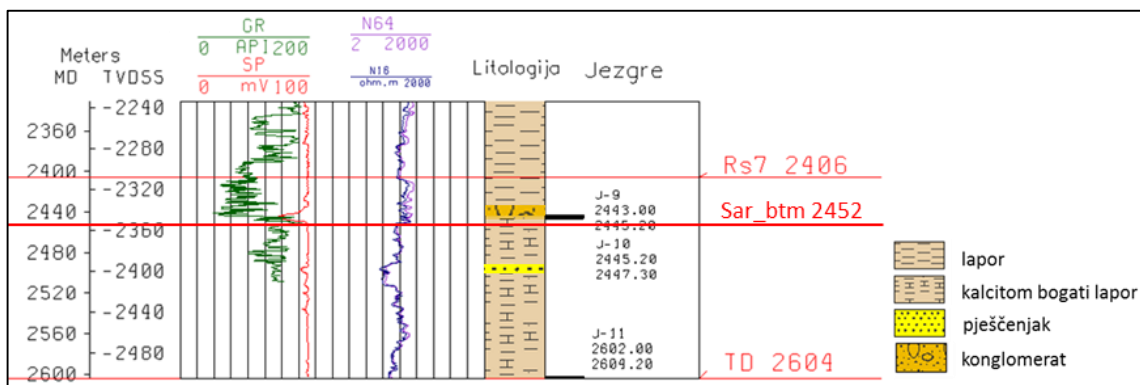
EK-marker Rs7 određen je na dubini 830 m. Iako je u intervalu izvađeno 9 kontinuiranih jezgri (slika 7.23.), jezgrovani materijal nije sačuvan te nije bilo moguće izraditi petrografske izbruske.



**Slika 7.23.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-5 (istaživani interval)

## Bušotina B-6

EK marker Rs7 određen je na dubini od 2406 m (slika 7.24.). U intervalu sarmatskih taložina jezgrovani su intervali kalcitom bogatih lapora i konglomeratičnih pješčenjaka jezgre 9 (2443-2445,2 m) (slika 7.25.) i kalcitom bogati lapori i lapori jezgre 10 (2445 -2447 m) (slika 7.26.).



**Slika 7.24.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-6 (istaživani interval)

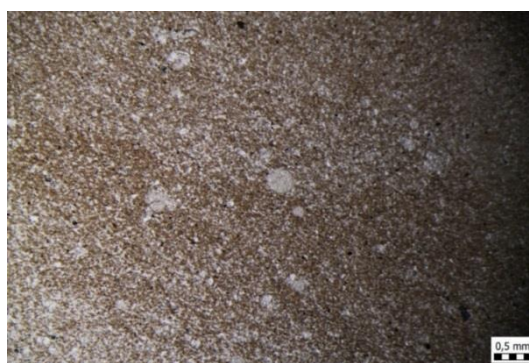


**Slika 7.25.** Kalcitom bogati lapor iz bušotine B-6, dio jezgre-9



**Slika 7.26.** Lapor iz bušotine B-6, dio jezgre-10

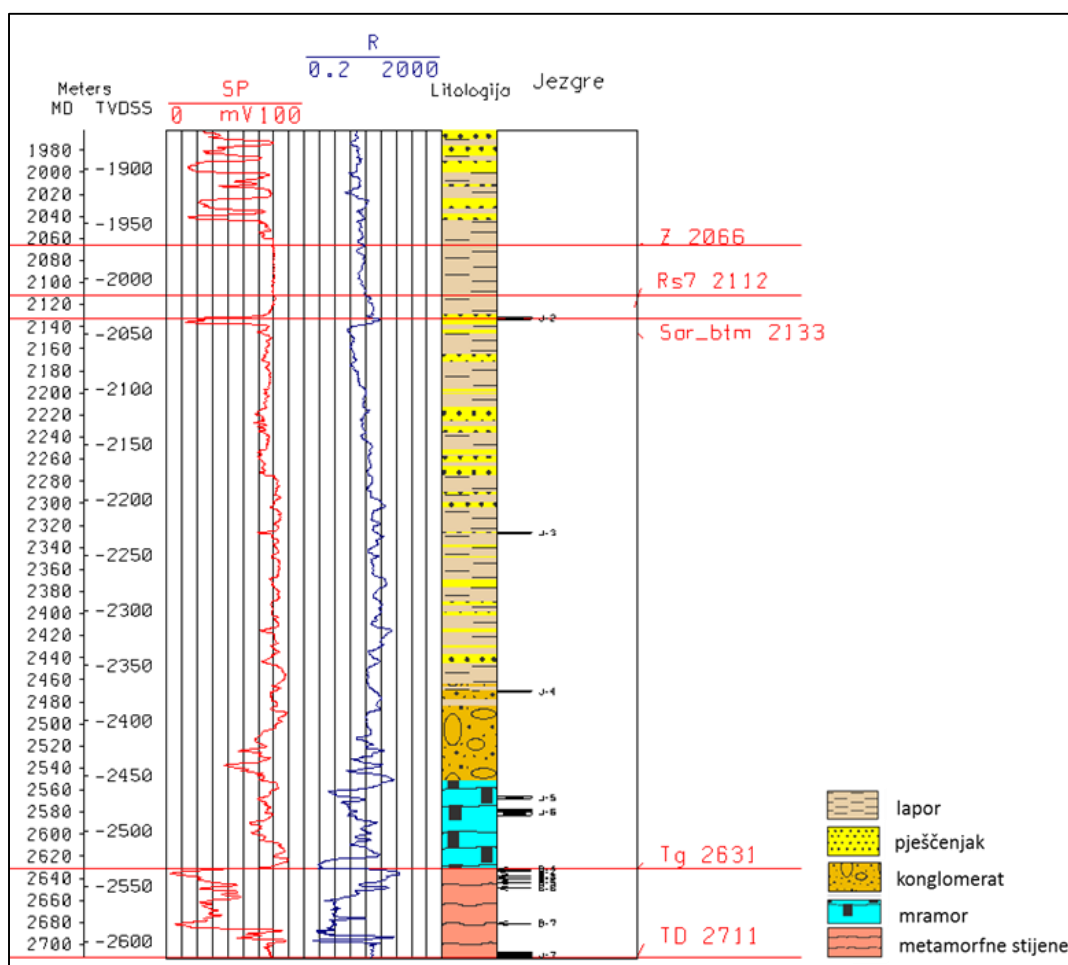
Izrada petrografskog izbruska iz jezgre-9 nije uspjela, te je prikazani izbrusak iz jezgre 10. U jezgri 10 vidljiv je madston, bez laminacije, malo rekristalizirani mulj i rijetko raspršena organska tvar. Stijena je na osnovi petrografskog izbruska određena kao madston do vekston, bez laminacije te rijetko raspršena organska tvar (**slika 7.27.**).



**Slika 7.27.** Bušotina B-6; jezgra-10 (petrografski izbrusak)-madston do vekston

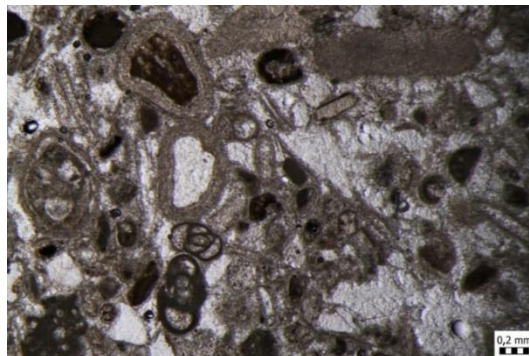
### Bušotina B-7

Ek-marker Rs7 određen je na dubini od 2112 m (**slika 7.28.**). U jezgri 2 dubine od 2131 do 2133,5 m litološki je opisan kalcitom bogati lapor i pješčenjak (*izvješće bušotine*).



**Slika 7.28.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-7 (istaživani interval)

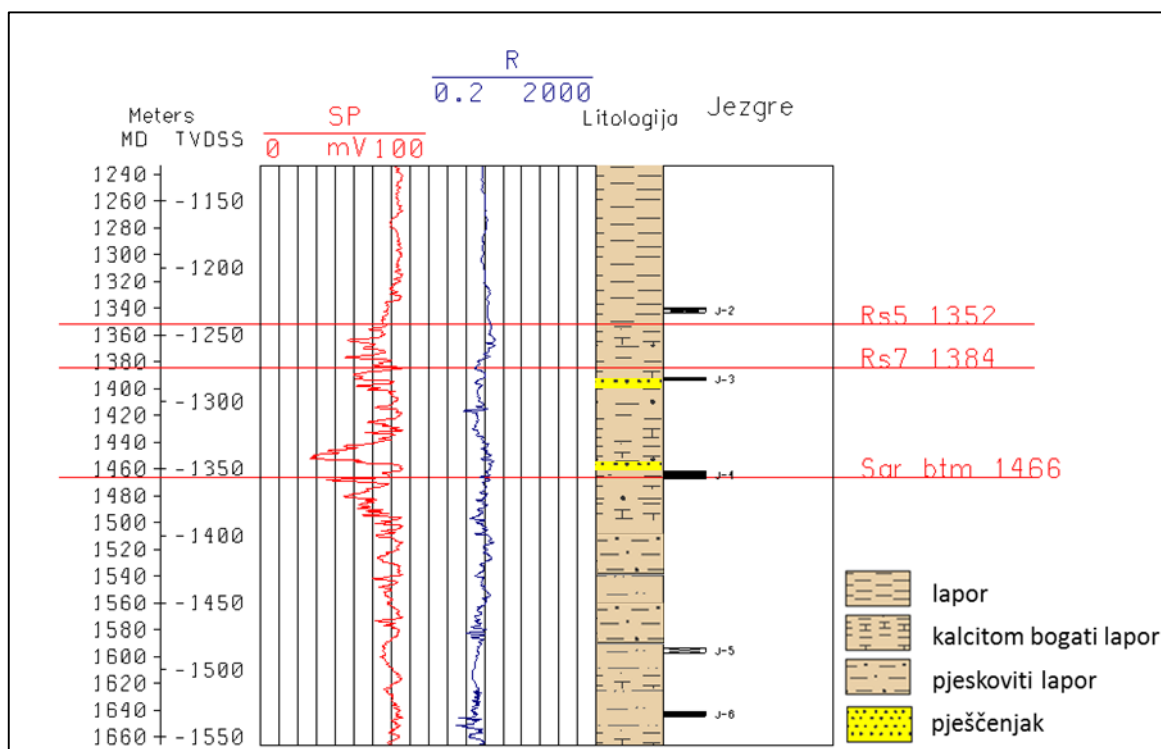
Iz jezgre 2 izrađen je petrografski izbrusak, na osnovi kojeg je stijena određena kao fosiliferni pekston do grejnston što ukazuje na veću energiju vode (**slika 7.29.**). Zrna se međusobno dodiruju, a pojedina zrna imaju kortoidne ovojnice.



**Slika 7.29.** Bušotina B-7; jezgra-2 (petrografski izbrusak 1)- fosiliferni pekston do grejnston

### Bušotina B-8

U intervalu u kojem su sarmatske naslage izvađene su dvije jezgre. Ek-marker Rs7 određen je na dubini od 1384 metra (**slika 7.30.**). U jezgri 3 (1392-1394 m) (**slika 7.31.**) litološki je određen laminirani kalcitni lapor, a u jezgri 4 lapor (1462-1467 m) (**slika 7.32.**)



**Slika 7.30.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-8 (istaživani interval)



*Slika 7.31. Kalcitom bogati lapor bušotine B-8, dio jezgre-3, 1. metar*



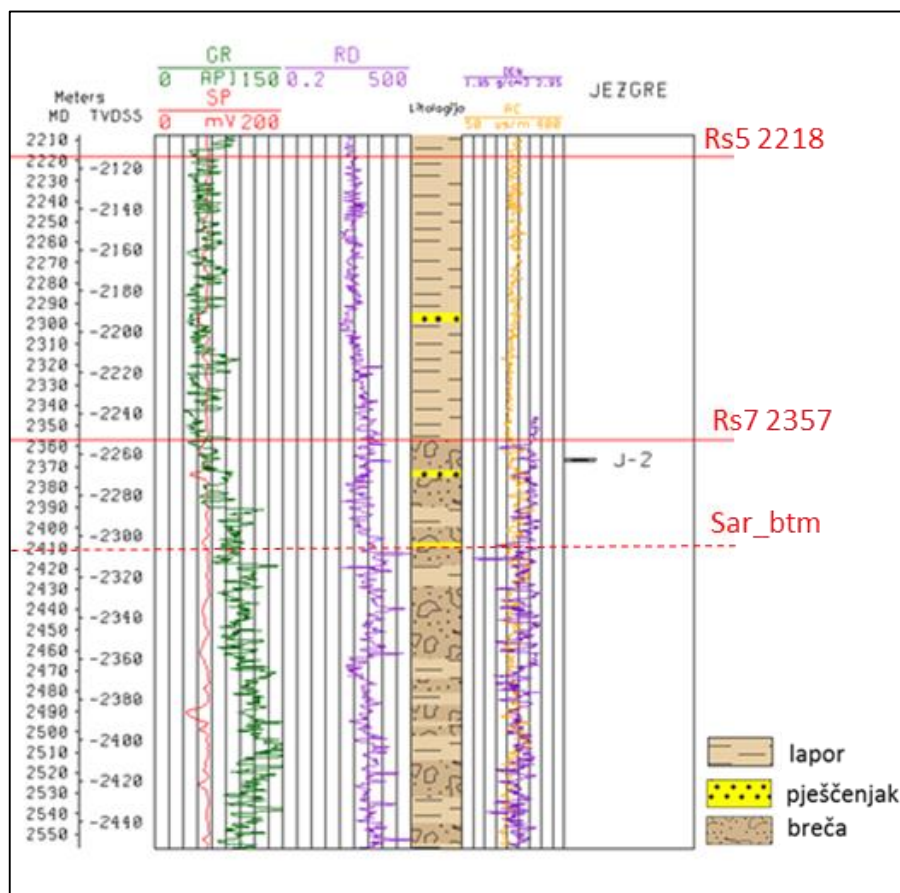
*Slika 7.32. Lapor bušotine B-8, jezgra-4/I., II., III. i IV. metar*

Jezgre su detaljno analizirane u sklopu interne studije, te su rezultati prikazani u potpoglavlju 5.2. te petrografski preparati nisu izrađeni u sklopu ovog rada.

### **Bušotina B-9**

EK markera Rs7 određen je na dubini 2357 m. Donja granica sarmata nije određena te je pretpostavljena na osnovi intervala otporne krivulje, odnosno pada otpornosti u intervalu i promjena trenda krivulje prirodne radioaktivnosti (**slika 7.33.**) U intervalu je jezgra 2 (2366-

2367,3 m) dobivena u komadima od kojih jedan dio pripada brečokonglomeratu, dok je drugi lapor, ali nije dostupna u skladištu jezgara Mramor brdo

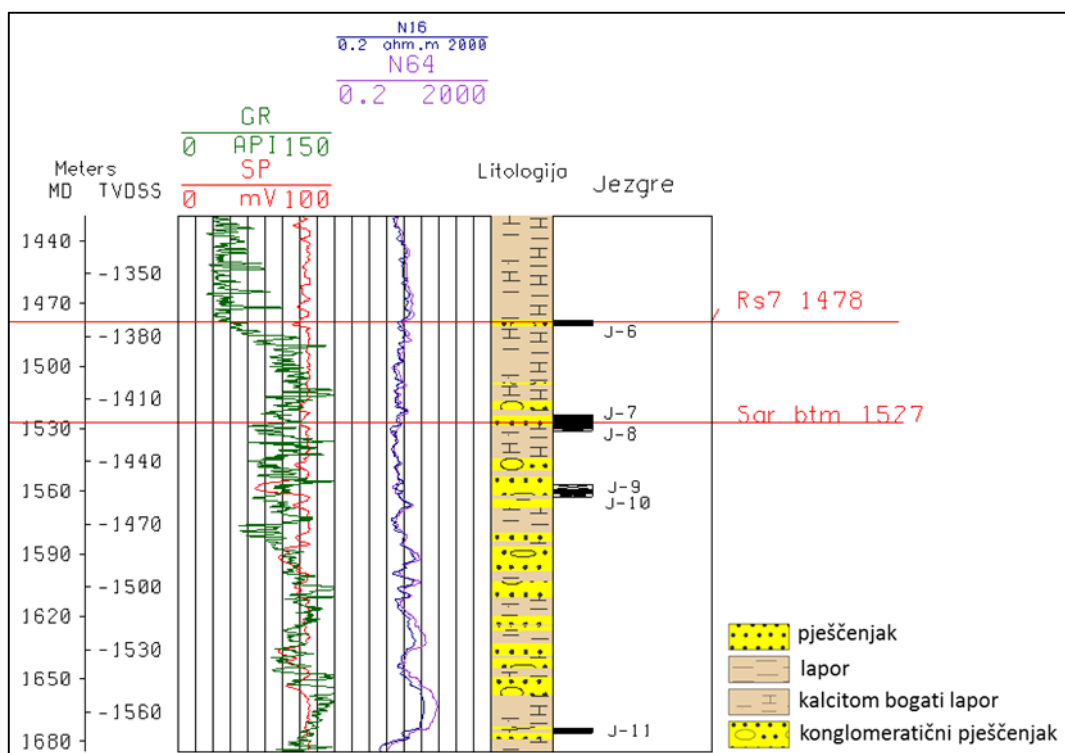


**Slika 7.33.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-9 (istaživani interval)

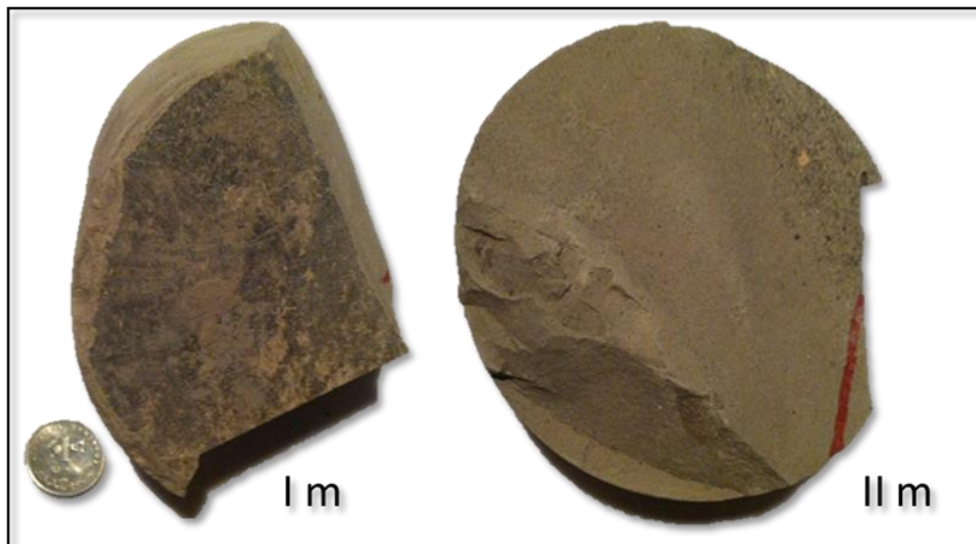
## Bušotina B-10

Ek-marker Rs7 bušotine B-10 određen je na dubini od 1478 m te je izrađen litološki stup (slika 7.34.). U intervalu sarmatskih naslaga, do dubine od 1527 metara uočeno je povećanje prirodne radioaktivnosti (GR). Iz intervala je bila dostupna jezgra 6 (1478 -1480,6 m) te su iz prvog i drugog metra jezgre iz kalcitom bogatih lapora (slika 7.35.) izrađeni petrografski izbrusci.





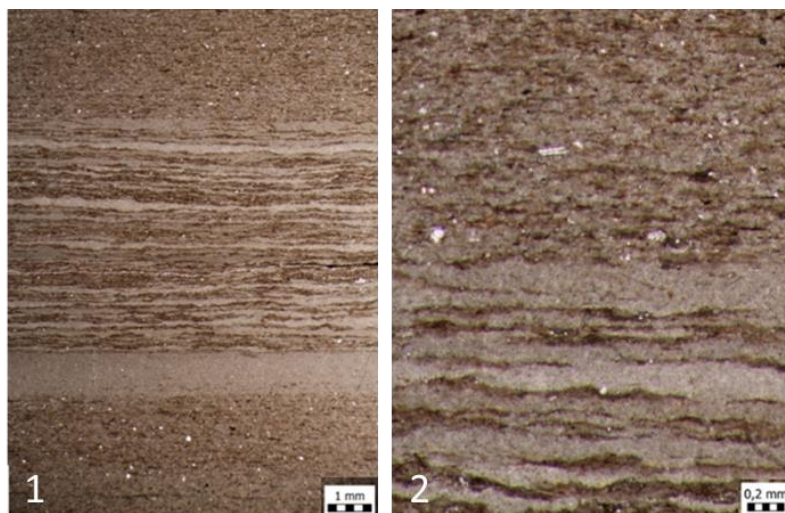
**Slika 7.34.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-10 (istaživani interval)



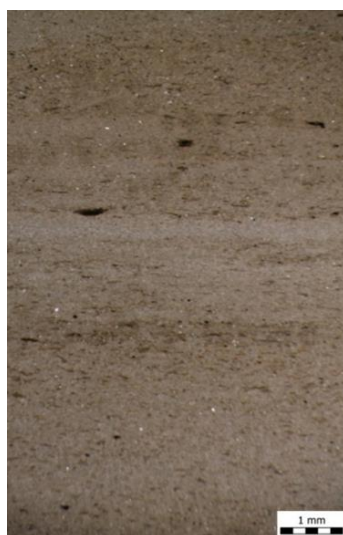
**Slika 7.35.** Kalcitom bogati lapori bušotine B-10, jezgra-6/I., II. metar



Iz petrografskog zbruska iz prvog metra jezgre 6 određen je laminirani maston (**slika 7.36.**), dok je drugi metar jezgre prema petrografskom izbrusku određen kao madston bez laminacije (**slika 4.37.**). Lamine unutar madstona su neravnih površina te podsjećaju na stromatolite.



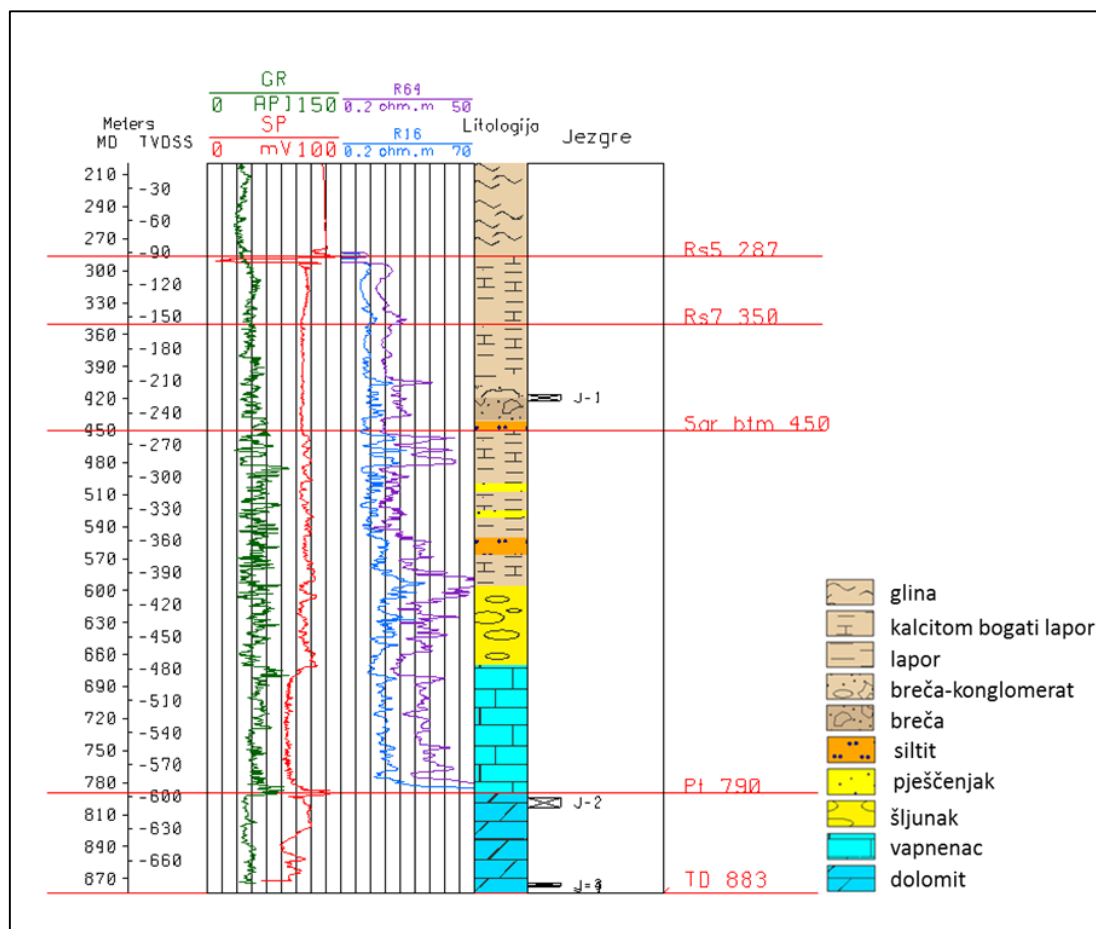
**Slika 7.36.** Bušotina B-10; jezgra-6, 1. metar (petrografski izbrusak) 1- unutar madstona prisutan set paralelnih malo glinovitih neravnih lamina te lamina organske tvari., 4- presjeci ostrakoda te siliciklastična zrna unutar madstona s laminama (vjerojatno stromatolit)



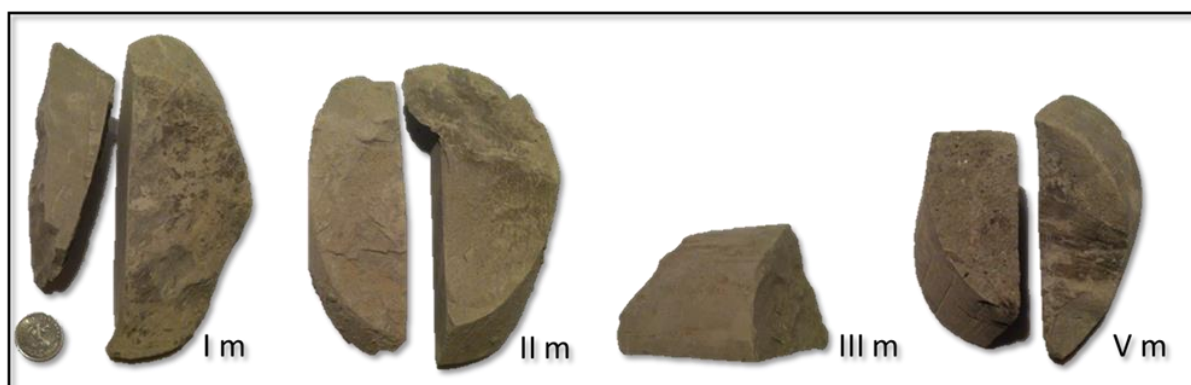
**Slika 7.37.** Bušotina B-10; Jezgra-6, 2. metar (petrografski izbrusak)- organska tvar te siliciklastična zrna unutar madstona

## Bušotina B-11

U bušotini B-11 EK marker Rs7 je određen na dubini od 350 metara, a donja granica sarmatskih naslaga je prema izvještaju na dubini od 450 metara (poglavlje 5.2.) (**slika 7. 38.**). U intervalu je izvađena jezgra-1 (416-422 m) te su iz laporoviti dijelovi fotografirani (**slika 7.39.**).

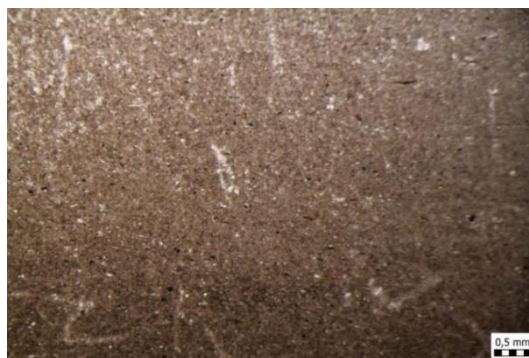


**Slika 7.38.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-11 (istaživani interval)

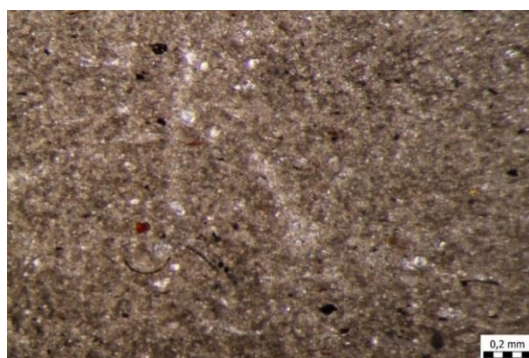


**Slika 7.39.** Siltne lapori bušotine B-11, jezgra-1/I., II., III. i V. metar

Iz petog metra jezgre izrađeni su izbrusci prikazani **slikama 7.40. i 7.41.** Na osnovi petrografskog izbruska određen je madston.



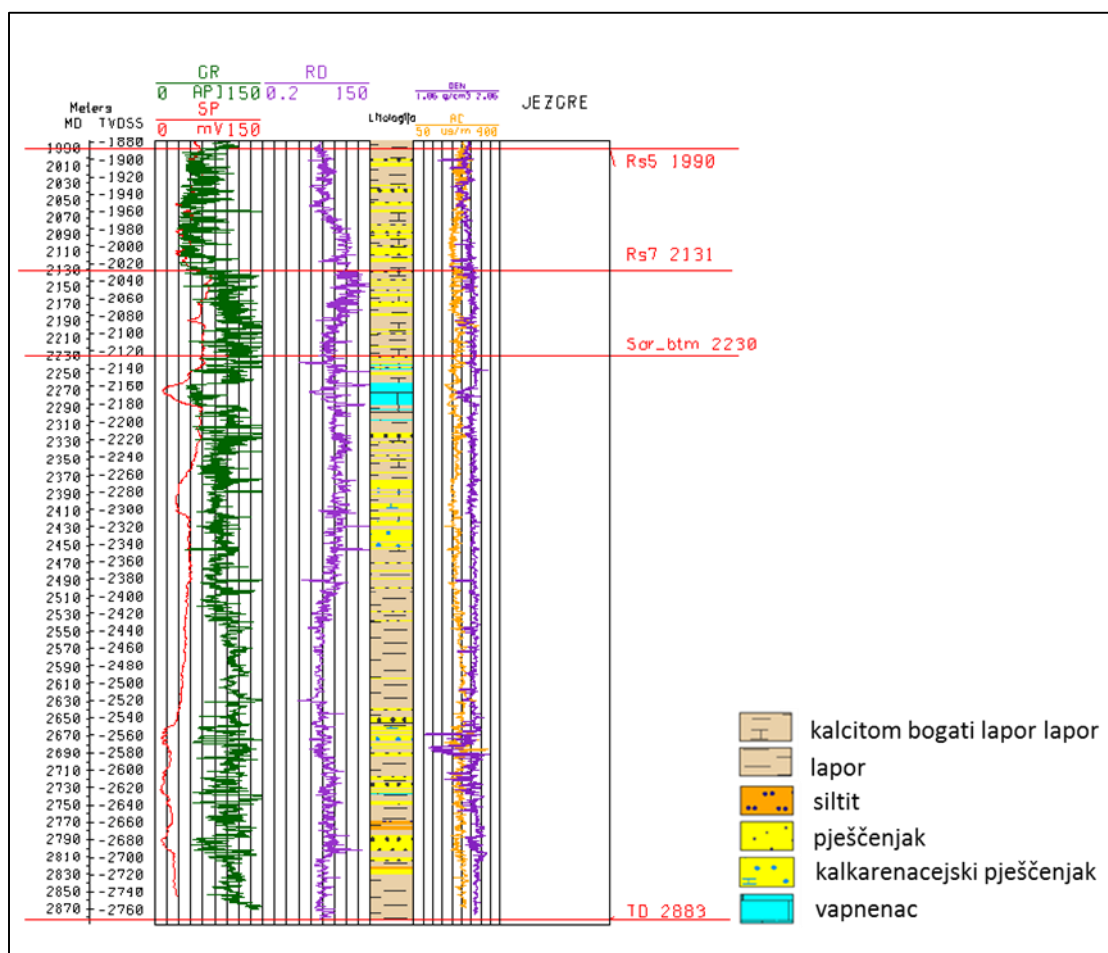
**Slika 7.40.** Bušotina B-11; jezgra-1, 5. metar (petrografski izbrusak)- madston, raspršena organska tvar, ljušturice ostrakoda, zrnca biotita



**Slika 7.41.** Bušotina B-11; jezgra-1/5 m (petrografski izbrusak)- madston, raspršena organska tvar, listići biotita, presjeci ostrakoda te siliciklastična zrna

## **Bušotina B-12**

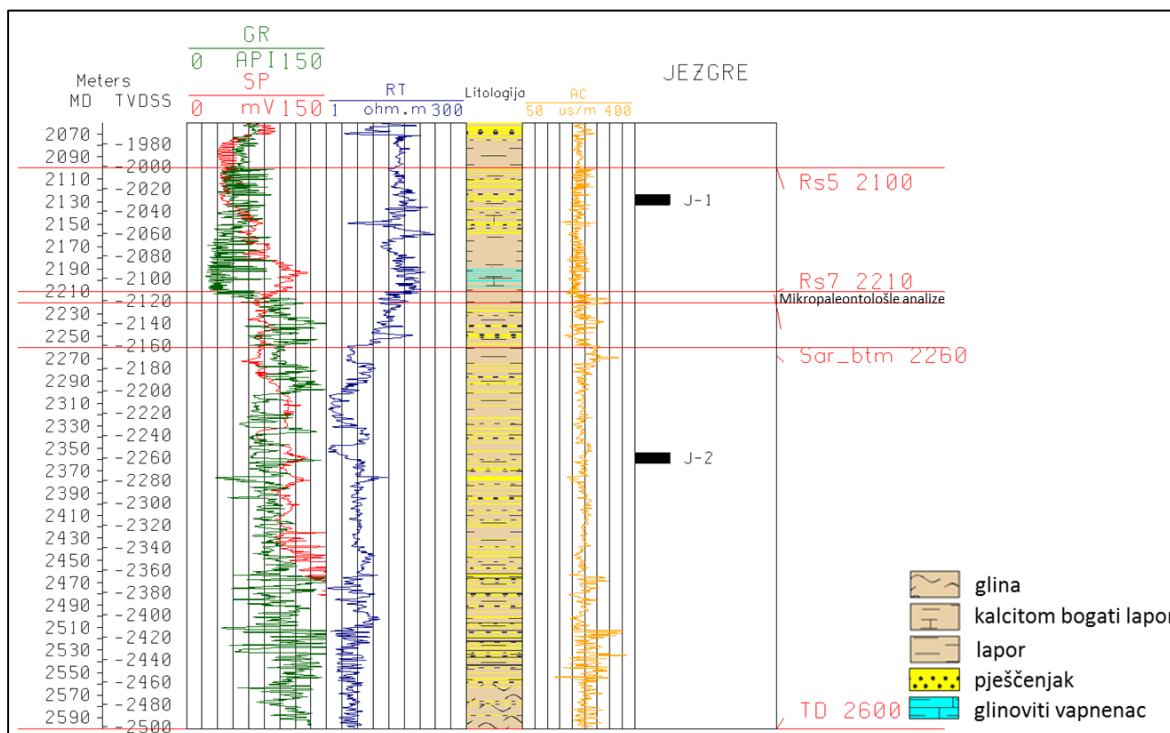
Sarmatske naslage bušotine B-12 su utvrđene mikropaleontološkom interpretacijom uzoraka krhotina sa sita (potpoglavlje 5.2.), interval nije jezgrovan. Ek-marker Rs7 je određen na dubini od 2131 m te je izrađen litološki stup. U intervalu utvrđenih sarmatskih naslaga uočen je porast vrijednosti prirodne radioaktivnost (GR) (**slika 7.42.**).



**Slika 7.42.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-12 (istaživani interval)

### Bušotina B-13

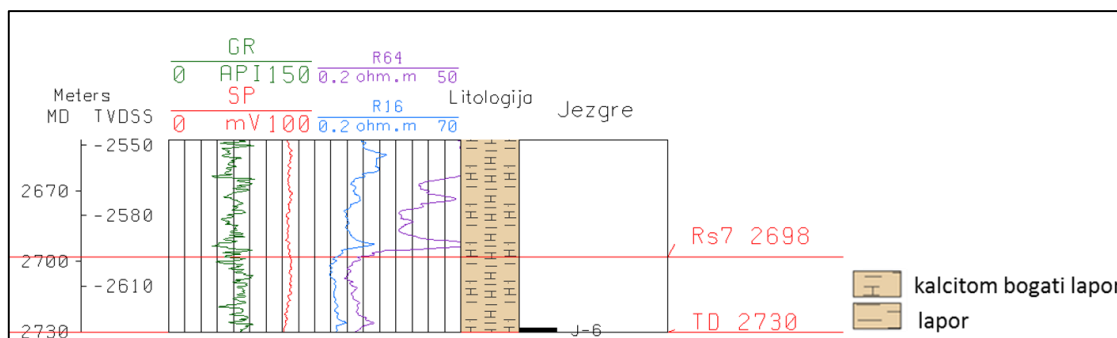
U bušotini su sarmatske naslage utvrđene mikropaleontološkim analizama uzorka krhotina sa sita u intervalu od 2210 do 2220 m (poglavlje 5.2.). Opisani interval nije jezgrovan. Izrađen je litološki stup i određen Ek-marker Rs7 na dubini od 2260 metara (**slika 7.43.**). Prema krivulji prirodne radioaktivnosti GR (povećane vrijednosti) sarmatske bi naslage mogle biti deblje nego što je određeno prema mikropaleontologiji uzoraka sa sita. Podina sarmata bi prema krivuljama GR i otpornosti (RT) bila na 2260 m. Na temelju mikropaleontoloških i palinoloških analiza intervala od 2220 do 2260 m ne može se zaključiti o točnoj starosti naslaga, te je podina sarmata određena prema karotažnim krivuljama.



**Slika 7.43.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-13 (istaživani interval)

## Bušotina B-14

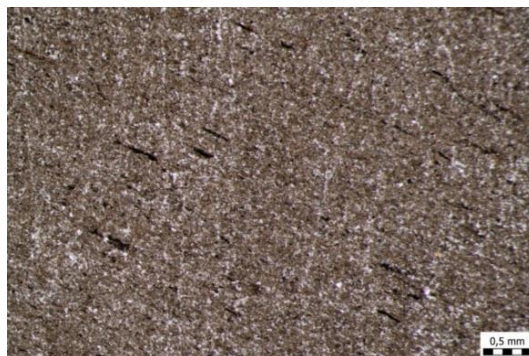
U bušotini B-14 Ek-marker Rs7 je određen na dubini od 2698 metara i izrađen je litološki stup (**slika 7.44.**) Donji dio probušenih naslaga je jezgrovan (J-6 2728,4- 2730 m).



**Slika 7.44.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-14 (istaživani interval)



Iz drugog metra jezgre 6 izrađen je petrografski preparat na osnovi kojeg je određen madston (**slika 7.45.**).



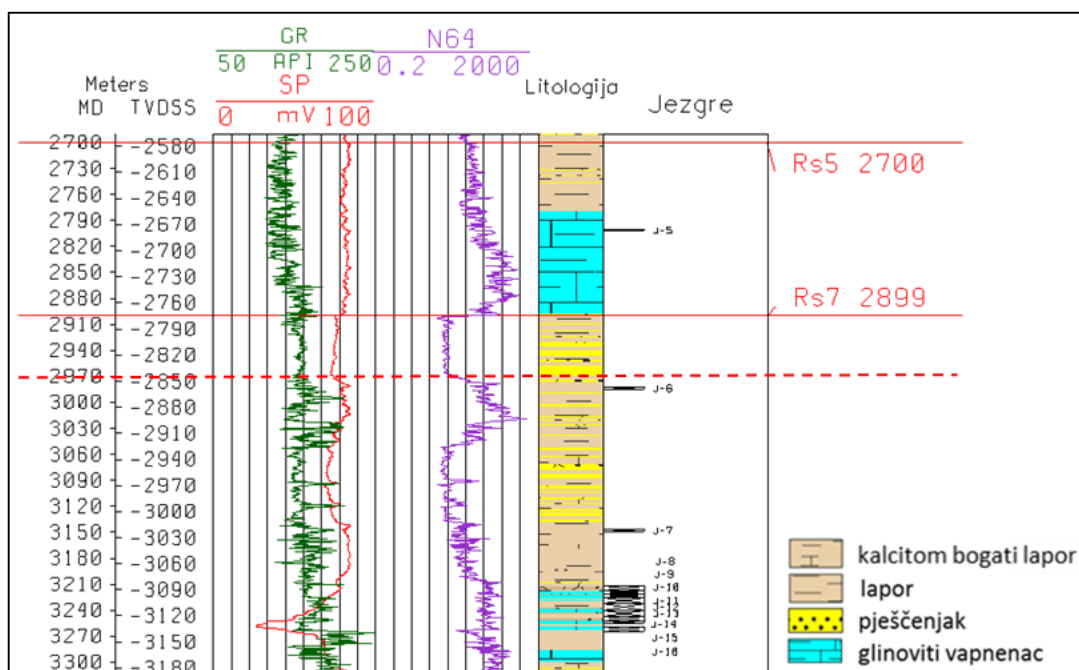
**Slika 7.45.** Bušotina B-14; jezgra-6,2. metar (petrografski izbrusak) – madston s paralelno raspršenom organskom tvari, prisutna je i siliciklastična komponenta

#### **7.2.2. Odabrane istraživačke bušotine u kojima paleontološki nije dokazan sarmat**

U ovom potpoglavlju razmatrane su duboke istraživačke bušotine s najvećim nabušnim debljinama formacije Prečec u kojima prema mikrofosilnom sadržaju nije prepoznat sarmat. Bušotine su smještene u najdubljim dijelovima Savske depresije ili su u blizini površinskih lokaliteta na kojima je dokazan sarmat. Posebno su razmatrane biostratigrafske interpretacije u intervalu ispod Ek-markera Rs7. Pokušalo je utvrditi na kojoj dubini se javlja fosilna zajednica provodna isključivo za baden i da li je gornji dio badena pretpostavljen na temelju fosila šireg raspona pojavljivanja.

##### **Bušotina B-15**

EK marker Rs7 određen je na dubini od 2899 m. Od Ek markera Rs7 do dubine 2975 prema karotažnim krivuljama izdvojen interval koji se razlikuje od krovine i podine (**slika 7.46.**). U intervalu nema jezgara, unutar lapora je interpretacijom litologije utvrđen veći postotak pješčenjaka od krovinskog i podinskog intervala.

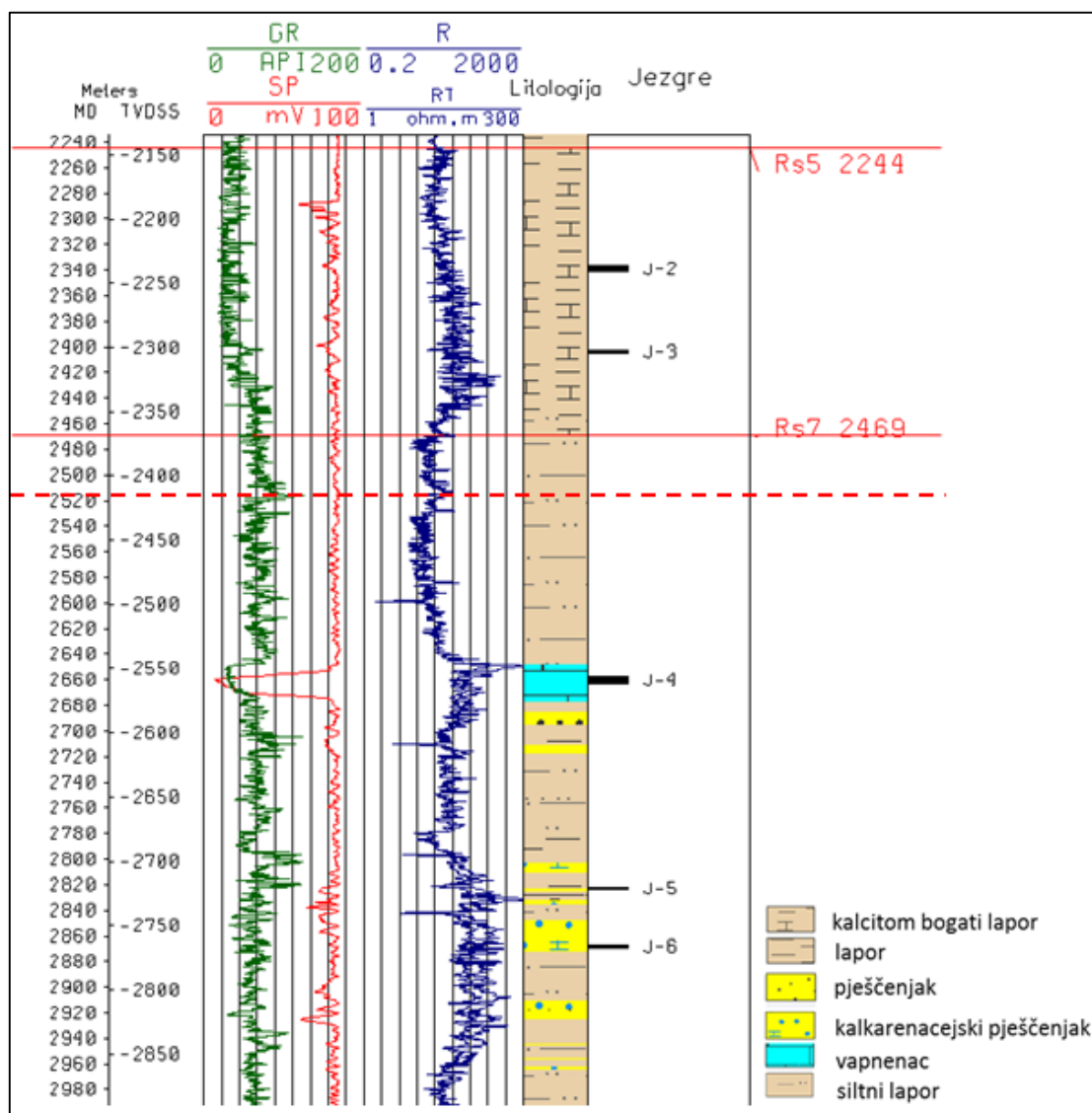


**Slika 7.46.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-15 (istraživani interval)

## Bušotina B-16

Bušotina je probušila 1647 metara formacije Prečec. Ek marker Rs7 određen je na dubini od 2469 metara. (slika 7.47.). Unutar siltnih lapora od 2469 do 2515 metara dubine izdvojen je interval pada otpornih vrijednosti, u kojem nema jezgara. Iz uzoraka sa sita utvrđena je dubljevodna i plitkovodna fosilna zajednica (potpoglavlje 5.3.) te je zbog toga pretpostavljen prijelazni okoliš. Zbog loše očuvanost mikrofosila (rekristalizacija, piritizacija, otapanje i deformacije kućica) u intervalu od 2469 do 3450 m, nije bila moguća detaljnija podjela te je za cijeli interval određena badenska starost (Premec Fuček et al., 2016). Prema fosilnoj zajednici na dubini od 2845 m uočena je dubljevodna zajednica, dok je od 2469 do 2845 zajednica plićeg morskog okoliša. U intervalu su određeni *Cibicidoides lobatulus*, *Bolivina* sp., *Bulimina* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Amphistegina* sp., *Heterolepa* sp., *Elphidium* sp., koralinaceje, briozoi, koralji, *Lithothamnion* sp., *Lithophyllum* sp. (Premec Fuček et al., 2016).

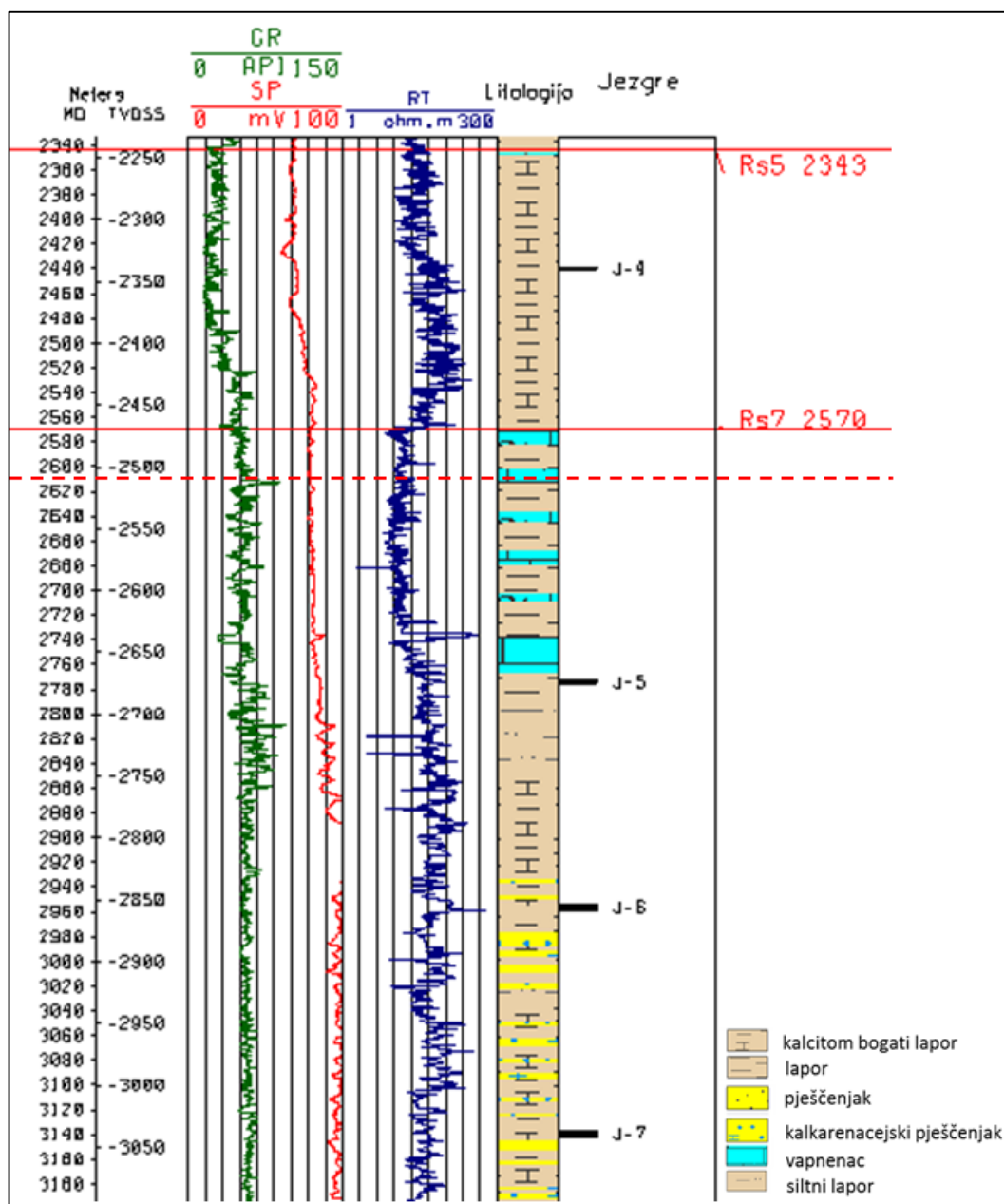




**Slika 7.47.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-16 (istaživani interval)

### Bušotina B-17

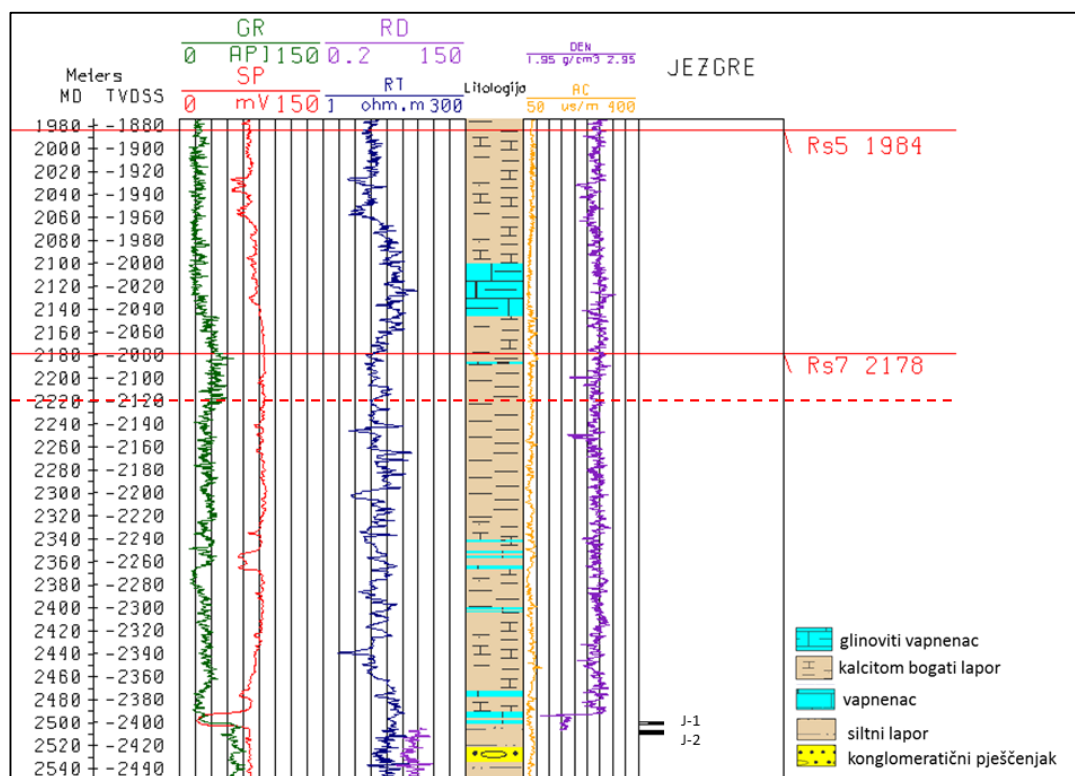
Ek-marker Rs7 određen je na dubini od 2570 metara (**slika 7.48.**). Od Ek markera Rs7 pa do dubine od 2610 prema otpornim i krivuljama i krivuljama prirodne radioaktivnosti izdvojen je interval. Isti interval uočen je i izdvojen i na susjednoj bušotini B-16. U intervalu nema jezgara. Budući je je odziv krivulja izdvojenog intervala korelativan s bušotinom B-16, i u toj bušotini je pretpostavljen prijelazni okoliš.



**Slika 7.48.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-17 (istaživani interval)

## Bušotina B-18

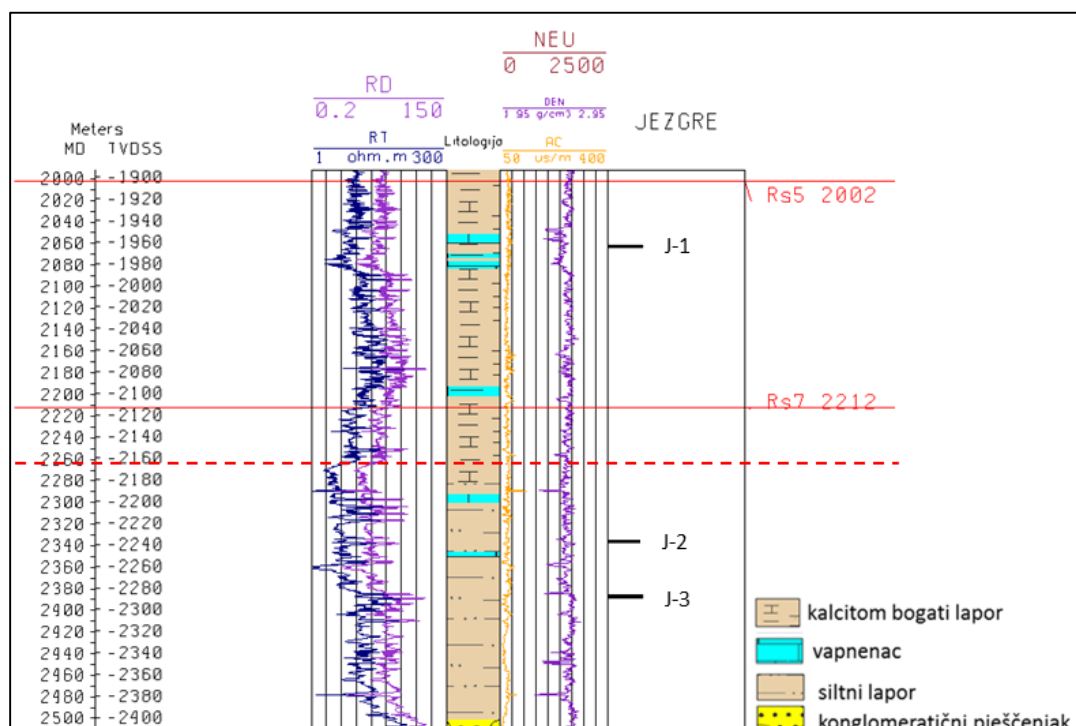
EK marker Rs7 određen je na dubini 2178 m (**slika 7.49.**). Izdvojen je interval porasta prirodne otpornosti i pada otpora od Ek markera Rs-7 do dubine od 2220 metara. Prema obilježju fosilne zajednice iz materijala iz isplake u kojoj dominiraju planktonske vrste okoliš je određen kao dubljevodni.



**Slika 7.49.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-18 (istaživani interval)

## Bušotina B-19

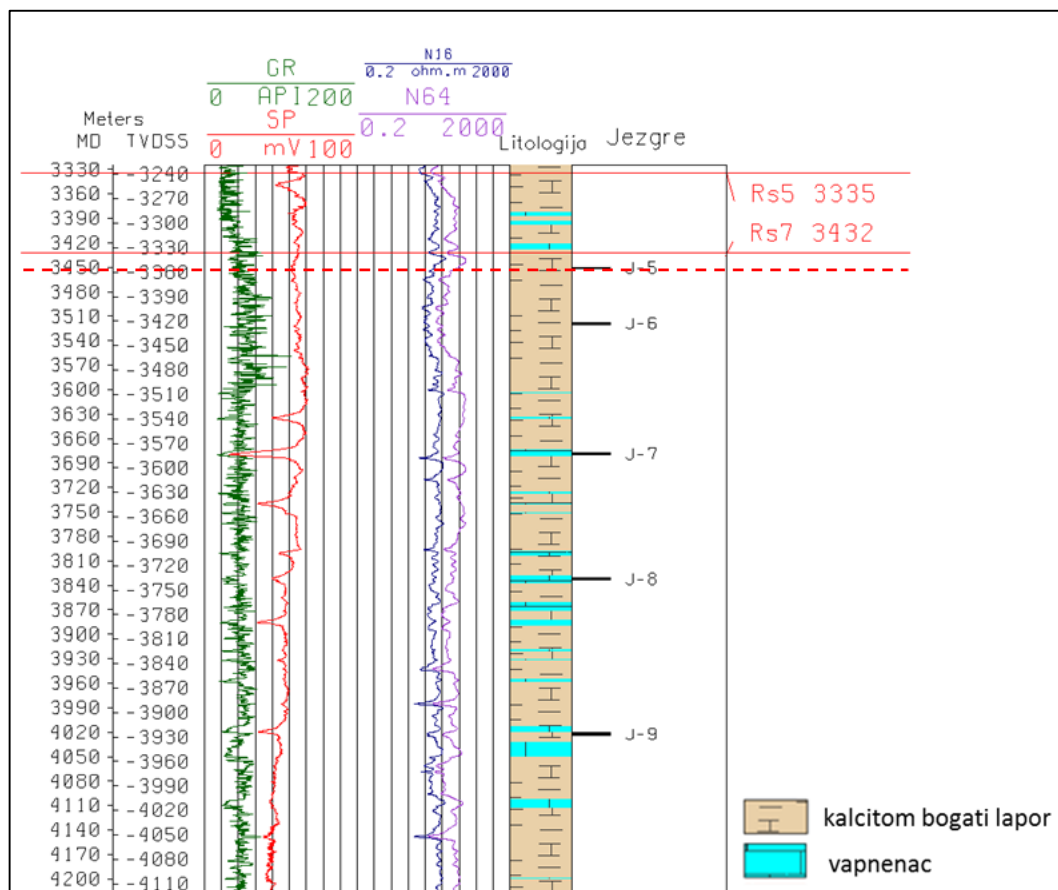
EK marker Rs7 nabušen je na dubini 2212 m (**slika 7.50.**) čime ukupna debljina naslaga formacije Prečec iznosi 1517 metara. Ispod Ek-markera Rs7 izdvojen je interval pada otpora do 2265 metara dubine. U intervalu nema jezgrovanih intervala.



**Slika 7.50.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-19 (istraživani interval)

## Bušotina B-20

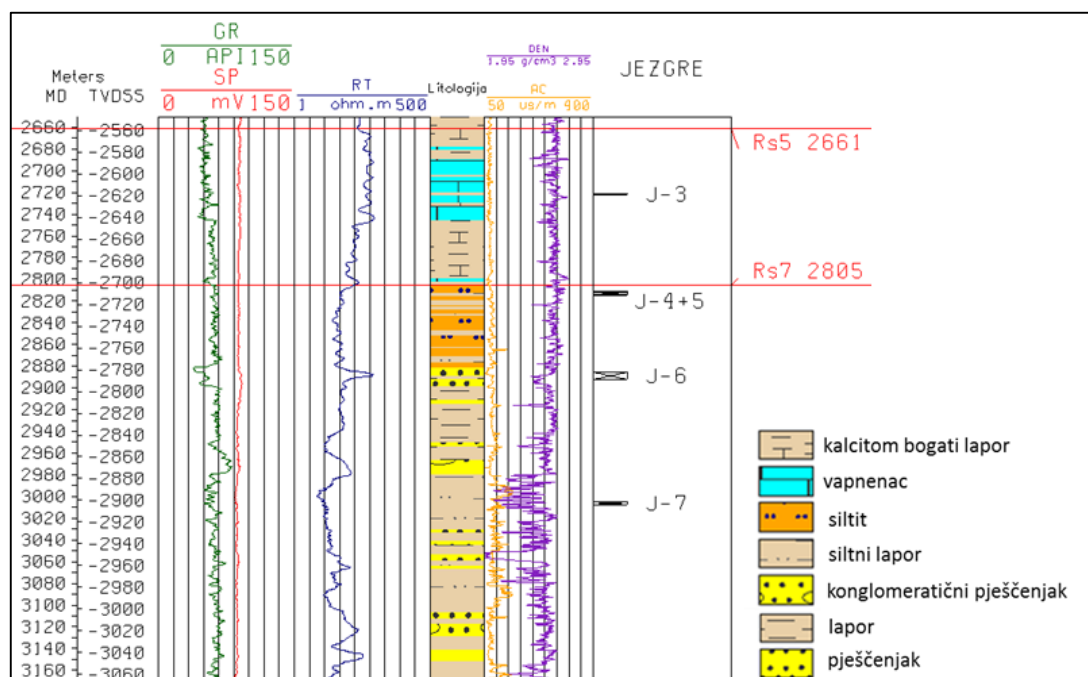
Ek-marker Rs7 je nabušen na 3432 metra (**slika 7.51.**), a ukupna debljina naslaga formacije Prečec iznosi 1517 metara. Interval od Ek-markera Rs7 do 3470 m je izdvojen prema odzivu karotažnih krivulja. U intervalu je jezgra 5 (3450-3451 m), ali od uzoraka su bili dostupni samo tanki izbrusci jezgrovanih intervala te su utvrđeni kalcitom bogati lapori. Litološki je opisan tamnosivi tvrdi pjeskoviti lapor (Premec Fuček et al., 2016).



**Slika 7.51.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-20 (istaživani interval)

## Bušotina B-21

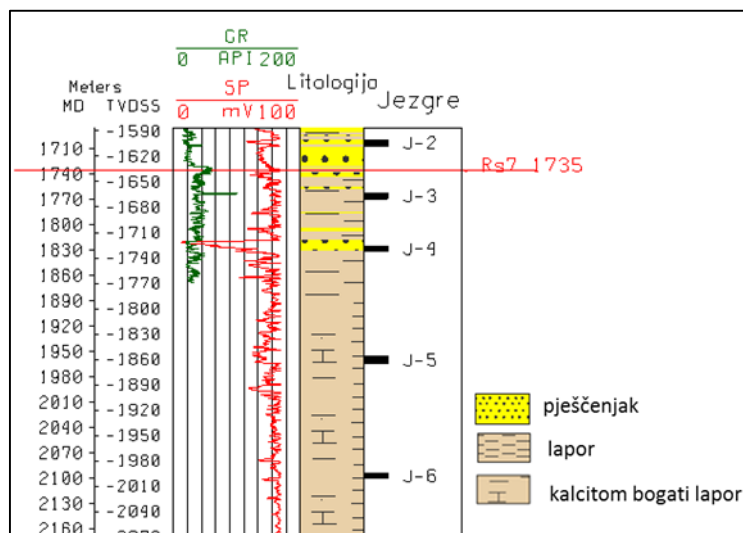
Ek-marker Rs7 na dubini od 2805 metara (**slika 7.52.**). Ukupna debljina probušene formacije Prečec je 1560 metara. Unutar jezgara 4 i 5 (2811-2814 m) opisan je silit i utvrđena je dubljevodna badenska mikrofosilna zajednica. (Premec Fućek et al., 2016). U bušotini nema sarmatskih naslaga. Oko bušotine B-21 (u bušotini) nema sarmatskih naslaga te je pretpostavljen kopneni okoliš u vrijeme sarmata. U jezgrama 4 i 5 koje su ispod Ek-markera Rs-7 je prema provodnom fosilu dokazan *Praeorbulina glomerosa* baden.



**Slika 7.52.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-21 (istaživani interval)

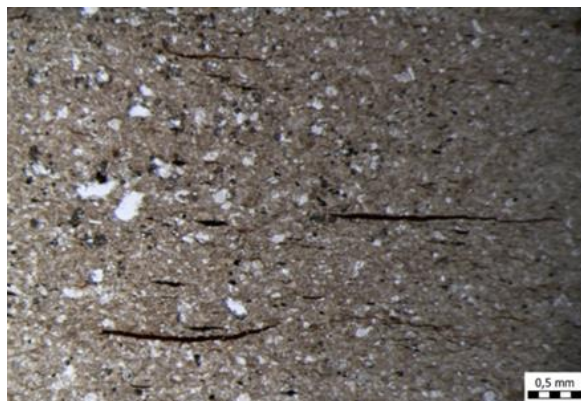
## Bušotina B-22

EK marker Rs7 nabušen je na 1735 metara, a ukupna debljina probušene formacije Prečec iznosi 1061 metara (**slika 7.53.**). Donja granica sarmatskih taložina određena je prema starom izvješću (potpoglavlje 5.3.) na 1825 metara dubine, iznad jezgre 4. U pretpostavljenom intervalu sarmatske starosti slabo je sačuvana fosilna zajednica sitnih rotaloidnih formi i bentičkih foraminifera *Elphidium crispum* i *Cibicidoides lobatulus* (izvješće bušotine 1975). Prema novijim mikropaleontološkim analizama u bušotini nije utvrđen sarmat, a navedena jezgra pripada gornjem badenu (Premec Fuček et al., 2016). U jezgri 4 (1825–1831 m) litološki su opisani sitnozrnati pješčenjak, sivi čvrsti kalcitom bogati lapori laminirani sivi lapor. U prvom metru se pretpostavlja starost gornji baden sarmat. Petrografski izbrusci izrađeni su iz obje jezgre. Jasno je uočljiva promjena. Nažalost prvi metar J-4 nije dostupan, ali su izrađeni ostali metri.



**Slika 7.53.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-22 (istaživani interval)

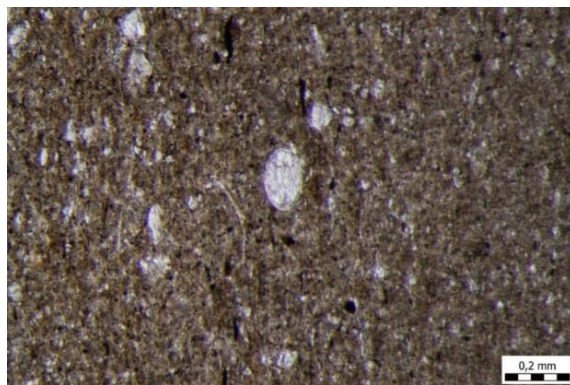
U jezgri 3 (1762,8-1769,3 m) iz lapora su izrađeni petrografski izbrusci iz drugog, petog, sedmog i osmog metra. Litološki su opisani tamnosivi srednje tvrdi lapor, lapor, pješčenjak. Unutar lapora uočeni su rijetki presjeci sitnih rotaloidnih foraminifera (*Protelphidium*) i pretpostavljena je sarmatska starost. Prema petrografskom izbrusku određen je madston do vekston (slika 7.54.).



**Slika 7.54.** Bušotina B-22; jezgra-3,2. metar (petrografski izbrusak)-madston do vekston u kojem je prisutna organska tvar u vidu nakupina te kratkih planparalelno orijentiranih traka

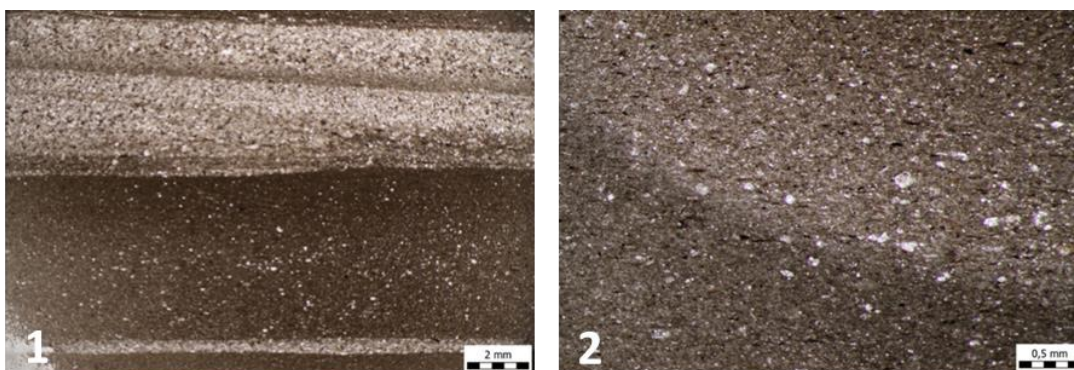
U petom metru jezgre 3, prema petrografskom izbrusku također je utvrđen madston do vekston (slika 7.55.)





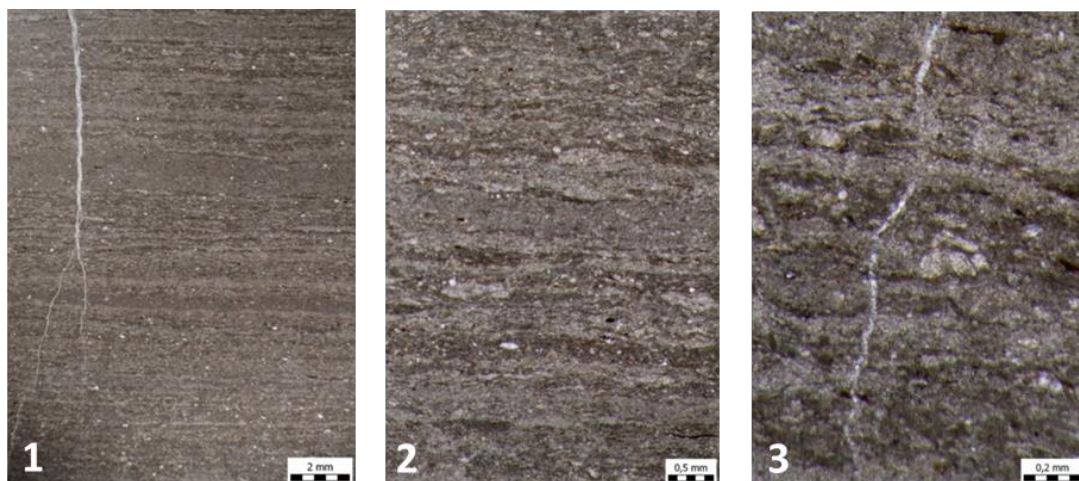
**Slika 7.55.** Bušotina B-22; jezgra-3, 5. metar (petrografski izbrusak) – madston do vekston s presjecima ostrakoda

U petrografskom izbrusku iz 7-tog metra jezgre izražena je laminacija, ravnih rubova (sedimentacijski uvjetovane). U donjem dijelu svijetle lamine vidljiva je kosa laminacija (**slika 7.56.**) i malo raspršene organske tvari, a u uvećanom prikazu tamne lamine uočeni su rijetki presjeci fosila i raspršena organska tvar (**slika 7.56.**).



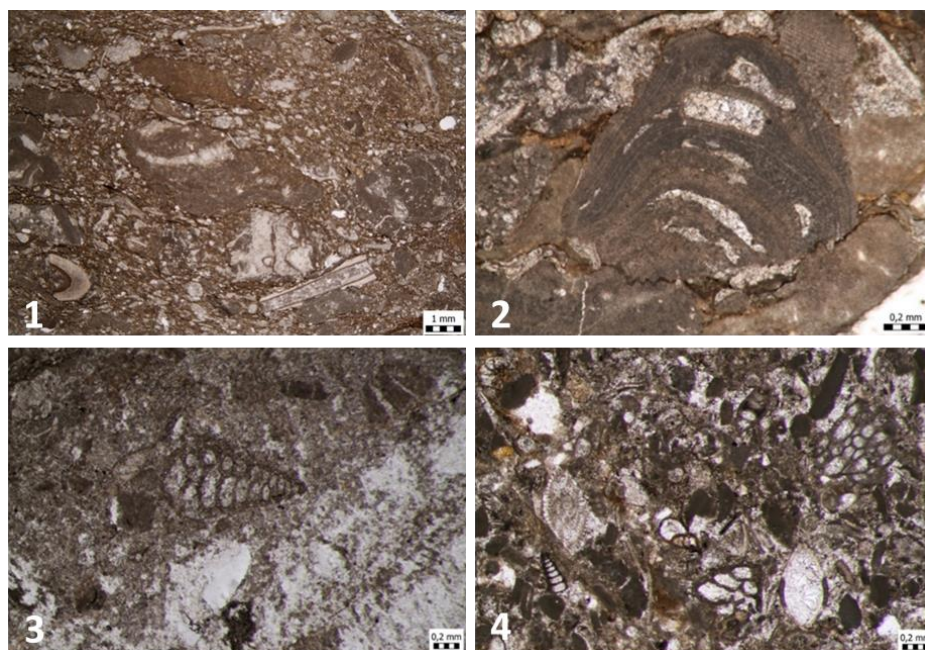
**Slika 7.56.** Bušotina B-22; jezgra-1; J-3,7. metar (petrografski izbrusci) 1- laminirani madstone, horizontalna i kosa laminacija; 2- uvećani prikaz tamne lamine, rijetke ljušturice fosila i raspršena organska tvar

U petrografskom izbruscima iz osmog metra jezgre vidljiv je fino laminirani madston. a u pojedinim izbruscima vidljivi i presjeci fosila (**slika 7.57.**).



**Slika 7.57.** Bušotina B-22; jezgra-3, 8. metar (petrografski izbrusci) 1- laminirani madston u kojem je prisutna vertikalna pukotina ispunjena kalcitnim cementom; 2- laminirani madston mjestimično prisutna organska tvar; 3- madston s presjecima fosila te vertikalna pukotina ispunjena cementom

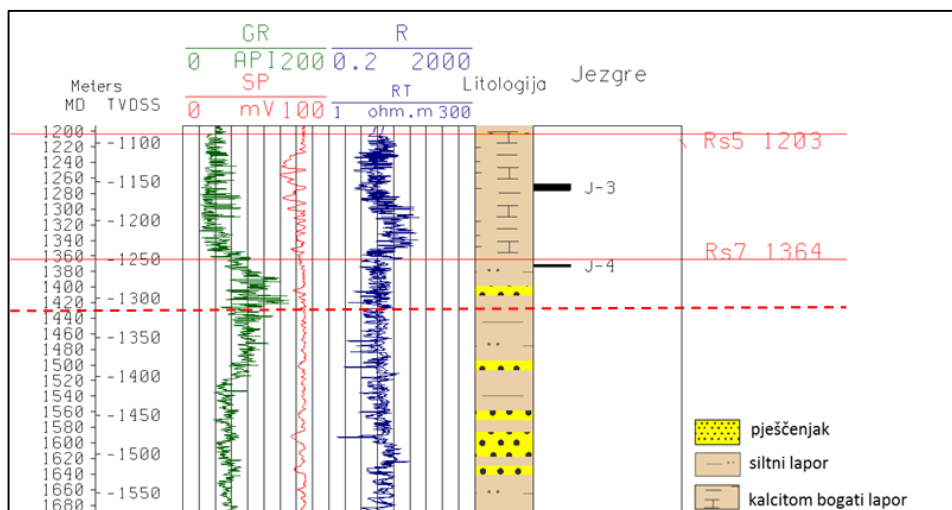
Izbrusak iz prvog metra jezgre 4 (1825-1831 m) nije uspio. U drugom metru jezgre 4 vidljiva je sitnozrnata osnova unutar koje su krupni klasti te je određen floutston. U trećem metru određen je grejnston sa krhotinama algi. U četvrtom metru prema petrografskom preparatu određen je madston, a u šestom metru pekston (**slika 7.58.**).



**Slika 7.58.** Bušotina B-22; jezgra-4, 1-2.metar, floutston; 2-3.metar, presjek crvene alge u grejnstonu; 3- 4. metar, aksijalni presjek aglutinirane foraminifere u madstonu; 4-6.metar, pekston

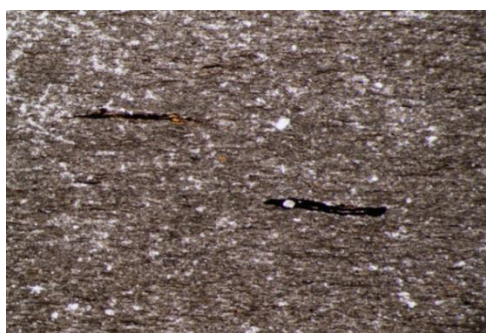
## Bušotina B-23

Ek-marker Rs7 nabušen je na dubini od 1364 metra (**slika 7.59.**), a ukupna debljina naslaga formacije Prečec iznosi 1116 metara.



**Slika 7.59.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-23 (istaživani interval)

Petrografski izbrusak je izrađen iz jezgre-4 (1371-1374 m). U izbrusku jezgre 4 (**slika 7.60.**) vidljiv je tanko laminirani madston i tanke paralelne pukotine duž kojih je orijentirana organska tvar. Bušotina je uzeta u razmatranje budući da je uočen interval porasta prirodne radioaktivnosti koje je prepoznat u intervalu sarmatskih taložina. Prema izvještajima starost nije sa sigurnošću utvrđena (mogući baden), a je okoliš svrstan u prijelazni zbog rijetkih nalaza bentičkih foraminifera, ostataka algi, dinoscisti, lignohuminskih klasta te planktona. U izvještaju iz 2010. godine jezgra je određena kao tanko laminirani madston s mikritom.

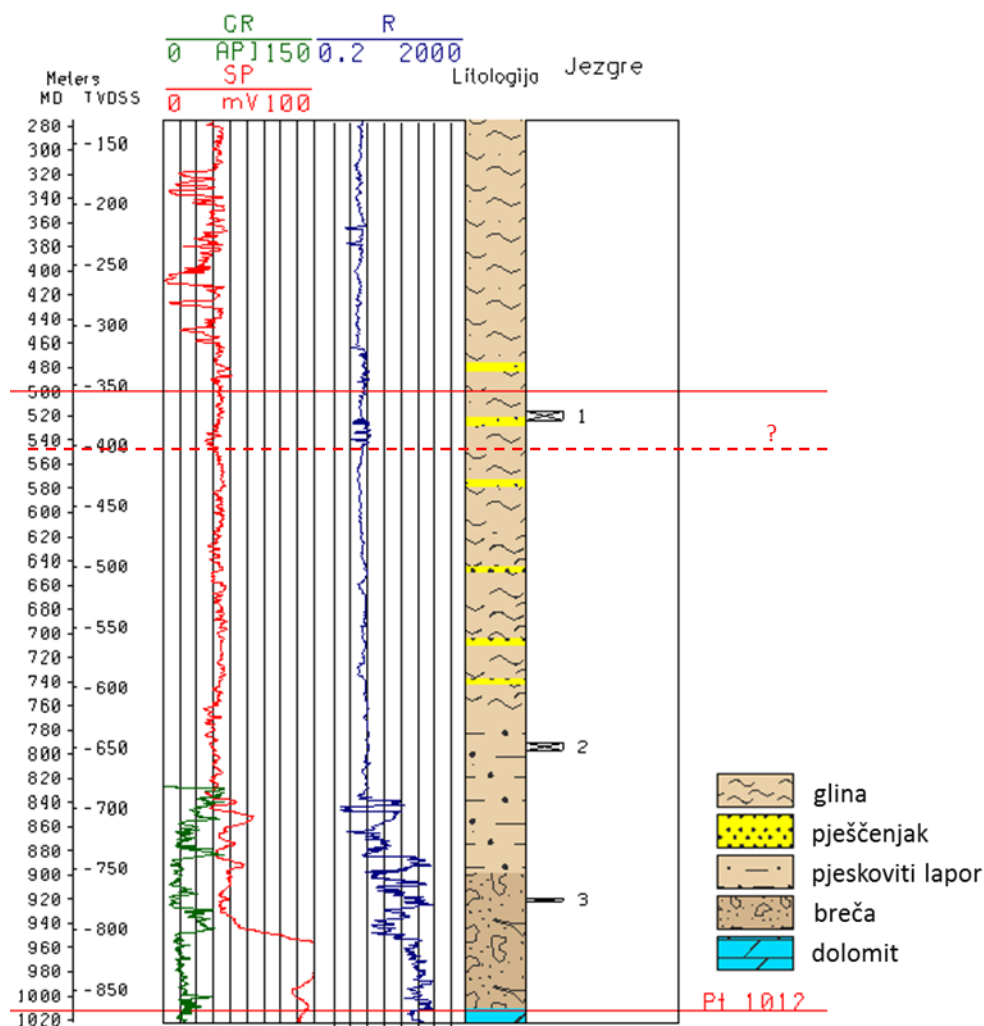


**Slika 7.60.** Bušotina B-23; jezgra-4/1 m (petrografski izbrusak) pukotine ispunjene organskom tvari u madstonu ili diskontinuirane planparalelne lamine organske tvari u madstonu



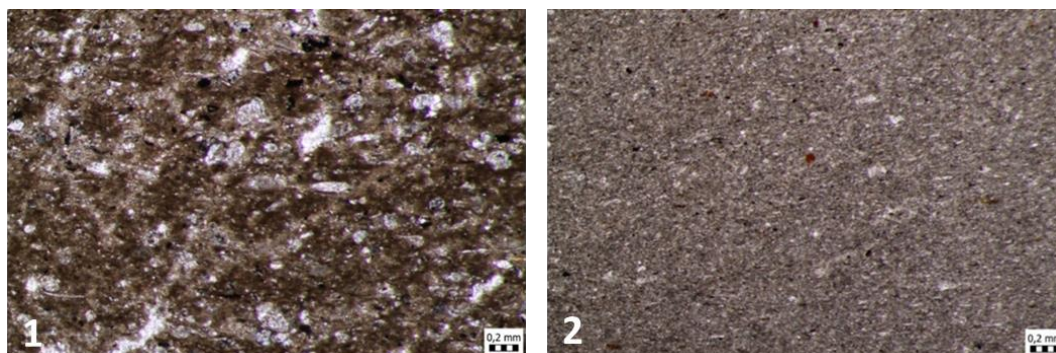
## Bušotina B-24

Ek-marker Rs7 određen je na dubini od 500 m (**slika 7.61.**). Ispod Ek-markera Rs7 izvađena je jezgra 1 (516,7-524 m) iz koje je izrađen izbrusak. Jezgra je određena kao siltni fosiliferni kalcitni lapor i finoizrnat pješčenjak.



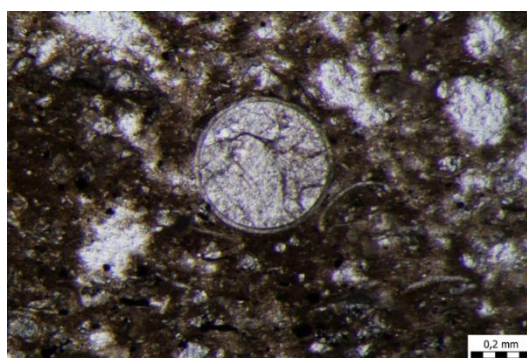
**Slika 7.61.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-24 (istaživani interval)

U izbrusku jezgre 1 (516,7-524m) u trećem metru određen je vekston u kojem su vidljive neodredive ljušturice fosila (**slika 7.62.**). U petom metru jezgre 1 (516,7-524 m) vidljiv je jednoličan madston bez laminacije (**slika 7.62.**). Uočena su velika žućkasta mineralna zrna (tinjci) i malobrojne krhotine neodredivih fosila.



**Slika 7.62.** Bušotina B-24; jezgra-1, 1- 3. metar, vekston; 2-5.metar, madston

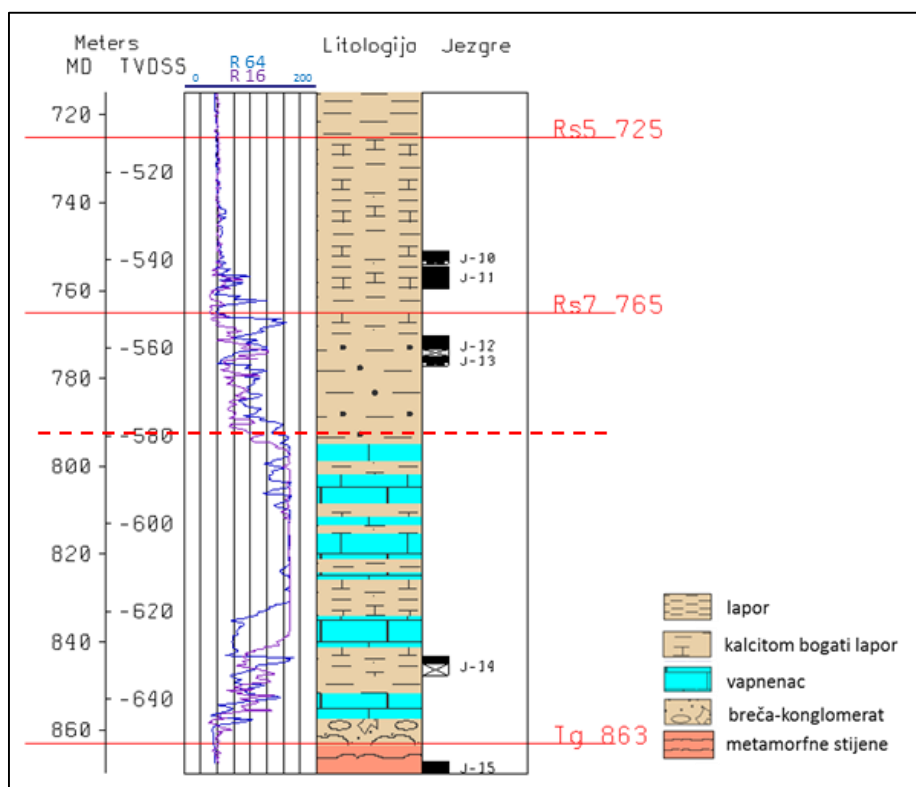
Jezgra 2 (791- 797,5 m) je određena kao pjeskoviti fosiliferni kalcitni lapor. U gustoj glinovito-karbonatnoj osnovi lapora vide se brojne kalcitizirane i piritizirane kućice fosila, kvarc i tinjci. Prisutni su pirit i hematit (*izvješće bušotine, 1987*). Paleontoloških odredaba nema. Na osnovi petrografskog izbrusku u jezgri 2 (791- 797,5 m) u drugom metru određen je madston do vekston. **slika 7.63.**



**Slika 7.63.** Bušotina B-24; jezgra-2,2. metar– presjek planktonske foraminifere (vjerojatno *Orbulina*) i presjeci ljušturica ostrakoda, madston do vekston

### **Bušotina B-25**

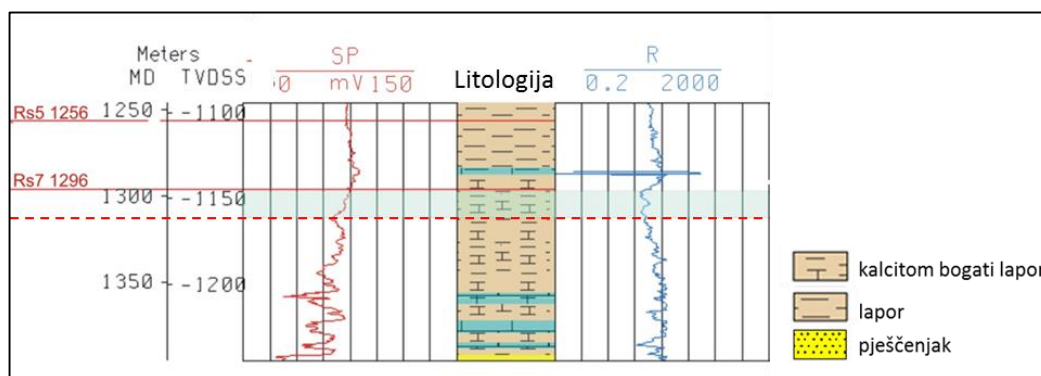
Za bušotinu B-25 izrađen je litološki stup te je određen Ek-marker na dubini od 765 metara (**slika 7.64.**). U intervalu sarmatskih naslaga koje su u izvješću bušotine određene prema elektrokarotažnom dijagramu izvađene su dvije jezgre. Jezgre nisu sačuvane u skladištu jezgara Mramor brdo. U naslagama nalazimo biljne ostatke te je pretpostavljen plitki okoliš taloženja.



**Slika 7.64.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-25 (istaživani interval)

## Bušotina B-26

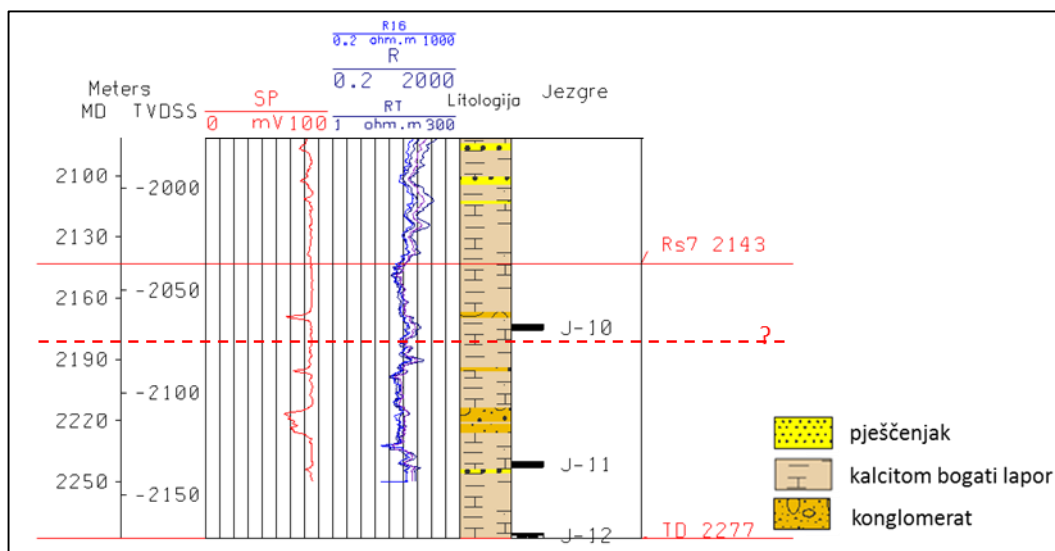
Za bušotinu B-26 izrađen je litološki stup te je određen Ek-marker na dubini od 1296 metara (**slika 7.65.**). Pretpostavljene sarmatske naslaga nisu utvrđene jezgrovanjem, a interpretacija je izrađena na osnovi opisa materijala iz isplake (*izvješće bušotine, 1953*). U intervalu pretpostavljenog sarmata u kalcitom bogatim laporima nema pješčenjaka.



**Slika 7.65.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-26 (istaživani interval)

## Bušotina B-27

Ek-marker Rs7 određen je na dubini od 2143 metra (**slika 7.66.**). Jezgra 10 (2173-2176 m) nije sačuvana u skladištu jezgara Mramor brdo, a prema izvještaju bušotine interval samatskih naslaga pripada plitkom marinskom okolišu (*izvješće bušotine, 1971*).

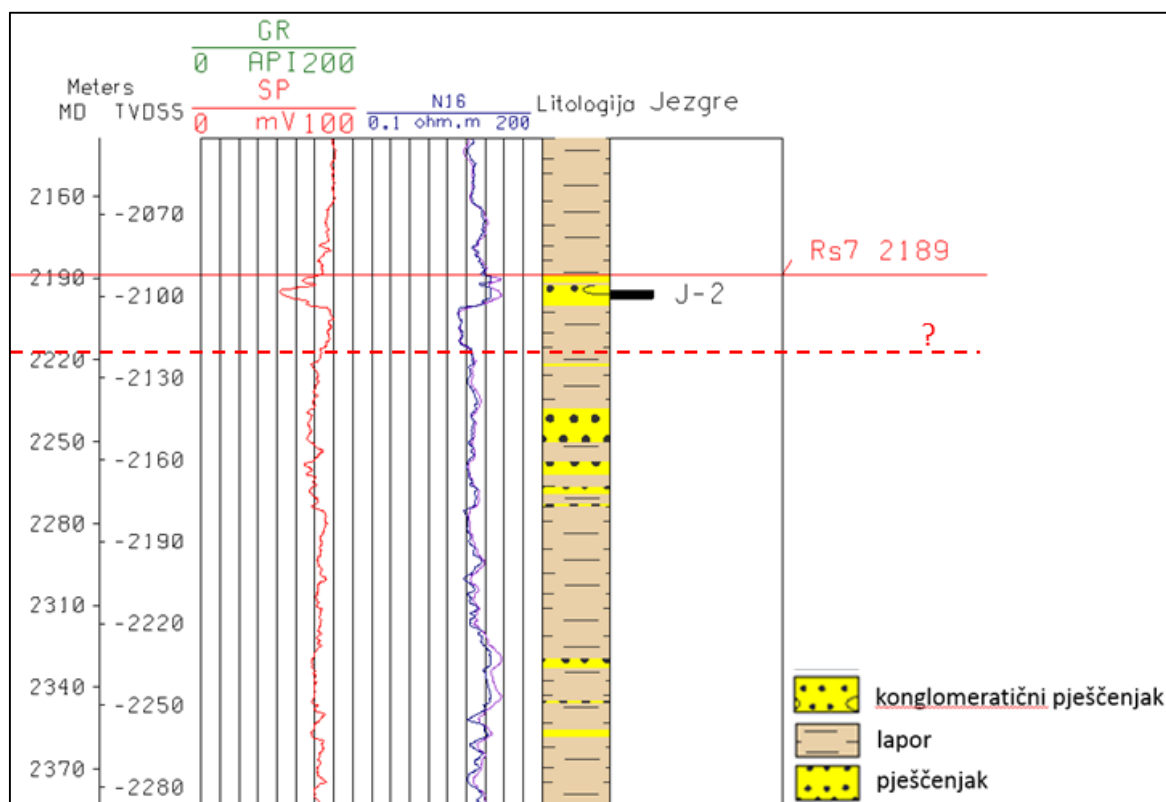


**Slika 7.66.** Karotažni i litološki podaci bušotine B-27 (istaživani interval)

## Bušotina B-28

Za bušotinu B-28 izrađen je litološki stup te je određen Ek-marker Rs7 na 2189 metara dubine (**slika 7.67.**). Jezgra 2 (2194,7-2197,7 m) nije dostupna u skladištu jezgara Mramor brdo, a prema opisu jezgre, odnosno krupnozrnatog biokalkarenita pretpostavljen je plitki okoliš.





**Slika 7.67.** Karotažni i litološki podatci iz bušotine B-28 (istaživani interval)

### 7.3. Revizija nazivlja mikrofosila

Mikropaleontološke odredbe bušotinskog materijala preuzete su iz izvješća i studija Ine. Budući da su izvještaji raznih generacija, ovisno o godini izrade bušotine, bilo je potrebno napraviti reviziju nazivlja foraminiferskih rodova i vrsta. Pregled starog i novog, odnosno važećeg nazivlja izrađen je u skladu s mrežnim bazama WoRMS - World Foraminifera Database (Hayward et al., 2019, <http://www.marinespecies.org/foraminifera>) i <https://www.foraminifera.eu/>. Revizija nazivlja prikazana je u **tablici 7.5**.

**Tablica 7.5.** Pregled novog (važećeg) i starog nazivlja foraminiferskih taksona

| IZVORNI NAZIV (iz studija i izvješća INA d.d.) | VAŽEĆI NAZIV                                 |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <i>Ammonia</i> sp.                             | <i>Ammonia</i> sp.                           |
| <i>Ammonia beccarii</i> Linné                  | <i>Ammonia beccarii</i> (Linné, 1758)        |
| <i>Amphistegina hauerina</i> d'Orbigny         | <i>Amphistegina hauerina</i> d'Orbigny, 1846 |
| <i>Amphistegina</i> sp.                        | <i>Amphistegina</i> sp.                      |

|                                                     |                                                                                               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Anomalina</i>                                    | <i>Anomalina</i> d'Orbigny, 1826                                                              |
| <i>Anomalinoides badenensis</i> d'Orbigny           | <i>Anomalinoides badenensis</i> (d'Orbigny, 1846)                                             |
| <i>Anomalinoides dividens</i> Luczkowska            | <i>Anomalinoides dividens</i> Luczkowska, 1967                                                |
| <i>Anomalinoides</i> sp.                            | <i>Anomalinoides</i> Brotzen, 1942                                                            |
| <i>Articulina</i> cf. <i>tamanica</i> Bogdanowicz   | <i>Articulina</i> cf. <i>tamanica</i> Bogdanowicz, 1952                                       |
| <i>Articulina problema</i> Bogdanowicz              | <i>Articulina problema</i> Bogdanowicz, 1952                                                  |
| <i>Articulina</i> sp.                               | <i>Articulina</i> d'Orbigny, 1826                                                             |
| <i>Asterigerina guerichi</i> Franke                 | <i>Asterigerina guerichi</i> Franke, 1912                                                     |
| <i>Asterigerina planorbis</i> d'Orbigny             | <i>Biasterigerina planorbis</i> (d'Orbigny, 1846)                                             |
| <i>Asterigerina</i> sp.                             | <i>Asterigerina</i> d'Orbigny, 1839                                                           |
| <i>Bolivina dilatata</i> Reuss                      | <i>Bolivina dilatata</i> Reuss, 1850                                                          |
| <i>Bolivina elongata</i> d'Orbigny                  | <i>Bolivina elongata</i> Hantken, 1875                                                        |
| <i>Bolivina sarmatica</i> Didkovskiy                | <i>Bolivina sarmatica</i> Didkovskiy, 1959                                                    |
| <i>Bolivina</i> sp.                                 | <i>Bolivina</i> d'Orbigny, 1839                                                               |
| <i>Brizalina</i> sp.                                | <i>Bolivina</i> d'Orbigny, 1839                                                               |
| <i>Bulimina</i> cf. <i>elegans</i> d'Orbigny        | <i>Bulimina</i> cf. <i>elegans</i> d'Orbigny u Parker Jones, Brady, 1865                      |
| <i>Bulimina pyrula</i> d'Orbigny,                   | <i>Globobulimina pyrula</i> (d'Orbigny, 1846)                                                 |
| <i>Bulimina</i> sp.                                 | <i>Bulimina</i> d'Orbigny, 1826                                                               |
| <i>Cassidulina oblonga</i> Reuss                    | <i>Globocassidulina crassa</i> (d'Orbigny, 1839)                                              |
| <i>Cassigerinella</i> sp.                           | <i>Cassigerinella</i> Quilty 1976                                                             |
| <i>Chilostomella oolina</i> Schwager                | <i>Chilostomella oolina</i> Schwager, 1878                                                    |
| <i>Cibicides badenensis</i> d'Orbigny               | <i>Anomalinoides badenensis</i> d'Orbigny, po nekima <i>Anomalinoides dividens</i> Luczkowska |
| <i>Cibicides ungerianus</i> d'Orbigny,              | <i>Cibicidoides ungerianus</i> (d'Orbigny, 1846)                                              |
| <i>Cibicides lobatulus</i> Walker & Jacob           | <i>Cibicidoides lobatulus</i> (Walker & Jacob, 1798)                                          |
| <i>Cibicides</i> sp.                                | <i>Cibicides</i> Monfort, 1808                                                                |
| <i>Cibicidoides</i> sp.                             | <i>Cibicidoides</i> Thalmann, 1939                                                            |
| <i>Cycloforina</i> sp.                              | <i>Cycloforina</i> Łuczkowska, 1972                                                           |
| <i>Cycloforina badenensis</i> d'Orbigny             | <i>Cycloforina badenensis</i> (d'Orbigny, 1846)                                               |
| <i>Dentalina</i> sp.                                | <i>Dentalina</i> Risso, 1826                                                                  |
| <i>Elphidium granosum</i> d'Orbigny                 | <i>Porosononion granosum</i> (d'Orbigny, 1846)                                                |
| <i>Elphidium aculeatum</i> d'Orbigny                | <i>Elphidium aculeatum</i> (d'Orbigny, 1846)                                                  |
| <i>Elphidium</i> cf. <i>macellum</i> Fichtel & Moll | <i>Elphidium macellum</i> (Fichtel & Moll, 1798)                                              |
| <i>Elphidium crispum</i> Linné                      | <i>Elphidium crispum</i> (Linné, 1758)                                                        |
| <i>Elphidium rugosum</i>                            | <i>Elphidium rugosum</i> (d'Orbigny, 1846)                                                    |
| <i>Elphidium fichtelianum</i> d'Orbigny             | <i>Elphidium fichtelianum</i> (d'Orbigny, 1846)                                               |
| <i>Elphidium flexuosum</i> d'Orbigny                | <i>Elphidium flexuosum</i> (d'Orbigny, 1846)                                                  |
| <i>Elphidium glabrum</i> Bystricka                  | <i>Elphidium glabrum</i> Bystricka                                                            |
| <i>Elphidium grilli</i> Papp                        | <i>Elphidium grilli</i> Papp, 1963                                                            |
| <i>Elphidium hauerinum</i> d'Orbigny                | <i>Elphidium hauerinum</i> (d'Orbigny, 1846)                                                  |
| <i>Elphidium josephinum</i> d'Orbigny               | <i>Elphidium josephinum</i> (d'Orbigny, 1846)                                                 |
| <i>Elphidium macellum</i> Fichtel & Moll            | <i>Elphidium macellum</i> (Fichtel & Moll, 1798)                                              |
| <i>Elphidium obtusum</i> d'Orbigny                  | <i>Elphidium obtusum</i> (d'Orbigny, 1846),                                                   |

|                                                            |                                                                                 |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Elphidium reginum</i> d'Orbigny                         | <i>Elphidium reginum</i> (d' Orbigny, 1846),                                    |
| <i>Elphidium rugosum</i> d'Orbigny                         | <i>Elphidium rugosum</i> (d' Orbigny, 1846)                                     |
| <i>Elphidium</i> sp.                                       | <i>Elphidium</i> Montfort, 1808                                                 |
| <i>Elphidium subumbilicatum</i> Czjzek                     | <i>Elphidium subumbilicatum</i> (Czjzek, 1948)                                  |
| <i>Elphidium ukrainikum</i> Krashenninnikov                | <i>Elphidium ukrainicum</i> Krashenninnikov, 1960                               |
| <i>Eponides repandus</i> Fichtel & Moll                    | <i>Eponides repandus</i> (Fichtel & Moll, 1798)                                 |
| <i>Florilus boueanus</i> d'Orbigny,                        | <i>Hanzawaia boueana</i> (d' Orbigny, 1846)                                     |
| <i>Florilus</i> sp.                                        | <i>Hanzawaia</i> Asano, 1944                                                    |
| <i>Glandulina ovula</i> d'Orbigny                          | <i>Glandulina ovula</i> d' Orbigny, 1846                                        |
| <i>Globigerina apertura</i> Cush                           | <i>Globoturborotalita apertura</i> Cushman 1918                                 |
| <i>Globigerina bulloides</i>                               | <i>Globigerina bulloides</i> d' Orbigny, 1826                                   |
| <i>Globigerina praebulloides</i> Blow                      | <i>Globigerinella obesa</i> (Bolli, 1957)                                       |
| <i>Globigerina concinna</i> Reuss                          | <i>Globigerina concinna</i> Reuss, 1850                                         |
| <i>Globigerina diplostoma</i> Reuss                        | <i>Globigerina diplostoma</i> Reuss, 1850                                       |
| <i>Globigerina glutinata</i> Egger                         | <i>Globigerinita glutinata</i> (Egger, 1893)                                    |
| <i>Globigerina nepenthes</i> Todd                          | <i>Globoturborotalita nepenthes</i> (Todd, 1957)                                |
| <i>Globigerina</i> sp.                                     | <i>Globigerina</i> d'Orbigny, 1826                                              |
| <i>Globigerina tarchanensis</i> Subbotina & Chutzieva      | <i>Globigerina tarchanensis</i> Subbotina & Chutzieva, 1950                     |
| <i>Globigerina triloba</i> Reuss                           | <i>Trilobatus trilobus</i> (Reuss, 1850)                                        |
| <i>Globigerinella obesa</i> Bolli                          | <i>Globigerinella obesa</i> (Bolli, 1957)                                       |
| <i>Globigerinoides quadrilobatus</i>                       | <i>Trilobatus quadrilobatus</i> (d' Orbigny, 1846)                              |
| <i>Globigerinoides</i> sp.                                 | <i>Globigerinoides</i> Cushman, 1927                                            |
| <i>Globigerinoides trilobus</i> Reuss,                     | <i>Trilobatus trilobus</i> (Reuss, 1850)                                        |
| <i>Globoquadrina</i>                                       | <i>Globoquadrina</i> Finlay 1947                                                |
| <i>Globorotalia bykovae</i> Aisenstat                      | <i>Globorotalia bykovae</i> (Aisenstat u Subbotina, Pishvanova & Ivanova, 1960) |
| <i>Globorotalia mayeri</i> ,                               | <i>Globorotalia mayeri</i> Cushman & Ellis 1939                                 |
| <i>Globorotalia</i> sp.                                    | <i>Globorotalia</i> Cushman 1927                                                |
| <i>Globorotalia transsylvanica</i> Popescu                 | <i>Globorotalia (Turborotalia) transsylvanica</i> Popescu 1970                  |
| <i>Globoturborotalita</i> sp.                              | <i>Globoturborotalita</i> Hofker, 1976                                          |
| <i>Guttulina communis</i> d'Orbigny,                       | <i>Guttulina communis</i> (d' Orbigny, 1826)                                    |
| <i>Gyroidina</i> sp.                                       | <i>Gyroidina</i> d' Orbigny, 1826                                               |
| <i>Heterolepa dutemplei</i>                                | <i>Heterolepa dutemplei</i> (d' Orbigny, 1846)                                  |
| <i>Heterolepa haidingeri</i> Brady                         | <i>Cibicides haidingeri</i> (d' Orbigny, 1846)                                  |
| <i>Heterolepa</i> sp.                                      | <i>Heterolepa</i> Franzenau, 1884                                               |
| <i>Heterostegina costata</i> d'Orbigny                     | <i>Planostegina costata</i> (d' Orbigny, 1846)                                  |
| <i>Lagena</i> sp.                                          | <i>Lagena</i> Walker & Jacob, 1798                                              |
| <i>Lenticulina</i> sp.                                     | <i>Lenticulina</i> Lamarck, 1804                                                |
| <i>Leptocythere</i> sp .                                   | <i>Leptocythere</i> Sars, 1925                                                  |
| <i>Melonis</i> sp.                                         | <i>Melonis</i> Montfort, 1808                                                   |
| <i>Nodobaculariella</i> cf. <i>transcarpatica</i> Venglsky | <i>Nodobaculariella transcarpatica</i> Venglsky, 1962                           |

|                                               |                                                           |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <i>Nodophtalmidium tibia</i> Jones & Parker   | <i>Nodobacularia tibia</i> (Jones & Parker, 1860)         |
| <i>Nodosaria</i> sp.                          | <i>Nodosaria</i> Lamarck, 1816                            |
| <i>Nonion bogdanowitzi</i> Voloshinova        | <i>Nonion bogdanowitzi</i> Voloshinova, 1950              |
| <i>Nonion</i> cf. <i>biporus</i> Krashennikov | <i>Nonion biporus</i> Krashenninnikov, 1958               |
| <i>Nonion</i> cf. <i>serenus</i> Vengliniski, | <i>Nonion serenus</i> Vengliniski, 1958                   |
| <i>Nonion commune</i> d'Orbigny               | <i>Nonion commune</i> (d' Orbigny, 1846)                  |
| <i>Nonion granosum</i> d'Orbigny              | <i>Porosonion granosum</i> (d' Orbigny, 1846)             |
| <i>Nonion serenus</i> Vengliniski             | <i>Nonion serenus</i> Venglinisky, 1958                   |
| <i>Nonionina soldani</i> d' Orbigny           | <i>Melonis pompilioides</i> (Fichtel & Moll, 1798)        |
| <i>Nonion</i> sp.                             | <i>Nonion</i> Montfort, 1808                              |
| <i>Nubecularia</i> sp.                        | <i>Nubecularia</i> Defrance, 1825                         |
| <i>Orbulina bilobata</i> D'Orbigny            | <i>Orbulina universa</i> d' Orbigny, 1839                 |
| <i>Orbulina suturalis</i> Brönnimann          | <i>Orbulina suturalis</i> Brönnimann, 1951                |
| <i>Oridorsalis umbonatus</i> Reuss,           | <i>Oridorsalis umbonatus</i> (Reuss, 1851)                |
| <i>Paragloborotalia</i> sp                    | <i>Paragloborotalia</i> Cifelli, 1982                     |
| <i>Planulina austriaca</i> d'Orbigny          | <i>Planulina austriaca</i> (d' Orbigny, 1846)             |
| <i>Porosonion granosum</i> d'Orbigny          | <i>Porosonion granosum</i> (d' Orbigny, 1846)             |
| <i>Porosonion martkobi</i> Bogdanowicz        | <i>Porosonion martkobi</i> (Bogdanowicz 1947)             |
| <i>Praeorbulina glomerata</i> Blow            | <i>Praeorbulina glomerata</i> (Blow, 1956)                |
| <i>Praeorbulina sicana</i>                    | <i>Praeorbulina sicana</i> (de Stefani, 1950)             |
| <i>Praeorbulina</i> sp.                       | <i>Praeorbulina</i> Olsson, 1964                          |
| <i>Praeorbulina transitoria</i> ,             | <i>Praeorbulina transitoria</i> Blow, 1959                |
| <i>Protelphidium</i>                          | <i>Protelphidium</i> Haynes, 1956                         |
| <i>Protelphidium subgranosum</i> Egger        | <i>Porosonion subgranosus subgranosus</i> (Egger 1857)    |
| <i>Pyrgo</i> sp.                              | <i>Pyrgo</i> Defrance, 1824                               |
| <i>Quinqueloculina akneriana</i> d'Orbigny    | <i>Quinqueloculina akneriana</i> d' Orbigny, 1846         |
| <i>Quinqueloculina hauerina</i> d'Orbigny     | <i>Quinqueloculina hauerina</i> d'Orbigny, 1846           |
| <i>Quinqueloculina consobrina</i> d'Orbigny   | <i>Pseudotriloculina consobrina</i> (d' Orbigny, 1846)    |
| <i>Quinqueloculina reussi</i> Bogdanowicz     | <i>Quinqueloculina reussi</i> Bogdanowicz, 1497           |
| <i>Quinqueloculina seminula</i> Linnaeus      | <i>Quinqueloculina seminula</i> (Linné, 1758)             |
| <i>Robulus cultratus</i> Montfort             | <i>Lenticulina cultrata</i> (Montfort, 1808)              |
| <i>Robulus orbicularis</i> d'Orbigny          | <i>Lenticulina orbicularis</i> (d'Orbigny, 1826)          |
| <i>Rotalia beccarii</i> Linné,                | <i>Ammonia beccarii</i> (Linné, 1758)                     |
| <i>Rotalia</i> sp                             | <i>Rotalia</i> Lamarck 1804                               |
| <i>Sigmoilina</i> sp.                         | <i>Sigmoilina</i> Schlumberger, 1887                      |
| <i>Sphaerogypsina</i> sp.                     | <i>Sphaerogypsina</i> Galloway, 1933                      |
| <i>Sphaeroidina bulloides</i>                 | <i>Sphaeroidina bulloides</i> d' Orbigny u Deshayes, 1828 |
| <i>Spiroplectammina</i> sp.                   | <i>Spiroplectammina</i> Cushman, 1927                     |
| <i>Textularia</i> sp.                         | <i>Textularia</i> Defrance, 1824                          |
| <i>Truncatulina dutemplei</i> d'Orbigny       | <i>Heterolepa dutemplei</i> (d' Orbigny, 1846)            |

|                                              |                                                      |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <i>Truncatulina lobatula</i> D'Orbigny       | <i>Cibicidoides lobatulus</i> (Walker & Jacob, 1798) |
| <i>Turborotalita quinqueloba</i> Natland,    | <i>Turborotalita quinqueloba</i> (Natland, 1938)     |
| <i>Uvigerina</i> sp.                         | <i>Uvigerina</i> d'Orbigny, 1826                     |
| <i>Uvigerina venusta</i> Franzenau           | <i>Uvigerina venusta</i> Franzenau, 1894             |
| <i>Varidentella latelacunata</i> Vengliniski | <i>Varidentella latelacunata</i> (Vengliniski, 1953) |
| <i>Varidentella reussi</i> Bogdanovich       | <i>Varidentella reussi</i><br>(Bogdanowicz, 1952)    |

## 8. RASPRAVA

Poglavlje je podijeljeno na potpoglavlja koja obuhvaćaju raspravu o utvrđivanju i prepoznavanju sarmatskih naslaga, raspravu o površinskim podacima uzoraka Svetonedeljskog brega, kompilaciju dubinskih podataka te izradbu karata taložnih okoliša i osvrt na naftnogeološki značaj sarmatskih taložina.

### 8.1. UTVRĐIVANJE I PREPOZNAVANJE SARMATSKIH TALOŽINA

Da bi prepoznali sarmatske taložine u utvrdili njihovo rasprostiranje u ovom je radu bilo potrebno povezati postojeće paleontološke te karotazne i seizmičke podatke. Kompilacijom navedenih podataka je bilo moguće prepoznati sarmatske taložine na mjestima gdje do sada nisu bile prepoznate. Sarmatsku starost je moguće odrediti prema paleontološkim podacima, odnosno prema pojavi vrsta provodnih za sarmat. Značajan je razvoj elfidija s provodnim vrstama *Elphidium reginum* i *E. hauerinum*, prema kojima su i određene biostratigrafske zone sarmata te *Elphidium josephinum* i *E. obtusum*. Za donji sarmat značajna je vrsta *Anomalinoides dividens* Luczkowska (ranije *Cibicides badenensis*), koja predstavlja markernu granicu gornjeg badena i sarmata (Filipescu, 2004; Kováč et al., 2007). Od provodnih vrsta foraminifera javlja se i milioline *Varidentella reussi* (lokalitet Svetonedeljski breg) koja se pojavljuje u Transilvanijskom bazenu u periodu starijeg sarmata i po kojoj je u njihovoj podjeli, gornji dio donjeg sarmata dobio naziv (Toth et al., 2010). To ide u prilog tvrdnji da su bazeni Središnjeg Paratetisa tijekom sarmata bili spojeni. Općenito u zajednicama foraminifera dominiraju bentičke vrste. U pojedinim zajednicama zastupljen je i plankton, obično šireg stratigrafskog raspona. Planktonske vrste javljaju se u okolišima u koji su povezani s otvorenim morem. Određbu sarmata često otežavaju i pretaloženi badenski fosili. Promjena u fosilnoj zajednici i sarmatski fosili prepoznati su i određeni u pličim okolišima u kojima je veći utjecaj imao pad razine mora krajem badena. U dubljem okolišu prijelaz paleoekoloških obilježja je postupan te nije jasno uočljiv. U bušotinama dubljeg dijela bazena ispod, s velikim debljinama donjeg do srednjeg miocena, EK marker Rs7 je prema prijašnjim interpretacijama pretpostavljen kao gornja granica badena. U fosilnoj zajednici navedenog intervala veća je zastupljenost planktonskih foraminifera. Kad se razmatraju stratigrafski rasponi pojavljivanja primijećeno je da u intervalu nema fosila provodnih za baden, nego su utvrđene vrste šireg stratigrafskog raspona (kroz cijeli miocen do danas). Palinološke analize uzoraka, prema

najzastupljenijim vrstama dinocisti, sarmatske taložine svrstavaju u palinološku biozonu *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum* (Bakrač, 2005, 2012). Općenito, u sarmatu se smanjuje broj stenohalinih dinoflagelata i povećava zastupljenost eurihalinih vrsta i njihovih cisti kao što su *Polysphaeridium zoharyi* i *Lingulodinium machaerophorum*. Njihov stratigrafski raspon pojavljivanja je širi, no zbog brojnosti u ovom, posebnom razdoblju kada se Paratetis pretvara u uzemno more zbog prekidanja veza s velikim oceanom (Tetis) i paleoekološki uvjeti su se značajno mijenjali. Paratetis se postupno oslađuje i oplićuje pa novonastalu paleoekološku nišu zauzimaju upravo navedene vrste. *Polysphaeridium zoharyi* je najčešći u tropskim i suptropskim predjelima i to u priobalnim okolišima smanjenog saliniteta. *Lingulodinium machaerophorum* je vrsta izuzetno otporna na promjenu saliniteta i česta je u područjima s umjerenom do tropskom klimom u priobalnim, deltnim i estuarskim okolišima. Dok su dinociste vezane za otvorenije prostore, prazinofigeje iz roda *Cymatiosphaera* su znakovite za zatvorenije sredine. Upravo zbog čestih promjena nivoa mora u to vrijeme, uobičajena je izmjena sedimenata s prazinofigejama i dinocistama. Kod paleontološkog utvrđivanja sarmatskih naslaga glavni je problem malobrojni stijenski materijal dostupan za analize (poglavlje 5). Kod postojećih paleontoloških analiza iz starijih bušotina česti su trenutno nevažeći nazivi vrsta i rodova te je bilo potrebno izraditi reviziju nazivlja. To je bilo potrebno prvenstveno zbog usporedbe fosilnih nalaza prikazanih u starijim i novijim izvještajima. U nekim bušotinama (B-1, B-10, B-12) primijećen je interval porasta prirodne radioaktivnosti (GR) u intervalu paleontološki dokazanih taložina što je omogućilo pretpostavku sarmata u bušotinama koje nemaju dostupni materijal za analize. Korelacijom karotažnih krivulja, odnosno povezivanjem sličnog odziva izdvojen je interval sarmatskih taložina, a njihova interpretacija prikazana je u potpoglavlju 8.3

## 8.2. POVRŠINSKI PODATCI SMJESTIŠTA SVETA NEDELJA

Sarmatska starost uzoraka izdanaka 5 određena je na osnovi analize utvrđene foraminiferske i palinološke zajednice. U uzorku 5A značajna je vrsta *Anomalinoides dividens* koje ukazuju na granicu gornjeg badena i sarmata (Filipescu, 2004; Kováč et al., 2007) te provodna sarmatska vrsta *Nonion bogdanowitzi* i *Bolivina sarmatica*. Od ostalih foraminifera dominiraju elfidiji, od kojih treba istaknuti elfidije značajne za sarmat *Elphidium hauerinum*, *E. josephinum*, *E.*



*obtusum*. U uzorku su nađen i primjerci badenskih vrsta (*Orbulina suturalis*) što ukazuje na pretaložene badenske fosile. U uzorku 5B prevladavaju elfidiji sa sarmatskim vrstama *Elphidium hauerinum*, *E. josephinum*, *E. obtusum* d'Orbigny te vrstom *E. reginum* koji je određen samo u uzorku 5B. Najveća raznolikost vrsta ustanovljena je u uzorku 5C u kojem su uz provodne sarmatske elfidije utvrđeni i cibicidesi. U foraminiferskoj zajednici sva tri uzorka izdanka 5 prevladavaju elfidiji. Rod *Elphidium* živi kao infauna ili epifauna u toplim morima u unutrašnjem šelfu do 50 metara dubine (Murray, 1991, 2006). Prema zajednici foraminifera smjestište Sveta Nedelja bi pripadalo plitkovodnom okolišu. Izdanci 7 i Bora mikropaleontološki su analizirani u sklopu diplomskih radova Vlaisavljević i Pekčec. Na izdanku Bora je na osnovi mikrofosilne zajednice određena zona *Elphidium hauernium*, a okoliš taloženja plitki unutrašnji do vanjski šelf (Vlaisavljević, 2017). Na izdanku 7 je na osnovi mikrofosilne zajednice i nalaza školjkaša roda *Ervillia*, zaključeno da su taložine odlagane na prijelazu iz donjeg u srednji sarmat (početak *Elphidium hauerinum* zone), a okoliš taloženja unutrašnji šelf (Pekčec, 2019).

Na osnovi utvrđenih vrsta nanoplanktona u uzorcima izdanka 5 ne može se preciznije zaključivati o starosti taložina. S obzirom na prvu pojavu vrste *Calcidiscus tropicus* NN4 i zadnju pojavu vrste *Cyclicargolithus floridanus* NN7 može se reći da je starost NN4-NN7, odnosno gornji dio otnanga do početka panona (Š. Aščić, usmeno priopćenje).

Analizom palinofacijesa svi uzorci izdanaka 5,7 i Bora svrstani su u palinološku biozonu Paratetisa *Polysphaeridium zoharyi* - *Lingulodinium machaerophorum*. U analiziranim palinološkim preparatima su utvrđeni fosilni ostaci dinoflagelata, zelenih algi (prazinofoceje, Botryococcus), akritarka, peluda i spora. Svi elementi palinofacijesa su značajni paleoekološki indikatori, no za odredbu stratigrafske pripadnosti (starosti stijene) su korištene samo ciste dinoflagelata. Ostale palinomorfe su ili kozmopolitske ili imaju preširok stratigrafski raspon pojavljivanja. Primjerice, spektar sporomorfi je jako sličan kroz cijeli miocen. Na temelju odnosa florističkih elemenata moguće je zaključiti o kojem se stratigrafskom katu radi na temelju poznatih paleoklimatskih uvjeta nekog područja. Važno je napomenuti da su sporomorfe gotovo uvijek alohtoni elementi u palinofacijesu (postoji mogućnost donosa peluda iz udaljenijih ili uzvišenijih dijelova drenažnog područja i sl.) što dodatno otežava interpretaciju. Sačuvani ostaci zelenih algi (prazinofoceje, kloroficeje), iako autohtoni, su često korisni za odredbu karakteristika sredine sedimentacije, no više su paleoekološki nego stratigrafski fosili. Palinofacijsna odredba, odredba starosti i okoliša sedimentacije interpretirana je većinom na određenim cistama dinoflagelata, autohtonom fitoplankonskom

elementu na kojem se temelji i palinološka biozonacija Paratetisa (**Sütő-Szentai 1988, Bakrač, 2005, Bakrač et al., 2012**) od srednjeg do gornjeg miocena. Asocijaciju sporomorfi čine reprezentativni primjerci mezofilne miješane šume četinjača i listopadnog drveća, močvarne šume i šume poplavnih ravnica (**Brajković, 2011**). Klima je bila suptropska. Od spora (papratnjače) su uočeni predstavnici rodova *Stereisporites* sp., *Baculatisporites* sp., *Corrugatisporites* sp., *Polypodiaceoisporites* sp. i *Verrucatisporites* sp. Pelud je još brojnija, a prisutna su zrna morfološki određena kao inaperturatna, poratna, kolpatna, kolporatna i sakatna. Najčešće su zastupljene vrste karakteristične za miješane mezofilne šume kao što su *Pinuspollenites labdacus*, *Cathayapollis potoniei*, *Piceapollis planoides* i *Zonalapollenites gracilis* (četinjače), *Faguspollenites verus*, *Carpinipites carpinoide*s (arktotercijarne vrste), *Engelhardtoidites microcoryphaeus*, *Platycaryapollenites miocaenicus* (paleotropske vrste), zatim za močvarne šume (*Inaperturopollenites concedipites*, *Alnipollenites verus*), te šume poplavnih ravnica (*Caryapollenites simplex*, *Ulmipollenites undulosus*, *Myricipites myricoides*). Prisutne su i trave (*Graminidites* sp., *Chenopodipollis multiplex*). Od ostataka zelenih algi su zastupljene predstavnici razreda *Prasinophyceae* i *Chlorophyceae*. Prazinoficeje su se pojavile već u pretkambriju, a žive i danas. To su većinom marinske planktonske jednostanične alge koje u jednom dijelu svoga života stvaraju fikome, ciste ovalnog ili okruglog oblika tanjih ili debljih stijenki u svrhu reprodukcije, za razliku od dinoflagelata koje stvaraju ciste (dinociste) kao zaštitu od nepovoljnih uvjeta. Fikoma je plutajuća cista jer unutar nje uz protoplazmu sadrži i lipidnu globulu, no nakon izlaska novih individua, vanjska stijenka fikome pada na dno sedimentacijskog prostora i tamo se fosilizira. Slatkovodne prazinoficeje mogu stvarati i otporne ciste s debelom stijenkom u cilju zaštite. Prazinoficeje su taksonomski svrstane u zelene alge (iako ih neki još uvijek smještaju unutar akritarka), a najznačajniji rodovi zabilježeni na prostoru Paratethysa su *Leiosphaeridia*, *Tasmanites*, *Tyrrhodiscus*, *Cooksonella*, *Mecsekia*, *Cymatiosphaera* i *Hidasia*. Prazinoficeje su uglavnom oceanske, marinske alge, no ima ih i u priobalnim okolišima, plitkim lagunama i deltama, u bočatim i slatkovodnim sredinama (**Tappan, 1980**). Česte su u stabilno stratificiranim okolišima, pa su primjerice u lagunarnim karbonatnim sredinama stratificiranim po salinitetu najzastupljenije fitoplankonske ciste *Leiosphaeridia* sp. U okolišima smanjenog saliniteta su česti predstavnici roda *Cymatiosphaera*. Općenito, prazinoficeje se lako adaptiraju na promjene pa su stoga u uvjetima različitih ekoloških šokova često dominantne u okolišu. Od kloroficeja je zabilježen samo rod *Botryococcus*. I on je poznat od pretkambrija do danas. Vrsta *Botryococcus braunii* je tolerantna na promjenu saliniteta i može nastanjivati marinske, bočate ali i slatkovodne prostore. Zelena alga *Botryococcus braunii* u slatkovodnim okolišima ukazuje na alkalnu sredinu umjerene do

tropske klime. Najčešća je u mirnom okolišu bez velikog donosa materijala s kopna (Krizmanić, 2018, za uzorke prikupljene od Majstorović Bušić). U svim analiziranim uzorcima palinološka asocijacija je vrlo slična, Prema gore opisanoj palinološkoj analizi okoliš taloženja analiziranih uzoraka izdanka 7 i Bora je proksimalniji, plići, bez značajnog donosa s kopna, dok je izdanak 5 zbog većeg broja proksimalnih oblika dinoscisti koji su znakoviti za distalnije i dublje okoliše svrstan u nešto dublji okoliš nego izdanci 7 i Bora. Budući da foraminiferska zajednica ukazuje na plići okoliš, izdanak 5 je u svrhu kartiranja svrstan u prijelazni okoliš, dok su izdanci 7 i Bora svrstani u plitki okoliš (potpoglavlje 8.4.).

Petrografskom analizom i kalcimetrijom uzoraka utvrđeni su pjeskoviti lapor, lapor, kalcitom bogati lapor te glinoviti vapnenac, što ukazuje na različite uvjete taloženja. Rijetko prisutna organska tvar i pirit ukazuju na okoliš bez prisustva kisika, anoksični ili disoksični okoliš. Hematizacija i kalcitna otapanja ukazuju da su u sedimentu djelovale porne vode.

### **8.3. DUBINSKI NAFTNOGEOLOŠKI PODATCI DOBIVENI KORELACIJOM KAROTAŽE PRIRODNE RADIOAKTIVNOSTI I SEIZMIČKOM INTERPRETACIJOM**

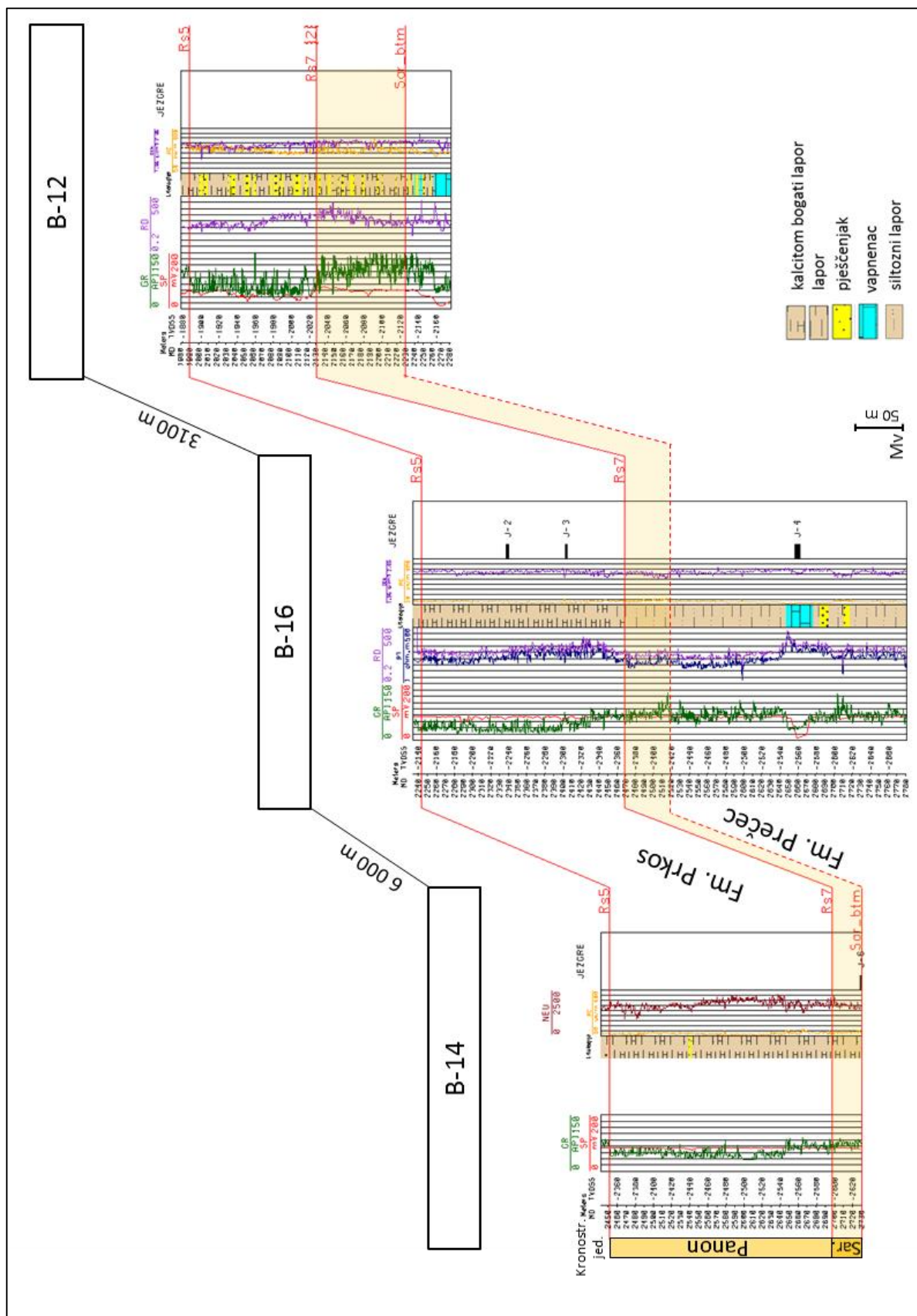
Rasprostiranje sarmatskih taložina u zapadnom dijelu Savske depresije interpretirano je i uporabom seizmičkih 2D profila. Pri tomu su uporabljene i bušotine u kojima su određene sarmatske taložine kao markerne točke. Uočeno je kako prostorno se mogu seizmički pratiti sarmatske taložine i u prostoru bušotina gdje on nije paleontološki dokazan, a na temelju seizmičkih refleksa kalibriranih u bušotinama gdje je on dokazan.

Prema fosilnim zajednicama određenim u bušotinama dubljeg dijela bazena, ispod EK markera Rs7 nije moguće jednoznačno odrediti starost, ali se prema karotažnim krivuljama mogu izdvojiti intervali s različitim obilježjima. Općenito u intervalu sarmatske starosti primijećen je porast prirodne radioaktivnosti, tj. pomak krivulje prema većim vrijednostima GR, uz istovremeno smanjivanje otpornosti. U intervalu povećane prirodne radioaktivnosti mikrofosilnim nalazom je i dokazan sarmat (bušotine B-10, B-13, B-12) što je po prvi puta povezano na takav način. Na seizmici je zbog malih debljina sarmatske taložine teško pratiti kroz cijeli prostor. Također, razlučivost seizmike opada s dubinom. U istraživačkom području seizmika je različitih generacija snimanja, zbog toga razlučivost na razini intervala sarmatskih taložina varira od 25 do 50 metara. Na pojedinim, rijetkim seizmičkim profilima interval

sarmatskih taložina se može pratiti kroz prostor među bušotinama (potpoglavlje 8.2). Na odabranim i prikazanim seizmičkim profilima vidljivo je da su sarmatske taložine razvijene i u bušotinama u kojima nisu dokazane fosilnim nalazima.

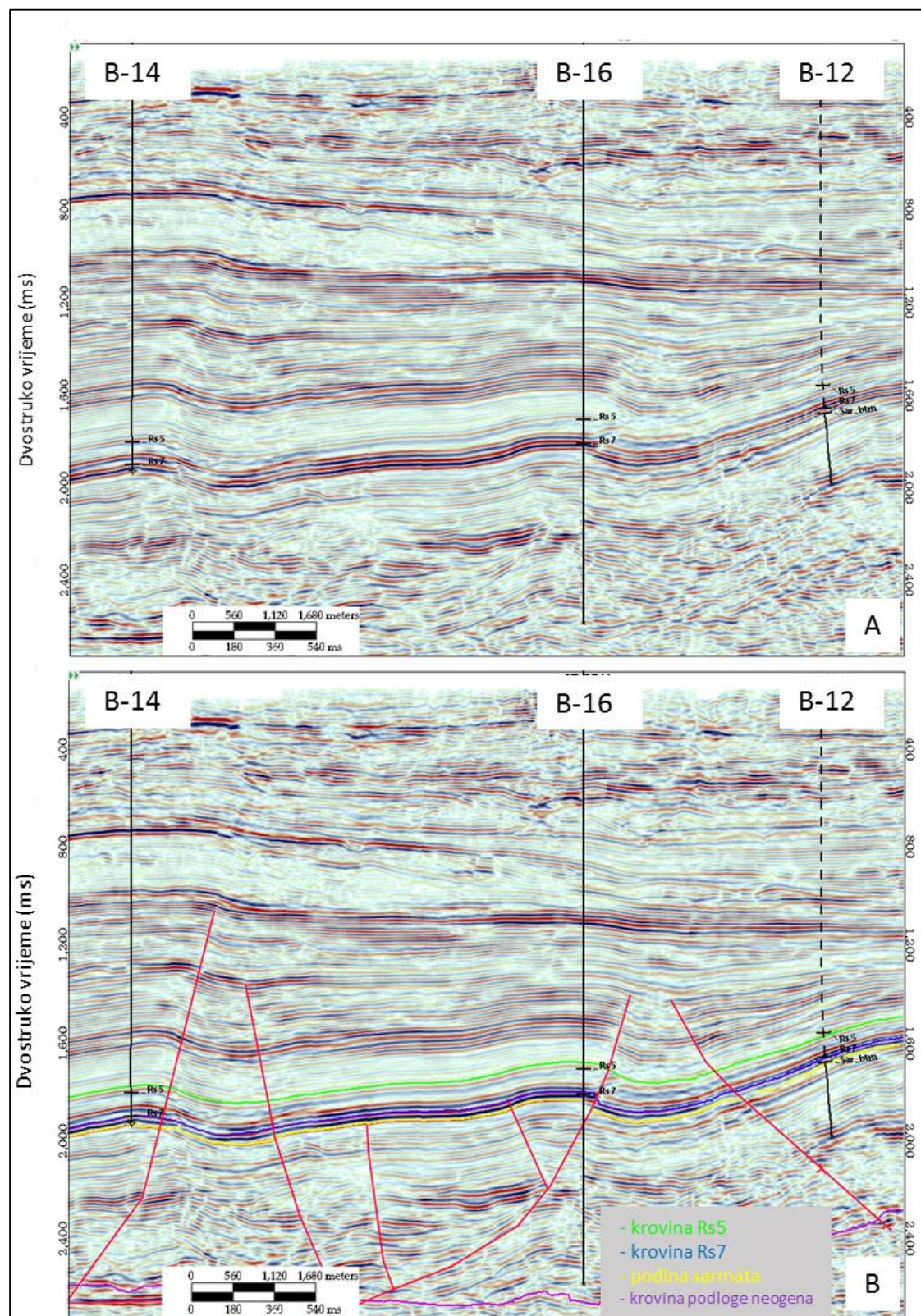
### **8.3.1. Interpretacija profila 1-1' (uključuje bušotine B-14, B-16, B-12)**

Prema paleontološkoj analizi u bušotini B-16 nisu dokazane sarmatske taložine, ali se interval od bušotina B-14 i B-12, gdje je mikropaleontološkim analizama dokazana sarmatska starost, može seizmički pratiti. U bušotini B-16 interval ispod Rs7 je određen kao plitki morski okoliš badena. Budući da je u jezgri 4 (2657-2663 m) dobiven „litotamnijski vapnenac“ badenske starosti interval sarmata se očekuje pliće. Korelacijom krivulja otpornosti i GR te uočavanjem trendova koji su prepoznati u intervalu sarmatskih taložina bušotine B-12 podina sarmata bila bi na 2640 metara. Bušotine s interpretiranim sarmatskim taložinama prikazan je **slikom 8.1**. Na toj se dubini može pratiti neprekinuti seizmički refleks od bušotine B-12 preko bušotina B-16 do B-14 (**slika 8.2**).



**Slika 8.1.** Korelacijski profil 1-I' kroz bušotine B-14, B-16, B-12



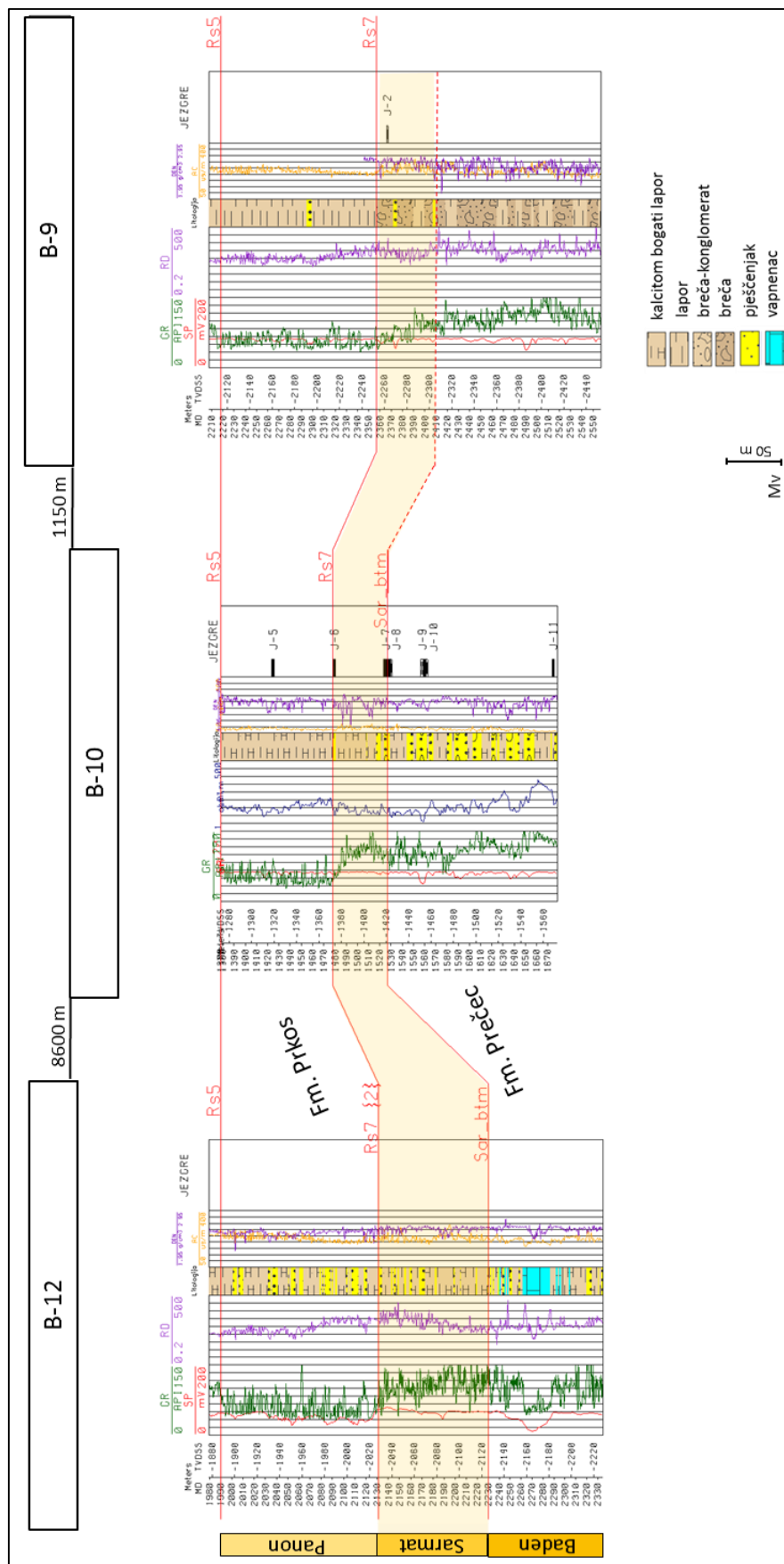


**Slika 8.2.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 1-1' (B-14 B-16 B-12)

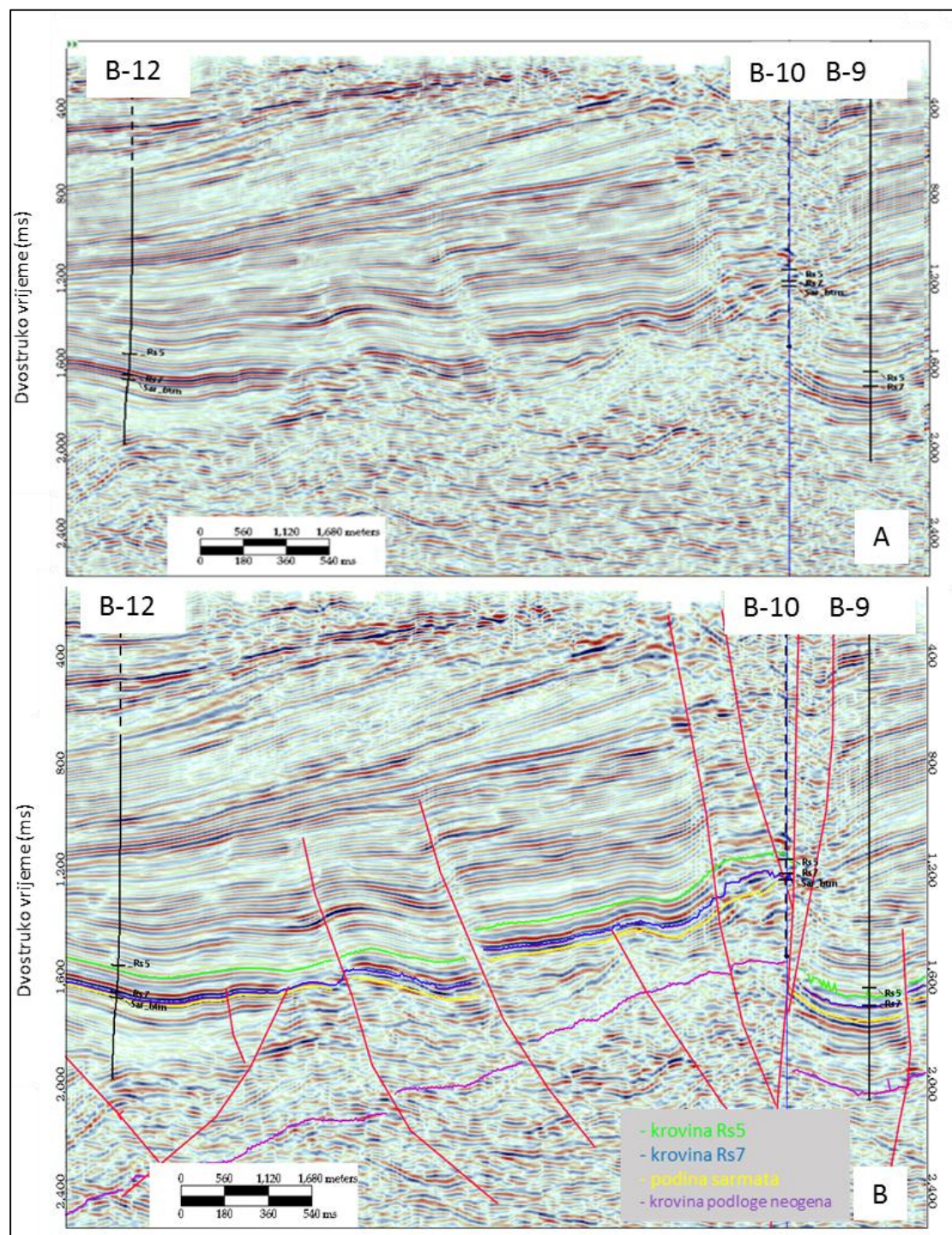
### 8.3.2. Interpretacija profila 2-2' (uključuje bušotine B-12, B-10, B-9)

Sarmatska starost je mikropaleontološki dokazana u bušotinama B-12 i B-10, a na B-9 je pretpostavljena. Fosili gornjeg intervala B-9 ukazuju na gornji baden, ali je pretpostavljeno da su badenske taložine pretaložene u sarmatske. Zbog preglednijeg prikaza korelacijski profil je poravnat po Ek-markeru Rs5 (**slika 8.3.**). Na seizmičkom profilu interval sarmatskih taložina je jasno vidljiv i pratljiv (**slika 8.4.**).





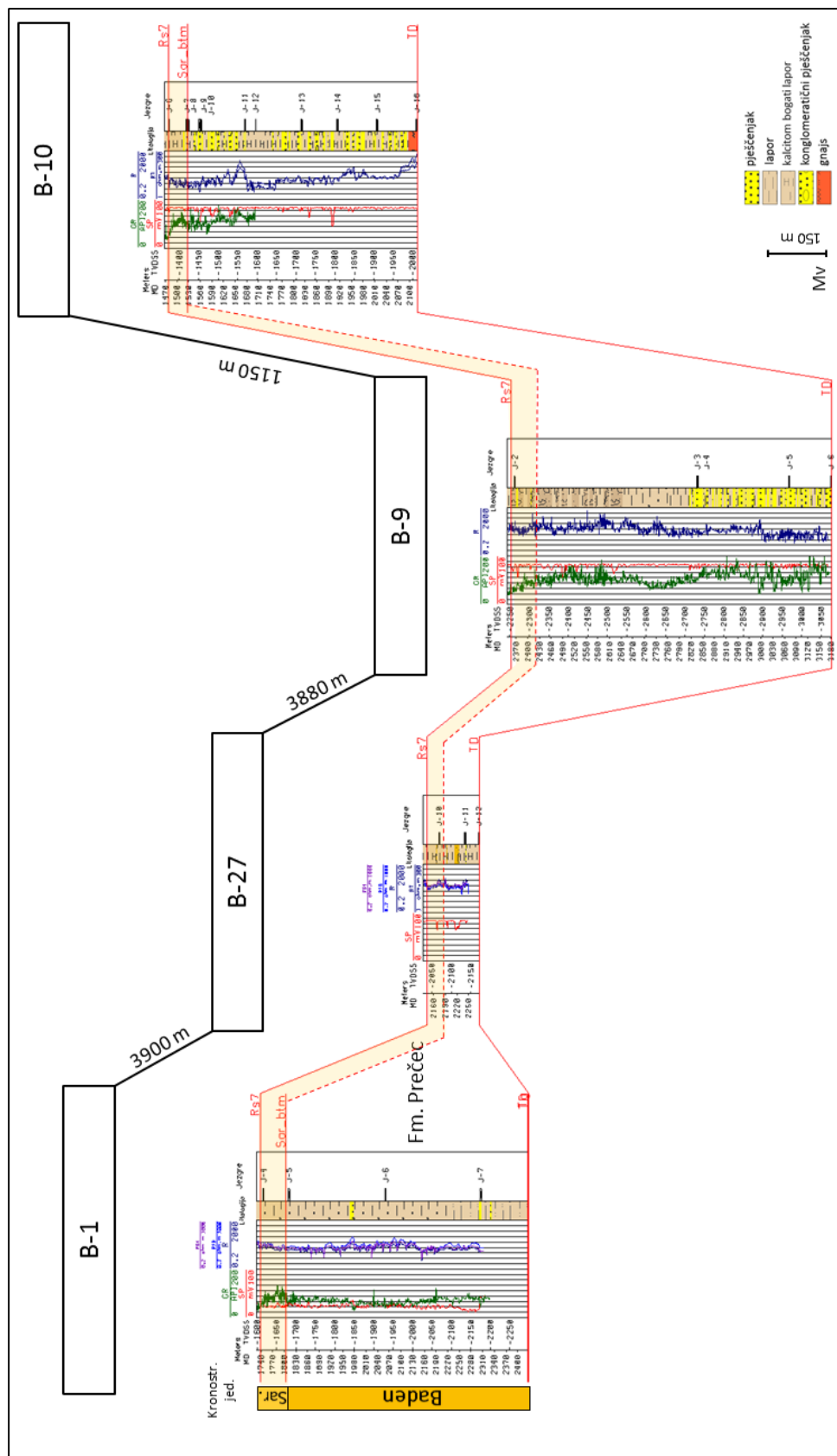
**Slika 8.3.** Korelacijski profil 2-2' kroz bušotine B-12, B-10 i B-9



**Slika 8.4.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 2-2' (B-12, B-9 i B-10)

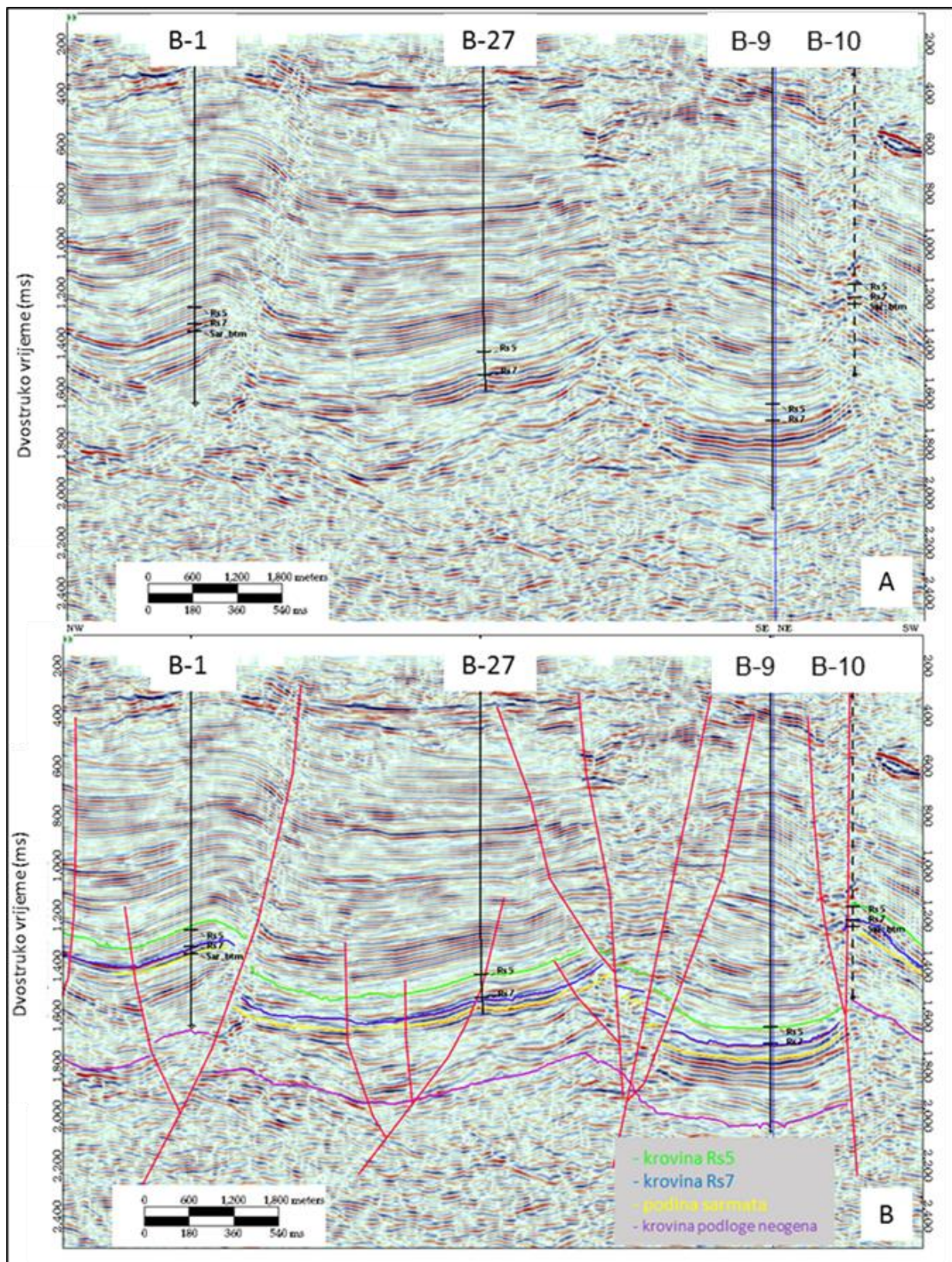
### 8.3.3. Interpretacija profila 3-3' (uključuje bušotine B-1, B-27, B-9, B-10)

U bušotini B-10 sarmat je ustanovljen na osnovu foraminifere koja ukazuje na za sarmatsku starost *A. dividens*. Prema fosilnoj zajednici u bušotinama B-9 i B-1 pretpostavljen je sarmat s pretaloženim fosilima iz gornjeg badena. Također u navedenim bušotinama je na karotažnoj krivulji GR prepoznatljiv interval porasta prirodne radioaktivnosti ispod Rs7 koji je uočljiv u intervalima sarmatskih naslaga (**slika 8.5.**). U bušotini B-27 nije snimljen GR, ali su sarmatske naslage pretpostavljene iako nisu dokazane tipičnom sarmatskom faunom. Na seizmičkom profilu jasni refleksi mogu se pratiti kroz bušotine (**slika 8.6.**).



**Slika 8.5.** Korelacijski profil 3-3' kroz bušotine B-1, B-27, B-9 i B-10

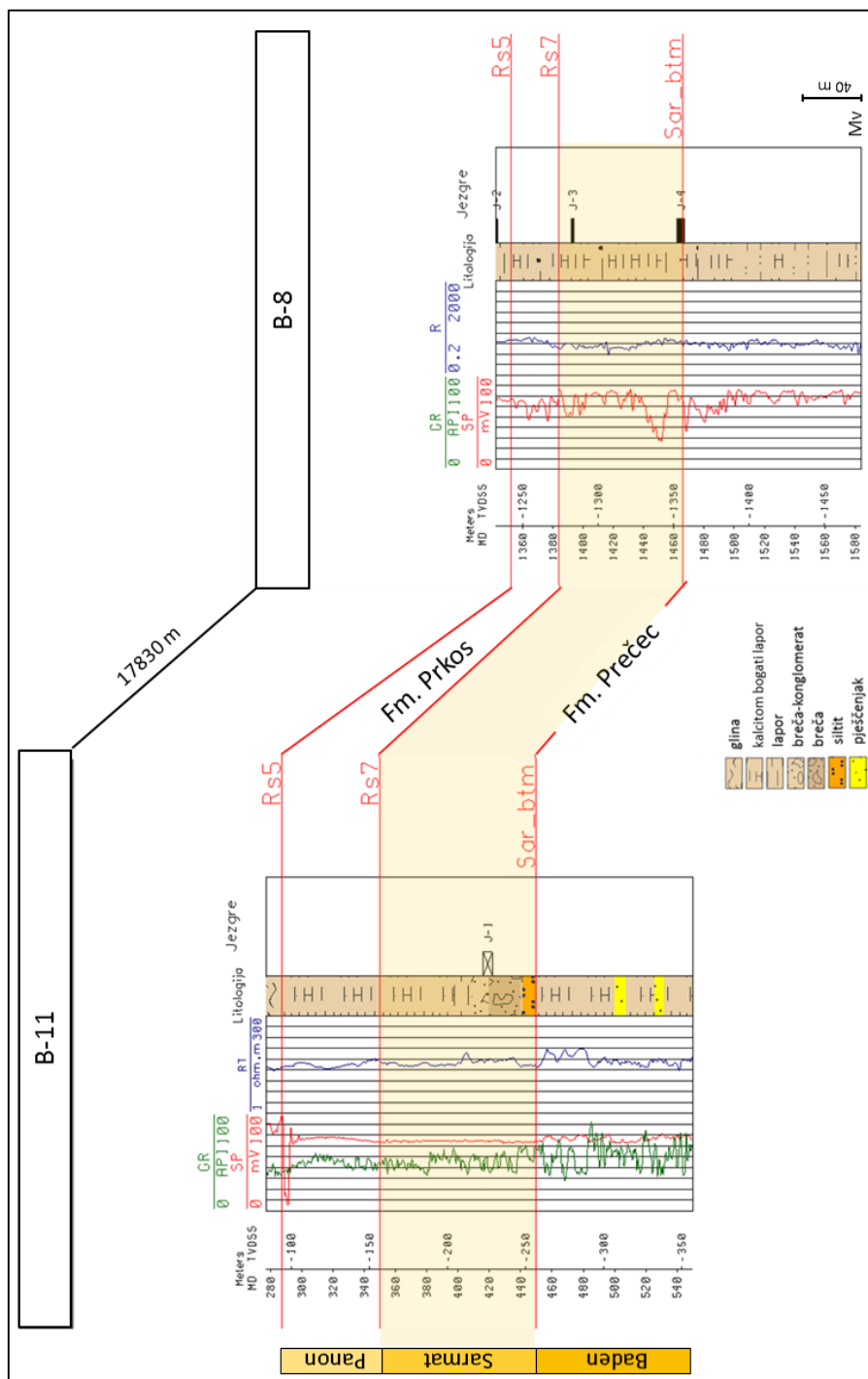




**Slika 8.6.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 3-3' ( B-1, B-27 ,B-9 i B-10)

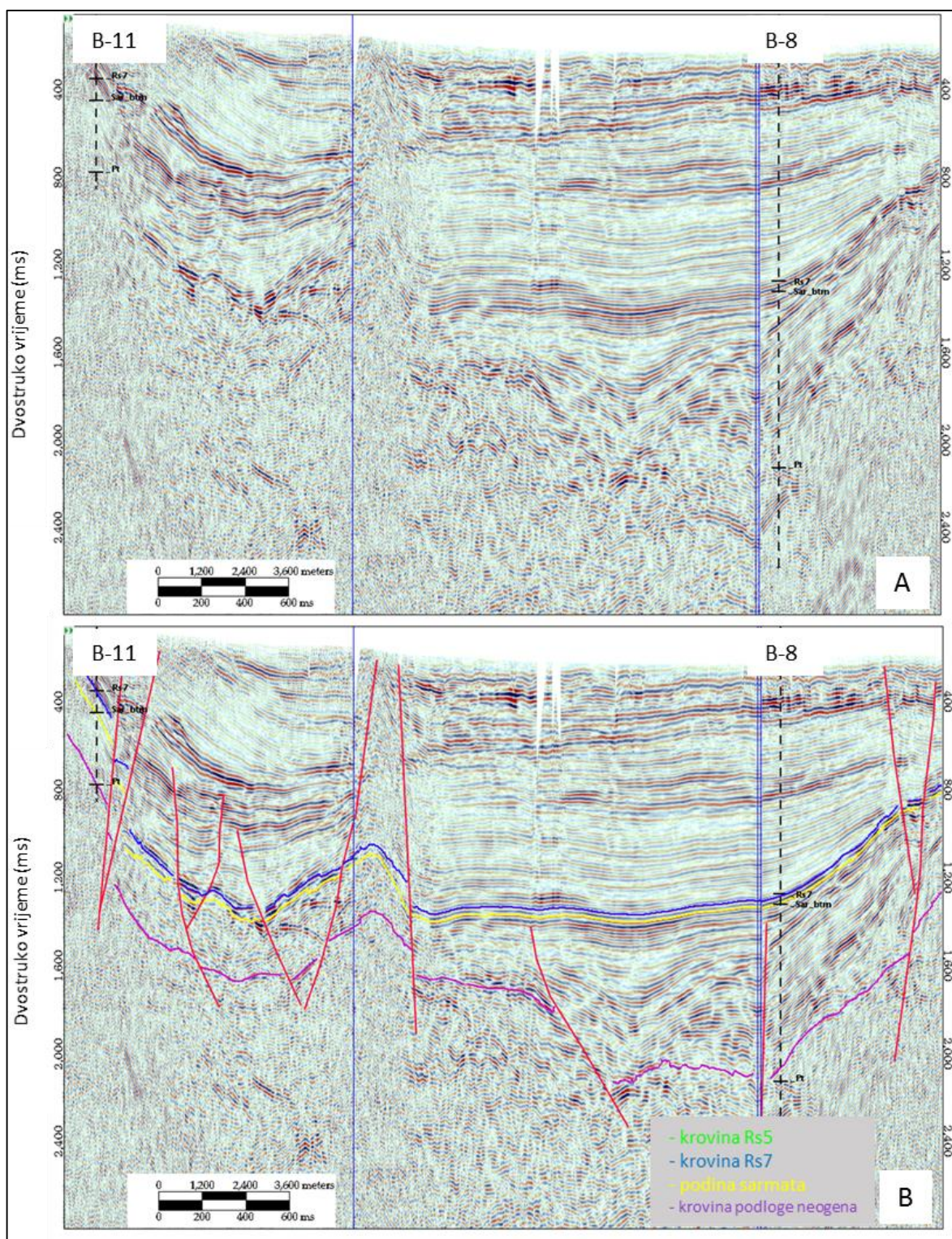
#### 8.3.4. Interpretacija profila 4 4' (uključuje bušotine B-11, B-8)

U bušotinama B-11 i B-8 sarmatska je određen na temelju faune foraminifera. Korelacijski profil sa naznačenim intervalom sarmatskih taložina prikazan je **slikom 8.7**. Interval je pratljiv na seizmičkom profilu (**slika 8.8.**).



**Slika 8.7.** Korelacijski profil 4-4' kroz bušotine B-11 i B-8



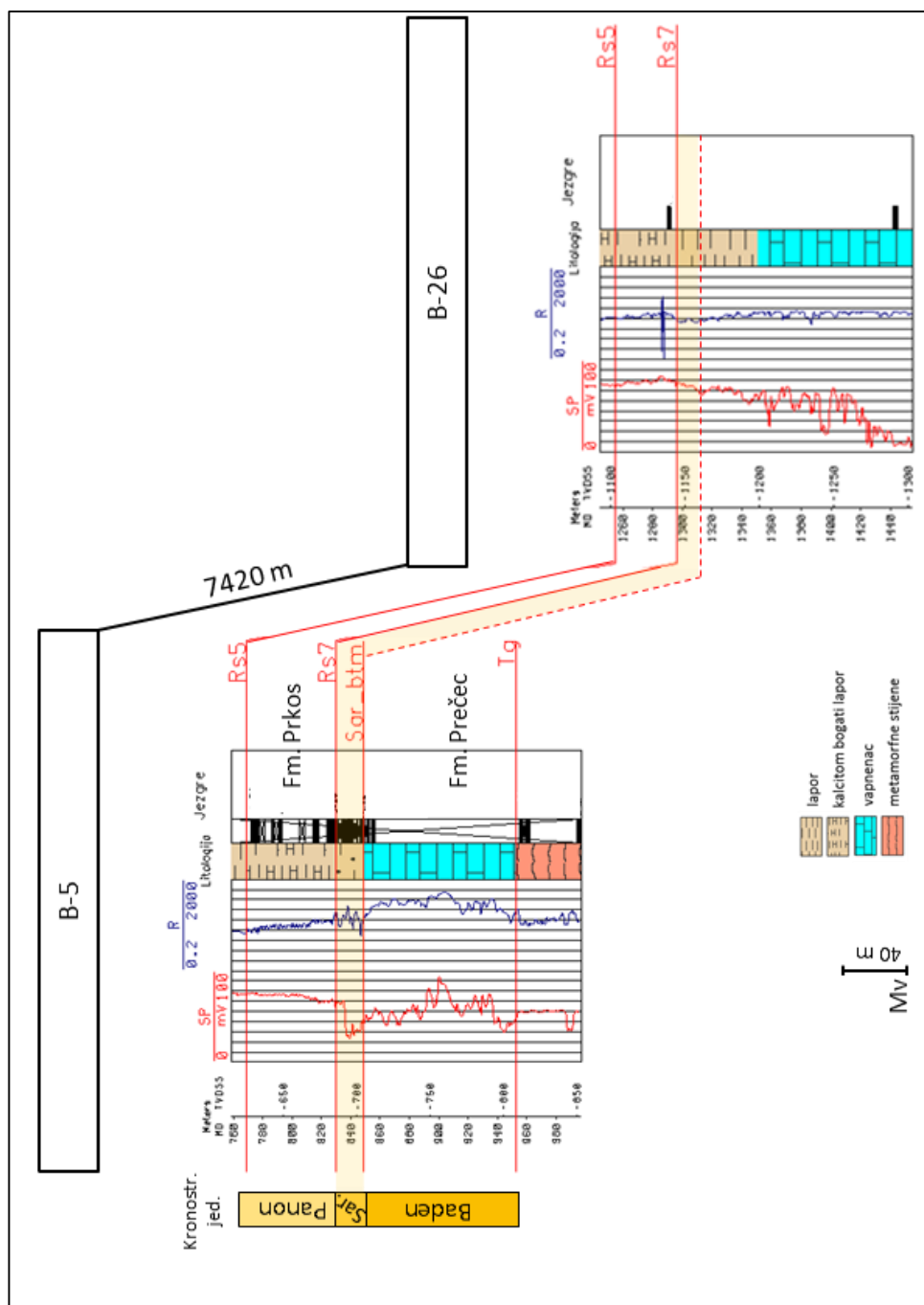


**Slika 8.8.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 4-4' kroz (B-11 i B-8)

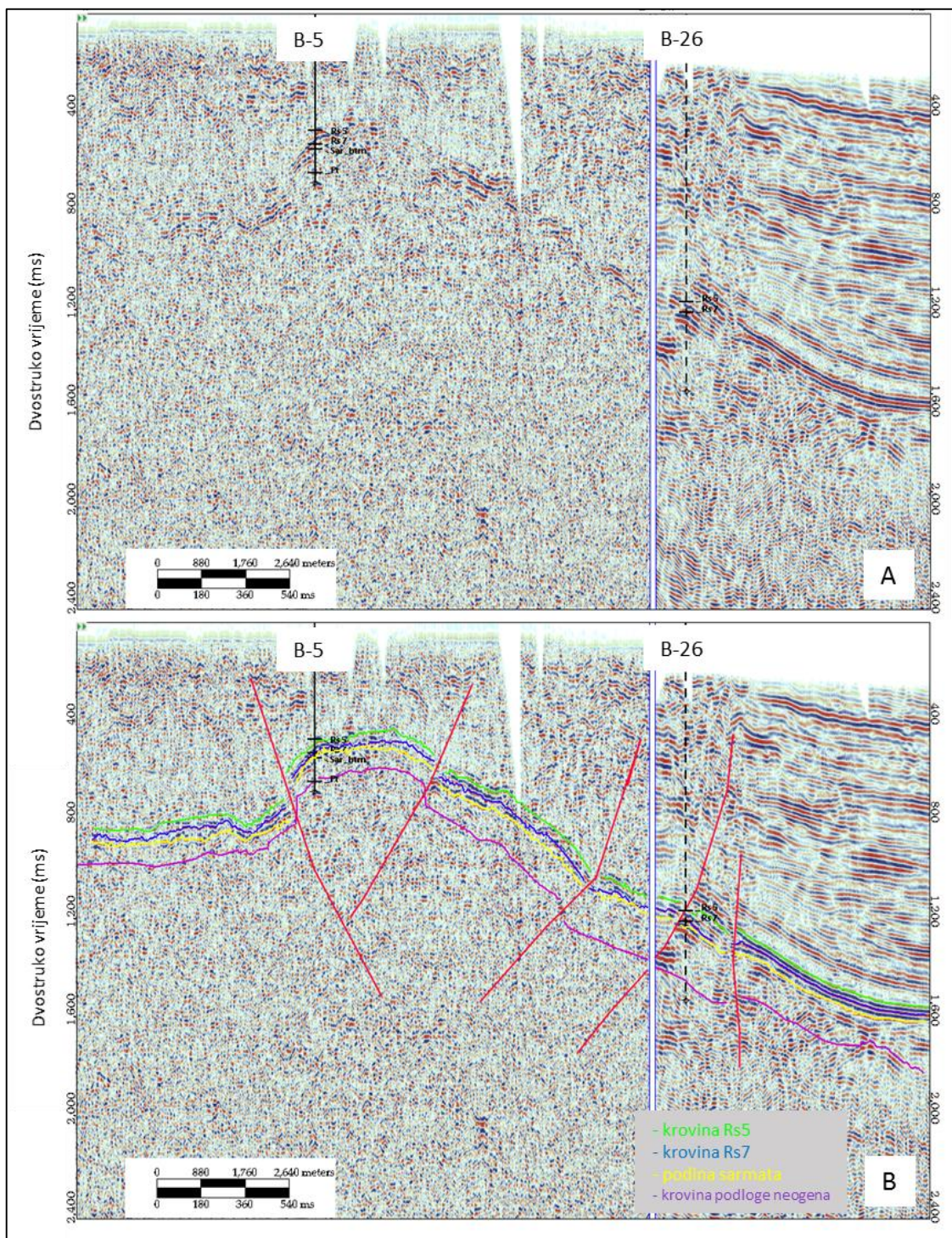


### 8.3.5. Interpretacija profila 5 5' (uključuje bušotine B-5, B-26)

Sarmatske taložine su fosilno dokazane u bušotini B-5. U bušotini B-26 interval sarmatskih taložina je pretpostavljen na temelju elektrokarotažnih dijagrama i korelacije okolnih bušotina. Bušotine su prikazane na korelacijskom profilu (**slika 8.9.**). Na seizmičkom profilu interval se može pratiti od bušotine B-5 do bušotine B-26 te su stoga sarmatske taložine i tamo razvijene (**slika 8.10.**).



**Slika 8.9.** Korelacijski profil 5-5' kroz bušotine B-5 i B-26

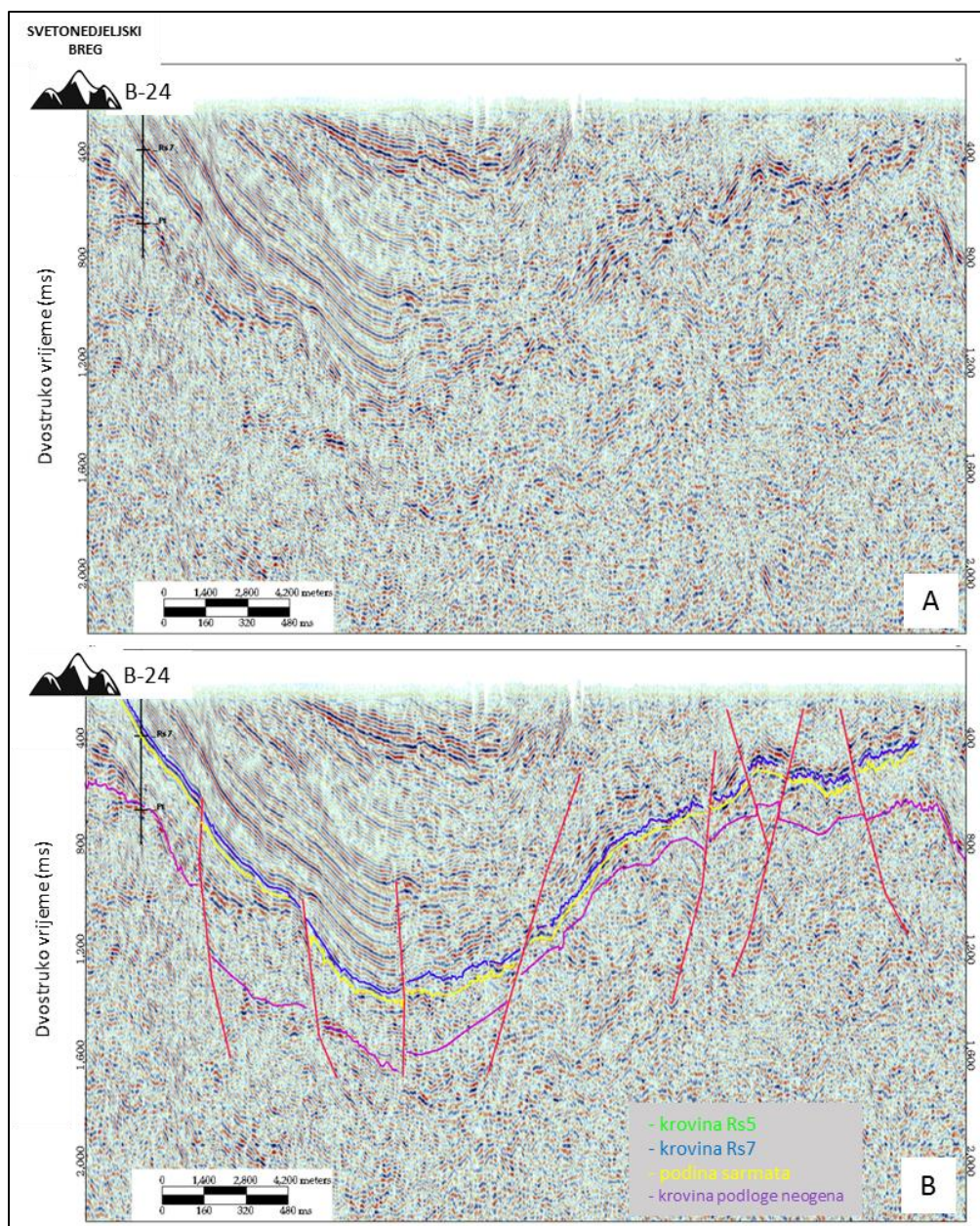


**Slika 8.10.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil -5' (B-5 i B-26)



### 8.3.6. Interpretacija profila 6-6' (uključuje bušotinu B-24)

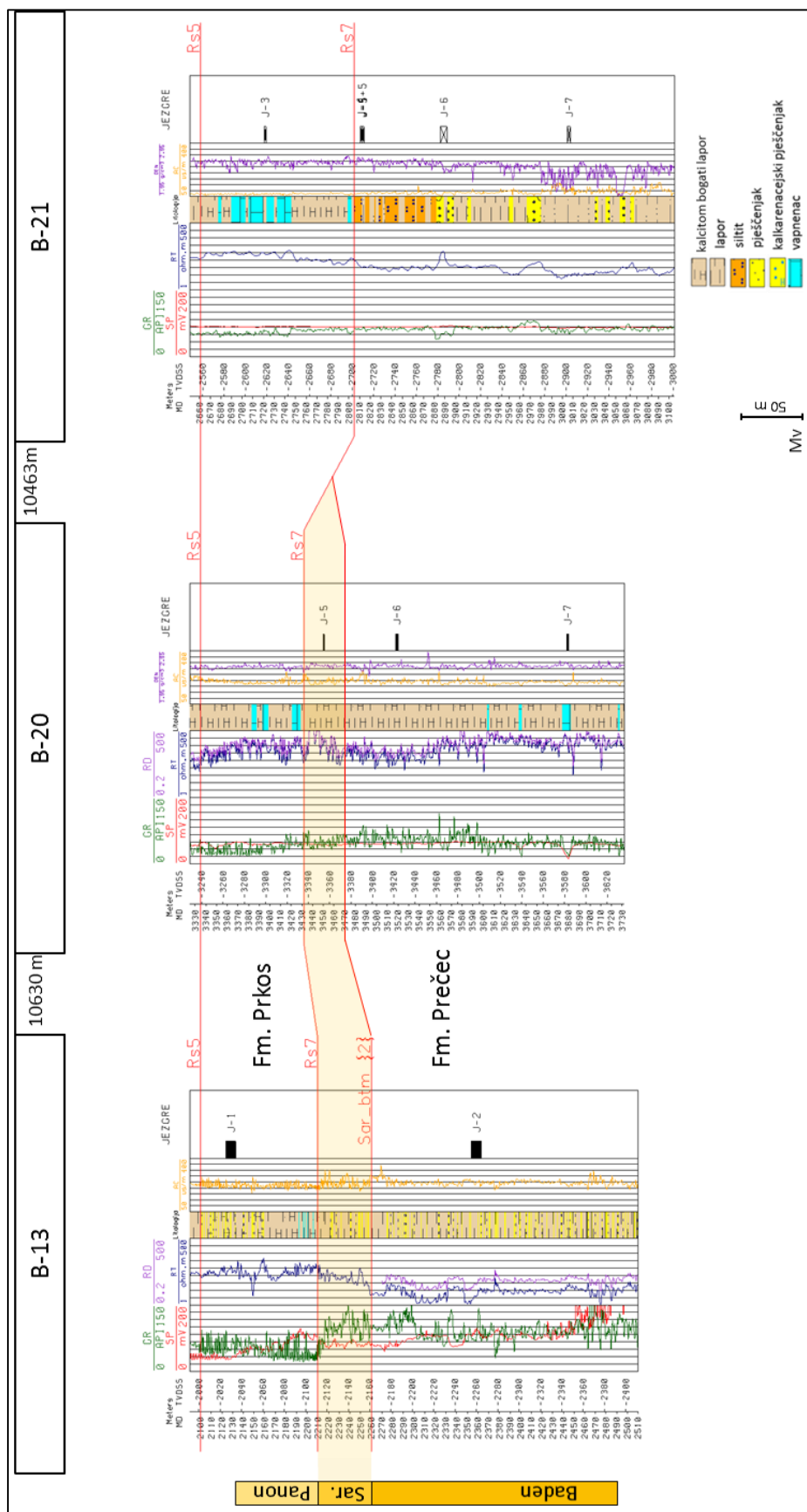
Profil prolazi kroz bušotinu B-24. U bušotini nije fosilno dokazan sarmat, ali su prema opisu petrografskih izbrusaka jezgre ispod Rs7 pretpostavljene sarmatske naslage. Na seizmičkom profilu ispod Rs7 izdvojen je interval koji bi odgovarao sarmatu. Vidljivo je da izdvojeni interval ide prema površini, na područje Svetonedeljskog brega gdje je sarmat dokazan i detaljno obrađen u potpoglavlju 7.71.



**Slika 8.11.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) 6-6' (B-24)

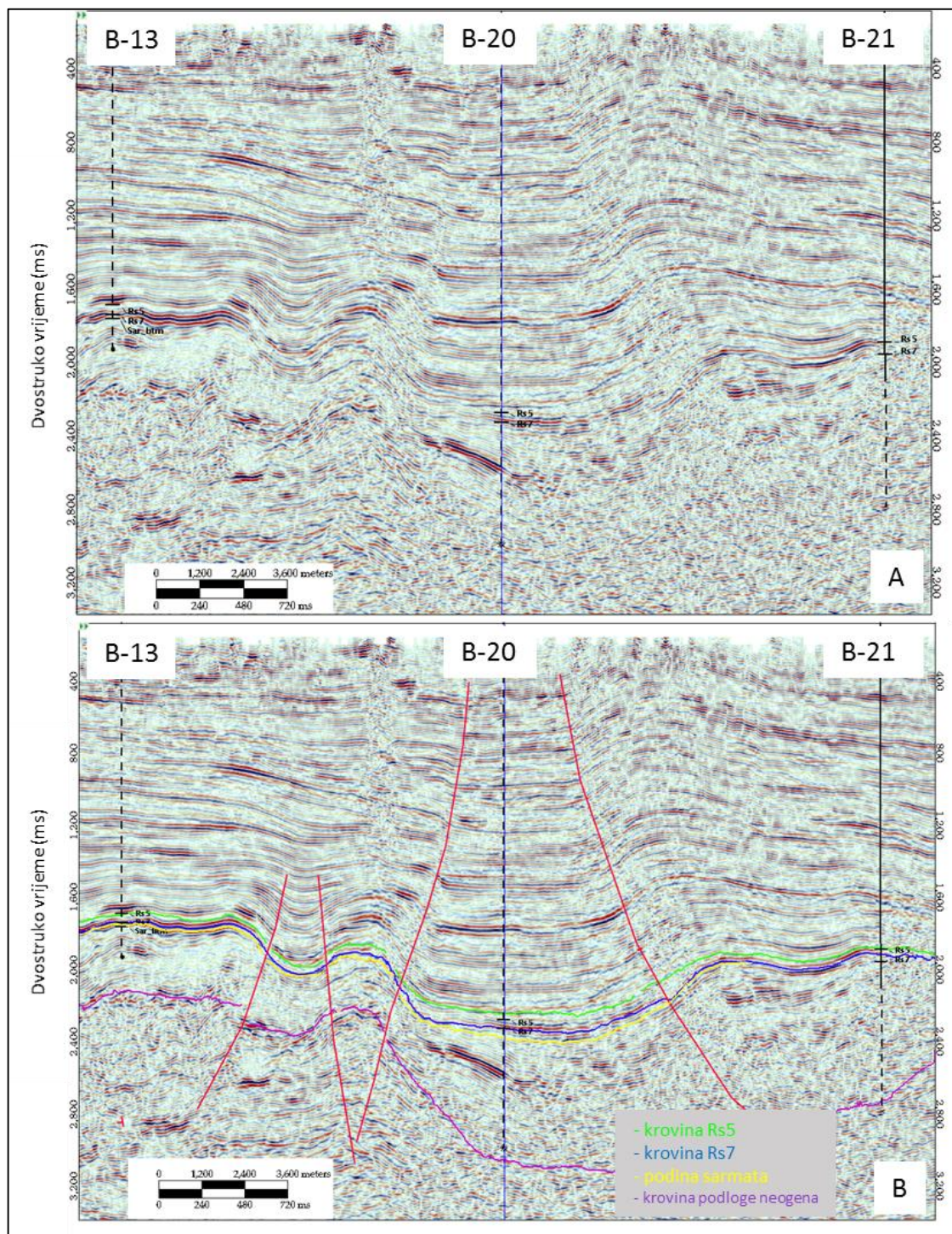
### 8.3.7. Interpretacija profila 7-7' (uključuje bušotine B-13, B-20, B-21)

U bušotini B-13 je sarmatska starost dokazana mikrofosilnim nalazom (potpoglavlje 5.2.). U bušotini B-20 gornji dio formacije Prečec prije prve pojave litotamnijskih vapnenaca (cca 3595) bi mogao pripadati intervalu sarmatskih taložina, jer određeni mikrofosili su širokog stratigrafskog raspona pojavljivanja. Na seizmici je od bušotine B-13 do B-20 moguće je pratiti interval sarmata. Za interval ispod EK markera Rs7, prve pojave litotamnijskih vapnenaca (oko 3595 m) pretpostavljeno je da pripada sarmatskom intervalu. Prema B-21 se gubi refleks i interval nije moguće pratiti (**slika 8.13.**). U bušotini nema sarmatskih taložina te je interpretirano da sarmat isklinjava prije bušotine (**slika 8.12.**).



Slika 8.12. Korelacijski profil 7-7' kroz bušotine B-13, B-20 i B-21 poravnato po Rs5





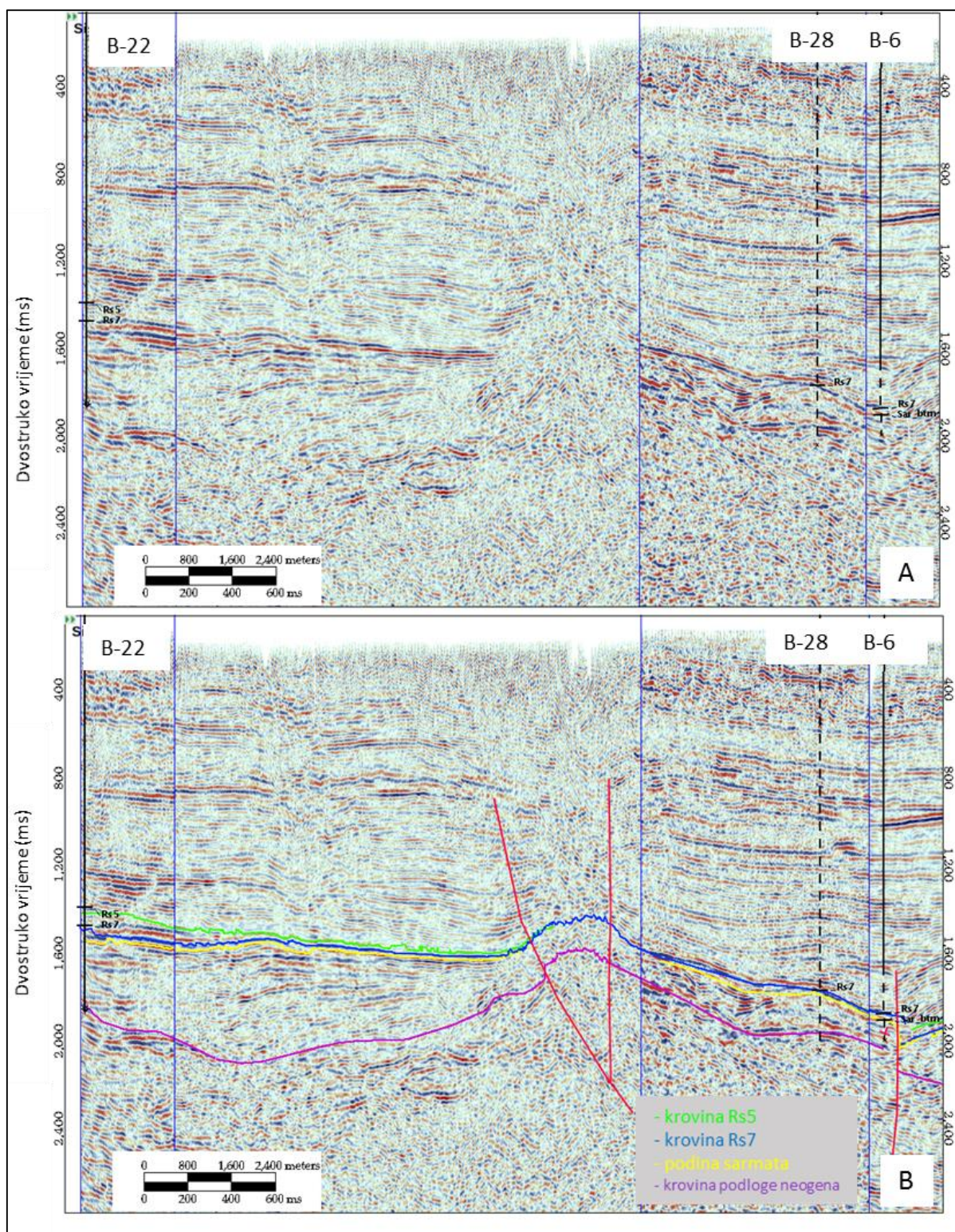
**Slika 8.13.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) 7-7' (B-13, B-20 i B-21)



### 8.3.8. Interpretacija profila 8-8' (uključuje bušotine B-22, B-28, B6)

U bušotini B-28 je pretpostavljena badenska starost, ali u jezgri ispod Ek-markera Rs7 je dobiven biokalkarenit sa krhotinama fosila te je takva odredba nesigurna. U bušotini B-6 određena je sarmatska starost na temelju tipične sarmatske faune školjkaša *Ervilia podolica* (izvješće bušotine, 1967). U je bušotini B-7 koja je u blizini također je određena sarmatska starost. Odabran je seizmički profil kroz bušotinu B-28 jer kroz B-7 nema seizmičkog profila te je prevelika udaljenost za projekciju bušotine do prvog susjednog seizmičkog profila. U bušotini B-22 pretpostavljen je interval sarmatskih taložina (izvješće bušotine B-22, 1975), ali novim mikropaleontološkim analizama u bušotini nije utvrđena sarmatska starost (Premec Fuček et al., 2016). Kad se analiziraju jezgre vidi se izrazita promjena facijesa između jezgre 3 (1762,8-1769,3 m) i 4 (1825-1831 m) (opisano u poglavlju 5 i 7) te se može zaključiti da gornji interval pripada sarmatskim taložinama (**slika 8.14.**). Na seizmičkom profilu vide se jasni refleksi ispod Ek-markera Rs7 koji odgovaraju sarmatskim taložinama i vidljivi su i u bušotini B-22. U središnjem dijelu profila refleksi su nejasni i ne mogu se pratiti te je interpretirano da na tom dijelu nema sarmatskih taložina (**slika 8.15.**).



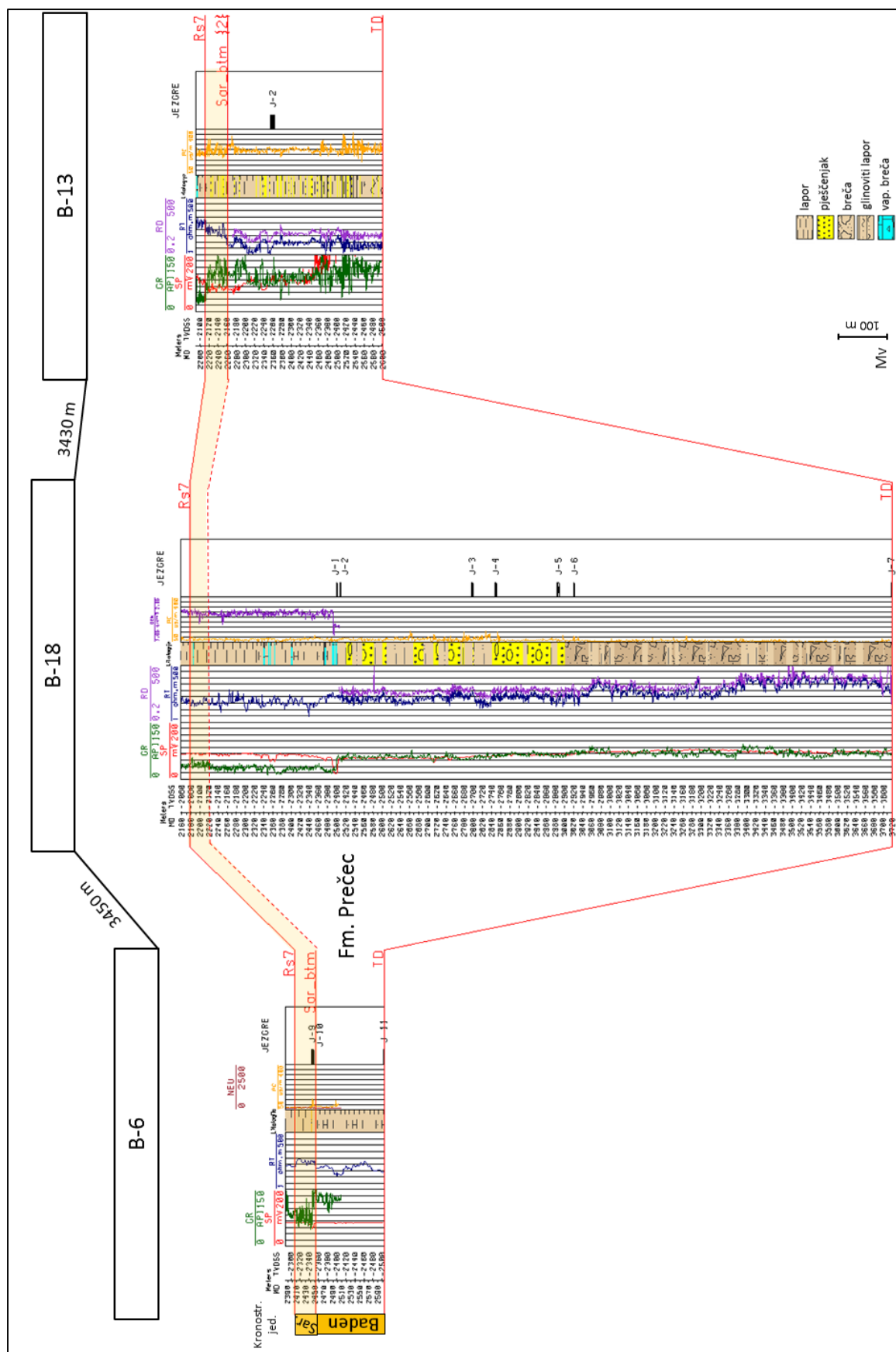


**Slika 8.15.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 8-8' (B-22, B-28 i B-6)

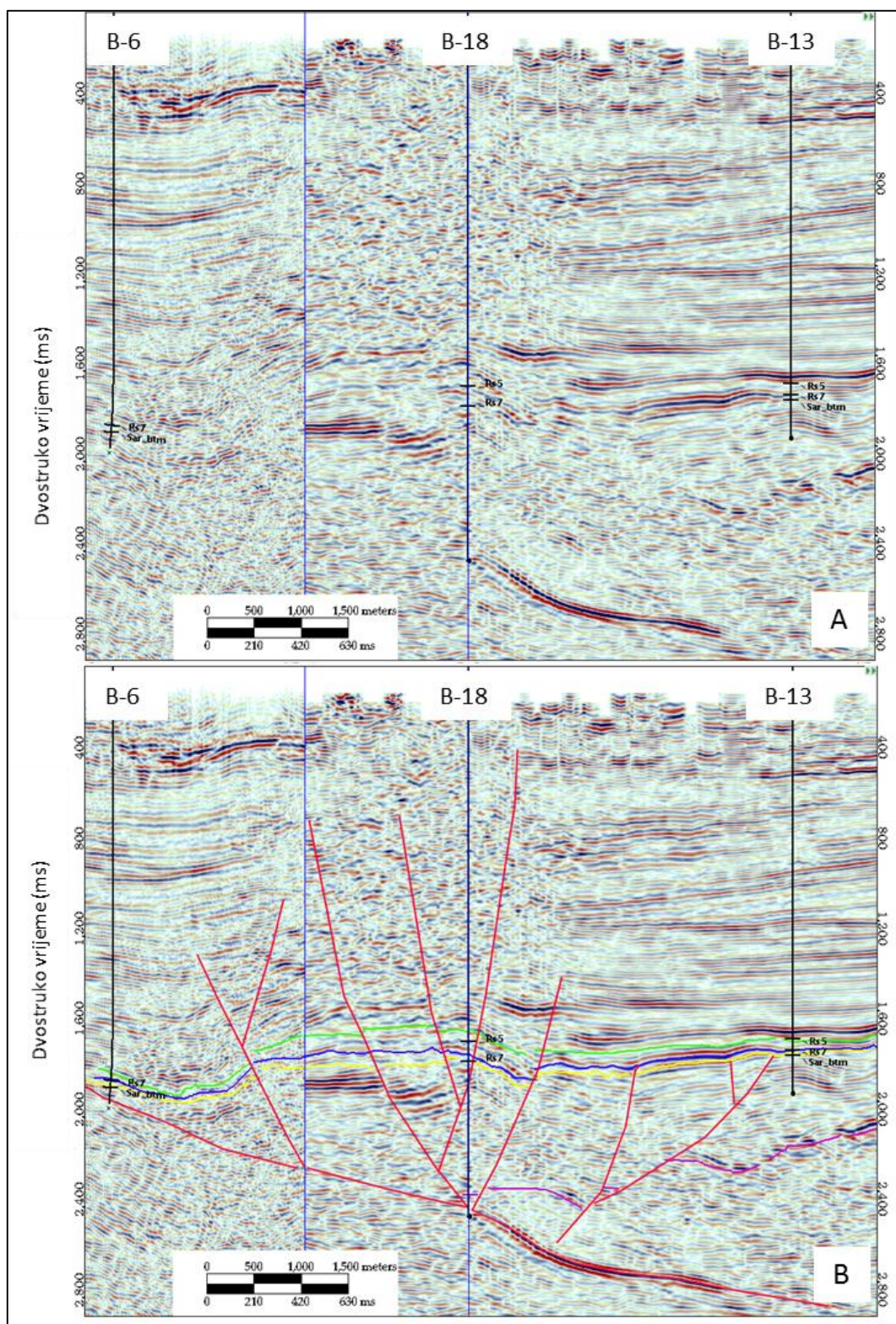
### 8.3.9. Interpretacija profila 9-9' (uključuje bušotine B-6, B-18, B13)

U bušotini B-13 interval sarmatskih taložina je određen u uzorcima krhotina sa sita. Taložine su odlagane u mirnom plitkomorskom okolišu sa povremenim donosima manjih količina karbonatnog i siliciklastičnog detritusa iz priobalnih plicaka. Sarmatske taložine utvrđene su i u bušotini B-6, dok u bušotini B-18 nisu prepoznate. U intervalu ispod Rs7 (2178 m) utvrđene su foraminifere šireg raspona trajanja. Provodna badenska foraminifera *Praeorbulina glomerosa* utvrđena je na dubini od 2320 m. Korelacijski profil sa interpretiranim intervalom pretpostavljenih sarmatskih taložina prikazan je **slikom 8.16**. Prema seizmičkom profilu moguće je pratiti sarmatski interval određen na ostale dvije bušotine (**slika 8.17**).





Slika 8.16. Korelacijski profil 9-9' kroz bušotine B-6, B-18 i B-13

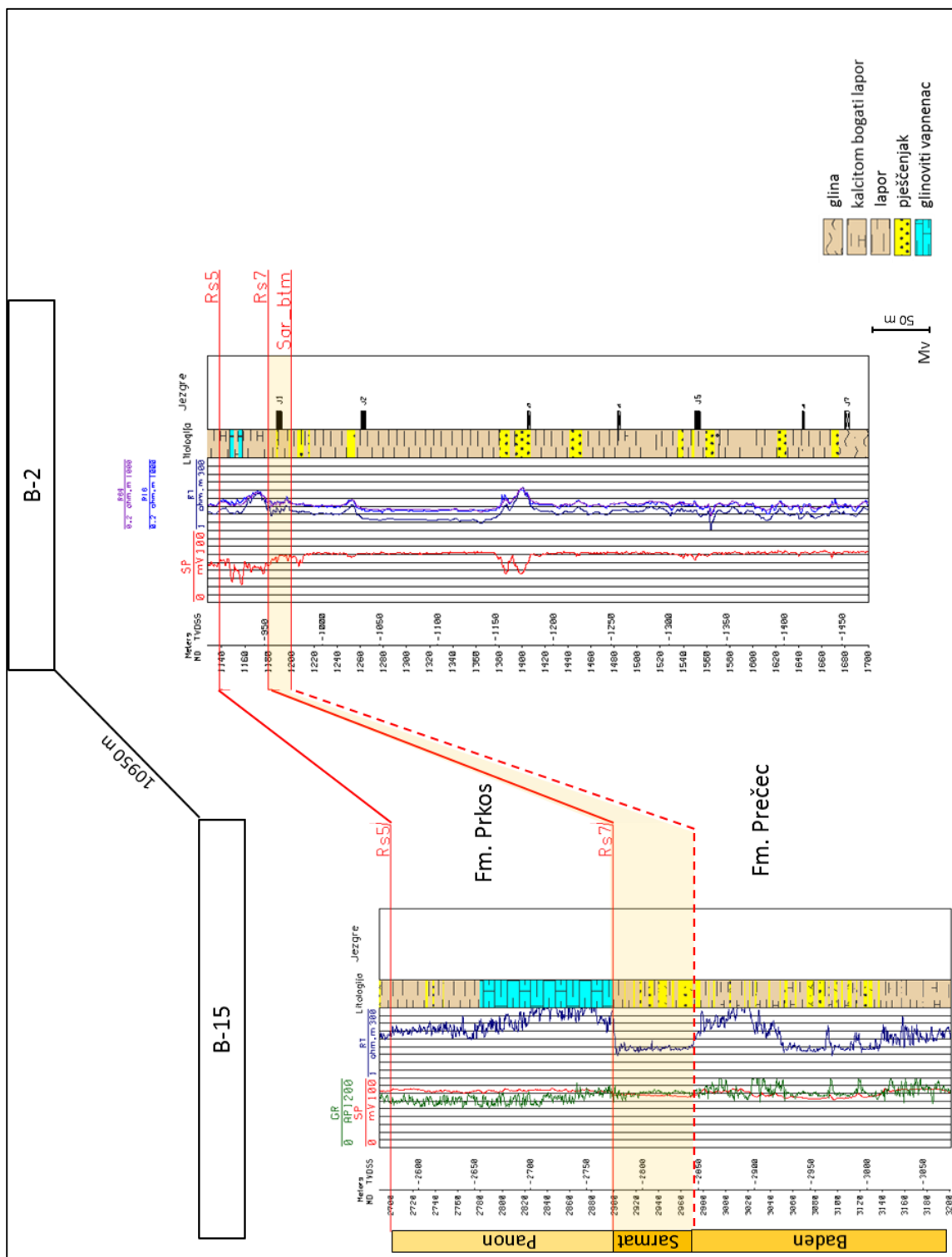


**Slika 8.17.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) 9-9' ( B-6, B-18 i B-13)

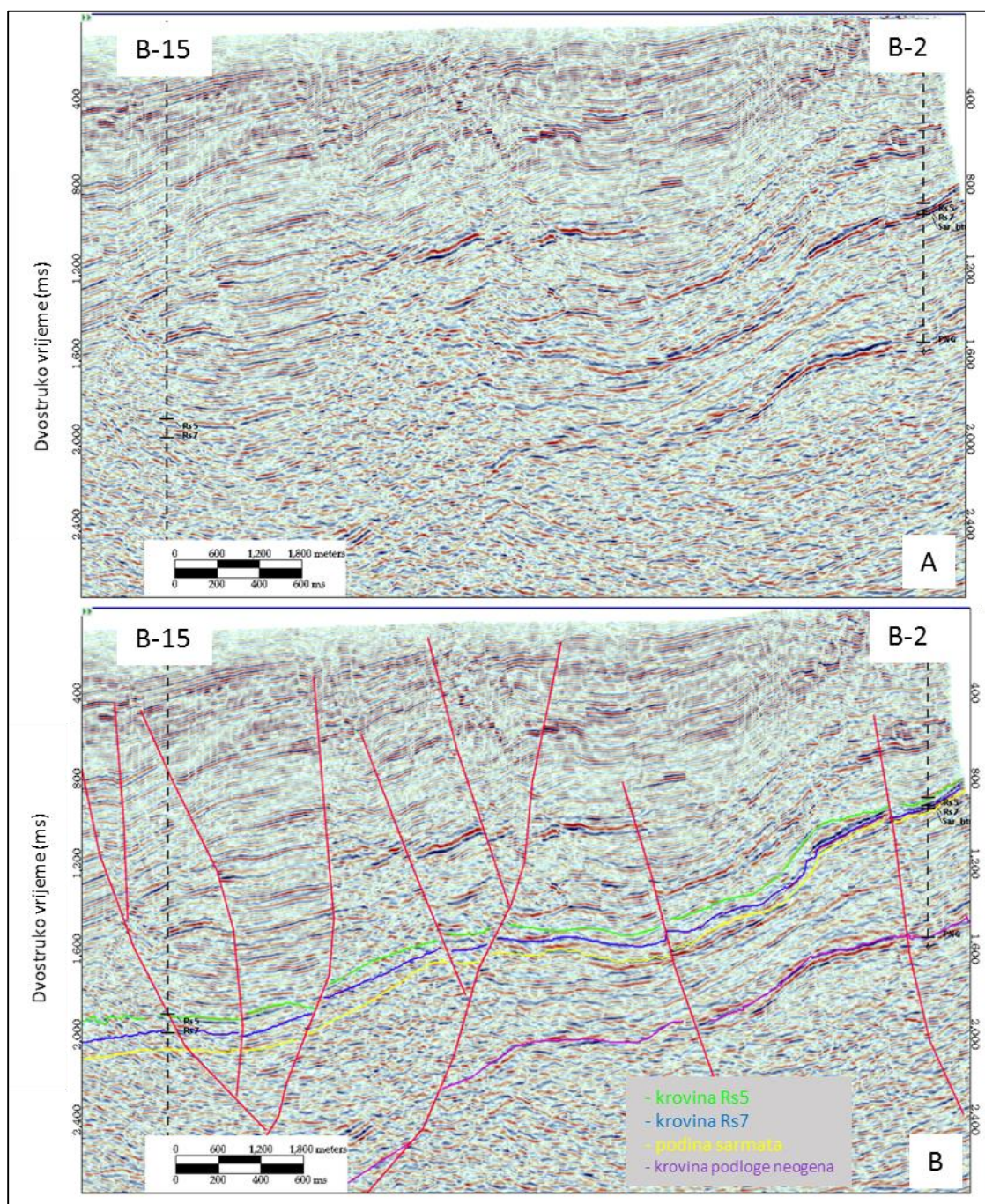


### 8.3.10. Interpretacija profila 10-10' (uključuje bušotine B-15, B2)

U bušotini B-15 mikropaleontološkim analizama sarmatske taložine nisu utvrđene te je u intervalu ispod Rs7 određen gornji baden, na temelju foraminifera šireg raspona pojavljivanja. Budući da je bušotina nabušila 1813 m debljine formacije Prečec i nalazi se u dubokom dijelu Savske depresije za pretpostaviti je da su se sarmatske naslage taložile, ali nisu prepoznate. Korelacijski profil bušotina prikazan je **slikom 8.18**. Na seizmičkom profilu interval sarmata je praćen od bušotine B-2 u kojoj su sarmatske taložine dokazane (**slika 8.19.**).



**Slika 8.18.** Korelacijski profil 10-10' kroz bušotine B-15 i B-2



**Slika 8.19.** Neinterpretirani (A) i interpretirani seizmički (B) profil 10-10' (B-15 i B-2B)

#### 8.4. INTERPRETACIJA I PROSTORNA RAZDIOBA TALOŽNIH OKOLIŠA SARMATA

U potpoglavlju 5.2. odabrane su istraživačke bušotine u kojima paleontološki nije dokazana sarmatska starost te su dane biostratigrafske interpretacije u intervalu ispod EK markera Rs7. Utvrđeno je da je interpretirani gornji dio badena (ispod Rs7) često određen na temelju fosila šireg stratigrafskog raspona pojavljivanja, tj. koji se javljaju i u sarmatu. U fosilnoj zajednici dominiraju planktonske vrste što se inače povezuje s razdobljem badena. Odabrane bušotine su u pretpostavljenom dubljem dijelu taložnog prostora (prema dubinskoj strukturnoj karti Rs7 i velikim debljinama formacije Prečec, karte u potpoglavlju 5.3.) gdje je promjena paleoekoloških uvjeta badena u sarmat postupna (objašnjeno u potpoglavlju 5.2.). U takvom okolišu se očekuje dominacija planktona. Kako provodne sarmatske vrste nisu utvrđene pretpostavljen je baden, ali se provodne badenske vrste javljaju otprilike 100 m dublje od Rs7. Stoga sarmat fosilno nije prepoznat, ali postoji. Također je prikazano kako se na pojedinim seizmičkim profilima može pratiti interval sarmatskih taložina od bušotine u kojoj je fosilno dokazana sarmatska starost do one na kojoj sarmat fosilno nije dokazan (npr. B-13, B-20, B-15) (potpoglavlje 8.3.).

U svrhu izradbe karte taložnih okoliša u vrijeme sarmata, svi površinski i dubinski podatci o taložnim okolišima grupirani su u kategorije (**tablica 8.1**) plitkog, prijelaznog, dubljeg okoliša i kopnene zone. Na taj je način svakoj analiziranoj točki u prostoru pridružena vrijednost nazvana indikator okoliša.

**Tablica 8.1.** Kategorije kartiranih okoliša

|          |                   |
|----------|-------------------|
| <b>0</b> | kopno             |
| <b>1</b> | plitki okoliš     |
| <b>2</b> | prijelazni okoliš |
| <b>3</b> | duboki okoliš     |

Za površinska smjestašta korišteni su podatci preuzeti iz radova opisanih u potpoglavlju 5.1. te površinska smjestašta Svetonedeljskog brega analizirana u ovom radu. Indikatori okoliša površinskih smjestašta prikazani su **tablicom 8.2**.



**Tablica 8.2. Indikatori okoliša površinskih smjestaša**

| površinska smjestaša            |     | indikator okoliša |                            |
|---------------------------------|-----|-------------------|----------------------------|
| Gornje Vrapče (Trzunove pećine) | GV  | 1                 | Vrsaljko et al. 2006       |
| Krvarić                         | Kr  | 1                 | Vrsaljko et al. 2006       |
| Podsusedsko Dolje               | PD  | 1                 | Vrsaljko et al. 2006       |
| Donje Orešje                    | DO  | 3                 | Vrsaljko et al. 2006       |
| Susedgrad                       | Su  | 1                 | Brajković, 2011            |
| Kostanjek (Podsused)            | Ko  | 1                 | Mandić et al.eds., 2016    |
| Slapno                          | Sl  | 1                 | Vrsaljko et al. 2003       |
| Ozalj                           | Oz  | 1                 | Vrsaljko et al. 2003       |
| Draganić                        | Dr  | 1                 | Vrsaljko et al. 2003       |
| Jurjevčani                      | Jur | 1                 | Vrsaljko et al. 2003       |
| Toplice                         | To  | 1                 | Vrsaljko et al. 2003       |
| Kladje                          | Kl  | 1                 | Vrsaljko et al. 2003       |
| Svetonedeljski breg             | SB  | 2                 | Premec Fuček et al. (2015) |
| Markuševec                      | Mar | 1                 | Avanić et al. 1995         |
| Šelendići (Markuševec)          | Šel | 1                 | Pavelić et al., 1995       |
| Podsused                        | P   | 1                 | Majstorović, 2004          |
| Kašina                          | Kaš | 1                 | Drvarić, 2006              |
| Sv. Nedjelja                    | SN  | 1                 | Fleck Gavran, 2011         |
| Glavnica                        | Gl  | 1                 | Novak, 2006                |
| Bora                            | B   | 1                 | ovaj rad                   |
| 5                               | 5   | 2                 | ovaj rad                   |
| 7                               | 7   | 1                 | ovaj rad                   |

Dubinski podatci o taložnom okolišu djelomično su preuzeti iz izvještaja bušotina, što je prikazano u potpoglavlju 5., a tamo gdje je bio dostupan jezgrovani materijal zaključilo se i na osnovi petrografskih izbrusaka i opisa pregledanih jezgara. U izvještaju bušotine B-1 određen je okoliš unutarnjeg šelfa te je u svrhu kartiranja bušotini je pridružen plitki okoliš. Tome u prilog idu i petrografske analize u kojima su prepoznati vjerojatni stromatoliti, što ukazuje na plitki okoliš u zoni povremenog izranjanja. Prema izvješću bušotine B-2 mikrofauna naslaga ukazuje na plitkovodni okoliš, prvenstveno prema brojnim vrstama roda *Elphidium*, koji se javlja u plićem okolišu, do 50 metara dubine (Murray, 1991, 2006). Petrografskim analizama određen je madston do vekston, s presjecima ostrakoda i mjestimice prisutnoj organskoj tvari. Prijelazni okoliši pridruženi su bušotinama B-3, B-8, B-14, B-16, B-19, B-23, B-24 i B-26 prvenstveno zbog miješanja plitkovodne i dubljevodne fosilne zajednice u uzorcima (potpoglavlje 5.2.), a tome u prilog idu i nelaminirani madstoni do vekstoni utvrđeni u petrografskim izbruscima (bušotine B-3, B-8). Prvenstveno prema mikrofosilnoj zajednici u kojoj su brojni elfidiji plitki okoliš je pridružen bušotinama B-4, B-7, B-12, i uz ostatke obalnog bilja B-11. U pojedinim bušotinama, u petrografskim izbruscima vidljivi su laminirani madstoni koji podsjećaju na stromatolite pa su stoga svrstani u plitki okoliš (B-10), dok kod nekih na plitki okoliš ukazuju ostaci obalnog bilja i elfidiji (B-11). Dublji okoliš bušotine B-9 pretpostavljen je u izvješću bušotine na osnovi dinocisti: *Spiniferites* sp., cf. *Hystriocholpoma* sp., i cf.

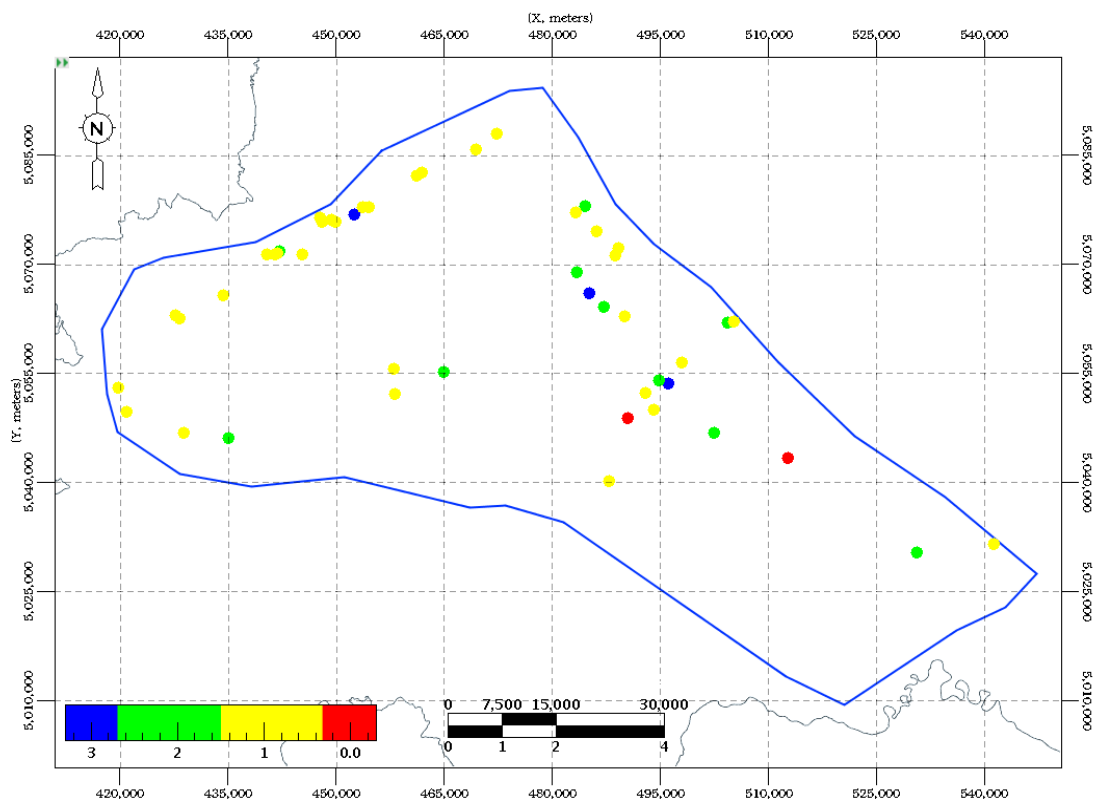
*Polysphaeridium* sp. i planktonskih foraminifera. U bušotini B-15 uz lapore u kojima su iz uzoraka sa sita određene rijetke vrste planktonskih foraminifera taloženi su i pješčenjaci te je okoliš pridružen prijelaznom. Budući da nema uzoraka detaljnija odredba nije moguća, ali je zbog relativni velikog udjela pješčenjaka te lapora s planktonskim vrstama interval sarmata svrstan u prijelazni okoliš. Duboki okoliš bušotine B-17 pridružen je zbog veće zastupljenosti planktonskih foraminifera i opisanom dubljem okolišu s većim utjecajem otvorenog mora u izvještaju. U bušotini B-18 prema obilježja fosilne zajednice iz materijala iz isplake u kojoj dominiraju planktonske vrste okoliš je određen kao dubljevodni. Dodijeljeni indikatori okoliša dubinskih smjesta, odnosno bušotina prikazani su **tablicom 8.3.**

**Tablica 8.3.** *Indikatori okoliša dubinskih smjesta*

| Bušotina | inikator okoliša |
|----------|------------------|
| B-1      | 1                |
| B-2      | 1                |
| B-3      | 2                |
| B-4      | 1                |
| B-5      | 1                |
| B-6      | 1                |
| B-7      | 1                |
| B-8      | 2                |
| B-9      | 3                |
| B-10     | 1                |
| B-11     | 1                |
| B-12     | 1                |
| B-13     | 1                |
| B-14     | 2                |
| B-15     | 2                |
| B-16     | 2                |
| B-17     | 3                |
| B-18     | 3                |
| B-19     | 2                |
| B-20     | 2                |
| B-21     | 0                |
| B-22     | 1                |
| B-23     | 2                |
| B-24     | 2                |
| B-25     | 1                |
| B-26     | 2                |
| B-27     | 1                |
| B-28     | 1                |



Prostorni prikaz svih površinskih i dubinskih smjesta s pridruženim indikatorima okoliša prikazan je **slikom 8.20**.



**Slika 8.20.** Položaj točaka korištenih prilikom kartiranja

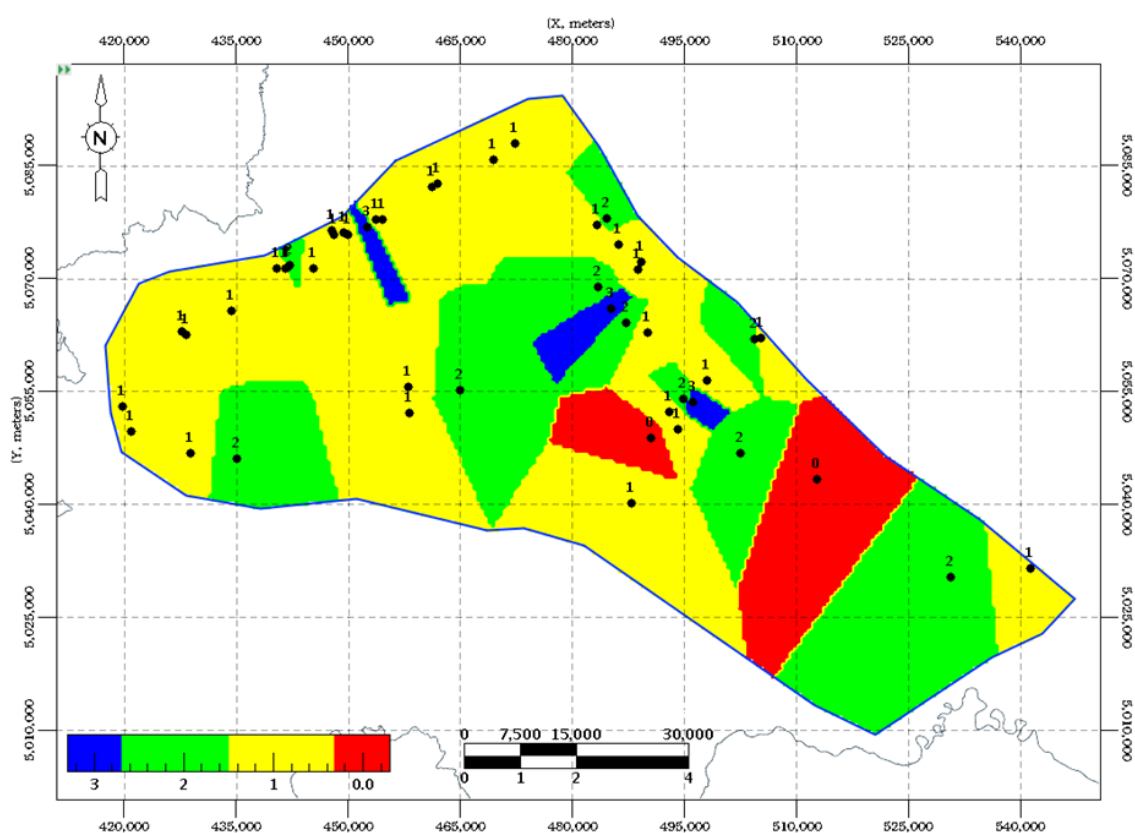
### 8.3.1. Metoda najbližega susjedstva

Nakon toga su okoliši kartirani u prostoru. Metodom najbližeg susjedstva dobila se gruba distribucija okoliša (**slika 8.21.**). Metoda najbližeg susjedstva je korisna u slučaju kada postoji relativno velika zona bez podataka, a potrebno je načiniti preglednu kartu, što je upravo slučaj u kartiranju sarmatskih okoliša na temelju relativno raspršenog i oskudnog skupa točkastih podataka. Distribuciju okoliša je zonalna, jer se temelji na pojedinačnom podatku i pravilu granice na polovici udaljenosti od sljedećega mjerenja („čvrste vrijednosti“). Na taj način dobivena je „gruba“ procjena razdiobe okoliša istraživanom području.

Tako, na primjer, oko B-21 je interpretirano nepostojanje sarmatskih taložina, tj. najvjerojatnije kopneni okoliš u to vrijeme (ili naknadna erozija). U jezgrama 4 i 5 koje su ispod

Ek-markera Rs7 je prema provodnim fosilima dokazan baden, dokaza erozije nema. Na seizmičkom profilu je vidljivo da se prema B-21 se gubi refleks i interval sarmatskih taložina nije moguće pratiti te je interpretirano da sarmat isklinjava prije bušotine, što potvrđuje takvu interpretaciju.

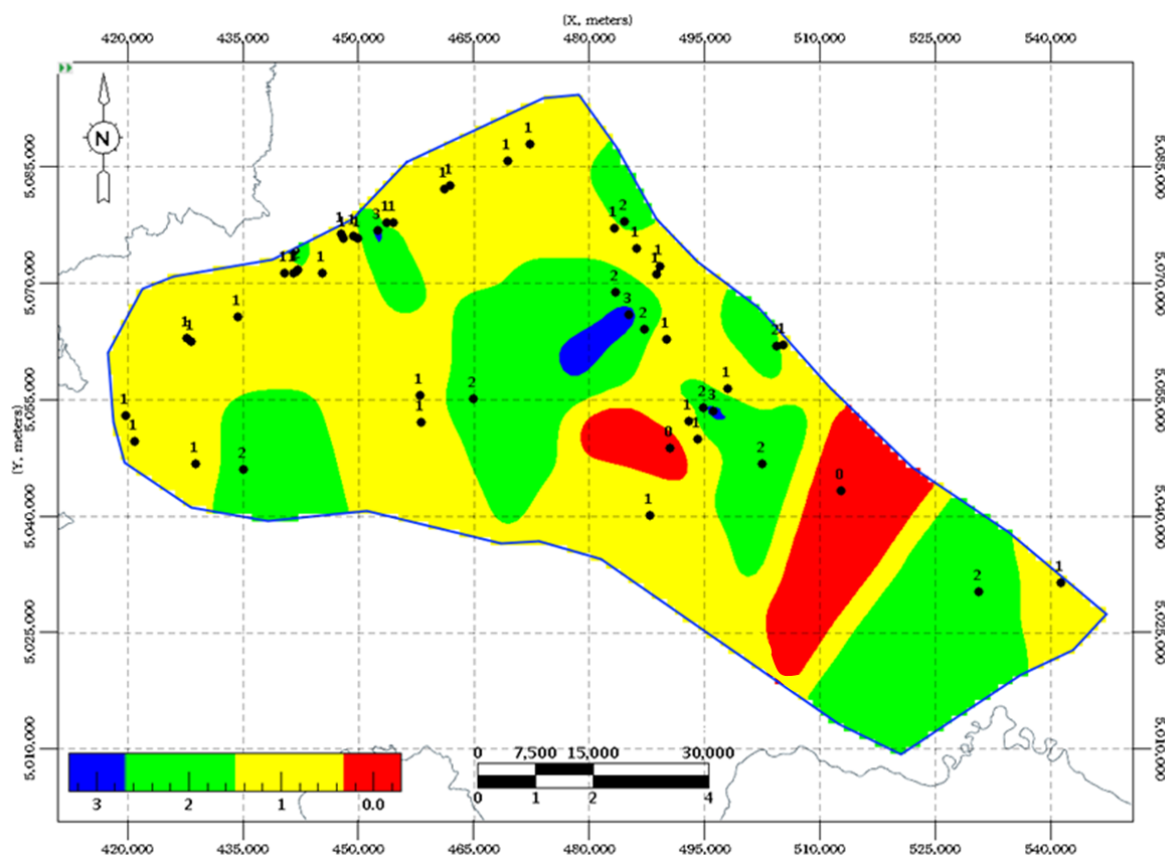
Međutim površina „kopna“ je izrazito velika u odnosu na cjelokupnu površinu i druge podatke. Da je ta postavka ispravna, područje Banove Jaruge i bušotine B-2 bi bilo odvojeno od ostalog dijela taložnog prostora, što prema analizi fosilnih zajednica sigurno nije slučaj. Nadalje na karti je vidljiva dominacija plitkovodnih okoliša, s prijelaznim zonama iz plitkoga u dublji šelf na tri mjesta, u istočnom, središnjem i sjeveroistočnom dijelu.



**Slika 8.21.** Karta okoliša interpolirana metodom najbližeg susjedstva

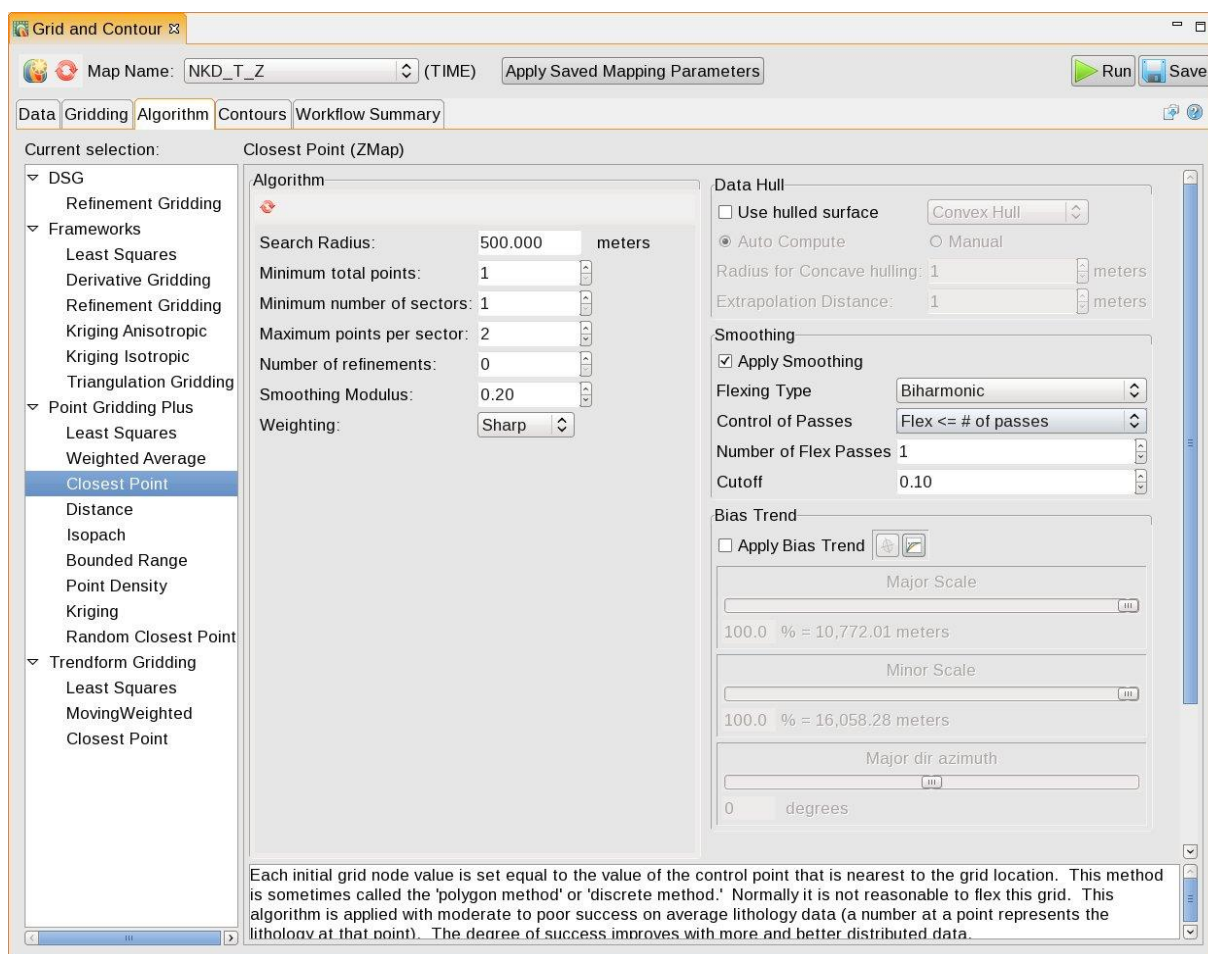
Upravo ti prijelazi bili su razlogom za testiranje još jedne metode interpolacije. Prijelazi između okoliša rijetko su oštri, linijski, već su uglavnom postupni. Tako između dubokog i plitkog postoji niz prijelaznih okoliša, a njihov prijelaz ovisi o podacima najbliže točke (tj. određenom indikatoru). Ako je jedna točka određena kao plitki okoliš, ovisno o indikatoru najbliže točke na jednu stranu prijelaz će biti prema dubljem, a na drugu prema kopnenom okolišu. Na takav način nije svim prijelazima na granicama dan jednak prostorni prikaz. Takva

interpretacija testirana je odabirom druge interpolacijske metode, one najbližega susjedstva. Dodatno je u njoj primijenjena opcija zaglađivanja linija (engl. *smoothing*). Dobivena karta dana je na **slici 8.22**.



**Slika 8.22.** Karta okoliša interpolirana metodom najbližeg susjedstva sa primjenom ublažavanja oštih rubova („smoothing“)

Prilikom izrade poligona potrebno je definirati određene parametre kao što su radijus pretraživanja ("Search Radius"), minimalan broj točaka ("Minimum total points"), minimalan broj poligona ("Minimum number of sectors"), maksimalan broj podataka unutar poligona ("Maximum points per sector") te mogućnost primjene ublažavanja oštih rubova poligona ("Apply Smoothing") (**slika 8.23.**).



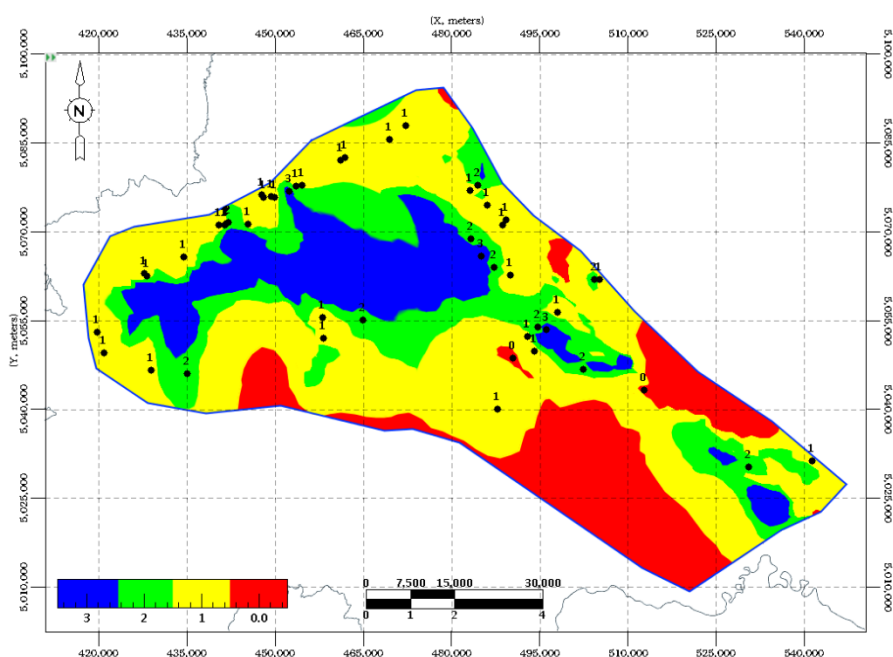
**Slika 8.23.** Sučelje u programu Decision Space sa prikazom ulaznih varijabli

Radijusom pretraživanja oko svakog čvora mreže definira se kružnica unutar koje se nalaze podatci kojima se procjenjuje kartirana vrijednost. Iako se unutar kružnice pretraživanje može nalaziti više "čvrstih" točaka, odnosno mjerenih podataka, procijenjena vrijednost u čvoru mreže poprima vrijednost najbliže točke. Minimalnim brojem točaka definira se minimalan broj podataka unutar kružnice pretraživanja. Ukoliko se definira minimalan broj podataka koji je veći od 1, a u kružnici pretraživanja nalazi se samo jedan podatak, tada će se čvoru mreže pripisati vrijednost 0, zanemarujući "čvrsti" mjereni podatak. Stoga je najbolje koristiti 1 kao minimalan broj podataka. Minimalan broj poligona podrazumijeva najmanji broj poligona unutar radijusa pretraživanja koji sadrže "čvrste" mjerene podatke pomoću kojih se računa vrijednost u čvoru mreže. Maksimalnim brojem podataka definira se najveći broj mjerenih podataka unutar poligona, koji se mogu koristiti prilikom procijene vrijednosti u čvoru mreže. Primjenom ublažavanja oštih rubova moguće je iz poligonske, diskretne metode dobiti interpolacijsku. Na taj način omogućen je utjecaj nešto udaljenijih podataka na samu procjenu vrijednosti u čvoru mreže te uklanjanje blagih nepravilnosti ili oštih rubova. Parametrima kao

što su način ublažavanja ("Control of Passes"), ponavljanje ublažavanja, odnosno savijanja mreže ("Number of flex Passes") i granična vrijednost ("Cutoff ") definira se način i jačina savijanja mreže prilikom primjene ublažavanja oštih rubova ("smoothing").

### 8.3.2. Metoda najmanjih kvadrata

Prilikom izrade karte okoliša metodom najmanjih kvadrata, kao trend koristila se strukturna karta EK markera Rs7 dobivena interpretacijom seizmičkih i bušotinskih podataka. Time je, kod ove interpolacije, korišten EK marker Rs7 kao drugotna (sekundarna) varijabla, jer je pretpostavljeno kako postoji odnos između dubine zaljevanja toga markera i taložnog okoliša, ali samo u dubljim dijelovima taložnog bazena. Time je za veći dio dubljega prostora pretpostavljeno kako su današnje strukture dijelom nasljedne u odnosu na prostor u vrijeme taloženja Rs7. U kartiranje su uključeni podatci gdje je dublji okoliš dokazan i na površini (npr. Donje Orešje). Tamo gdje nije bilo mjerenog podatka, koristio se trend današnje kartirane plohe Rs7. **Slika 8.24.** prikazuje prihvaćenu današnju razdiobu paleookoliša tijekom sarmata, s najboljim prikazom postupnih prijelaza iz dubokovodnog u pliće. Također kopneni dio u središnjem dijelu je znatno manjih dimenzija, što podupiru interpretirani fosilni ostatci. Na kraju, lako je uočiti povezanost okoliša sjeveroistočnog i jugozapadnog dijela analiziranog prostora.



**Slika 8.24.** Karta okoliša dobivena metodom „Least squares“ najmanjih kvadrata

Glavne zone plićih i prijelaznih okoliša su na svim kartama vrlo slične, dok je dublja zona dobivena ovom metodom veća. Temeljem nasljednosti, u područjima najdubljeg današnjeg zaljevanja EK markera Rs7 okoliš u vrijeme sarmata također je uglavnom bio dublji. Promatrajući razdiobu okoliša i uspoređujući ih sa drugim izvorima podataka (seizmički, paleontološki i sedimentološki podatci) karta dobivena metodom najmanjih kvadrata najbolje nadopunjuje te podatke.

## 8.5. NAFTNOGEOLOŠKI ZNAČAJ SARMATSKIH TALOŽINA

Geokemijske analize sadržaja organske tvari u površinskim uzorcima stijena sarmatske starosti (Troskot-Čorbić, 2018) s područja Sv. Nedjelje pokazuju podjednaku količinu organske tvari, koja se kreće od 0,29 do 0,47 % Corg, što je ispod granice za klastične matične stijene. Određivanje sadržaja organskog ugljika Rock Eval pirolizom (od 0,19 do 0,53 %CorgRE) daje isti zaključak. Organska tvar je predstavljena kerogenom tipa III (HI=75-166 mg HC/g Corg). Veliki kisikovi indeksi su manjim dijelom posljedica oksidirane organske tvari, a većim raspadanja karbonata na nižim temperaturama u pirolitičkom procesu. Skromna količina i kakvoća kerogena rezultirali su vrlo niskim generativnim potencijalom (S2 <2 mg HC/g stijene). Stijene su nezrele, u dijagenetskom stupnju termičke pretvorbe (Tmax u pirolitičkom procesu generalno ispod 435°C, PI<0,05). Nešto povišena maksimalna temperatura pirolize kod dva uzorka posljedica je specifičnog organskog facijesa i male količine organske tvari. U organskom facijesu prevladava amorfnu organsku tvar (oko 80 % ukupne organske tvari) slabe smeđe fluorescencije, što je također pokazatelj skromne kvalitete u smislu generiranja ugljikovodika, jer je upravo je smeđa fluorescencija amorfnu organske tvari dokaz slabije kvalitete odnosno utvrđenog tipa kerogena, a preostalu organsku tvar čine gotovo isključivo liptiniti među kojima prevladavaju sporinit i u manjoj mjeri alginit (ciste dinoflagelata). U tragovima se nalaze vrlo sitna i zaobljena zrnca pretaloženog vitrinita i fuzinita. Prema boji palinomorfa u prolaznom svjetlu i njihovoj jakoj fluorescenciji organska tvar je u ranoj dijagenezi (TAI 1+ do 2-). TAI je određen na liptinitnoj komponenti.

Iz bušotinskih podataka geokemijske analize napravljene su unutar intervala sarmata u bušotinama B-12 i B-13. U B-12 sarmatske naslage imaju povećani sadržaj organske tvari čija količina i kvaliteta varira kroz interval. Kerogen je uglavnom tip II. Većina uzoraka ima karakteristike dobre do vrlo dobre matične stijene. Analizirani sarmatske taložine su taloženi u mirnom plitkomorskom okolišu smanjenog saliniteta u proksimalnoj i zaštićenoj sredini sa



stabilno stratificiranim vodenim stupcem bez značajnijeg donosa materijala s kopna (*Španić, 2014*). U palinološkoj asocijaciji brojne su prazinoforme koje su učestalije u stabilno stratificiranim taložnim sustavima (*Veseli et al., 2014*). U bušotini B-13 sadržaj topljive organske tvari u uzorcima krhotina iz isplake u odnosu na ugljik iz organskih spojeva je općenito skroman (uglavnom ne prelazi 10%) što je pokazatelj kako termičke nezrelosti i/ili loše kvalitete kerogena tako i odsustva značajnije količine migriranih ugljikovodika. Iznimka je uzorak s dubine 2200-2220 m koji zbog vrlo dobre količine i kvalitete organske tvari, i najvjerojatnije početka generiranja, sadrži povećanu količinu bitumena (*Španić i Troškot-Čorbić, 2014*). Sarmatske naslage taložene u mirnoj i zaštićenoj lagunskoj sredini bez značajnijeg utjecaja s kopna osim povremenog donosa manjih količina karbonatnog i siliciklastičnog detritusa iz priobalnih plićaka. Okoliš je bio zaštićen od utjecaja otvorenog mora, na što upućuje izostanak pučinskih palinomorfi (npr. *Impagidinium* sp.) i brojnost areligeracejskih vrsta (primjerice *Glaphyrocysta* sp.) znakovitih za zatvorene morske okoliše (**Jimenez-Moreno et al. 2006**) (*Zlatar et al., 2014*).

Sarmatske taložine kao matične stijene razmatrane su i u ranijim radovima (npr. **Troškot-Čorbić et al. (2009)**). Dokazano je da su na pojedinim mjestima bogate organskom tvari te pokazuju karakteristike dobre matične stijene (B-12 i B-13). Očuvanje organske tvari uvelike ovisi o taložnom okolišu. U dubljim i plićim zaštićenim lagunskim okolišima očuvanje organske tvari je moguće, dok je u plitkim plimnim i prozračnim okolišima očuvanje slabije te taložine pokazuju niske vrijednosti organske tvari. **Zečević et al. (2010)** istraživali su badenske sedimentne stijene na području Našica, te su pri tom utvrdili da su na istom lokalitetu prisutne i naslage sarmatske starosti, koje se kontinuirao talože na badenske naslage te su taložene u vrlo sličnom okolišu. U badenskim naslagama utvrđen je značajan postotak ugljika u organskim spojevima kao i određeni stupanj zrelosti izvorne organske tvari, što dovodi do zaključka da se radi o relativno zreloj matičnoj stijeni, čija je geneza vezana za reduktivne uvjete taloženja i relativno plitko more - uvjete kakvi su vladali u zaštićenim lagunama.

Unutar intervala taložina sarmatske starosti često su opisani i tankouslojeni pješčenjaci (npr. biokalkareniti u bušotini B-12, kalkarenacejski pješčenjaci u bušotini B-8) koji predstavljaju potencijalne rezervoarske stijene. Sarmatske taložine također je moguće razmatrati kao potencijalna nekonvencionalna ležišta, kao matične stijene koje generiraju ugljikovodike, dok sitni pješčani proslojci unutar ili u neposrednoj blizini matičnih intervala predstavljaju slabopropusna nekonvencionalna ležišta.

## 8. ZAKLJUČAK

Miocenske naslage Savske depresije istraživane su na površinskim izdancima i na temelju dubinskogeoloških podataka, kako bi se dobio uvid u stratigrafske, paleoekološke, paleogeografske i naftnogeološke osobitosti sarmatskih naslaga.

Površinski izdanci klastičnih naslaga, pretežito lapora, istraživani su na području Sv. Nedelje. Njihovom analizom omogućena je detaljna paleontološka i sedimentološka analiza i praćenje okolišnih promjena unutar sarmatskih naslaga. Time su određeni različiti facijesi, koje je kasnije bilo moguće prepoznati u bušotinskim uzorcima.

Dubinskogeološki podatci pružaju uvid u cijeli interval nabušenih naslaga unutar kojih se javljaju naslage sarmata, te je, upotrebom seizmičkih podataka, rekonstruirana njihova bočna rasprostranjenost.

Glavni problem u određivanju intervala sarmatske starosti iz bušotinskih podataka je mali broj dostupnih odgovarajućih jezgara. Većina bušotina izrađena je pedesetih i šezdesetih godina i očuvanost postojećih jezgara je iznimno loša. Sarmatske naslage u bušotinama mikrofossilno su prepoznate u plićim taložnim okolišima. To su okoliši u zoni plime i oseke, zaštićeni lagunski okoliši, lagunski okoliši s povremenim ili stalnim donosom s kopna te okoliši s pretaloženim badenskim fosilima. U dubljim dijelovima bazena pad razine mora na kraju badena nije imao utjecaj kao u plićim okolišima te je vidljiv postupan prijelaz iz badena u sarmat.

Uspoređujući mikropaleontološke i petrografske karakteristike stijenskog materijala iz bušotina i karotažnih krivulja, na karotažnoj krivulji prirodne radioaktivnosti (GR) uočen je interval porasta vrijednosti prirodne radioaktivnosti ispod Ek-markera Rs7, koji je od ranije prepoznat kao ekvivalent granice sarmat-panon. Interval povećane radioaktivnosti na istraženom području približno odgovara donjoj granici sarmatskih naslaga. Time je po prvi puta utvrđena mogućnost prepoznavanja sarmata i u bušotinama u kojima nema provodnih fosila. Nadalje, na povoljnim seizmičkim profilima bilo je moguće pratiti horizont između Ek-markera Rs7 i intervala povećane radioaktivnosti na širem prostoru, pa se pokazalo da dio bušotina, u kojima ranije sarmat nije prepoznat, ipak sadrži te naslage.

Kompilacijom dobivenih rezultata i upotrebom geomatematičkih alata izabrana je najprimjerenija metoda za kartiranje sarmatskih taložina, odnosno okoliša tijekom sarmata te je po prvi puta je dobivena detaljna prostorna distribucija sarmatskih okoliša.

Analizom naftnomatičnog potencijala zaključeno je da, ovisno o taložnom okolišu, sarmatske naslage mogu predstavljati matične, rezervoarske ili pokrovne stijene. Sarmatske naslage taložene u zaštićenim lagunskim okolišima, u zonama bez donosa s kopna, imaju karakteristike dobre do vrlo dobre matične stijene. Iz geokemijskih bušotinskih analiza unutar intervala sarmata uočeno je da naslage imaju povećani sadržaj organske tvari čija količina i kvaliteta varira kroz interval. Kerogen je uglavnom tip II. Matične stijene mogu se očekivati u dubljevodnim okolišima. U plitkim, dobro prozračenim okolišima, očuvanje organske tvari nije bilo moguće te tamo ne nalazimo matične stijene. U zonama pretaloženih badenskih naslaga u podini sarmata nalaze se konglomerati i pješčenjaci koji predstavljaju potencijalne rezervoarske stijene. Stoga je na dobivenim kartama taložnih okoliša moguće izdvojiti glavne zone potencijanih matičnih i rezervoarskih stijena. Sitnozrnate klastične naslage (lapori i glinoviti lapori) mogu predstavljati pokrovne stijene.

Dobivenim rezultatima odgovoreno je na sve ciljeve postavljene na početku rada, te oni predstavljaju važan doprinos poznavanju sarmatskih taložina na području Savske depresije.

## 9. PROŠIRENI SAŽETAK

Područje istraživano u disertaciji pripada zapadnom dijelu Savske depresije. Tijekom srednjeg miocena područje zapadnog dijela Savske depresije dio je jugozapadnog ruba nekadašnjega Središnjeg Paratetisa, odnosno današnjega hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava. Zbog prekida veze s Mediteranom i Indopacifikom tijekom sarmata (od 13,32 do 12,65 milijuna godina pa do 11,6 milijuna godina) započela je izolacija Središnjeg Paratetisa. Ovisno o paleoreljefu, intenzitetu erozije i energiji vode tijekom sarmata razvijaju se različiti tipovi okoliša. U priobalju je zabilježen kopneni utjecaj (donos klastičnog materijala, kopnena flora), a nađeni su i pretaloženi badenski fosili, koji otežavaju odredbe starosti. U zaštićenim lagunskim okolišima taloženi su sedimenti sitnijeg zrna, dok su u dubljemorskim okolišima naslage taložene neprekinuto, pa ih je teško razlikovati od badenskih.

U geotektonskom smislu istraživano područje je dio jugozapadnog (hrvatskog, skr. HPBS) dijela Panonskoga bazenskog sustava. Neogensko-kvartarni slijed tih taložina sustava može se podijeliti u tri taložna megaciklusa. Prvi traje od donjeg do srednjeg miocena i vezan je uz prvu transtenzijsku (sin-riftnu) tektoniku i prvu transpresijsku (post-riftnu) fazu razvoja HPBS-a, a koje završavaju u krovini sarmatskih taložina. Drugi taložni megaciklus traje od srednjeg do kasnog miocena i vezan je uz drugo transtenzijsko (post-riftno) termalno spuštanje bazena. Treći megaciklus je pliocensko-kvartarne starosti i korelira drugoj transpresiji.

Razmatrajući bušotinske podatke uočeno je kako je sarmat vrlo rijetko prepoznat i izdvojen kao zaseban kat. Gornja granica sarmata obično je bolje izražena te ju je moguće prepoznati po EK markeru Rs7. Prema EK markerima postavljene su i granice svih litostratigrafskih jedinica ranga formacija unutar HPBS-a. Jezgre sedimenata ispod EK markera Rs7 sadrže miocensku fosilnu faunu stariju od panona.

U cilju stjecanja uvida u rasprostranjenost i razvoj sarmata na površini prikupljeni su podatci iz brojnih radova te karata. Istraživana je i srednjomiocenska (sarmatska) fosilna flora i fauna na izdancima. Površinska smjestašta bila su na području Svetonedeljskog brega gdje su sarmatske taložine manje istraživane u odnosu na sarmat bliskih obronaka Medvednice. Sarmatske taložine opisane na izdvojenim izdancima dokazale su njihovo postojanje u dubini, te ukazale na činjenicu kako često nisu bile ispravno prepoznate i opisane.

Rasprostranjenost sarmatskih taložina u dubini kreirana je i na temelju izvješća dubokih bušotina. U razmatranje su uzete bušotine gdje je nađen fosilni sadržaj koji dokazuje ili upućuje

na sarmatsku starost, ali i bušotine u kojima je određen baden, ali se prema fosilnoj zajednici, korelacijom krivulja i seizmičkom interpretacijom može pretpostaviti sarmat. Za sve bušotine izrađeni su litološki stupovi s prikazom karotažnih mjerenja. Na njima je ucrtan EK marker Rs7 ili je njegov položaj promijenjen. U cilju prikupljanja dodatnih podataka iz preostalog jezgrovanog materijala izrađeni su izbrusci, te je fotografiran dostupan bušotinski materijal. Nadalje, prostiranje sarmatskih taložina u zapadnom dijelu Savske depresije interpretirano je i uporabom seizmičkih 2D profila. Pri tomu su korištene bušotine u kojima su određene sarmatske taložine, odnosno markeri unutar njih. Zbog relativno malih debljina sarmatske taložine bilo je teško pratiti kroz cijeli istraživani prostor. Međutim, na nekolicini seizmičkih profila interval sarmatskih taložina kontinuirano je praćen u međubušotinskom prostoru, čak i u dijelovima gdje on nije paleontološki dokazan, no na refleksima kalibriranim u bušotinama gdje je sarmat dokazan.

Prema fosilnim zajednicama određenim u bušotinama dubljeg dijela bazena, nije bilo moguće dublje od EK markera Rs7 jednoznačno odrediti starost. No, na temelju karotažnih krivulja mogli su se izdvojiti intervali različitih obilježja. Nadalje, uspoređujući mikropaleontološke i petrografske karakteristike stijenskog materijala iz bušotina i karotažnih krivulja, na karotažnoj krivulji prirodne radioaktivnosti (engl. skr. GR) uočen je interval porasta vrijednosti prirodne radioaktivnosti ispod EK markera (otpornosti) Rs7. Taj interval povećane radioaktivnosti na istraživanom području približno odgovara donjoj granici sarmatskih naslaga. Također, ovisno o taložnom okolišu, sarmatske naslage mogu predstavljati matične ili krovinske stijene te je moguće promatrati i njihov potencijal kao nekonvencionalnih ležišta.

Kartiranje sarmatskih okoliša bio je zahtijevan zadatak zbog malog broja podataka i nepostojanja ranije načinjenih točnih regionalnih karata debljina sarmata. Dostupni podatci su također izrazito grupirani (klasterirani). Zbog toga je bilo nužno odabrati takve metode kojima se ti podatci mogu primjereno kartirati te pružiti što više pouzdanih i nepristranih rezultata. U svrhu izradbe karte taložnih okoliša u vrijeme sarmata, svi površinski i dubinski podatci o taložnim okolišima grupirani su u četiri kategorije i to: (1) plitkog, (2) prijelaznog, (3) dubljeg i (4) kopnenog okoliša. Na taj je način svakoj analiziranoj točki u prostoru pridružena indikatorska vrijednost nazvana indikator okoliša. Prikazane su i primijenjene sljedeće metode kartiranja: metoda najbližeg susjedstva, bez i sa primjenom opcije zaglađivanja linija, te metoda najmanjih kvadrata, gdje je kao drugotna (sekundarna) varijabla korištena strukturna karta EK markera Rs7. Promatrajući razdiobu okoliša i uspoređujući ih sa drugim izvorima podataka (seizmički, paleontološki i taložni podatci), karta dobivena metodom najmanjih kvadrata

najbolje prostorno prikazuje podatke te je u ovom slučaju odabrana kao najprimjerenija metoda kartiranja sarmatskih okoliša.



## 10. EXTENDED ABSTRACT

The study area belongs to the western part of the Sava Depression. During the Middle Miocene, the sedimentary basins in the western part of the Sava Depression belonged to the south-western part of the Central Paratethys Sea. Isolation of Central Paratethys from the Mediterranean and Indo-Pacific began during the Sarmatian period (from 13.32 to 12.65 million years or respectively to 11.6 million years ago). Evolution of environments has been controlled by paleorelief, erosional intensity and water energy. Coastal environments are characterized by strong terrigenous influence although occasional reworked Badenian fossils can be found which makes the age assignment difficult. Lagoon sediments are more fine-grained, while in the deeper part of the basin, because of the continuous sedimentation, it is difficult to differentiate the Badenian from Sarmatian interval.

The Neogene-Quaternary sediments of Croatian part of the Pannonian basin system (abb. HPBS) can be divided into three sedimentary megacycles. The first megacycle lasts from Lower to Middle Miocene and is related to the first transtensional (syn-rift) and the first transpressional (post-rift) phase of HPBS tectonic development. The second depositional megacycle continues from the Middle to Late Miocene and is related to the second transtensional (post-rift) thermal subsidence of the basin. During the Sarmatian transtension tectonics were replaced by transpression. The third megacycle is of Pliocene-Quaternary age and correlates with the second transpressional phase.

Sarmatian is very rarely recognized and distinguished as a stage in well data. The approximate boundary between the Sarmatian and the Lower Pannonian is recognized by e-log marker Rs7 and sediments below the Rs7 contain Miocene fossil fauna older than the Pannonian. The boundaries of all lithostratigraphic units of formation rank within the HPBS were defined according to e-log markers.

In order to define the distribution and development of Sarmatian outcrops, data from numerous papers and geological maps were collected. The Middle Miocene (Sarmatian) fossil flora and fauna were analyzed at selected outcrops in the area of Svetonedeljski breg that are very similar to the sediments of the slopes of Medvednica, but are less studied. The Sarmatian deposits described in these outcrops prove that they exist in the subsurface and they also point to the fact that they were often incorrectly described and identified.

Distribution of Sarmatian sediments was also determined based on deep wells reports. Wells where fossil content proved or indicated Sarmatic age were selected as well as wells with determined Badenian deposits which could have been incorrectly determined and where fossil assemblages, well logs and seismic interpretation could suggest Sarmatian deposits. Lithologic columns and e-log marker Rs7 were interpreted for all wells. In order to gather additional data from the remaining core material, thin sections were made and available well core material was photographed. Furthermore, the distribution of Sarmatian sediments in the western part of Sava Depression was also interpreted using 2D seismic profiles where wells with defined Sarmatian deposits were used. Due to the relatively small thicknesses of Sarmatian sediments, it was difficult to interpret Sarmatian interval throughout the entire study area. However, on several seismic profiles Sarmatian sediments interval is continuously traced between the wells, even in parts where it is not paleontologically proven. In that case, seismic reflexes were calibrated with wells where the Sarmatian deposits were proved.

Based on fossil assemblages in wells of the deeper part of the basin, it was not possible to determine the age below the e-log marker Rs7. However, based on well logs, intervals with different characteristics could be differentiated. Furthermore, comparing the micropaleontological and petrographic characteristics of rock material from wells and well logs, an interval of increased natural radioactivity below the e-log marker Rs7 was observed on the gamma-ray well log curve (abb. GR). This interval of increased radioactivity roughly corresponds to the base of the Sarmatian deposits. Depending on depositional environment, Sarmatian deposits can represent a source or a seal rock and it is possible to observe their potential as unconventional.

Mapping of Sarmatian environments was a demanding task because of the small number of data points and lack of regional maps showing the thickness of the Sarmatian deposits. The available data were also clustered. Therefore, it was necessary to select the most appropriate mapping methods to provide reliable results and an accurate map. In order to map depositional environments during the Sarmatian, all outcrops and well data of depositional environments are grouped into four categories: (1) shallow, (2) transitional, (3) deeper and (4) terrestrial environments. In this way, each analyzed point is assigned an indicator value called an environmental indicator. The following mapping methods applied the Nearest Neighborhood method, without and with smoothing option and the least squares method, where a structural map of e-log marker Rs7 was used as the second variable. Considering the distribution of the environment and comparing it with other data sources (seismic, paleontological and

depositional data), the map obtained by the least-squares method represents the spatial data distribution the best and it was chosen as the most appropriate method for mapping environments during Sarmatian period.

## 11. POPIS KORIŠTENE LITERATURE

### 11.1. OBJAVLJENI RADOVI (BEZ OCJENSKIH)

AVANIĆ, R., BRKIĆ, M., MIKNIĆ, M., ŠIMUNIĆ, A. i PAVELIĆ, D. (1995a): Gornjobadenske i sarmatske naslage Gornje Kustošije. U: Šikić, K. (1995): Geološki vodič Medvednice, Institut za geološka istraživanja, INA-Industrija nafte d.d., Zagreb, 71–73.

AVANIĆ, R., PAVELIĆ, D., VRSALJKO, D., MIKNIĆ, M., BRKIĆ, M., ŠIMUNIĆ, A. i GLOVACKI-JERNEJ, Ž. (1995b): Miocenske naslage Markuševca – geološki stup Mrzljak. U: Šikić, K. (1995): Geološki vodič Medvednice, Institut za geološka istraživanja, INA-Industrija nafte d.d. Zagreb, 123–127.

BAJRAKTAREVIĆ, Z., GALOVIĆ, I. (2004): Sarmatian calcareous nannofossil zonation of Mt. Medvednica (NW Croatia, Paratethys). *Journal of nanoplankton research*. 26, 2- 5

BARIĆ, G., IVKOVIĆ, Ž., PERICA, R. (2000): The Miocene petroleum system of the Sava Depression, Croatia, *Petroleum Geoscience*, 6, 165-173.

BARIĆ, G., (1996): Organic Chemistry in the Rationalization of Oil and Gas Exploration and Production, 1st Intel' Symposium of Petroleum Geology Sečen, Josip (ur.). Zagreb : Geologia Croatica, 191-195.

BARIĆ (2001): Petroleum system in the southern part of the Pannonian Basin.-63rd European Association of Geoscientists Engineers (EAGE) Conference, (Amsterdam). Extended abstract, Vol.2, str. 54

BAKRAČ, K., KOCH, G., SREMAC J. (2012): Middle and Late Miocene palynological biozonation of the south-western part of Central Paratethys (Croatia). *Geologia Croatica: journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society*. 65/2, 207-222.

BLAŽEKOVIĆ SMOJIĆ, S., HRŽENJAK, V., TOMAŠIĆ, D., TROSKOT-ČORBIĆ, T., MUŽINA, M (2016): Generiranje nafte u najdubljim miocenskim matičnim stijenama u sjeverozapadnom dijelu Savske depresije, 3. makedonski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem u Strugi, 665-674.

BRODARIĆ, A., VLAHOVIĆ, T, MILETIĆ, D., HERNITZ-KUČENJAK, M. (2000): Mikrofossilne zajednice sarmatskih naslaga iz nekih bušotina Panonskog bazena. 2. Hrvatski geološki kongres, Zbornik radova , Vlahović, I. i Biondić, R. (ur.). Zagreb: Institut za geološka istraživanja, 133-135.

FILIPESCU, S. (2004): *Anomalinoidea dividens* bioevent at the Badenian/Sarmatian boundary- a response to Paleogeographic and paleoenvironmental changes. *Studia universitatis Babeş-Bolyai, Geologica*, 2, 21-26.

CICHA, I, RÖGL, F, RUPP, C & CTYROKA, J (1998): Oligocene – Miocene foraminifera of the Central Paratethys. *Abhandlungen der Senckenbergerschen Naturforschenden Gesellschaft*, Verlag Waldemar Kramer, Frankfurt am Main, str. 549.

ĆORIĆ, S., PAVELIĆ, D., RÖGL, F., MANDIĆ, O., VRABAC, S., AVANIĆ, R. i VRANJKOVIĆ, A. (2009): Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of North Croatian Basins (Pannonian Basin System, Central Paratethys). *Geologia Croatica*, 62, 31-43.

FILIPESCU, S.; WANEK, F.; MICLEA, A.; DE LEEUW, A. i VASILIEV, J. (2011): Micropaleontological response to the changing paleoenvironment across the Sarmat- Pannonian boundary in the Transilvanian basin. *Geologica Carpathica*, 62/1, 91-102, Bukuresti.

FILIPESCU, S.; MIKLEA, A.; GROSS, M.; HARZHAUSER, M.; ZAGORSEK, K. i JIPA, K. (2014): Early Sarmatian paleoenvironments in the easternmost Pannonian Basin (Borod depression, Romania) revealed by micropaleontological data, *Geologica Carpathica*, 65/1, 67-81.

GEBHARDT, H.; ZORN, I. i ROETZEL, R. (2009): The Initial phase of the early Sarmatian (middle Miocene) Transgression. Foraminiferal and Ostracod assemblages from an incised valley fill in the molasse basin of lower Austria. *Austrian journal of earth sciences*, 103/2, 100-119.

GORJANOVIĆ KRAMBERGER, D. (1908a): Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije. Zagreb. Zone 22, col. XIV. Izd. Geol. povj. u Zagrebu, Zagreb.

GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908b): Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije. Tumač geologijskoj karti Zagreb (Zona 22, Col. XIV) (*Geologische Übersichtskarte des Königreiches Kroatien-Slavonien. Erläuterungen zur geologischen Karte von Agram Zone 22, Col. XIV*). Nakl. kralj. zemalj. vlade, Odjel unutar. poslove, Zagreb, II + 75 str.

GALOVIĆ I., MIKNIĆ M., VRSALJKO D. i BENIĆ J. (2000): Stratigraphy of Markuševac column (Mt. Medvednica, Croatia). In: Tomljenović B. et al. (Eds.): *PANCARDI – Dubrovnik. Vijesti HGD, Spec. Issue 37, 3*, 44-45.

GALOVIĆ, I., BAJRAKTAREVIĆ, Z. (2006): Sarmatian biostratigraphy of the Mountain Medvednica at Zagreb based on siliceous microfossils (North Croatia, Central Paratethys). *Geologica Carpathica*. 57/3, 199-210.

GALOVIĆ, I. (2017): Sarmatian calcareous nannofossil assemblages in the SW Paratethyan marginal marine environments: Implications for palaeoceanography and the palaeoclimate. *Progress in oceanography*. 156, 209-220

HARDENBOL, J., THIERRY, J., FARLEY, M.B., JACQUIN, T., DE GRACIANSKY, P.-C., VAIL, P.R. (1998): Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. In: de Graciansky, P.-C., Hardenbol, J., Jacquin, T., Vail, P.R. (Eds.),

Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. SEPM Spec. Publ, vol. 60, 3-13.

HARZHAUSER, M. i PILLER, W.E. (2004a): The Early Sarmatian - hidden seesaw changes. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 246, 89-111.

HARZHAUSER, M. AND PILLER, W.E. (2004): Integrated stratigraphy of the Sarmatian (Upper Middle Miocene) in the western Central Paratethys. Stratigraphy, 1, 65-86.

HARZHAUSER, M. AND PILLER, W.E., (2005): The myth of the brackish Sarmatian Sea - Terra Nova, 17, 450-455.

HERNITZ KUČENJAK, MORANA; PREMEC FUČEK, VLASTA; KRIZMANIĆ, KREŠIMIR; TADEJ, JASNA; ZLATAR, SLAĐANA; MATOŠEVIĆ MARIO (2018): Karpatian and Badenian transgression in Croatian part of the pannonian Basin System (biostratigraphy and palaeoenvironments) // Forams 2018, Temporary Abstracts Collection, Edinburgh, Scotland, UK, 273-274

HOHENEGGER, J., ČORIĆ, S. & WAGREICH, M. (2014): Timing of the Middle miocene Badenian stage of the Central Paratethys. Geologia Carpathica, 65/1, 55–66

JASIONOWSKI, M. i PERYT, D. (2012): Sarmatian foraminiferal assemblages of cavern fillings of the Badenian reefs of Medobory (Polupanivka, western Ukraine). Biuletyn państwowego instytutu Geologicznego, 449, 175-184.

KOCHANSKY, V. (1944): Izvještaj o paleontološkom iztraživanju miocena Zagrebačke gore. Vjestnik Hrv. drž. geol. zav. i Hrv. drž. geol. muz., 2-3, 26–27.

KOVAČIĆ M., MARKOVIĆ F., KUIPER K., HAJEK-TADESSE V., BAKRAČ K., ĐEREK T., MANDIĆ O. (2016): Age constraint on disintegration of the initial Pannonian Basin lake system in Mandić, O., Pavelić, D., Kovačić, M., Sant, K., Andrić, N., Hrvatović, H. (eds.). Field Trip Guide-book. Lake - Basin - Evolution, RCMNS Interim Colloquium 2016 i Croatian Geological Society Lim-nogeology Workshop, 19-24 May 2016, Zagreb, Croatia. Hrvatsko geološko društvo / Croatian Geo-logical Society. Str. 80

KOVÁČ, M., HUDÁČKOVÁ, N., HALÁSOVÁ, E., KOVÁČOVÁ, M., HOLCOVÁ, K., OSZCZYPKO-CLOWES, M., BÁLDI, K., LESS, G., NAGYMAROSY, A., RUMAN, A., KLUČIAR, T. & JAMRICH, M. (2017): The Central Paratethys palaeoceanography: a water circulation model based on microfossil proxies, climate, and changes of depositional environment. Acta Geologica Slovaca, 9/2, 75–114.

KOVÁČ, M., HALÁSOVÁ, E., HUDÁČKOVÁ, N., HOLCOVÁ, K., KOVÁČOVÁ, M., HYŽNY, M., JAMRICH, M., RUMAN, A., (2018): Towards better correlation of the Central Paratethys regional time scale with the standard geological time scale of the Miocene Epoch. Geologia Carpathica, 69/3 283–300.

KRANJEC, V. (1972): O utvrđivanju najnovijih tektonskih pokreta i njihovu naftnogeološkom značenju u savsko-dravskom području. Nafta, 23/10, 463-474.



KRIZMANIĆ, K., HERNITZ KUČENJAK, M. (2015): Palinološka i mikropaleontološka zajednica sarmata iz bušotina zapadnog dijela Savske potoline // Knjiga sažetaka – 5. hrvatski geološki kongres / Horvat, M.; Wacha, L. (ur.). Zagreb : Hrvatski geološki institut, 142-143.

LEEVEER, K. A.; MATENCO, L.; GARCIA-CASTELLANOS, D. i CLOETING, S. A. P. L.(2010): The evolution of the Danube gateway between Central and Eastern Paratethys (s(sE Europe): insight from numerical modelling of the causes and effects of connectivity between basins and its expression in the sedimentary records. *Tectonophysics*, 502, 175-195.

LUČIĆ, D., SAFTIĆ B., KRIZMANIĆ K., PRELOGOVIĆ E., BRITVIĆ 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.

OŽEGOVIĆ, F. (1944): Prilog geologiji mlađeg tercijara na temelju podataka iz novijih dubokih bušotina u Hrvatskoj. *Vjesnik HDGZ i HDGM*, II/III. 391-491.

NEUBAUER, T.A., HARZHAUSER, M., KROH, A., GEORGOPOULOU, E., MANDIĆ, O. (2015): A gastropod-based biogeographic scheme for the European Neogene freshwater systems. *Earth Sci. Rev.* 143, 98–116.

MANDIĆ, 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.

MANDIĆ, O., DE LEEUW, A., BULIĆ, J., KUIPER, J., KRIJGSMAN, W. i JURIŠIĆ-POLŠAK, Z. (2012): Paleogeographic evolution of the Southern Pannonian Basin:  $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$  age constraints on the Miocene continental series of northern Croatia. *Int. J. Earth Sci.*, 101, 1033-1046.

MANDIĆ, O., PAVELIĆ, D., KOVAČIĆ, M., SANT, K., ANDRIĆ, N., HRVATOVIĆ, H. (eds.) (2016): Field Trip Guide-book. Lake - Basin - Evolution, RCMNS Interim Colloquium 2016 i Croatian Geological Society Lim-nogeology Workshop, 19-24 May 2016, Zagreb, Croatia. Hrvatsko geološko društvo / Croatian Geo-logical Society. 80

MALVIĆ, T., PRSKALO, S. (2007): Koristi upotrebe neuronske mreže u procjeni poroznosti (na primjeru polja Beničanci). *Nafta*, 58/9, 455-467.

MALVIĆ, T., PRSKALO, S. (2008): Značenje amplitudnog atributa u predviđanju poroznosti - primjer iz Dravske depresije. *Nafta*, 59/1, 39-51.

MALVIĆ, T., VELIĆ, J. (2011): Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonia. In: *Tectonics*, Schattner, U. (eds) , InTech, Rijeka.

MALVIĆ, T. (2012): Review of Miocene shallow marine and lacustrine depositional environments in Northern Croatia. – *Geological quarterly*. 56/3; 493-504.

MALVIĆ, T., MEDUNIĆ, G. (2015): Statistika u geologiji, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Prirodoslovno-matematički fakultet, 88 str., Zagreb.

- MESIĆ KIŠ, I., MALVIĆ, T. (2018): The Universal Kriging mapping of the Neogene EL-markers Rs5 and  $\Delta$ , Northern Croatia. // RMZ - Materials and geoenvironment. 65/4, 187-198
- MALVIĆ, T. IVŠINOVIĆ, J., VELIĆ, J., RAJIĆ, R., (2019a): Kriging with a Small Number of Data Points Supported by Jack- Knifing, a Case Study in the Sava Depression (Northern Croatia). // Geosciences. 9/1, 24-36.
- MALVIĆ, T. IVŠINOVIĆ, J., VELIĆ, J., RAJIĆ, R., (2019b): Interpolation of Small Datasets in the Sandstone Hydrocarbon Reservoirs, Case Study of the Sava Depression, Croatia. // Geosciences. 9/5, 201-211
- MURRAY, J. (1991): Ecology and paleoecology of benthic foraminifera. John Wiley & Sons, New York, 379 str.
- MURRAY, J. (2006): Ecology and Applications of Benthic Foraminifera, Cambridge University Press, 1-440, Cambridge.
- NEUBAUER, T.A., HARZHAUSER, M., KROH, A., GEORGOPOULOU, E. I MANDIC, O. (2015): A gastropodbased biogeographic scheme for the European Neogene freshwater systems. Earth- Science Reviews, 143, 98-116.
- PAPP, A., MARINESCU, F. i SENEŠ, J. (1974): Chronostratigraphie und Neostratotypen – Miozän der Zentralen Paratethys – Sarmatien. VEDA, Slowakische Akademie der Wissenschaften, Bratislava, Bd. IV, 41–44.
- PAPP, A. i SHMID, E. M. (1985): Die Fossilem Foraminiferen des tertiären Beckens von Wien, Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, Band 37, 1-311, Wien.
- PAVELIĆ, D., AVANIĆ, R., VRSALJKO, D., BRKNIĆ, M., MIKNIĆ, M., ŠIMUNIĆ, A. (1995): Priobalne naslage sarmata u zaseoku Šelendići. U: Šikić, K. (ur.): Geološki vodič Medvednice. Institut za geološka istraživanja, INA d.d., Zagreb. 127-128.
- PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M., SARKOTIĆ ŠLAT, M. (1998): Early to Middle Miocene facies succession in lacustrine and marine environments on the southwestern margin of the Pannonian Basin System (Croatia). Geologia Carpathica, 49, 433–443.
- PAVELIĆ, D. (2002): The south-western boundary of Central Paratethys. Geologia Croatica, 55/1, 83-92.
- 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. (2005): Cyclicity in the evolution of the Neogene North Croatian Basin (Pannonian Basin System). U: Mabesoone, Jannes M. ; Neumann, Virginio H. (ur.). Amsterdam: Elsevier, 2005, 425-448.

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

POWELL, J (1992): A Stratigraphic Index of Dinoflagellate Cysts. Chapman & Hall, London, 155-253.

BOLLI, H. M. & SAUNDERS, J. B. (1985): Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera. U: BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (ur.): *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, Cambridge, 155–262.

PEZELJ, Đ., SREMAC, J., SOKAČ, A. (2007): Palaeoecology of the Late Badenian foraminifera and ostracoda from the SW Central Paratethys (Medvednica Mt., Croatia). *Geologia Croatica* 60, 139–150.

PEZELJ, Đ.; MANDIĆ, O; ĆORIĆ, S. (2013): Paleoenvironmental dynamics in the southern Pannonian basin during initial middle Miocene marine flooding. *Geologica Carpathica*. 64/1; 81-100.

PEZELJ, Đ., SREMAC, J. (2010): Sarmatske naslage lokaliteta Donje Orešje (Medvednica) // 4. Croatian Geological Congress - Abstract Book / Horvat, Marija (ur.). Zagreb: Hrvatsko geološko društvo, 102-103

PEZELJ, Đ., SREMAC, J., KOVAČIĆ, M., ALAGIĆ S., KAMPIĆ Š. (2017): Middle Miocene Badenian - Sarmatian Sedimentary Sequence in the Area of Donje Orešje /Medvednica Mt., Croatia/ // Abstracts Book: Neogene of Central and South- Eastern Europe / Horvat, Marija ; Wacha, Lara (ur.). Zagreb : Hrvatsko geološko društvo, 46-47.

PEZELJ, Đ., DROBNJAK, L. (2019): Foraminifera-based estimation of water depth in epicontinental seas: Badenian deposits from Glavnica Gornja (Medvednica Mt., Croatia), Central Paratethys. *Geologia Croatica*. 72/2, 93-100.

PIKIJA, M., ŠIKIĆ, K. i ŠIKIĆ, L. (1984): Miocen na lokalitetima Bačuga i Jurjevčani, središnja Hrvatska [Miocene on the locations of Bačuga and Jurjevčani, Central Croatia – in Croatian. *Geološki vjesnik*, 37, 65–80.

PIKIJA, M., ŠIKIĆ, K., TIŠLJAR, J. i ŠIKIĆ, L. (1989): Biolititni i prateći karbonatni facijesi sarmata u području Krašić–Ozalj, središnja Hrvatska [Sarmatian biolithites and associated carbonate deposits in the Krašić–Ozalj area, Central Croatia – in Croatian].– *Geološki vjesnik*, 42, 15–28.

PILAR, Đ. (1883): *Flora fossilis Susedana*. Djela JAZU, knjiga 4, Zagreb, 162 str.

PILLER W.E., HARZHAUSER M. i MANDIĆ O. (2007): Miocene Central Paratethys stratigraphy – current status and future directions. *Stratigraphy*. 4/2, 69-170.

POPOV, S.V., RÖGL, F., ROZANOV, A.Y., STEININGER, F.F., SHCHERBA, I.G. AND KOVÁČ, M. (2004): Lithological-Paleogeographic maps of Paratethys. 10 maps Late eocene to Pliocene. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 1–46.

PREMEC FUČEK, V., HERNITZ KUČENJAK, M., FUČEK, L., BAJRAKTAREVIĆ, Z. (2015): Makrofauna badena i sarmata u području Svete Nedelje i Samobora // *Međunarodni znanstveni skup - 100-ta obljetnica rođenja akademkinje Vande Kochansky-Devidé. Knjiga sažetaka* / Mauch Lenardić, J ; Hernitz Kučenjak, M. ; Premec Fuček, V. i Sremac, J. (ur.). Zagreb : HAZU, str. 73.

PRELOGOVIĆ E; SAFTIĆ, B.; KUK, V.; VELIĆ, J.; DRAGAŠ, M. i LUČIĆ, D. (1998): Tectonic activity in the Croatian part of the Panonian Basin. Tectophysics, 297, 283-293.

STUDENCKA, BARBARA i JASIONOWSKI MAREK (2011): Bivalves from the Middle Miocene reefs of Poland and Ukraine: A new approach to Badenian/Sarmatian boundary in the Paratethys, Acta Geologica Polonica, 61/1, 79–114.

SÜTŐ-SZENTAI, M. (1988): Microplankton Zones of Organic Skeleton in the Pannonian S. L. Stratum Complex and in the Upper Part of the Sarmatian Strata. Acta Botanica Hungarica 34/3-4, 339-356.

ŠEGOTA, T., FILIPČIĆ A. (1996): Klimatologija za geografe (pogl. 4), Školska knjiga, 375-452, Zagreb.

ŠIKIĆ, L. (1968): Stratigrafija miocena sjeveroistočnog dijela Medvednice na osnovu faune foraminifera. Geološki vjesnik, 21, 213 – 227.

ŠIKIĆ, L. (1967): Torton i sarmat jugozapadnog dijela Medvednice na osnovu faune foraminifera. Geološki vjesnik, 20, 127 – 135.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. i ŠIMUNIĆ, A. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Zagreb L 38-80. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. i ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ, list Zagreb 1:100.000. Tumač za list Zagreb, L 38-80. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972) Savezni geološki zavod, Beograd, 81 str.

ŠIKIĆ, K. (1995): Geološki vodič Medvednice, Institut za geol. istraž., Ina – Industrija nafte, d. d. Naftaplin, Zagreb, 199 str.

ŠIMON, J. (1973): O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. Nafta, 24/12, 623–630.

ŠUMANOVAC, F. (2012): Osnove geofizičkih istraživanja. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 356 str.

TAPPAN, H. (1980): The Paleobiology of Plant Protists, 1028 str.

TOTH, E. (2008): Sarmatian (Middle Miocene) Ostracod fauna from the Zzsambek Basyn, Hungary. *Geologica Panonnica*, 36, 101-151.

TOTH, E. i GOROG, A. (2008): Sarmatian foraminifera fauna from Budapest (Hungary). Department of Paleontology at Budapest University- A Jubilee volume *Haantkeniana*, 6, 187-217,

TOTH, E.; GOROG, A.; LECUYER, C.; MOISSETTE, P.; BALTER, V. i MONOSTORI, M. (2010): Paleoenvironmental reconstruction of the Sarmatian (Middle Miocene) Central Paratethys based on paleontological and geochemical analyses of foraminifera, ostracods, gastropods and rodents. *Geological Magazine*, 147/2, 299-314.

TROSKOT-ČORBIĆ, T. VELIĆ, J., MALVIĆ, T. (2009): Comparison of the Middle Miocene and the Upper Miocene source rock formations in the Sava Depression (Pannonian Basin, Croatia). *Geologia Croatica : journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society*, 62/2, 123-133.

VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B. i IVKOVIĆ, Ž. (2002): Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacyclus in the Croatian part of the Pannonian basin. *Nafta*, 53/6-7, 239-249.

VELIĆ, J. (2007): *Geologija ležišta nafte i plina*. (ed. Zorić, I.), Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 342 str.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. (2015): *Geologija i istraživanje ležišta ugljikovodika*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 144 str.

VRBANAC, B. (2002): Contribution to the debate on stratigraphic classification system and the importance of Ek.markers in the Sava Depression. *Nafta*, 53/1, 39-44.

VRBANAC, B., VELIĆ, J., MALVIĆ, T. (2010): Sedimentation of deep-water turbidites in main and marginal basins in the SW part of the Pannonian Basin. *Geologica Carpathica*, 61/1, 55-69

VRŠALJKO, D., PAVELIĆ, D. i BAJRAKTAREVIĆ, Z. (2005): Stratigraphy and Palaeogeography of Miocene Deposits from the Marginal Area of Žumberak Mt. and the Samoborsko Gorje Mts. (Northwestern Croatia). *Geologia Croatica*, 58/2, 133-150.

VRŠALJKO, D., PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M., BRKIĆ, M., KOVAČIĆ, M., HEĆIMOVIĆ, I., HAJEK- TADESSE, V., AVANIĆ, R. i KURTANJEK, N. (2006): Middle Miocene (Upper Badenian/Sarmatian) Palaeoecology and Evolution of the Environments in the area of Medvednica Mt. (North Croatia). *Geologia Croatica*, 59/1, 51–63.

ZEČEVIĆ, M., VELIĆ, J. SREMAC, J., TROSKOT-ČORBIĆ, T. GARAŠIĆ, V. (2010): Significance of the Badenian petroleum sourcerocks from the Krndija Mt. (Pannonian Basin, Croatia). *Geologia Croatica*, 63/2, 225-239.

VELIĆ, I. I VLAHOVIĆ, I. (2009): Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300.000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 141 str.

## 11.2. OCJENSKI RADOVI

BAJRAKTAREVIĆ, Z. (1982): Mikrofosili i nanofosili srednjeg miocena u biostratigrafiji i paleogeografiji sjeverne Hrvatske, doktorska disertacija, Prirodoslovno – matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, VII+194 str.

BAKRAČ, Koraljka (2005): Palinološka karakterizacija naslaga srednjeg i gornjeg miocena jugozapadnog dijela Panonskog bazena, doktorska disertacija., Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 173 str.

BRAJKOVIĆ, D. (2011): Palinotaksonomska analiza fosilne flore okoline Podsuseda. doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 137 str.

JOVIĆ, G. (2009): Palinspastička rekonstrukcija miocenskih taložina u polju Kloštar. diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 70 str.

NOVAK, V. (2006): Utjecaj promjene okoliša na prijelazu baden-sarmat na mikrofosilne zajednice na području Glavnice u JI Medvednici, diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 45 str.

NOVAK ZELENKA, K. (2012): Deterministički i stohastički geološki modeli gornjomiocenskih pješčenjačkih ležišta u naftno-plinskom polju Kloštar. doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 190 str.

NOVAK, K. (2015): Modeliranje površinskoga transporta i geološki aspekti skladištenja ugljikova dioksida u neogenska pješčenjačka ležišta Sjeverne Hrvatske na primjeru polja Ivanić. doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu , 185 str.

MAJSTOROVIĆ, A. (2004): Badenski i sarmatski mikrofosili okoline Podsuseda. diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 46 str.

MARKOVIĆ, F. (2017): Miocenski tufovi Sjevernohrvatskoga bazena. doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu 174 str.

MESIČ KIŠ I. (2017): Kartiranje i reinterpretacija geološke povijesti Bjelovarske subdepresije univerzalnim krigiranjem te novi opći metodološki algoritmi za kartiranje sličnih prostora. doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 182 str.

PEKČEC, M. (2019): Fosilna zajednica srednjeg miocena okoline Kladja, okolica Sv. Nedelje. diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 34 str.



PEZELJ, Đ. (2016):Paleoekološki odnosi badena i sarmata područja Medvednice. doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 137 str.

PLETIKAPIĆ, Z. (1969): Stratigrafija, paleogeografija i naftoplinonosnost Ivanić-Grad formacije na obodu Moslavačkog masiva. doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 71 str.

ŠIMON, J. (1980): Prilog stratigrafiji i taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske/ doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 63 str.

HAJEK-TADESSE, V. (2006): Miocenski ostrakodi sjeverne Hrvatske. doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 179 str.

VELIĆ J., (1980): Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije. doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 136 str.

VRŠALJKO, D. (2003): Biostratigrafija miocenskih naslaga Žumberačkog i Samoborskog gorja na temelju mekušaca, doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 147 str.

VLAISAVLJEVIĆ, D. (2017): Naslage srednjeg miocena Svetonedeljskog brega. diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 47 str.

### **11.3. FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE**

BRAJKOVIĆ, D., IVANIČEK, Z., KRIZMANIĆ, K (2010): Petrographic and palynologic determination of selected core samples, Petrografska i palinološka odredba odabranih uzoraka jezgrovanih stijena, Supplement to the project: HC potential of the Rugvica-Ježevo area 2010), Fond stručne dokumentacije INA d.d.,

KRANJEC, V., HERNITZ, Z., VELIĆ J., PRELOGOVIĆ, E. i ALJINOVIĆ, B (1977): Paleostrukturna i paleotektonska rekonstrukcija u zapadnom dijelu Savske potoline. Fond stručne dokumentacije INA d.d.

KRIZMANIĆ, K. (2018): Palinološki uzorci stijena Sveta Nedelja, Palinološke analize i interpretacija odabranih uzoraka, Fond stručne dokumentacije INA d.d.,

PAVELIĆ i VRANJKOVIĆ (2008): Razvitak taložnih okoliša u zapadnom dijelu Savske depresije tijekom donjeg miocena, studija, RGNF, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

PRSKALO, S. (2006): Istraživanje ugljikovodika seizmičkim metodama, II dio. INA d.d.

PREMEC FUČEK, V., HERNITZ KUČENJAK, M., KRIZMANIĆ, K. (2016): Sava regional Biostratigrafska reinterpretacija stijena iz odabranih bušotina, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

ŠIMON, J. (1963): Litostratigrafske jedinice polja Ivanić–Grad.– Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin. Šimon, J. (1968): Informativne litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleksa u profilima dubokih bušotina na području Dravske potoline. Fond stručne dokumentacije INA-d.d.

ŠPANIĆ, D., TROSKOT-ČORBIĆ, T. (2014): Geokemijsko izvješće bušotine Hrastilnica-4, Geokemijske analize i interpretacija, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

ŠPANIĆ, D (2014): Geokemijsko izvješće bušotine Hrastilnica-4, Geokemijske analize i interpretacija, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

TAKAČ, D. (2007): Integralna interpretacija seizmičkih podataka. INA d.d., Zagreb, 93 str.

TROSKOT-ČORBIĆ, T. (2018): Površinski uzorci stijena Sv. Nedelja, Geokemijske analize i interpretacija odabranih uzoraka, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

HERNITZ-KUČENJAK, M., PREMEC FUČEK, V. (2015): Revizija paleontoloških analiza i biostratigrafske interpretacije; Bujavice-10, 12 i 13. Fond stručne dokumentacije INA d.d.

VESELI V., TROSKOT-ČORBIĆ, T., KRIZMANIĆ, K., IVAK, P., PREMEC FUČEK, V., HERNITZ KUČENJAK, M., PECIMOTIKA, G. (2013): Geološka studija JZ Sava, Litofacijsna, biofacijsna, sedimentološka i organskogeokemijaska interpretacija, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

VESELI, V., KRIZMANIĆ, K, IVAK, P., PREMEC FUČEK, V., HERNITZ KUČENJAK, M. (2014): Završno izvješće bušotine Iva-2Du, Petrografsko-sedimentološka i biostratigrafska interpretacija, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

ZLATAR, S., KRIZMANIĆ, K., HERNITZ KUČENJAK, M. (2014): Završno Izvješće bušotine Hrastilnica-4, Petrografsko-sedimentološka i biostratigrafska interpretacija, Fond stručne dokumentacije INA d.d.

**(Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Vachard, D.; Gross, O. (2019). World Foraminifera Database. Accessed at <http://www.marinespecies.org/foraminifera> on 2019-09-08. doi:10.14284/305)**

## 12. ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

Ana Majstorović Bušić rođena je 3. ožujka 1977. godine u Virovitici. Nakon završetka opće gimnazije Samobor, upisala je Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, gdje je 2004. godine stekla zvanje diplomiranog inženjera geologije, smjer geologija i paleontologija. Diplomirala je s temom diplomskog rada „Badenski i sarmatski mikrofosili okolice Podsuseda“ pod vodstvom prof. dr. sc. Jasenke Sremac. Poslijediplomski doktorski studij geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu upisala je 2008. godine.

Tijekom 2005. godine, kao vanjskom suradniku povjerene su joj vježbe iz kolegija opće paleontologija na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. Od 2006. godine zaposlena je u tvrtki INA-Industrija nafte d.d. Karijeru je započela u Istraživanju pri odjelu stratigrafije, a 2015. godine širi područje rada na naftnu geologiju i stratigrafiju. Sudjelovala u izradi brojnih istraživačkih studija i projekata bušotina područja hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava (Savska, Dravska i Murska depresija) te područja Sjevernog Jadrana. Kroz rad je surađivala sa stručnjacima raznih specijalističkih znanja te znanstvenicima iz raznih institucija. Stručni ispit iz geologije za obavljanje samostalnih geoloških istraživanja položila je 2017. godine. Od 2017-te godine radi i kao tehnički voditelj projekata vezanih uz nekonvencionalna ležišta ugljikovodika.

Član je Hrvatske udruge naftnih inženjera i geologa (HUNIG), Hrvatske geološke ljetne škole (HGLJŠ) i Hrvatskog geološkog društva (HGD), unutar kojeg je aktivi član Geomatematičkog odsjeka te je od 2015. godine članica uredništva informativnog glasila Vijesti Hrvatskoga geološkog društva.

Udana je i majka dvoje djece.

Objavljeni znanstveni radovi:

1. **Majstorović Bušić A.** (2001): Statistical analysis of Neogene sediment thickness deposited during the first transtensional and first transpressional evolutionary stages in the Bjelovar Sub-basin, Northern Croatia, *Central European Geology*, 54/4, 357-366.
2. Malvić, T., **Majstorović Bušić, A.** (2012): Unconventional hydrocarbon resources of the Bjelovar Subdepression (Pannonian Basin System) in Croatia – an overview., *Geologica Carpathica*, 63/6, 481-489
3. Sremac, J., Bošnjak Makovec, M., Vrsaljko, D., Karaica, B., Tripalo, K., Fio Firi, K., **Majstorović Bušić, A.** & Marjanac, T. (2016): Reefs and bioaccumulations in the Miocene deposits of the North Croatian Basin – Amazing diversity yet to be described. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 31/1, 19–29.

Objavljeni znanstveni i stručni radovi u zbornicima skupova:

1. **Majstorović Bušić, A.** (2012): Minimum dataset and spatial distribution for possible mapping of Sarmatian deposits, SW part of CPBS, U: Malvić, T., Geiger, J., Cvetković, M. (ur.): Conference book “Geomathematics as geoscience”, Zagreb: Croatian Geological Society, 89-96.
2. **Majstorović Bušić, A.**, Vaniček, V., Parlov, B. (2012): Utjecaj paleogeografije na taloženje pleistocenskih rezervoara tipa tankih slojeva, U: Meandžija, I. et al. (ur.): Zbornik radova HUNIG, Zagreb, 9-17.
3. **Majstorović Bušić, A.**, Alzenab, M., Novak Zelenika, K. (2016): Applications of different mapping methods for sandstone distribution in south-eastern part of Sava Depression, U: Cvetković, M., Novak Zelenika K., Horváth, J., Hatvani, I.G. (ur.): *Geomathematics - present and future of geological modelling*, Zagreb: Croatian Geological Society, 97-103.

Objavljeni sažeci u zbornicima skupova:

1. Tadej, J., Marić-Đureković, Ž., Tadej, N., **Majstorović Bušić, A.** (2010): Sedimentološke karakteristike miocenskih sedimenata plinsko-kondenzatnog polja Gola (SZ dio Dravske depresije), U: Marija Horvat (ur.): *Knjiga sažetaka*, Zagreb: Hrvatski geološki institut, 298-299.
2. **Majstorović Bušić, A.**, Sremac, J., Velić, J., Malvić, T. (2015): Kriteriji determinacije sarmatskih naslaga u odabranim istraživačkim bušotinama Savske depresije, U: Horvat, M., Wacha, L. (ur.): *Knjiga sažetaka 5. hrvatskog geološkog kongresa*, Zagreb: Hrvatski geološki institut, 154-155.

3. **Majstorović Bušić, A.**, Sremac, J., Pekčec, M. (2015): Middle Miocene deposits in the area of Sv Nedjelja, U: Mauch L., Jadranka ; Hernitz Kučenjak, M., Premec Fuček, V., Sremac, J. (ur.): Knjiga sažetaka, Međunarodni znanstveni skup 100-ta obljetnica rođenja akademkinje Vande Kochansky-Devidé/International scientific meeting 100th birth anniversary of Vanda Kochansky-Devidé, full member of Academy, Zagreb: HAZU, 65-66.
4. Krizmanić, K., Bigunac, D., **Majstorović Bušić, A.**, Čikeš, K., Sabol, N., Zopf, D., Pecimotika, G., Kranjčec, B. (2016): Lake Pannon sedimentation model in the Legrad field area (NW Croatia), U: Mandić, O., Pavelić, D., Kovačić, M., Sant, K., Andrić, N., Hrvatović, H. (ur.): Program & Abstracts. Lake - Basin - Evolution, RCMNS Interim Colloquium & Croatian Geological Society Limnogeology Workshop, Zagreb: Hrvatsko geološko društvo, 48-49.
5. Vranjković, A., Cota, L., **Majstorović Bušić, A.**, Dadić, J., Parlov, D., Nagl, B., Pleša, A., Troškot-Čorbić, T., Sabol, N., Vlahov, I., Habijanec, Ž. (2018): Unconventional geological play concept of southwestern part of Neogene Pannonian basin (Croatia), U: Neubauer, F., Brendel, U., Friedl, G. (ur.): Abstract book, XXI International Congress of the Carpathian Balkan Geological Association (CBGA), Advances of Geology in southeast European mountain belts, Sofia: Geologica Balcanica, Bulgarian Academy of Sciences, 319-319.