Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji

Cvetković, Marko

Doctoral thesis / Disertacija

2013

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:071619

Rights / Prava: Attribution-NoDerivs 3.0 Unported/Imenovanje-Bez prerada 3.0

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**

Repository / Repozitorij:

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

Sveučilište u Zagrebu

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Marko Cvetković

NAFTNOGEOLOŠKI POTENCIJAL I LITOSTRATIGRAFSKA RAZRADBA TREĆEGA NEOGENSKO-KVARTARNOGA MEGACIKLUSA U SAVSKOJ DEPRESIJI

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2013.

University of Zagreb
FACULTY OF MINING, GEOLOGY
AND PETROLEUM ENGINEERING

Marko Cvetković

LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS OF THE THIRD NEOGENE-QUARTERNARY MEGACYCLE IN THE SAVA DEPRESSION AND THEIR PETROLEUM POTENTIAL

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2013

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Marko Cvetković

NAFTNOGEOLOŠKI POTENCIJAL I LITOSTRATIGRAFSKA RAZRADBA TREĆEGA NEOGENSKO-KVARTARNOGA MEGACIKLUSA U SAVSKOJ DEPRESIJI

DOKTORSKI RAD

Mentor
Prof. dr. sc. Josipa Velić

Zagreb, 2013.

University of Zagreb
FACULTY OF MINING, GEOLOGY
AND PETROLEUM ENGINEERING

Marko Cvetković

LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS OF THE THIRD NEOGENE-QUARTERNARY MEGACYCLE IN THE SAVA DEPRESSION AND THEIR PETROLEUM POTENTIAL

DOCTORAL THESIS

Supervisor
Prof. dr. sc. Josipa Velić

Zagreb, 2013

Mentor

Dr. sc. Josipa Velić, redoviti profesor u trajnom zvanju

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Rad sadrži:

- 175 stranica teksta s 8 tablica i 106 slika,
- Popis literature sa 112 navoda (90 objavljenih i 22 neobjavljena),
- Sažetak s ključnim riječima na hrvatskom jeziku,
- Prošireni sažetak s ključnim riječima na engleskom jeziku,
- Prilog od tri shematska korelacijska profila i jednog sintetskog geološkog stupa naslaga i
- Životopis s popisom objavljenih radova.

Zahvala

- *Na prvome mjestu mentorici dr. sc. Josipi Velić, redovitoj profesorici na povjerenju ovakve zanimljive i zahtjevne teme. Hvala Vam profesorice na svom vremenu kojeg ste mi poklonili, brojnim konzultacijama, raspravama i terenima koji će mi zauvijek ostati u sjećanju.*
- *Dr. sc. Tomislavu Malviću, izvanrednom profesoru na svom utrošenom vremenu, poticanjima na istraživačku djelatnost i svemu uloženom u moj razvoj kao znanstvenika.*
- *Dr. sc. Jasenki Sremac, izvanrednoj profesorici na svom trudu uloženom u izradbu ovoga rada.*
- *Dr. sc. Tamari Troskot-Čorbić i Darku Španiću, dipl. ing. geol. na geokemijskoj obradbi uzoraka.*
- *Dr. sc. Valentini Hajek Tadesse na pomoći kod utvrđivanja vrsta ostrakoda*
- *Dr. sc. Kraljki Bakrač za odredbu palinološkog sastava uzoraka.*
- *Dr. sc. Davoru Vrsaljku na pomoći oko odredbe brojnih vrsta puževa i školjkaša.*
- *Ini d.d. i mr.sc. Miri Đurekoviću, na ustupljenim podatcima jer bez „dubine" nema ni naftne geologije te dr. sc. Kristini Novak Zeleniki, Damiru Takaču i Igoru Rusanu na pomoći u prikupljanju podataka.*
- *To the Schlumberger company which donated the Petrel software without which the subsurface analysis in the Thesis could not have been made in such detail*
- *To the Synergy company which donated the Interactive Petrophysics software in which log analysis were performed for this Thesis.*
- *Zavodu i njegovim članovima na potpori u istraživanju i ugodnoj radnoj zajednici u kojoj sam se pronašao.*
- *Društvu s jutarnje kave na „moralnoj potpori" u sitnim tegobama koje samo doktorandi razumiju.*
- *Svojoj obitelji, supruzi Darii na potpori svih ovih godina, a posebice u zadnjoj dionici ovoga rada kada smo postali bogatiji za jednog člana, sina Mateja, najbolju bebu, a sada već tatinog dečka.*

SAŽETAK

Naslage trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa na području Savske depresije pripadaju formaciji Lonja koja je prethodno izradbi ove disertacije bila neraščlanjena. Na temelju elektorkarotažnih (EK) dijagrama spontanog potencijala te prividne otpornosti plitkog i dubokog zahvata, geomatematičkim metodama izdvojene su granice, tj. EK markeri ili reperi. Izdvojeno je šest članova unutar formacije Lonja – članovi Hrastilnica, Batina, Ravneš, Popovača, Vrbak i Oborovo. Na temelju dubinskogeoloških podataka koji uključuju interpretaciju seizmičkih profila te određivanja EK markera i repera načinjene su strukturne karte pojedinih formacije te je izrađena palinspastička analiza. Iz litološkog sastava dobivenog interpretacijom EK krivulja načinjene su litofacijesne karte pojedinih članova, izuzev člana Oborovo. Osim dubinskogeoloških, korišteni su i podatci prikupljeni na izdancima i iz laboratorijskih analaiza uzoraka. Sastoje se od rezultata granulometrijskih analiza, određivanja mineralnog sastava teške frakcije, petrografskih analiza izbrusaka, paleontoloških odredbi prvenstveno faune mekušaca te potom ostrakoda, palinološke i geokemijske analize organski bogatih uzoraka – glina, treseta i liginita. Načinjena je interpretacija okoliša pojedinih faza razvoja istraživanog dijela Savske depresije u kojima je naznačen dominantan utjecaj klime na nastanak sedimenata i razdoblja u kojima je tektonski utjecaj bio izrazito značajan. Određen je naftno-plinski potencijal pojedinog člana te je utvrđeno da su mogućnosti pronalaska ugljikovodika najizglednije u članu Vrbak. Ležišni fluidi koji se očekuju su biogeni plin, uz mogućnost zarobljavanja plina migriranog iz dubljih ležišta putem zona rasjeda, poglavito sustava rasjeda južnog ruba Moslavačke gore.

Ključne riječi: formacija Lonja, pliocen, pleistocen, holocen, strukturne karte, palinspastičke analize, litofacijesne karte, paleontološke, palinološke i geokemijske analize, interpretacija okoliša, biogeni plin, lignit, treset, članovi, Savska depresija, Hrvatska.

ABSTRACT

In the study area deposits of the third Neogene–Quaternary megacycle belong to the lithostratigraphic unit Lonja formation. Up to now, this unit has not been divided into members. The main goal of this research was to perform a detailed analysis of the available subsurface data and provide new surface data in order to subdivide Lonja formation into members. For this purpose geomathematical methods were used. Analysis of cumulative standard deviation curves revealed trends in the well log data that defined members and boundaries between them. These were either E-log markers or boundaries depending whether they contacts were synchronous or discordant borders between members. A total of six members was defined – Hrastilnica, Batina, Ravneš, Popovača, Vrbak and Oborovo members. Furthermore, a detailed structural mapping, utilising well and seismic data, was performed according to the surface of each E-log marker or boundary. Palinspastic analysis was also proposed for better defining the structural evolution of the studied area within the Pliocene–Pleistocene–Holocene sediments. Neural network analysis of the lithology data in each well was used as an input for lithofacies mapping. Maps of total thickness, sand thickness, sand to shale (clay) ratio and number of sand layers were made for each member, excluding the Oborovo member (due to the lack of data because of mostly missing well log curves in the shallow parts). Surface data were also gathered from outcrops available in the study area. These outcrops were generaly very small and often poorly consolidated, resulting in the general lack of sedimentological structures. Often a very rich fossil fauna was observed and sampled, mainly consisting of gastropod genera *Viviparus, Melanopsis, Lythoglyphus, Hydrobia* and *Theodoxus* and bivalves genera *Unio, Dreissena* and *Pisidium*. The most of the paleontological samples indicated Pliocene age while some had younger fauna, probably Pleistocene. Ostracod fauna was also studied, indicating a significantly different fauna in the area of study, especially between Pliocene and Pleistocene assemblages. Palynological results confirmed the results of ostracod analysis in general sedimentological facies determination. Geochemical analysis of organic rich silty clays, coals and peats showed a dominant Type III and IV kerogene with very low index of thermal maturity. The source rocks from the outcrops are noted only being capable of releasing bacterial methane gas. The hydrocarbon potential of the third Neogene–Quaternary megacycle is estimated for each member. Greatest potential was determined in the Vrbak member while certain accumulations are also expected in Hrastilnica, Batina and Ravneš members. Within the youngest Oborovo member indications

of certain gas accumulations masy be found but because of the shallow depth and absence of cap rocks it is believed that accumulations of economic value should not be expected.

A detailed evolution of the last phase of development of the Sava Depression in the studied area is presented which consists of five phases showing the paths of the influx of sediment and distribution of environments and the gradual transition from lake to marsh and terrestric environments.

Keywords: Lonja formation, Pliocene, Pleistocene, Holocene, structural mapping, palynspastic analysis, lithofacies mapping, paleontological, palynological and geochemical analysis, sedimentary environment interpretation, bacterial gas, lignite, peat, Sava Depression, Croatia.

SADRŽAJ

SAŽETAK I

ABSTRACT II

POPIS TABLICA U TEKSTU IX

POPIS SLIKA U TEKSTU X

POPIS PRILOGA XVII

POPIS KRATICA XVIII

1. UVOD 1

2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 3

2.1. Pregled rezultata iz površinskih istraživanja 3

2.2. Pregled rezultata iz potpovršinskih istraživanja 4

3. STRATIGRAFSKO - STRUKTURNI ODNOSI PODRUČJA ISTRAŽIVANJA 8

3.1. Stratigrafske jedinice 8

3.1.1. Kronostratigrafski i geokronološki sustav jedinca 10

3.1.2. Litostratigrafski sustav jedinica 10

3.1.2.1. Jedinice u litostratigrafskom sustavu 11

3.1.2.2. Postupak utvrđivanja litostratigrafskih jedinica 12

3.1.2.3. Litostratigrafske jedinice utvrđene na području Savske depresije 13

3.1.3. Biostratigrafski sustav jedinica 16

3.1.3.1. Naslage Croatica 16

3.1.3.2. Naslage Banatica 16

3.1.3.3. Naslage Abichi 17

3.1.3.4. Naslage Rhomboidea 17

3.1.3.5. Paludinske naslage 17

3.2. Strukturno-tektonski odnosi 19

3.2.1. Glavne strukture i rasjedi u zapadnom dijelu Savske depresije 19
3.2.2. Faze razvoja hrvatskoga dijela Panonskoga bazena 20
4. NAFTNA I PLINSKA POLJA NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA 22
5. METODE OBRADBE GEOLOŠKIH PODATAKA I PRIMJERI MOGUĆNOSTI NJIHOVE UPORABE U ANALIZI NASLAGA FORMACIJE LONJA 24
5.1. Dubinskogeološke metode 24
5.1.1. Analize karotažnih krivulja 24
5.1.1.1. Određivanje litološkog sastava stijena 25
5.1.1.2. Utvrđivanje EK markera/horizonata 26
5.1.2. Interpretacija seizmičkih podataka 28
5.1.3. Izradba strukturnih karata 29
5.1.4. Izradba litofacijesnih karata 34
5.2. Petrološko-sedimentološke analize 37
5.2.1. Klasifikacija naslaga 37
5.2.2. Granulometrijske analize 39
5.2.3. Fiziografske i genetske značajke najvažnijih sastojaka pijesaka i pješčenjaka 42
5.2.3.1. Kvarc 42
5.2.3.2. Feldspati 45
5.2.3.3. Odlomci stijena 45
5.2.3.4. Tinjci 45
5.2.3.5. Karbonatni minerali 46
5.2.3.6. Teški minerali 46
5.3. Geokemijske analize naslaga s organskim tvarima 48
5.4. Paleontološke analize 52
5.4.1. Puževi (Gastropoda) 52
5.4.2. Školjkaši (Lamellibranchiata) 53
5.4.3. Ostrakodi (Ostracoda) 54

5.5. Geomatematičke metode 56
5.5.1. Teoretske osnove neuronskih mreža 56
5.5.1.1. Povijest razvoja neuronskih mreža 57
5.5.1.2. Biološka neuronska mreža 57
5.5.1.3. Umjetna neuronska mreža 58
5.5.1.4. Osnovna načela učenja u neuronskim mrežama 60
5.5.1.5. Vrste veza među neuronima 60
5.5.1.6. Ulazne i aktivacijske funkcije 61
5.5.1.7. Mreža s postupkom povratne informacije 64
5.5.1.8. Postupak učenja i pregled vrijednosti uspješnosti mreže 66
5.5.1.9. Skupovi mreža 66
5.5.2. Predviđanje litološkog sastava iz elektrokarotažnih dijagrama 67
5.5.2.1. Priprema ulaznih podataka za predviđanje litološkog sastava 67
5.5.2.2. Konstrukcija UNM za predviđanje litološkog sastava i pregled vrijednosti uspješnosti mreža 70
5.5.3. Određivanje EK markera pomoću geomatematičkih metoda 72
5.5.3.1. Standardna devijacija 72
5.5.3.2. Primjena metode za utvrđivanje poznatog EK markera α' 73
6. PRIKUPLJANJE I PRIPREMA POVRŠINSKIH I DUBINSKIH PODATAKA ZA OBRADBU NASLAGA TREĆEGA NEOGENSKO KVARTARNOG MEGACIKLUSA ISTRAŽIVANOGA PODRUČJA 75
6.1. Terenska istraživanja 75
6.1.1. Vukomeričke Gorice 76
6.1.2. Južni obronci Moslavačke gore 76
6.1.3. Glinokop Garešnica 78
6.1.4. Područje brda Gojlo 79
6.1.5. Područje Lipovljana 81
6.2. Bušotinski podatci 82

6.3. Seizmički podatci 83
7. REZULTATI LABORATORIJSKIH ANALIZA 85
7.1. Rezultati granulometrijskih analiza 85
7.2. Rezultati analiza mineralnog sastava teške frakcije 86
7.3. Rezultati geokemijskih analiza 88
7.3.1. Vukomeričke gorice 89
7.3.2. Moslavačka gora 91
7.3.3. Brdo Gojlo 94
7.4. Rezultati paleontoloških odredaba makro i mikrofosila 97
7.4.1. Paleontološki nalazi na području južnih obronaka Moslavačke gore 97
7.4.2. Paleontološki nalazi na području brda Gojlo 101
7.4.3. Paleontološki nalazi s izdanaka u okolici mjesta Lipovljani 104
7.5. Rezultati palinoloških analiza 108
8. LITOSTRATIGRAFSKA RAŠČLAMBA FORMACIJE LONJA 111
8.1. Član Hrastilnica 114
8.2. Član Batina 115
8.3. Član Ravneš 117
8.4. Član Popovača 117
8.5. Član Vrbak 118
8.6. Član Oborovo 120
9. STRUKTURNI ODNOSI TREĆEGA NEOGENSKO-KVARTARNOGA MEGACIKLUSA U ISTRAŽIVANOM PODRUČJU 121
9.1. Strukturne karte po EK markerima i reperima formacije Lonja 122
9.2. Diferencijalni (palinspastički) profili 128
10. LITOFACIJESNE KARTE ČLANOVA FORMACIJE LONJA 131
10.1. Član Hrastilnica 132
10.2. Član Batina 135

10.3. Član Ravneš 138
10.4. Član Popovača 141
10.5. Član Vrbak 144
10.6. Član Oborovo 147
11. UTVRĐIVANJE NAFTNO-PLINSKOG POTENCIJALA POJEDINIH ČLANOVA I NJIHOVE UGLJENONOSNOSTI 148
11.1. Naftno-plinski potencijal člana Hrastilnica 148
11.2. Naftno-plinski potencijal člana Batina 149
11.3. Naftno-plinski potencijal člana Ravneš 149
11.4. Naftno-plinski potencijal člana Popovača 149
11.5. Naftno-plinski potencijal člana Vrbak 150
11.6. Naftno-plinski potencijal člana Oborovo 151
12. RASPRAVA 152
13. POPIS DOPRINOSA 161
14. ZAKLJUČAK 165
15. LITERATURA 167
PRILOZI
ŽIVOTOPIS S POPISOM OBJAVLJENIH RADOVA

POPIS TABLICA U TEKSTU

Tablica 5.1: Kategorije sortiranosti prema MÜLLER (1964) 42
Tablica 5.2: Stabilnost minerala teške frakcije (PETTIJOHN et al., 1973) 46
Tablica 5.3: Odnos generiranja ugljikovodika i modificiranih odnosa TAI i R_o matičnih stijena (modificirano prema BARIĆ, 2006; TROSKOT-ČORBIĆ et al., 2009) 50
Tablica 5.4: Prikaz parametara uvježbanih mreža za predviđanje litološkog sastava 71
Tablica 7.1: Prikaz rezultata granulometrijskih analiza 85
Tablica 7.2: Prikaz ukupnog ugljika iz organskih spojeva, ekstrakta i njihovog odnosa 88
Tablica 7.3: Prikaz rezultata Rock-Eval pirolize 88
Tablica 7.4: Rezultati mikroskopske analize izolirane organske tvari i sumpora; kratice macerala: Al – alginit, Sp - sporinit, Ld – liptodetrinit, Re – rezinit, Ku – kutinit, Hd – humodetrinit, Te – tekstinit, Ul – ulminit, Tu – tekstoulminit, Sf – smeifuzinit, Fu – fuzinit; boje fluorescencije: GY – zelenožuto, YO – žutonarančasto, O – narančasto, OB – narančastosmeđe, B – smeđe, NF – ne fluorescira; odnost TAI – R_o prema tablici 5.3 89

POPIS SLIKA U TEKSTU

Slika 1.1: Prikaz prostora istraživanja s naznačenim izdancima holocenskih, pleistocenskih, pliocenskih, miocenskih i starijih stijena prema listovima Osnovne geološke karte 1 : 100 000 Sisak (PIKIJA, 1987), Kutina (CRNKO, neobjavljeno) i Bjelovar (KOROLIJA & CRNKO, 1985). 2

Slika 3.1: Pregled stratigrafski jedinica u uporabi u području Savske depresije, prilagođeno iz HERAK (1987), VELIĆ (2007) i MALVIĆ & CVETKOVIĆ (2013) 9

Slika 3.2: Karakteristična fauna mekušaca za pojedine biostratigrafske jedinice unutar neogena (prema SOKAČ & BLAŠKOVIĆ 1971) 18

Slika 4.1: Prikaz smjestišta polja u istraživanom području Savske depresije 22

Slika 5.1: Izgled krivulje SP-a s pripadajućim osnovnim u odosu na litološki sastav (BASSIOUNI, 1994) 25

Slika 5.2: Prikaz karakterističnih motiva na krivulji prividne otpornosti (R_a) za pojedine EK markere u Savskoj depresiji (VRBANAC, 2002) 27

Slika 5.3: Prikaz područja kartiranja omeđenog poligonom s naznačenim rijekama (a); plohe α' s automatskim (b) i ručnim (c) ograničavanjem područja kartiranja 31

Slika 5.4: Prikaz postupka izradbe strukturne karte po EK-markeru α' 33

Slika 5.5: Litofacijense karte: a - karta „h“, b – karta „n“, c –karta „ss/sh“, d – karta „he“ načinjena pomoću algoritma, e - karta „he“ načinjena matematičkim izračunom, f – karta reziduala karata „he“ 36

Slika 5.6: Klasifikacija i nomenklatura klastičnih stijena prema WENTWORTH (1922) iz TIŠLJAR (2004) 38

Slika 5.7: Kvantitativna kalsifikacija i nomenklatura klastičnih sedimenata prema odnosu pojedih zastupljenih kategorija veličine zrna prema TREFETHEN (1950) iz TIŠLJAR (2004) 38

Slika 5.8: Podjela litificiranih psefita - pješčenjaka iz TIŠLJAR (2004) prema PETTIJOHN et al. (1972) 39

Slika 5.9: Slijepljena zrna u frakciji >0,063 mm 40

Slika 5.10: Kumulativna granulometrijska krivulja pijeska – uzorak Mos-8 s područja južnih obronaka Moslavačke gore 41

Slika 5.11: Mikrofotografija litičnog arenita formacije Lonja bez (lijevo) i s analizatorom (desno) 44

Slika 5.12: Mikrofotografije minerala teške frakcije iz uzoraka Mos-12-1 (gornja mikrofotografija) te Slav-1-2 (donja i srednja mikrofotografija) 47
Slika 5.13: Modificirani Van Krevelenov dijagram (TISSOT & WELTE, 1978) s prikazanim vrijednostima uzoraka s područja istraživanja. 49
Slika 5.14: Histogrami plinsko kromatografne analize nafte iz polja Ivanić (a) i Križ (b) (MARIČIĆ, 1999) te nafte iz izdanka - točka Mos-36 (c) 51
Slika 5.15: Dijelovi kućice puža (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964)..... 53
Slika 5.16: Prikaz školjkaša odozgo (A) i lijeve ljušture (B) s istaknutim dijelovima vrha (v), aree (a), lunule (lu), ligamenta (li), plaštenog ruba (p, dužinom (d) i visinom (vi) ljušture) te različitih tipova mišičnih ožiljaka (C) – Isomyaria (a, b), Heteromyaria (c) i Monomyaria (d) (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964)..... 54
Slika 5.17: Prikaz građe ostrakoda - desne ljušturice ženke s prikazanim mišičnim ožiljcima (a - antenalni; b - dorzalni; c - mandibularni; f - zatvarači) slobodne vapnenačke lamele (e) i položaja vanjske strane (d) (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964)..... 55
Slika 5.18: Biološki model neurona 58
Slika 5.19: Prikaz modela umjetnog neurona (iz CVETKOVIĆ, 2007; CVETKOVIĆ et al., 2009); $ulaz_j$ – j-ti ulazni podatak; $w_{1\text{-}ji}$ – težinski koeficijent j-tog ulaza za i-ti neuron; $izlaz_i$ – izlazni podatak iz i-tog neurona..... 59
Slika 5.20: Krivulja sigmoidne aktivacijske funkcije (za g<0)..... 63
Slika 5.21: Krivulja hiperboličko tangentne aktivacijske funkcije 63
Slika 5.22: Jednostavan prikaz višeslojne mreže s povratnom informacijom i dva skrivena sloja (engl. multi layer perceptron, MLP) (STATISTICA, 2004)..... 65
Slika 5.23: Razlike u vrijednostima osnovne linije kod krivulje SP-a u bušotini MV-2 te prikaz normalizirane vrijednosti krivulje spontanog potnecijala (SP_norm)..... 68
Slika 5.24: Prikaz uspješnosti neuronskih mreža uvježbanih na cjelovitom intervalu bušotine (A), u svakoj formaciji pojedinačno (B) i skupom mreža uvježbanih na pojedinim formacijama (C) iz CVETKOVIĆ & VELIĆ (2012)..... 70
Slika 5.25: Prikaz karotažnih krivulja bušotina Vo-1 i Obo-1 i kumulativnih krivulja standardne devijacije (CVETKOVIĆ & MALVIĆ, 2013)..... 74
Slika 6.1: Prikaz smještišta utvrđenih izdanaka (područje a - Slika 6.2; područje b - Slika 6.5) 76
Slika 6.2: Prikaz utvrđenih izdanaka na južnim obroncima Moslavačke gore - područje a (Slika 6.1) 77

Slika 6.3: Izdanci ugljena na južnim obroncima Moslavačke gore, zapadno od naselja Kletište 78
Slika 6.4: Profil izdanka u glinokopu pored Garešnice - naznačeno paleotlo te rasjedna ploha sa strijama 79
Slika 6.5: Prikaz utvrđenih izdanaka na području brda Gojlo - područje b (Slika 6.1) 79
Slika 6.6: Iznimno bogati slojevi sa školjkašima (lijevo) i slijed naslaga sa sjeverne strane brda Gojlo s izmjenom plave gline u dnu iskopa, šljunkovite kokine crvenosmeđe boje i glinovitog pijeska plavozelene boje s komadima drvovine (desno) 80
Slika 6.7: Pojava nafte u boku potoka s vidljivim tamnim, naftom zasićenim dijelom sedimenta i kapljicama u potoku (lijevo) i izvađenim dijelom za uzorak (desno) 81
Slika 6.8: Prikaz smjestišta bušotina na području istraživanja 82
Slika 6.9: Prikaz prostornog rasporeda seizmičkih profila na području istraživanja 83
Slika 6.10: Prikaz pojavnosti EK markera α' kao seizmičkog horizonta 84
Slika 7.1: Histogram zastupljenosti pojedinih skupina minerala u teškoj frakaciji 86
Slika 7.2: Huminit (uglavnom tekstinit) i terestrični liptiniti (Mos-24). Gore - prolazno svjetlo, dolje - plavo fluorescentno svjetlo. 90
Slika 7.3: Tekstinit i rezinit - jarko žuto (Mos-24). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - plavo fluorescentno svjetlo, uljna imerzija. 90
Slika 7.4: Botryococcus i amorfna organska tvar (Mos-13). Lijevo - prolazno svjetlo, desno - plavo fluorescentno svjetlo. 91
Slika 7.5: Botryococcus i amorfna organska tvar (Mos-13). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - ljubičasto fluorescentno svjetlo, uljna imerzija 92
Slika 7.6: Huminit (uglavnom humodetrinit) i terestrični liptiniti (Mos-18). Lijevo - prolazno svjetlo, desno - plavo fluorescentno svjetlo. 93
Slika 7.7: Huminit i terestrični liptiniti (Mos-18). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - plavo fluorescentno svjetlo, uljna imerzija. 93
Slika 7.8: Amorfni, oksidirani kerogen s uklopljenim inertinitima i liptinitima (Mos-30-4). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - plavo fluorescentno svjetlo, uljna imerzija. Žuto macerali liptinitne skupine, uglavnom sporinit 94
Slika 7.9: Ulminit s uklopcima flobafinita (Mos-32-3). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - ljubičasto fluorescentno svjetlo, uljna imerzija. 95
Slika 7.10: Maceral liptinitne skupine kutinit okružen amorfnom organskom tvari (Mos-36). Lijevo - prolazno svjetlo, desno - plavo fluorescentno svjetlo. 96

Slika 7.11: Maceral inertinitne skupine semifuzinit (Mos-36). Reflektirano svjetlo, uljna imerzija. 96
Slika 7.12: Izdanak glinovitog silta s bogatom pliocenskom faunom – vidljivi puževi roda *Viviparus* (Mos-12) 97
Slika 7.13: Tankoljušturne školjke (Mos-16) – vjerojatno *Anodonta* sp. 98
Slika 7.14: Fosilna fauna s područja južnih obronaka Moslavačke gore: a) *Viviparus* cf. *dezmanianus* BRUSINA; b) *Viviparus sturi* NEUMAYR adultni; c) *Viviparus* sp. juvenilni; d) *Melanopsis* cf. *hastata* NEUMAYR; e) *Melanopsis* cf. *eurytoma* NEUMAYR; f) *Melanopsis pyrum* NEUMAYR; g) *Lythoglyphus* sp.; h) *Theodoxus sagitifera* BRUSINA; i) *Theodoxus* sp.; j) *Hydrobia* sp.; *Dreissena polymorpha* PALLAS; l) kralježak ribe; m) *Chara* sp. 99
Slika 7.15: Ostrakodna fauna južnih obronaka Moslavačke gore: a) uzorak Mos-11 s *Cyprides* cf. *torosa* JONES i četiri juvenilne jedinke *Candona* sp.; b) uzorak Mos 12-1 *Cyprideis* cf. *torosa* JONES (80 % faune adultne i juvenilne jedinke). *Scottia pseudobrowniana* KEMPF *Darwinula stevensoni* BRADY & ROBERTSON, *Candona* sp . *juvenilna*, c) uzorak Mos 12-2 s *Cyprideis* cf. *torosa* JONES (70 % faune), *Candona neglecta* SARS, D*arwinula stevensoni* BRADY & ROBERTSON, *Candona* sp. juvenilna, *Scottia pseudobrowniana* KEMPF; d) uzorak Mos-16 s *Cyprideis* cf. *torosa* JONES (60 % faune), *Scottia pseudobrowniana* KEMPF (30 % faune), *Ilyocypris* cf. BRADY SARS i *Candona* sp 100
Slika 7.16: Fosilna fauna s područja brda Gojlo: a) *Viviparus sturi* NEUMAYR; b) *Viviparus* cf. *avellanus* BRUSINA; c) *Viviparus vukotinovici* FRAUFELD; d) *Viviparus vukotinovici* FRAUFELD juvenilni; e) *Melanopsis* sp.; f) *Melanopsis hastata* NEUMAYR; g) *Lythoglyphus callosus* BRUSINA; h) *Valvata sulekiana* BRUSINA; i) *Theodoxus* sp.; j) *Unio ptychodes* BRUSINA; k) *Unio* sp.; l) *Pisidium solidarum* NEUMAYR; *Dreissena* sp.; n) *Lymnea* sp.; o) *Pisidium* sp.; p) *Chara* sp. 102
Slika 7.17: Ostrakodna fauna s područja Gojla: a) uzorak Mos-27 bazalni dio bez makrofosila - *Candona neglecta* SARS, *Paracandona* cf. *euplectella* ROBERTSON, *Fabaeformiscandona holzkampfi* HARTWIG, *Cypria* sp. i *Candonopsis* sp.;b) uzorak Mos-27 s mikrofosilnom faunom - *Scottia pseudobrowniana* KEMPF, *Darwinula stevensoni* BRADY & ROBERTSON i *Ilyocypris* sp.; c) uzorak Mos-29 - *Cyclocypris serena* KOCH i *Scottia pseudobrowniana* KEMPF; d) uzorak Mos-22 - *Candona neglecta* SARS, *Candona candida* O.F. MÜLLER, *Ilyocypris bradyi* SARS, *Cypris pubera* O.F. MÜLLER, *Heterocypris icongruens* RAMDOHR i *Potamocypris* sp. . 104

Slika 7.18: Urešeni viviparidi pomješani s recentnim školjkašima u nanosu potoka 105
Slika 7.19: Fosilna fauna iz izdanaka u okolici mjesta Lipovljani: a) *Viviparus diluvianus* KUNTH adultni; b)*Viviparus diluvianus* KUNTH juvenilni; c) *Lytoglyphus callosus* BRUSINA; d) *Planorbis* sp.; e) *Micromelania* sp.; f) *Prososthenia* sp.; g) *Pisidium solidarum* NEUMAYR..... 106
Slika 7.20: Mikrofosilna fauna iz izdanaka u okolici Lipovljana: a) *Candona* sp. i *Scottia* sp.; b) *Globigerina* sp.; c) *Cibicides* sp..... 107
Slika 7.21: Mikrofotograije poleni, spora, dinocista i zamijećenih alga – a) dinocista Spiniferites (Mos-11); b) pelud lokvanja Nuphar (Mos-16); c) pelud čempresa – Cupresacceae (Mos-17); d) pelud čuge – Tsuga (Mos-20); e) pelud glavočike – Asteraceae (Mos-22); f) spora paprati – Leiotriletes (Mos-27); g) alga Mougeotia (Mos-28); h) spora paprati Polypodium (Mos-29); i) pelud Cupressaceae i alge Mougeotia i Sigmopollis (Mos-30); j) pelud Cathaya (Slav-5)..... 110
Slika 8.1: Prikaz izdvojenih EK markera i repera na osnovi ZSD-a te EK krivulja SP-a i otpornosti u bušotinama Oborovo-1, Hrastilnica-2 i Kostrinja-1..... 113
Slika 8.2: Prikaz litostratigrafskih jedinica utvrđenih na području istraživanja..... 114
Slika 8.3: Karakterističan litološki sastav člana Hrastilnica utvrđenog u bušotini Hra-2..... 115
Slika 8.4: Karakterističan litološki sastav člana Batina utvrđenog u bušotini Bt-1 116
Slika 8.5: Karakterističan litološki sastav člana Ravneš utvrđenog u bušotini Rv-1..... 117
Slika 8.6: Karakterističan litološki sastav člana Popovača utvrđenog u bušotini Po-1..... 118
Slika 8.7: Karakterističan litološki sastav člana Vrbak utvrđen u bušotini Vrb-1 119
Slika 9.1: Strukturna karta po EK markeru α'..... 122
Slika 9.2: Strukturne karte po EK markeru K' 123
Slika 9.3:Strukturna karta po markeru I' 124
Slika 9.4: Strukturna karta po EK markeru J'..... 125
Slika 9.5: Strukturna karta po EK markeru Q' 126
Slika 9.6: Blok dijagram po EK markerima formacije Lonja 127
Slika 9.7: Poprečni diferencijalni (palinspastički) profil sjeverozapadnog dijela prostora istraživanja..... 129
Slika 9.8: Poprečni diferencijalni (palinspastički) profil jugoistočnog dijela prostora istraživanja..... 130
Slika 10.1: Litofacijesna karta varijable „h“ člana Hrastilnica 132
Slika 10.2: Litofacijesna karta varijable „he“ člana Hrastilnica 133
Slika 10.3: Litofacijesna karta varijable „n“ člana Hrastilnica 134

Slika 10.4: Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Hrastilnica 134
Slika 10.5: Litofacijesna karta varijable “h“ člana Batina 135
Slika 10.6: Litofacijesna karta varijable „he“ člana Batina..... 136
Slika 10.7: Litofacijesna karta varijable „n“ člana Batina 136
Slika 10.8: Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Batina..... 137
Slika 10.9: Litofacijesna karta varijable „h“ člana Ravneš 138
Slika 10.10: Litofacijesna karta varijable „he“ člana Ravneš 139
Slika 10.11: Litofacijesna karta varijable „n“ člana Ravneš 139
Slika 10.12: Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Ravneš 140
Slika 10.13: Litofacijesna karta varijable „h“ člana Popovača 141
Slika 10.14: Litofacijesna karta varijable „he“ člana Popovača 142
Slika 10.15: Litofacijesna karta varijable „n“ člana Popovača 142
Slika 10.16: Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Popovača 143
Slika 10.17: Litofacijesna karta variable „h“ člana Vrbak..... 144
Slika 10.18: Litofacijesna karta varijable „he“ člana Vrbak..... 145
Slika 10.19: Litofacijesna karta varijable „n“ člana Vrbak..... 145
Slika 10.20: Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Vrbak..... 146
Slika 10.21: Litofacijesna karta varijable „h“ člana Oborovo..... 147
Slika 11.1: Naznaka pojave plina u tankom (2,5 m) sloju označenog žutom bojom unutar člana Ravneš..... 149
Slika 11.2: Moguće pojave plina u debelim pijescima baze člana Vrbak – označeno žutom bojom..... 150
Slika 12.1: Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja članova Hrastilnica i Batina..... 153
Slika 12.2: Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Ravneš..... 154
Slika 12.3: Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Popovača 155
Slika 12.4: Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Vrbak..... 156
Slika 12.5: Kosa slojevitost utvrđena na južnim obroncima Moslavačke gore 157
Slika 12.6: Ostatci bjelogoričnog lišća u prahovitoj glini smeđe boje - podina slabo litificiranih pješčenjaka s kosom slojevitosti..... 157

Slika 12.7:Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Oborovo u vrijeme glacijala 159
Slika 12.8: Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Oborovo u vrijeme stadijala 159

POPIS PRILOGA

Prilog 1: Shematski poprečni korelacijski profil u zapadnom dijelu istraživanog područja

Prilog 2: Shematski poprečni korelacijski profil u istočnom dijelu istraživanog područja

Prilog 3: Shematski uzdužni korelacijski profil istraživanog područja

Prilog 4: Sintetski stup naslaga pliocena, pleistocena i holocena na području istraživanja

POPIS KRATICA

Oznaka	**Značenje**
SP	karotaža spontanog potencijala (mV)
SP_norm	normalizirana vrijednost karotaže spontatnog potencijala (mV)
Ra	karotaža prividne otpornosti (ohm m)
R_{16}	karotaža prividne otpornosti sondom plitkog zahvata ili malom normalom (ohm m)
R_{64}	karotaža prividne otpornosti sondom dubokog zahvata ili velikom normalom (ohm m)
GR	karotaža prirodne radioaktivnosti (API)
CN	karotaža neutronske poroznosti (%)
DEN	karotaža gustoće (kg/m^3)
AC	zvučna karotaža (m/s)
Md	medijan srednje veličine zrna u uzorku
Q_1	veličina zrna od koje je manje 25 % uzorka
Q_3	veličina zrna od koje je manje 75 % uzorka
S_o	koeficijent soritiranja po Trasku
C_{org}	ukupni sadržaj ugljika organskoga podrijetla (%)
EOM	ekstrabilna organska tvar
S_1	slobodni ugljikovodici termički oslobođeni na 300 ^oC; moguće generirani migrabilni ugljikovodici
S_2	ugljikovodici nastali krekiranjem kerogena pri temperaturi 550 ^oC; generativni potencijal, rezidualni ugljikovodični potencijal
S_1+S_2	ukupni ugljikovodični potencijal
S_3	ugljikov dioksid organskog podrijetla oslobođen za vrijeme krekiranja
T_{max}	temperatura maksimalnog generiranja uljikovodika
PI	produkcijski ili transformacijski indeks (S_1/S_1+S_2)
S_2/S_3	indeks tipa ugljikovodika
HI	vodikov indeks (S_2/C_{org})x100

OI	kisikov indeks (S_3/C_{org})x100
Min C	sadržaj ugljika anorganskoga podrijetla
R_o	koeficijent vitrinitne refleksije (%)
TAI	indeks temperaturne izmjene organske tvari
UNM	umjetne neuronske mreže

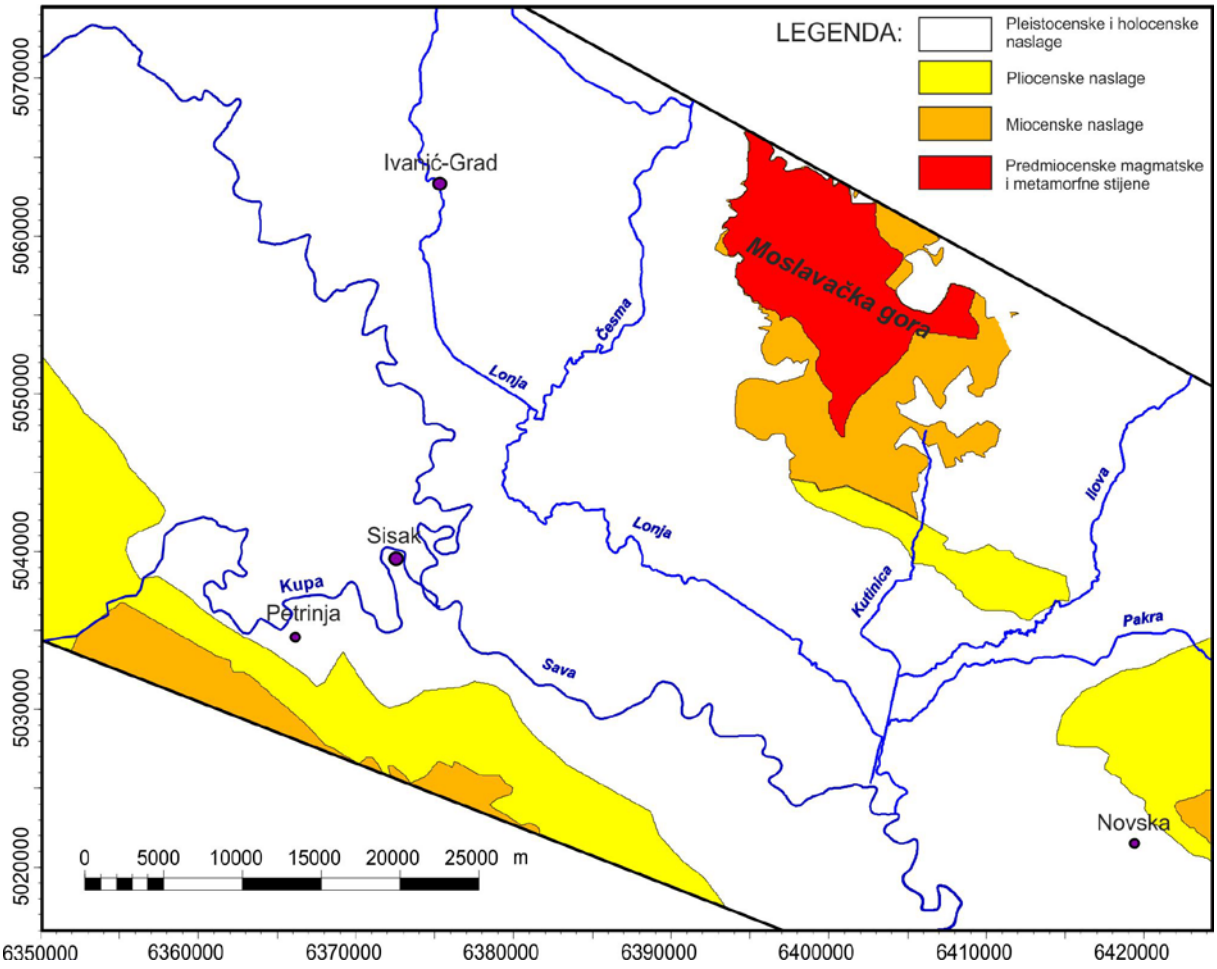
1. UVOD

Težnja za ostvarivanje novih spoznaja osnovica je svake znanstveno-istraživačke djelatnosti. Pokretačka snaga je znatiželja istraživača, no glavni motiv za pokretanje istraživanja su dostupnost materije i potencijal iskoristivosti mogućih rezultata kao i opći trendovi istraživanja u pojedinim područjima. Upravo iz navedenih razloga, najmlađe naslage kenozojske ispune hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava (skr. HPBS) dugo su vremena bile zanemarene od strane znanstvenika, posebice sa stajališta geologije ugljikovodika. Početni istraživački entuzijazam krajem 19-og i početkom 20-og stoljeća u opisivanju bogate i raznovrsne fosilne faune od strane Brusine, Vukotinovića i Paula, zamijenilo je razdoblje do 80-ih godina prošlog stoljeća u kojem je vrlo malo toga napravljeno. Većina istraživanja kenozojske ispune Panonskog bazenskog sustava (skr. PBS) bila su usredotočena na dio naslaga u kojem su 40-ih godina 20-og stoljeća otkrivena ležišta nafte, a plitke pojave plina i slojevi ugljena su bili zanemarivani kao i sve ostale informacije koje su proizlazile iz tih, najmlađih naslaga. Nakon dugog vremenskog razdoblja s malobrojnim, ali značajnim istraživanjima, naslage utvrđene kao formacija Lonja (ŠIMON, 1963*) približne pliocensko-pleistocensko-holocenske starosti, svrstane u treći neogensko-kvartarni megaciklus (VELIĆ *et al.*, 2002), ponovo su predmet istraživanja i to u ovoj disertaciji na području ograničenom unutar Savske depresije.

Savska depresija smještena je na jugozapadnom rubu PBS-a. Omeđena je Dinaridima te bosanskim planinama na desnoj obali rijeke Save na jugu i jugozapadu, Medvednicom na sjeverozapadu te Moslavačkom gorom, Psunjem i Krndijom na sjeveru. Središnji, ravničarski dio depresije, pripada dolinama rijeka Save, Lonje i Česme s nadmorskim visinama od 80 (na istoku) do 110 m (na zapadu). Prema rubovima depresije reljef je razvedeniji te krajolik prelazi u brežuljkast s nadmorskim visinama od 150 m na području Kloštra, Lipovljana, Gojla i Janja Lipe pa do 200 i više na području Mramor Brda, Vukomeričkih gorica te Petrove, Zrinske i Moslavačke gore.

Područje istraživanja disertacije ograničeno je na prostor jugoistočno od Zagreba i Medvednice te sjeverozapadno od Novske i Psunja. Sjeverna granica postavljena je približnom lokacijom ruba Savske depresije tj, sjevernim obroncima Moslavačke gore, južno od mjesta Čazma. Južna granica određena je prema dostupnosti podataka (bušotinskih i seizmičkih) za provedbu istraživanja naslaga trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa, a približno je određena Petrovom i Zrinskom gorom te državnom granicom s Bosnom i

Hercegovinom. Površina tako omeđenog područja iznosi približno 3400 km^2 te je prikazana na **slici 1.1.**



Slika 1.1: *Prikaz prostora istraživanja s naznačenim izdancima holocenskih, pleistocenskih, pliocenskih, miocenskih i starijih stijena prema listovima Osnovne geološke karte 1 : 100 000 Sisak (PIKIJA, 1987), Kutina (CRNKO, neobjavljeno) i Bjelovar (KOROLIJA & CRNKO, 1985).*

Kroz sadržaj ove disertacije pobrojane su osnovne značajke stratigrafskih odnosa pojedinih sustava i njihov međusoban odnos, strukturno tektonskih odnosa istraživanog, ali i okolnog područja, teorijske osnove metoda istraživanja, prikaz obrađenih podataka te na kraju i rezultat istraživanja.

2. PREGLED REZULTATA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Pregled rezultata dosadašnjih istraživanja u ovom slučaju nije nikako lako iznijeti, a da se pri tome nenamjerno izostave radovi načinjeni u doba kada potpovršinska istraživanja nisu imala velik značaj, tj. nije bilo tehničkih mogućnosti za njihovo izvođenje s obzirom na dostupnu tehnologiju početkom 20-og stoljeća. Zbog različitog pristupa prilikom pojedinih istraživanja, posebno su pobrojani radovi kao rezultat površinskih istraživanja, tj. rezultata na temelju podataka prikupljenih na izdancima, u raskopima i slično, te onih na temelju potpovršinskih istraživanja kod kojih su podatci prikupljeni izravno iz bušotina (na temelju jezgara) ili pomoću geofizičkih metoda.

2.1. Pregled rezultata iz površinskih istraživanja

Prva istraživanja naslaga trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa na području Savske depresije odnose se na djelatnost austrijskih geologa na našim područjima prilikom proučavanja dostupnih izdanaka i njihove bogate fosilne faune. Većinom su se ovi radovi odnosili na utvrđivanje potencijalnih mineralnih sirovina (ugljen, prirodni izdanci nafte, šljunčare i tupinolomi) te paleontološke odredbe. Tom prilikom određeni su mnogobrojni rodovi i vrste puževa i školjkaša kao i nalazi flore. Kasnije, 80-ih godina 20-og stoljeća, prilikom izradbe listova Osnovne geološke karte (skr. OGK), površinski su detaljno kartirane odnosne naslage.

Kratak pregled s rezultatima radova proizašlih iz površinskih istraživanja, važnih za zadnju fazu razvoja PBS-a, tj. treći neogensko-kvartarni megaciklus pobrojani su po kronološkom redoslijedu:

- NUEMAYER (1875) opisuje filogenetski razvoja puževa „paludina“ (vivipare) na izdancima u Slavoniji.
- BRUSINA (1897) izdaje ikonografiju mekušaca neogena s područja tadašnje Dalmacije, Hrvatske i Slavonije te pet godina kasnije (BRUSINA, 1902) ikonografiju malakološke faune „tercijara“ na temelju vrsta prikupljenih na području tadašnje Mađarske, Hrvatske, Slavonije, Dalmacije, Bosne, Hercegovine, Srbije i Bugarske.
- Prilikom izradbe listova i tumača osnovne geološke karte u razdoblju od 1980. do 1989. (BASCH, 1980, 1983; JAMIČIĆ, 1988; JAMIČIĆ *et al.*, 1989;

JOVANOVIĆ & MAGAŠ, 1980, 1986; KOROLIJA & CRNKO, 1985; KOROLIJA *et al.*, 1986; PIKIJA, 1986, 1987) na terenu su razlučena tri biostratigrafska nivoa „paludinskih" naslaga unutar pliocena te pleistocenske i holocenske naslage formacije Lonja. Utvrđene „paludinske" naslage na kartiranom području sadržavale su sljedeću asocijaciju puževa:

- „Donjopaludinske" naslage zastupljene faunom *Viviparus fuchsi, V. leiostracus te V. neumayeri.*
- „Srednjopaludinske" naslage s čestim nalazima *Viviparus eburneus, V. bifarcinatus* i *V. dezmanianus.*
- „Gornjopaludinske" naslage s *Viviparus vukotinovici, V. ornatus* i V. *sturi.*

- RÖGL & STEININGER (1983) uvode promjenu u stratigrafskoj nomenklaturi za središnji Paratethys gdje je na temelju načinjene detaljne paleogeografske rekonstrukcije naznačeno da razdoblje ponta pripada miocenu, a ne pliocenu kako je bilo prethodno navođeno.
- MRINJEK *et al.* (2006) proučavaju pliocenski aluvij Dravske depresije – „Belvederske šljunke" s obzirom na njihovo izvorište i okoliš taloženja.

2.2. Pregled rezultata iz potpovršinskih istraživanja

Prva potpovršinska istraživanja koja su za cilj imala razradbu trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa opisana su u internim radovima Ine d.d. prilikom prvih litostratigrafskih razradaba naslaga neogensko-kvartarne ispune HPBS-a. Ta istraživanja su uglavnom bila usmjerena na starije naslage, one miocenske starosti, dok su mlađe, s obzirom na tada utvrđeni malen naftno-plinski potencijal, zanemarene. Prva detaljna istraživanja provođena su prilikom geotehničkih i hidrogeoloških istraživanja krajem 70-ih i početkom 80-ih godina 20-og stoljeća.

Kratak pregled s rezultatima radova proizašlih iz potpovršinskih istraživanja, važnih za zadnju fazu razvoja PBS-a, tj. treći neogensko-kvartarni megaciklus, pobrojani su prema kronološkom redoslijedu:

- ŠIMON (1963*) prilikom iznošenja detaljne litostratigrafske podjele u Savskoj depresiji, polje Ivanić, utvrđuje najplići dio naslaga, u podini ograničen elektrokarotažnim (EK) markerom α', kao formacija Lonja.
- PLETIKAPIĆ (1969) detaljno istražuje formaciju Ivanić-Grad na području zapadnog dijela Savske depresije te ju raščlanjuje i prikazuje smjestišta potencijalnih ležišta ugljikovodika.
- URUMOVIĆ *et al.* (1978) prvi put ukazuju na mogućnost detaljnijeg raščlanjivanja naslaga formacije Lonja uvođenjem novog EK markera Q' koji odjeljuje nepropusne naslage u podini od „rastresitog pokrivača“ u krovini u kojem prevladavaju pjeskovite i šljunkovite naslage.
- SOKAČ *et al.* (1978) u bušotinama na području istočne Hrvatske prema nalazima fosilne flore i faune da Q' određuje predstavlja granicu između sedimenata donjeg i srednjeg pleistocena prema nalazima mikrofosilne, prvenstveno ostrakodne, faune i palinološkim analizama. Ta spoznaja se kasnije potvrđuje u bušotinama iz okolice Oborova (HERNITZ *et al.,* 1980*;* 1981).
- ŠIMON (1980) prikazuje cjelovitu litostratigrafsku razradbu za područje HPBS prema depresijama.
- HERNITZ *et al. (1980, 1981)* predstavili su prvi pokušaj detaljnog raščlanjivanja formacije Lonja na širem području Oborova gdje su izdvojeni uvjetni EK markeri H i Q'. Utvrđeno je slijedeće:
    - Najstariji dio naslaga od α' do H stratigrafski pripada donjem pliocenu, no bez dobro stratigrafski definirane gornje granice. Litološki sastav naslaga predstavljen je slabo vezanim pijescima, pjeskovitim glinama i glinama.
    - Interval sadržan između uvjetnih repera H i Q' predstavljen je izmjenom gornjopliocenskih i donjopleistocenskih glina i pijesaka s manjim udjelom gline nego u intervalu između α' i H. Donja granica intervala nije precizno stratigrafski definirana, dok najmlađi dio intervala pripada donjem pleistocenu. Gornji dio intervala, neposredno ispod uvjetnog repera Q' predstavljen je relativno tankim glinovitim slojem.
    - Naslage iznad Q' kolokvijalno se nazivaju „rastresitim materijalom“ s obzirom na njihov stupanj litifikacije, a karakteristična je dominacija

propusnih slojeva. Starost je srednji i gornji pleistocen i holocen. Bazni dio karakteriziran je pijescima koji postupno pokrupnjavaju i prelaze u šljunke s rijetkim proslojcima prahovitih i glinovitih sedimenata uz pojave ugljena.

  - EK markeri H i Q' determinirani su na širem području Savske depresije između Zagreba, Moslavačke gore i Siska izdvajanjem na EK dijagramima iz dubokih bušotina. Uvjetni karotažni markeri dijele formaciju Lonja na tri dijela koji tada nisu terminološki određeni. Smjestišta interpretiranih debljina, kao ni imena bušotina–u kojima je načinjeno izdvajanje nisu navedeni.

- VELIĆ & SAFTIĆ (1992) na području Podsuseda, prilikom istraživanja za izgradnju hidroelektrane Podsused, utvrđuju naslage vršnog dijela formacije Lonja koje stratigrafski pripadaju srednjem pleistocenu i holocenu. Debljina im iznosi od 0 do 60 m za srednjopleistocenske i 10 – 15 za holocenske. Utvrđeno je da su naslage holocenske starosti petrografski bitno različite od onih starijih što se dovodi u korelaciju s probojem toka rijeke Save koja je imala izvorište u Alpama. Sastav valutica u šljuncima je dominantno karbonatan u naslagama holocena, a u starijim, srednjopleistocenskim, od pretaloženih permskih klastita s lokalnim izvorištem materijala. Na naznačenom području naslage gornjeg pleistocena izostaju što je posljedica snažne erozije mlađih, holocenskih naslaga.
- VELIĆ & DURN (1993) na području Prečkog utvrđuju vršni dio formacije Lonja u kojem su razlučili četiri jedinice. Marker Q' prepoznat je na dubinama od 35 do 45 m, a izdvojene naslage holocena debele su 5 – 10 m.
- VELIĆ *et al.* (1999) na temelju tri bušotine dubine do 100 m na odlagalištu otpada Jakuševac definiraju probušene naslage kao vršni dio formacije Lonja te izdvajaju jedinice približne srednjopleistocenske, gornjopleistocenske i holocenske starosti. EK marker Q' nije utvrđen, a debljina holocena iznosi do 50 m.
- VELIĆ *et al.* (2002) razrađuju kenozojsku ispunu hrvatskog dijela PBS-a na megacikluse te svrstavaju naslage pliocena pleistocena i holocena u treći neogensko-kvartarni megaciklus.

- MALVIĆ & VELIĆ (2011) iznose pregled razvoja hrvatskog dijela Panonskog bazena i tektonskih faza od kojih je posljednja transtenzijska karakteristična za treći neogensko-kvartarni megacikus.
- CVETKOVIĆ *et al.* (2012) prikazuju mogućnost korištenja geomatematičkih metoda za određivanje litološkog sastava iz elektrokarotažnih dijagrama u sedimentima formacije Lonja na temelju kojeg su načinjene litofacijesne karte područja južno od Kutine (Savska depresija).

3. STRATIGRAFSKO - STRUKTURNI ODNOSI PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Poznavanje postojećih sustava stratigrafskih jedinica te onih važećih na području HPBS-a, posebice Savske depresije, neophodno je za razumijevanje tematike ove disertacije. Kroz ovo poglavlje prikazane su osnove kronostratigrafskog, geokronološkog, litostratigrafskog i biostratigrafskog sustava jedinica te njihov međusobno odnos i opis postojećih jedinica na širem prostoru istraživanja. Opis pojedinih sustava većinom je preuzet iz Stratigrafskog kodeksa Sjeverne Amerike (NACSN, 2005) i Stratigrafskog vodiča Međunarodne komisije za stratigrafsku nomenklaturu (MURPHY & SALVADOR, 1998) uz korištenje udžbenika za osnovno geološko kartiranje (DIMITRIJEVIĆ, 1978) te jednog od osnovnih geoloških udžbenika (HERAK, 1987). Najdetaljnije opisane su one iz litostratigrafskog sustava, pošto je utvrđivanje i klasifikacija jedinica prema litološkom sastavu jedan od važnih ciljeva u ovoj disertaciji.

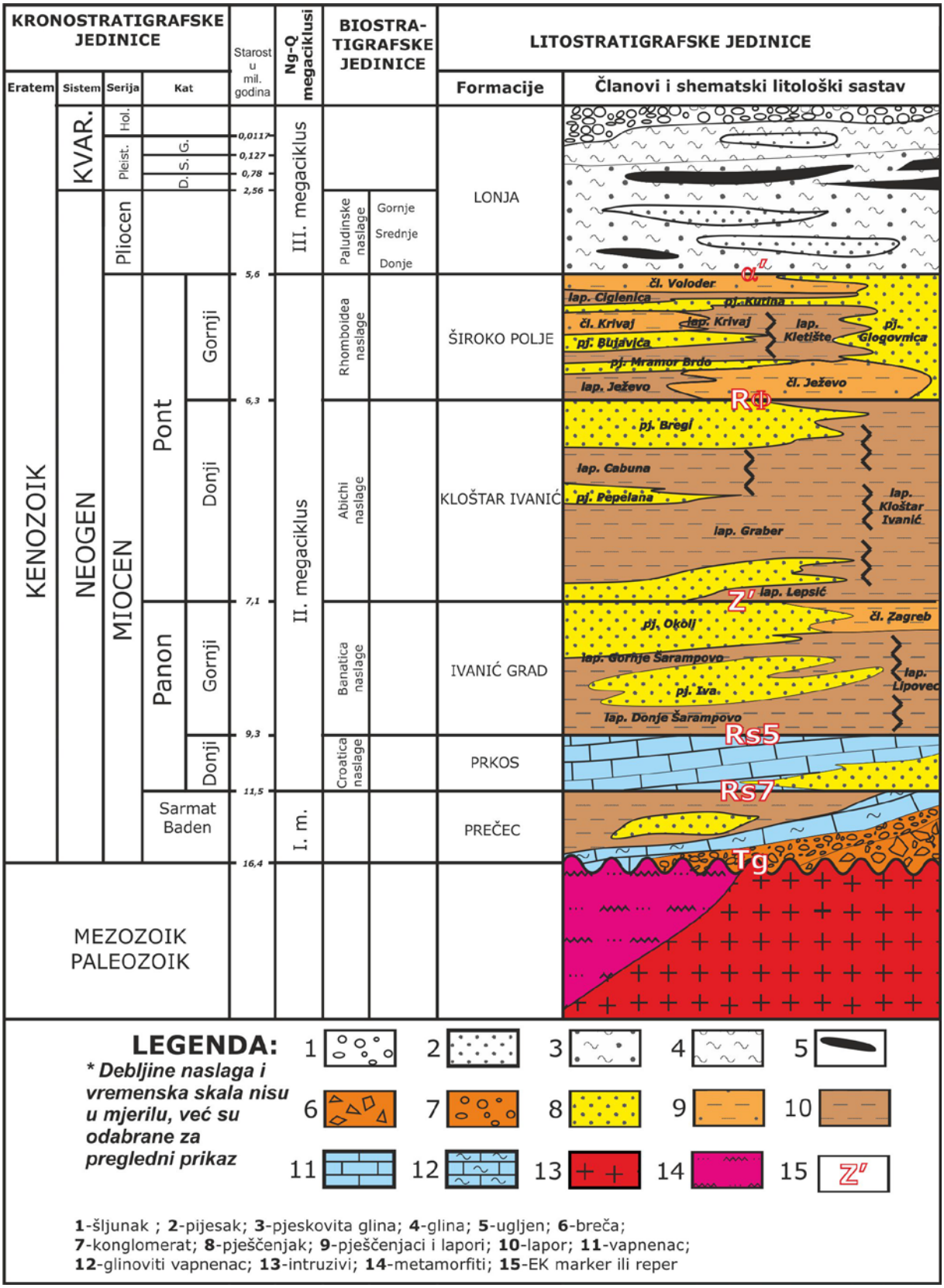
3.1. Stratigrafske jedinice

Stijene posjeduju različita svojstva poput litološkog sastava, fosilnog sadržaja, magnetskog polariteta, mineraloškog i kemijskog sastava itsl., od kojih se većina može koristiti za njihovu stratigrafsku odredbu, dodatno uz vrijeme ili okoliš nastajanja.

Načelno, jedinice koje su istovjetne ili korelativne prema jednoj klasifikaciji nužno to ne moraju biti kod primjene klasfikacije po nekom drugom svojstvu, odnosno sustavu. Prema tome, nije moguće prikazati sva svojstva stijene pomoću samo jedne klasifikacije. Najčešće formalne stratigrafske jedinice su:

- Kronostratigrafske,
- Geokronološke,
- Litostratigrafske i
- Biostratigrafske.

Prikaz utvrđenih jedinca pojedinog sustava u Savskoj depresiji prikazani su na **slici 3.1**.



Slika 3.1: *Pregled stratigrafski jedinica u uporabi u području Savske depresije, prilagođeno iz HERAK (1987), VELIĆ (2007) i MALVIĆ & CVETKOVIĆ (2013)*

3.1.1. Kronostratigrafski i geokronološki sustav jedinca

Kronostratigrafske jedinice predstavljaju volumen uslojenih ili neuslojenih stijena ili naslaga koje su nastale za vrijeme određenih intervala geološkog vremena (NACSN, 2005; MURPHY & SALVADOR, 1998). S druge strane, geokronološki sustav jedinica zasniva se samo na apsolutnom vremenu i njegove jedinice ne moraju uvijek sadržavati odgovarajući litološki materijal, već mogu biti i hijatusi. One nisu temeljne jedinice koje se koriste prilikom istraživanja, nego se počinju koristiti tek nakon višegodišnjih detaljnih istraživanja i utvrđivanja ostalih stratigrafskih jedinica i odnosa. Iako nisu osnovne za istraživanje u ovoj disertaciji, navedene su prve jer je na taj način lakše iznijeti cjelovit prikaz stratigrafskog sustava i odnose karakteristične za istraživano područje.

Jedinice kronostratigrafskog sustava važeće za područje Savske depresije, kao i za ostatak hrvatskog dijela Panonskog bazena, zasnivaju se na temeljnoj podjeli za središnji Paratethys prema RÖGL (1998). Shodno tome, na istraživanom području utvrđene su jedinice prikazane na **slici 3.1**. Iznosi apsolutne starosti pojedinih granica preuzete su iz ICS (2013).

3.1.2. Litostratigrafski sustav jedinica

Litostratigrafske jedinice podrazumijevaju prostorno ograničena „tijela“ stijena ili naslaga koje mogu, ali ne moraju, biti stratificirane, a glavni čimbenik po kojem su utvrđene u jednu cjelinu je njihov litološki sastav (NACSN, 2005; MURPHY & SALVADOR, 1998). One predstavljaju osnovnu sastavnicu geološkog kartiranja, posebice prilikom istraživanja novih područja gdje odnosi starosti još nisu utvrđeni putem fosilnog zapisa ili izotopnih analiza.

Jedinica u litostratigrafskom sustavu može se sastojati od sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stijena, ili od kombinacije dvije te u iznimnom slučaju svih navedenih. Također, jedinica se može sastojati od konsolidiranih, ali i nekonsolidiranih sedimenata. Osnovica za objedinjavanje stijenskog materijala u jedinicu je prepoznavanje takvih litoloških karakteristika stijena i taložina koji ih jasno razlikuju od krovine i podine (NACSN, 2005). One uključuju mineraloški sastav, strukturu, boju, prisutnost fosila i njihov utjecaj na strukturu stijene te pojavu organski bogatih stijena (ugljeni, uljni šejlovi).

3.1.2.1. Jedinice u litostratigrafskom sustavu

Hijerarhijski poredane od višeg prema nižem rangu jedinice litostratigrafskog sustava su: supergrupa, grupa, formacija, član i sloj.

Grupa se sastoji od dvije ili više formacija koje imaju zajedničke značajke.

Formacija predstavlja osnovnu jedinicu u litostratigrafskom sustavu koja se koristi za kartiranje, opisivanje i interpretaciju geoloških odnosa na području istraživanja. Ona se može utvrditi kao:

- Skup stijena ili naslaga potpuno homogenog litološkog sastava;
- Monotona izmjena dvaju litoloških komponenata, npr. pješčenjaka i lapora;
- Stijene potpuno heterogenog litološkog sastava kod kojih se krovinska i podinska granica mogu pouzdano pratiti na temelju kontakata s drugim jedinicama koje su bitno različitog litološkog sastava;
- Jedinica koja objedinjuje kompleks stijena koje su u svom litološkom sastavu bitno razlikuju od okolnih stijena.

Debljina formacije nije strogo utvrđena i može iznositi od nekoliko metara pa sve do nekoliko tisuća metara. Bitno je naglasiti da bi se osnovna jedinica u ovom sustavu morala moći jasno prikazivati na geološkim kartama mjerila 1:25 000 (DIMITRIJEVIĆ, 1978). Prema tome, ne bi trebalo izdvajati jedinice ranga formacije kojima debljina u većini područja nije veća od debljine linije na prikazu u profilima (NACSN, 2005; MURPHY & SALVADOR, 1998).

Član je jedinica nižeg ranga koja se može izdvojiti na temelju posebnih litoloških svojstava koje ju razlikuju od ostatka formacije. Debljina i mogućnost bočne korelacije ove jedinice nije jednoznačno utvrđena, a može se rasprostirati u dvije formacije.

Jedinica najnižeg ranga u litostratigrafskom sustavu je **sloj**. On predstavlja doslovno jedan sloj koji se može jasno izdvojiti od ostatka stijenskog materijala ili naslaga. Za jedinicu ranga slojeva u litostratografskom sustavu obično se izdvajaju ekonomski važne jedinice ovog ranga. To mogu biti slojevi s orudnjenjem, slojevi ugljena ili pojedini slojevi stijena kolektorskih svojstava zapunjenih ugljikovodicima. Kao primjer potonjeg može se navesti detaljna razradba na jedinice ranga sloja unutar polja Ivanić (ŠIMON, 1963*).

3.1.2.2. Postupak utvrđivanja litostratigrafskih jedinica

Svaka utvrđena jedinica litostratigrafskog sustava, bez obzira na njezin rang, mora imati jasno utvrđene vertikalne i lateralne varijacije. Utvrđivanje stratotipa i/ili tipskih lokaliteta, tj. tipičnog slijeda naslaga karakterističnog za opisanu jedinicu i njegovog smjestišta osnova je za utvrđivanje jedinica. Osnove pojedinih jedinica i njihovo značenje navedeno je u prošlom potpoglavlju, te se pomoću tih kriterija one i utvrđuju.

Nazivlje nove jedinice sastoji se obično od dva termina – geografskog pojma, tj. smjestišta tipskog lokaliteta i litološkog sastava (litotipa). Tipski lokaliteti podrazumijevaju smjestišta na kojima je moguće dobro opisati litološki sastav i slijed naslaga kao što su veliki izdanci, mjesta iskopa stijenskog (kamenolomi) ili istaloženoga materijala (glinokopi, tupinolomi, šljunčare), rudnici ili bušotine. Problem se javlja kod utvrđivanja jedinica probušenih bušotinama u odobalju pošto često ne postoje definirani tipski lokaliteti tog područja, tj. geografsko obilježje. Drugi dio nazivlja, ako postoji, obično se sastoji od prevladavajućeg litološkog sastava, što se posebice rabi kod imenovanja članova. Podrazumijeva se da on mora biti što jednostavniji. Na primjer, prihvatljiv nazivi su termini pješčenjak, šejl, pijesak, lapor, granit, kristalin i slično (npr. pješčenjaci Bregi). Treba izbjegavati kompleksne litološke nazive kao laporoviti šejl, pjeskovita glina. andezit-amfibolit, odnosno u tom slučaju se koristi jednotavno riječ „član“ (npr. član Graberje). U litostratigrafskom sustavu koji je važeći u području Savske depresije kao primjer postoje pješčenjaci Okoli, dominantno pješčenjački član utvrđeni u dubokim bušotinama u blizini mjesta Okoli ili pak lapor Lepsić koji predstavlja dominantno laporoviti slijed naslaga utvrđen u bušotinama u okolici mjesta Lepsić (ŠIMON, 1963*).

Granice jedinica, tj. njihova krovina i podina utvrđene su prema promjeni litološkog sastava. Općeniti trend te promjene, tj. svojstva jedinice moraju se moći bočno pratiti iako nije striktno utvrđeno koliku mogućnost bočnog prostiranja ima jedinica pojedinog ranga.

Prilikom površinskih istraživanja granice se u prvom redu utvrđuju na osnovu dostupnih izdanaka. U slučajevima kada su otvoreni izdanci stijena zbog vegetacije ili erozije rijetki, za utvrđivanje granica mogu se koristit neposredne metode. One uključuju proučavanje geomorfologije terena ili izdvajanjem specifične vegetacije na terenu koja se može asocirati s pojedinim litotipovima (MURPHY & SALVADOR, 1998).

U dubinskoj geologiji, granice jedinica ne mogu se izravno promatrati na terenu kao npr. kod proučavanja površinskih izdanaka mezozojskih karbonata. U takvim slučajevima

mogu se koristiti neposredne metode te korelacija pomoću markernih slojeva. Neposredne metode kojima se može utvrditi litološki sastav su: interpretacija karotažnih dijagrama i analiza podataka dobivenih seizmičkim istraživanjima (MURPHY & SALVADOR, 1998). Markerni slojevi su u pravilu lako prepoznatljivi, relativno tanki slojevi širokog rasprostiranja. Prema NACSN (2005) i MURPHY & SALVADOR (1998) najčešće se koriste sljedeći slojevi kao markeri:

- Tanki proslojci vapnenca;
- Bentonit;
- Ugljen;
- Evaporiti;
- Prahovnjaci;
- Tanki marinski šejlovi;
- Lapori;
- Slojevi s povišenom radioaktivnosti;
- Slojevi bogati fosilima.

Nerijetko se markerni slojevi mogu pratiti na veće udaljenosti negoli jedinice litostratigrafskog sustava, posebice oni koju utvrđuju granice jedinica nižeg ranga. Stoga, bez obzira na postojanje markera, jedinicu ne treba korelirati dalje od postojanja njenog litotipa (MURPHY & SALVADOR, 1998). Većina ovih predloženih markernih slojeva nije iskoristiva na području Panonskog bazena, a posebice području istraživanja ove disertacije. S obzirom na geološke okolnosti, jedini „pravi“ markerni slojevi u HPBS-u mogu biti lapori unutar sedimenata taloženih za vrijeme miocena.

3.1.2.3. Litostratigrafske jedinice utvrđene na području Savske depresije

Prvi opis litostratigrafskih jedinica načinjen je na prema slijedu naslaga u polju Ivanić (ŠIMON, 1963*) na temelju bušotinskih podataka. Rezultati tog rada doveli su do opsežnijih istraživanja i korelacije ovih jedinica u bušotinama smještenim u Savskoj depresiji (PLETIKAPIĆ, 1969) te kasnije i u ostatku hrvatskog dijela Panonskog bazena (SAFTIĆ, 1993; SAFTIĆ *et al.,* 2003; ŠIMON, 1969; 1973a; 1973b; 1980, VELIĆ, 1980).

Ispuna Savske depresije raščlanjena je na šest formacija. To su redom formacije Prečec, Prkos, Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić, Široko Polje i Lonja od kojih su detaljno raščlanjene Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje (**Slika 3.1**). Granice formacije, a i ponekih članova, utvrđene su prepoznavanjem markernih slojeva na elektrokarotažnim krivuljama, posebice krivulji prividne otpornosti. Ti markerni slojevi predstavljaju lapore debele nekoliko metara, bočnoga prostiranja na desetke kilometara, a odraz kojih se može pratiti kao karakteristični ocrt na krivulji otpornosti. To je detaljnije opisano u poglavlju 5.1.1.2.

Kada se govori o neogensko-kvartarnim sedimentima područja zapadnog dijela Savske depresije, neizostavno je spominjanje megaciklusa utvrđenih u njima. Složeni odnos paleogeografije, tektonskih događaja i posljedičnog tipa taloženja koji je ovisio i o prirodi materijala, tj. izvorišnom području, sadržan je u terminu megaciklus koji predstavlja vrijeme superciklusa promjene razine vode (MITCHUM, 1977), u prvom dijelu postupnog porasta te u drugom naglog pada. Megaciklus je kasnije preciznije utvrđen kao jedinica koja se sastoji od pravilnog i uređenog slijeda utvrđenih litostratigrafskih jedinica u rangu formacije i/ili člana čiji se debljina može mjeriti u desetcima ili stotinama metara (MATHUR, 1981)

U hrvatskom dijelu Panonskog bazena izdvojena su tri neogensko-kvartarna megaciklusa (VELIĆ *et al.*, 2002). Treba napomenuti da su prema ŠIMON (1980) približno slične jedinice nazvane makroritmovima. Zapravo, radi se o tri međusobno različite litološko-genetske asocijacije uvjetovane tektonskim okvirima taloženja – prvo transtenzije pa kasnije transpresije te utjecaja donosa materijala, relativnog spuštanja dna bazena, eustatičkih promjena i na posljetku klimatskih utjecaja.

Formacija Prečec ujedno predstavlja i **prvi neogensko-kvartarni megaciklus** približnog vremenskog raspona od badena do sarmata u Savskoj depresiji. Naslage zastupljene u ovoj formaciji vrlo su raznolikog sastava te je ta „prepoznatljiva heterogenost“ dovela do njihovog objedinjavanja u jedinicu ranga formacije. U bazalnom dijelu nalaze se krupni klastiti (breče, bazalni konglomerati različitog stupnja konsolidacije, pješčenjaci – pretežito arkoze, pješčenjaci s interkalacijama bentonitnih glina). Nakon njih sljede sitni klastiti (gline, lapori, kalcitični lapori, pjeskoviti i glinoviti lapori s interkalacijama tufova, tankoslojeviti kalcitični lapori i pješčenjaci u facijesu “tripoli-naslaga”) i karbonati (vapnenci, biogeni vapnenci – litotamnijski kao vrlo karakteristični za vrijeme badena, kalkarenitni biogeni pješčenjaci) i mjestimice ugljen, kao i njihove česte međusobne smjese i izmjene (VELIĆ, 2007). Heterogenosti stijenskog sastava pridružuju se i nagle i velike promjene u

debljinama: npr. u Savskoj depresiji na udaljenosti od 3 do 4 km debljina tih naslaga od svega nekoliko metara dostiže iznose i do 2000 m. Obično se po rubovima depresija nalaze naslage u kojima prevladavaju krupni klastiti, a u središnjim dijelovima pretežu oni sitniji uz česte pojave karbonata. Vjerojatno svojim većim dijelom ove naslage pripadaju sedimentološkom modelu pretežito unutarnjeg izvora materijala, tj. autocikličkim sekvencijama (VELIĆ, 2007).

Formacije Prkos, Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko polje svrstavaju se u **drugi neogensko-kvartarni megaciklus** približne panonsko-pontske starosti. U njima prevladava jednoličan slijed pješčanih/pješčenjačkih (subgrauvake i kalkarenitne subgrauvake), siltitnih i laporovitih tijela. Ona su međusobno vezana prijelaznim varijetetima od siltnih pješčenjaka do siltnih lapora. Prema brojnim laboratorijskim analizama pokazuju veliku sličnost i jednoličnost sastava. Pijesci/pješčenjaci su obično sive boje, izgrađeni od zrnaca kvarca kao dominantnog minerala, uz čestice stijena (obično vapnenaca), listićave minerale i feldspate. Taložni model upućuje da se radilo o dubljoj (>200 m) niskoenergetskoj sredini s izraženim podvodnim reljefom koji je oblikovan lokalnim tektonskim aktivnostima (VRBANAC *et al.*, 2010). Alpe su bile izvorišno područje detritičnog materijala, a najveći dio detritusa taložen je turbiditnim strujama. Pritom je krupniji detritus odlagan u najdubljim dijelovima depresija, a sitniji detritus na reljefno istaknutijim dijelovima dna bazena, te na međudepresijskim pregibima (VELIĆ, 2007). Za razliku od formacija Prečec i Prkos, formacije Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko polje su detaljno raščlanjene (**Slika 3.1)** u jedinice ranga članova koje mogu biti pretežito pješčenjačkog, laporovitog ili miješanog sastava pa su shodno tome dobila i svoja nazivlja (pješčenjak, lapor ili samo član). Zbog vrlo malih razlika u litološkom sastavu ovih formacija, tj. u osnovnom kriteriju za utvrđivanje jedinica litostratigrafskog sustava, VRBANAC (2002) navodi da bi se te tri jednice trebale objediniti u jednu formaciju – formaciju Sava.

Naslage **formacije Lonja** bitno se razlikuju od onih prethodnih te su stoga svrstane u **III. megaciklus.** Formacija Lonja obuhvaća slabo konsolidirane ili nekonsolidirane naslage pliocena, pleistocena i holocena. Litološki sastav stijena je raznolik, a sastoji se od glina, pijesaka širokog granulometrijskog raspona, šljunaka te ugljena vezanog za močvarišta (**Slika 3.1**). Okoliši taloženja su slatkovodni, tj. jezerski, riječni i močvarni te kopneni. Količina akomodacijskog prostora na području Savske depresije ostala je razmjerno velika zbog velike debljine ovih naslaga (>1500 m u pojedinim područjima Savske depresije).

3.1.3. Biostratigrafski sustav jedinica

Biostratigrafske jedinice (biozone) predstavljaju tijela naslaga ograničena prema njihovom fosilnom sadržaju (MURPHY & SALVADOR, 1998). Prostorni doseg, tj. mogućnost korelacije ovakvih jedinca, isključivo ovisi o rasprostranjenosti vrsta na temelju kojih su one definirane. Jedinice u ovom sustavu mogu biti ograničene na pojavu jedne vrste u naslagama, asocijaciji više vrsta, bogatoj pojavi pojedine vrste koja je inače umjereno zastupljena ili prema bilo kojem drugom uvjetu koji je povezan sa sadržajem i količinom fosilnog materijala.

Detaljna razradba biostratigrafskog sustava neće se navoditi. On će se koristiti kao pomoć pri litostratigrafskoj klasifikaciji. Naime, razradba naslaga proučavanih u ovom doktoratu načinjena je na temelju sadržaja i vrsta malakološke faune (OŽEGOVIĆ, 1944) dok su noviji pokušaji temeljeni na litostratigrafskom (URUMOVIĆ *et al.*, 1978; HERNITZ *et al.* 1980; 1981; VELIĆ & SAFTIĆ, 1992; VELIĆ & DURN 1993; VELIĆ *et al.*, 1999) te manje biostratigrafskom pristupu (SOKAČ, 1978) koji se je koristio za potvrdu približne starosti naslaga.

Biostratigrafske jedinice prema karakterističnom fosilnom sadržaju na području Savske depresije (**Slika 3.1**) mogu se raščlaniti na naslage Croatica, Banatica, Abichi, Rhomboidea te paludinske naslage.

3.1.3.1. Naslage Croatica

Određene su pojavom puža *Radix croatica* (**Slika 3.2a**), a kolokvijalno se nazivaju i „bijeli lapori“. Pojava vrste *Radix croatica* obilježava razdoblje donjeg panona. Od ostale fosilne faune karakteristične su vrste *Radix colbeli, Lymnaea extensa* (**Slika 3.2b**).

3.1.3.2. Naslage Banatica

Naslage Banatica utvrđene su prema školjci *Congeria banatica* (**Slika 3.2c, d**), vrsti koja je najznačajnija za razdoblje gornjeg panona. Uz nju najčešće se mogu naći puževi *Gyraulus tenistriatus* (**Slika 3.2e**), *Planorbis turkovici* i ostrakodi *Hungarocypris hieroglyphica, Candona renticulata*.

3.1.3.3. Naslage Abichi

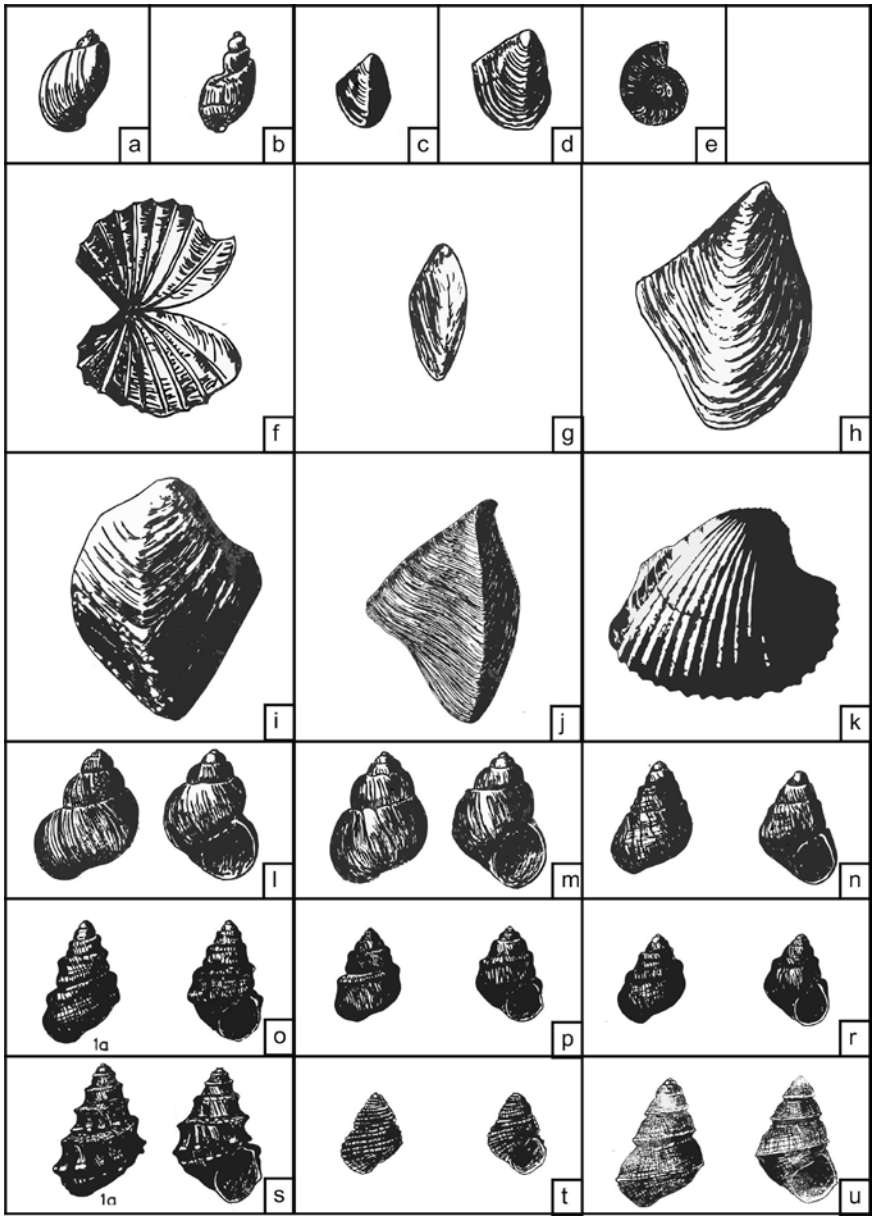
Pojava fosilnog školjakaša *Paradacna abichi* (**Slika 3.2f**) karakteristična je za naznačene naslage kao i za razdoblje donjeg ponta. Osim te vrste, fosilni sadržaj se obično sastoji od školjkaša vrsta *Congeria digitifera* (**Slika 3.2g**), *C. zagrabiensis* (**Slika 3.2h**) te ostrakoda *Amplocypris renticulata.*

3.1.3.4. Naslage Rhomboidea

Rhomboidea naslage predstavljaju naslage s najmlađom miocenskom faunom, točnije gornjopontskom, prije pojave one karakteristične za pliocen. Dobile su naziv prema školjkašu vrste *Congeria rhomboidea* (**Slika 3.2i**), uz koju se obično pojavljaju *C. croatica* (**Slika 3.2j**), *C. alata*, *Limnocardium mayeri*, *Lymnocardium schmiti* (**Slika 3.2k**) te puževi roda *Valenciennius* („okrugljaci“).

3.1.3.5. Paludinske naslage

Bogatstvo pliocenske faune i njezina raznolikost, posebice faune puževa, omogućili su razradbu na tri nivoa – donje, srednje i gornje paludinske naslage prema filogenetskom razvoju puževa roda *Viviparus*. Naime, prilikom prvih istraživanja mislilo se da se radio o novom rodu puževa koji žive u močvarnom okolišu (*lat. paludal* – močvarište) te su prvotno tako nazvani i podijeljeni u zone pojavljivanja vrsta. Donji paludinski slojevi obilježeni su faunom vivipara slabije naglašene ornamentacije poput *Viviparus neumayri* (**Slika 3.2l**), *V. fucsi* (**Slika 3.2m**), *V. suessi* (**Slika 3.2n**) i *V. leiostracus.* Za srednje paludinske slojeve karakteristični su puževi *Viviparus stricturatus* (**Slika 3.2o**), *V. nothus* (**Slika 3.2p**) i *V. dezmanianus* (**Slika 3.2r**) naglašenije ornamentacije kućica. Gornjopaludinski slojevi obilježeni su vrstama *Viviparus vukotinovici* (**Slika 3.2s**), *V. zelebori* (**Slika 3.2t**), *V. sturi* (**Slika 3.2u**) i *V. pauli*.



Slika 3.2: *Karakteristična fauna mekušaca za pojedine biostratigrafske jedinice unutar neogena (prema SOKAČ & BLAŠKOVIĆ 1971)*

3.2. Strukturno-tektonski odnosi

Strukture u Savskoj depresije izravna su posljedica izmjene ekstenzijskih i kompresijskih tipova tektonike u cijelom hrvatskom dijelu Panonskog bazena koja su dodatno imala i značajnu horizontalnu komponentu gibanja. Shodno tomu se prema VELIĆ & MALVIĆ (2011) o događajima govori kao transtenzijskim, odnosno transpresijskim. Ukupno se mogu pobrojati četiri takva događaja, dva transtenzijska i dva transpresijska, od kojih je najmlađi transpresijski najvažniji prilikom završnog formiranja Savske depresije, tj. naslaga istraživanih u ovoj disertaciji.

3.2.1. Glavne strukture i rasjedi u zapadnom dijelu Savske depresije

Zapadni dio Savske depresija ograničen je glavnim izdignutim strukturama – Zagrebačkom i Samoborskom u krajnjem zapadnom dijelu, Moslavačkom gorom te Petrovom i Zrinskom gorom u središnjem dijelu te Papukom i Psunjom na istočnom dijelu. VELIĆ (1980; 1983) razlikuje neotektonske strukture miocenskih stijena i one pliocena, pleistocena i holocena u koje su, zbog zastarjele stratigrafske podjele, svrstane i stijene pontske starosti.

Prvu skupinu unutar miocenskih stijena čine horstovi i grabe srednjeg miocena (VELIĆ, 1983) koje su većinom nasljedne u odnosu na predmiocenski paleoreljef. To je kasnije i dodatno potvrđeno u VELIĆ *et al.* (2009), i MALVIĆ & JOVIĆ (2012) u slučaju polja Kloštar.

Druga skupina struktura prema VELIĆ (1983) obuhvaća one koje su nastajale za vrijeme panona. To su redom tektonske grabe Karlovačka subdepresija i Lupoglav te horstovi Vukomeričke gorice, Prkos, Šumečani, Bunjani i drugi. Najznačajniji je horst Odra-Oborovo-Martinska Ves. Strukture su rezultat pokreta većinom istih predznaka – spuštanje ili izdizanje. VELIĆ (1980; 1983) razlikuje strukture nastale za vrijeme ranog i one za vrijeme kasnog ponta. Strukture koje su nastale isključivo tektonskim pokretima za vrijeme ponta smještene su u sjeveroistočnom području zapadnog dijela Savske depresije. Donjopontske strukture nastavljaju se svojim obilježjima na one panonske, no ograničene su na sjeverno područje Zapadnog dijela Savske depresije u okolici Ivanić-Grada.

Gornjopontske strukture i one koje nastaju za vrijeme pliocena, pleistocena i holocena često su inverznog obilježja (VELIĆ, 1980; 1983) što je također potvrđeno na primjeru polja

Kloštar (VELIĆ *et al.* 2009; MALVIĆ & JOVIĆ, 2012). One najvećih amplituda smještene su u širokoj rasjednoj zoni Sjevernog rubnog rasjeda Savske depresije.

3.2.2. Faze razvoja hrvatskoga dijela Panonskoga bazena

I. transtenzijska faza razvoja označavala je otvaranje prostora PBS-a čiji je maksimum ostvaren krajem donjega badena kada je transtenzijski tip regionalne tektonike (normalni rasjedi s značajnim vodoravnim pomakom) imao najznačajniji utjecaj. Otvaranje prostora bilo je postupno te se može utvrditi prijelaz iz lokalnih riječnih i jezerskih okoliša razvijenim u manjim „strike-slip pull-apart" depresijama tijekom otnanga i karpata pa sve do regionalnoga marinskoga prostora Središnjega Paratethysa koji je dominirao tijekom gornjeg badena i sarmata (ĆORIĆ *et al.,* 2009). Značajan utjecaj na strukturne odnose imao je i reljef pred-neogenskoga „temeljnog gorja", tj iznimno su značajne nasljedne strukture (VELIĆ *et al.,* 2009). Na području Savske depresije nisu utvrđeni predbadenski jezerski i kopneni sedimenti, stoga se početak sedimentacijskog razvoja Savske depresije utvrđuje u vrijeme donjega badena.

Promjenu tektonskih pokreta obilježila je **I. transpresijska faza** koja je započela u vrijeme sarmata. Posljedica je bila regresija taložnog okoliša, koja je utvrđena u sedimentima te starosti za cijelo područje Središnjeg Paratethysa (RÖGL & STEININGER, 1984; KOVAČ *et al.,* 1998; PAVELIĆ *et al.,* 2001; VRSALJKO *et al.,* 2006). Snižavanje razine mora pratilo je i smanjivanje saliniteta te marinske okoliše polako zamjenjuju bočati (MALVIĆ & VELIĆ, 2011). U Savskoj depresiji izrazito je teško litološki razlučiti ovaj događaj od prethodnog transtenzijskog te shodno tome sedimenti badena i sarmata u pravilu predstavljaju jednu litostratigrafsku cjelinu, tj. formaciju Prečec. Važno je napomenuti da se ove dvije tektonske zajedno predstavljaju I. megaciklus točno kako je on i definiran u MITCHUM (1977) i MATHUR (1981), detaljnije opisano u **poglavlju 3.1.2.3**.

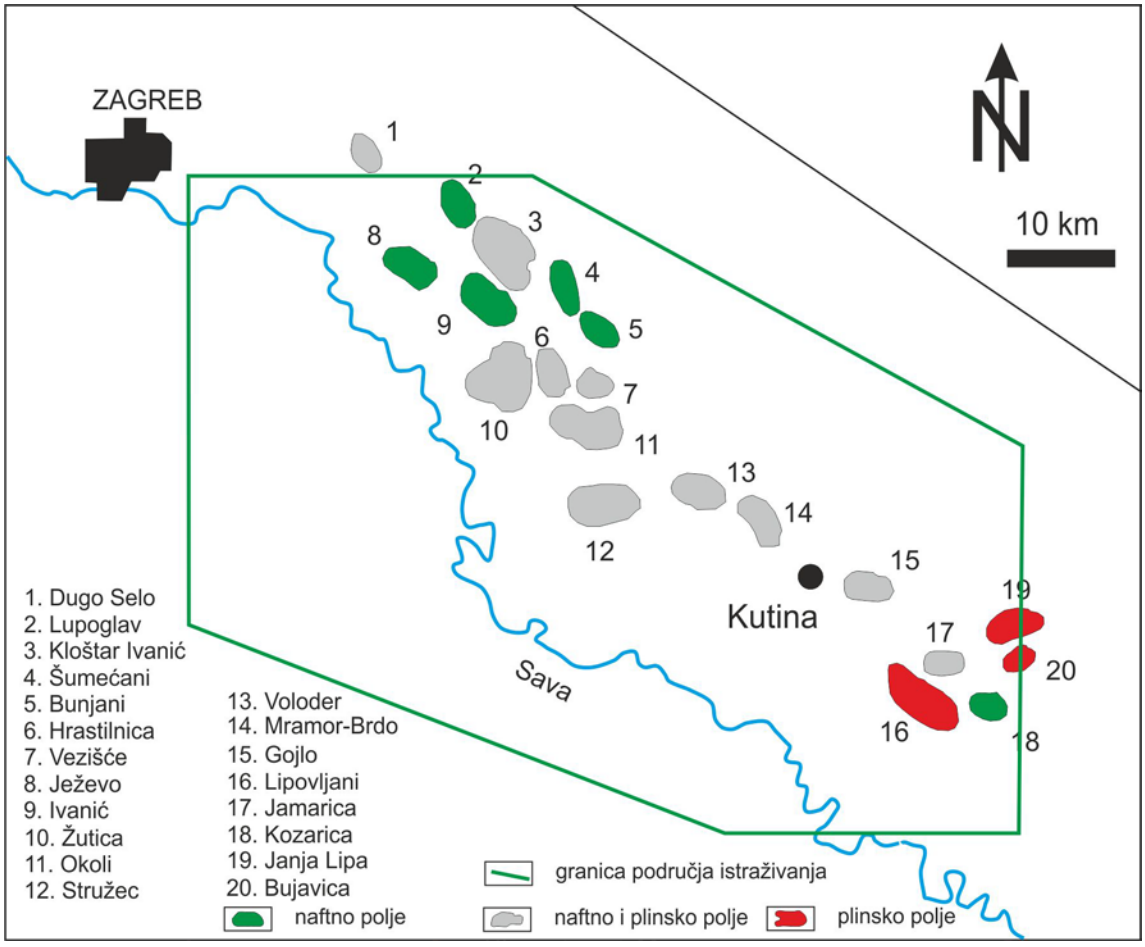
Rani panon obilježava početak utjecaja **II. transtenzijske faze** koja je cijeli prostor Savske depresije sa sigurnošću zahvatila u kasnom panonu i trajala je do kraja donjega ponta. Obilježena je s normalnom i horizontalnom komponentom gibanja po plohama rasjeda (MALVIĆ & VELIĆ, 2011). Spuštanje bazena i otvaranje akomodacijskog prostora za velike količine sedimenata ostvareno je zbog termalne subsidencije (LUČIĆ *et al.,* 2001), tj. posljedica je stanjivanja kontinentalne kore na području Panonskog bazena. U Savskoj depresiji, to spuštanje povezano je s velikim donosom materijala iz područja istočnih Alpa

(ŠIMON, 1980). Nastale su velike debljine klastičnih sedimenata, u prvom redu pješčenjaka i lapora taloženih prvo bočatoj sredini te nakon toga u slatkovodnoj (LUČIĆ *et al.*, 2001 VRBANAC *et al.*, 2010; MALVIĆ, 2012).

Transtenzija je utjecala na razvoj područja sve do kasnog ponta kada započinje **II. transpresijska faza** koja se nastavlja sve do recentnog vremena. Karakter rasjeda dominantno je reverzan s horizontalnim pomakom što uzrokuje smanjivanje taložnog prostora. No lokalno su istaložene značajne debljine sedimenata. Na pojedinim područjima one mogu iznositi i preko 1500 m za naslage formacije Lonja (CVETKOVIĆ *et al.*, 2012). Ovo je ujedno prema MALVIĆ & VELIĆ (2011) i najvažnija faza za migraciju, tj. nakupljanje nafte i plina.

4. NAFTNA I PLINSKA POLJA NA PODRUČJU ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja odabrano je i prema mogućnosti pronalazaka novih rezervi ugljikovodika u naslagama pliocenske i pleistocenske starosti, a koja prethodno nisu detaljno istraživane poradi svoje složenosti. Još jedan razlog male istraženosti je da su potencijalna zasićenja ugljikovodicima očekivana isključivo kao plinska (jeftinija sirovina od nafte) i maloga prostiranja. U široj okolici istraživanja može se pobrojati 20 polja (**Slika 4.1)** od kojih 2004. u proizvodnji više nisu bili Bujavica, Gojlo, Janja Lipa, Mramor brdo i Šumećani. Ležišne stijene s najvećim utvrđenim rezervama nafte i plina u poljima iz ovog dijela HPBS najčešće su pješčenjaci gornjopontske i donjopanonske starosti. S obzirom na plinska ležišta, polja se mogu podijeliti u dvije skupine u odnosu na prosječne dubine i volumen utvrđenih rezervi (MUDRIĆ, 2005*).



Slika 4.1: *Prikaz smještišta polja u istraživanom području Savske depresije*

Prva skupina polja obuhvaća one koja se nalaze zapadno od Moslavačke gore, tj. polja 1-11 na **slici 4.1** s tim da neka polja ne sadrže slobodni plin već samo onaj u plinskoj kapi ili

otopljen u nafti. Dubine do najplićih ležišta produbljuju se od -700 m iz smjera sjeverozapada (polje Dugo Selo) prema sjeveroistoku (polje Okoli) do -1800 m. Ležišne stijene su najčešće donjopontski pješčenjaci. Volumen plinskih ležišta također se povećava od smjera sjeverozapada prema jugoistoku te su najveće pridobive rezerve utvrđene u polju Okoli (MUDRIĆ, 2005*).

Druga skupina polja pripada onima s plinskim ležištima na manjim dubinama zalijeganja smještenim na južnim obroncima Moslavačke gore, brdu Gojlo te zapadnim obroncima Psunja. Dubine do najplićih ležišta slobodnog plina znatno su manje nego u prošloj skupini. One su u rasponu od -200 m na krajnjem istoku (polje Lipovljani) do -800 m na zapadu (polje Voloder). Valja napomenuti da su ležišta utvrđena ne samo u pontskim pješčenjacima, nego i u pliocenskim naslagama (polje Lipovljani i ev. Stružec prema MUDRIĆ, 2005*).

5. METODE OBRADBE GEOLOŠKIH PODATAKA I PRIMJERI MOGUĆNOSTI NJIHOVE UPORABE U ANALIZI NASLAGA FORMACIJE LONJA

Postoje različiti tipovi podataka u geološkim istraživanjima, ovisno o načinu njihovog prikupljanja te posebice načina obradbe. Korištene metode za istraživanje sedimenata trećega, neogensko-kvartarnog megaciklusa uključuju dubinskogeološke, sedimentološke, paleontološke te naposljetku geomatematičke metode opisane u nastavku teksta.

5.1. Dubinskogeološke metode

Dubinskogeološki podatci su oni pomoću kojih možemo opisati građu podzemlja i geološku evoluciju. Tu se prvenstveno misli na strukture u podzemlju, litološki sastav stijena te zasićenost pojedinim fluidima. Dubinskogeološki podatci mogu se podijeliti na one prikupljene geofizičkim snimanjima, bilo snimanjem seizmike na površini ili karotažom u kanalu bušotine te uzorcima prikupljenim u bušotinama (jezgre, krhotine sa sita). U ovom potpoglavlju prikazane su mogućnosti analiza karotažnih krivulja, interpretacije seizmičkih profila te izradba struktrunih i litofacijesnih karata s obzirom na dostupnost podataka, tj. njihov prostorni raspored i gustoću.

Sva obradba dubinskogeoloških podataka (interpretacija, izradba karata) načinjeni su u programima Petrel™ tvtke Schlumberger za dubinsko modeliranje te Interactive Petrophysics™ kompanije Synergy za obradbu karotažnih mjerenja koji su donirani Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu za nastavne i znanstveno-istraživačke djelatnosti.

5.1.1. Analize karotažnih krivulja

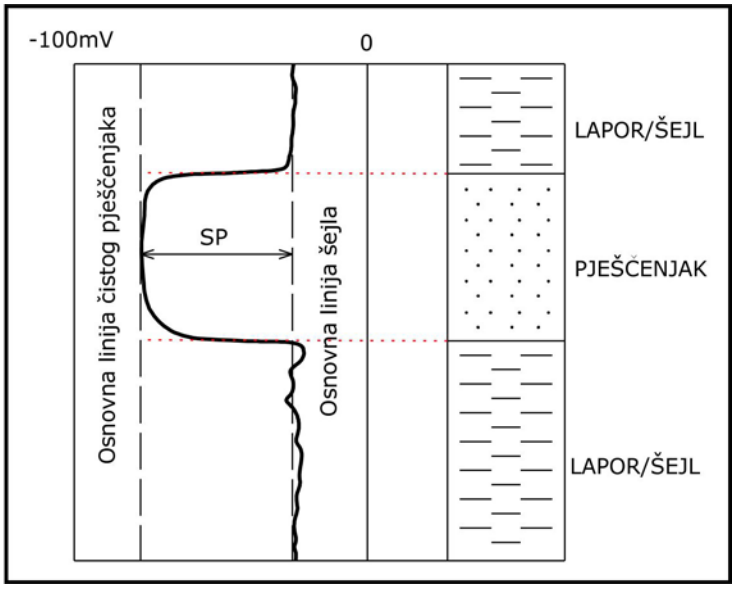
Karotaža obuhvaća niz geofizičkih mjerenja u bušotinama kojima se utvrđuju svojstva probušenih stijena i naslaga. Te su metode razvijene u prvome redu kako bi zamijenile skupo vađenje jezgre pri bušenju. Naziv karotaža potječe od francuskog izraza *"carottage"* što znači izvlačenje, izmamljivanje. Često se koristi i engleski izraz *"logging"* koji također znači izvlačenje. 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. Postoji nekoliko vrsta karotaža poput električne, radioaktivne, plinske, zvučne, luminiscentne, sinkrone i nekih

drugih (BASSIOUNI, 1994; DOVETON, 1986). Rezultati mjerenja prikazuju se različitim krivuljama, a interpretacija podataka omogućuje konstrukciju profila bušotine (JELIĆ, 1979; ZAGORAC, 1979).

S obzirom na dostupnost karotažnih mjerenja snimljenih unutar formacije Lonja opisane su samo karotaže spontanog potencijala (SP) i prividne otpornosti (R). Modernije karotaže s kojima se mogu bolje definirati petrofizikalne varijable nisu snimane u ovim naslagama zbog usmjerenosti istraživanja na starije stijene.

5.1.1.1. Određivanje litološkog sastava stijena

Za određivanje litološkog sastava, posebice kod klastičnih sedimenata, pomoću EK metoda koristi se krivulja SP-a. Njome se utvrđuju propusne i nepropusne stijene/naslage. Prema dogovoru, otkloni lijevo utvrđuju se kao negativni, a desno pozitivni. Na krivulji SP-a može se povući pravac koji tangira otklone udesno, a ne mora po cijelom kanalu bušotine imati jednaku vrijednost u mV. Taj pravac naziva se osnovna linija nepropusnih stijena (naslaga), osnovna linija lapora (ili šejla) ili osnovna linija SP-a (**Slika 5.1**).



Slika 5.1: *Izgled krivulje SP-a s pripadajućim osnovnim u odosu na litološki sastav (BASSIOUNI, 1994)*

Pojam statičkog SP-a (SSP) povezan je s pojmom čiste stijene, tj. slučaja mjerenja u „čistom“ pješčenjaku, bez primjesa pelitnih čestica. Predstavlja teoretski slučaj najvećeg otklona ulijevo na krivulji SP-a u potpuno čistim pijescima/pješčenjacima bez primjesa pelita. No, često dolazi do manje izraženog otklona krivulje zbog male debljine čistog sloja i/ili

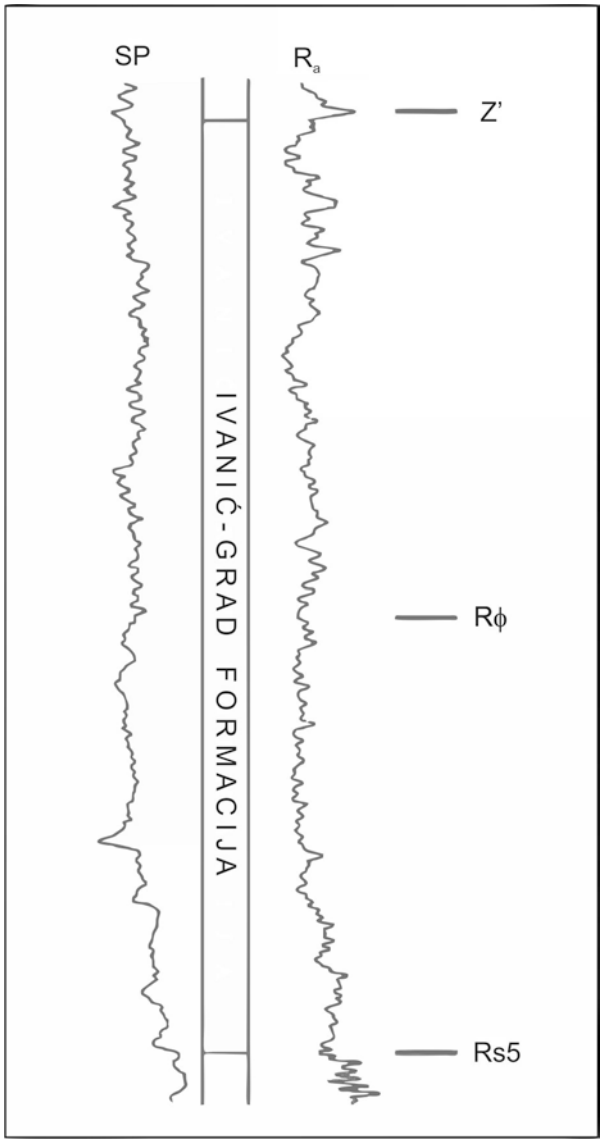
glinovitih i laporovitih primjesa unutar pješčenjaka. Tada se najveći otklon krivulje SP ulijevo naziva pseudostatički SP (PSP). Linija koja tangira takve otklone krivulje SP-a naziva se: osnovna linija propusnih stijena (naslaga), osnovna linija pijesaka/pješčenjaka ili osnovna linija SSP-a (ili PSP-a).

Sve vrijednosti na krivulji SP-a očitavaju se od osnovne linije, a ne od početka dijagrama. Ranije je spomenuto kako je u propusnim stijenama otklon ulijevo dogovorno negativan, a u nepropusnim udesno dogovorno pozitivan. Ovo pravilo vrijedi kad su slojne vode slane (visokomineralizirane), a isplaka slatka, tj. kad je salinitet slojne vode veći od saliniteta isplake. Takav slučaj je u naftnogeološkoj praksi najčešći. Ako je salinitet isplake veći od saliniteta slojne vode otkloni u propusnim slojevima bit će udesno, a u nepropusnim ulijevo te dolazi do inverzije pri interpretaciji. Kod podjednakih saliniteta otkloni krivulje SP-a bit će slabo izraženi, tj. krivulja može biti neupotrebljiva.

Zajedno s krivuljom SP-a, uvjek se snima karotaža prividne otpornosti s vrijednostima u ohmm. Često su to krivulje dvije sonde različitog dubinskog dosega nazvana kratka (R_{16}) i duga (R_{64}) normala kojima se određuje zasićenje stijene fluidom (voda, nafta, plin)..

5.1.1.2. Utvrđivanje EK markera/horizonata

Markerni slojevi ili horizonti koriste se za kartiranje jedinica litostratigrafskog sustava. Obično ih predstavljaju relativno tanki slojevi koji imaju veliku rasprostranjenost. Na području hrvatskog dijela Panonskog bazena utvrđen je čitav niz EK markera koji odjeljuju formacije u pojedinim depresijama i članove unutar formacija. Oni su zapravo prepoznatljivi motivi na krivuljama specifične otpornosti u sklopu elektrokarotažnih dijagrama, odnosno prema ponavljanju nizova otklona sličnih vrijednosti otpornosti. To se dobro zapaža unutar masivnih lapora gornjega panona i donjega ponta (VRBANAC, 2002), posebice kod utvrđivanja EK markera *Z*' (**Slika 5.2**). VRBANAC (2002) utvrdio je da su ovi regionalno prepoznatljivi elementi rezultat ne promjene u sedimentacijskom okolišu ili donosu materijala, nego promjenama razine vode uzrokovanu Milankovićevim ciklusima. Prema tome, na ovaj način određeni EK markeri imaju ujedno i svojstvo kronohorizonata te oni navećga ranga ujedno odjeljuju i ranije uspostavljene biostratigrafske jedinice u tome prostoru.



Slika 5.2: *Prikaz karakterističnih motiva na krivulji prividne otpornosti (R_a) za pojedine EK markere u Savskoj depresiji (VRBANAC, 2002)*

EK marker α' je utvrđen kao granica između miocenskih i pliocenskih naslaga, odnosno granica naslaga gornjeg miocena te pliocena pleistocena i holocena koje su cilj proučavanja ovoga rada. Za razliku od EK markera koji se mogu utvrditi u panonskim i pontskim naslagama, α' nije definiran kao klasični motiv na krivulji otpornosti, već kao prestanak izrazite varijacije vrijednosti krivulja SP-a i specifične otpornosti u dubljim intervalima. Ovakva promjena rezultat je značajne izmjene tipa sedimentacijskog okoliša i drugačijeg litološkog sastava. Nagli prestanak postojanja prostranog umjereno dubokog jezerskoga taložnog prostora s monotonim izmjenama debeloslojevitih lapora i pješčenjaka zamijenila je učestala izmjena pješčenjaka/pijesaka i šejlova/glina. Opis jasnog utvrđivanja

EK markera α', kao i onih mlađih, prikazan je potpoglavlju o analizama geomatematičkim metodama.

5.1.2. Interpretacija seizmičkih podataka

Seizmički podatci mogu biti, ovisno o tipu vala koji se snima, refrakcijski i refleksijski. Potonji se isključivo koristi prilikom istraživanja dubljih struktura dok se refrakcijska seizmika koristi samo prilikom plitkih istraživanja do stotinjak metara (ŠUMANOVAC, 2012) ili vrlo dubokih granica u Zemljinom plaštu i jezgri.

Rezultati refleksijskih snimanja su dvodimenzionalni (2D) seizmički profili, no u posljednje vrijeme sve je češće snimanje trodimenzionalnih (3D) seizmičkih volumena. Osnovni tip obradbe ovih podataka je interpretacija seizmičkih horizonata, tj. karakterističnih refleksa, u području obuhvaćenog seizmičkim podatcima. Treba imati na umu da su takvi podatci, tj. dubine do refleksa, prikazani u vremenskoj domeni – vrijednosti dvostrukog prolaznog vremena. Dvostruko prolazno vrijeme koje je potrebno da seizmički signal (val) prođe put od izvora vala do reflektora u podzemlju i nazad na površinu do uređaja za detekciju vala – geofona. Prilikom interpretacije horizonata potrebno je pripaziti na sljedeće:

- Seizmički „datum plane“ (SRD) ili referentna ravnina seizmičkih istraživanja. Ta ravnina određuje se prilikom prve obradbe sirovih seizmičkih podataka, prije interpretacije. U području Panonskog bazena SRD se nalazi na +100 m (TAKAČ, 2007*), jer je najveći dio reljefa izražen u granicama nadmorskih visina koje variraju u „uskim“ granicama oko te vrijednosti.
- Nelinearan odnos dubine u metrima i dvostrukog prolaznog vremena zahtijeva uspostavljanje dubinsko vremenskih odnosa, tj. „zakona brzina“ koji se razlikuju u pojedinim područjima unutar depresija HPBS-a.

Iz interpretiranih refleksa na 2D profilima i unutar 3D kocke mogu se načiniti strukturne karte u vremenskom mjerilu. Ovakve karte predstavljaju približnu sliku građe podzemlja zbog aproksimacija kod izračuna odnosa vrijeme – dubina, no uz kvalitetnu numeričku aproksimaciju rezultatna karta je prihvatljiv prikaz podzemlja. S druge strane, strukturne karte načinjene pomoću bušotinskih podataka (EK markera i repera), opterećene su velikom nesigurnošću u interpoliranom i ekstrapoliranom području s obzirom na ponekad veliku udaljenost između bušotina (reda veličine i nekoliko kilometara), posebice kod regionalnih istraživanja. Optimalni pristup kod regionalnih istraživanja je kombinacija bušotinskih sa seizmičkim podatcima, rabeći najsigurnije zakone brzina u pojedinim

dijelovima istraživačkoga područja. Na taj način mogu se dobiti strukturne karte koje predstavljaju realniji odraz struktura u podzemlju.

Utvrđivanje zakona brzina može se načiniti klasičnim pristupom (npr. TAKAČ, 2007*; MALVIĆ, 2003) ili pomoću geomatematičkih metoda (npr. VUKIČEVIĆ, 2013). Klasičan pristup moguć je kada za istraživane intervale postoje karotažne krivulje prirodne radioaktivnosti, zvučne karotaže ili pak vertikalnim seizmičkim profiliranjem. Na žalost, gotovo ništa u tom smislu nije načinjeno u intervalima bušotinama koji pripadaju formaciji Lonja. Geomatematičke metode zahtijevaju više od deset ravnomjerno raspoređenih ulaznih podataka kako bi se zakon brzina mogao primijeniti na šire podučje. Točnije, potrebna je dobra podudarnost smjestišta seizmičkih podataka i bušotina. Za ovo istraživanje bili su dostupni samo 2D seizmički profili te nije bilo dovoljno podataka za izračun zakona brzina geomatematičkim metodama. Zbog toga su seizmički podatci, tj. interpretirani refleksi i načinjene strukturne karte u vremenskoj domeni, korištene kao plohe trenda prilikom izradbi strukturnih karata iz bušotinskih podataka (EK markera ili repera). Detaljnije o izradbi karata opisano je u narednom poglavlju.

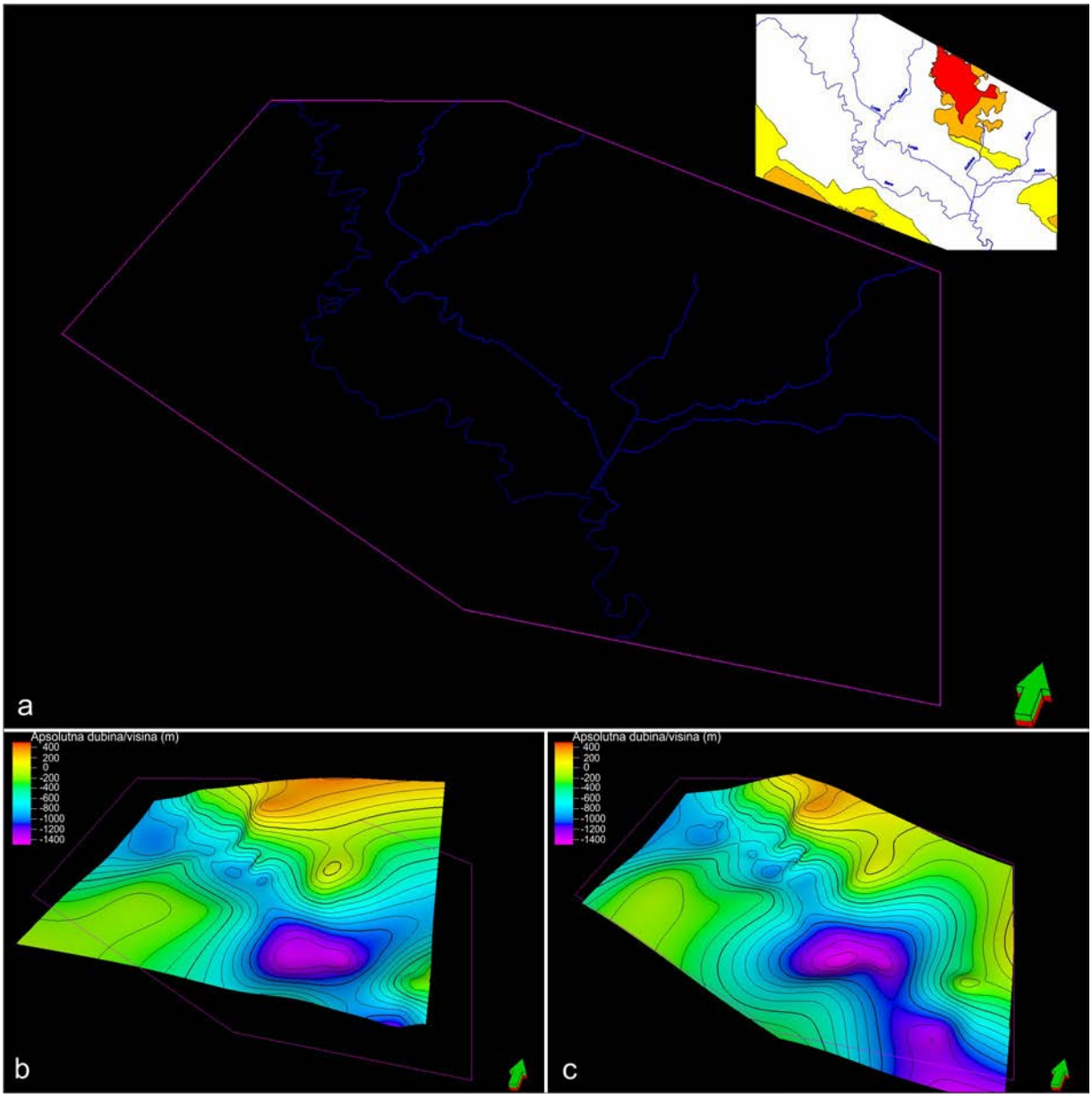
5.1.3. Izradba strukturnih karata

Strukturne karte predstavljaju karte na kojima su prikazani strukturni odnosi predstavljeni po odabranoj slojnoj plohi. Najčešće se prikazuju kartiranjem po nekom regionalnom elektrokarotažnom markeru ili reperu te seizmičkom horizontu. Prema tome, strukturne karte mogu biti u dubinskoj domeni gdje je dubina do plohe izražena u metrima ili u vremenskoj domeni izražena kao dvostruko prolazno vrijeme uz određena ograničenja opisana u prethodnom poglavlju.

Kartiranje velikih područja, površine veće od 100 km^2, i složene geološke građe iznimno je zahtjevno. Često se pokazuje potreba za korištenje što više dostupnih podataka (položaji markera iz EK krivulja i seizmički profili) uz pravilan odabir primjerenog algoritma kartiranja. To je nužno kako bi se izbjegli geološki nemogući odnosi, česti kada se koristi samo jedan ulazni podatak ili varijabla za izradbu. Kao primjer u JOVIĆ (2009) na pojedinim dijelovima kartiranoga područja, granice naslaga donjeg i gornjeg panona (EK marker Rs5) se nalaze dublje od granice badena i sarmata s donjim panonom (EK marker Rs7) uz izostanak rasjeda. U narednom tekstu opisane su radnje potrebne za izradbu korektnih strukturnih karata

unutar programa Petrel^{TM} kroz postupak izradbe strukturne karte po podini formacije Lonja, tj. EK markeru α'.

Definiranje područja kartiranja, tj. određivanje područja do koje je računata vrijednost plohe, može biti određeno automatski ili utvrđivanjem poligona koji označava rub područja kartiranja. Automatsko određivanje prihvatljivo je kada se radi o malim područjima, jednostavnih granica koje u tlocrtu odgovaraju pravokutinku ili kvadru. U slučaju većih površina s izraženim pravcem pružanja i granice područja koja je u tlocrtu nepravilni poligon, pravilnije je ručno ograničiti područje. **Slika 5.3a** prikazuje cijelo područje kartiranja s naznačenim rijekama radi lakše orijentacije, te plohu α' napravljenu na osnovu položaja EK markera α' u 43 bušotine (**Slika 6.8**) bez definiranja granice područja kartiranja (**Slika 5.3b**) i s definiranjem (**Slika 5.3c**). Već prilikom pregleda ovih dviju karata može se vidjeti da ona u kojoj je automatski određena granica kartiranja previše zahvaća područja na sjeveroistoku i jugozapadu dok su sjeverozapadni i jugoistočni dio izuzeti.



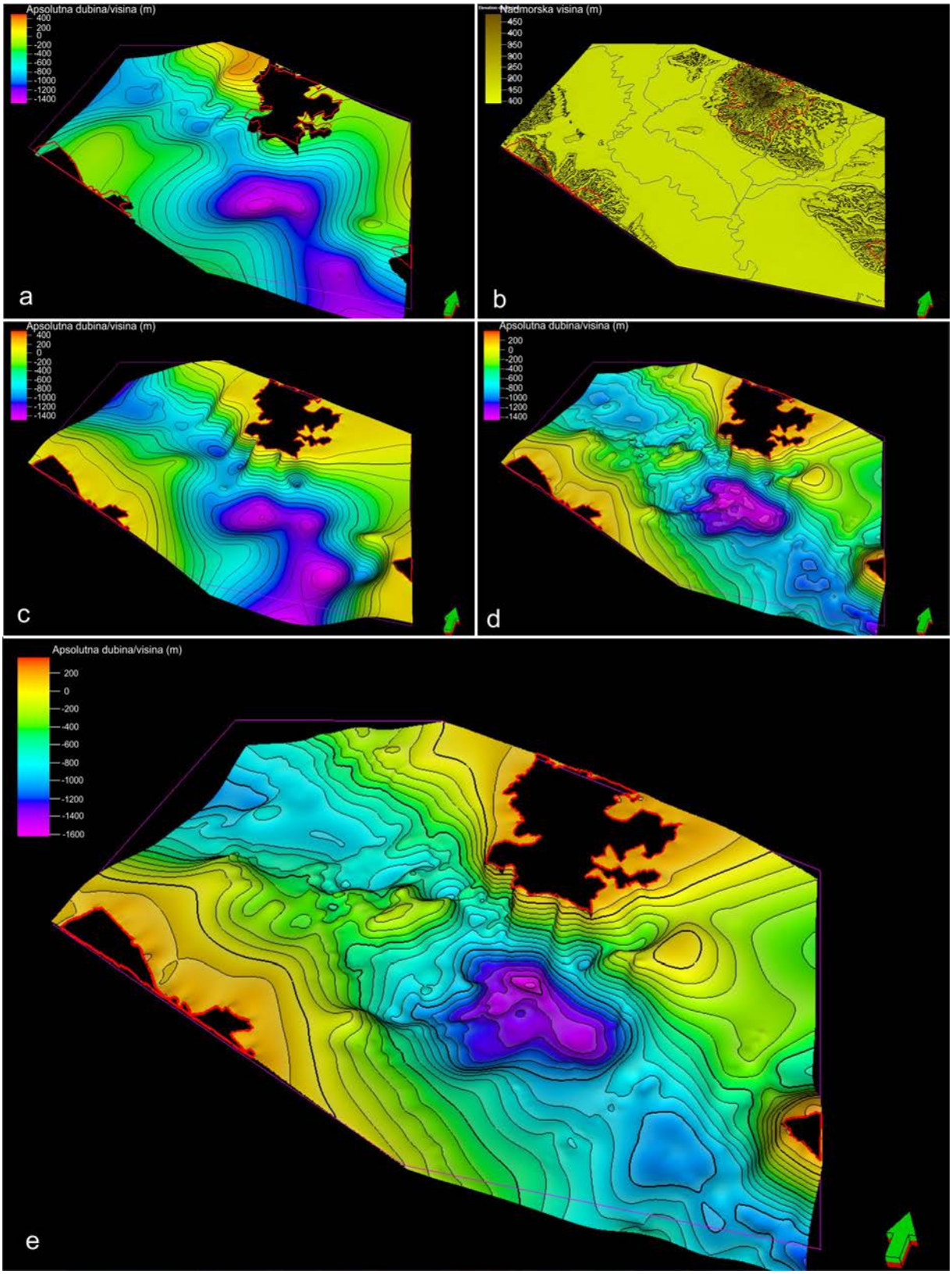
Slika 5.3: *Prikaz područja kartiranja omeđenog poligonom s naznačenim rijekama (a); plohe α' s automatskim (b) i ručnim (c) ograničavanjem područja kartiranja*

Sljedeći korak prilikom izradbe karte je **utvrđivanje granice rasprostiranja kartirane plohe**, u ovom slučaju podine formacije Lonja, tj. plohe α'. Na sjeveroistočnom dijelu područja veliki dio pripada Moslavačkoj gori čiju jezgru čine predmiocenski magmatiti i metamorfiti te miocenske naslage na južnim padinama. Također, na jugozapadnom dijelu naznačeni su izdanci miocenskih naslaga. Shodno tomu, potrebno je ograničiti rasprostiranje formacije Lonja. Granica formacije Lonja, tj. pliocenskih, pleistocenskih i holocenskih naslaga s miocenskim i predmiocenskim stijenama načinjena je na temelju listova OGK

Kutina, Bjelovar i Sisak. Tako izdvojene linije, tj. površine pokrivanja mogu se koristiti na dva načina – za izravno izuzimanje površine iz područja karte ili kao ulaz za kartiranje. Izravno izuzimanje nema utjecaj na izgled kartirane plohe već se samo naznačava da na tom području ploha ne postoji (**Slika 5.4a**). Puno točniji pristup bilo bi korištenje poligona koji predstavlja granicu prostiranja plohe kao linije nulte debljine, u ovom slučaju α', kao ulaza za kartiranje. Tom poligonu pridružene su vrijednosti prostornih koordinata granice rasprostiranja plohe. Prikazani primjer za rub plohe α' (**Slika 5.4b**) gdje su plošnim koordinatama rubova pridružene vrijednost nadmorske visine iz digitalnog elevacijskog modela (DEM) rezolucije 90 m (JARVIS *et al.*, 2008). Korištenje takvog poligona za rub kartiranja, a ujedno i kao ulazni podatak (**Slika 5.4c**), umanjilo je očitu pogrješku na prethodnim prikazima. Ona je bila u tomu što je na pojedinim rubnim dijelovima ploha interpolirana s vrijednostima iznad površine terena ili pak s odnosima koji su ukazivali na rasjedni kontakt tamo gdje ga nema.

Daljnje poboljšanje kartirane plohe moguće je uporabom više bušotina ili seizmičkih podataka. S obzirom da su na dijelovima područja istraživanja bez utvrđenih naftnih i plinskih polja bušotine vrlo rijetke, za daljnje povećavanje točnosti karte korišteni su seizmički podatci. Oni su ravnomjernije raspoređeni po području istraživanja negoli oni bušotinski (**Slika 6.9**). Kako bi se interpretirani horizonti mogli koristiti potrebno ih je prebaciti iz vremenske u dubinsku domenu. Druga mogućnost je kartu dobivenu samo iz intepretiranih refleksa, s utvrđenim granicama u vremenskoj domeni (**Slika 5.4**), koristiti kao plohu trenda. Tada će pomoću nje algoritam kartiranja određivati morfologiju kartirane plohe u prostoru s rijetkim ili bez bušotinskih podataka. S obzirom na relativno male dubine kartirane plohe i nedostatak dubinsko-vremenskih odnosa na području istraživanja, za daljnji postupak odabrano je potonje.

Završna strukturna karta (**Slika 5.4e**) dobivena opisanim postupkom sadrži daleko više detalja od onih prethodno prikazanih (**Slika 5.3b**, **c**; **Slika 5.4a**, **c, d**).



Slika 5.4: *Prikaz postupka izradbe strukturne karte po EK-markeru α'*

5.1.4. Izradba litofacijesnih karata

Litofacijesne karte su karte facijesa kod kojih se pri izradbi uzima kao jedini kriterij litološki sastav i debljina stijena ili naslaga. U naftnogeološkim istraživanjima proučavanje litofacijesa ima veliko značenje pošto je prilikom samog istraživanja najvažnije odrediti naslage povoljnih litoloških svojstava za nakupljanje ugljikovodika te izolatorske stijene. Obično se kartiraju jedinice ranga članova, a u nedostatku detaljnije podjele i one formacija. Podatci za izradbu litofacijesnih karata u naftnogeološkim istraživanjima prikupljaju se iz rezultata karotažnih mjerenja i ispitivanja jezgara, no moguć izvor podataka su i izdanci. Litofacijesne karte dijele se na dvokomponentne i trokomponentne, ovisno o tome želi li se prostorno prikazati odnos dva ili tri svojstva naslaga. Kod dvokomponentnih karata, uz varijacije debljine cijele kartirane jedinice, proučava se debljina propusnih naslaga, međusobni odnos propusnih i nepropusnih naslaga te broj propusnih slojeva pomoću sljedećih karata:

- Karta **„h“** – ukupna debljina jedinice koja se kartira.
- Karta **„he“** – debljina pješčenjačkih slojeva/propusnih naslaga unutar kartirane cjeline.
- Karta **„ss/sh“** – omjer debljina propusnih i nepropusnih naslaga unutar kartirane cjeline.
- Karta **„n“** – broj propusnih slojeva unutar kartirane cjeline.

Pomoću karata debljina mogu se dobiti spoznaje o promjenjivosti prostorne raspodjele debljine cijele jedinice (**„h“**), a posebice varijacije debljina propusnih dijelova (**„he“**). Oblik konture na karti debljina propusnih naslaga jedinice može ukazivati na okoliš taloženja, primjerice u slučaju rijeka. Kod kartiranja relativno tankih jedinica, članova, može se odrediti nulta linija na karti **„he“** koja može ukazivati na obalnu liniju ili može odjeljivati dva različita litofacijesna člana ili litostratigrafske jedinice koji su se istovremeno taložili. Na taj način mogu se izdvojiti klastične naslage starih korita rijeka, kanala, jezera i slično. Kod karti **„n“**, smanjenje broja propusnih slojeva, zajedno uz smanjenje ukupne debljine propusnih, naslaga može ukazivati na isklinjavanje. Smanjenje broja slojeva uz povećanje debljine propusnih naslaga naznačuje položaje kanala ili mjesta na kojima se energija transporta naglo smanjila što je dovelo do taloženja većih debljina klastičnih naslaga. Karta odnosa debljina propusnih i nepropusnih naslaga odjeljuju prostore različitog načina taloženja što se prvenstveno odnosi

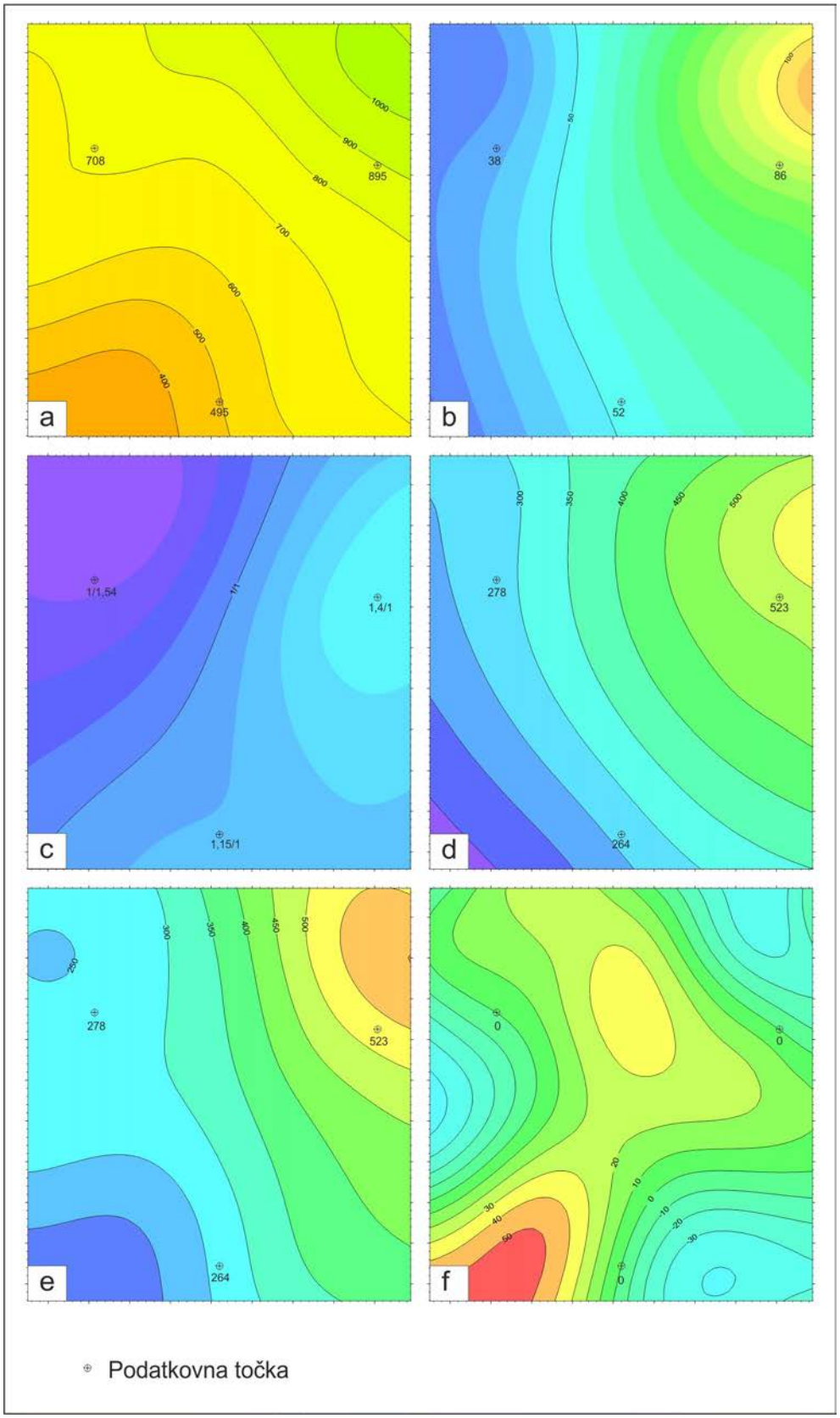
na razlučivanje mirnih, dubljovodnih okoliša od priobalnih zona s raznolikijim donosom materijala ukoliko takvi okoliši postoje unutar kartiranih jedinica (FORGOTSON, 1960).

Dvokomponentne karte mogu se načiniti klasičnom ručnom interpolacijom, programima koji koriste različite algoritme za izradbu karata, slično kao i kod izradbe strukturnih karata, ili jednostavnim matematičkim jednadžbama. Potonje se može načiniti na temelju vrijednosti ploha strukturnih karata i varijabli za konstrukciju karata. U prva dva slučaja, kod ručne interpolacije i korištenjem algoritama za izradbu karata, na interpoliranom, a posebice ekstrapoliranom području, može doći do nesrazmjera između pojedinih karata. Primjerice, interpolacijom za određenu plošnu koordinatu u međubušotinskom prostoru interpolirana vrijednost **„h“** može iznositi 400 m, **„he**“ 200 m, a **„ss/sh“** 1/1,5 što svakako nije u odnosu sa prve dvije varijable. Ovakve pogrješke mogu biti velike (>25% vrijednosti) ovisno o tome koliko je točka opažanja na karti prostorno udaljena od podatka korištenog za izradbu karte. Pravilniji pristup je svakako koristiti kombinaciju načina izradbe karata gdje se karte „**h“, „ss/sh“** i **„n“** izrađuju pomoću algoritma za izradbu karata, a karta **„he“** kao zavisna o odnosu karata **„h“** i **„ss/sh“** prema formuli:

$$\mathrm{he} = \frac{\mathrm{ss/sh} \cdot \mathrm{h}}{\mathrm{ss/sh} + 1} \qquad (5.1)$$

za svaki čvor (engl. *node*) ili podatkovnu vrijednost karte.

Kao primjer, prikazan je isječak litofacijesnih karata s tri bušotine (**Slika 5.5**). Karte **„h“** (**Slika 5.5a**), **„n“** (**Slika 5.5b**), **„ss/sh“** (**Slika 5.5c**) i **„he“** (**Slika 5.5d**) načinjene su algoritmom za izradbu karata. Karta **„he“** na **slici 5.5e** načinjena je matematičkim izračunom prema **jednadžbi 5.1** i u izravnom je odnosu s vrijednostima s karte ss/sh u interpoliranom i ekstrapoliranom području, a ne samo u plošnim koordinatama koje imaju vrijednost 0 na karti reziduala ploha **„he“** (**Slika 5.5f**). Najveće razlike u kartama **„he“** utvrđene su na jugozapadnom dijelu gdje može biti i >50 m razlike u debljinama između vrijednosti na tim karatama.



Slika 5.5: *Litofacijense karte:* ***a*** *- karta „h“,* ***b*** *– karta „n“,* ***c*** *–karta „ss/sh“,* ***d*** *– karta „he“ načinjena pomoću algoritma,* ***e*** *- karta „he“ načinjena matematičkim izračunom,* ***f*** *– karta reziduala karata „he“*

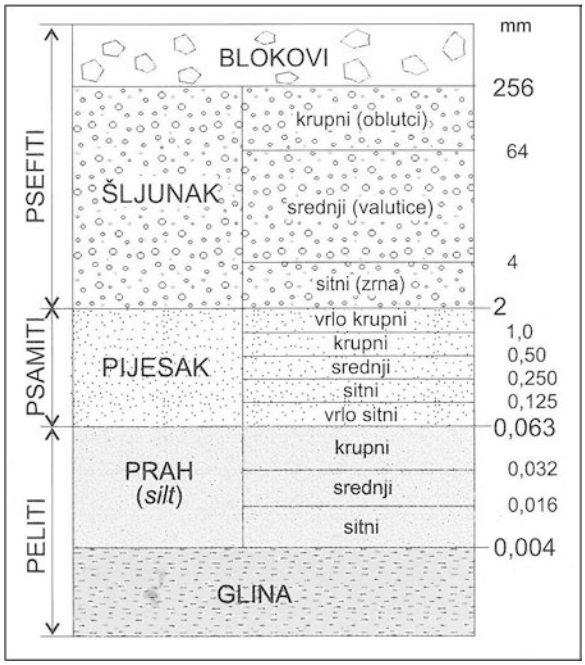
5.2. Petrološko-sedimentološke analize

Osnovicu kod proučavanja sedimentnih naslaga čini određivanje struktura i tekstura te njihovog mineralnog sastava (TIŠLJAR, 2004). Pod terminom struktura (engl. *structure*) u engleskoj literaturi definiraju se svojstva stijene uvjetovana međusobnim odnosima, prostornim rasporedom i oblikom pojedinih mineralnih sastojaka. Pojam tekstura (engl. *texture*) predstavlja valičinu zrna sedimenta, međusobni odnos, rapsored i odnos mineralnih sastojaka (TIŠLJAR, 1994).

U ovom poglavlju opisana je klasifikacija sedimentnih stijena te metode petrološko sedimentoloških analiza primjenjive u sedimentima formacije Lonja s obzirom na njen stupanj litificiranosti te dostupnost i veličinu izdanaka.

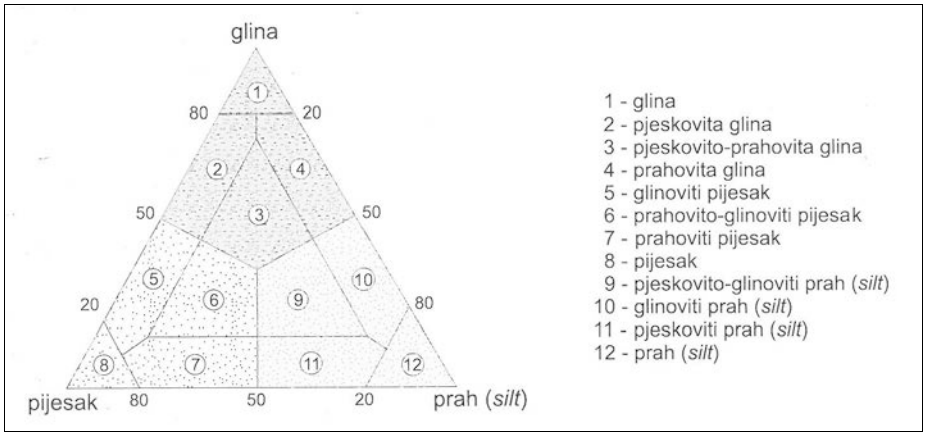
5.2.1. Klasifikacija naslaga

Sedimentne stijene kao i nevezani sedimenti klasificiraju se prvenstveno prema veličini zrna od kojih su načinjeni. S obzirom da su sedimenti pliocenske, pleistocenske i holocenske starosti, posebice na izdancima, iznimno rijetko litificirani, klasifikacija će se prvenstveno odnositi na nekonsolidirane sedimente. Vezane stijene imaju, osim klasifikacije po veličini zrna, razrađenu klasifikaciju u odnosu na mineraloški sastav zrna i petrografski sastav valutica. Najčešća klasifikacija sedimenata prema veličini zrna je prema WENTWORTH (1922). Prema njoj, naslage su od krupnozrnatijih prema sitnozrnatijim podijeljene na psefite, psamite i pelite (**Slika 5.6**). Također, za veličinu zrna u stijeni mogu se koristiti pojmovi latinskog korjena – ruditi, areniti i lutiti, no u tom slučaju moguća je zbrka u odnosu na klasifikaciju pješčenjaka prema PETTIJOHN *et al.* (1973) koji arenitima naziva pješčenjake s manje od 25 % matriksa, a grauvakama od 25 do 75 % udjela matriksa.

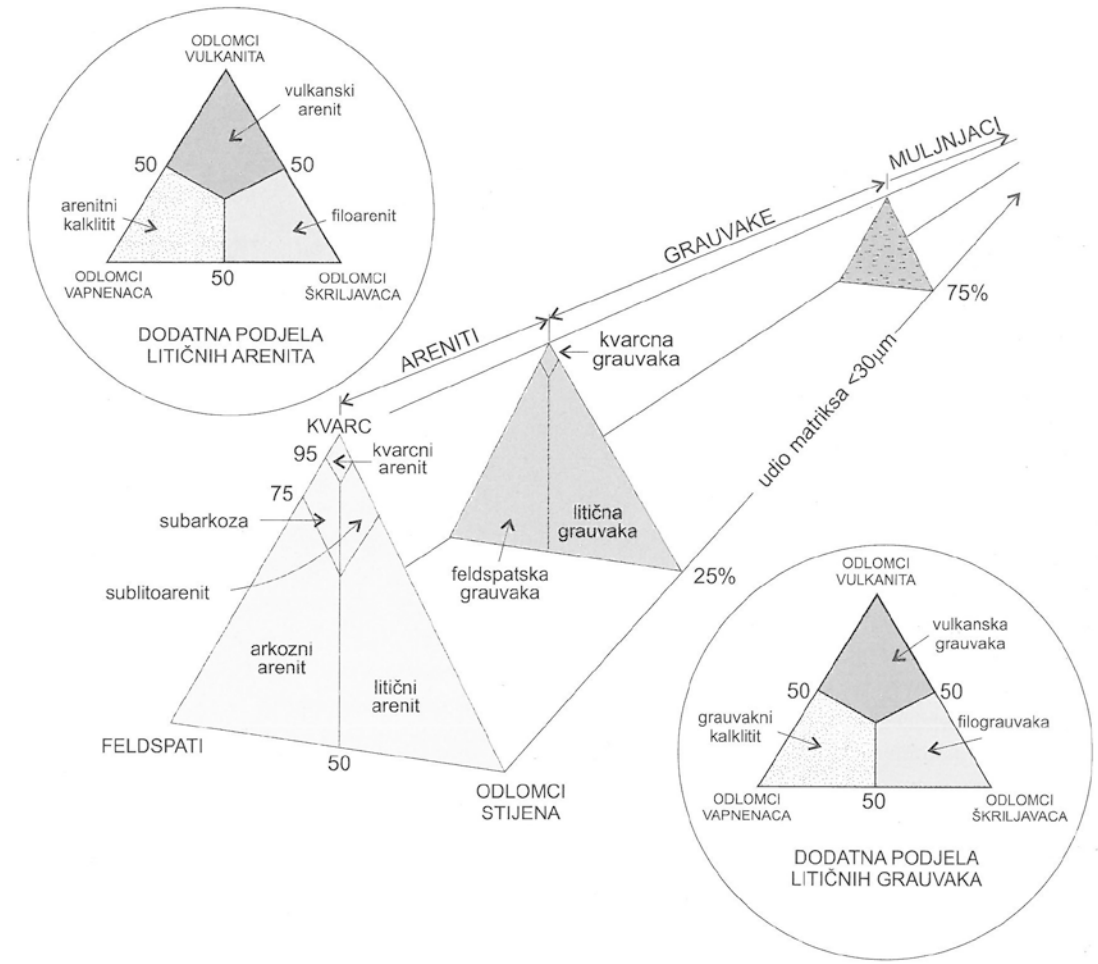


Slika 5.6: *Klasifikacija i nomenklatura klastičnih stijena prema WENTWORTH (1922) iz TIŠLJAR (2004)*

Prema mineralnom sastavu klasta detaljnije se mogu podijeliti sve tri skupine. Postoje posebne kalsifikacije za litificirane i nelitificirane sedimente. Nazivlje naslaga prema iznosu pojedinih udjela čestica različite veličine psamita i pelita prikazao je TREFETHEN (1950) (**Slika 5.7**). S obzirom da litificiranih psefita nema u formaciji Lonja, a psamita vrlo malo, prikazana će biti samo klasifikacija psamita (**Slika 5.8**) prema PETTIJOHN *et al.* (1973).



Slika 5.7: *Kvantitativna kalsifikacija i nomenklatura klastičnih sedimenata prema odnosu pojedih zastupljenih kategorija veličine zrna prema TREFETHEN (1950) iz TIŠLJAR (2004)*



Slika 5.8: *Podjela litificiranih psefita - pješčenjaka iz TIŠLJAR (2004) prema PETTIJOHN et al. (1972)*

Pelitni sedimenti ubrajaju se u naslage koje se pretežito sastoje od zrna veličine praha i gline, tj. onih manjih od 0,063 m (WENTWORTH, 1922). Detaljna podjela pelitnih sedimenata zasniva se na zastupljenosti pojedine frakcije u sastavu, stupnju litifikacije i unutrašnjim teksturnim značajkama sedimenta.

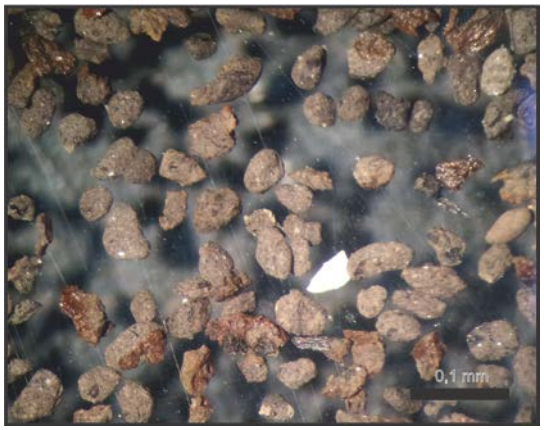
5.2.2. Granulometrijske analize

Granulometrijske analize podrazumijevaju metode za određivanje raspodjele veličina zrna u sedimentima. Postoji više metoda, od terenskih do laboratorijskih, no najčešće primjenjivana je metoda određivanja veličine zrna sijanjem ili granulometrijska analiza sijanjem. Primjenjuje se određivanje veličina zrna šljunčanih, šljunčano-pješčanih, pješčanih i prahovito-pješčanih sedimenata. Postupkom sijanja, ovisno o broju korištenih sita, dobiva se

određeni broj frakcija koje predstavljaju količinu materijala zaostalu na pojedinom situ, tj. one veličine koja je ograničena promjerom otvora na gornjem i donjem situ.

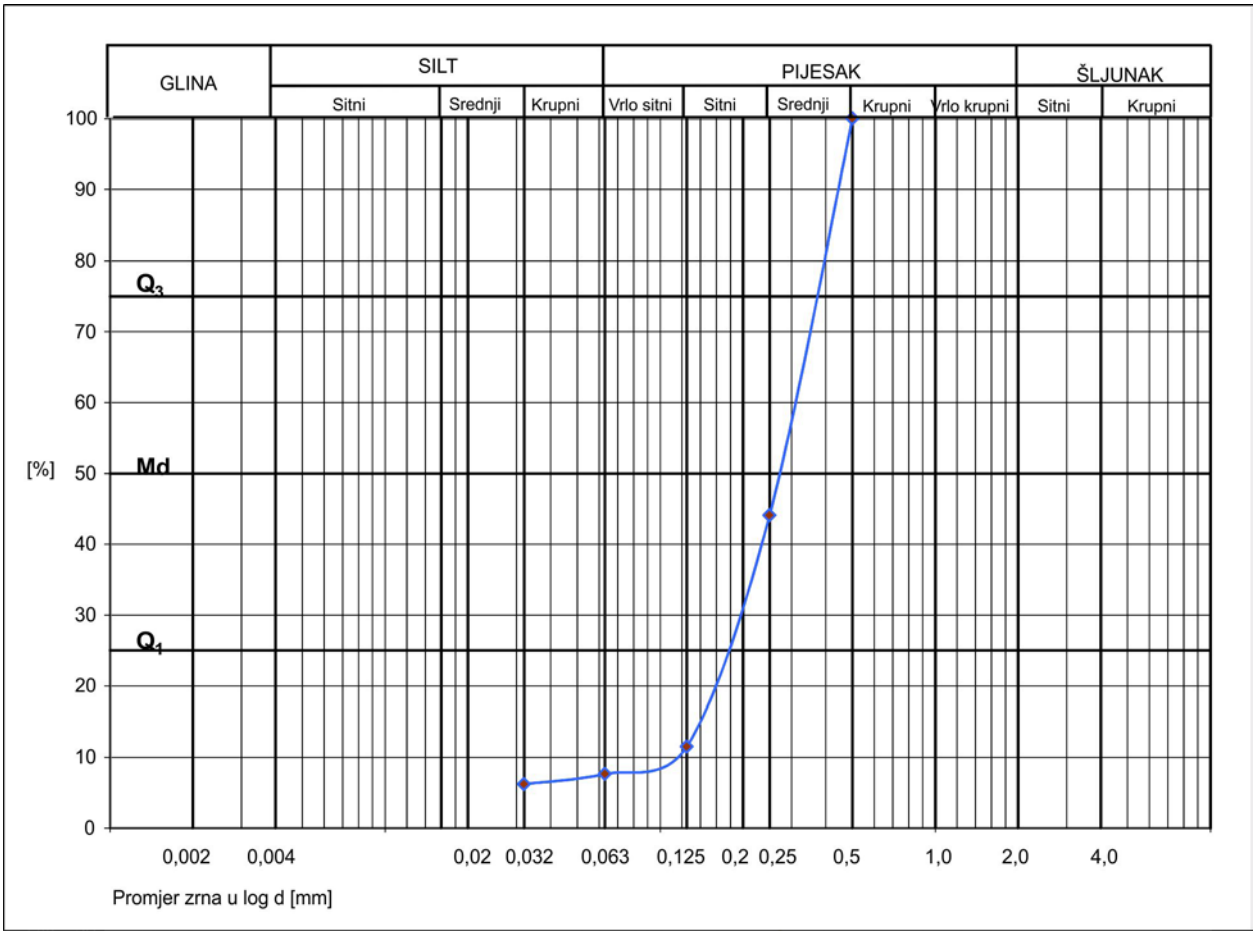
Za postupak određivanja granulometrije pjeskovito-prahovito-glinovitih sedimenata potrebno je približno 50 g uzorka. Ukoliko je uzorak vidno nehomogen (npr. kokina) ili krupnozrnat (šljunci), uzimaju se veće količine uzorka kako bi uzorak bio reprezentativan (MÜLLER, 1964).

Uzorak, iako se radi o slabovezanim do nevezanim naslagama, prethodno sijanju podvrgava se procesu dezintegracije zbog sljepljenih čestica gline. Bez takve dezintegracije sljepljene čestice ulaze u krupnije frakcije te se time dobivaju netočni rezultati. Dezintegracija uzorka u vodikovom peroksidu nije dostatna jer nakon nje ostaje još određena količina tako slijepljenih čestica u frakciji >0,063 mm (**Slika 5.9**) te se mora koristiti metoda dezintegracije ultrazvukom.



Slika 5.9: *Slijepljena zrna u frakciji >0,063 mm*

Pojedine frakcije izražavaju se u težinskim postotcima uzorka te se na taj način dobiveni podatci koriste za izradbu kumulativne granulometrijske krivulje (**Slika 5.10**). Vrijednosti dobivene prosijavanjem unose na krivulju kod koje se na apscisu s Wentworthovom polulogaritamskom ljestvicom unose granične vrijednosti veličine zrna, tj. frakcija, a na ordinatu kumulativni zbroj udjela pojedinih frakcija izraženih u postotcima (TIŠLJAR, 1994; 2004).



Slika 5.10: *Kumulativna granulometrijska krivulja pijeska – uzorak Mos-8 s područja južnih obronaka Moslavačke gore*

Iz takve krivulje mogu se izravno očitati ili izračunati granulometrijski parametri i koeficijenti koji određuju najvažnija svojstva koja proizlaze iz veličine zrna i granulometrijskog sastava uzorka. To su:

- Medijan ili srednja veličina zrna (Md) je ona veličina od koje postoji (na kumulativnoj granulometrijskoj krivulji) u sastavu uzorka 50 % većih i 50 % manjih zrna. Md uzorka Mos-8 (**Slika 5.10**) iznosi 0,275 mm.
- Prvi i treći kvartili (Q_1 i Q_3) određuju se slično kao i za Md, samo kod vrijednosti od 25 %, odnosno 75 %. Q_1 za uzorak Mos-8 iznosi 0,18 mm, a Q_3 0,38 mm (**Slika 5.10**). Medijan je ujedno i drugi kvartil (Q_2).
- Koeficijent sortiranja po Trasku S_o koji je definiran kao kvadratni korijen odnosa trećeg i prvog kvartila (**jednadžba 5.2**).

$$S_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} \qquad (5.2)$$

Koeficijent sortiranja prikazuje stupanj jednoličnosti zrna po veličini. Što je S_o veći, to je sortiranost uzorka lošija. Ovako dobiveni iznos sortiranosti može ukazivati na tip sedimentacijskog okoliša. Izračunati S_o uzorka Mos-8 iznosi 1,48 što ga svrstava u srednje sortirane (MÜLLER, 1964) (**Tablica 5.1**).

Tablica 5.1: *Kategorije sortiranosti prema MÜLLER (1964)*

Kategorija sortiranosti	Vrijednost S_o
Vrlo dobra sortiranost	1,00-1,23
Dobra sortiranost	1,23-1,41
Srednja sortiranost	1,41-1,74
Loša sortiranost	1,70-2,00
Vrlo loša sortiranost	>2,00

5.2.3. Fiziografske i genetske značajke najvažnijih sastojaka pijesaka i pješčenjaka

Izvorišni materijal pijesaka i pješčenjaka mogu biti magmatske, metamorfne ili pak sedimentne stijene. Onaj dio zrna koji se danas može naći u sastavu pješčenjaka i pijesaka je zapravo ostatak materijala nakon dužeg ili kraćeg fizikalnog i kemijskog trošenja ishodišnih stijena. Osnovni zadatak ovakvih analiza je prema sastavu klasta stijena odrediti koje su stijene bile ishodišne za promatrani materijal, kakvi su bili uvjeti i načini trošenja te kakav je bio prijenos i taloženje.

Osnovni sastojci pješčenjaka i pijesaka su kvarc, feldspati i odlomci stijena uz koje još u manjem udjelu dolaze tinjci, karbonatni minerali, minerali glina te teški minerali. Pomoću svake od ovih sastavnica mogu se donosit zaključci o ishodišnoj stijeni.U narednom tekstu su pobrojani oni najčešće zastupljeni u taložinama formacije Lonja.

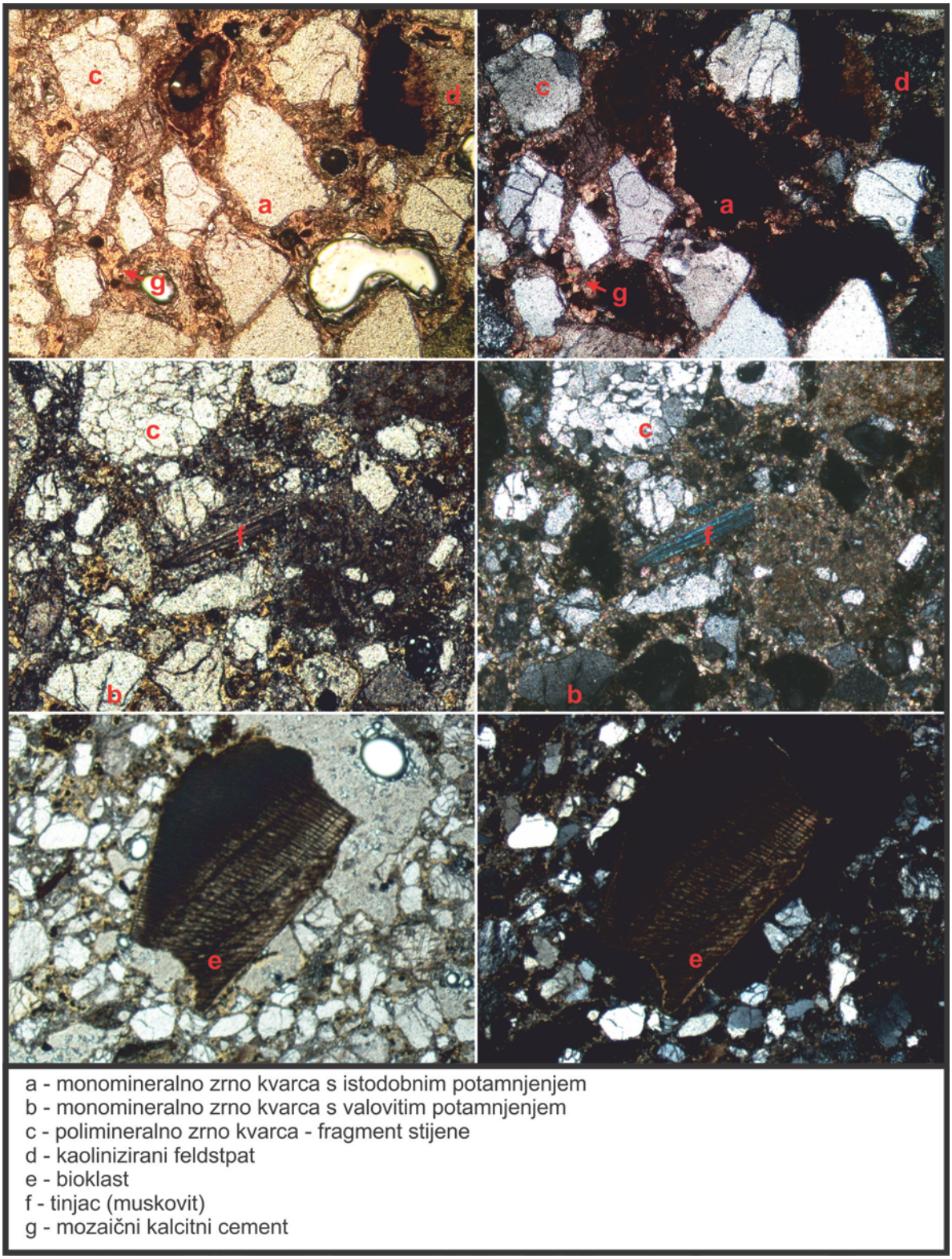
5.2.3.1. Kvarc

Kvarc je petrogeni mineral koji zbog svoje otpornosti na kemijsko i mehaničko trošenje predstavlja najčešći i najvažniji sastojak gotovo svih pješčenjaka i pijesaka. Osim takvog, detritičnog, kvarca u pješčenjacima se može naći i autigeni kvarc koji nastaje

dijagenetskim procesima u stijeni i predstavlja cement. Ovakav tip pojave kvarca u sedimetnima formacije Lonja nije za očekivati zbog relativno malih dubina zalijeganja, na kojima se vezivanje u pješčenjacima najčešće ostvaruje kalcitnim cementom.

Zrno detritičnog kvarca može biti monokristalno ili polikristalno. U pravilu, najveće količine polikristalnih zrna u pješčenjacima i pijescima potječu iz sitnokristalastih kvarcita, gnajsova, kristalastih škriljavaca niskog i srednjeg stupnja metamorfizma, granita, granodiorita, pegmatita i aplita te kvarcnih žila unutar metamorfnih stijena (TIŠLJAR, 1994; 2004). Razlika između monokristalnog i polikristalnog zrna kvarca prikazana je na **slici 5.11a i 5.11c**. Detritična kvarcna zrna mogu biti dobri pokazatelji izvorišne stijene preko sljedećih petrografskih i fiziografskih svojstava:

- **Potamnjenje** – kristali kvarca mogu imati istodobno **(Slika 5.11a)** ili valovito (**Slika 5.11b**) potamnjenje. Valovito (undulozno) potamnjenje karakteristično je za visokotlačne uvjete kristalizacije koji se asociraju s metamorfnim stijenama. Kvarc iz intruziva vrlo rijetko pokazuje valovito potamnjenje, a onaj iz efuziva nikada. Također, prema BLATT (1963) kvarc s valovitim potamnjenjem se znatno lakše troši nego onaj s istodobnim. Prema tome, po udjelu dva navedena tipa kvarca prema načinu potamnjenja može se orjentacijski govoriti o duljini transporta.
- **Promjene na rubovima zrna -** ukoliko se na dobro zaobljenim zrnima kvarca može vidjeti regeneracijski rub i/ili postojanje sintaksijalnog obrubnog cementa, tada je podrijetlo materijala sedimentna stijena.
- **Oblik, zaobljenost i stupanj habanja zrna** - ukazuje na uvjete koji su vladali pri transportu i trošenju kao i na stupanj zrelosti pješčenjaka. Dobro zaobljena i sortirana zrna kvarca ukazuju na dugotrajan transport.



Slika 5.11: *Mikrofotografija litičnog arenita formacije Lonja bez (lijevo) i s analizatorom (desno)*

5.2.3.2. Feldspati

Kao jedan od glavnih sastojaka pješčenjaka i pijesaka, feldspati imaju izuzetan značaj pri njihovoj klasifikaciji, ali i za određivanje genetskog podrijetla. Velika količina feldspata u pješčenjacima ukazuje na podrijetlo iz gnajseva ili kiselih intruziva, a nikako iz starijih sedimenata ili škriljavaca niskog stupnja metamorfizma (TIŠLJAR, 1994; 2004). Od svih feldspata, u pješčenjacima i pijescima prevladavaju alkalijski feldspati ortoklas i mikroklin te kiseli plagioklasi. U arkozama obično se pojavljuju alkalijski feldspati dok su u grauvakama mogući i plagioklasi koji se inače rijetko nalaze zbog svoje manje stabilnosti. „Svježina" feldspata ukazuje na duljinu transporta i izloženost procesima trošenja. Svježa zrna moguće je naći jedino u uvjetima jakog fizikalnog trošenja, izdizanja reljefa i kratkotrajnog transporta. Pri trošenju prelaze u sericit (hidrotermalno trošenje) ili minerale glina procesom kaolinizacije (**Slika 5.11d**) – površinskim trošenjem.

5.2.3.3. Odlomci stijena

Odlomci stijena su treći glavni sastojak pješčenjaka i pijesaka. Pod pojmom odlomak stijene podrazumijeva se detritično zrno koje se sastoji od najmanje tri kristalne jedinke istog ili različitog minerala pod uvjetom da se ne radi o sraslacima (TIŠLJAR, 1994; 2004). U pravilu, odlomci stijena češći su sastavni element kod krupnozrnatih nego sitnozrnatih pješčenjaka i pijesaka. Zbog svoje otpornosti, najčešći fragmenti stijena pripadaju čertovima, no općenito sadržaj odlomaka stijena izravno ovisi o zastupljenosti pojedinih u izvorišnom području materijala. Tako je moguće naći odlomke gnajseva, škriljavaca niskog i srednjeg stupnja metamorfizma te ponekad karbonata, šejlova i prahovnjaka.

5.2.3.4. Tinjci

Tinjci su vrlo česti sastojak pješčenjaka i pijesaka, no udio im obično iznosi tek nekoliko postotaka. Najčešći tinjci su muskovit i biotit od kojih je muskovit daleko otporniji na trošenje. Biotit zbog svoje gustoće ulazi u tešku frakciju, tj. teške minerale. Udio biotita obično je vrlo mali jer se vrlo brzo troši i prelazi u korit (hidrotermalno toršenje) ili vermikulit te na posljetku u minerale glina. Postojanje biotita u sedimentima ukazuje na kratak transport i na činjenicu da se gotovo sigurno ne radi o pretaloženom materijalu.

5.2.3.5. Karbonatni minerali

Pojave karbonata u pješčenjacima obično se odnose na autigene minerale, najčešće u formi kalcitnog ili dolomitnog cementa (**Slika 5.11g**). Također, moguća je nazočnost biogenog karbonatnog detritusa, tj. kršja skeleta (**Slika 5.11e**).

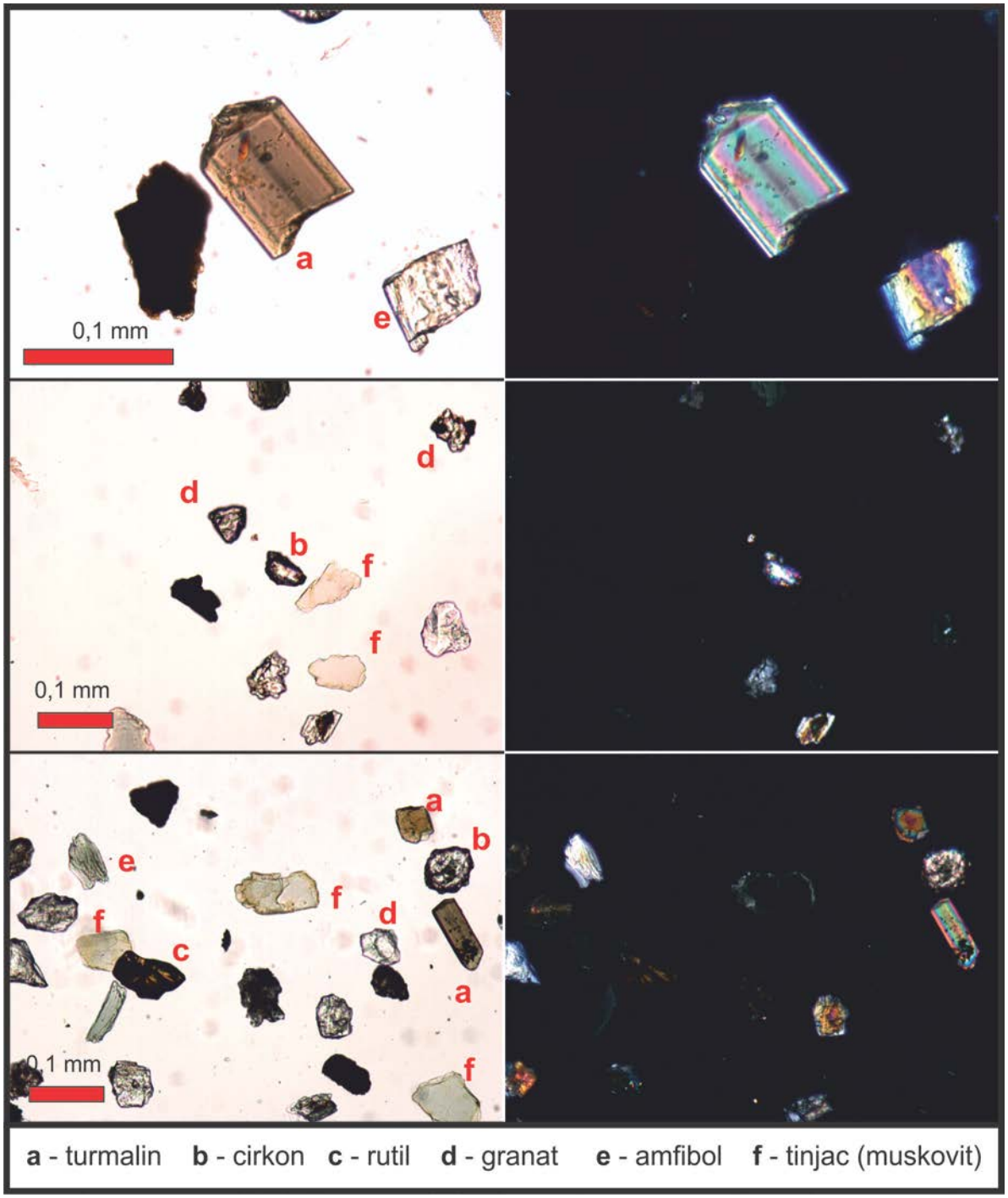
5.2.3.6. Teški minerali

U teške minerale ubrajaju se svi oni gustoćom većom od 2850 do 2880 kg/m^3, tj. oni koji su teži od bromoforma koji služi kao tekućina za odvajanje lakih od teških minerala. Teški minerali mogu se prema PETTIJOHN *et al.* (1973) podijeliti prema svojoj stabilnosti u pet skupina (**Tablica 5.2**).

Tablica 5.2: *Stabilnost minerala teške frakcije (PETTIJOHN et al., 1973)*

Stabilnost minerala	Mineral
Vrlo nestabilni	olivin
Nestabilni	hornblenda, biotit, aktinolit, augit, dipsid,
Umjereno stabilni	epidot, disten, silimanit, titanit coisit
Stabilni	apatit, granat, staurolit, monacit
Iznimno stabilni	rutil, cirkon, turmalin, anatas

Na području istraživanja utvrđeni su biotit, hornblenda (**Slika 5.12e**) iz skupina nestabilnih, titanit iz skupine umjereno stabilnih, granat (**Slika 5.12d**) iz skupine stabilnih te turmalin, cirkon i rutil (**Slika 5.12a, b, c**) iz skupine iznimno stabilnih. Asocijacije minerala u teškoj frakciji mogu ukazivati na izvorišno područje materijala, u slučaju da se ne radi o višekratno pretaložavanim sedimentima, te daljini transporta. U slučaju da se radi o pretaloženim sedimentima, tada će skupina stabilnih i iznimno stabilnih minerala biti zastupljenija u teškoj frakciji od onih manje stabilnih.



Slika 5.12: *Mikrofotografije minerala teške frakcije iz uzoraka Mos-12-1 (gornja mikrofotografija) te Slav-1-2 (donja i srednja mikrofotografija)*

5.3. Geokemijske analize naslaga s organskim tvarima

U ovom slučaju, geokemijske analize podrazumijevaju procjenu i odgovarajuću obradbu uzoraka s organskim tvarima s ciljem određivanja sadržaja ugljika iz organskih spojeva, stupanj zrelosti, tip kerogena i maceralni sastav.

S obzirom na tip naslaga, tj. uzoraka, i pretpostavku njihove zrelost (iznimno rani stupanj) na uzorcima se može načiniti:

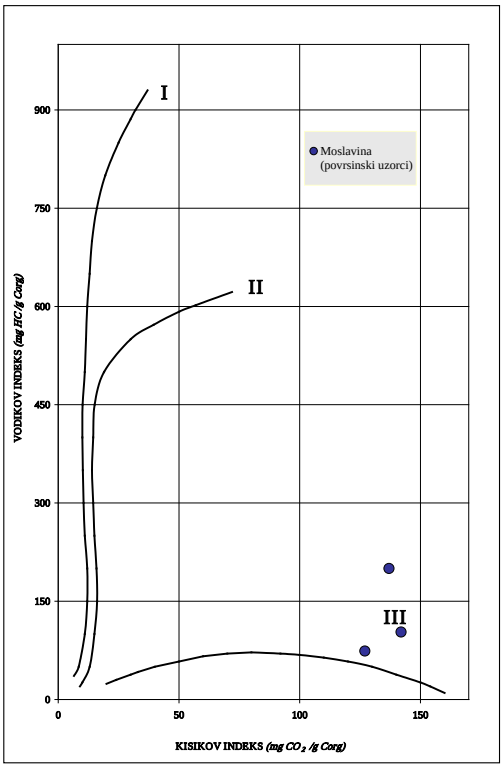
- Određivanje ugljika iz organskih spojeva;
- Rock-Eval piroliza;
- Organsko-petrološka ispitivanja izoliranog kerogena;
- Sadržaj sumpora u kerogenu;
- Plinsko-kromatografska analiza bitumena/nafte.

Određivanje ugljika iz organskih spojeva (C_{org}) jedno je od osnovnih pristupa istraživanja matičnih stijena. Donja granica matičnog potencijala s obzirom na sadržaj C_{org} iznosi 0,5 % (moguća mala matična moć) dok sve preko 2,0 % ima moguću dobru do izvrsnu matičnu moć (WAPLES, 1985). Matična moć se naznačava kao „moguća“ s obzirom da postoje naslage s iznimno velikim postotkom ugljika iz organskih spojeva, no malom matičnom moći, poput ugljena.

Rock-Eval piroliza je postupak utvrđivanja zrelosti i matične moći pojedinih uzoraka zagrijavanjem na temperaturu do 550 °C bez prisutnosti kisika. Rezultati se prikazuju kao sljedeće vrijednosti:

- S_1 – količina slobodnih ugljikovodika koja se osobađa pri temperaturi od 250 °C.
- S_2 – Nastavljanjem zagrijavanja do 420-460 °C izaziva se termalna razgradnja kerogena, tj. nastajanje ugljikovodika i spojeva sličnim ugljikovodicima. Ta vrijednost prikazuje preostali matični potencijal stijene.
- S_3 – predstavlja vrijednost nastalog CO_2 tijekom pirolize. Povišeni udio CO_2 ukazuje na drvovinski tip izvorne organske tvari ili oksidaciju kerogena.
- T_{max} – određuje temperaturu pri kojoj se za vrijeme analize izdvaja najviše ugljikovodika.

- Vodikov (HI) i kisikov (OI) indeks- predstavljaju odnos S_2 i C_{org} (HI), odnosno S_3 i C_{org} te se njihove vrijednosti mogu koristiti kao indikator tipa kerogena pomoću Van Krevelenovih dijagrama (**Slika 5.13**).



Slika 5.13: *Modificirani Van Krevelenov dijagram (TISSOT & WELTE, 1978) s prikazanim vrijednostima uzoraka s područja istraživanja.*

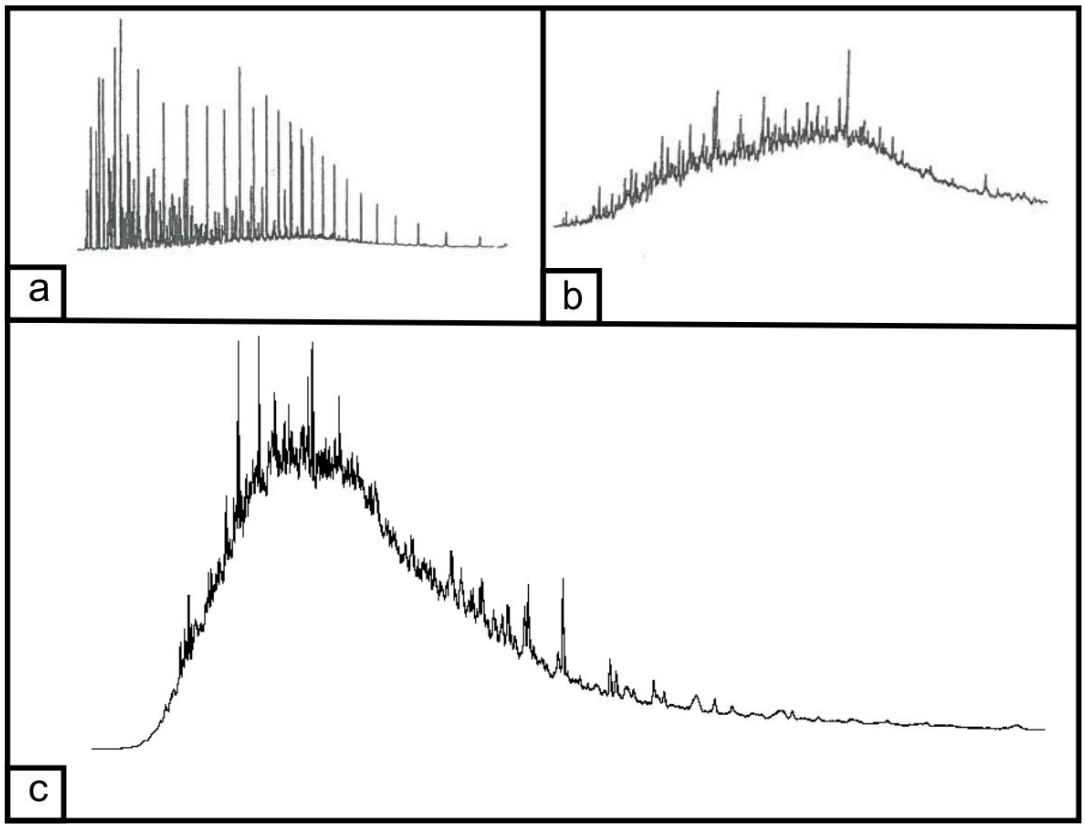
Organsko-petrološka ispitivanja obuhvaćaju odredbu maceralnih skupina mikroskopiranjem te utvrđivanje zrelosti pomoću optičkih indikatora. Svi macerali imaju sufiks –init. Klasificirani su u tri maceralne skupine (BARIĆ, 2006; VELIĆ, 2007; TROSKOT-ČORBIĆ, 2011): vitrinite, liptinite (ekzinite) i inertinite. Svaka sadrži brojne macerale koji su određeni prema svojstvima promatranih u svjetlosnim mikroskopima. **Vitriniti** su produkti pougljenjavanja humusnih tvari koji potječu od lignina i celuloze biljnih staničnih stijenki. **Liptiniti** potječu od vodikom bogatih ostataka biljaka kao što su sporopolenin, rezin, smole, voskovi, masti i ulja. **Inertiniti** također potječu od nekih dijelova biljaka kao i vitriniti, samo su pretrpjeli različite primarne transformacije. Tako npr. stanične stijenke drveta mogu biti izmijenjene u telinit (vitrinit) procesom humifikacije i gelifikacije dok promjena u ranoj fazi, npr. vatra, vodi prema formiranju fuzinita i semifuzinita (inertiniti).

Zrelost se pomoću indikatora može odrediti utvrđivanjem iznosa vitrinitne refleksije (R_o) i indeksom termalne izmjene organske tvari (TAI). S obzirom na posebne geološke okolnosti u Panonskom bazenu, potrebno je koristiti modificiranu ljestvicu zrelosti kerogena (TROSKOT-ČORBIĆ *et al.*, 2009) u odnosu na R_o i TAI koju je izradio WAPLES (1985) (**Tablica 5.3**).

Tablica 5.3: *Odnos generiranja ugljikovodika i modificiranih odnosa TAI i R_o matičnih stijena (modificirano prema BARIĆ, 2006; TROSKOT-ČORBIĆ et al., 2009)*

Zrelost	TAI	% R_o
Nezrelo	**1^+**	<0,35
	2^-	0,35-0,45
Nafta	**2**	0,45-0,55
	2^+	0,55-0,70
	3^-	0,70-0,95
	3	0,95-1,25
Mokri plin	**3^+**	1,25-2,00
Suhi plin	**4^-**	2,00-3,00
	4	>3,00

Plinsko-kromatografna analiza nafte predstavlja distribuciju molekula ili mase molekula koja može biti pokazatelj izvornog tipa organske tvari (BARIĆ, 2006). Kako bi rezultati ovakve analize bili iskoristivi, analizirane nafte moraju biti sačuvane, tj. moraju imati mali stupanj biodegradacije jer je u suprotnom histogram slabo izdiferenciran s nedostatkom niskomolekularnih ugljikovodika (**Slika 5.14**).



Slika 5.14: *Histogrami plinsko kromatografne analize nafte iz polja Ivanić (a) i Križ (b) (MARIČIĆ, 1999) te nafte iz izdanka - točka Mos-36 (c)*

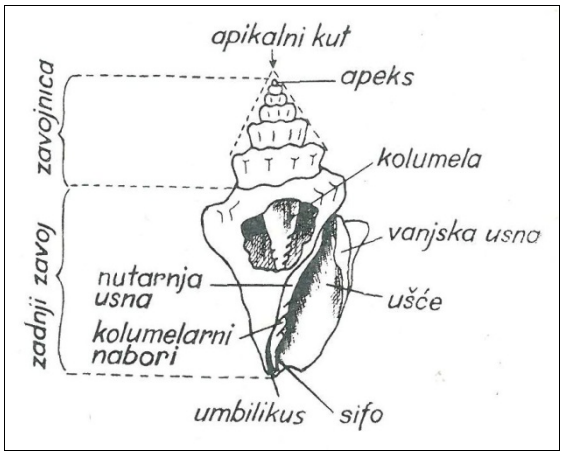
5.4. Paleontološke analize

Paleontološki sadržaj u stijeni odnosi se na prisutnost očuvane fosilne flore i faune. Oni mogu ukazivati na približnu starost naslaga, klimatske prilike, okoliš i uvjete taloženja, a promjene na njima dijagenetske procese kojima su bili podvrgnuti. Dalje u tekstu pobrojani su opisi metoda obradbe, tj. determinacije i značenje pojedinog fosilnog sadržaja koji je karakterističan za naslage obrađivane u ovoj disertaciji. Razvrstan je prema utvrđenoj fauni mekušaca - puževa (*Gastropoda*), školjkaša (*Lamellibranchiata*), ostrakoda (*Ostracoda)* i riba te alga (prevladavajuće haraceje) i floru prema polenu (palinomorfa).

5.4.1. Puževi (Gastropoda)

Kućice puževa mogu se fosilizirati za razliku od mekog unutarnjeg tkiva koje se nakon uginuća brzo raspada. Morfološke značajke kućica predstavljaju temelj za odredbu rodova i vrsta. Osnovica opisa građe (**Slika 5.15**) (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964) je:

- Smjer zavoja – prilikom opisa kućica se orijentira otvorom prema dolje i prema promatraču. Ukoliko je taj otvor s desne strane kućice onda je ona desno savijena. U suprotnom, radi se o lijevo savijenoj kućici koje su u pravilu rijetke.
- Morfologija zavojnice – određuje se prema apikalnom kutu i gustoći zavoja. Ovisno o apikalnom kutu one mogu biti šiljaste, tornjaste (mali kut) ili čunjaste te kuglaste (veliki kut). Zavoji u središtu osi se mogu dodirivati te tada tvore čvrstu os koja se naziva kolumela. U suprotnom je u središtu šupljina koja se može vidjeti i izvana kroz otvor na donjem dijelu koji se naziva pupak.
- Ušće – može biti vrlo različitoga oblika. Uz kolumelu, obično se nalazi vapnenačka prevlaka ili zadebljali unutrašnji rub koji može sadržavati nabore. Ti nabori javljaju se prilikom vertikalnog plaženja puža zbog opterećenja kućice. S vanjske stane ušća nalazi se izdiferencirana vanjska usna također važna prilikom određivanja rodova i vrsta.
- Stjenka kućice se sastoji od tri sloja od kojih je vanjski rožnati, često obojani, a dva unutarnja izgrađena su od aragonita. Debljina kućice ukazuje i na okoliše u kojima su organizmi živjeli pa su obično kućice kopnenih i jezerskih puževa tanke i glatke, a morskih ili riječnih pojačane različitim naborima i zadebljanjima.



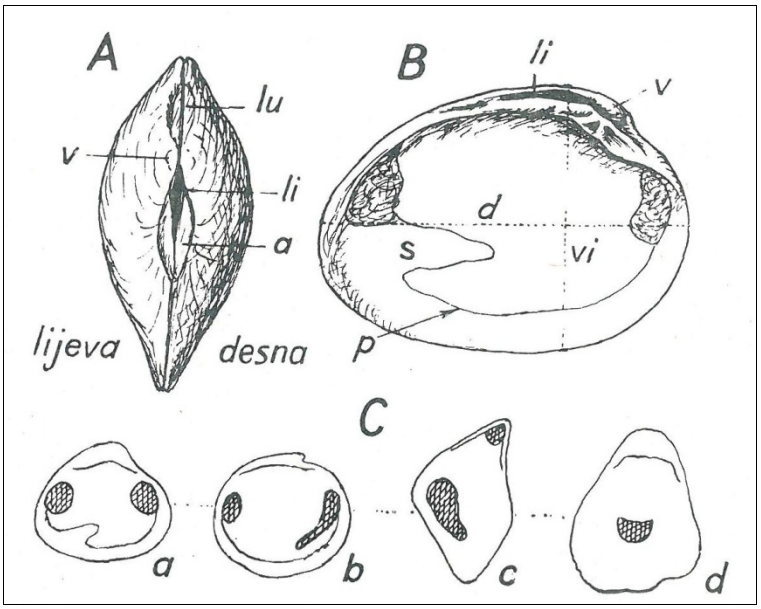
Slika 5.15: *Dijelovi kućice puža (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964)*

5.4.2. Školjkaši (Lamellibranchiata)

Školjkaši su vodeni mekušci koje karakteriziraju lamelozne škrge pa se prema tome i dobili ime. Mogu se nazivati još *Acephala* jer nemaju izdiferenciranu glavu, *Bivalvia jer* imaju dvije ljušture iako je *Lamellibrancihata* najprimjereniji naziv.

Školjkaši su bilateralno simetrični, a jedini dio koji im se fosilno sačuva je ljuštura. Osnovni dijelovi građe ljušture (**Slika 5.16**) koji se koriste prilikom odredbe prema (KOCHANSKY-DEVID**É**, 1964) su:

- Vrh ljušture – često je savijen i naziva se kljun. Ispred kljuna neke ljušure mogu imati udubljeno polje ili lunulu, a iza kljuna areu. Ako je takvo polje samo jedno i seže od prednje do stražnje strane, naziva se area.
- Površina školjke – često ima radijalna ili koncentrična rebra. I na glatkim rebrima mogu se vidjeti koncentrične pruge, obično u nepravilnim razmacima, koje predstavljaju linije priraštaja.
- Otisci mekih dijelova školjke – u ljušturi mogu se utvrditi sljedeći otisci: plaštna linija, mišićni ožiljci, brava i prostor za ligament. Brava je ujedno i najvažniji kriterij za klasifikaciju školjkaša. To je sklop zubića jamica i brazda na proširenoj unutrašnjoj strani gornjeg ruba.



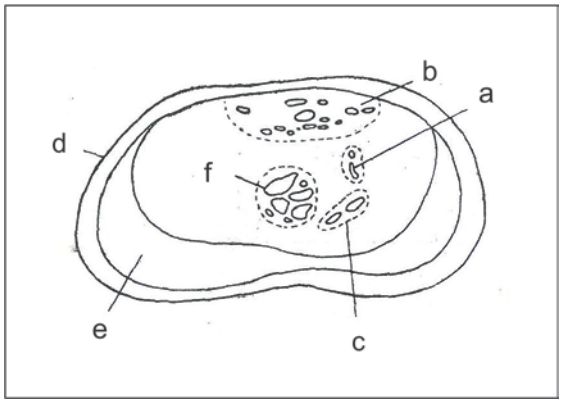
Slika 5.16: *Prikaz školjkaša odozgo (A) i lijeve ljušture (B) s istaknutim dijelovima vrha (v), aree (a), lunule (lu), ligamenta (li), plaštenog ruba (p, dužinom (d) i visinom (vi) ljušture) te različitih tipova mišičnih ožiljaka (C) – Isomyaria (a, b), Heteromyaria (c) i Monomyaria (d) (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964)*

5.4.3. Ostrakodi (Ostracoda)

Ostrakodi su mali raci koji svoje meko tkivo štite dvjema ljušturicama karbonatnog sastava, koje nalikuju na ljušture školjkaša. Većinom su manji od 2 mm, s iznimkama paleozojskih vrsta koje su mogle narasti i do 80 mm. Oblik ljuštura je bubrežast, poput zrna graha. Rijetko su simetrične, a češće dolazi do manjih razlika između lijeve i desne ljušture. Također, naglašen je i spolni dimorfizam vidljiv prema otiscima jajovoda ili sjemenovoda. Za klasifikaciju su važni:

- Raspored mišića, tj. mišićnih ožiljaka - mogu se vidjeti na ljušturicama (**Slika 5.17**).
- Ukrašenost ljušture – obično su one slatkovodne glatke dok se bogatstvo urešenosti može vidjeti kod oblika koji žive u slanoj vodi.

Ostrakodi mogu živjeti u slatkoj, bočatoj ili slanoj vodi, s rasponom pojavljivanja od najplićih okoliša pa sve do 3000 m dubine. Veliki broj vrsta ostrakoda ukazuje na njihovu prilagođenost pojedinom okolišu (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964). Prilikom istraživanja slatkovodnih okoliša od iznimne su važnosti zbog široke rasprostranjenosti i brojnosti jedinki te se relativno često mogu naći u sedimentu u kojima se rijetko nalazi druga makrofauna.



Slika 5.17: *Prikaz građe ostrakoda - desne ljušturice ženke s prikazanim mišičnim ožiljcima (a - antenalni; b - dorzalni; c - mandibularni; f - zatvarači) slobodne vapnenačke lamele (e) i položaja vanjske strane (d) (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1964)*

5.5. Geomatematičke metode

Geomatematika predstavlja novu znanstvenu disciplinu čiji je razvoj usko povezan s onim računalne tehnologije, a temelji se na razvoju odgovarajuće teorije i primjenu matematike u drugim geoznanostima. Iako teorijske postavke određenih geomatemtičkih metoda, npr neuronskih mreža, postoje već od 50-ih godina prošlog stoljeća, važnija primjena i razvoj započet je tek 70ih i 80ih godina sa snažnijim razvojem računala uporabljenih za ponavljanje numeričkih izračuna kod većega broja ulaznih mjerenja i širom dostupnošću računalne (procesorske) snage.

Ona obuhvaća analizu podataka pomoću matematičkih metoda. Tu se podrazumijevaju klasične statističke analize, geostatistički algoritmi za izradbu karata (kriging, kokriging, stohastičke simulacije itsl.) te neuronske mreže. Upravo ova posljednja metoda se prilično rijetko koristi. U ovom radu detaljno su pokazane njezine mogućnosti, tj. moguće primjene, prvenstveno u istraživanju ležišta ugljikovodika te litostratigrafske rasčlambe.

U prijašnjim istraživanjima uporabe neuronskih mreža za obradbu dubinskogeoloških podataka utvrđeno je da je najpovoljniji tip mreže kod analize dubinskih geoloških podataka u HPBS-u onaj s postupkom povratne informacije (CVETKOVIĆ *et al.,* 2009; CVETKOVIĆ & BOŠNJAK, 2010; CVETKOVIĆ *et al.*, 2012; CVETKOVIĆ & VELIĆ, 2012; MALVIĆ, 2006). Shodno tome, samo će taj tip mreže biti opisan i kasnije korišten u obradbi podataka.

5.5.1. Teoretske osnove neuronskih mreža

U posljednjih nekoliko godina neuronske mreže postale su predmet zanimanja mnogih znanstvenika. Našle su svoju primjenu u širokom rasponu temeljno različitih područja istraživanja poput ekonomije, medicine, fizike, inženjerstva i geologije. Neuronske mreže koriste se svugdje gdje se pojavljuju problemi klasifikacije i predviđanja. Velika popularnost i uspješnost neuronskih mreža rezultat su njihove značajke da pomažu u rješavanju kompleksnih zadataka visokom točnošću i da se, uvježbane, lako upotrebljavaju.

Primjena neuronskih mreža vrlo je jednostavna. Neuronska mreža uvježbava se na temelju poznatog skupa podataka algoritmima preko kojih se analizira struktura podataka. Uspješno se primjenjuju u slučajevima koji se ne mogu riješiti linearnim aproksimacijama, a od korisnika se ne traži visoka razina teoretskog znanja, za razliku od slučaja kada bi se problem rješavao nelinearnim statističkim metodama kao u slučaju predviđanja poroznosti

(BHATT, 2002). Nadahnuće za arhitekturu umjetnih neuronskih mreža bila je struktura biološke neuronske mreže. Svojim razvojem od 40-ih godina prošloga stoljeća sve do danas postaju jednostavnije za korištenje i efikasnije u rješavanju problema, tj. predviđanja nepoznatih vrijednosti.

5.5.1.1. Povijest razvoja neuronskih mreža

Prvi model umjetnog neurona bio je predstavljen 1943. godine (McCULLOH i PITTS, 1943). Frank Rosenblatt kasnije razvija arhitekturu neuronske mreže nazvanu „perceptron“ (ROSENEBLATT, 1958). Funkcija perceptrona temeljila se na postavkama memoriranja kakve koristi ljudski um. Nakon Rosenblatta, Bernard Widrow je sa svojim suradnicima razvio novi tip „neurona“ - ADALINE (engl. „ADAptive LINear Element“) s prijenosnom funkcijom $f(x)=x$ i odgovarajućim zakonom učenja.

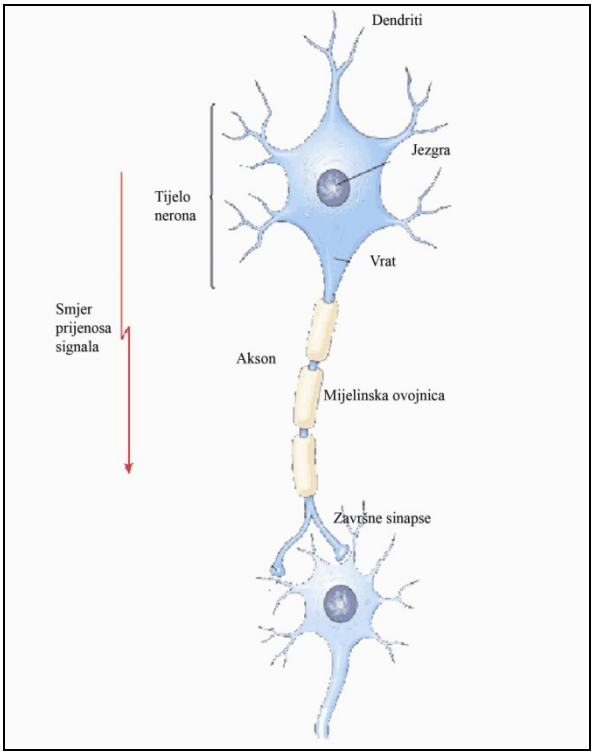
U razdoblju 1967. - 1982. godine pojavljuju se istraživači koji daju znatan doprinos razvoju neuronskih mreža kao Teuovo Kohonen, Kunihiko Fukushima i Stephen Grossberg. Najistaknutiji od te trojice je Teuvo Kohonen. Razvio je nekoliko tipova neuronskih mreža od kojih su neke dobile naziv po njemu. U ovom razdoblju pojavila se i mreža s postupkom povratne informacije (engl. *„back propagation“*). Sredinom 80-ih godina neuronske mreže su se počele brže razvijati, najviše zbog financiranja DARPA-e (Agencija za obrambene istraživačke projekte SAD-a). John Hopfield dao je veliki doprinos popularizaciji neuronskih mreža objavljujući rad koji je postavio paralelu između neuronskih mreža i određenih sustava u fizici (KOHONEN, 1988).

RUMELHART *et al.* (1986) dokazali su veliku primjenjivost i potencijal algoritma za uvježbavanje mreže postupkom povratne informacije. Krajem 80-ih i početkom 90-ih godina neuronske mreže uvode se kao predmet na nekoliko elitnih sveučilišta u SAD. Danas se neuronske mreže podučavaju na većini sveučilišta.

5.5.1.2. Biološka neuronska mreža

Biološki neuron je temeljna jedinica središnjeg živčanog sustava. Ukupni broj neurona u živčanom sustavu čovjeka iznosi oko 10^{11}. Neuroni su svrstani na način da je svaka pojedina skupina zadužena za određene funkcije. Unutar same skupine neuroni su čvrsto povezani tako da na ulaze jednih neurona dolaze izlazi drugih neurona. Veze mogu biti i povratne.

Sam neuron sastoji se od tijela neurona, dendrita i aksona (**Slika 5.18**). Funkcija dendrita je prihvaćanje signala iz drugih neurona. Tijelo neurona također može prihvaćati signale, no više od 90 % signala prenosi se preko dendrita. Signali iz neurona se dalje prenose na druge neurone preko aksona gdje su aksoni jednog neurona izravno povezani s dendritima drugog neurona. Spojevi između dendrita jednog neurona i aksona drugog nazivaju se sinapse. Bitnu ulogu u prijenosu signala imaju neurotransmiteri koji u tisućinki sekunde reguliraju vezu između dendrita i aksona. Proces učenja i pamćenja sastoji se u upravljanju tokova neurotransmitera kojima se pojedine veze pojačavaju, smanjuju ili potpuno prekidaju. Svaka neuronska mreža posjeduje unutrašnji, membranski, potencijal koji iznosi oko -70 mV. Potencijal se konstantno mijenja i kada dođe do postizanja granične vrijednosti dolazi do pobuđivanja drugih neurona preko aksona. Aktiviranje jedne sinapse obično nije dovoljno da dođe do aktiviranja susjednog neurona. Uzastopnim aktiviranjem jedne sinapse u kratkom vremenskom intervalu ili istovremeno aktiviranje više sinapsi može dovesti do izlazne aktivnosti neurona.

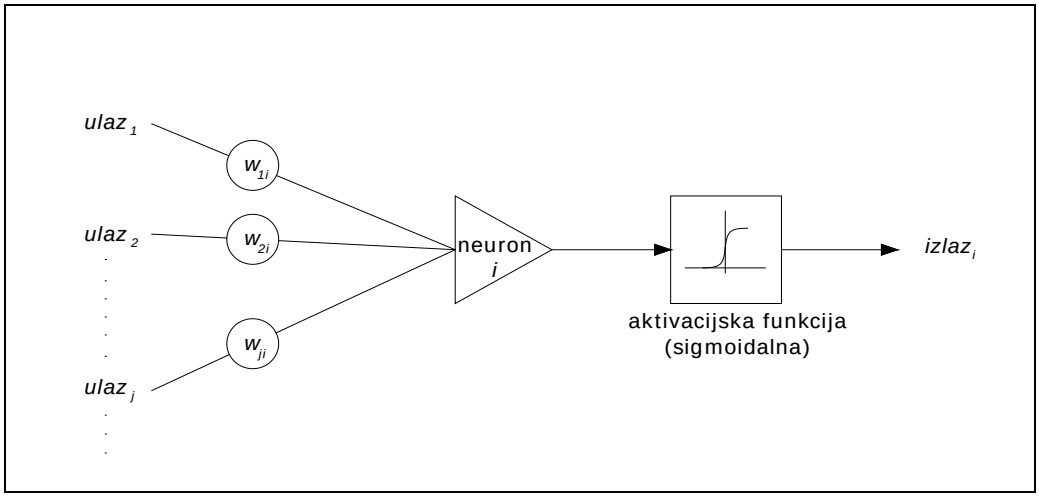


Slika 5.18: *Biološki model neurona*

5.5.1.3. Umjetna neuronska mreža

Umjetna neuronska mreža (UNM) predstavlja sustav od velikog broja jedinica (neurona) koji imaju svojstvo pamćenja podataka koje obrađuju preko vlastite lokalne

memorije. Sustavi umjetnih neuronskih mreža sposobni su za prikupljanje, pamćenje i korištenje eksperimentalnog znanja. Ne postoji jedinstvena definicija umjetne neuronske mreže, no može se prihvatiti ona koju je dao KOHONEN (1988): „Umjetna neuronska mreža je skup međusobno povezanih, jednostavnih elemenata (najčešće elemenata koji se mogu prilagođavati), koji rade paralelno i koji su organizirani na način da je odnos te neuronske mreže, prema objektima u stvarnom svijetu, jednak kao odnos biološkog neuronskog sustava.“.



Slika 5.19: *Prikaz modela umjetnog neurona (iz CVETKOVIĆ, 2007; CVETKOVIĆ et al., 2009); $ulaz_j$ – j-ti ulazni podatak; $w_{1\text{-}ji}$ – težinski koeficijent j-tog ulaza za i-ti neuron; $izlaz_i$ – izlazni podatak iz i-tog neurona*

Matematički model neurona prikazan je kao točka u prostoru do koje se prenose signali iz okolnih neurona (**Slika 5.19**). Veličina utjecaja pojedinog signala na aktivnost neurona određena je težinskim koeficijentom *w* (engl. *weight factor)*. Ukupni ulazni signal matematičkog neurona određen je sumom svih umnožaka težinskih koeficijenata s pripadajućim ulaznim signalom. Ako je ukupni ulazni signal veći od praga osjetljivosti neurona, on je aktivan i izlazni signal ima maksimalnu vrijednost. U suprotnom slučaju, kada je ukupni signal znatno manji od praga osjetljivost, neuron je u neaktivnom stanju i izlazni signal ima minimalnu vrijednost. Prijelaz između aktivnog i neaktivnog stanja naziva se aktivacijskom funkcijom.

Model umjetne neuronske mreže (matematičke) sastoji se od velikoga broja neurona koji su organizirani u slojeve. Osnovna organizacija sastoji se od tri sloja: ulazni, izlazni i skriveni sloj. Ulazni sloj prima signale iz okoline. U našem slučaju signali su parametri koje

želimo obraditi neuronskom mrežom. Signali se prenose iz ulaznog u skriveni sloj gdje se obrađuju. Informacije koje se smatraju važnima prenose se prema izlaznom sloju. Na izlaznom sloju, koji je ujedno i zadnji sloj neuronske mreže, dobivaju se konačni rezultati obradbe ulaznih parametara.

5.5.1.4. Osnovna načela učenja u neuronskim mrežama

Učenje (uvježbavanje) neuronskih mreža zapravo je proces kojim sustav dolazi do vrijednosti težinskih koeficijenata među neuronima. Težinski koeficijent je snaga veze između dva neurona. Ako je neuron *j* povezan s neuronom *i*, w_{ji} označava težinski koeficijent od neurona *j* prema neuronu *i*. Neuron ima određeni broj ulaznih veza, te proizvodi jedan izlaz. Proces dizajniranja neuronske mreže sastoji se od četiri faze (ZAHEDI, 1993):

1. Raspoređivanje neurona u različite slojeve,
2. Određivanje tipa veze između neurona (unutarslojne i međuslojne veze),
3. Određivanje načina na koji neuroni primaju ulazne i proizvode izlaze vrijednosti i
4. Određivanje pravila učenja za prilagođavanje težinskih koeficijenata.

Krajnji rezultat dizajniranja neuronske mreže je njezina arhitektura. Prema gore navedenom procesu dizajniranja, kriteriji za razlikovanje arhitektura neuronskih mreža su:

- Broj slojeva,
- Tip veze između neurona,
- Veza između ulaznih i izlaznih vrijednosti,
- Ulazne i prijenosne funkcije,
- Tip učenja,
- Sigurnost ispaljivanja,
- Vremenske karakteristike i
- Vrijeme učenja.

5.5.1.5. Vrste veza među neuronima

Veze u mreži mogu se ostvariti između dva sloja (međuslojna veza) i između neurona u jednom sloju (unutarslojna veza). Postoje različiti tipovi međuslojnih veza (ZAHEDI, 1993):

- Potpuno povezane – svaki neuron u prvom sloju povezan je sa svakim neuronom u drugom sloju,
- Djelomice povezane – svaki neuron u prvom sloju nužno ne mora biti povezan sa svakim neuronom u drugom sloju,
- Jednosmjerne (engl. *feed forward*) - veze između neurona su jednosmjerne i to tako da neuroni prvog sloja šalju svoje izlaze neuronima u drugom sloju,
- Dvosmjerne – postoji povratna veza kada neuroni drugog sloja šalju svoj izlaz nazad neuronima u prvom sloju,
- Hijerarhijske – neuroni prvog sloja povezani su samo s neuronima drugog sloja i
- Rezonantna – dvosmjerna veza gdje neuroni nastavljaju slati informacije između slojeva sve dok određeni uvjet nije zadovoljen.

Veze neurona u jednom sloju (unutarslojne) mogu biti:

- Ponavljajuće – neuroni u jednom sloju potpuno su ili djelomično povezani. Veza je uspostavljena na način da neuroni svoje izlazne vrijednosti šalju drugim neuronima u sloju nakon što prime ulaze iz prethodnog sloja. Komunikacija među neuronima unutar sloja održava se sve dok se ne postignu stabilni uvjeti. Kad je uvjet stabilnosti postignut, neuronima je dopušteno poslati izlaze u idući sloj.
- Usmjerene na blisko okruženje (engl. *on-center/off-surround*) – u ovoj vezi jedan neuron u sloju ima pobuđujuću vezu prema susjednim neuronima, ali smirujuću vezu prema ostalim neuronima u sloju.

Neuronske mreže se mogu razlikovati s obzirom na veze između ulaznih i izlaznih vrijednosti. One mogu biti:

- Autoasocijativne – ulazni vektor je jednakog sastava kao i izlazni. Ovaj tip veza čest je u problemima prepoznavanja uzoraka,
- Heteroasocijativne – izlazni vektor razlikuje se od ulaznog vektora.

5.5.1.6. Ulazne i aktivacijske funkcije

Da bi se mogli razumjeti glavni tipovi arhitektura neuronskih mreža koji će se koristiti u ovoj disertaciji, osnovno načelo funkcioniranja neuronskih mreža opisano je kroz ulazne i izlazne jednadžbe, prijenosne funkcije i pravila učenja.

Kada neki neuron prima ulaz iz prethodnog sloja, vrijednost njegova ulaza računa se prema ulaznoj funkciji koja se obično naziva ulazna ili „sumacijska funkcija“. Najjednostavnija takva funkcija za neuron *i* određena je množenjem izlaza poslanog od strane neurona *j* prema neuronu *i* s težinom veze između ta dva neurona, zatim sumiranjem tog umnoška za sve neurone *j* povezane s neuronom *i*.

$$\text{ulaz}_i = \sum_{j=1}^{n} (w_{ji} \cdot \text{izlaz}_j) \tag{5.3}$$

U **jednadžbi 5.3** *n* predstavlja broj neurona u sloju koji šalje svoj izlaz primljen od strane neurona *i*.

Nakon primanja ulaza prema gore navedenoj funkciji, neuron šalje izlaz drugim neuronima s kojima je povezan-obično se radi o neuronima u slijedećem sloju. Izlaz neurona računa se prema izlaznoj ili aktivacijskoj funkciji (engl. *activation function*). Najčešće korištene aktivacijske funkcije su:

- Funkcija koraka - izlaz u funkciji s korakom računa se prema **jednadžbi 5.4**:

$$\text{izlaz}_i = \begin{cases} 0, \text{ulaz}_i \le T \\ 1, \text{ulaz}_i > T \end{cases} \tag{5.4}$$

  gdje se T naziva prag funkcije, $T \in R$

- Signum funkcija - upotrebljavala se u prvoj neuronskoj mreži s perceptronima. „Perceptron“ predstavlja poseban oblik funkcije koraka (**jednadžba 5.5**). Danas se rijetko koristi.

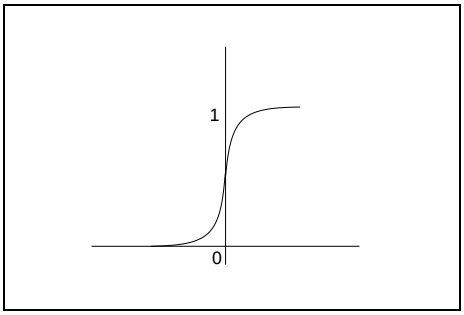
$$\text{izlaz}_i = \begin{cases} 1, \text{ulaz}_i > 0 \\ 0, \text{ulaz}_i = 0 \\ -1, \text{ulaz}_i < 0 \end{cases} \tag{5.5}$$

- Sigmoidna ili logistička funkcija - jedna od najčešće korištenih prijenosnih funkcija u neuronskim mrežama (**Slika 5.20**). **Jednadžba 5.6** po kojoj se računa je:

$$\text{izlaz}_i = \frac{1}{1 + e^{-g \cdot \text{ulaz}_i}} \tag{5.6}$$

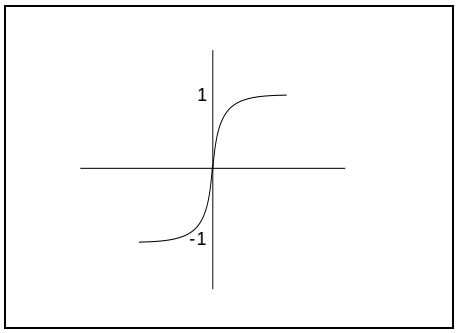
  gdje je $g=1/T$ i naziva se doprinos funkcije. Doprinos određuje zaobljenost funkcije oko nule. Vrijednosti funkcije su realni brojevi iz intervala <0, 1>.

Upotrebljava se u mreži s postupkom povratne informacije i u Hopfieldovoj mreži. Zajedno s hiperboličko-tangentnom funkcijom je najčešće korištena prijenosna funkcija u neuronskim mrežama.



Slika 5.20: *Krivulja sigmoidne aktivacijske funkcije (za g<0)*

- **Hiperboličko-tangentna funkcija** - poseban oblik sigmoidne funkcije. Graf hiperboličko-tangentne funkcije sličan je grafu sigmoidne funkcije samo što je interval vrijednosti funkcije u ovom slučaju <-1, 1> (**Slika 5.21**).



Slika 5.21: *Krivulja hiperboličko tangentne aktivacijske funkcije*

- **Linearna funkcija – jednadžba 5.7** linearne funkcije:

$$\text{izlaz}_i = g \cdot \text{ulaz}_i \qquad (5.7)$$

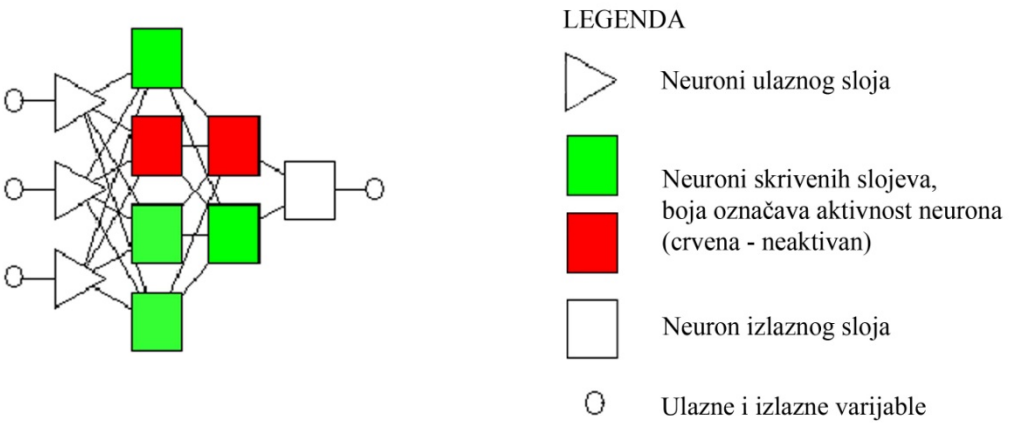
- **Linearna funkcija s pragom** - poseban oblik linearne funkcije gdje neuron ima različitu vrijednost od nule samo ako njegov ulaz dostigne vrijednost praga T (**Jednadžba 5.8**).

$$\text{izlaz}_i = \begin{cases} 0, \text{ulaz}_i \leq T \\ \text{ulaz}_i - T, \text{ulaz}_i > T \end{cases} \quad (5.8)$$

Izbor odgovarajuće aktivacijske funkcije obavlja se u fazi dizajniranja neuronske mreže s time da je moguće naknadno promijeniti vrijednosti praga *T* odnosno doprinosa *g*. Najbolja prijenosna funkcija za određeni problem obično se dobiva eksperimentiranjem.

5.5.1.7. Mreža s postupkom povratne informacije

Algoritam mreže s postupkom povratne informacije (engl. *back propagation algorithm*) bio je prvi algoritam koji je počeo nalaziti široku primjenu. Prvi kreator takve mreže bio WERBOS (1974). To je bila prva mreža koja je sadržavala jedan ili više skrivenih slojeva. Klasičan algoritam mreže s postupkom povratne informacije uključuje optimizaciju pogrješke koristeći deterministički algoritam gradijentnog opadanja. U posljednje vrijeme osim algoritma gradijentnog opadanja pojavili su se i novi algoritmi koji poboljšavaju rezultate. Algoritam koji će se koristiti u ovome radu, osim algoritma gradijentnog opadanja, je algoritam konjugiranog gradijentnog opadanja (engl. *conjugate gradient descent*). Mreža se sastoji od ulaznog sloja, izlaznog sloja i najmanje jednog skrivenog sloja. Mreža s postupkom povratne informacije namijenjena je rješavanju problema s kontinuiranim vrijednostima ulaza i izlaza, tj. više se koristi za predviđanje nego za klasifikacijske probleme. Arhitektura klasične mreže s postupkom povratne informacije prikazana je na **slici 5.22**.



Slika 5.22: *Jednostavan prikaz višeslojne mreže s povratnom informacijom i dva skrivena sloja (engl. multi layer perceptron, MLP) (STATISTICA, 2004)*

Tok podataka u mreži može se opisati sljedećim koracima:

1. Od ulaznog prema skrivenom sloju – ulazni sloj učitava podatke iz ulaznog skupa podataka i šalje ih u prvi skriveni sloj.
2. U skrivenom sloju – jedinice u sloju primaju ulaz korigiran za težinski koeficijent i prenose ga u naredni skriveni sloj, ukoliko ga ima, ili u izlazni sloj koristeći aktivacijsku funkciju.
3. Kako informacije putuju kroz mrežu, zbrajaju se ulazi i izlazi za svaku jedinicu obradbe.
4. U izlaznom sloju – za svaku jedinicu obradbe računa se pogrješka za tu jedinicu koja se dalje koristi u određivanju težina.
5. Širenje unazad od izlaznog sloja do skrivenih slojeva – daljnja obradba sirove pogrješke i prilagođavanje težina.

Dva najveća problema u mreži s postupkom povratne informacije su lokalni minimum i preuvježbavanje (engl. *overtrainig*). Prvi problem nastaje zbog načina na koji se pogrješka širi kroz mrežu. Može se dogoditi da uvježbavanje minimalizira pogrješku samo lokalno. Problem preuvježbavanja je univerzalni problem svih algoritama neuronskih mreža. Pojavljuje se kada mreža savršeno nauči uzorak za uvježbavanje te više nije u mogućnosti generalizirati na nepoznatom (testnom) uzorku.

5.5.1.8. Postupak učenja i pregled vrijednosti uspješnosti mreže

Nakon pripremljenih skupova ulaznih i očekivanih podataka te određivanje graničnih vrijednosti konstrukcije UNM (maksimalan broj skrivenih slojeva i neurona u tim slojevima) pristupa se postupku učenja. Postupak učenja iteracijski je proces preraspodjele težinskih koeficijenata po slojevima i neuronima unutar njih koji teži smanjivanju pogrješke, tj. razlike dobivenog i očekivanog rezultata. Uobičajeni broj koraka ili ciklusa učenja potreban za uvježbavanje mreže varira ovisi o vrsti podataka, obično je u rasponu od 100 do 10 000. Kao primjer, za određivanje litološkog sastava u prosjeku je potrebno od 200 do 1000 koraka (CVETKOVIĆ, 2007), od 1000 do 5000 koraka za predviđanje dubinsko vremenskih odnosa prilikom izradbe strukturnih karata (VUKIČEVIĆ, 2013), a u rijetkim slučajevima i do 30 000 koraka kod predviđanja litofacijesa na temelju električnog sonidranja (SINGH *et al.*, 2013)

Potrebno je napomenuti da moderni programi, poput StatSoft STATISTICA™ 10, koji je korišten u ovom radu, koristi dio skupa ulaznih podataka za uvježbavanje mreže, a dio za utvrđivanje sposobnosti mreže za predviđanje varijable ili validaciju. U potonjem slučaju radi se o litološkom sastavu i vrijdnostima SP-a i R_{16} te R_{64} koje UNM nije imala prilike obraditi u postupku učenja. Na taj način izbjegava se mogućnost preuvježbavanja mreže. Negativna strana ovog postupka je da se skup nasumično dijeli, a broj slučajeva koji se koristi za uvježbavanje i provjeru ili selekciju je proizvoljan. Načelno, kod velikog broja slučajeva (>100) ovakvi problemi ne bi smjeli nastajati.

Uspješnost uvježbavanja mreže opisuje se kroz dvije vrijednosti:

- Pogrješku uvježbavanja – prikazuje srednju vrijednost odstupanja predviđenih od očekivanih rezultata za slučajeve na kojima se mreža uvježbavala;
- Pogrješku selekcije – prikazuje srednju vrijednost odstupanja predviđenih od očekivanih rezultata za slučajeve iz skupa za provjeru sposobnosti predviđanja varijable.

U slučaju obje male vrijednosti pogrješke, može se smatrati da je mreža uspješno uvježbana i spremana za testiranje s novim podatcima.

5.5.1.9. Skupovi mreža

Skupovi (engl. *ensemble*) UNM ponekada se koriste ukoliko korištenje jedne UNM ne daje dovoljno dobre rezultate. Skup se sastoji od dvije ili više mreža koje se dodatno međusobno natječu za konačnu vrijednost predviđene varijable. U ovakvu arhitekturu mogu

se kombinirati različiti tipovi UNM, a ne samo pojedine vrste. Rezultat ovakvog skupa u slučaju predviđanja linearnih varijabli je srednja vrijednost predviđene pojedinačnim UNM, a u slučaju predviđanja kategoričkih varijabli rezultat se određuje „većinom glasova“, tj. rezultat je onaj kojeg su u najviše slučajeva UNM predvidjele.

5.5.2. Predviđanje litološkog sastava iz elektrokarotažnih dijagrama

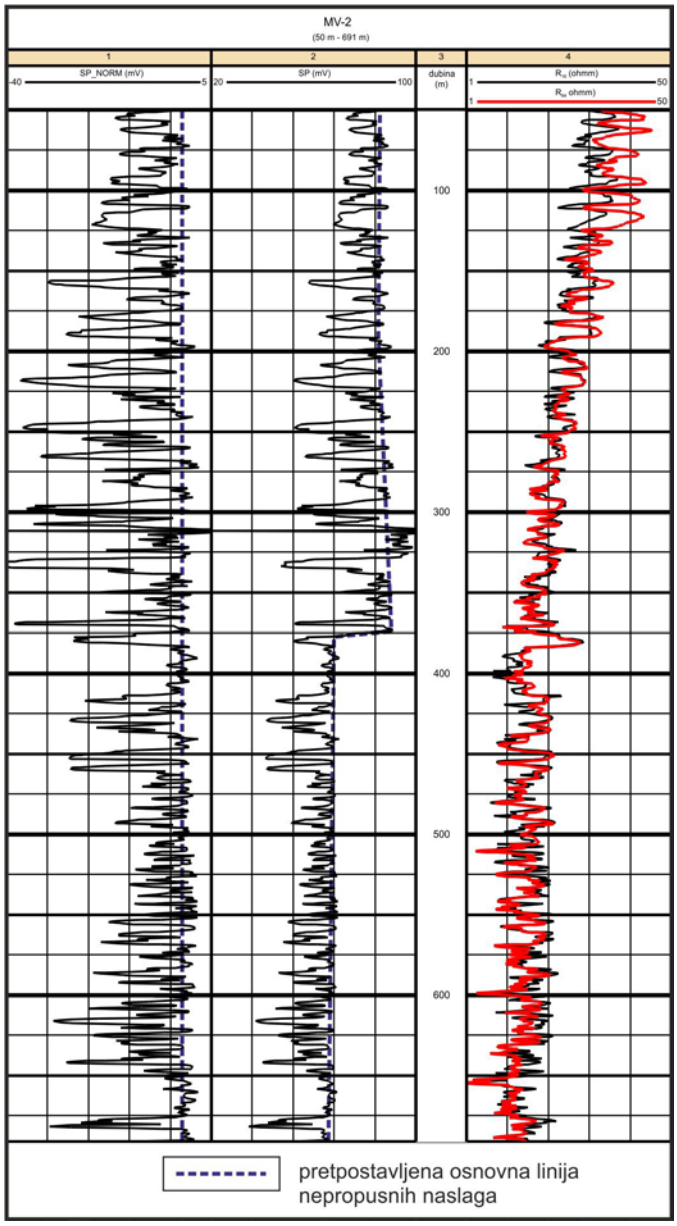
Klasično određivanje litološkog sastava na temelju karotažnih krivulja opisano je u **potpoglavlju 5.1.1.1**. Takav postupak je dugotrajan, a rezultati odredbe uvelike ovise o interpretatoru. Za potrebe utvrđivanja propusnih i nepropusnih intervala s velikom točnošću, uspješno se mogu koristiti umjetne neuronske mreže na način koji je opisan u narednom tekstu.

Karotažni dijagrami općenito predstavljaju vrlo dobru vrstu podataka za obradbu geomatematičkim metodama, prvenstveno zbog vrlo velikog broja dostupnih mjerenja. Digitalizacija starih, analognih EK dijagrama načinjena je s gustoćom od dva (razlučivost 0,5 m), osam (razlučivost 0,125 m) ili deset (razlučivost 0,1 m) točaka po jednom metru karotažne krivulje, ovisno o načinu digitalizacije. Prema tome, osnovni uvjet za uspješnu uporabu geomatematičkih metoda, a to je brojnost mjerenja, osiguran je već s dostupnim kratkim intervalima EK dijagrama. Varijable korištene u postupku učenja, s obzirom na ograničenost dostupnih podataka, su krivulja spontanog potencijala (SP) te krivulje otpornosti snimane kratkom (R_{16}) i dugom normalom (R_{64}).

5.5.2.1. Priprema ulaznih podataka za predviđanje litološkog sastava

Osnovno kod bilo koje analize statističkim metodama je da brojčane vrijednosti, tj. rasponi vrijednosti, za pojedine varijable budu u istim rasponima. Problem koji se javlja kod korištenja podataka konvencionalne karotaže je nekonzistentnost odgovarajućeg litološkog sustava vezanog uz numeričke vrijednosti krivulje SP-a (**Slika 5.23**). Primjerice, za pješčenjake u vrlo bliskim bušotinama, razlike mogu biti u čak 70 % vrijednosti SP-a u mV. Takve velike razlike posljedica su:

- Temperature u podzemlju,
- Odnosu saliniteta isplake i slojne vode te
- Postavaka same sonde.



Slika 5.23: *Razlike u vrijednostima osnovne linije kod krivulje SP-a u bušotini MV-2 te prikaz normalizirane vrijednosti krivulje spontanog potnecijala (SP_norm)*

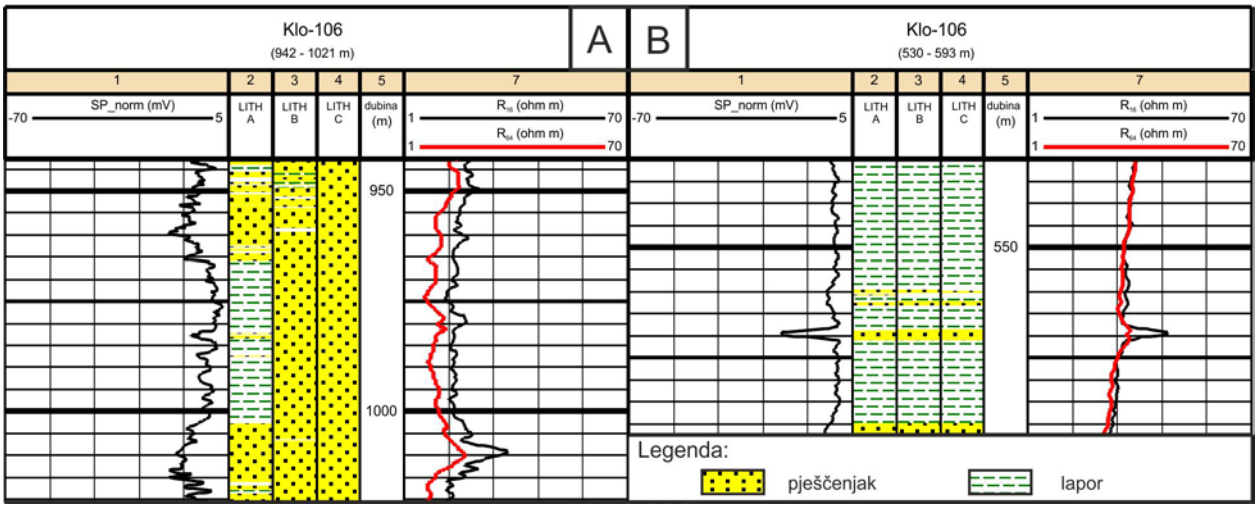
Obavezan postupak prije pripreme podataka je normalizacija krivulje SP-a, tj. potrebno je načiniti normaliziranu krivulju SP-a (SP_norm). Bez ovakvog postupka primjena UNM je ograničena na naslage vrlo malog dubinskog raspona i samo unutar jedne bušotine (CVETKOVIĆ *et al*. 2009), tj. moguća je bila samo 1D ekstrapolacija predviđanja.

Ulazni skup podataka ne mora biti ograničen samo na EK krivulje. Dapače, poželjno je što više ulaznih varijabli, tj. karotažnih krivulja, koje mogu ukazivati na litološki sastav stijene, poput prirodne radioaktivnosti (GR), kompenzirane neutronske karotaže (CN), gustoće (DEN) i brzine prolaza zvučnih valova (AC). Nabrojane karotaže su iznimno rijetko

snimane u naslagama trećeg neogensko-kvartarnog megaciklusa te će podrobnije biti opisana uporaba EK krivulja za predviđanje litološkog sastava.

Cilj ovakve analize je uspješno predviđanje litološkog sastava, tj. propusnog ili nepropusnog dijela, za slične tipove naslaga. To podrazumijeva konglomerate, breče, pješčenjake, šljunke i pijeske te lapore, šejlove i gline kao dvije krajnje vrijednosti. Također, mogućnost predviđanja ne smije biti prostorno usko ograničena kao u CVETKOVIĆ *et al.* (2009). Prema CVETKOVIĆ *et al.* (2012) i CVETKOVIĆ & VELIĆ (2012) pri odabiru ulaznog skupa utvrđeno je sljedeće:

- Podatci za uvježbavanje moraju biti prikupljeni u najmanje dvije bušotine, prostorno dovoljno udaljenje, kako bi se izbjegao mogući utjecaj lokalnih litoloških posebnosti.
- Dostupnost većeg broj ulaznih slučajeva (mjerenja) za uvježbavanje važniji je kriterij od grupiranja slučajeva. Pogrešan pristup je grupiranje slučajeva isključivo prema npr. litostratigrafskoj ili kronostratigrafskoj pripadnosti. **Slika 5.24** prikazuje dva različita pristupa uvježbavanja neuronskih mreža za predviđanje litološkog sastava miocenskih klastita. Daleko bolji rezultati postignuti su kada je uvježbavanje i predviđanje bilo načinjeno za cijeli interval nego za svaku formaciju posebno.
- Skup za uvježbavanje mora osim vrijednosti za propusne i nepropusne intervale sadržavati i točke prijelaza, tj. vrijednosti blizu točke infleksije na krivuljama. Pogrješan pristup je izbjegavati to područje, tj. koristiti za uvježbavanje samo vrijednosti za gotovo čiste pješčenjake/pijeske i lapore/gline. Tako uvježbane neuronske mreže često imaju iznimno dobre rezultate uvježbavanja (minimalne pogrješke), no vrlo loše rezultate predviđanja.



Slika 5.24: *Prikaz uspješnosti neuronskih mreža uvježbanih na cjelovitom intervalu bušotine (A), u svakoj formaciji pojedinačno (B) i skupom mreža uvježbanih na pojedinim formacijama (C) iz CVETKOVIĆ & VELIĆ (2012)*

Nakon odabira skupa ulaznih podataka za uvježbavanje, UNM na raspolaganju mora biti dostupan i skup očekivanih rezultata. Takav skup može se načiniti konvencionalnim određivanjem litološkog sastava iz EK krivulja ili iz podataka dobivenih petrografskim analizama jezgara. Pošto je količina dostupnih jezgara u naftnim bušotinama, bilo one razradne ili istražne, minimalna, bolji izvor podatka je svakako litološki sastav određen na temelju EK krivulja.

Litološki sastav opisuje se kao kategorička varijabla, za razliku od vrijednosti EK krivulja koje su opisane kao kontinuirane varijable. To znači da predviđena vrijednost može biti „propusno“ ili „nepropusno“ bez prijelaznih litofacijesa.

5.5.2.2. Konstrukcija UNM za predviđanje litološkog sastava i pregled vrijednosti uspješnosti mreža

Umjetne neuronske mreže MLP tipa u teoriji mogu imati neograničeni broj skrivenih slojeva te neurona unutar njih. Praktično, zbog izbjegavanja problema preuvježbavanja te dugotrajnog procesa učenja, broj skrivenih slojeva ograničava se na maksimalno tri, dok se broj neurona unutar tih slojeva utvrđuje iskustvenom metodom. Za potrebe utvrđivanja litološkog sastava, najmanji broj neurona u skrivenom sloju ne bi smio biti manji od broja neurona u ulaznom sloju. Najveći broj neurona u skrivenom sloju je proizvoljan, ali se preporuča da ne bude više od 15 puta veći od broja neurona u ulaznom sloju (CVETKOVIĆ & VELIĆ, 2012). Najbolji rezultati za predviđanje litološkog sastava na temelju tri ulazne

varijable, iz EK dijagrama SP, R_{16} i R_{64}, postignuti su kod UNM s dva skrivena sloja i od pet do 30 neurona u tim skrivenim slojevima (CVETKOVIĆ *et al.*, 2012; CVETKOVIĆ & VELIĆ, 2012).

Za predviđanje litološkog sastava naslaga trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa najbolje se prema CVETKOVIĆ *et al.* (2012) pokazalo sljedeće:

- Ukupno je uvježbano 500 umjetnih neuronskih mreža na podatcima prikazanim u **Tablici 5.4**, od kojih je izdvojeno 10 najuspješnijih mreža s izračunatim pogrješkama do 6 % u predviđanju podataka na temelju skupa za uvježbavanje;
- Prilikom provjere predviđanja utvrdilo se da je predviđanje najuspješnije iz skupa 10 najuspješnijih mreža.

Tablica 5.4: *Prikaz parametara uvježbanih mreža za predviđanje litološkog sastava*

Interval uvježbavanja	Građa mreže	Pogrješka uvježbavanja (%)	Pogrješka predviđanja (%)
sve formacije	MLP 3-10-3	2,61359	2,62664
Formacija Široko Polje	MLP 3-40-2	0,56772	0,76336
Formacija Kloštar Ivanić	MLP 3-19-2	5,9754	6,73077
Formacija Ivanić-Grad	MLP 3-10-2	0,34364	0
Formacija Prkos	MLP 3-33-2	2,33918	2,94118

Treba napomenuti da se za potrebe predviđanja litološkog sastava, pogrješke od 5 do 10 % smatraju prihvatljivim. Naime, ovi naoko veliki iznosi rezultat su definiranja rezultata kao kategoričke varijable. Drugim riječima, pogrješno predviđen litološki sastav za skup ulaznih vrijednosti ujedno predstavlja potpunu pogrješku od 100 % dok kod linearnih varijabli načelno utječe s manjim postotkom.

5.5.3. Određivanje EK markera pomoću geomatematičkih metoda

Kako je već ranije objašnjeno, EK markeri su najčešće vrlo prepoznatljivi oblici koji se mogu dobro raspoznati na krivuljama specifične otpornosti (VRBANAC, 2002). U pravilu, radi se o motivima unutar debeloslojevitih lapora drugog megaciklusa taloženih na velikom bazenskom području s vrlo malim varijacijama u granulometrijskom sastavu, najčešće uzrokovanih promjenama razine vode.

Sedimentacijski okoliši trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa izrazito su se promijenili o odnosu na starije. Lokalni donos i izmjene u energiji taloženja odražava se učestalim izmjenama litološkog sastava od pješčenjaka/pijesaka do šejlova/glina. Izostanak prepoznatljivih motiva onemogućuje uporabu neuronskih mreža u svrhu predviđanja EK markera. Za opisivanje markera unutar formacije Lonja korišten je pristup prepoznavanja trendova promjene vrijednosti spontanog potencijala i prividne otpornosti, tj. vrijednosti standardne devijacije podataka. Vrijednosti, tj. njihova kumulativna krivulja, ukazuju na učestalost izmjene litološkog sastava uzrokovanu promjenom okoliša taloženja i klimatskim uvjetima, slično kao što je opisano kod definicije EK markera-repera Q' (URUMOVIĆ *et al*., 1978; HERNITZ *et al*., 1980). Pretpostavka je da se ovim načinom mogu utvrditi rezultati klimatskih promjena tijekom pliocena te posebice pleistocena. Valja napomenuti da su za potvrđivanje vidljivosti motiva ovim metodama korištene krivulje SP-a, R_{16} i R_{64} razlučivosti od 0,5 i 0,125 m kako bi se utvrdila iskoristivost metode u oba slučaja.

5.5.3.1. Standardna devijacija

Standardna devijacija označava se grčkim slovom σ i predstavlja mjeru odstupanja podataka od srednje vrijednosti. Iznos standardne devijacije može se opisati **jednadžbom 5.9**:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2} \qquad (5.9)$$

gdje je:

n – broj slučajeva u skupu podataka

μ – srednja vrijednost skupa podataka

x_i – i-ti član skupa

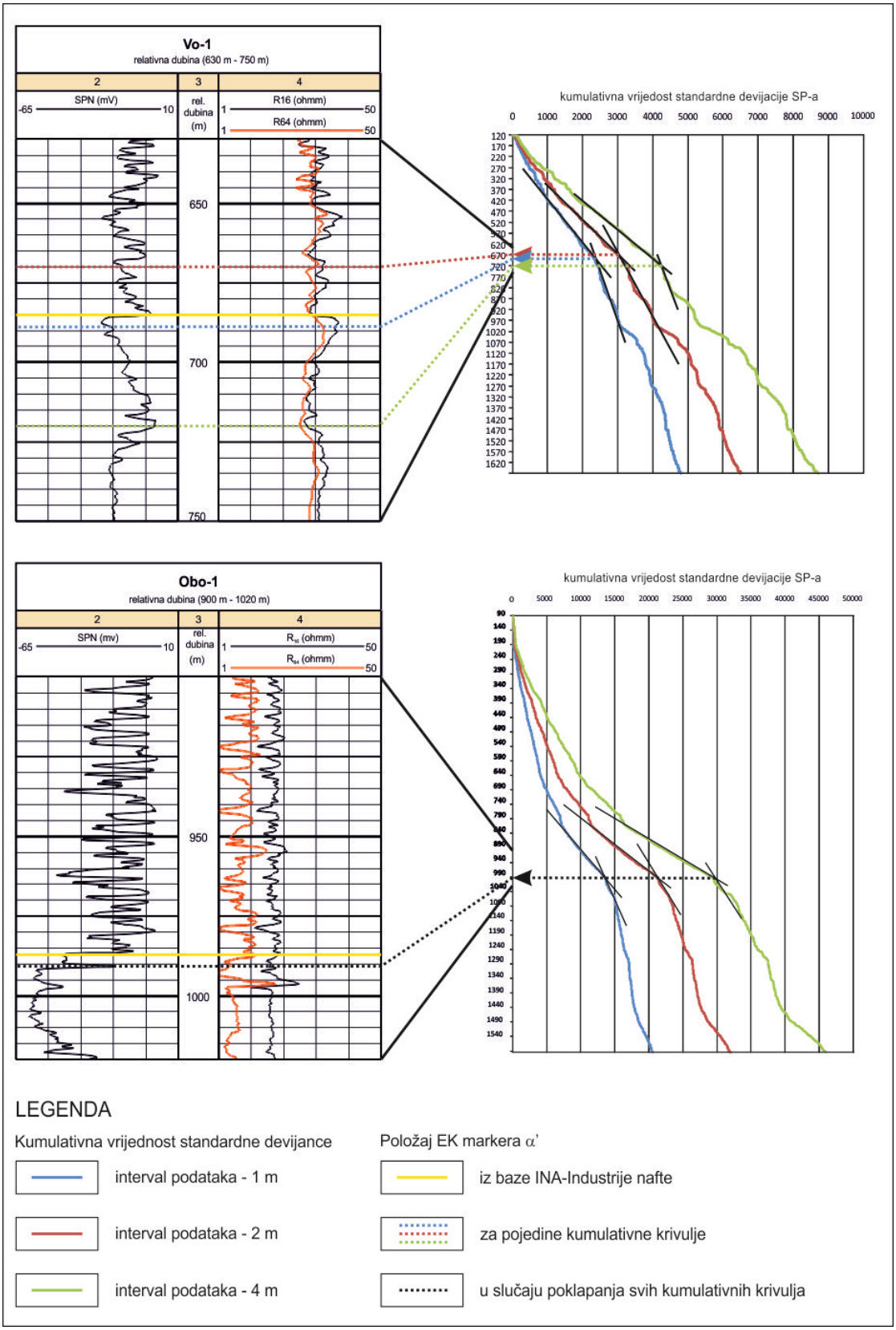
Prema tome, male vrijednosti σ ukazuju na to da točke u promatranom skupu imaju slične vrijednosti, dok u suprotnom slučaju se vrijednosti značajno razlikuju. Kod analiza EK

krivulja, vrijednosti standardne devijacije pomoći će da se utvrdi učestalost izmjene litološkog sastava u podzemlju.

5.5.3.2. Primjena metode za utvrđivanje poznatog EK markera α'

Za razradbu ove metode odabrane su dvije prostorno udaljene bušotine, Voloder – 1 (Vo-1) i Oborovo – 1 (Obo-1). Standardna devijacija podataka krivulje SP-a načinjena je u tri različita intervala koji su korišteni za izračun – jedan, dva i četiri metra, od kojih je načinjena kumulativna krivulja (**Slika 5.25**). Ovakav pristup u osnovi sličan je proučavanju promjene kuta nagiba slojeva snimljenih dipmetrom (BENGSTON, 1981; VELIĆ *et al*., 2012).

Promatrane su dijelovi krivulje s konstantnim nagibom iz kojih su načinjeni pravci koje opisuju trend tih sekcija. Sjecište pravaca funkcija ukazuje na dubine promjena u taložnom okolišu (prvenstveno energiji) kao odraz češće ili umjerenije izmjene litofacijesa i ukazuje na smjestište potencijalnih markera. Sjecište dviju tangenta prilikom drastičnog ublažavanje nagiba krivulja u oba slučaja približno se podudara s pozicijom interpretiranog EK markera α' **(Slika 5.25)** iz baze INA-Industrije nafte d.d. Blaže položena krivulja dubljih naslaga ukazuje na homogenizaciju krivulje SP-a, tj. izmjenu deblje slojevitih pješčenjaka i lapora karakterističnu za naslage formacija Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje. Promjene u nagibima ovakvih kumulativnih krivulja standardne devijacije koristit će se za utvrđivanje članova unutar formacije Lonja što je jedan od zadanih ciljeva ovoga rada.



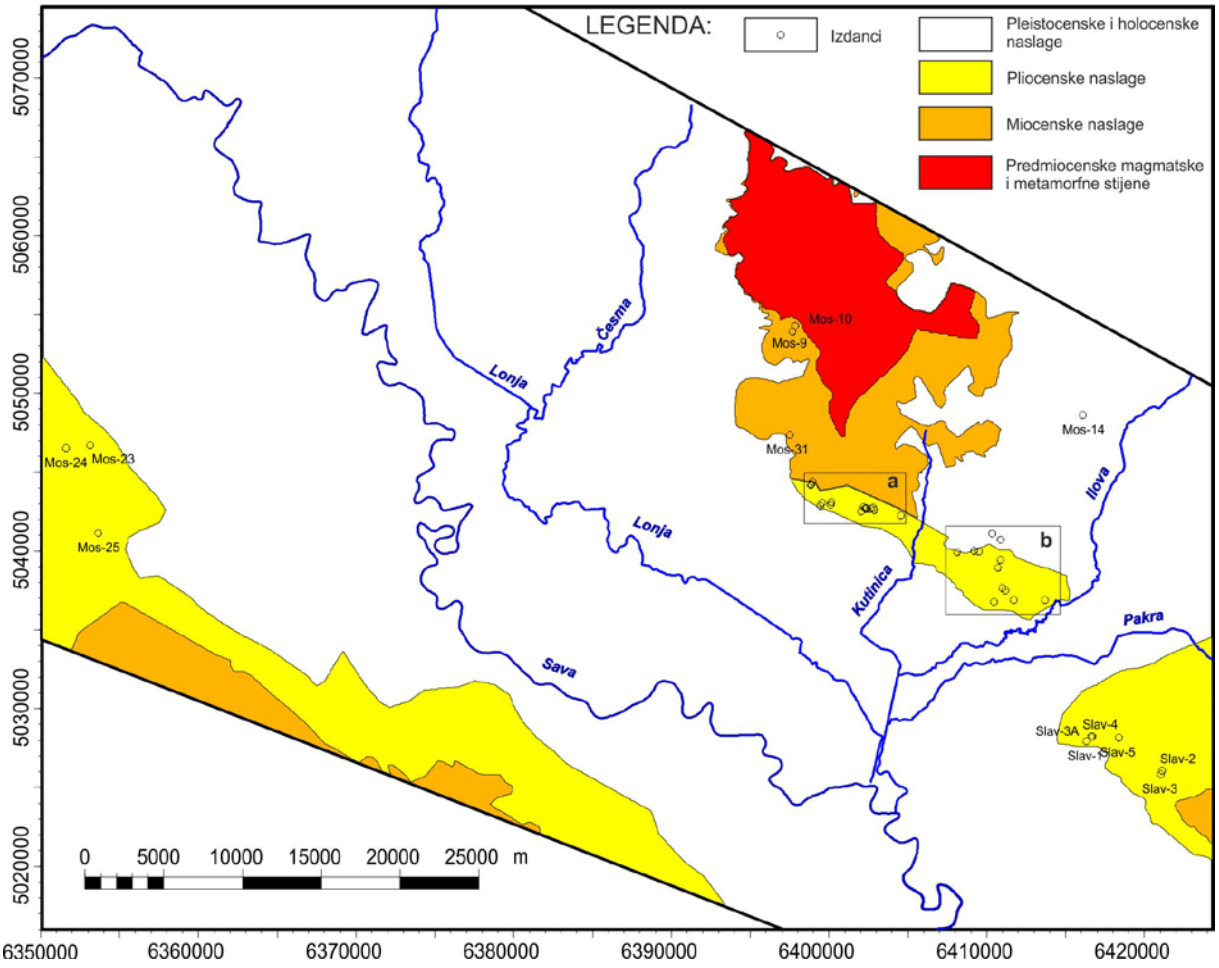
Slika 5.25: *Prikaz karotažnih krivulja bušotina Vo-1 i Obo-1 i kumulativnih krivulja standardne devijacije (CVETKOVIĆ & MALVIĆ, 2013)*

6. PRIKUPLJANJE I PRIPREMA POVRŠINSKIH I DUBINSKIH PODATAKA ZA OBRADBU NASLAGA TREĆEGA NEOGENSKO KVARTARNOG MEGACIKLUSA ISTRAŽIVANOGA PODRUČJA

Za opisivanje naslaga trećega negensko-kvartarnoga megaciklusa, s obzirom na pretpostavljenu složenost potpovršinskih odnosa proizašlu iz ograničenih, manjih taložnih okoliša i znatnih tektonskih utjecaja (VELIĆ, 1990; SAFTIĆ 1993; PRELOGOVIĆ *et al.*, 1998; LUČIĆ *et al.*, 2001; MALVIĆ & VELIĆ, 2011), potrebna je velika količina podataka. Neki od tih podataka već su postojali u obliku geoloških izvještaja pojedinih bušotina, dostupnih EK krivulja te seizmičkih profila, no potrebno je bilo i prikupljanje uzoraka na terenu za laboratorijske analize. U narednom tekstu prikazana su smjestišta svih dostupnih podataka korištenih u ovom istraživanju počevši s onima prikupljenim terenskim obilaskom rijetkih dostupnih izdanaka.

6.1. Terenska istraživanja

Terenska istraživanja obuhvatila su izdanke na područjima Vukomeričkih gorica kao krajnji jugozapadni rub područja istraživanja, južne obronke Moslavačke gore te područje oko brda Gojlo i naselja Lipovljani. Osnovni cilj istraživanja bili su izdanci pretpostavljene pliocensko-pleistocenske starosti na kojima je utvrđen litološki sastav te eventualne posebnosti poput prisutnosti fosilnog sadržaja, pojava ugljena/treseta i izdanaka nafte. Nekoliko točaka obuhvatilo je i starije stijene kako bi se utvrdilo bočno rasprostiranje formacije Lonja, tip kontakta sa starijim stijenama te prisutnost miocenskih naslaga na Moslavačkoj gori. Utvrđeni izdanci prikazani su prema pojedinim područjima.



Slika 6.1: *Prikaz smještišta utvrđenih izdanaka (područje a -* ***Slika 6.2****; područje b -* ***Slika 6.5****)*

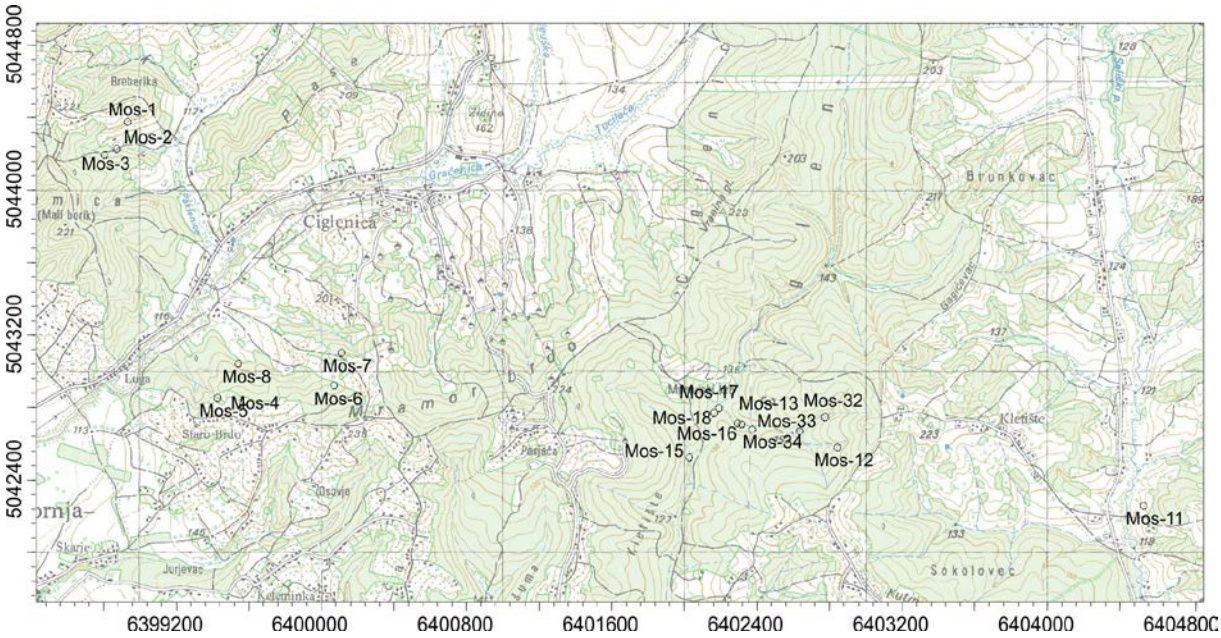
6.1.1. Vukomeričke Gorice

Krajnji jugozapadni dio istraživanog područja pripada Vukomeričkim goricama i terenima na listu OGK Sisak. Reljef terena blago je razveden s nadmorskim visinama do 150 m. Iako su prema navedenom listu OGK prikazane naslage pliocenske starosti, izdanci su vrlo rijetki, mali i mogu se naći jedino u bujičnjacima i koritima povremenih tokova. Općenito, radi se o izmjeni zelenosivih laporovitih glina, smeđih i zelenih pijesaka, šljunaka, mjestimice s vrlo debelim slojevima lignita (> 2 m).

6.1.2. Južni obronci Moslavačke gore

Ovaj dio Hrvatske spada u jedno od područja s lokacijama najstarijih geoloških istraživanja, prvenstveno zbog izdanaka nafte u okolici Mikleuške (GRETIĆ & BOBIĆ, 2002; ŽGALJIĆ, 1985). Kao i kod ostalih lokaliteta, istraživanja su bila usmjerena na izdanke

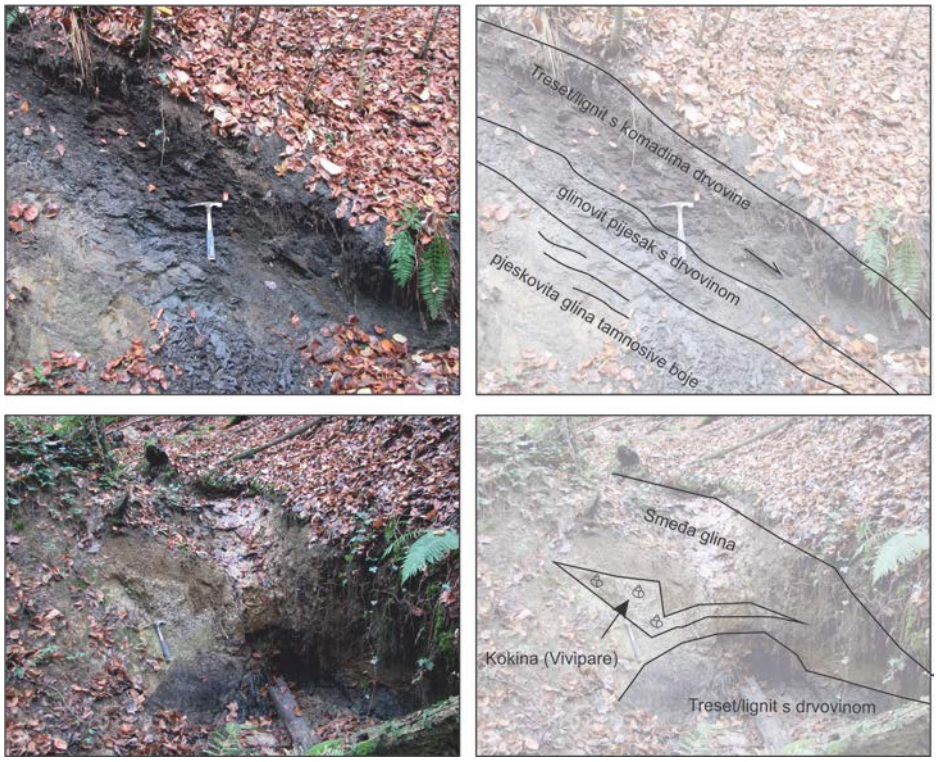
pliocenske starosti prema listovima OGK, u ovom slučaju lista Kutina (CRNKO, neobjavljeno). Na izdignutim dijelovima zapadnog ruba Moslavačke gore naslage pliocena nisu utvrđene. Mjestimice se mogu naći slabo konsolidirani pijesci smeđe boje, koji prema svom izgledu odgovaraju gornjopontskim pijescima, te badenski vapnenci (Točke Mos-9 i Mos-10, **Slika 6.1)**.



Slika 6.2: *Prikaz utvrđenih izdanaka na južnim obroncima Moslavačke gore - područje a (Slika 6.1)*

Uz sami južni rub Moslavačke gore, u potoku Repušnica utvrđen je prvi karakteristični profil izdanaka naslaga pliocenske starosti. Mjestimice se radi o fosilno iznimno bogatim prahovitim glinama i pijescima s proslojcima ugljena decimetarskih do metarskih dimenzija.

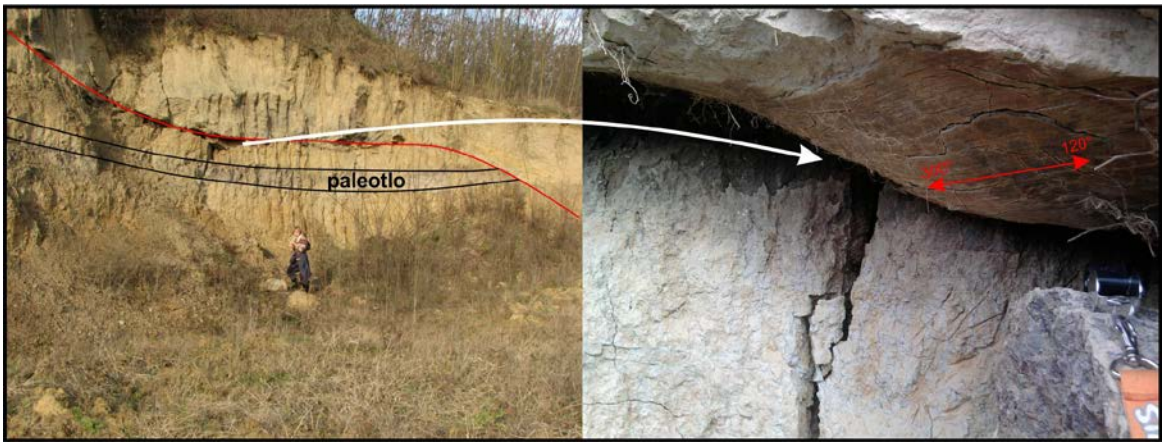
Ugljeni koji se nalaze na ovim lokalitetima nisu primarni, već pretaloženi i vrlo često asocirani sa sedimentima okoliša velike energije – pijescima, šljunkovitim pijescima i kokinama u kojima prevladavaju vivipare (**Slika 6.3**). Fosilni sadržaj mjestimice je iznimno bogat s brojnim jedinkama puževa rodova *Viviparus, Melanopsis, Theodoxus* te školjkaša iz roda *Unio.*



Slika 6.3: *Izdanci ugljena na južnim obroncima Moslavačke gore, zapadno od naselja Kletište*

6.1.3. Glinokop Garešnica

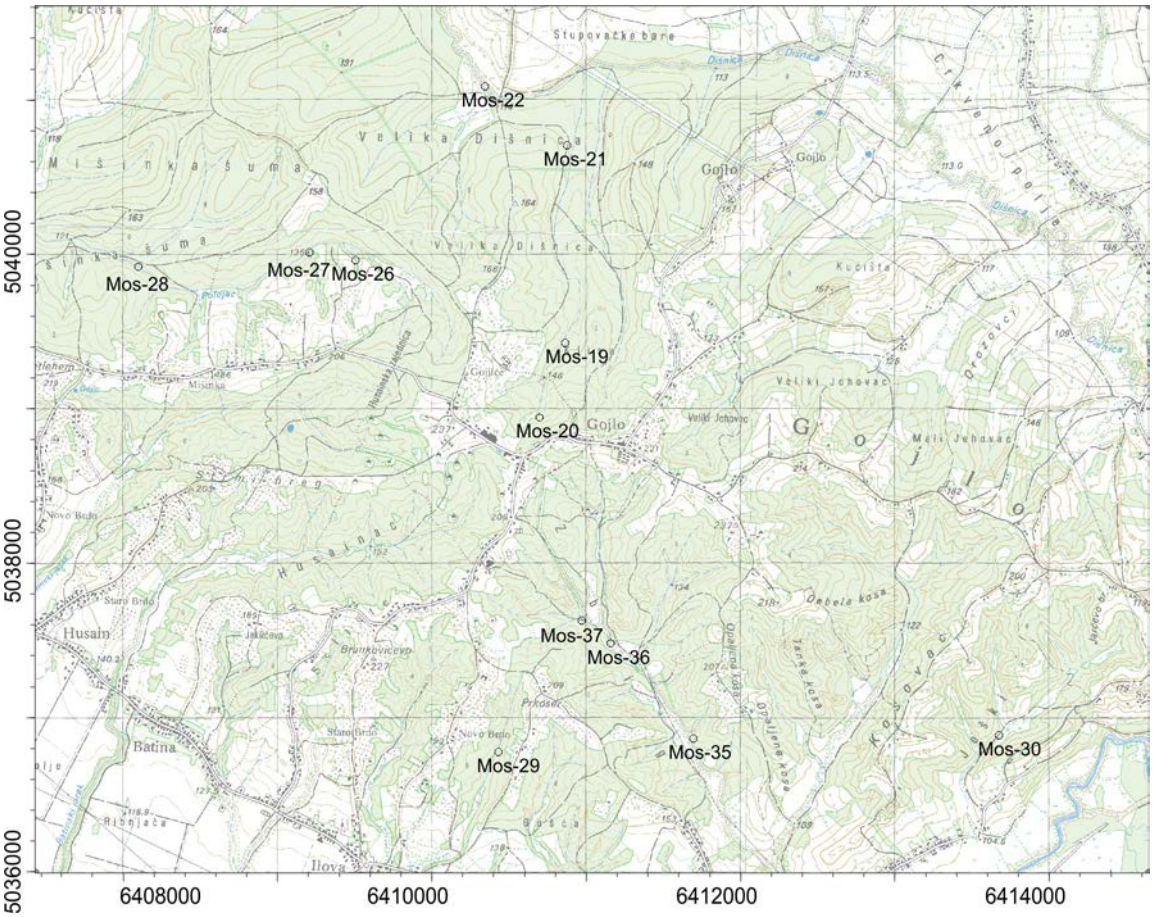
Izdvojena točka na sjeveru, smještena u glinokopu pored Garešnice, uključena je zbog otkrivenih, pretpostavljeno najmlađih naslaga u kojima je vidljiva neotektonska aktivnost reverznog karaktera. Na smjestištu u glinovito-prahovitim naslagama s vidljivim horizontom paleotla, zamjećena je izražena rasjedna ploha blagog kuta nagiba sa strijama (**Slika 6.4**) kao jedna od brojnih dokaza utjecaja kompresijske tektonike tijekom završne faze geološkog razvoja istraživanog područja.



Slika 6.4: *Profil izdanka u glinokopu pored Garešnice - naznačeno paleotlo te rasjedna ploha sa strijama*

6.1.4. Područje brda Gojlo

Područje okolice brda Gojlo predstavlja tektonsko izdignuće između Moslavačke gore na sjeverozapadu i Psunja na jugoistoku. Površinski izdanci prema listu OGK Kutina (CRNKO, neobjavljeno) pripadaju većinom naslagama pliocenske starosti.



Slika 6.5: *Prikaz utvrđenih izdanaka na području brda Gojlo - područje b (Slika 6.1)*

Rijetki izdanci u bujičnjacima te povremenim i stalnim potocima obično se sastoje od izmjena masnih, plavozelenih glina, prahovitih glina te sitno- i srednjozrnatih pijesaka s mjestimičnim uloščima leća treseta i s komadima pougljene drvovine. Nerijetko, može se naći iznimno bogata fosilna fauna (**Slika 6.6**) koju čine puževi rodova *Viviparus, Melanopsis* i *Theodoxus* te fauna školjkaša koja se sastoji od rodova *Unio* i *Pisidium*.

Slika 6.6: *Iznimno bogati slojevi sa školjkašima (lijevo) i slijed naslaga sa sjeverne strane brda Gojlo s izmjenom plave gline u dnu iskopa, šljunkovite kokine crvenosmeđe boje i glinovitog pijeska plavozelene boje s komadima drvovine (desno)*

Pojave drvovine i sekundarnog treseta su česte. Obično se nalaze u asocijaciji s prahovitim i glinovitim sedimentima za razliku od područja Moslavačke gore gdje su često bili povezani s pijescima.

Jedna od posebnosti južne strane Gojla je izdanak nafte utvrđen točkom Mos-36 (**Slika 6.5**) gdje iz pijesaka s Viviparama, kada se sloj „zagrebe“ geološkim čekićem, istječe biodegradirana nafta (**Slika 6.7**).

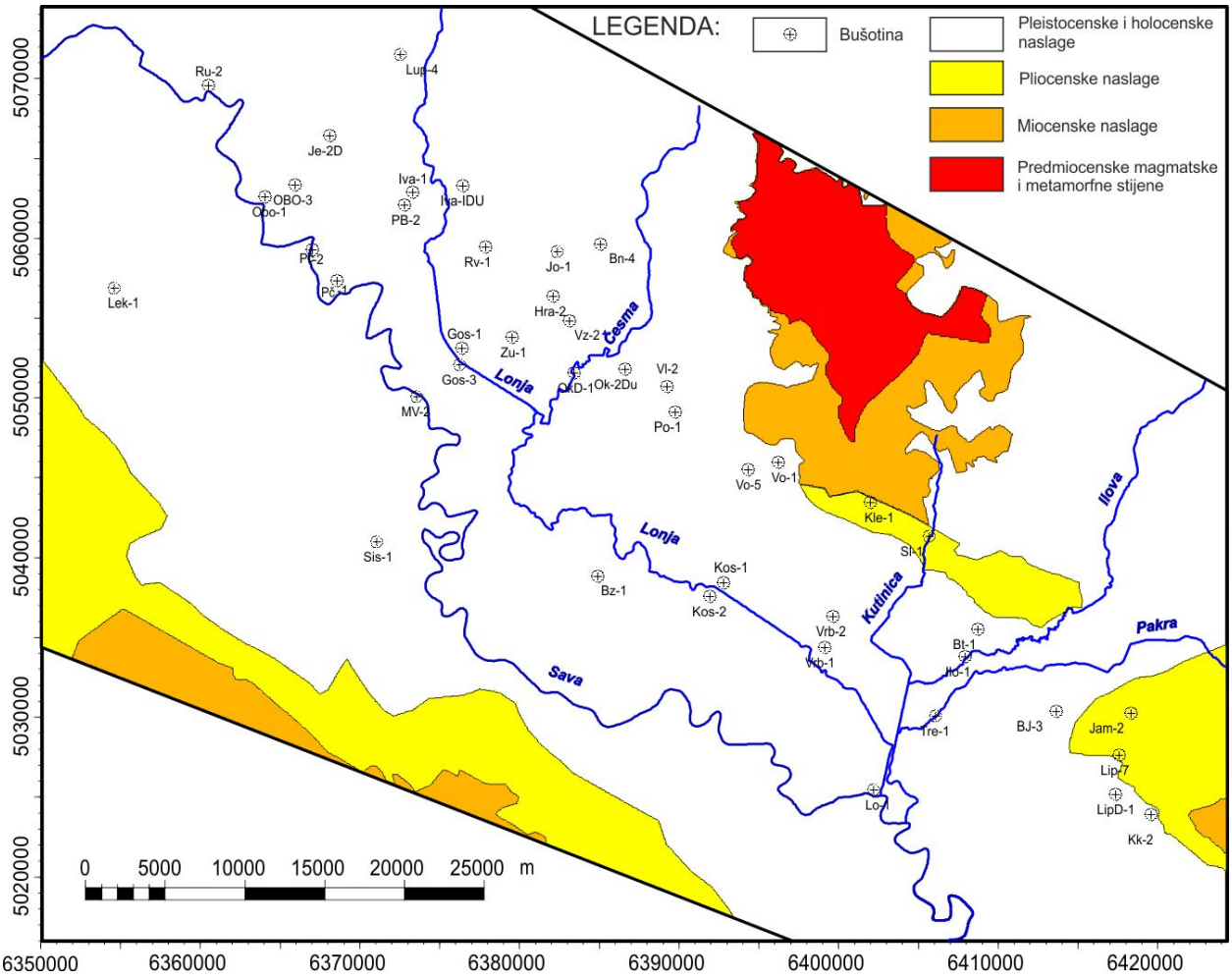
Slika 6.7: *Pojava nafte u boku potoka s vidljivim tamnim, naftom zasićenim dijelom sedimenta i kapljicama u potoku (lijevo) i izvađenim dijelom za uzorak (desno)*

6.1.5. Područje Lipovljana

Krajnji istočni dio područja istraživanja obilježen je rijetkim izdancima u bujičnjacima ili potocima. Sedimenti su obično mramoraste gline i glinoviti prahovi (točke Slav 1-3, **Slika 6.1**) te gline i glinoviti prahovi plave do crne boje s komadima drvovine sa školjkašima i puževima. Iako su vivpare utvrđene u koritu potoka, radi se o sekundarnim pojavama čiji primarni izdanci nisu utvrđeni uzvodno uz obalu potoka.

6.2. Bušotinski podatci

Za proučavanje naslaga formacije Lonja na području istraživanja izabrane su 43 bušotine (**Slika 6.8**). Dostupni bušotinski podatci mogu se podijeliti na karotažna mjerenja te podatke krhotina sa sita i opisa rijetkih jezgara iz geoloških izvještaja.

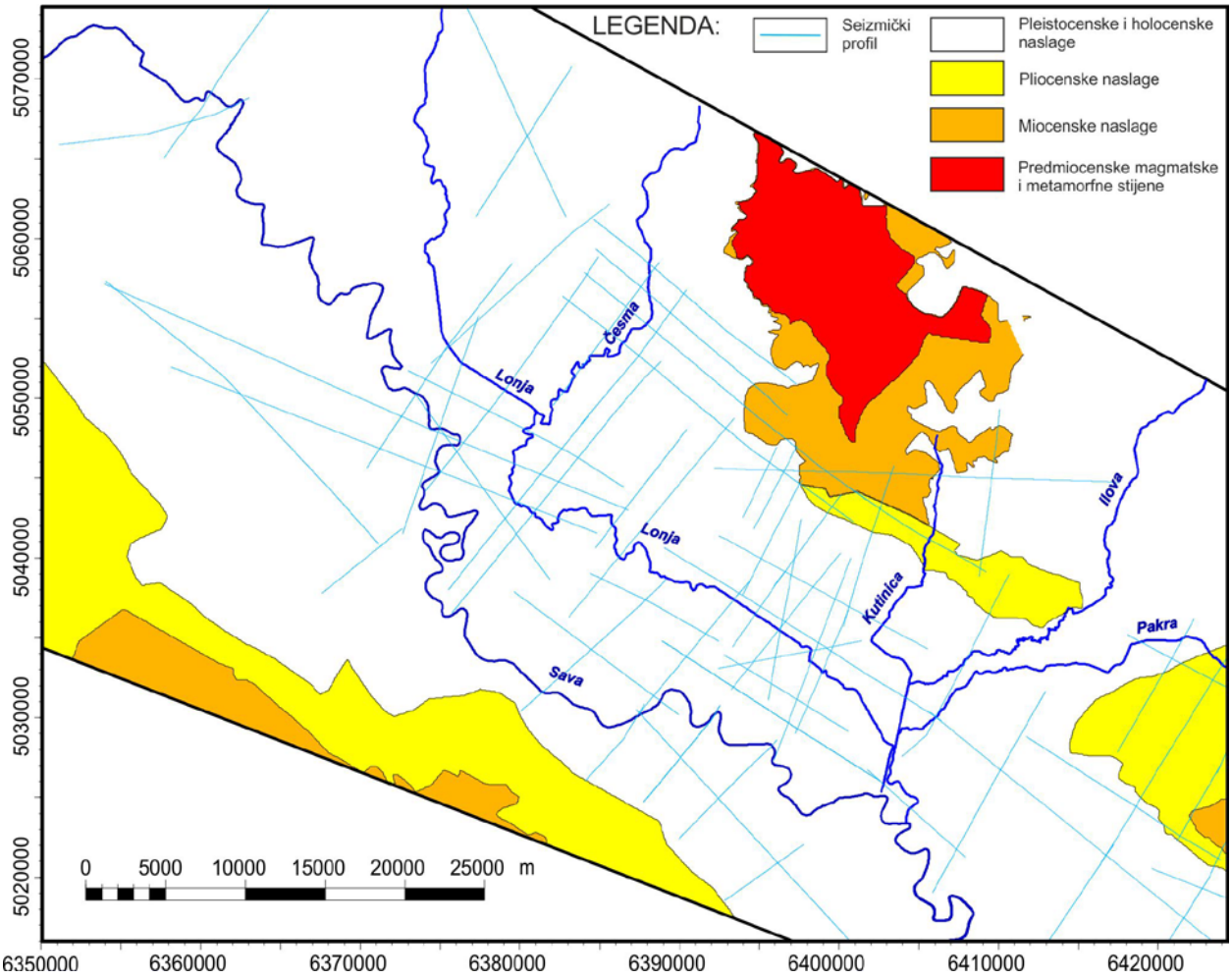


Slika 6.8: *Prikaz smjestišta bušotina na području istraživanja*

Karotažna mjerenja ograničena su samo na konvencionalnu elektrokarotažu (EK) koja obuhvaća krivulje nastale pomoću sondi za mjerenje spontanog potencijala (SP) i eletkrične otpornosti tzv. kratkom (R_{16}) i dugom normalom (R_{64}). Ovakav set podataka, iako dostatan za litofacijesne analize, uvjetovao je vrlo malu mogućnost utvrđivanja zasićenja propusnih slojeva ugljikovodicima te prisutnost slojeva ugljena koja se je utvrđivala iz opisa krhotina sa sita.

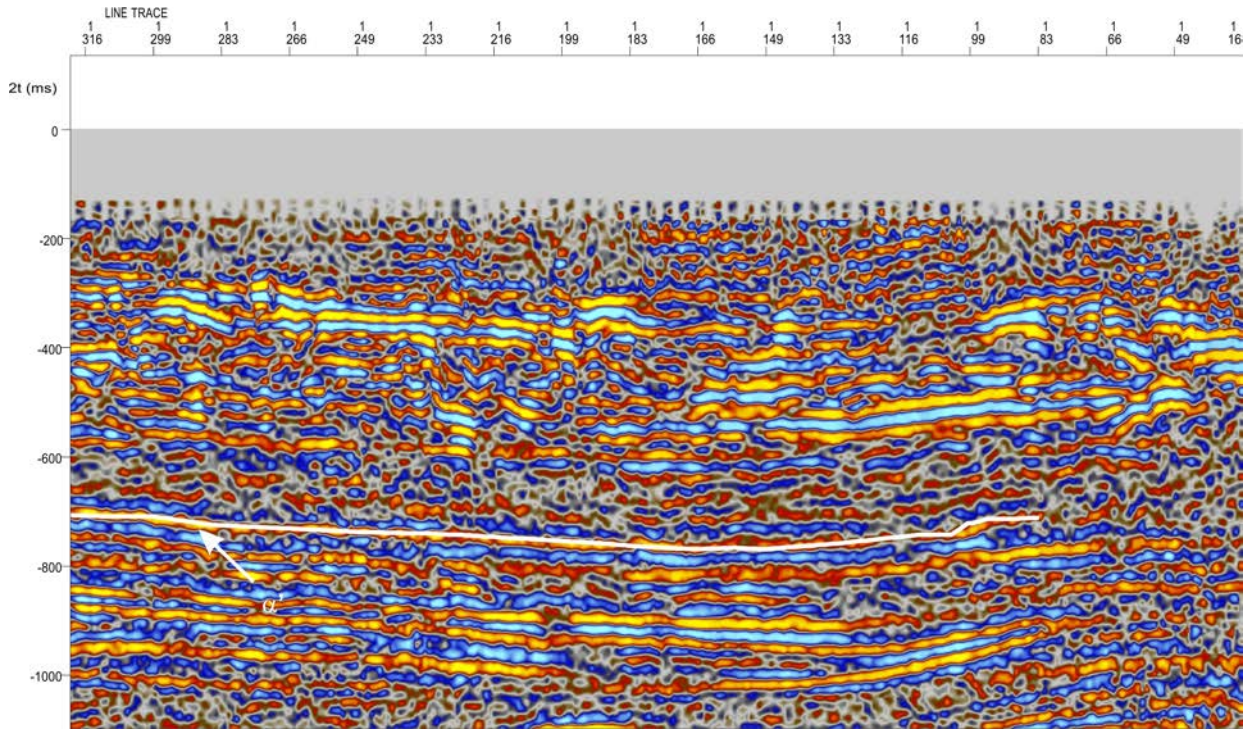
6.3. Seizmički podatci

Jedan od važnih ulaznih podataka korištenih prilikom razradbe formacije Lonja bili su 2D seizmički profili većinom smješteni u središnjem, dubljem, dijelu depresije (**Slika 6.9**).



Slika 6.9: *Prikaz prostornog rasporeda seizmičkih profila na području istraživanja*

Seizmički profili korišteni su prvenstveno za interpretaciju α' i utvrđivanje rasjeda. Marker α' je utvrđen prema dubinsko-vremenskim odnosima i svom morfološkom značenju kao naglašeni refleks iznad kojeg je zona raspršenih signala zbog česte izmjene tankih slojeva gline i pijeska (**Slika 5.25**, **Slika 6.10**).



Slika 6.10: *Prikaz pojavnosti EK markera α' kao seizmičkog horizonta*

Interpretirana ploha α' korištena je prvenstveno kao ploha trenda prilikom izradbe strukturne karte po EK markeru α' zbog nedostatka dubinsko-vremenskih odnosa. Plohe trenda plićih markera nisu interpretirane zbog nedostatka ili raspršenosti seizmičkih podataka na manjim dubinama/vrijednostima dvostrukog prolaznog vremena.

7. REZULTATI LABORATORIJSKIH ANALIZA

Za većinu uzoraka prikupljenih na terenu načinjene su analize granulometrijskog sastava, teške mineralne frakcije te palinološke, geokemijske, mikro i makropaleontološke analize. One su za svrhu imale utvrđivanje načina transporta, izvorišta klasta, okoliša taloženja, određivanje geološke starosti te naftno-plinskog potencijala.

7.1. Rezultati granulometrijskih analiza

Ukupno je obrađeno 15 uzoraka različitog granulometrijskog sastava od prahovitih glina, glinovitih prahova te sitnih i srednjozratih pijesaka (**Tablica 7.1**). Većina uzoraka pokazuje vrlo lošu sortiranost uz iznimke dobro sortiranog Mos-21 i srednje sortiranih Mos-14-1 i Mos-30-2.

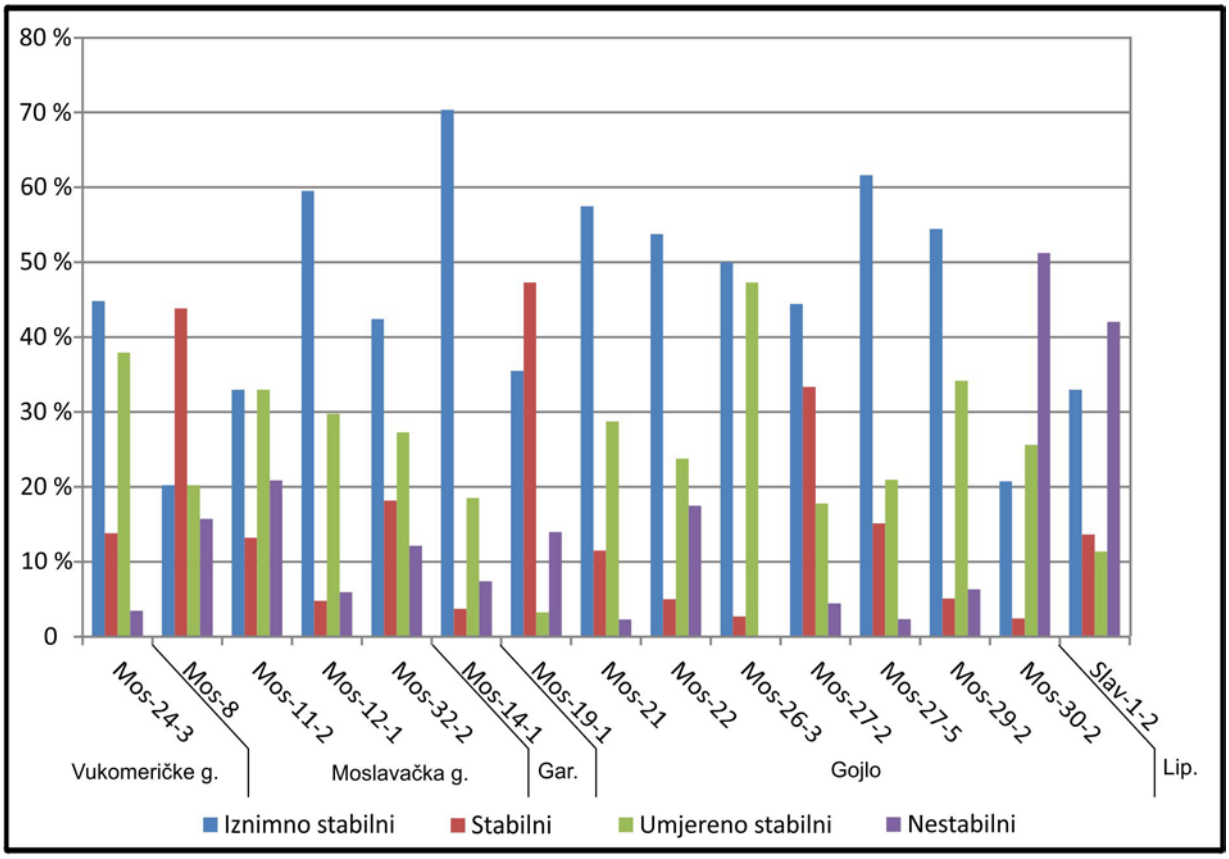
Tablica 7.1: *Prikaz rezultata granulometrijskih analiza*

Oznaka uzorka	Q_1	Md	Q_3	S_o
Mos-24-3	0,016	0,058	0,09	2,37
Mos-8	0,18	0,275	0,38	1,48
Mos-11-2	0,009	0,2	0,04	2,357
Mos-12-1	0,008	0,014	0,04	2,236
Mos-32-2	0,009	0,02	0,08	2,98
Mos-14-1	0,007	0,012	0,021	1,73
Mos-19-1	0,015	0,09	0,55	6,055
Mos-21	0,26	0,34	0,42	1,27
Mos-22	0,01	0,023	0,48	5,27
Mos-26-3	0,015	0,1	0,22	3,82
Mos-27-2	0,013	0,063	0,125	3,1
Mos-27-5	0,008	0,0195	0,04	2,23
Mos-29-2	0,014	0,042	0,09	2,53
Mos-30-2	0,063	0,088	0,125	1,41
Slav-1-2	0,012	0,032	0,063	2,24

7.2. Rezultati analiza mineralnog sastava teške frakcije

Radi veće preglednosti, rezultati pojednih analiza grupirani su prema smjestištu uzorkovanja, slično kako su razlučena i terenska istraživanja opisana u podpoglavlju 6.1. Mineralni sastav prikazan je po skupinama stabilnosti minerala, tj. njihovoj otpornosti na trošenje (**Tablica 5.2**).

Općenito, u analiziranim uzorcima prevladavaju oni iz iznimno stabilne i stabilne skupine minerala, dok se u rjeđim slučajevima pojavljuje više nestablinih i umjereno stabilnih minerala (**Slika 7.1**).



Slika 7.1: *Histogram zastupljenosti pojedinih skupina minerala u teškoj frakaciji*

Mineralni sastav teške frakcije s područja Vukomeričkih gorica razlikuje se od svih ostalih uzoraka, ne samo po odnosima pojedinim mineralnih frakcija, već i po iznimno malom sadržaju nestabilnih minerala. S obzirom na geografsku udaljenost i lokalne donose materijala koji su pretpostavljeni za vrijeme trajanja taloženja formacije Lonja, ovakva razlika od ostalih uzoraka je očekivana. Također, specifičnost u ovom uzorku bila je pojava granata crvene boje dok su granati u svim ostalim uzorcima bili bezbojni.

Teška frakcija uzoraka s južnih obronaka Moslavačke gore prilično je heterogenog sastava u kojem pojedini uzorci imaju relativno velik udio nestabilnih minerala (Mos-8 i Mos-11-2, **Slika 7.1**). U oba uzorka radi se o biotitima, leukokratnim amfibolima i hornblendi. U mineralnom sastavu uzoraka Mos 12-1 i Mos-32-2 prevladavaju iznimno stabilni minerali sa sličnim trendom raspodjele ostalih frakcija što može ukazivati na njihovu genetsku povezanost iako su prostorno udaljen.

Najveći udio rezistentnih minerala utvrđen je u uzorku Mos 14-1 (**Slika 7.1**) iz glinokopa u blizini Garešnice koji se dominantno sastoji od cirkona i rutila. Ne može se korelirati ni s jednim drugim uzorkom što ukazuje na njegovu bitno različitu genezu i dug transport sedimenta. S obzirom na opisani mineralni sastav postoji mogućnost da je analizirana frakcija transportirana vjetrom u plitki, mirni, okoliš što potvrđuje i nalazak vulkanskog stakla.

Teška mineralna frakcija područja Gojla sadrži manje varijacije u svom sastavu s obzirom na odnos stabilnih i iznimno stabilnih minerala. Sadržaj nestabilnih minerala relativno je malen i sličan uzorcima s područja Moslavačke gore (Mos-12-1 i Mos-32-2). Iznimka su dva uzorka s povišenim udjelom nestabilnih minerala (Mos-22 i Mos-33) što ukazuje na mogućnost da izvorišne stijene nisu više klastične, već metamorfne i magmatske stijene na obližnjim gorama (Moslavačka gora i Papuk).

Zamjetan udio nestabilnih minerala, biotita i leukokratnih amfibola, također je pronađen u uzorku Slav-1-2 što ukazuje na lokalno izvorišno područje, najvjerojatnije Psunj.

7.3. Rezultati geokemijskih analiza

Geokemijske analize i interpretacija rezultata uzoraka površinskih izdanaka naslaga s područja istraživanja provedeni su ljubaznošću dr. sc. Tamare Troskot-Čorbić i Darka Španića, dipl. ing. geol. u PJ za geologiju i geokemiju Službe laboratorijskih ispitivanja IPNP. Rezultati su prikazani u **tablicama 7.2-7.4** i detaljnim opisima pojedinih uzoraka prema području istraživanja. **Tablica 7.2** prikazuje sadržaj ugljika organskog podrijetla u pojedinom uzorku (C_{org}), ekstrakta ili ekstrabilne organske tvari (EOM) te odnosa ekstrabilne organske tvari ugljika iz organskih spojeva (EOM/C_{org}). **Tablica 7.3** prikazuje rezultate Rock-Eval pirolize prema parametrima opisanim u **potpoglavlju 5.3**. Tablica 7.4 predstavlja detaljan prikaz rezultata mikroskopske analize uzoraka bogatih organskom tvari. Potrebno je napomenuti da je odnos TAI i $\%R_o$ (VR) utvrđen prema skali prilagođenoj za Panonski bazen (**Tablica 7.4**).

Tablica 7.2: *Prikaz ukupnog ugljika iz organskih spojeva, ekstrakta i njihovog odnosa*

Uzorak	C_{org} (%)	EOM (ppm)	EOM/C_{org}(%)
Mos-13	3,85	414	1,08
Mos-18	31,50	9175	2,91
Mos-24	40,30	15576	3,87
Mos-30-4	7,31	787	1,08
Mos32-3	31,80	10680	3,36
Mos-36	1,06	7502	70,77

Tablica 7.3: *Prikaz rezultata Rock-Eval pirolize*

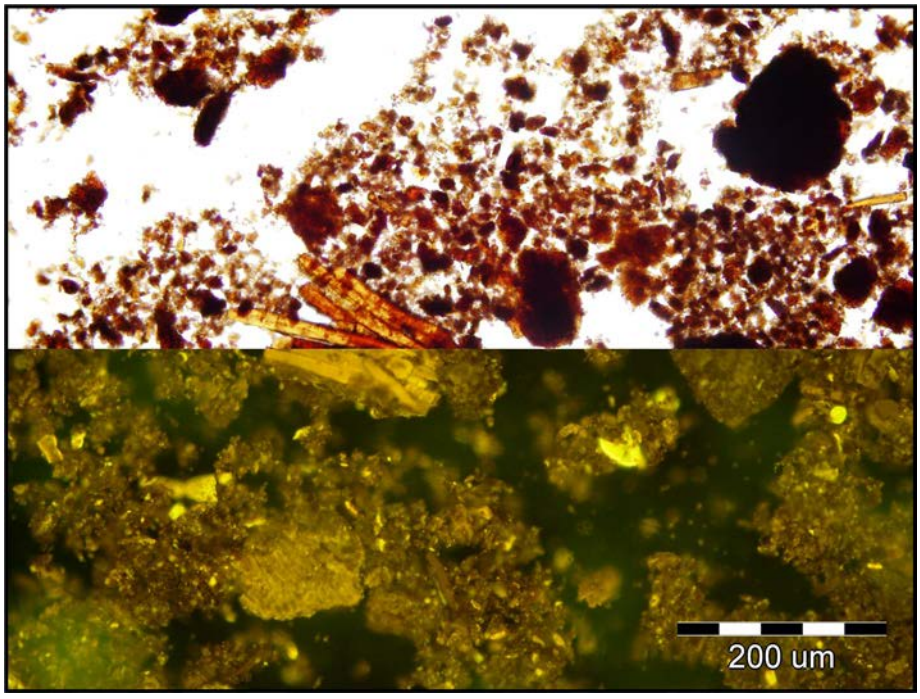
Uzorak	C_{org} (%)	S_1 (mg HC/g uzorka)	S_2 (mg HC/g uzorka)	S_3 (mg CO_2/g uzorka)	T_{max} (°C)	PI	S_2/S_3	HI (mg HC/ g C_{org})	OI (mg CO_2/ g C_{org})	Min C (%)
Mos-13	4,02	0,16	2,57	9,11	426	0,06	0,28	64	227	0,49
Mos-18	32,15	2,54	33,27	45,72	403	0,07	0,73	103	142	1,65
Mos-24	39,86	5,11	79,57	54,64	422	0,06	1,46	200	137	2,50
Mos-30-4	7,71	0,25	5,51	30,08	427	0,04	0,18	71	390	1,44
Mos-32-3	29,10	3,01	21,51	37,01	338	0,12	0,58	74	127	1,49
Mos-36	1,30	1,56	1,59	5,52	330	0,49	0,29	122	425	4,69

Tablica 7.4: *Rezultati mikroskopske analize izolirane organske tvari i sumpora;* ***kratice macerala:*** *Al – alginit, Sp - sporinit, Ld – liptodetrinit, Re – rezinit, Ku – kutinit, Hd – humodetrinit, Te – tekstinit, Ul – ulminit, Tu – tekstoulminit, Sf – smeifuzinit, Fu – fuzinit;* ***boje fluorescencije:*** *GY – zelenožuto, YO – žutonarančasto, O – narančasto, OB – narančastosmeđe, B – smeđe, NF – ne fluorescira; odnost TAI – R_o prema* ***tablici 5.3***

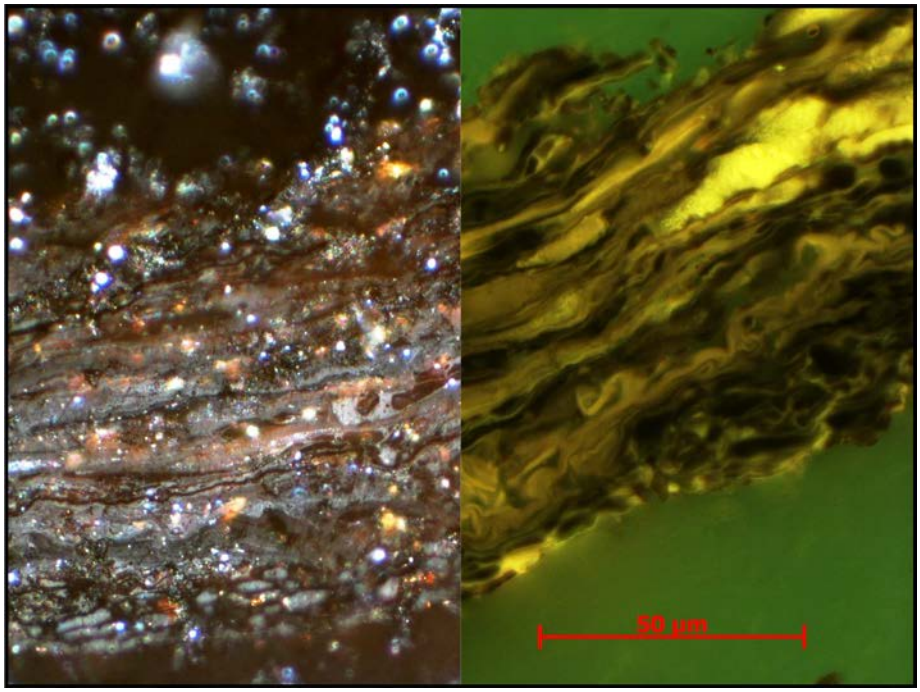
Uzorak	Maceralni sastav (volumni %)				Stupanj zrelosti			S (%)	Napomene
	amorfno	liptiniti	vitriniti	inertiniti	R_o (%)	TAI	FC		
Mos-13	60	15 (Al, Sp, Ku, Ld)	Tr	25 (Sf, Fu)	≈0,20	1^+	B-NF (A) Y (L)	0,79	
Mos-18	/	10 (Sp, Re, Ku, Ld)	90 (Hd, Te, Tu, Ul)	/	≈0,20	/	OB-NF (V) Y-O(L)	4,50	Ugljen
Mos-24	/	30 (Sp, Re, Ku, Ld)	70 (Te, Hd)	/	≈0,20	/	O-NF (V) Y-O (L)	1,39	Ugljen
Mos-30-4	70	20 (Sp, Ku, Re, Ld)	/	10 (Sf, Fu)	/	1+	B-NF (A) Y (L)	/	
Mos-32-3	/	Tr (Sp, Ld)	100 (Tu, Ul, Ff, Hd)	/	0,20-0,25	/	OB-NF (V)	3,46	Ugljen
Mos-36	60	5 (Sp, Ku, Ld)	25 (Ul, Tu)	10 (Fu, Sf)	≈0,20	1+	GY (A) Y (L) OB-NF (V)	6,77	Impregnirano naftom

7.3.1. Vukomeričke gorice

Samo je jedan uzorak analiziran s ovog područja (**Mos-24**). Makroskopski se uzorak može opisati kao treset do lignit. Sadržaj ugljika iz organskih spojeva očekivano je velik (40,30 %; **Tablica 7.2**). Rock-Eval piroliza je pokazala da je organska tvar ima osobine termički nezrelog kerogena tipa III, što odgovara humičnom ugljenu, odnosno ugljenu koji potječe od višeg bilja Tablica 7.3, **Slika 5.13**). Prema istraživanju u mikroskopu, preparat ugljena sastoji se većim dijelom od macerala huminitno-vitrinitne skupine, tj. od tekstinita i humodetrinita (**Slika 7.2**). Izuzetno je velika i količina terigenih liptinitnih macerala (**Slika 7.3**), u prvom redu sporinita i kutinita (**Tablica 7.4**). Vrijednosti vitrinitne refleksije R_o na rijetkom, jače gelificiranom biljnom tkivu, dala je vrijednost od oko 0,20%, što znači vrlo ranu dijagenezu.



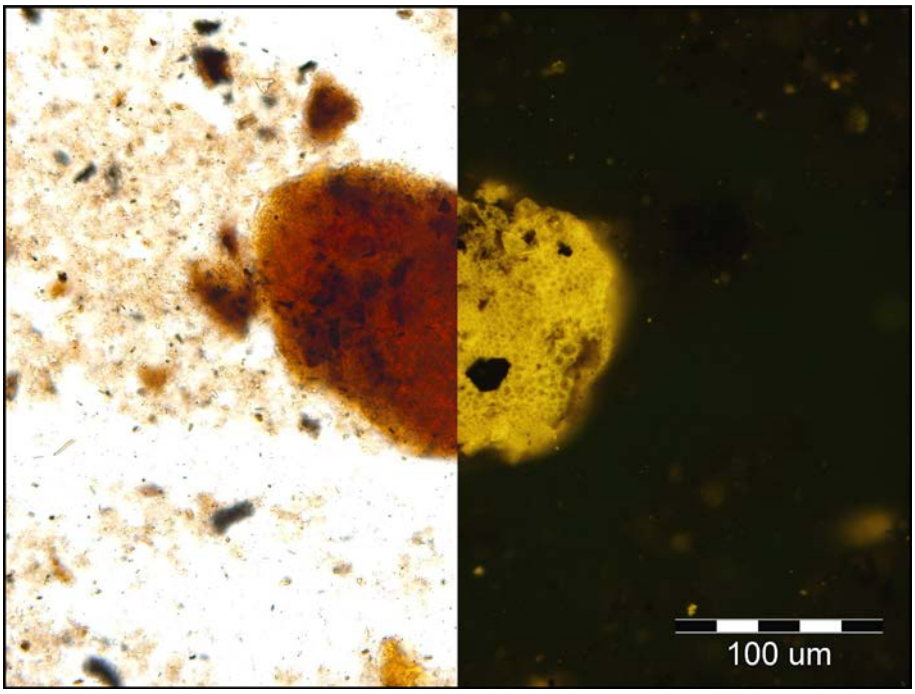
Slika 7.2: *Huminit (uglavnom tekstinit) i terestrični liptiniti (Mos-24). Gore - prolazno svjetlo, dolje - plavo fluorescentno svjetlo.*



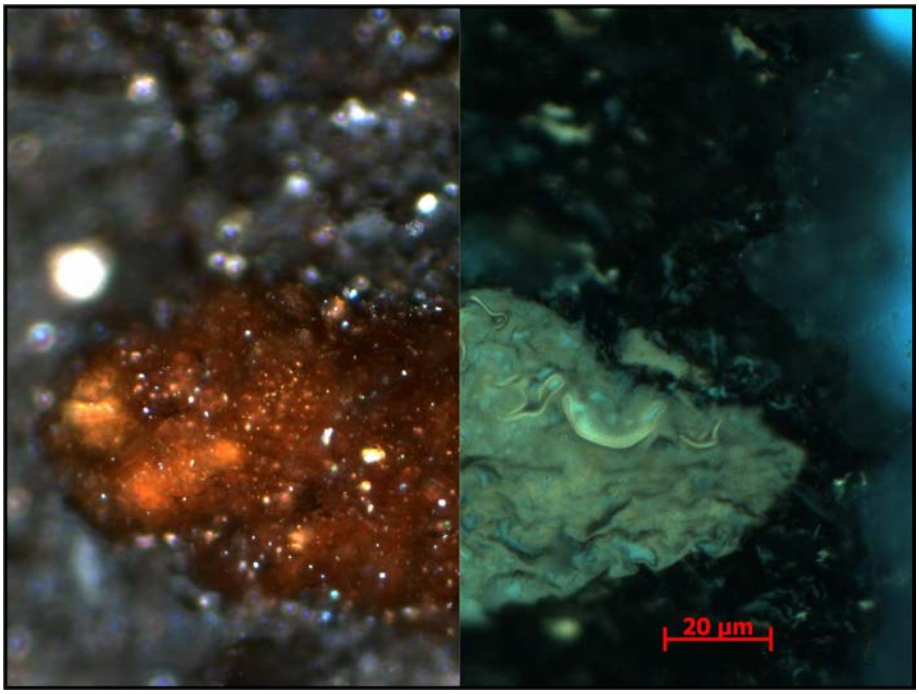
Slika 7.3: *Tekstinit i rezinit - jarko žuto (Mos-24). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - plavo fluorescentno svjetlo, uljna imerzija.*

7.3.2. Moslavačka gora

Uzorak **Mos-13** je tamnosiva glina s biljnim ostatcima, što je rezultiralo znatnom količinom ugljika iz organskih spojeva (3,85 %; **Tablica 7.2**). Prema Rock-Eval pirolizi, radi se o termički nezrelom kerogenu tipa III-IV (**Tablica 7.3**). U kerogenskom koncentratu prevladava detritus nastao mehaničkom destrukcijom svih maceralnih skupina. Strukturirani macerali su uglavnom liptinitne i inertinitne skupina, dok su oni huminitne veoma rijetki, zbog slabije otpornosti na mehaničko trošenje. Od terestričnih liptinita česti su sporinit i kutinit, a alginit je predstavljen uglavnom kolonijama slatkovodne ili bočate zelene alge Botryococcus (**Tablica 7.4**, **Slika 7.4** i **Slika 7.5**). Organska tvar je termički nezrela.

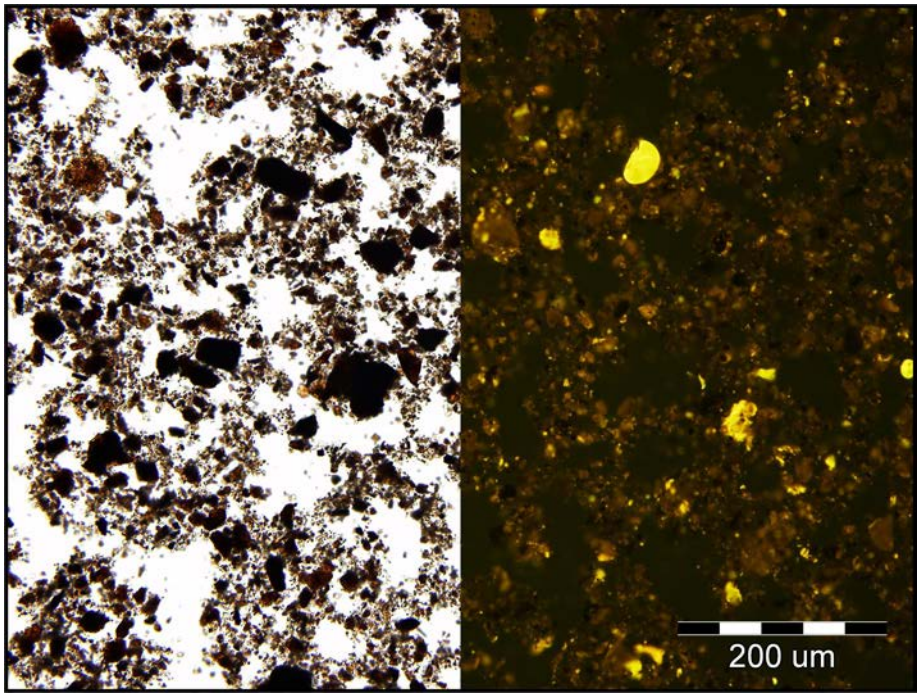


Slika 7.4: *Botryococcus i amorfna organska tvar (Mos-13). Lijevo - prolazno svjetlo, desno - plavo fluorescentno svjetlo.*

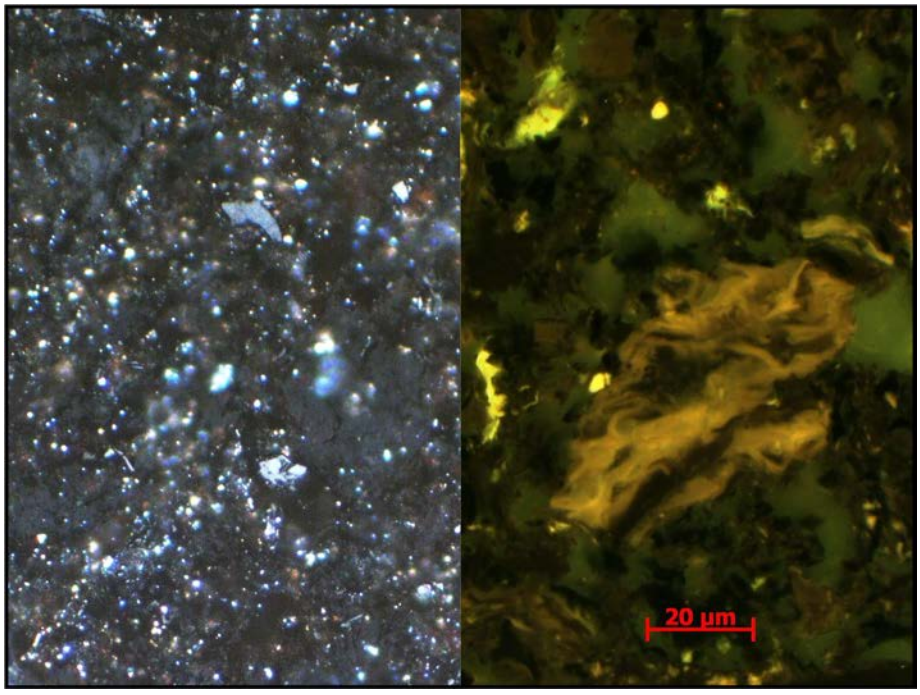


Slika 7.5: *Botryococcus i amorfna organska tvar (Mos-13). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - ljubičasto fluorescentno svjetlo, uljna imerzija*

Uzorak **Mos-18** je treset do lignit. Ugljik iz organskih spojeva čini 31,50 % uzorka (**Tablica 7.2**). Prema Rock-Eval pirolizi, organska tvar odgovara termički nezrelom kerogenu tipa III-IV (**Tablica 7.3**). Mikroskopska analiza je pokazala prevlast macerala huminitno-vitrinitne skupine, i to uglavnom humodetrinita, uz manju količinu tekstinita, tekstoulminita i ulminita. Znatna je i količina terestričnih macerala liptinitne skupine (**Tablica 7.4**, **Slika 7.6** i **Slika 7.7**). Vitrinitna refleksija mjerena na rijetkim česticama ulminita pokazuje početak dijageneze. Ugljen sadrži znatnu količinu sumpora (**Tablica 7.4**).



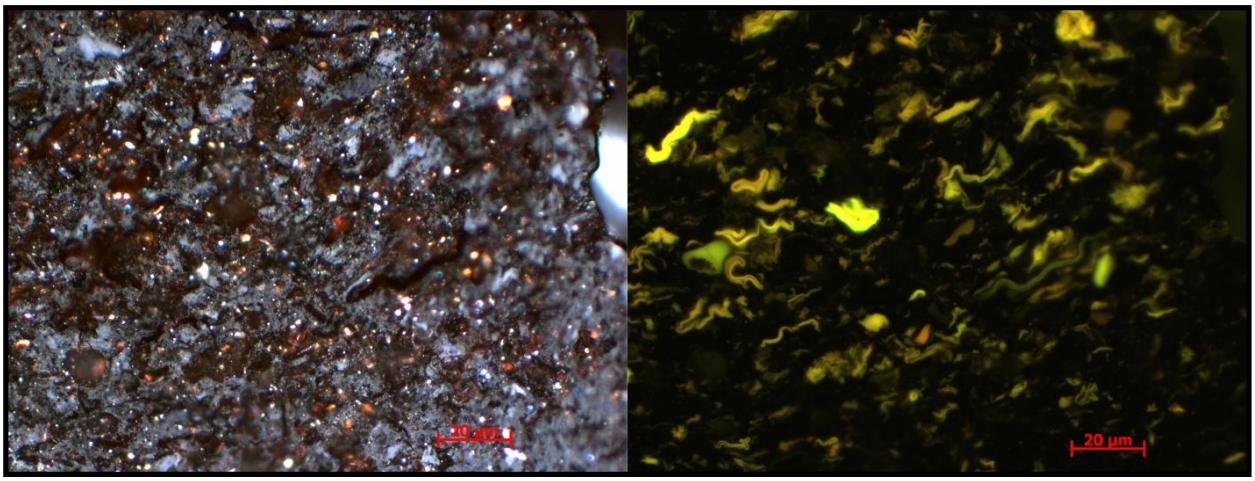
Slika 7.6: *Huminit (uglavnom humodetrinit) i terestrični liptiniti (Mos-18). Lijevo - prolazno svjetlo, desno - plavo fluorescentno svjetlo.*



Slika 7.7: *Huminit i terestrični liptiniti (Mos-18). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - plavo fluorescentno svjetlo, uljna imerzija.*

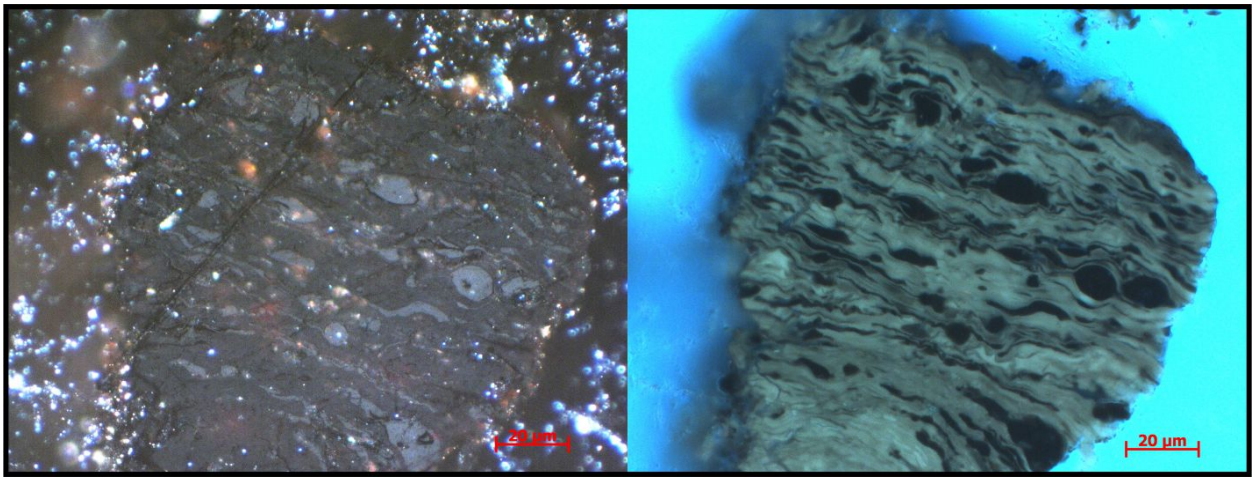
7.3.3. Brdo Gojlo

Uzorak **Mos-30-4** je trošni limonitizirani sediment bogat organskom tvari (7,31 % C_{org}; **Tablica 7.2**). Rock-Eval piroliza je pokazala da organska tvar odgovara termički nezrelom, oksidiranom kerogenu tipa III-IV (**Tablica 7.3**). Izolirana organska tvar je pretežno amorfna, uz veliku količinu terigenih liptinita i nešto strukturiranih macerala lignoceluloznog podrijetla. Izgleda da je biljna tvar ubrzo nakon taloženja pretrpjela snažnu fuzinitizaciju, niz procesa koji su rezultirali smanjenjem H/C i povećanjem O/C odnosa, što je rezultiralo i promjenom izgleda organske tvari u mikroskopu, kao i povećanjem refleksije. Refleksija od ≈0,60-1,20 % R_o koju posjeduju lignocelulozni klasti dakle nije posljedica termičke zrelosti nego fuzinitizacije. Liptiniti, koji potječu od najrezistentnijih biljnih dijelova, ostali su uglavnom sačuvani. Termički alteracijski indeks i snažna fluorescencija potvrda su nezrelosti organske tvari (**Tablica 7.4**, **Slika 7.8**).



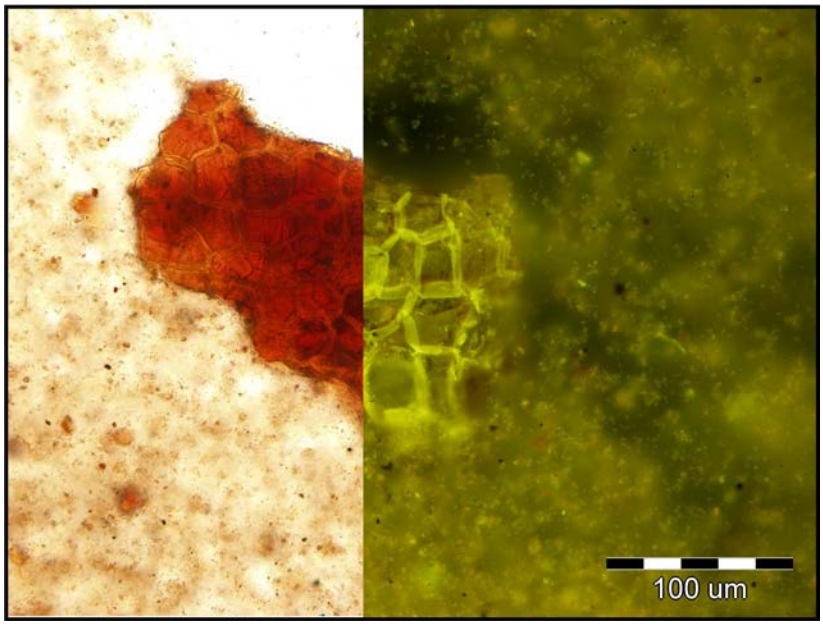
Slika 7.8: *Amorfni, oksidirani kerogen s uklopljenim inertinitima i liptinitima (Mos-30-4). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - plavo fluorescentno svjetlo, uljna imerzija. Žuto macerali liptinitne skupine, uglavnom sporinit*

Uzorak **Mos-32-3** je treset do lignit sa sadržajem ugljika iz organskih spojeva od 31,80 % (**Tablica 7.2**). Prema Rock-Eval pirolizi organska tvar je tipa III-IV; maksimalna temperatura pirolize je neuobičajeno niska (**Tablica 7.3**). Mikroskopska ispitivanja pokazala su da se ugljen sastoji gotovo isključivo od macerala huminitno-vitrinitne skupine, a terestrični liptiniti se nalaze u tragovima (**Tablica 7.4**). Dominantni macerali su tekstoulminit i ulminit s uklopcima flobafinita (Slika 7.9), a uz njega je prisutan i humodetrinit. Vitrinitna refleksija tekstoulminita i ulminita je oko 0,20 %, a flobafinita 0,25 %.

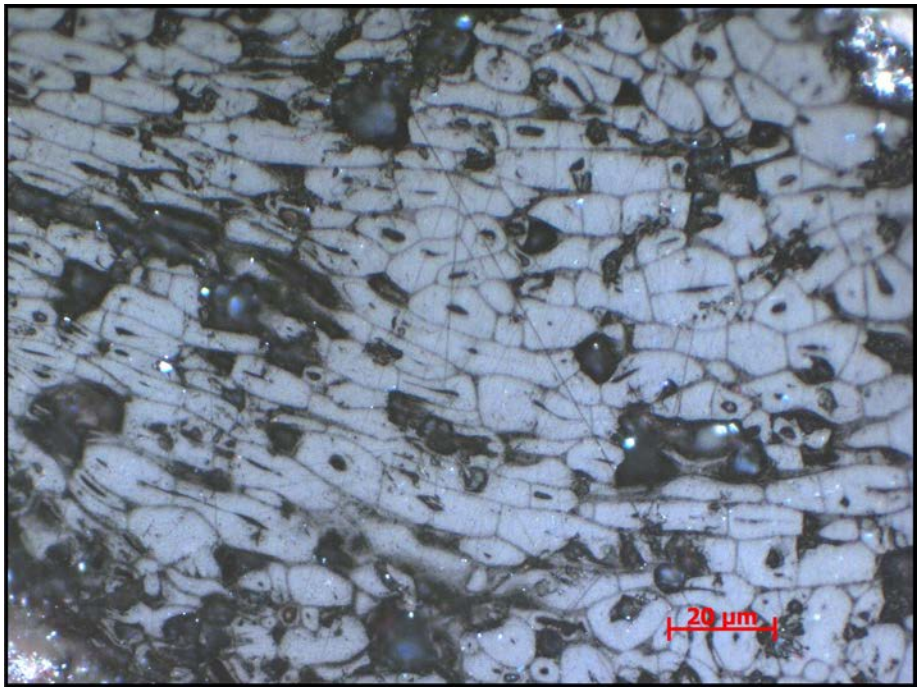


Slika 7.9: *Ulminit s uklopcima flobafinita (Mos-32-3). Lijevo - reflektirano svjetlo, uljna imerzija, desno - ljubičasto fluorescentno svjetlo, uljna imerzija.*

Uzorak **Mos-36** je smeđa glina jakog mirisa na naftu. Sadržaj organske tvari je 1,06 %; odnos EOM/C_{org} je 70,77 %, što znači da ekstrabilna organska tvar čini oko polovice ukupne organske tvari (**Tablica 7.2**). Visoki udio bitumena vidljiv je i u rezultatima Rock-Eval pirolize (velika količina slobodnih ugljikovodika i veliki produkcijski indeks te neuobičajeno mala maksimalna temperatura pirolize). Kerogen koji glina sadrži je tip III (**Tablica 7.3**). U mikroskopskom preparatu organska tvar je većim dijelom amorfna, odnosno detritus impregniran bitumenom, što je osobito vidljivo u fluorescentnom svjetlu. Od strukturiranih macerala prisutne su sve tri maceralne skupine, isključivo terestričnog podrijetla, tako da se može pretpostaviti da je i amorfna organska tvar nastala mehaničkom destrukcijom strukturiranih macerala (**Tablica 7.4**, **Slika 7.10** i **Slika 7.11**). Vitrinitna refleksija i termički alteracijski indeks pokazuju ranu dijagenezu (**Tablica 7.4**). Organska tvar ima veliku količinu sumpora (6,77 %; Tablica 7.4). Plinsko-kromatografska analiza bitumena otkrila je da je bitumen biodegradiran i nije moguće ustanoviti njegovu zrelost, podrijetlo ili taložni okoliš prekursora (**Slika 5.14**).



Slika 7.10: *Maceral liptinitne skupine kutinit okružen amorfnom organskom tvari (Mos-36). Lijevo - prolazno svjetlo, desno - plavo fluorescentno svjetlo.*



Slika 7.11: *Maceral inertinitne skupine semifuzinit (Mos-36). Reflektirano svjetlo, uljna imerzija.*

7.4. Rezultati paleontoloških odredaba makro i mikrofosila

Naslage III. neogensko kvartarnog megaciklusa mjestimice su iznimno bogate fosilnim sadržajem. Karakterističnu faunu predstavljaju mekušci, točnije slatkovodni puževi roda *Viviparus*. Fosilna fauna utvrđena je na području južnih obronaka Moslavačke gore, brda Gojlo te u okolici mjesta Lipovljani dok su uzorci s područja Vukomeričkih gorica bili fosilno sterilni. Popis utvrđenih vrsta prikazan je na sintetskom geološkom stupu (**Prilog 4**). Odredbe rodova i vrsta makro i mikrofosilne faune napravljene su uz pomoć dr. sc. Valentine Hajek-Tadesse i dr. sc. Davora Vrsaljka.

7.4.1. Paleontološki nalazi na području južnih obronaka Moslavačke gore

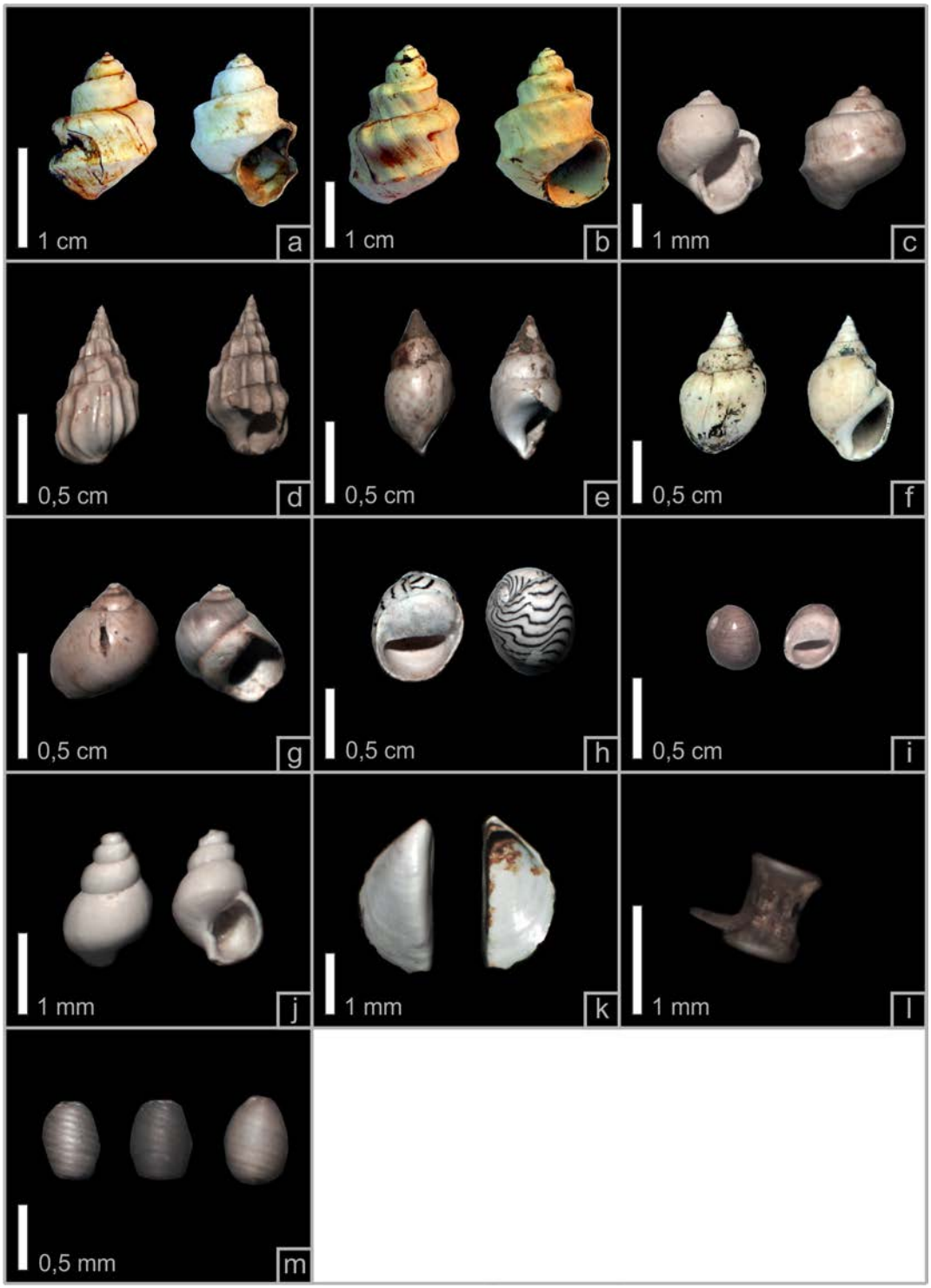
Rijetki izdanci naslaga III. neogensko-kvartarnog megaciklusa na odnosnom području mjestimice mogu sadržavati iznimno bogatu i dobro sačuvanu fosilnu faunu (**Slika 7.12**). Posebice značajna je fosilna fauna u blizini potoka Repušnica, zapadno od mjesta Lipa. Ona se sastoji pretežito od puževa rodova *Viviparus, Melanopsis, Theodoxus, Lythoglyphus* i *Hydrobia* (**Slika 7.14 a-j**). U manjem broju mogu se naći školjkaši rodova *Unio, Dreissena* (**Slika 7.14 j-k**) te moguće i *Anodonta* (**Slika 7.13**). Također, utvrđeni su i fosilni nalasci ribljih kralježaka (**Slika 7.14 l**). Od fosilne flore česti su nalazi haracejskih alga (**Slika 7.14 m**) te drvovine i treseta analize kojih su opisane u prethodnom potpoglavlju.

Slika 7.12: *Izdanak glinovitog silta s bogatom pliocenskom faunom – vidljivi puževi roda Viviparus (Mos-12)*

Dobro očuvane jedinke obično se nalaze u glinovito-prahovitim sedimentima niske energije. Kod nekih vrsta moguće i očuvanje vanjskog (konhiolinskog) sloja koji sadrži boju kao u slučaju puževa roda *Theodoxus* s ovog područja (**Slika 7.14 h, i**). Značajan je sadržaj adultnih i juvenilnih formi puževa (**Slika 7.14 a-c**) te općenita očuvanost fosilne faune koja ukazuje na relativno kratak transport. Sedimenti više energije, pijesci i rijetki šljunkoviti pijesci, sadrže samo fragmente fosila koji su većinom uništeni transportom i dijagenetskom degradacijom – otapanjem. Iz fluida zasićenih karbonatima, u pornom prostoru arenita izlučuje se karbonatni cement tj. nastaju slabo do srednje litificirani pješčenjaci (**Slika 5.11**).

Prema fosilnoj fauni mekušaca vrsta *Viviparus* cf. *dezmanianus* BRUSINA i *Viviparus sturi* NEUMAYR, naslage južnih obronaka Moslavačke gore pripadale bi gornjopaludinskim slojevima prema biostratigrafskom sustavu, a kronostratigrafski gornjem pliocenu.

Slika 7.13: *Tankoljušturne školjke (Mos-16) – vjerojatno Anodonta sp.*



Slika 7.14: *Fosilna fauna s područja južnih obronaka Moslavačke gore:* ***a)*** *Viviparus cf. dezmanianus BRUSINA;* ***b)*** *Viviparus sturi NEUMAYR adultni;* ***c)*** *Viviparus sp. juvenilni;* ***d)*** *Melanopsis cf. hastata NEUMAYR;* ***e)*** *Melanopsis cf. eurytoma NEUMAYR****; f)*** *Melanopsis pyrum NEUMAYR;* ***g)*** *Lythoglyphus sp.;* ***h)*** *Theodoxus sagitifera BRUSINA;* ***i)*** *Theodoxus sp.;* ***j)*** *Hydrobia sp.; Dreissena polymorpha PALLAS;* ***l)*** *kralježak ribe;* ***m)*** *Chara sp.*

Nalazi ostrakodne faune (**Slika 7.15**) ukazuju na mirniju sredinu s vrstama koje su se prilagođavale na redukciju saliniteta do slatkovodnih uvjeta kroz razvoj Panonskog bazenskog sustava. Utvrđene vrste su *Cyprideis* cf. *torosa* JONES, *Scottia pseudobrowniana* KEMPF, *Darwinula stevensoni* (BRADY & ROBESTSON), *Candona neglecta* SARS, *Cypria* sp., *Ilyocypris* cf. *bradyi* SARS. Većina ostrakodne faune, približno 60-70 %, zastupljena je vrstom *Cyprides* cf. *torosa* JONES, a 20-30 % vrstom *Scottia pseudobrowniana* KEMPF dok su ostale podređene.

Slika 7.15: *Ostrakodna fauna južnih obronaka Moslavačke gore:* ***a)*** *uzorak Mos-11 s Cyprides cf. torosa JONES i četiri juvenilne jedinke Candona sp.;* ***b)*** *uzorak Mos 12-1 Cyprideis cf. torosa JONES (80 % faune adultne i juvenilne jedinke). Scottia pseudobrowniana KEMPF Darwinula stevensoni BRADY & ROBERTSON, Candona sp . juvenilna****, c)*** *uzorak Mos 12-2 s Cyprideis cf. torosa JONES (70 % faune), Candona neglecta SARS, Darwinula stevensoni BRADY & ROBERTSON, Candona sp. juvenilna, Scottia pseudobrowniana KEMPF;* ***d)*** *uzorak Mos-16 s Cyprideis cf. torosa JONES (60 % faune), Scottia pseudobrowniana KEMPF (30 % faune), Ilyocypris cf. BRADY SARS i Candona sp*

Nalazi juvenilnih oblika (**Slika 7.15**) te iznimna očuvanost i brojnost jedinki u pojedinim uzorcima (Mos 12 i Mos-16) ukazuju na razmjerno kratak transport, tj. primarnost fosilnih nalaza ovih vrsta.

7.4.2. Paleontološki nalazi na području brda Gojlo

Nalazi fosilne faune znatno su češći na području Gojla nego na području južnih obronaka Moslavačke gore. Jasno se mogu razdvojiti fosilni nalazi koji pripadaju Paludinskim naslagama od onih mlađih, pretpostavljeno pleistocenskih. Dobro očuvane jedinke nalaze su u glinovitim prahovima plave ili sive boje (ovisno o stupnju površinskog trošenja) u obliku leća. Većinom su to kokine, posebice kada se radi o slojevima bogatim školjkašima (**Slika 6.6**).

Kao i na području južnih obronaka Moslavačke gore, prevladavaju puževi od koji su najznačajniji oni roda *Viviparus* (**Slika 7.16 a-d**) s obzirom na mogućnost biostratigrafske odredbe. Uz njih, bogato su zastupljeni rodovi *Melanposis* (**Slika 7.16 e, f**) i *Lytoglyphus* (**Slika 7.16 g**), a rodovi *Theodoxus* (**Slika 7.16 i**) i *Valavata* (**Slika 7.16 h**) mogu se naći samo na sjevernim padinama brda Gojlo. Rod *Lymnea* (**Slika 7.16 n**) bogato je zastupljen samo u najsjevernijem uzorku iz tog područja koji je pretpostavljene pleistocenske starosti. Školjkaši su česti i na pojedinim mjestima predstavljaju većinu makrofosilnog sadržaja. Karakteristična slatkovodna fauna školjkaša utvrđena je na sjevernim i južnim padinama te se sastoji od rodova *Unio* (**Slika 7.16 j, k**), *Dreissena* (**Slika 7.16 m**) te *Pisidium* (**Slika 7.16 i, o**). Rod *Pisidium* se u najvećoj količini pojavljuje u najsjevernijem uzorku (Mos-22) s ovog područja. Također, u tom uzorku česti su nalazi slatkovodne alge roda *Chara* (**Slika 7.16 p**) bitno različite morfologije od onih s južnih obronaka Moslavačke gore.

Prema vrstama puževa *Viviparus sturi* NEUMAYR i *Viviparus* cf. *avellanus* BRUSINA iz uzorka Mos-27 i *Viviparus vukotinovici* FRAUFELD iz uzorka Mos-29 naslage s utvrđenim paleontološkim nalazima južno od potoka Polojac (**Slika 6.5**) pripadaju vršnom dijelu Gornjopaludinskih slojeva, tj. gornjem pliocenu prema kronostratigrafskom sustavu jedinica.

Slika 7.16: *Fosilna fauna s področja brda Gojlo:* ***a)*** *Viviparus sturi NEUMAYR;* ***b)*** *Viviparus cf. avellanus* BRUSINA; ***c)*** *Viviparus vukotinovici FRAUFELD;* ***d)*** *Viviparus vukotinovici FRAUFELD juvenilni;* ***e)*** *Melanopsis sp.;* ***f)*** *Melanopsis hastata NEUMAYR;* ***g)*** *Lythoglyphus callosus BRUSINA;* ***h)*** *Valvata sulekiana BRUSINA;* ***i)*** *Theodoxus sp.;* ***j)*** *Unio ptychodes BRUSINA;* ***k)*** *Unio sp.;* ***l)*** *Pisidium solidarum NEUMAYR; Dreissena sp.;* ***n)*** *Lymnea sp.;* ***o)*** *Pisidium sp.;* ***p)*** *Chara sp.*

Ostrakodne zajednice područja Gojla predstavljaju slatkovodne vrste rodova *Darwinula, Canodana, Cyclocypris, Cypria, Cypric Cyprideis, Fabaeformiscandona, Heterocyprisc, Ilyocypris Paracandona* i *Scottia.* Zastupljenost pojedinih vrsta može biti iznimno varijabilna, a kao primjer je razlika u uzorcima iz točke Mos-27. Prevladavajuće vrste različite su u baznom dijelu bez makrofosilne faune (**Slika 7.17 a**) u odnosu na dio s makrofosilima puževa i školjkaša (**Slika 7.17 b**) iako je razlika u vertikalnom slijedu naslaga 0,5 m. Ostrakodna fauna južnih obronaka (**Slika 7.17 c**) odgovora onoj iz kokina u izdanku Mos-27. U uzorku Mos-22 (**Slika 7.17 c**) sjeverno od potoka Polojac, do sada najčešća vrsta *Scottia pseudobrowniana* KEMPF izostaje dok se udio roda *Candona* povećava kao i ostalih koji ukazuju sličnost s faunom opisanom u pleistocenskim naslagama s područja Oborova (SOKAČ, 1978, HERNITZ *et al.,* 1981).

Slika 7.17: *Ostrakodna fauna s područja Gojla:* ***a)*** *uzorak Mos-27 bazalni dio bez makrofosila - Candona neglecta SARS, Paracandona cf. euplectella ROBERTSON, Fabaeformiscandona holzkampfi HARTWIG, Cypria sp. i Candonopsis sp.;****b)*** *uzorak Mos-27 s mikrofosilnom faunom - Scottia pseudobrowniana KEMPF, Darwinula stevensoni BRADY & ROBERTSON i Ilyocypris sp.;* ***c)*** *uzorak Mos-29 - Cyclocypris serena KOCH i Scottia pseudobrowniana KEMPF;* ***d)*** *uzorak Mos-22 - Candona neglecta SARS, Candona candida O.F. MÜLLER, Ilyocypris bradyi SARS, Cypris pubera O.F. MÜLLER, Heterocypris icongruens RAMDOHR i Potamocypris sp.*

7.4.3. Paleontološki nalazi s izdanaka u okolici mjesta Lipovljani

Fosilni nalazi s ovog područja utvrđeni su u bokovima potoka Subocka. Dio faune je pretaložen i pomješan s recentnom. Kao primjer je izdanak Slav-4 gdje su utvrđeni sljedeći odnosi fosilnog sastava:

- Bazalni dio profila siromašan je makrofosilima i sastoji se od rijetkih jedinki puževa *Lytoglyphus callosus* BRUSINA (**Slika 7.19 c**), *Micromelania* sp.

(**Slika 7.19 e**) i *Planorbis* sp. (**Slika 7.19 d**) te školjkama vrste *Pisidium solidarum* NEUMAYR (**Slika 7.19 g**). Od mikrofosila mogu se naći pretaložene foraminfere *Globigerina* sp. (**Slika 7.20 b**) i *Cibicides* sp. (**Slika 7.20 c**) srednjomiocenske starosti te slatkovodne ostrakode *Candona* sp. i *Scottia* sp. (**Slika 7.20 a**).

- U samom koritu potoka pomješana je nanešena pliocenska makrofauna s recentnom gdje su utvrđeni urešeni puževi vrste *Viviparus sturi* NEUMAYR (**Slika 7.18**).
- Na cca 1 m visine profila, u prahovitim pijescima, nađene su vrste puževa *Viviparus diluvianus* KUNTH (**Slika 7.19 a, b**), *Lythoglyphus callosus* BRUSINA *i Prososthenia* sp. (**Slika 7.19 f**) te znatan broj jedinki školjkaša *Pisidium solidarum* NEUMAYR.

Bazalni dio profila ukazuje na mješanje pretaloženih foraminifera s područja Papuka i Psunja sa slatkovodnim mekušcima i ostrakodima. Zanimljiv je bogat nalaz vrste viviparida, prvotno determinranih kao *Viviparus neumayri* BRUSINA, koja pripada donjopaludinskim slojevima. S obzirom na očuvanost, vidljive boje kućice i zastupljenost adultnih i juvenilnih jedinki radi se o nepretaloženim viviparidima, tj. vrsti *Viviparus diluvianus* KUNTH koja se često nalazi u naslagama pleistocenske starosti (ANDRESCU *et al.*, 2011, MARCIN, 2011).

Slika 7.18: *Urešeni viviparidi pomješani s recentnim školjkašima u nanosu potoka*

Slika 7.19: *Fosilna fauna iz izdanaka u okolici mjesta Lipovljani: a) Viviparus diluvianus KUNTH adultni; b)Viviparus diluvianus KUNTH juvenilni; c) Lytoglyphus callosus BRUSINA; d) Planorbis sp.; e) Micromelania sp.; f) Prososthenia sp.; g) Pisidium solidarum NEUMAYR*

Slika 7.20: *Mikrofosilna fauna iz izdanaka u okolici Lipovljana: a) Candona sp. i Scottia sp.; b) Globigerina sp.; c) Cibicides sp.*

7.5. Rezultati palinoloških analiza

Palinološke analize načinjene su ljubaznošću dr. sc. Koraljke Bakrač iz Hrvatskog geološkog instituta. Prikaz rezultata je iznesen prema pojedinim uzorcima prikazanima na **slici 7.21**.

Uzorak **Mos-11-3** sadrži relativno malo organskog ostatka mješovitog sastava. Od malobrojnih palinomorfi najviše je peluda vodenog bilja, te nešto peluda listopadnog drveća i crnogorice. Zanimljiv je nalaz nekoliko boćatih dinocista, što može biti posljedica pretaložavanja miocenskih naslaga na obroncima Moslavačke gore.

Uzorak **Mos-16** ima bogat sadržaj organskog ostatka, uglavnom vitrinita. Ovdje su također utvrđene dobro sačuvane (nepretaložene) dinociste, koje su vjerojatno prilagođene na sve manji salinitet. Osim njih postoje slatkovodne alge koje ukazuju na plitkovodni okoliš bogat nutrijentima i pelud listopadnog drveća i crnogorice.

Zemljopisno i stratigrafski blizak prethodnom, uzorak **Mos-17** također sadrži puno organskog ostatka uglavnom vitrinita, algita i sporita, dok inertinita ima relativno malo. Najviše peluda pripada porodici čempresa, nešto je manje peluda bora, a vrlo malo peluda listopadnog drveća. Zamjetan je i udio slatkovodnih algi kojima odgovara mirni, eutrofni okoliš.

Uzorak **Mos-20** je prvi analizirani uzorak s područja Gojla. Sadrži relativno malo organskog ostatka, uglavnom vitrinita. Palinomorfe su također malobrojne. Uočeno je svega nekoliko peludnih zrna crnogorice (uglavnom mehanički oštećenih) i listopadnog drveća, spore paprati i slatkovodne alge. Utvrđene su i dinociste, moguće pretaložene ili prilagođene na slatkovodni okoliš.

Nešto sjevernije od prethodnog, uzorak **Mos-22** sadrži relativno veliku količinu organskog ostatka mješovitog sastava (prevladava vitrinit). Među malobrojnim palinomorfama dominiraju spore paprati i pelud zeljastog i vodenog bilja, što bi moglo ukazivati na hladniju klimu tj. razdoblje glacijala.

Uzorak **Mos-27-1** ima nizak sadržaj organskog ostatka, uglavnom vitrinita i inertinita pa je vjerojatno taložen distalnije, tj. dalje od obale. Peluda također ima vrlo malo te se sastoji od spora paprati i mehanički oštećenog malobrojnog peluda drveća.

Uzorak **Mos-28** pripada plavom dijela intervala izdanka. Sadrži relativno malo organskog ostatka, uglavnom vitrinita. Osim malobrojnog peluda drveća i slatkovodnih algi,

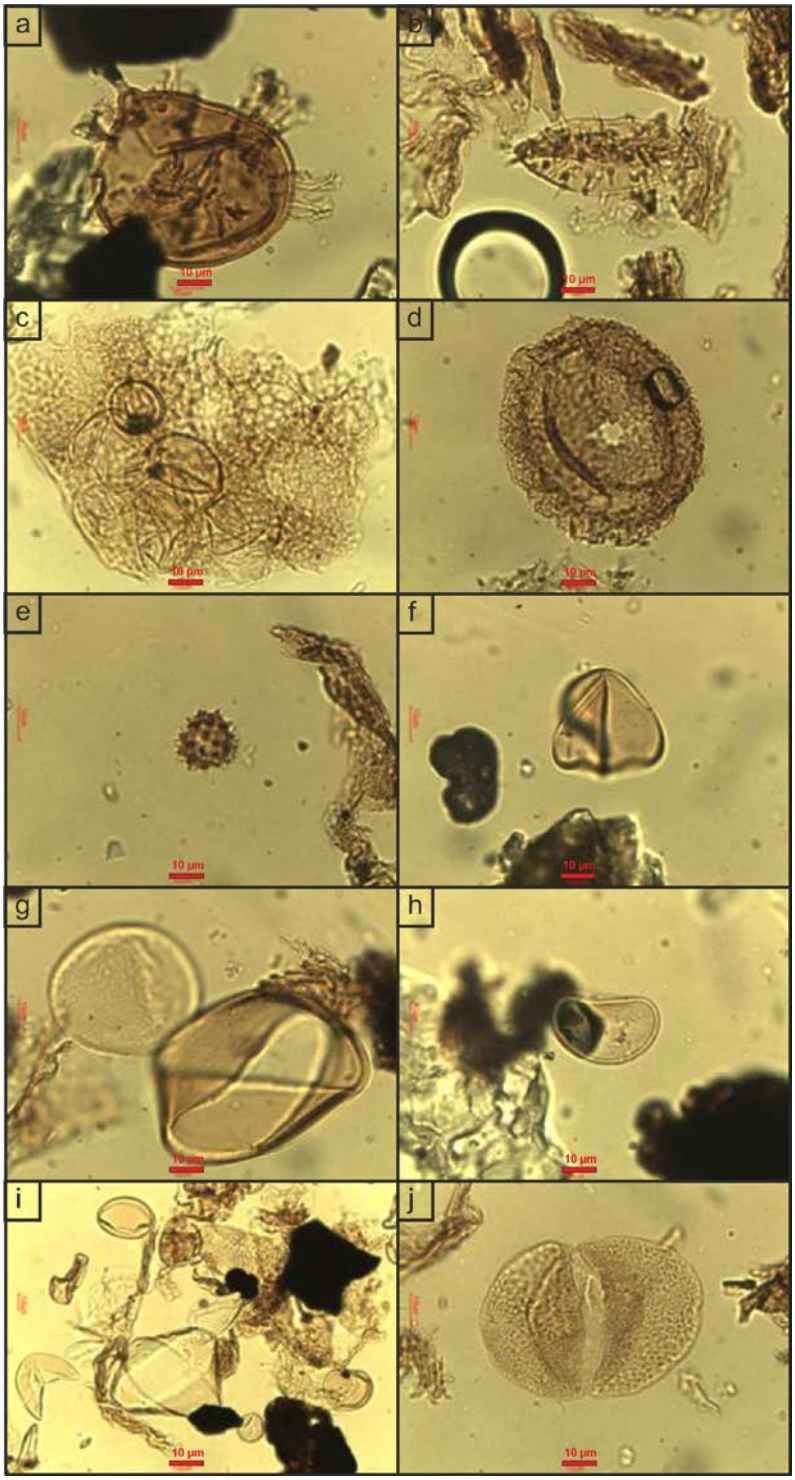
postoji mehanički oštećana gornjomiocenska dinocista koja ukazuje na eroziju miocenskih naslaga.

U uzorku **Mos 29-1** malobrojan sadržaj organskog ostatka miješanog je sastava. U ovom uzorku, osim malobrojnog peluda drveća i slatkovodnih algi, postoji mehanički oštećena gornjomiocenska dinocista koje ukazuje na eroziju miocenskih naslaga. No, postoji i slatkovodna dinocista koja može biti pliocenske starosti.

Uzorak **Mos 30-4** uzet je iz tamne gline s drvovinom. Sadrži veliku količinu organskog ostatka, uglavnom sporinita. Najviše peluda pripada porodici čempresa, nešto je manje peluda bora, a vrlo malo peluda listopadnog drveća. Također postoji puno spora paprati, a zamjetan je i udio slatkovodnih algi kojima odgovara mirni, eutrofni okoliš.

Uzorak **Slav-5** ima velik sadržaj organskog ostatka, uglavnom vitrinita. Među malobrojnim palinomorfama dominiraju spore paprati i pelud zeljastog i vodenog bilja, što bi moglo ukazivati na hladniju klimu, tj. na možebitni glacijal.

Na temelju palinološke analize može se reći da velike količine organskog ostatka, uglavnom vitrinita, sadrže uzorci Mos 16 i Mos 17 koji su taloženi u relativno plitkom okolišu bogatom nutrijentima u umjerenoj klimi. Najviše organskog ostatka postoji u uzorku Mos 30-4, koji je vjerojatno nastao u plitkom eutrofnom okolišu (močvari) u toplijoj, vlažnoj klimi. Također, znatna količina organskog ostatka je i u uzorcima Mos 22 i Slav 5, ali su taloženi u hladnijoj i vlažnijoj klimi, možda tijekom glacijala. Malo organskog ostatka postoji u uzorcima Mos 11-3, Mos 20, Mos 27-1, Mos 28 i Mos 29-1 pa je palinološka analiza tih uzoraka nesigurnija. Može se reći da je za vrijeme taloženja uzoraka Mos 11-3, Mos 28 i Mos 29-1 došlo do erozije gornjomiocenskih naslaga.



Slika 7.21: *Mikrofotograije poleni, spora, dinocista i zamijećenih alga –* ***a)*** *dinocista Spiniferites (Mos-11);* ***b)*** *pelud lokvanja Nuphar (Mos-16);* ***c)*** *pelud čempresa – Cupresacceae (Mos-17);* ***d)*** *pelud čuge – Tsuga (Mos-20);* ***e)*** *pelud glavočike – Asteraceae (Mos-22);* ***f)*** *spora paprati – Leiotriletes (Mos-27);* ***g)*** *alga Mougeotia (Mos-28);* ***h)*** *spora paprati Polypodium (Mos-29);* ***i)*** *pelud Cupressaceae i alge Mougeotia i Sigmopollis (Mos-30);* ***j)*** *pelud Cathaya (Slav-5)*

8. LITOSTRATIGRAFSKA RAŠČLAMBA FORMACIJE LONJA

Uz formacije Prečec i Prkos, formacija Lonja jedna je od neraščlanjenih unutar Savske depresije. Razlog tomu je složenost geoloških odnosa s obzirom na taložni okoliš te prethodno pretpostavljen malen potencijal za pronalazak ležišta ugljikovodika. EK markere u pravom smislu riječi nemoguće je utvrditi osim kao početak trenda izmjene litološkog sastava koji su izravan rezultat promjene u izvorištu materijala, okolišu, dubini vode i klimi. Takve promjene mogu se očitati na zbirnim krivuljama standardne devijacije (u daljnjem tekstu ZSD) EK mjerenja spontanog potencijala i otpornosti.

Važno je napomenuti da je u većini analiziranih bušotina (**Slika 6.8**) izdvojeno nekoliko takvih trendova koji određuju pojedine članove. Njihove granice se mogu nazivati EK markeri ili reperi ovisno o tome je li granica normalnog, konkordantnoga, ili erozijskog karaktera. Takva utvrđivanje litostratigrafskih jedinica ranga člana je ispravna jer su ZSD krivulje izravan rezultat litološkog sastava naslaga, tj. trenda izmjene pojedinih vrsta naslaga, a što je osnovica raščlambe u litostratigrafskom sustavu jedinica (MURPHY & SALVADOR, 1998; NACSN, 2005). Iako je njihovo prepoznavanje u osnovi bitno drugačije od onog u starijim formacijama opisano u VRBANAC (2002), nazivanje pojedinih granica utvrđenih takvim metodama EK markerima opravdano je zbog sljedećeg:

- Utvrđene na temelju podataka iz EK dijagrama, a koji opisuju litološki sastav;
- Odraz su, u geološkim razmjerima, kratkodobnih (10^4 godina) promjena u taložnom sustavu.

Utvrđeni EK markeri imaju rasprostiranje po većem dijelu istraživanog područja depresije za one koji pripadaju starijim, donjim dijelovima formacije Lonja, dok je u vršnom dijelu determinacija prilično otežana zbog nedostatka karotažnih krivulja. Područje rasprostiranja pojedinih članova manje je negoli ono EK markera i repera. To je opravdano s obzirom da je teško očekivati da se na cijelom sedimentacijskom prostoru talože naslage istih litoloških karakteristika iako generalno mogu pokazivati sličnost prema određenim metodama, npr. spomenutim analizama ZSD krivulja. Osim markera, utvrđeni su i reperi kao diskordantne granice s većom razlikom između starosti ($>10^5$ godina) naslaga u njihovoj podini i krovini.Utvrđeni su sljedeći EK markeri i reperi:

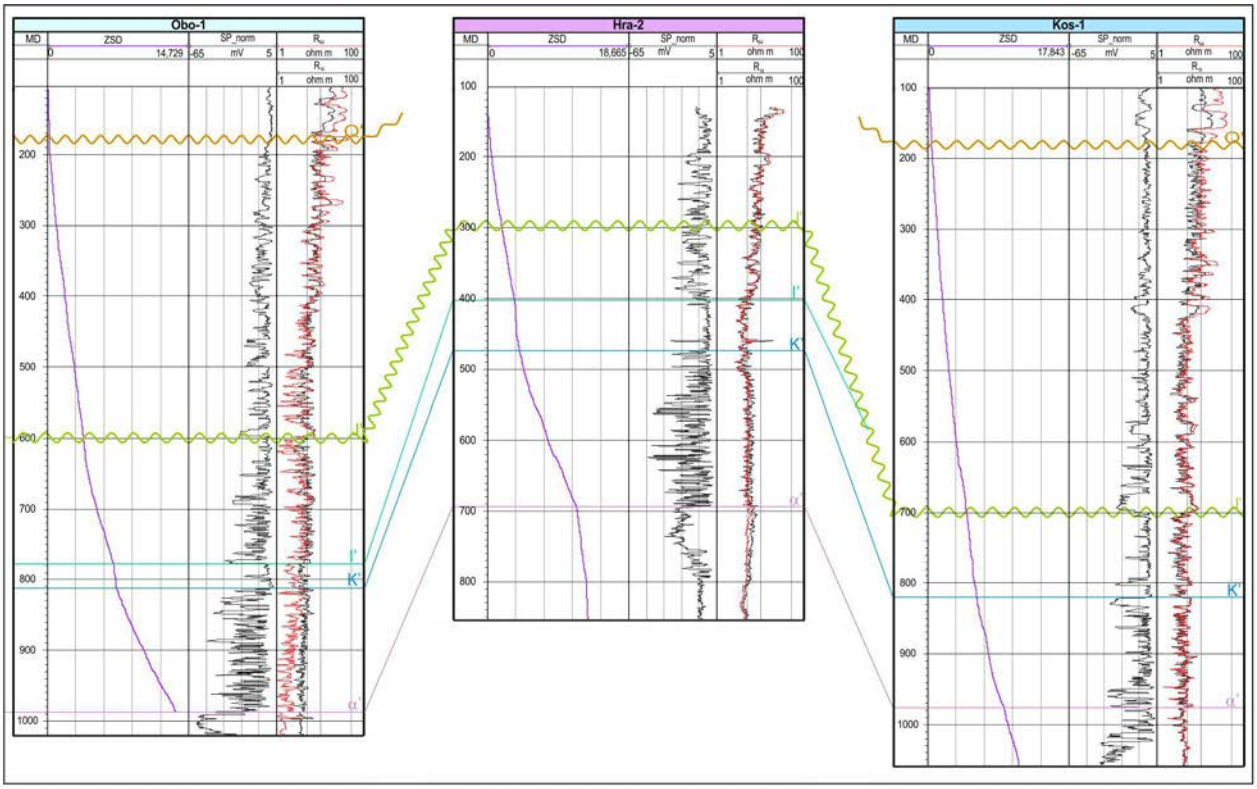
- EK marker **K'** – utvrđen je prema strmom nagibu ZSD-a koji ukazuje na ujednačenu i učestalu izmjenu litološkog sastava što posljedično uzrokuje

visoke iznose standardne devijacije vrijednosti EK krivulja (**Slika 8.1**). Ovaj EK marker je regionalan te se može pratiti na cijelom i području istraživanja (**Prilozi 1-3**). U istočnom dijelu područja nagib krivulje se ublažuje, no svejedno je jasno odjeljiv od vrlo blagog nagiba u krovini i blažeg u podini.

- EK reper **J'** – predstavlja ponovno ustrmljivanje nagiba ZSD-a u krovini u odnosu na vrlo blag u podini. Nagib ZSD-a je blaži nego li onaj između EK markera α' i K'. Ovaj reper je također regionalan (**Prilozi 1-3**).

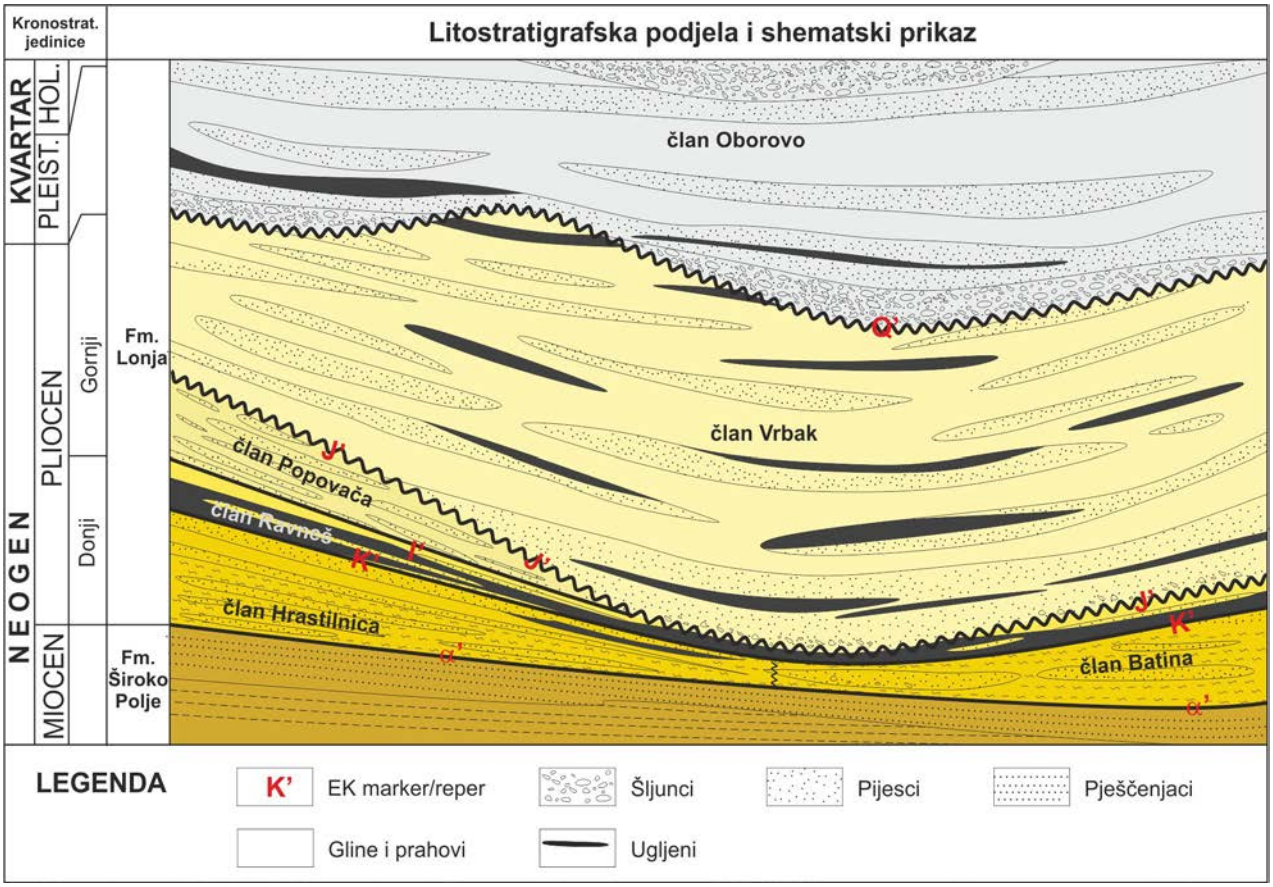
- EK marker **I'** – može se pratiti samo u zapadnom dijelu istraživanog područja, tj. na EK krivuljama pojedinih bušotina zapadno od linije Voloder – Kostrinja (**Prilozi 1, 2**). On naznačuje granicu loma krivulje u blaže položenu (**Slika 8.1**). Nagib prethodno lomu sličan je onome koji prethodi markeru K'.

- EK reper **Q'** – najplići reper koji označava erozijsku granicu između nekonsolidiranih, prevladavajuće krupnoklastičnih naslaga u krovini te izmjene gline, praha i pijesaka u podini (URUMOVIĆ *et al.*, 1978; HERNITZ *et al.*, 1980; 1981). Reper je također regionalan (**Prilozi 1-3**), no s obzirom na raspon dubina u kojima se pojavljuje u nekim bušotinama nije utvrđen na temelju karotažnih krivulja već prema opisu materijala iz isplake kada pretežito šljunkovito-pjeskovite naslage prelaze u glinovito-prahovito-pjeskovite.



Slika 8.1: *Prikaz izdvojenih EK markera i repera na osnovi ZSD-a te EK krivulja SP-a i otpornosti u bušotinama Oborovo-1, Hrastilnica-2 i Kostrinja-1*

Detaljnom obradbom EK krivulja i geoloških izvještaja (BALTIĆ *et al.*, 1982*; IVIČIĆ *et al.*, 1988*; GAĆEŠA & ŠKALER, 1965*; GJUKIĆ *et al.*, 1974*; IGRIĆ, *et al.*, 1986*; JURKOVIĆ, A. 1962*; KRALJEVIĆ *et al.*, 1984*; MANDIĆ, 1966*; MIŠKULIN *et al*, 1985*; NEUMANOVSKI *et al.*, 1964*; SREMČEVIĆ & CIKUŠA, 1966*; RAŠKOVIĆ, 1970*; RUKAVINA, 1962a*, b*; TOMASOVIĆ, 1956*; TARI *et al.*, 1981*; UCCELINI, S, 1953*; ŽIGROVIĆ *et al.*,1985*) izabranih bušotina na istražnom području prema pravilima litostratigrafske razradbe (MURPHY & SALVADOR, 1998; NACSN, 2005) načinjena je razradba prikazana na **slici 8.2.**

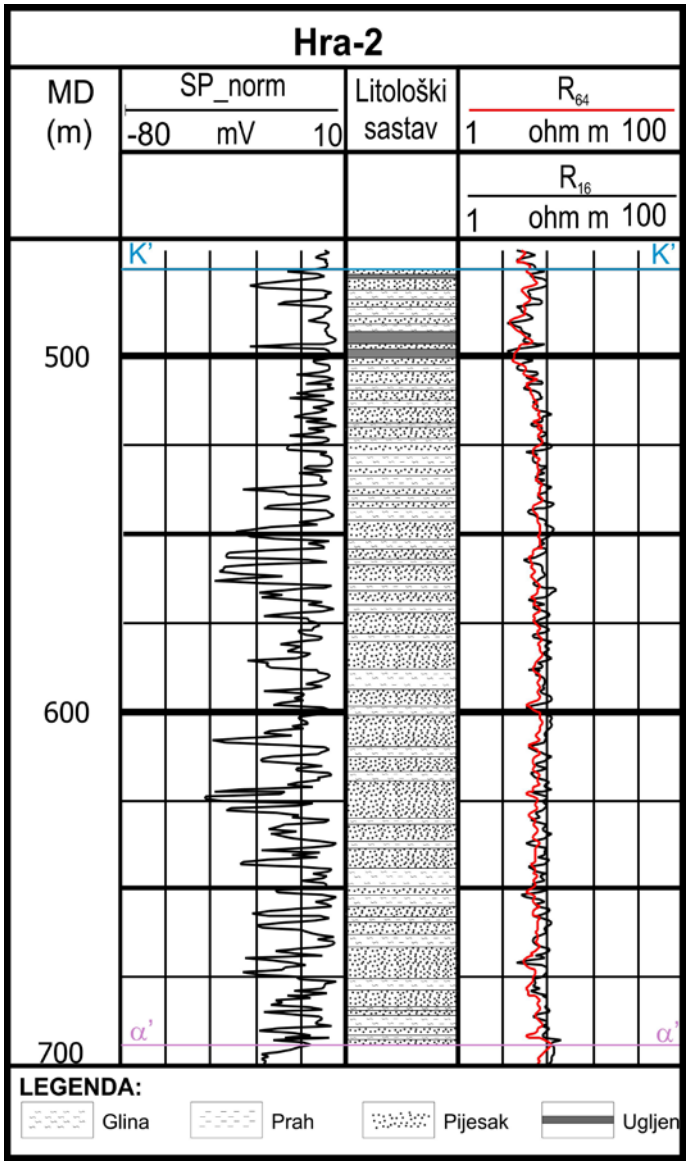


Slika 8.2: *Prikaz litostratigrafskih jedinica utvrđenih na području istraživanja*

8.1. Član Hrastilnica

Član Hrastilnica utvrđen je prema karakterističnoj pojavnosti na krivuljama SP-a i otpornosti u bušotini Hrastilnica-2 (**Slika 8.3**) te posebnostima litološkog sastava određenog prema krhotinama iz isplake. Prostorno je ograničen na zapadni dio područja istraživanja. Sastoji se od izmjene tanje slojevitih (do 5 m), slabo litificiranih sitnozrnatih pijesaka te masnih laporovith glina sive do plave boje u svom vršnom dijelu. U bazalnom dijelu gline sadržavaju značajan udio karbonatne komponente. Pojave lignita obično se nalaze u vršnom dijelu člana, a debljina im je relativno mala. Klasičan razvoj u najvećoj debljini utvrđen je u navedenoj bušotini te je prema tome i imenovan.

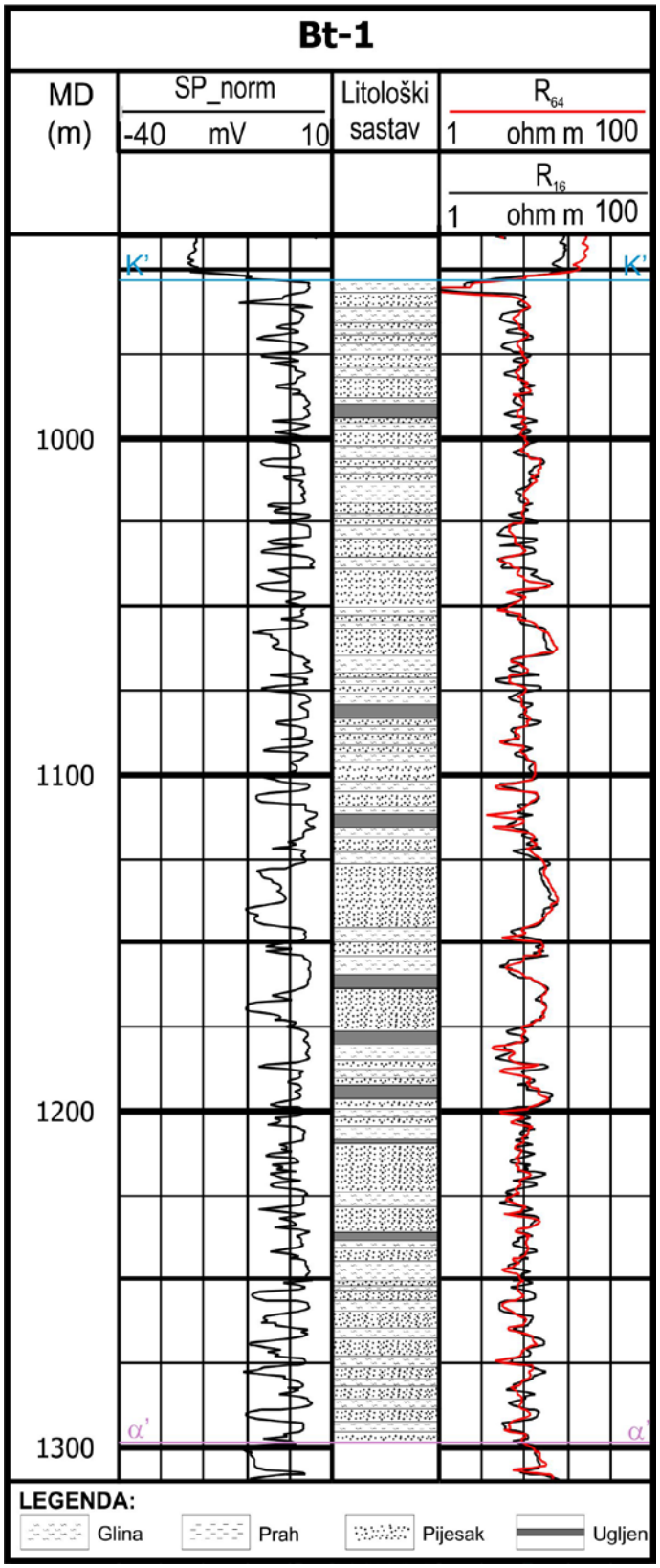
Donja granica ovog člana utvrđena je regionalnim EK markerom α' koji je odjeljuje od debljeslojevitih pješčenjaka/pijesaka s laporima, tj. člana Voloder formacije Široko Polje. Krovina je utvrđena regionalnim EK markerom K' koji predstavlja granicu prema glinovito-ugljevitom članu u krovini.



Slika 8.3: *Karakterističan litološki sastav člana Hrastilnica utvrđenog u bušotini Hra-2*

8.2. Član Batina

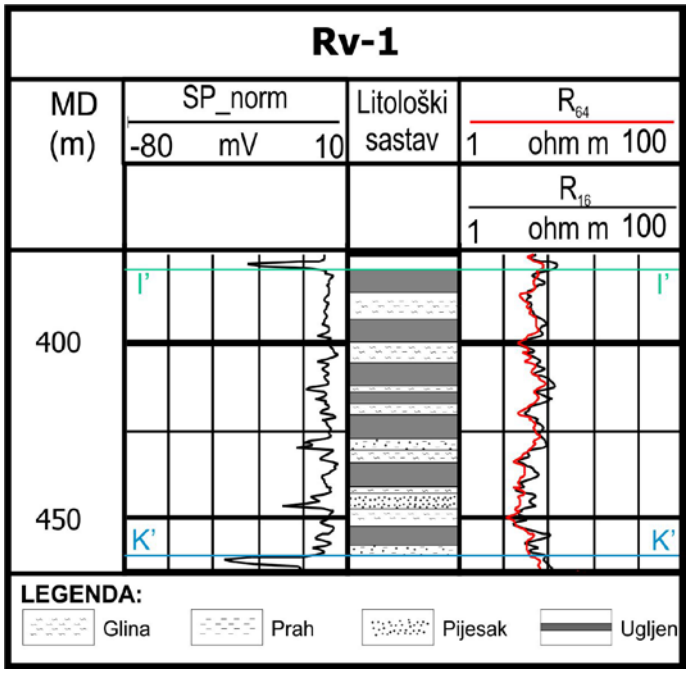
Član Batina bočni je ekvivalent člana Hrastilnica. Ima vrlo sličnu pojavnost na ZSD-u, tj. u podini i krovini je utvrđen istim markerima kao i član Hrastilnica. Za razliku od njega, član Batina ima znatno manji broj propusnih slojeva, no propusna tijela veće su debljine (**Slika 8.4**). Prema opisu krhotina iz isplake radi se o izmjeni slabo litificiranih sitnozrnatih tinjčastih pijesaka sive boje s krhotinama mekušaca u izmjeni s glinama sive i zelene boje koje mjestimice imaju dosta karbonatne komponente. Pojave ugljena su također utvrđene, no ovdje su deblje i češće nego u članu Hrastilnica.



Slika 8.4: *Karakterističan litološki sastav člana* Batina *utvrđenog u bušotini Bt-1*

8.3. Član Ravneš

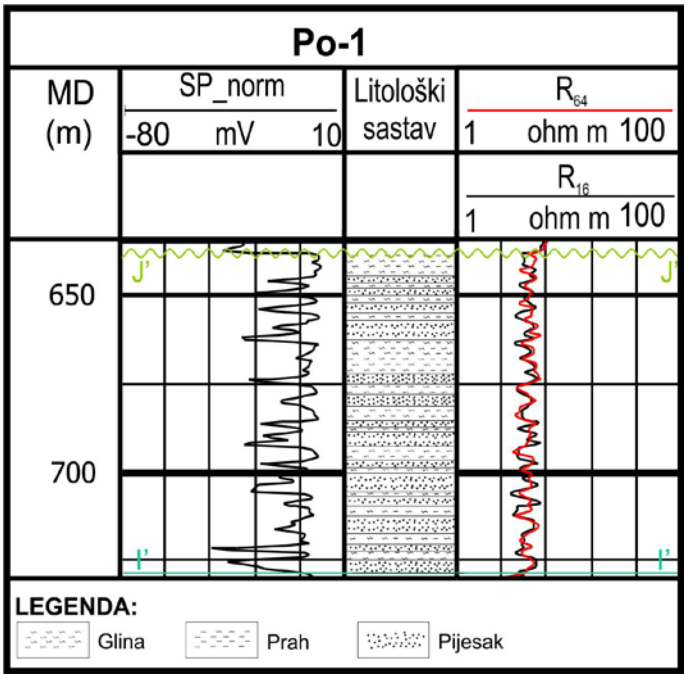
Utvrđen je kao karakteristični dio formacije Lonja zbog debelog intervala nepropusnih naslaga prepoznatih na EK krivuljama. U podini je ograničen s EK markerom K', a u krovini s EK reperom J' na istočnom i EK markerom I' na zapadnom dijelu područja istraživanja. Litološki sastav na temelju krhotina iz isplake utvrđen je kao izmjena gline i ugljena niskog stupnja karbonizacije - lignita. Ugljen može predstavljati i do 50 % ukupne debljine člana. Pijesci se javljaju podređeno i debljina pojedini leća ne prelazi pet metara. Karakterističan slijed naslaga utvrđen je u bušotini Ravneš-1 (**Slika 8.5**) i Hrastilnica-2.



Slika 8.5: *Karakterističan litološki sastav člana Ravneš utvrđenog u bušotini Rv-1*

8.4. Član Popovača

Izmjena pijesaka, praha i gline s vrlo rijetkim proslojcima lignita karakteristični su za slijed naslaga ograničenog EK markerom I' u podini i EK reperom J' u krovini. Rasprostiranje člana Popovača prostorno je ograničenije nego kod ostalih jedinica. Prema litološkom sastavu vrlo je sličan članu Hrastilnica s obzirom na prosječnu debljinu propusnih intervala i učestalost izmjene facijesa (**Slika 8.6**).

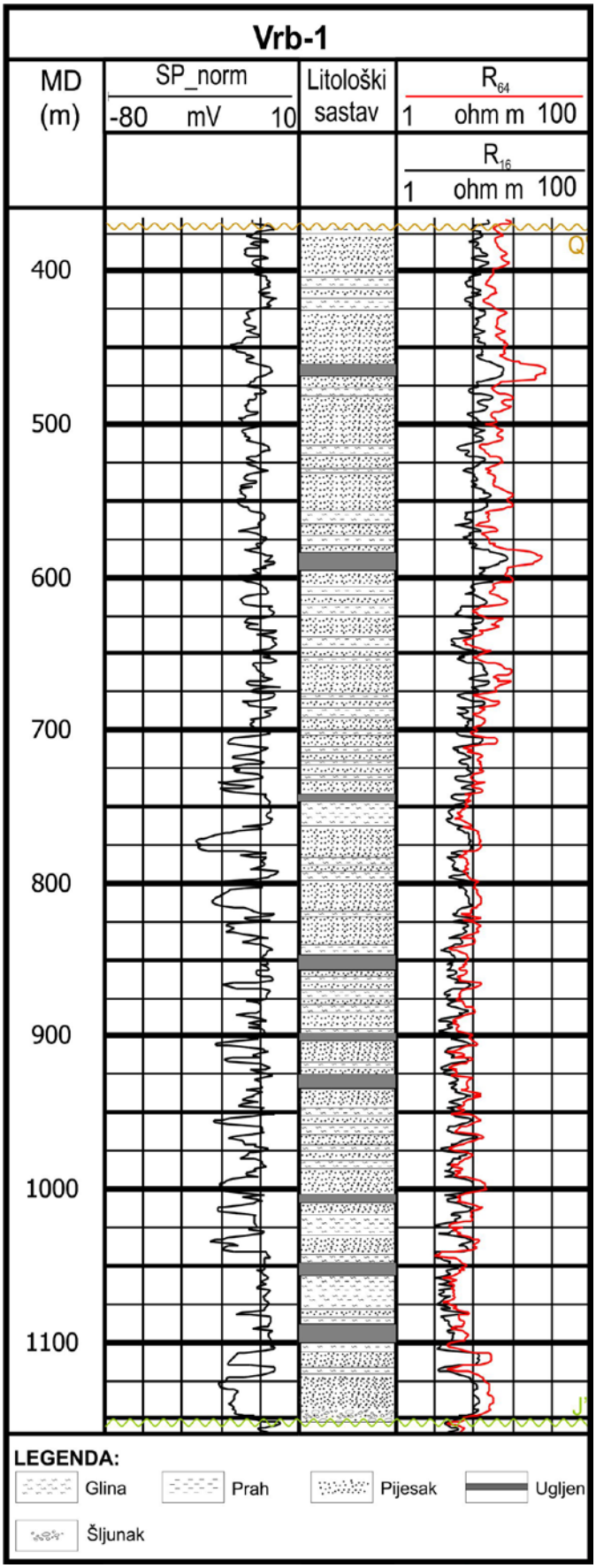


Slika 8.6: *Karakterističan litološki sastav člana Popovača utvrđenog u bušotini Po-1*

8.5. Član Vrbak

Član Vrbak se može prepoznati na gotovo cijelom području istraživanja. Upravo najveće debljine naslaga formacije Lonja pripadaju ovom članu. Karakteristična je monotonija izmjena litološkog sastava utvrđena na temelju EK krivulja nego kod članova Hrastilnica, Batina i Popovača. Prema krhotinama iz isplake radi se o izmjeni krupnozrnatijih pijesaka, slabo litificirani pješčanjaka s krhotinama mekušaca te plavozelenih glina sa slojevima ugljena (**Slika 8.7**).

Podina mu je ograničena erozijskom granicom sa starijim naslagama. Takva vrsta kontakta proizlazi iz obično debelog sloja šljunkovitog pijeska sive boje, debljine do 15 m koji označava bazalni dio člana Vrbak. Nerijetko, u tom sloju mogu se naći fragmenti mekušaca i proslojci sekundarnog ugljena – lignita. Najveća debljina, ali i varijabilnost debljine na području istraživanja ukazuju na povećanu dinamiku taložnog okoliša koja je pretpostavljeno rezultat klimatskih promjena na kraju pliocena i početkom pleistocena. Pojavnost na čitavom području istraživanja ukazuju na jezersku sredinu. Veća debljina slojeva, posebice onih propusnih, rezultat je povremenih, kratkotrajnih razdoblja sa značajnijim donosom materijala u takvu taložnu sredinu.



Slika 8.7: *Karakterističan litološki sastav člana Vrbak utvrđen u bušotini Vrb-1*

8.6. Član Oborovo

Najmlađi član, u podini ograničen EK markerom Q', obilježava prevladavanje krupnozrnatih klastičnih sedimenata, šljunaka i pijesaka, u izmjeni s prahom i glinom te slojevima lignita i treseta. Treseti i ligniti, za razliku od onih u većini starijih članova, mogu biti i primarni zbog stalnih promjena u okolišu od jezerskog, preko močvarnog, do riječnog i kopnenog kada se taloži eolski sediment – les. Ovakva izrazita varijacija okoliša rezultat je oledbi za vrijeme pleistocena kada je vodena površina za vrijeme glacijala reducirana. Tada se eventualno u preostalim vodenim sredinama gline, a na kopnu les. Za vrijeme interglacijala, vodene površine preplavljuju ravničarska područja te nastaju močvare i plitka jezera u kojima se talože krupnozrnati sedimenti trensportirani rijekama i bujicama.

9. STRUKTURNI ODNOSI TREĆEGA NEOGENSKO-KVARTARNOGA MEGACIKLUSA U ISTRAŽIVANOM PODRUČJU

Daljnji korak obradbe naslaga formacije Lonja bilo je njihovo strukturno kartiranje kako bi se odredili strukturni odnosi straživanog područja te označili glavni tektonski utjecaji. Izrađene su karte po svakom od EK markera utvrđenog unutar formacije Lonja, kao i EK markeru α' u njezinoj podini koji označava donju granicu trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa. Prema tome, ukupno je izrađeno pet strukturnih karata koje su:

- Karta po podini formacije Lonja, ujedno i podini članova Hrastilnica i Batina – EK markeru α' (**Slika 9.1**),
- Karta po podini člana Ravneš te krovini članova Hrastilnica i Batina – EK markeru K' (**Slika 9.2**),
- Karta po podini člana Popovača te krovini člana Ravneš samo na području prostiranja člana Popovača – EK markeru I' (**Slika 9.3**),
- Karta po podini člana Vrbak i krovini člana Popovača (ukoliko je utvrđen) i člana Ravneš gdje član Popovača nedostaje – EK reperu J'(**Slika 9.4**) te
- Karta po podini člana Oborovo i krovini člana Vrbak – EK reperu Q' (**Slika 9.5**).

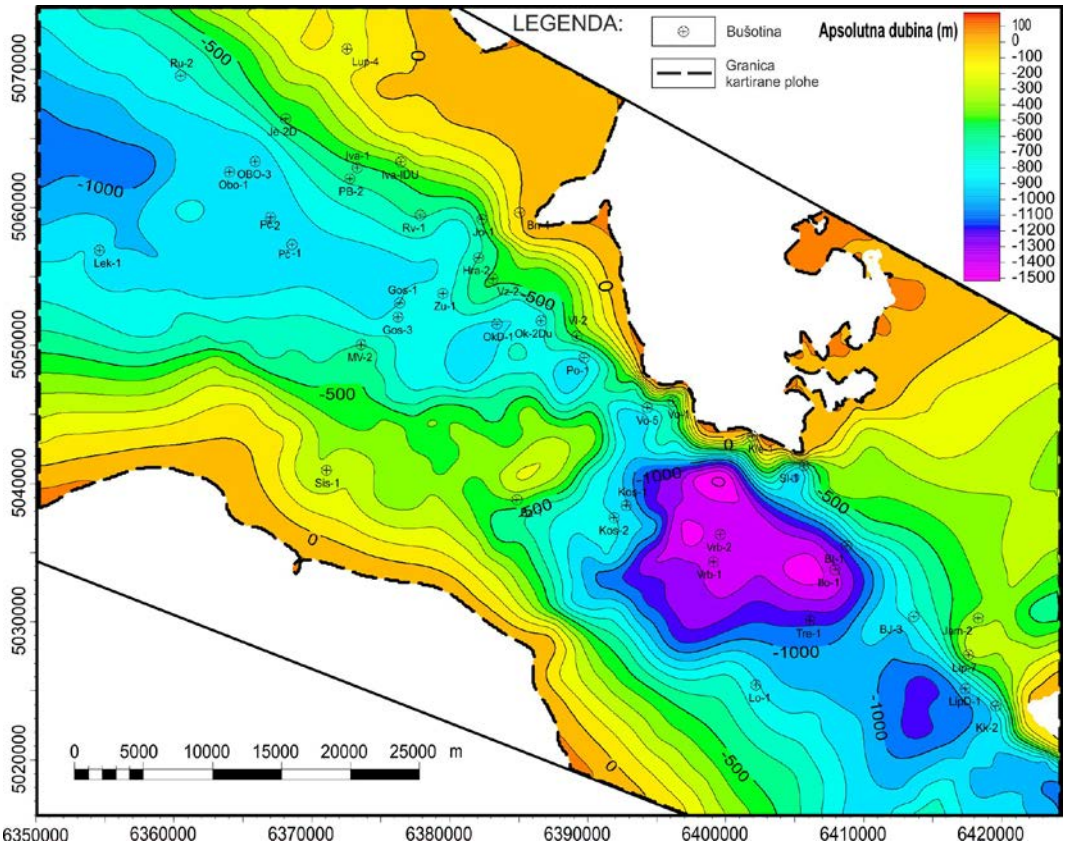
Sve karte načinjene su postupkom opisanim u **podpoglavlju 5.1.3**. Treba uzeti u obzir da je njihova točnost veća u prostoru zahvaćenom bušotinama i seizmičkim podatcima.

Na temelju strukturnih karata načinjene su karte debljina pojedinih intervala između EK markera i repera te je načinjena palinspastička analiza područja istraživanja prema postupku opisanom u HERNITZ & JURAK (1973), JOVIĆ (2009) i VELIĆ *et al.*, (2011). Rekonstruirani su glavni tektonski utjecaji koji su jasno vidljivi na dva poprečna diferencijalna profila pojedinih (**Slika 9.7**, **Slika 9.8**).

9.1. Strukturne karte po EK markerima i reperima formacije Lonja

Pregledom strukturne karte po EK markeru α' jasno se mogu razlučiti dva područja – sjeverozapadni s dubinama do –1000 m te jugoistočni s dubinama do -1400 m. Između njih je izraženo izdignuto područje između Moslavačke gore na sjeveru i Zrinske gore na jugozapadu. Tako se istraživano područje može podijeliti na dva sinklinorija. Pozitivne strukture, antiklinale, su rijetke, a mogu se izdvojiti one između bušotina Obo-1 i Lek-1, jugoistočno od OkD-1 i sjeverno od Bz-1 (**Slika 9.1**).

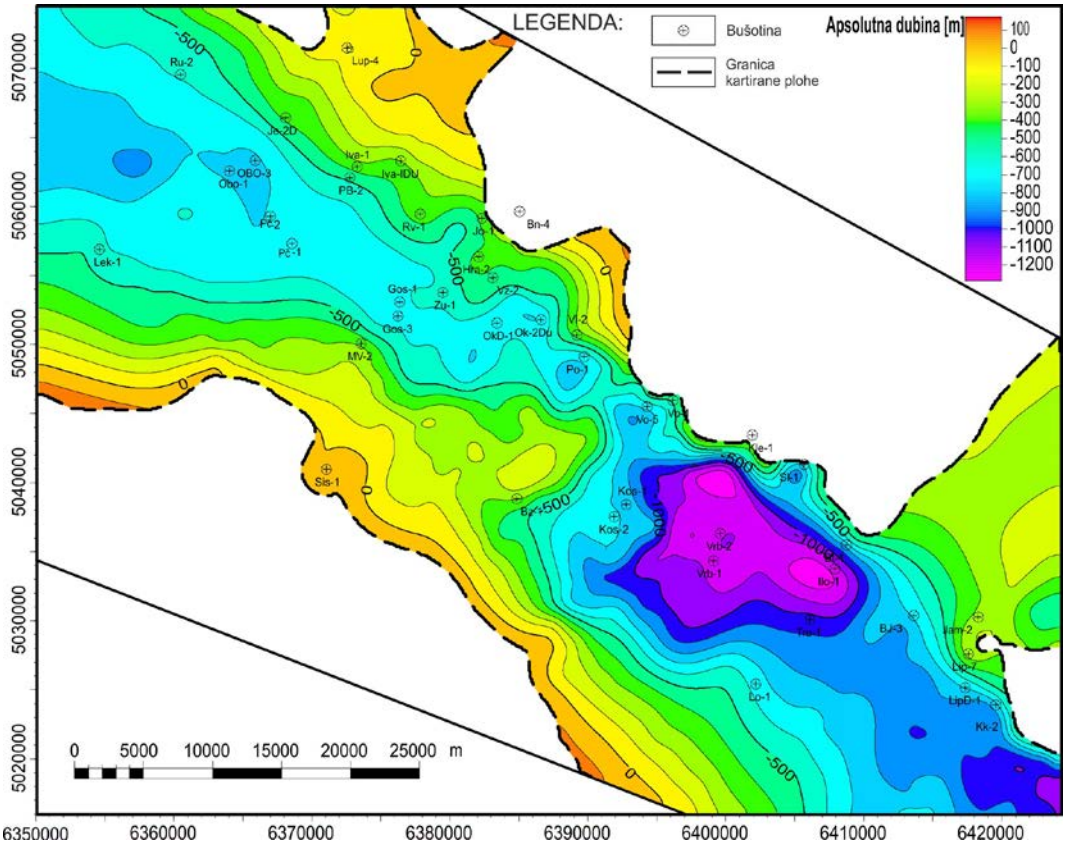
Granica prema Moslavačkoj gori rasjednog je karaktera što se može naslutiti prema zgusnutim stratoizohipsama. Taj „rasjed“ zapravo predstavlja Sjeverni rubni rasjedni sustav Savske depresije. Prema Zrinskoj gori dubina plohe postupno se smanjuje što ukazuje na odsutnost rasjeda značajnijeg skoka.



Slika 9.1: *Strukturna karta po EK markeru α'*

Ploha po EK markeru K' ima vrlo sličan trend kao i ona po α' (**Slika 9.2**). To ukazuje da je za vrijeme taloženja naslaga između ta dva markera tektonika imala relativno maleni utjecaj. Također, može se naslutiti i ujednačenosti dubina taložnog prostora što će se detaljnije moći protumačiti na litofacijsenim kartama.

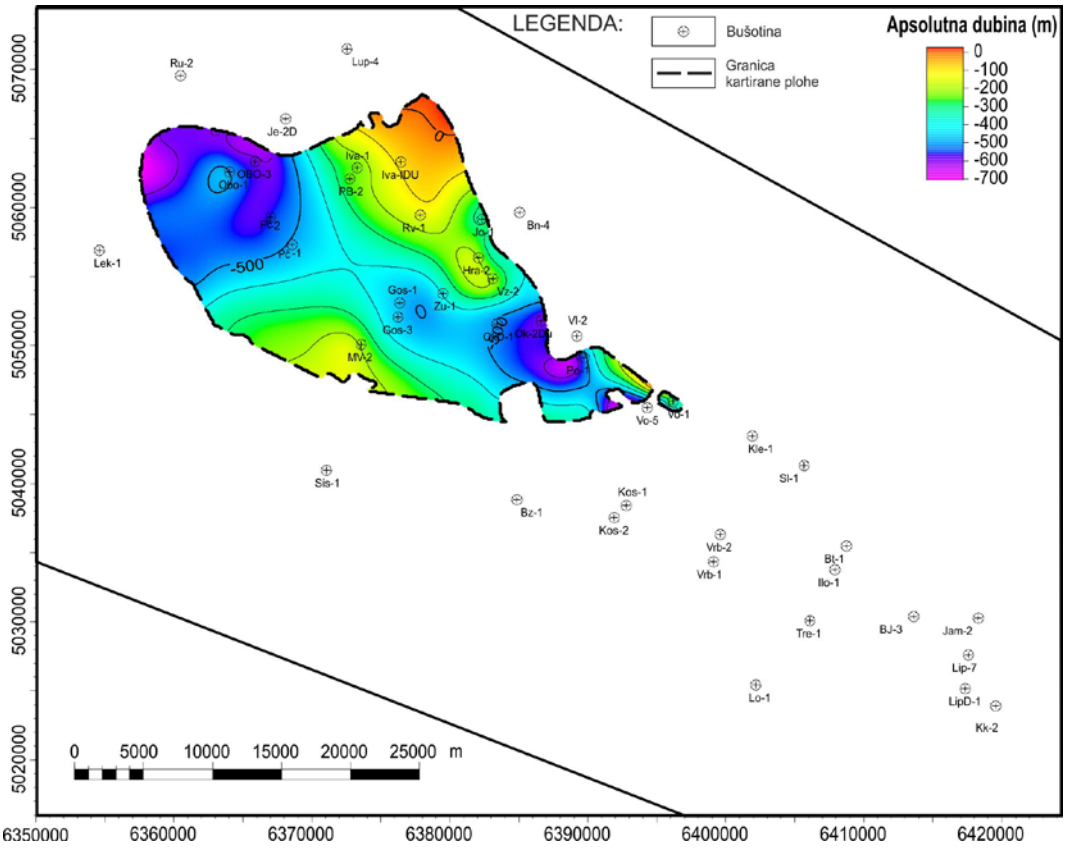
Strukturu i dalje predstavljaju dvije odvojene sinklinale - sinklinorija s rijetkim antiklinalama. Monokline na krilima sinklinala, uz povoljne litološke odnose u podzemlju, mogu biti zanimljive za pronalaske kombiniranih zamki ili litološki i tektonski ekraniziranih slojnih ležišta. S obzirom na dodatno ostvarivanje djelomičnog strukturnog zatvaranja, zanimljiva su područja od bušotine Zu-1 do Hra-2 i sjeverno od Bz-1 kao elementi strukturnog nosa. Sjeverni rubni rasjed Savske depresije i dalje je izražen.



Slika 9.2: *Strukturne karte po EK markeru K'*

EK marker I' bilo je moguće utvrditi samo u nekim bušotinama sjeverozapadno od izdignuća između Moslavačke i Zrinske gore. Generalna orijentacija struktura slična je kao i na prethodnim kartama po EK markerima α' i K', no nagibi ploha su blaži s obzirom na međusobnu udaljenost stratoizohipsa. Zanimljive strukture za ostvarivanje zamke moguće je utvrditi u blizini bušotine Hra-2 (**Slika 9.3**).

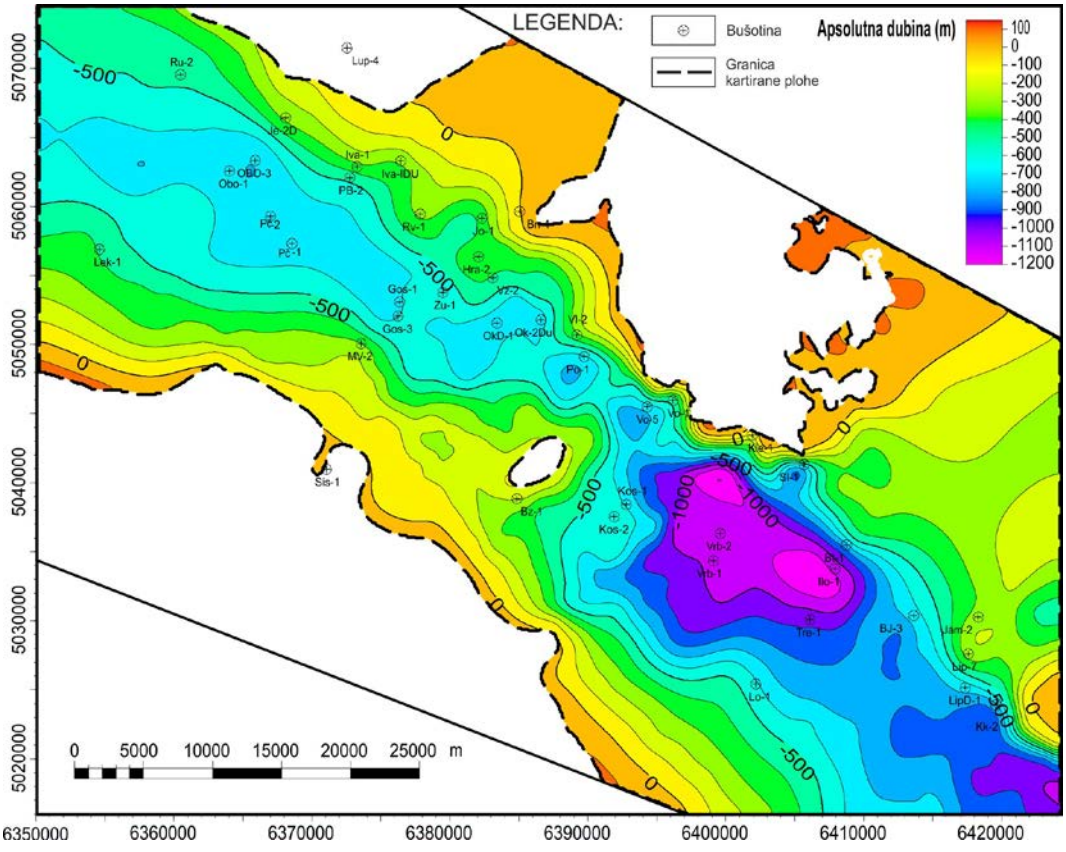
Izostanak ovog markera u većem dijelu prostora istraživanja može se povezati i sa smanjivanjem taložnog prostora ili njegovom erozijom kao rezultatom taloženjem naslaga sljedeće faze razvoja pliocenskog jezera. Prema tome, sljedeća opisana granica ne može biti u osnovi marker, nego reper zbog svog erozijskog karaktera.



Slika 9.3:*Strukturna karta po markeru I'*

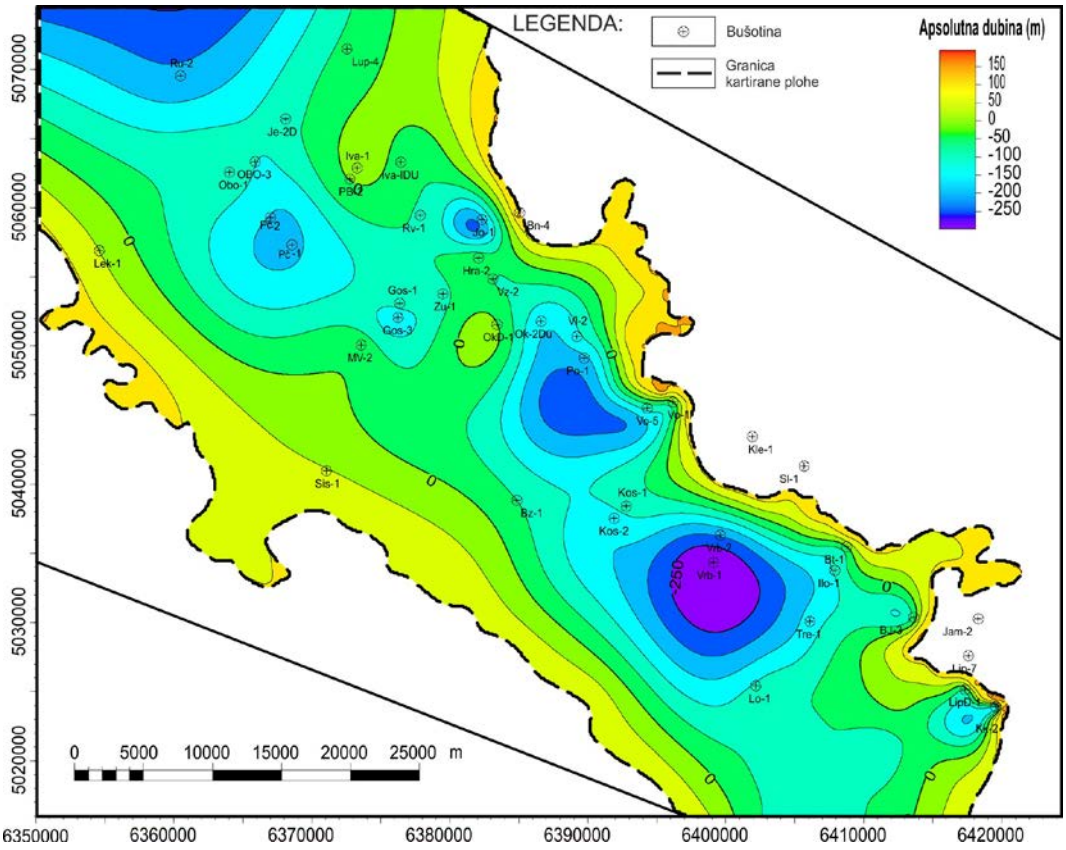
Najveću razliku u dubinama između sjeverozapadnog i jugoistočnog dijela zapažena je kod EK repera J'. Prag između sjeverozapadnog i jugoistočnog područja također je naglašeniji, a u blizini bušotine Bz-1 reper nedostaje zbog izdizanja za vrijeme taloženja i/ili erozije krupnoklastičnih naslaga krovine EK repera Q' (**Slika 9.4**).

Najdublji dijelovi strukture i dalje se nalaze na području bušotina Ilo-1 te Vrb-1 i Vrb-2 dok je na zapadnom dijelu područja ploha EK repera J' nešto plića o odnosu na prethodne EK markere. Erozijski karakter naglašen je u jugoistočnom području, istočno od bušotine Bz-1 gdje nedostaje reper J'. U sjeverozapadnom dijelu erozijski karakter također je vidljiv (**Slika 9.6**), no ne toliko naglašen kao u jugoistočnom. Glavnu strukturu i dalje predstavlja velika sinklinala dinarskoga smjera pružanja. Pozitivne strukture tipa antiklinale iznimno su rijetke. Južni dio Moslavačke gore obilježen je rasjednim kontaktom, kao i područje južno od Psunja.

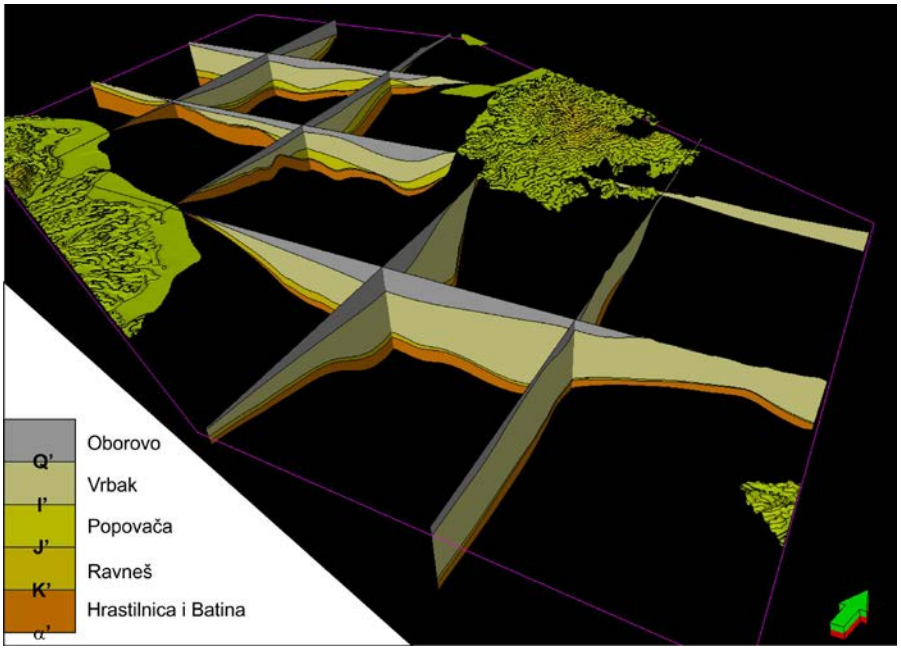


Slika 9.4: *Strukturna karta po EK markeru J'*

Ploha po najplićem EK markeru Q' (**Slika 9.5**), izuzev znatnih dubina na jugoistoku, ima bitno drukčiji prostorni raspored dubljih, odnosno plićih dijelova strukture. Na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu ploha izostaje, što je i očekivano s obzirom na smanjivanje prostora za taloženje krupnozrnatih sedimenata i izrazite promjene u kvartaru, prvenstveno klimatološke. Najveće dubine zamijećene su u sjeverozapadnom i južno i jugoistočno od Moslavačke gore. Zamjetan je njegov erozijski karakter koji je vrlo jasno vidljiv na blok dijagramima u sjeverozapadnom dijelu područja (**Slika 9.6**). U odnosu na karte po prethodnim EK markerima i reperima, može se zamjetiit i izdignuto područje u okolici bušotine OkD-1.



Slika 9.5: *Strukturna karta po EK markeru Q'*



Slika 9.6: *Blok dijagram po EK markerima formacije Lonja*

9.2. Diferencijalni (palinspastički) profili

Na temelju dva karakteristična diferencijalna profila načinjena je analiza paleostrukturnih odnosa te je izdvojena jedinica na koju su tektonski događaji imali najveći utjecaj za vrijeme njezina nastanka. Također, na dijelovima profila koji prelaze preko Moslavačke gore načinjena je rekonstrukcija približnih debljina miocenskih naslaga prethodno transpresijskom događaju koji je uvjetovao njezino izdizanje.

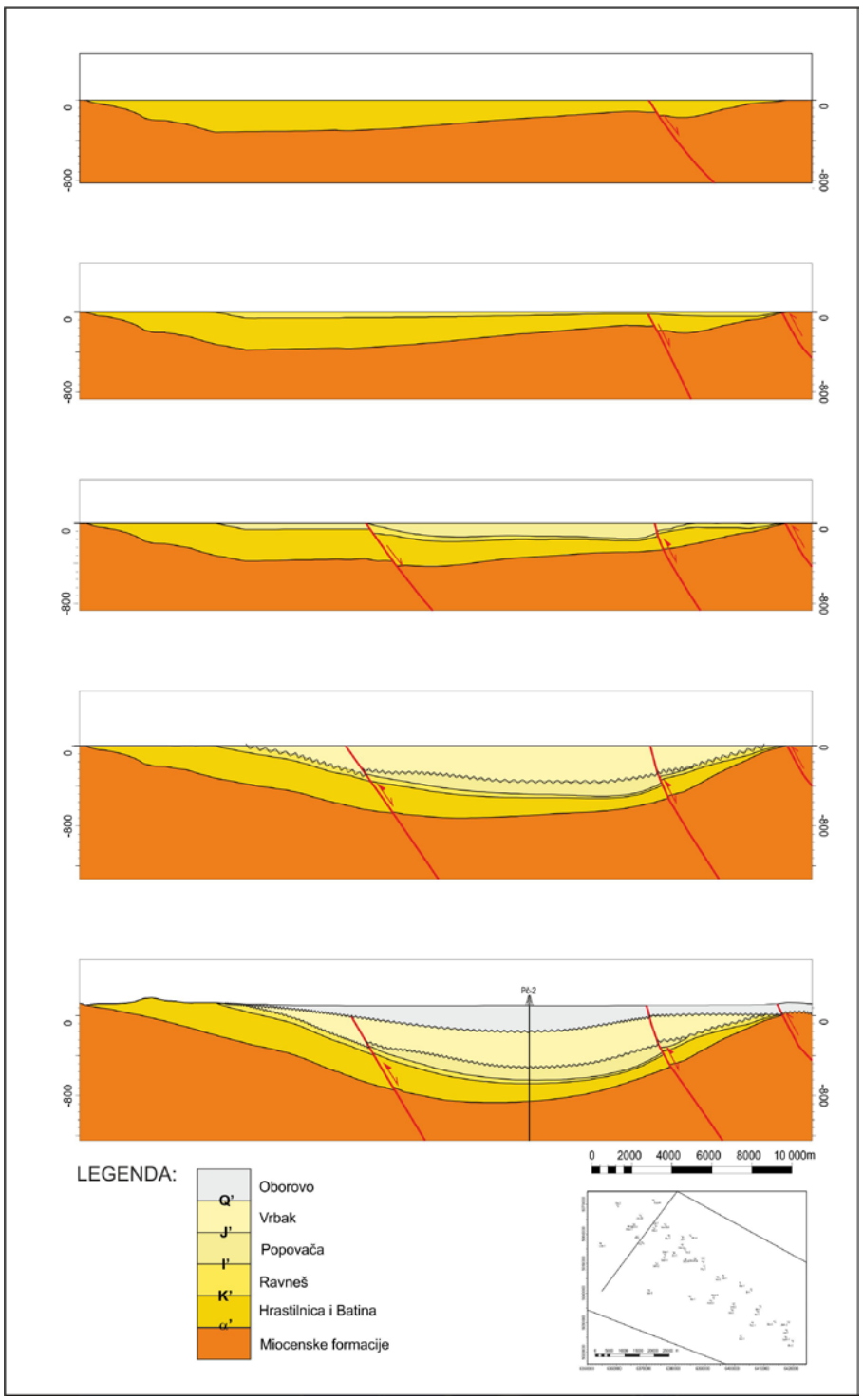
Prva faza razvoja trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa tektonski je relativno mirna. Debljina sedimenta **članova Hrastilnica** i **Batina** (α' – K') povećava se prema središnjem dijelu depresije. Područje je generalno spušteno s više sinklinala. Sjeverni rubni rasjed Savske depresije predstavlja granicu taloženja sedimenata ovih naslaga te većine mlađih. Normalno rasjedanje može se zamijetiti na sjeveru zapadnog područja te reverzno na istočnom dijelu prema Moslavačkoj gori. Uz već spomenuto zadebljanje naslaga u središnjem dijelu, zadebljanja su uočljiva u zoni rasjeda (**Slika 9.7, Slika 9.8**).

Tanke i ujednačene debljine **člana Ravneš** (K' – I' ili J') ukazuju na mirnu sredinu taloženja bez velikog unosa sedimenta u područje što potvrđuje i karakteristični litološki sastav opisan u prethodnom poglavlju. Karakteristična struktura je i dalje sinklinala, vjerojatno nasljedna od prethodne faze. Aktivnost rasjeda ne može se zamjetiti na promjenama debljine naslaga (**Slika 9.7, Slika 9.8**).

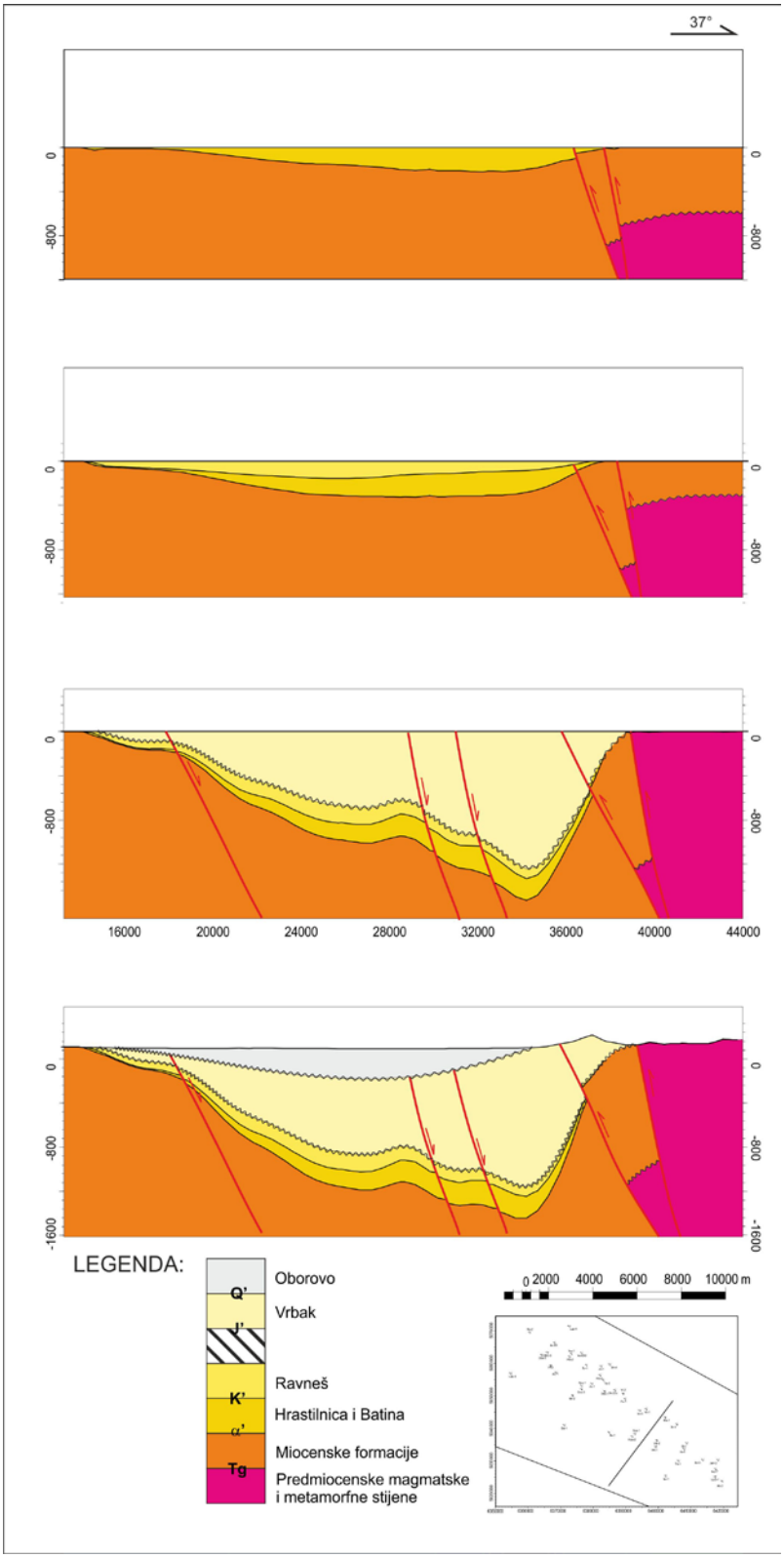
Prve naznake značajnijeg tektonskog utjecaja zamijećene su kod taloženja **člana Popovača** (I' – J') na zapadnom dijelu istraživanog područja. Dolazi do inverzije većine struktura i karaktera rasjedanja što je vidljivo na sjeveroistočnom dijelu diferencijalnog profila (**Slika 9.7**).

Značajne razlike u debljinama između sjeverozapadnog i jugoistočnog dijela područja istraživanja naglašene su kod sedimenata **člana Vrbak** (J – Q'). U zapadnom dijelu i dalje je karakteristična sinklinala, no svi veći rasjedi su sada reverznog karaktera (**Slika 9.7**). U jugoistočnom dijelu, struktura je iz sinklinale, zbog utjecaja transpresijske tektonike, evoluirala u sinklinorij uz formiranje rasjeda normalnog karaktera (**Slika 9.8**). Na taj način formirane su i antiklinale kao strukture za omogućavanje nastanka ležišta ugljikovodika. Najdeblje naslage ovog člana utvrđene su u u zoni južno od najvećih reverznih pomaka, tj. južno od Moslavačke gore.

Iz debljina **člana Oborovo** (Q'-rec.), kao i morfologije današnjeg terena, može se zaključiti kako je tektonski utjecaj i dalje aktivan. Znatniji pomaci mogu se utvrditi uz južni rub Moslavačke gore te prema brdu Gojlo i Psunju (**Slika 9.8)**.



Slika 9.7: *Poprečni diferencijalni (palinspastički) profil sjeverozapadnog dijela prostora istraživanja*



Slika 9.8: *Poprečni diferencijalni (palinspastički) profil jugoistočnog dijela prostora istraživanja*

10. LITOFACIJESNE KARTE ČLANOVA FORMACIJE LONJA

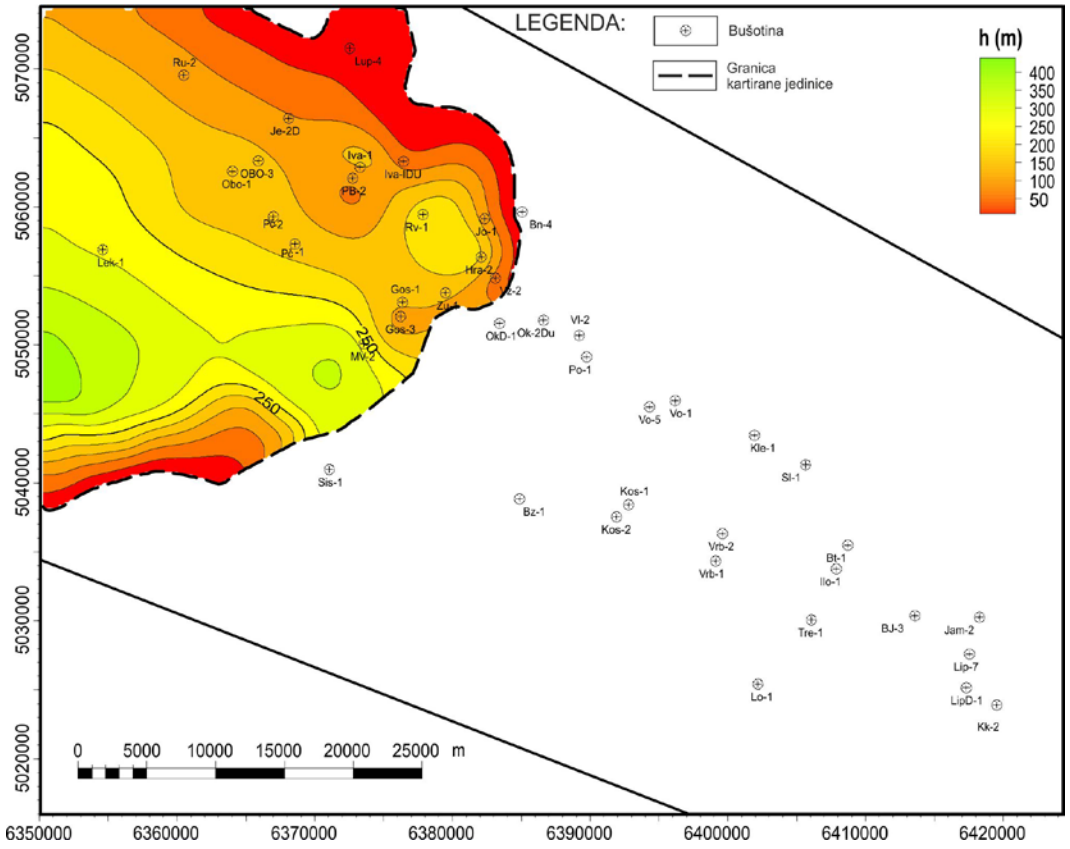
U narednim poglavljima prikazane su dvokomponentne litofacijesne karte pojedinih članova unutar formacije Lonja, osim u slučaju člana Oborovo. Zbog manjka podataka, tj. EK mjerenja, za veći dio člana Oborovo načinjena je samo karta „**h“.**

Karte **„h“** načinjena je na temelju strukturnih karata, tj. iz karte debljina između pojedinih markera i repera koji ograničavaju članove. Na taj način neće doći do nesrazmjera između vrijednosti karte **„h“** i podatka koji bi se dobio proračunom debljina iz strukturnih karata. Karte **„ss/sh**“ i **„n“** interpolirane su pomoću računalnog algoritma, a karta **„he“** konstruirana je na način opisan u **podpoglavlju 5.1.4**. Analiza litofacijesnih karata usmjerena je na međubušotinsko područje zbog smanjenja pogrješke prilikom opisivanja.

10.1. Član Hrastilnica

Član Hrastilnica utvrđen je na zapadnom dijelu područja istraživanja. Bočna promjena facijesa, opisana u **poglavlju 8**, utvrđuje granicu s članom Batina koja se približno nalazi između bušotina Sis-1, OkD-1 i Ok-2Du na istoku te Vz-2, Zu-1 i MV-2 na zapadu.

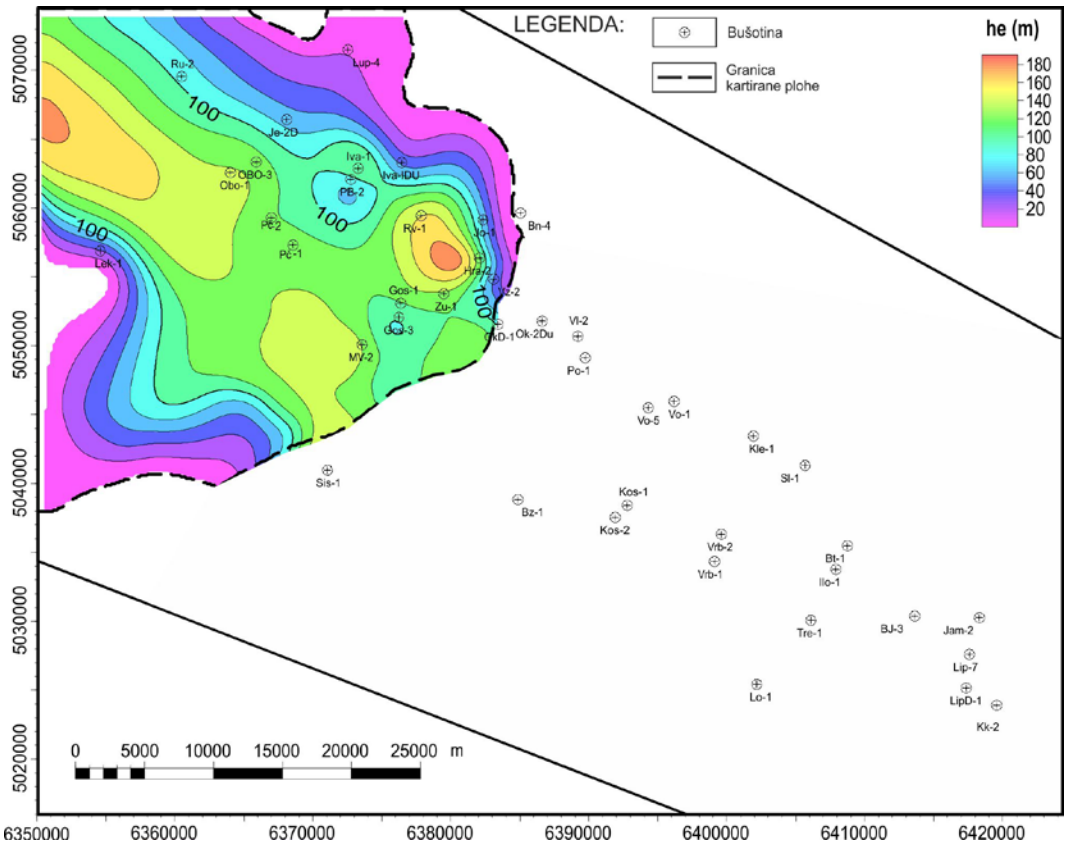
Debljina ovog člana postupno se povećava od sjeveroistoka (bušotina Lup-4) prema Lek-1 i MV-2 s debljinama oko 300 m dok je najveća pretpostavljena debljina 400 m južno od bušotine Lek-1 (**Slika 10.1**).



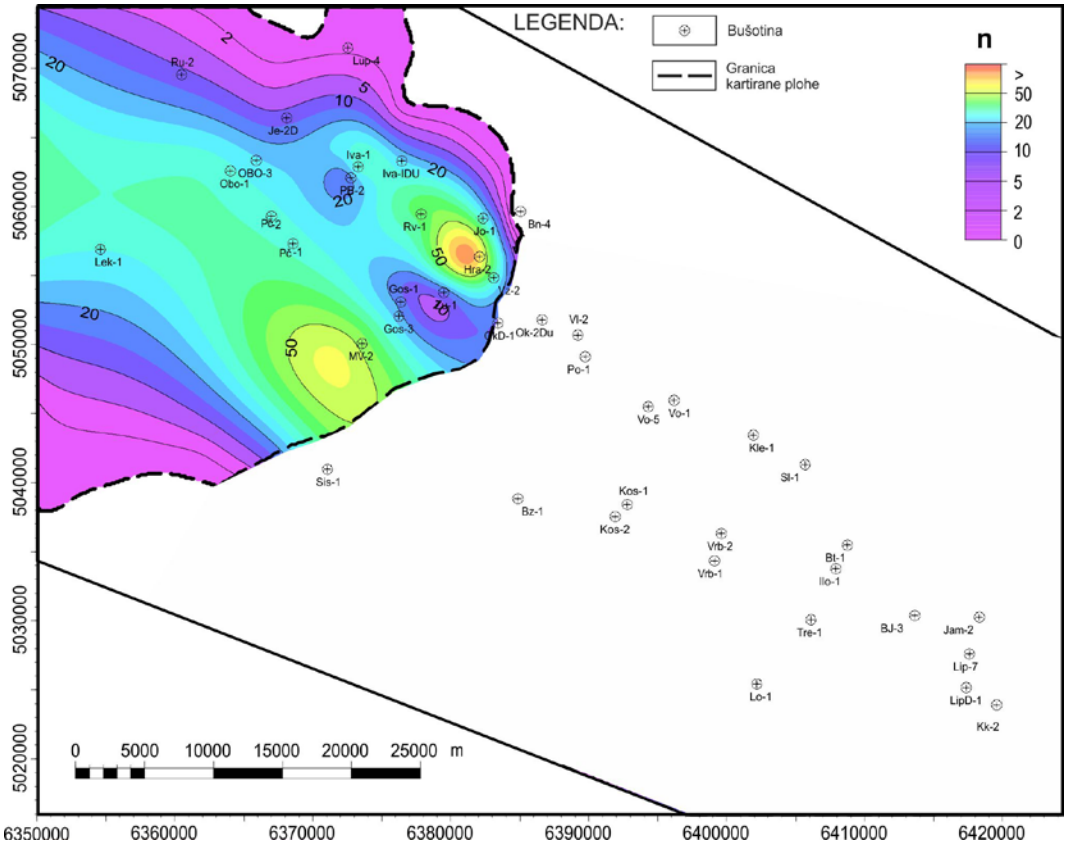
Slika 10.1: *Litofacijesna karta varijable „h“ člana Hrastilnica*

Najveće debljine propusnih naslaga nalaze se kod bušotina Hra-2 i Rv-1 te u središnjem dijelu južno od bušotina Obo-1 i Pč-1 sa smanjenjem debljine propusnih naslaga između PB-2 i Gos-3 (**Slika 10.2**). Ove razlike u debljini propusnih naslaga nisu toliko značajne za sedimentološku interpretaciju kao odnosi vrijednosti na kartama **„n“** i **„ss/sh“**. Maksimumi vrijednosti karte **„n“**, tj. područja s većim brojem slojeva na području između bušotina (**Slika 10.3**) načelno odgovaraju lokalno umanjenim vrijednostima na karti **„ss/sh“** (**Slika 10.4**). Drugim riječima, prosječna debljina pješčanih slojeva povećana je u središnjem dijelu člana Hrastilnica što jasno ukazuje na taj dio kao glavni distribucijski kanal s

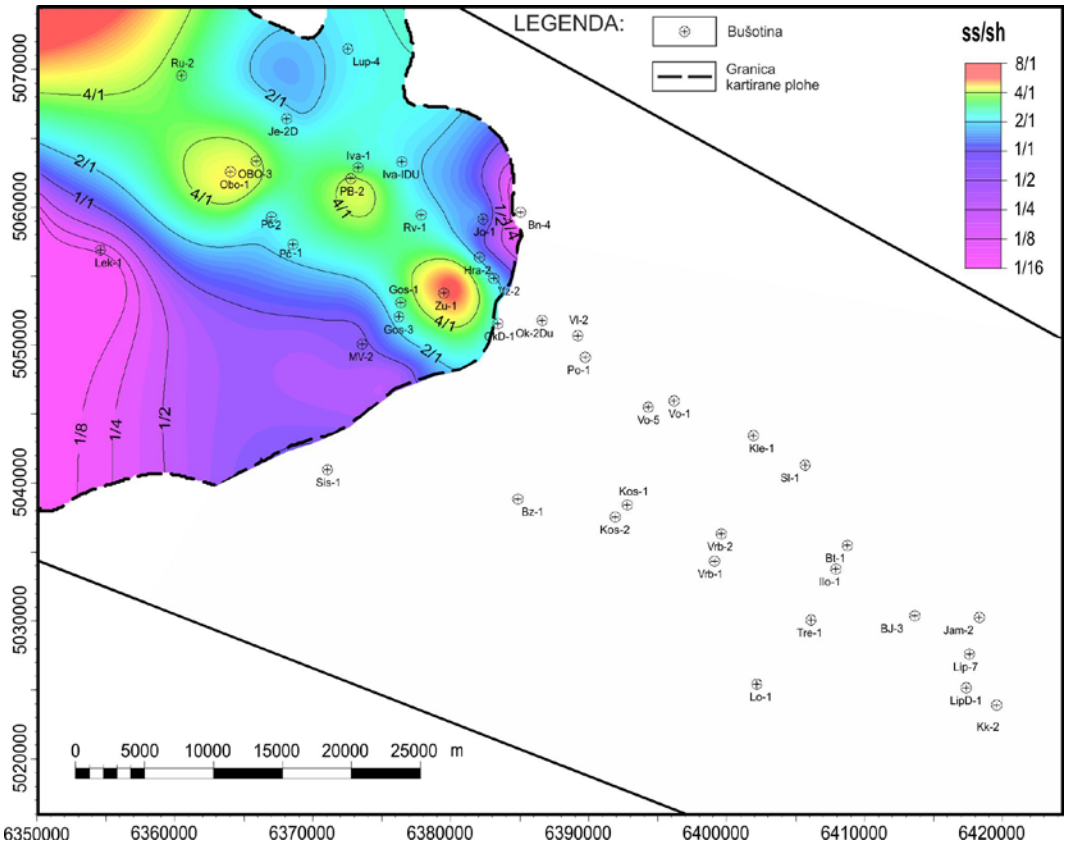
ograncima u kojima je omjer **„ss/sh“** manji. Naime, pješčanih slojeva ima više zbog smanjene energije toka pa je takva „rubna struja“ često nestajala ili gubila snagu prijenosa pijeska.



Slika 10.2: *Litofacijesna karta varijable „he“ člana Hrastilnica*



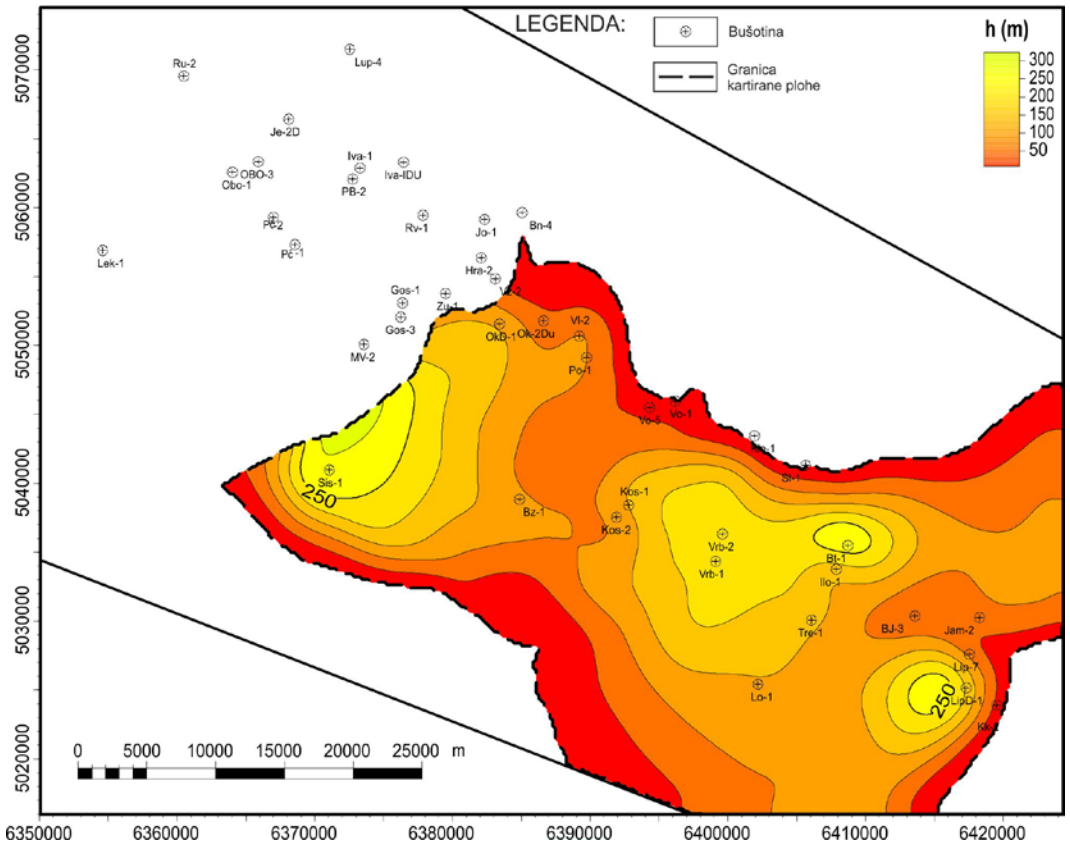
Slika 10.3: *Litofacijesna karta varijable „n“ člana Hrastilnica*



Slika 10.4: *Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Hrastilnica*

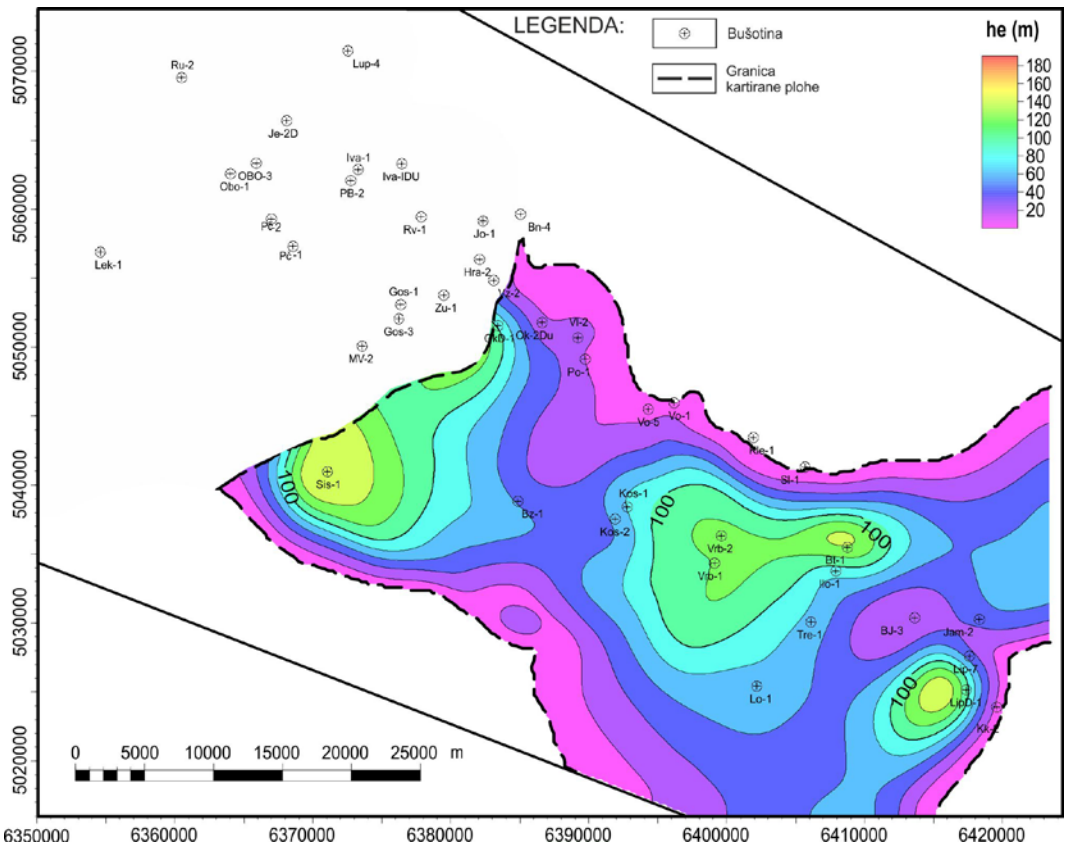
10.2. Član Batina

Član Batina predstavlja svojevrsni nastavak člana Hrastilnica od kojega se razlikuje ne samo po udjelu pjeskovite komponente, nego i broju propusnih slojeva kojih je u ovom slučaju nešto manje. Ukupna debljina člana je približno jednaka sa smanjenim debljinama na području između bušotina Vo-5 i Bz-1 (**Slika 10.5**)

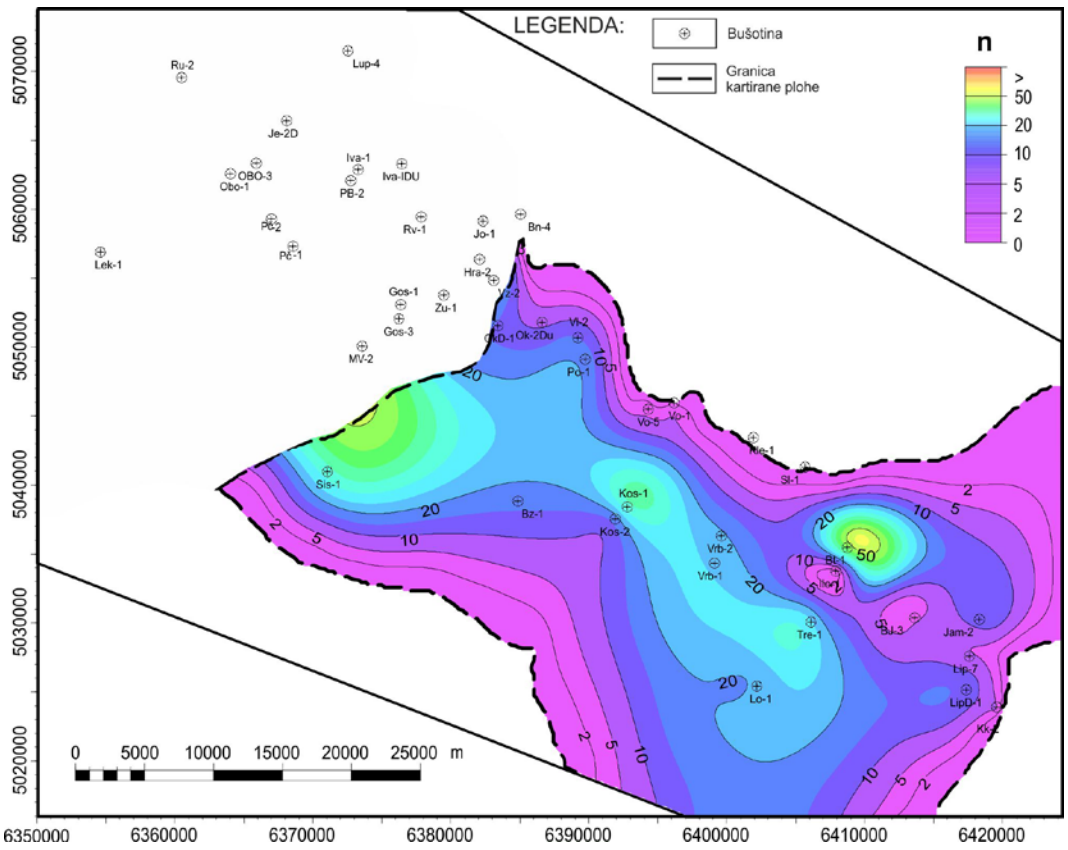


Slika 10.5: *Litofacijesna karta varijable "h" člana Batina*

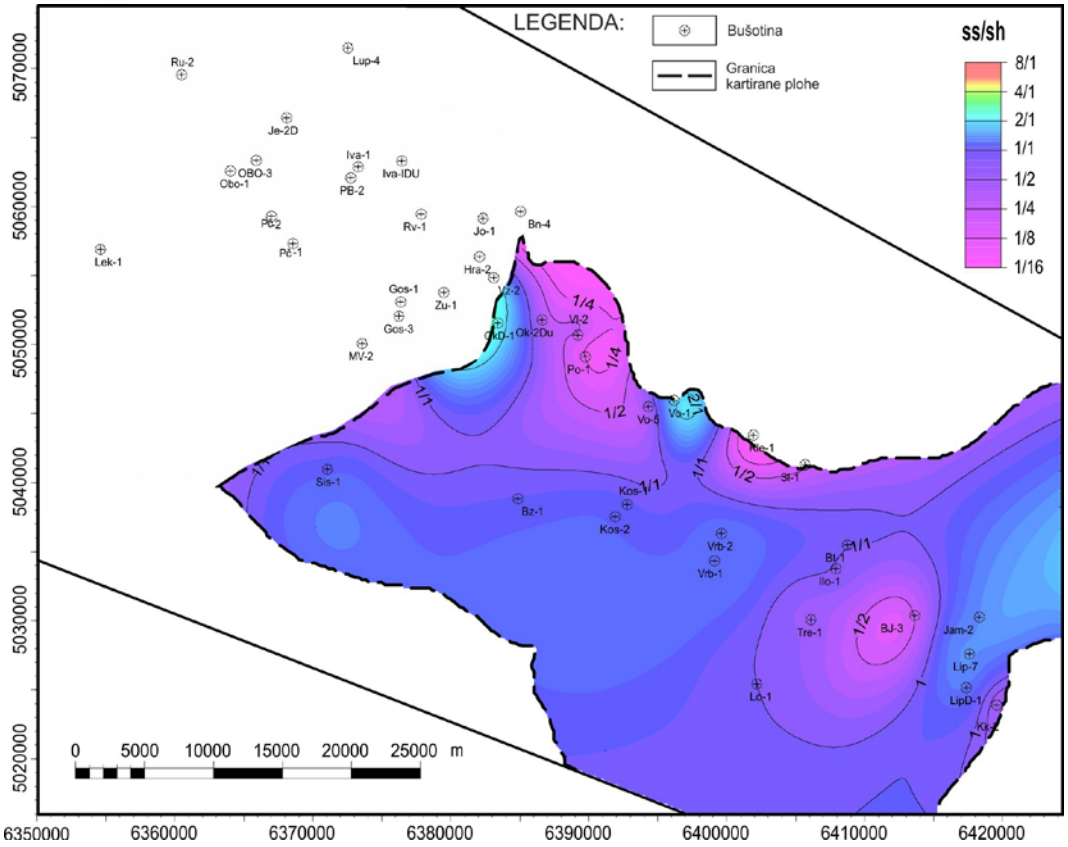
Područja najveće debljina člana Batina podudaraju se s onima najvećih debljina propusnih naslaga (Slika **10.6**) kao i broja propusnih slojeva (**Slika 10.7**) što u osnovi čini ovaj član drukčijim od člana Hrastilnica. Bitno manji omjer propusnih i nepropusnih naslaga (**Slika 10.7**) ukazuju na nešto manju količinu detritusa i distalniji okoliš taloženja.



Slika 10.6: *Litofacijesna karta varijable „he“ člana Batina*



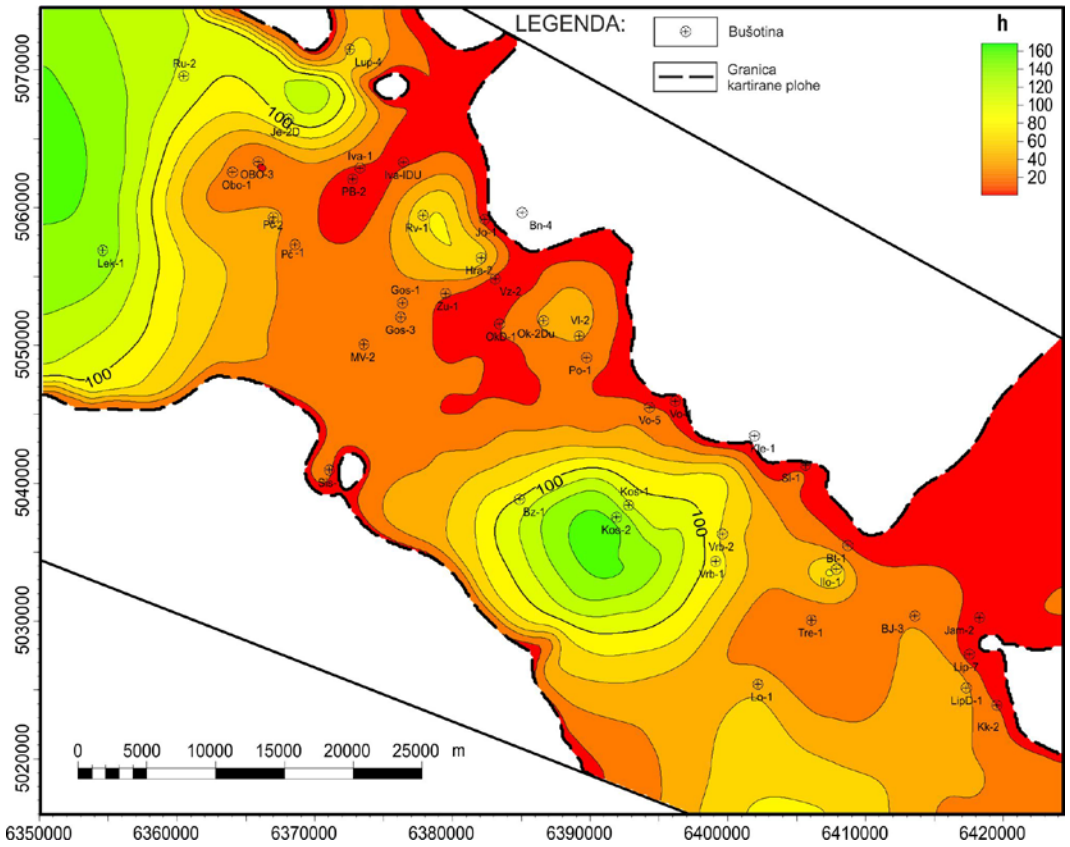
Slika 10.7: *Litofacijesna karta varijable „n“ člana Batina*



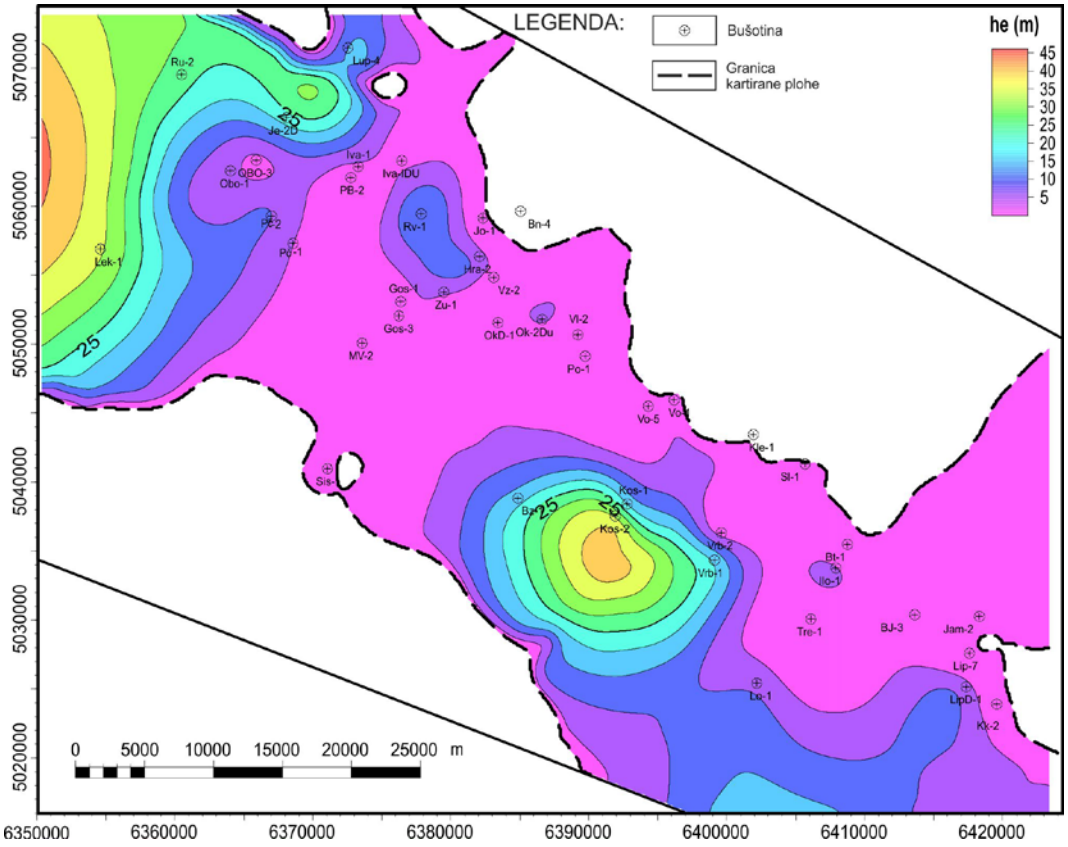
Slika 10.8: *Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Batina*

10.3. Član Ravneš

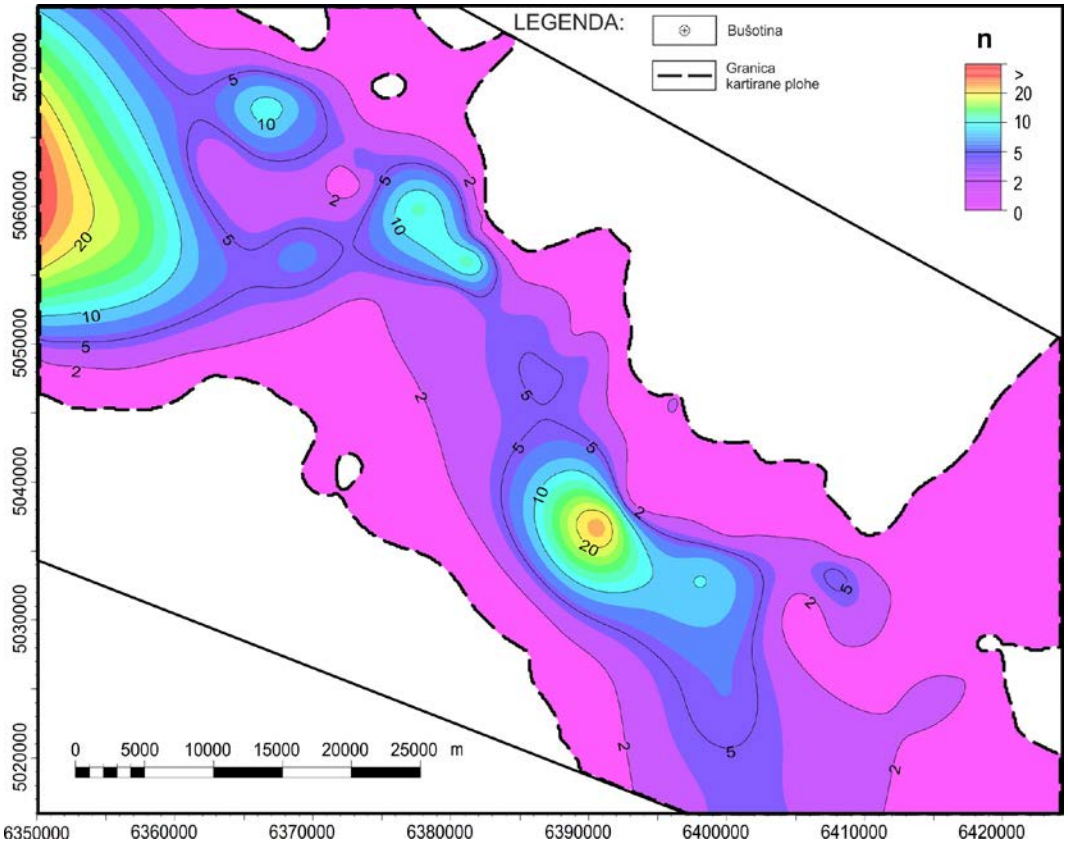
Član Ravneš bitno je tanji u odnosu na prethodne. Ukupne debljine naslaga u rasponu su od svega nekoliko pa do 160 m na području bušotine Kos-2 (**Slika 10.9**). Radi se o prvenstveno nepropusnim naslagama (**Slika 10.10**) s relativno malim brojem propusnih slojeva (**Slika 10.11**). Omjerom **„ss/sh“** je manji nego u prethodna dva starija člana (**Slika 10.12**). Dobar dio nepropusnih naslaga unutar ovog člana pripada ugljenima te zbog toga ima i veliko značenje s aspekta mogućega generiranja biogenog plina. Plitkovodni okoliš s brojnim močvarištima kao posljedicu je imao nastanak ugljena zamjetne debljine u odnosu na ukupnu debljinu člana.



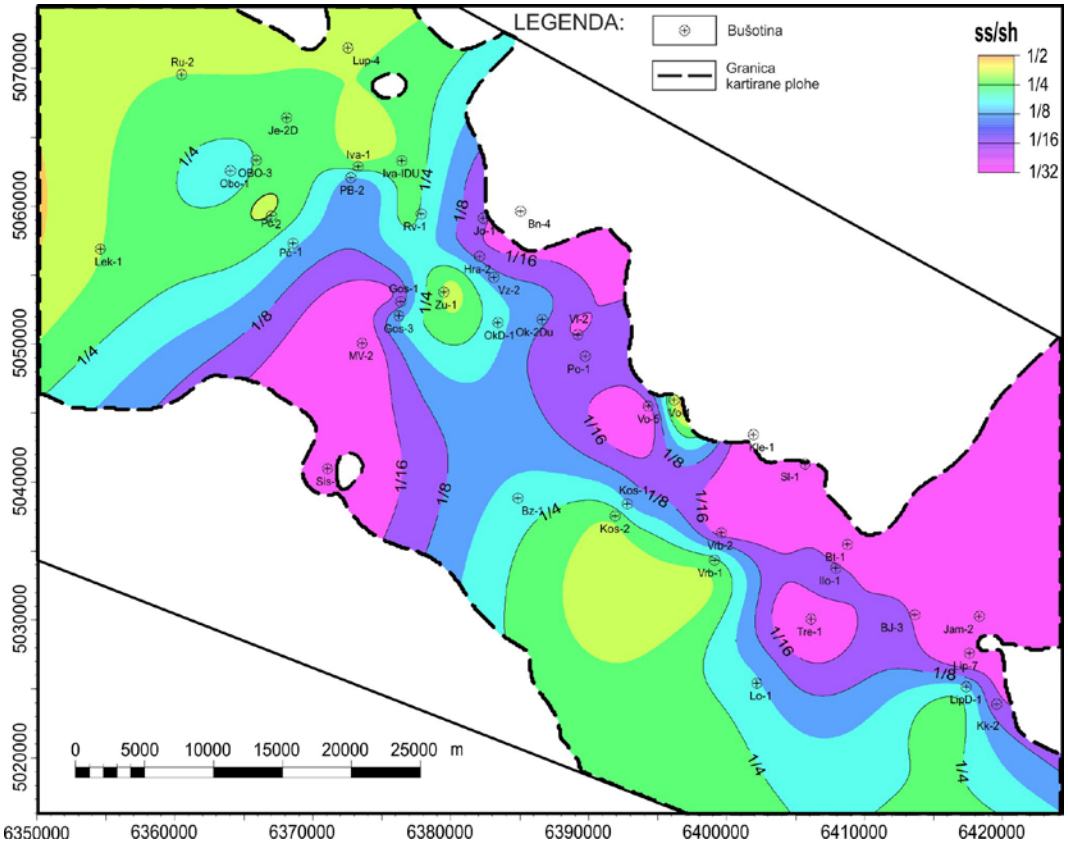
Slika 10.9: *Litofacijesna karta varijable „h“ člana Ravneš*



Slika 10.10: *Litofacijesna karta varijable „he“ člana Ravneš*



Slika 10.11: *Litofacijesna karta varijable „n“ člana Ravneš*

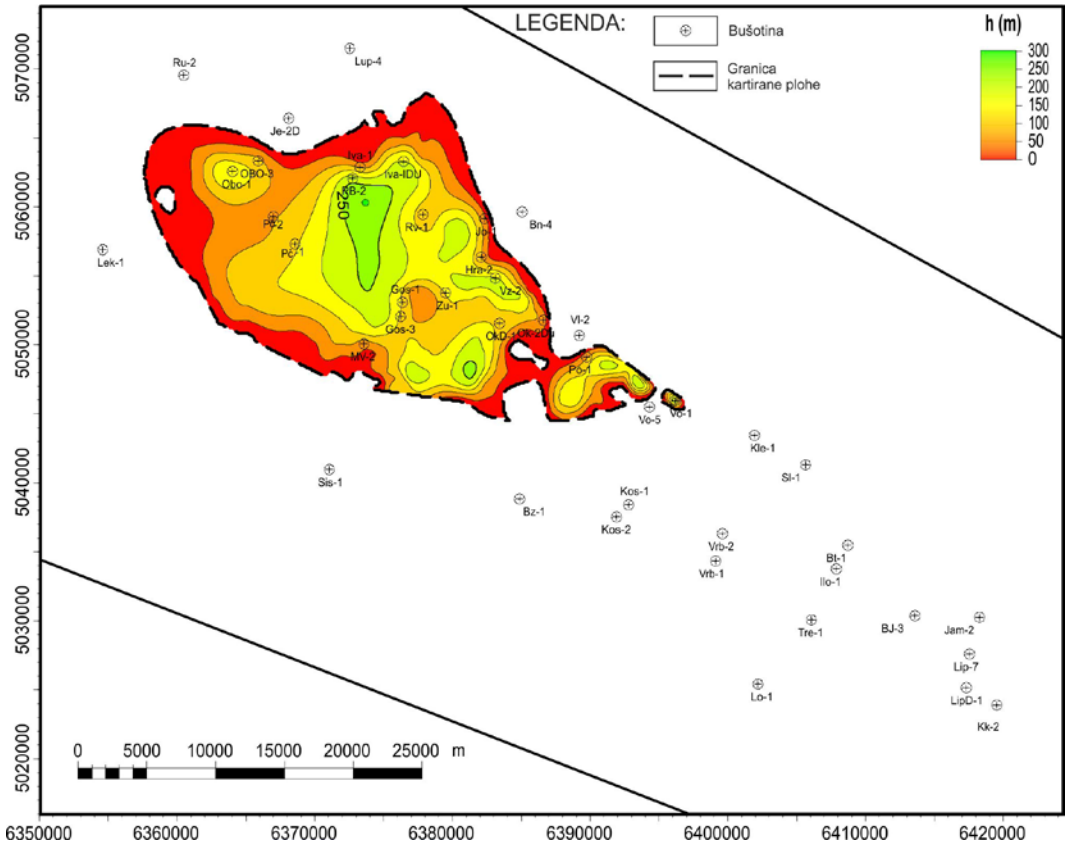


Slika 10.12: *Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Ravneš*

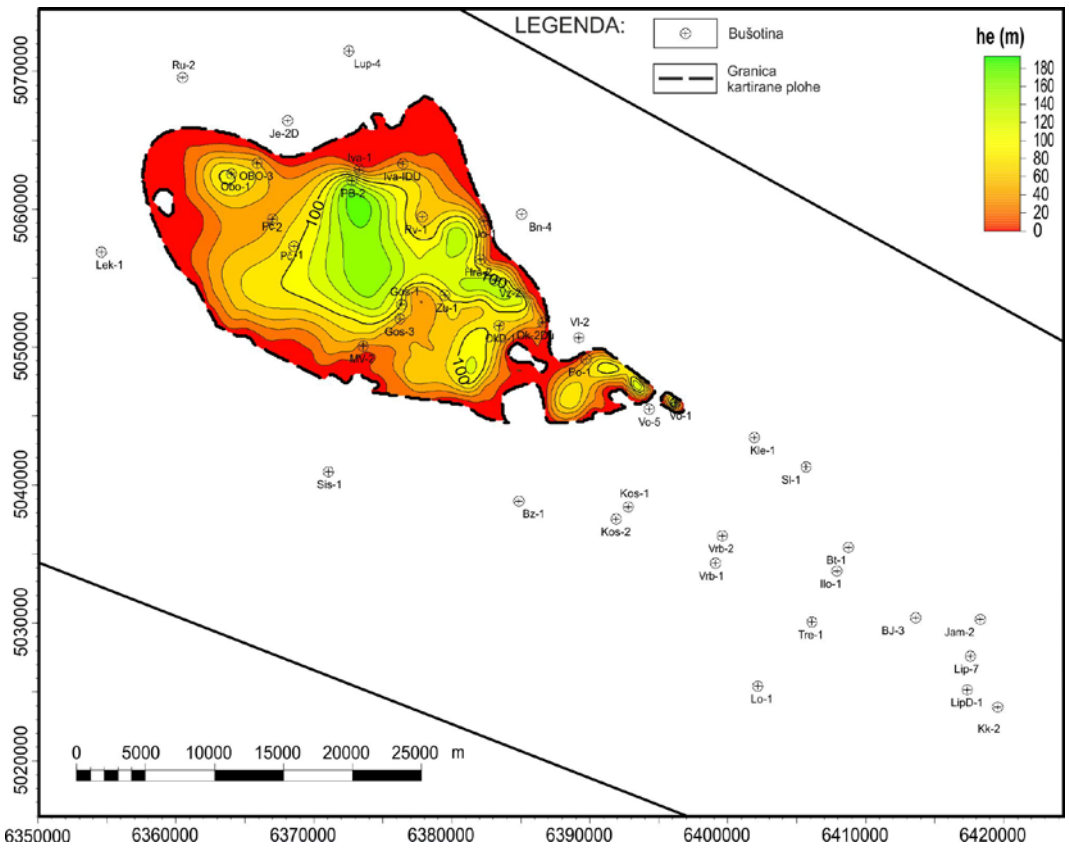
10.4. Član Popovača

Ovaj član moguće je utvrditi samo na zapadnom dijelu područja istraživanja s debljinama do 300 m u okolici bušotina PB-2, Vz-2 i Hra-2 (**Slika 10.13**). Njegov izostanak na istočnom području moguće je povezati s redukcijom taložnog prostora ili je rezultat erozije mlađih naslaga.

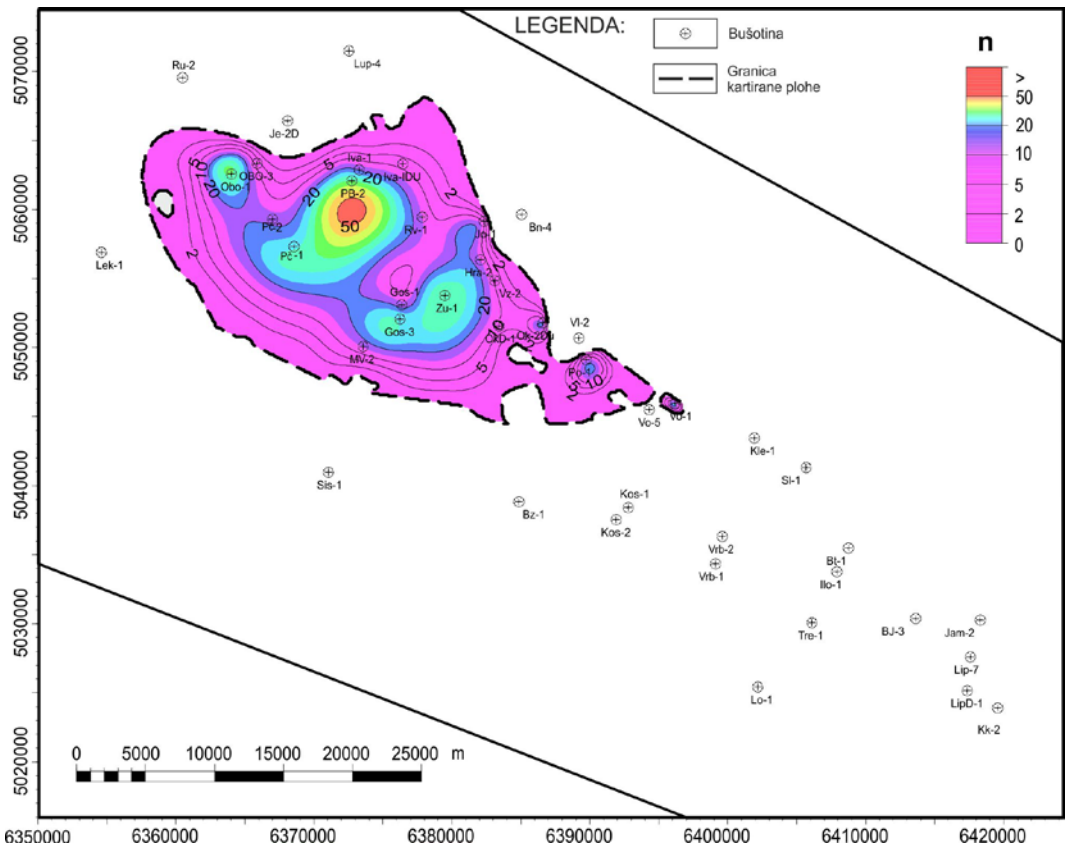
Najveće debljine propusnih naslaga (**Slika 10.14**) podudarne su s vršnim vrijednostima na karti **„h“**, a odnosi broja slojeva (**Slika 10.15**) i omjera debljina propusnih i nepropusnih naslaga (**Slika 10.16**) slični su kao i na kartama člana Hrastilnica. Glavni distribucijski kanal lako se uočava, a orijentacija mu je ISI-ZSZ (**Slika 10.16**). U ovom slučaju smjer donosa materijala je različit od onoga člana Hrastilnica.



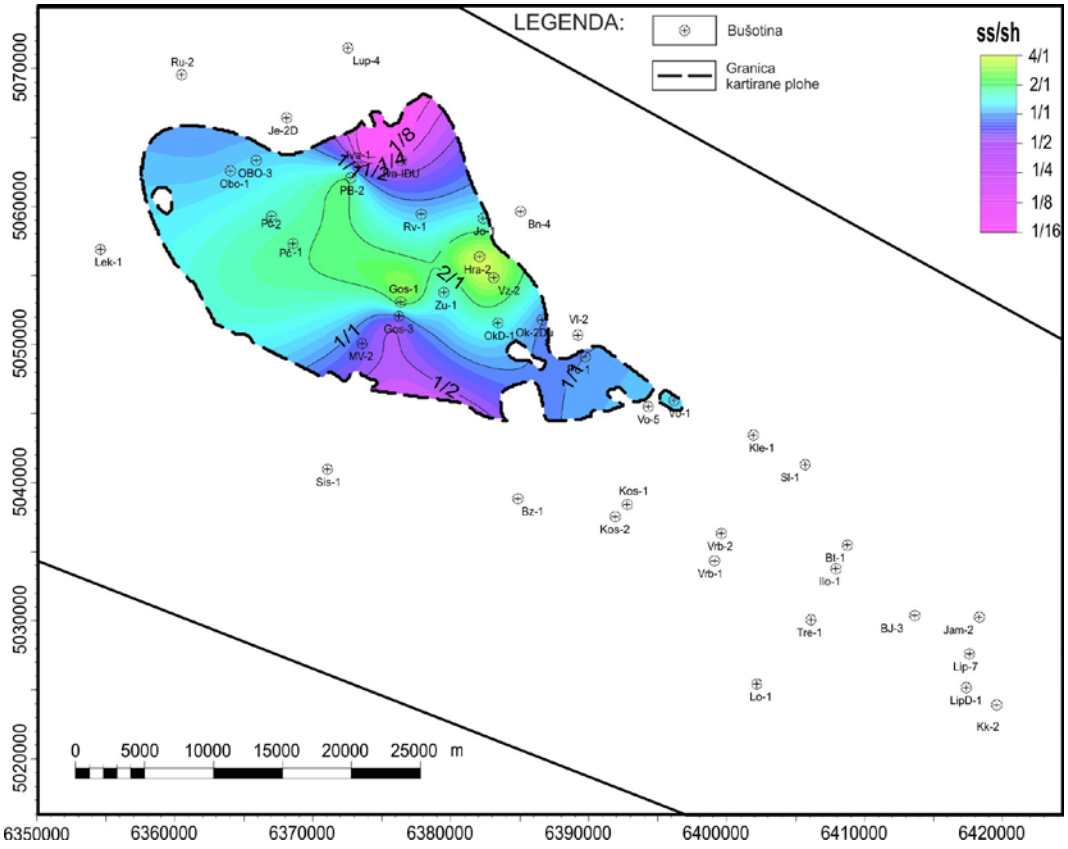
Slika 10.13: *Litofacijesna karta varijable „h“ člana Popovača*



Slika 10.14: *Litofacijesna karta varijable „he“ člana Popovača*



Slika 10.15: *Litofacijesna karta varijable „n“ člana Popovača*

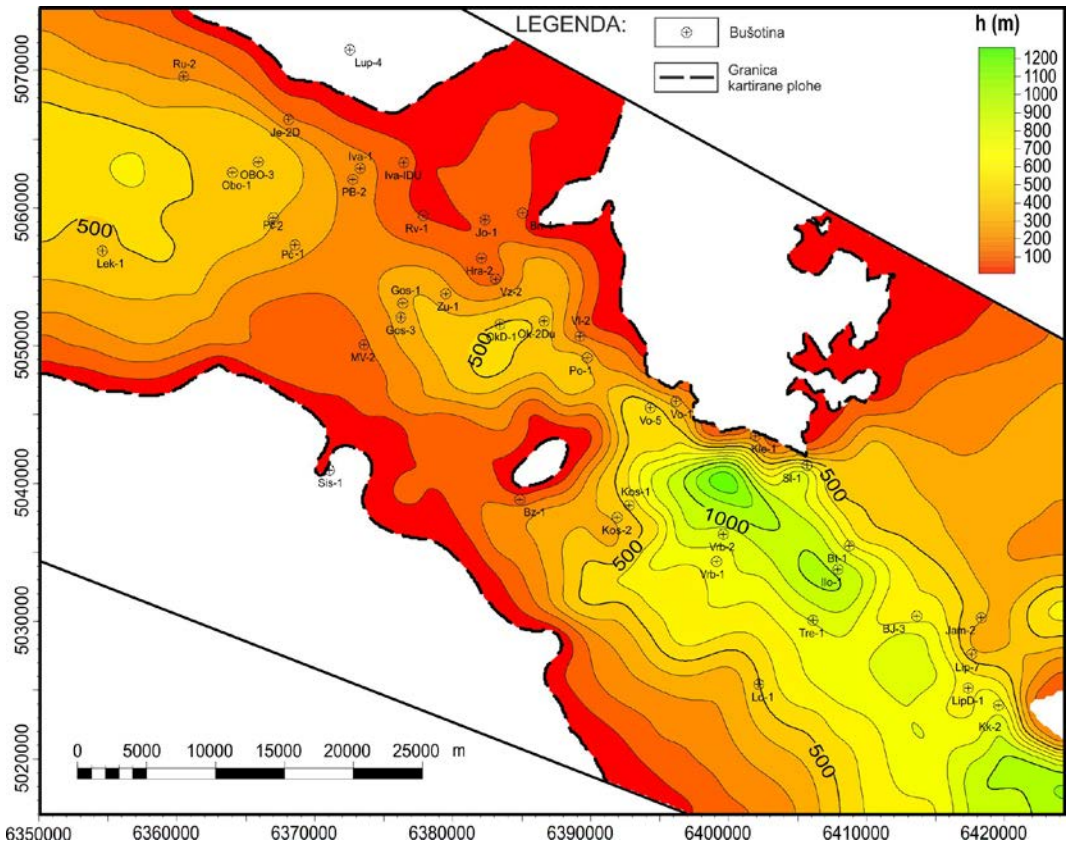


Slika 10.16: *Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Popovača*

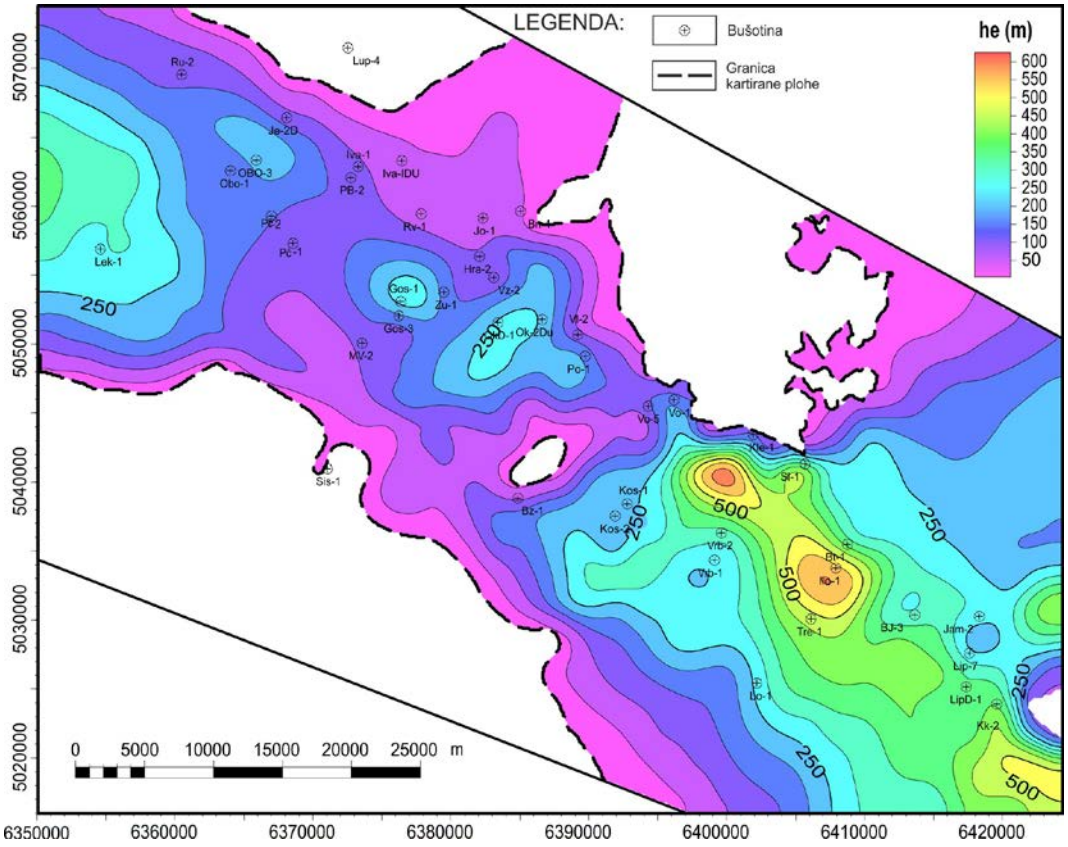
10.5. Član Vrbak

Najveće debljine unutar formacije Lonja pripadaju članu Vrbak (**Slika 10.17**). Radi se o članu vrlo heterogenog sastava i varijacije debljina na području istraživanja. Pretpostavljeno, to je posljedica izražene tektonske aktivnosti za vrijeme njegovog nastajanja. Najveće debljine utvrđene su u okolici bušotina Ilo-1 te Vrb-2 s vrijednostima i do 1200 m.

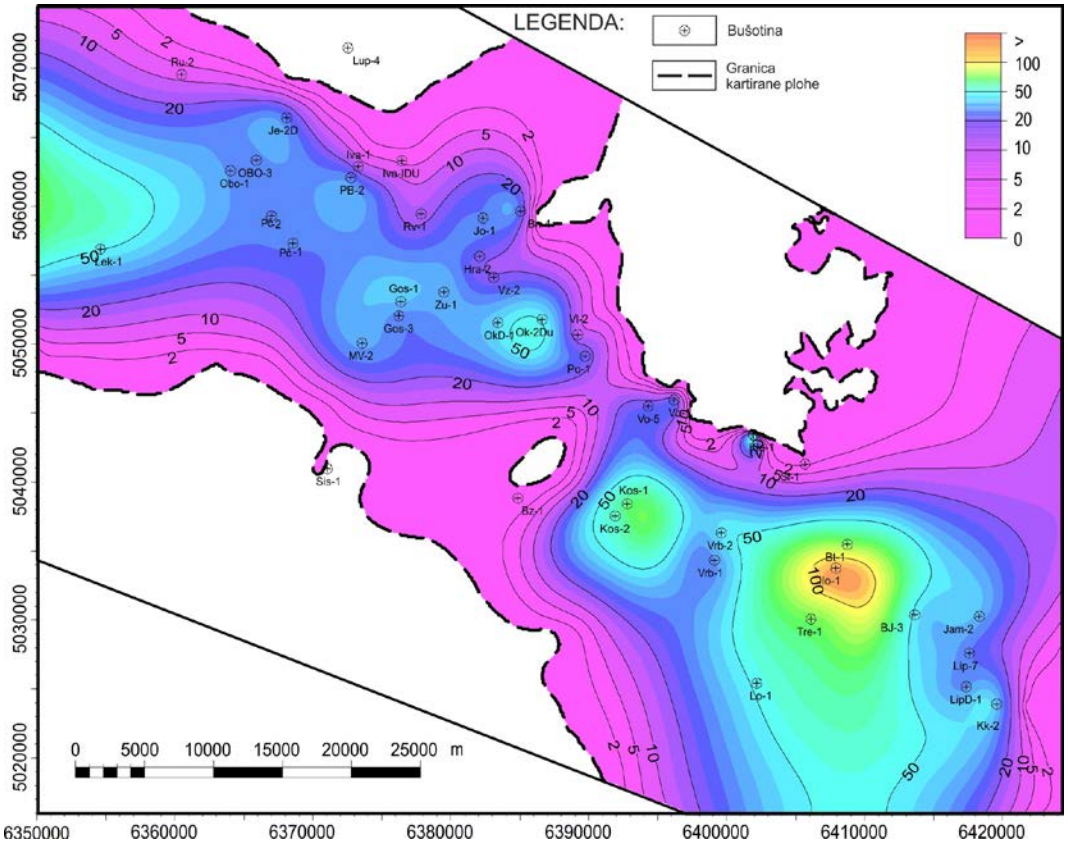
Razvedenost karte debljine propusnih slojeva (**Slika 10.18**) te karata broja propusnih slojeva (**Slika 10.19**) i omjera debljine propusnih i nepropusnih naslaga (**Slika 10.20**) ukazuju na više izvorišnih područja materijala kao rezultata izdizanja terena sjeverno od područja istraživanja te Moslavačke gore i Slavonskih planina.



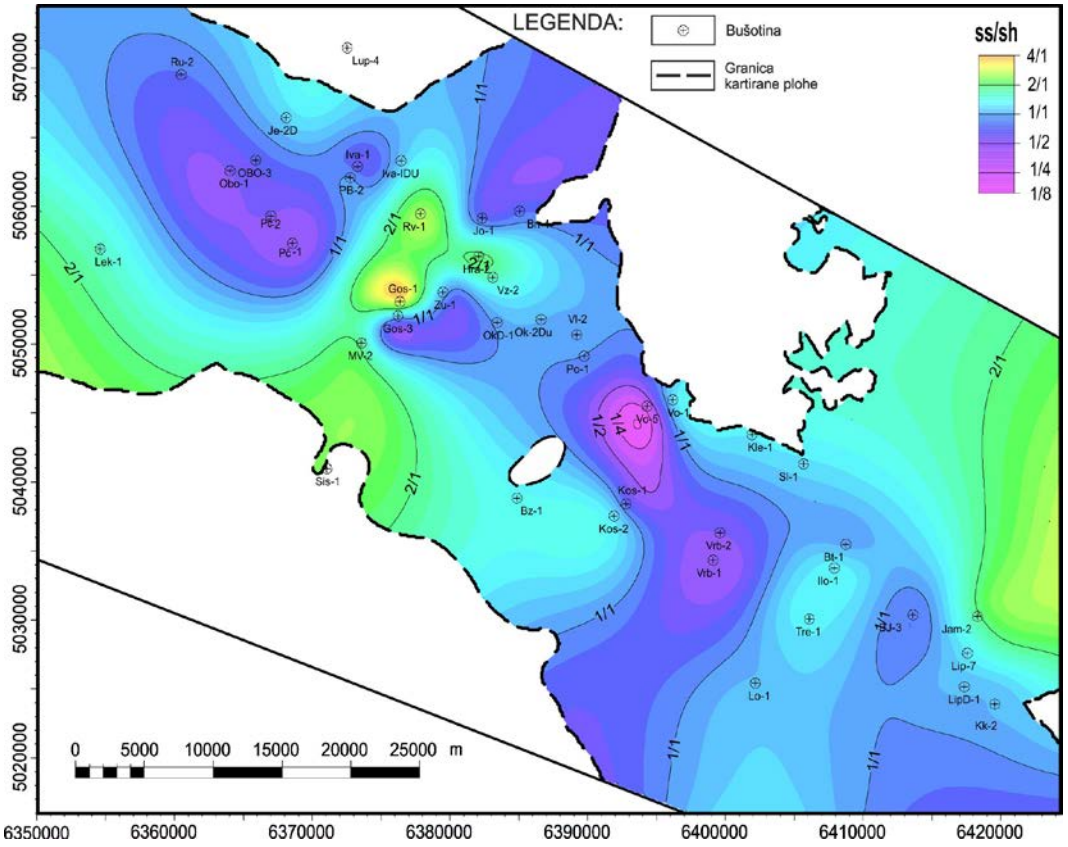
Slika 10.17: *Litofacijesna karta variable „h“ člana Vrbak*



Slika 10.18: *Litofacijesna karta varijable „he“ člana Vrbak*



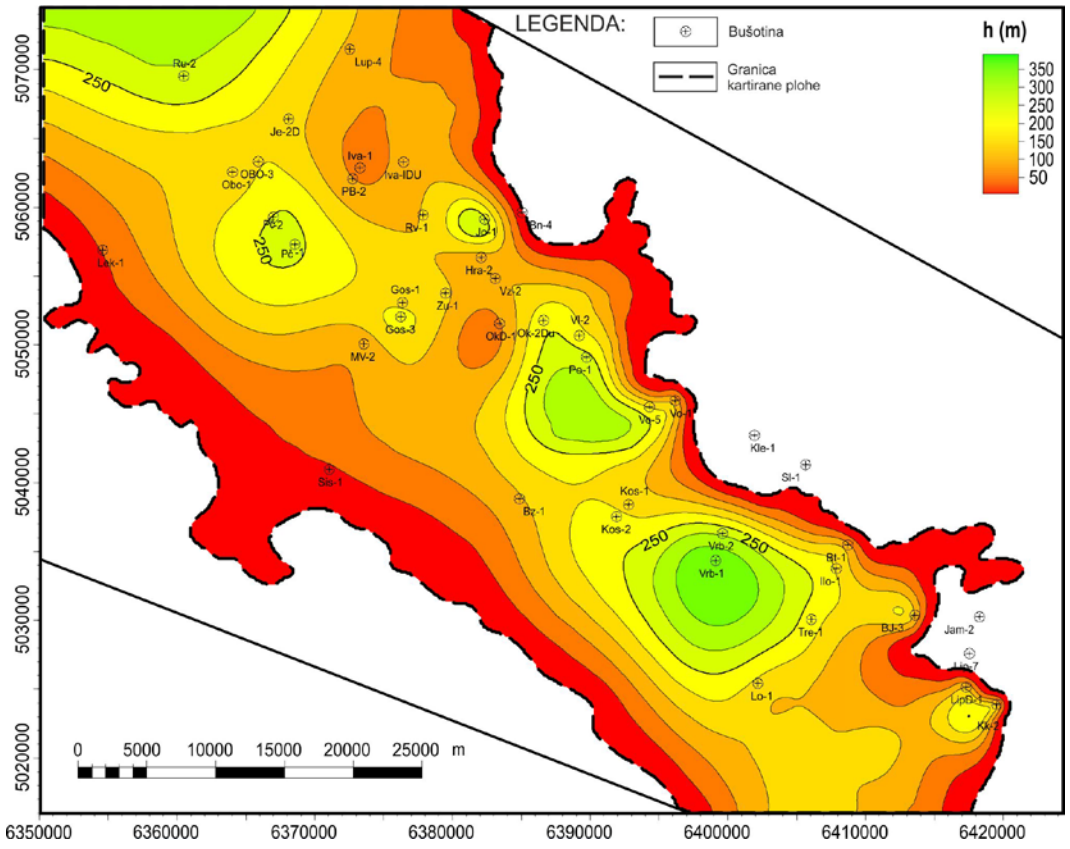
Slika 10.19: *Litofacijesna karta varijable „n“ člana Vrbak*



Slika 10.20: *Litofacijesna karta varijable „ss/sh“ člana Vrbak*

10.6. Član Oborovo

Kao što je već prije navedeno, zbog nedostatka podataka načinjena je samo karta **„h“** člana Oborovo. Najveće debljine su u središnjem dijelu zapadnoga dijela Savske depresije s približno 300 m na području Rugvice, Oborova i Posavskih Brega, 250 m južno od Popovače te 350 m u okolici Vrbaka. Znatno smanjene debljine u okolici bušotine OkD-1 ukazuje na dva odvojena područja taloženja što je i logično s obzirom na interpretaciju dosadašnjih karata i kontinuirano reduciranje taložnog prostora.



Slika 10.21: *Litofacijesna karta varijable „h“ člana Oborovo*

11. UTVRĐIVANJE NAFTNO-PLINSKOG POTENCIJALA POJEDINIH ČLANOVA I NJIHOVE UGLJENONOSNOSTI

Važnost ugljena, čestih u formaciji Lonja, u ovom slučaju je isključivo kao matična stijena za nastanak biogenog plina. Potencijal za površinsko pridobivanje je neznatan zbog malih debljina, dok je za uplinjavanje u podzemlju preniskog stupnja karbonizacije pošto se radi pretežito o lignitu (MOORE, 2012).

Ekonomski značaj ovih naslaga prvenstveno se odnosi na potencijalna ležišta plina, u prvom redu biogenog podrijetla. Također, postoji mogućnost nakupljanja katagenetskog plina i nafte s obzirom na iznimnu tektonsku aktivnost koja se je nastavila za vrijeme pliocena, pleistocena i holocena. Pregled naftnoplinskog potencijala prikazan je po pojednim članovima, a na temelju geoloških izvješća za pojedine bušotine (BALTIĆ *et al.,* 1982*; IVIČIĆ *et al.,* 1988*; GAĆEŠA & ŠKALER, 1965*; GJUKIĆ *et al.,* 1974*; IGRIĆ, *et al.,* 1986*; JURKOVIĆ, 1962*; KRALJEVIĆ *et al.,* 1984*; MANDIĆ, 1966*; MIŠKULIN *et al,* 1985*; NEUMANOVSKI *et al.,* 1964*; SREMČEVIĆ & CIKUŠA, 1966*; RAŠKOVIĆ, 1970*; RUKAVINA, 1962a*, b*; TOMASOVIĆ, 1956*; TARI *et al.,* 1981*; UCCELINI, 1953*; ŽIGROVIĆ *et al.,*1985*) te analiza površinskih uzoraka ugljena i organskim tvarima bogatih naslaga.

11.1. Naftno-plinski potencijal člana Hrastilnica

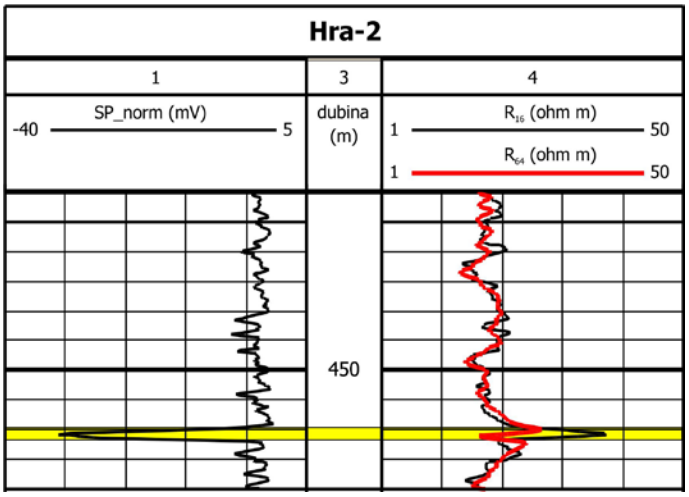
Razmjerno velike debljine propusnih naslaga (**Slika 10.2**) s mjestimičnim proslojcima ugljena (lignita) ukazuju na mogućnost nastanka ležišta samo biogenog plina, jer ugljeni iz ovog člana pokazuju nizak stupanj termalne zrelosti (uzorak Mos-24 s područja Vukomeričkih gorica - **Tablica 7.2**, **Tablica 7.3**, **Tablica 7.4**). Ugljeni mjestimice čine i do 20 % ukupne debljine ovog člana prema krhotima iz isplake. Izravni dokaz plina na temelju karotažnih krivulja nije utvrđen mada je upitna mogućnost pravilnog odziva s obzirom na prosječnu debljinu propusnih slojeva (1-5 m) unutar ovog člana. Mogućnosti akumulacije najizglednije su u stratigrafskim zamkama, tj. u slojevitim, litološki ekraniziranim ležištima. Volumen pojedinih ležišta pretpostavljeno je relativno mali pa je upitna i njihova ekonomska isplativost. Izolatorske stijene su laporovite gline, mjestimice s povećanim sadržajem ugljena, utvrđene na temelju krhotina iz isplake.

11.2. Naftno-plinski potencijal člana Batina

Manje debljine propusnih naslaga ovog člana, no uz veće debljine pojedinih slojeva, omogućava nakupljanje većih količina ugljikovodika, prvenstveno biogenoga plina. Situacija s matičnim i izolatorskim stijenama slična je kao i kod člana Hrastilnica gdje pješčana tijela leže unutar nepropusnih laporovitih glina. Osim biogenog plina, mogući su nalasci migriranog plina nastalog u stadiju katageneze u starijim naslagama koji je migrirao putem velikih rasjeda južno od Moslavačke gore.

11.3. Naftno-plinski potencijal člana Ravneš

Iako ima relativno male debljine propusnih naslaga, naftno-plinski značaj člana Ravneš je značajan. Ligniti mogu predstavljati i do 60 % debljine ovog člana što ukazuje na mogućnost ležišta biogenog plina u pješčanim proslojcima. Pojave ugljikovodika su zapažene (**Slika 11.1**) kao anomalije odnosa krivulje R_{16} i R_{64} zbog, u ovom slučaju, tankog sloja zasićenog plinom.



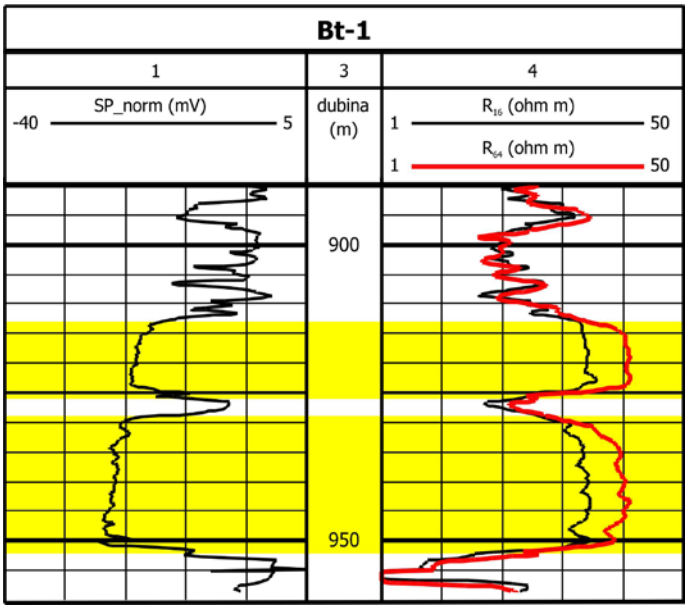
Slika 11.1: *Naznaka pojave plina u tankom (2,5 m) sloju označenog žutom bojom unutar člana Ravneš*

11.4. Naftno-plinski potencijal člana Popovača

Izostanak zamjetnih pojava lignita i organski bogatih glina u krhotinama iz isplake ukazuje na mali potencijal ovog člana bez obzira na velike debljine propusnih naslaga.

11.5. Naftno-plinski potencijal člana Vrbak

Član Vrbak s izrazito velikim debljinama propusnih naslaga, posebice u zapadnom dijelu, predstavlja najzanimljiviji objekt istraživanja. Ugljeni i gline bogate organskom tvari ustvrđene su na temelju krhotina iz isplake, no i prilikom površinskih istraživanja (izdanci na području južnih obronaka Moslavačke gore te brda Gojlo opisani u podglavljima **6.1.2.** i **6.1.4.**). Iako su kao matične stijene nezrele (Tablica 7.2, Tablica 7.3, Tablica 7.4), moguće je generiranje biogenog plina. Povećane debljine pješčanih tijela, a i mogućnost njihove korelacije na većem prostoru ukazuje na mogućnost postanka većih ležišta biogenog plina. Kao primjer navodi se bazalni šljunkoviti pijesak člana Vrbak u jugoistočnom dijelu područja istraživanja koji se može pratiti na širem području na EK dijagramima. Osim na karotažnim krivuljama (**Slika 11.2**), pojave plina utvrđene su i prilikom bušenja što je zabilježeno u geološkim izvještajima pojedinih bušotina (GJUKIĆ *et al.*, 1976*; JURKOVIĆ, 1962*; TOMASOVIĆ, 1956*).



Slika 11.2: *Moguće pojave plina u debelim pijescima baze člana Vrbak – označeno žutom bojom*

Uz ležišta biogenog plina, moguće je očekivati i ležišta migriranog katagenetskog i metagenetskog plina. Migracija se mogla odvijati sustavima reverznih rasjeda čija je aktivnost bila najintenzivnija za vrijeme i nakon taloženja ovog člana. Kao dokaz mogućnosti migracije čak i nafte u ove naslage su i njezini prirodni izdanci s utvrđenom gornjopliocenskom faunom (**Slika 6.7**) na području rasjedne zone koja brazdi južno od Moslavačke gore, djelomice i preko nje, prema Psunju.

11.6. Naftno-plinski potencijal člana Oborovo

Potencijal najmlađeg člana Oborovo teško je odrediti zbog nedostatka podataka. Ipak, zamjetne debljine (do 400 m) uz ustvrđene pojave ugljena i pojave plina prilikom bušenja (Jo-1, Ilo-1 i Hra-2), negdje već i na 70 m dubine ukazuju na to da ga se ne može zanemariti. Također, u prilog potencijalnosti ovog člana mogu se navesti brojne pojave plina već prilikom kopanja zdenaca malih dubina (do 20 m) na području Žutice i Kloštra opisanih u GRETIĆ & BOBIĆ (2002) i ŽGALJIĆ (1985).

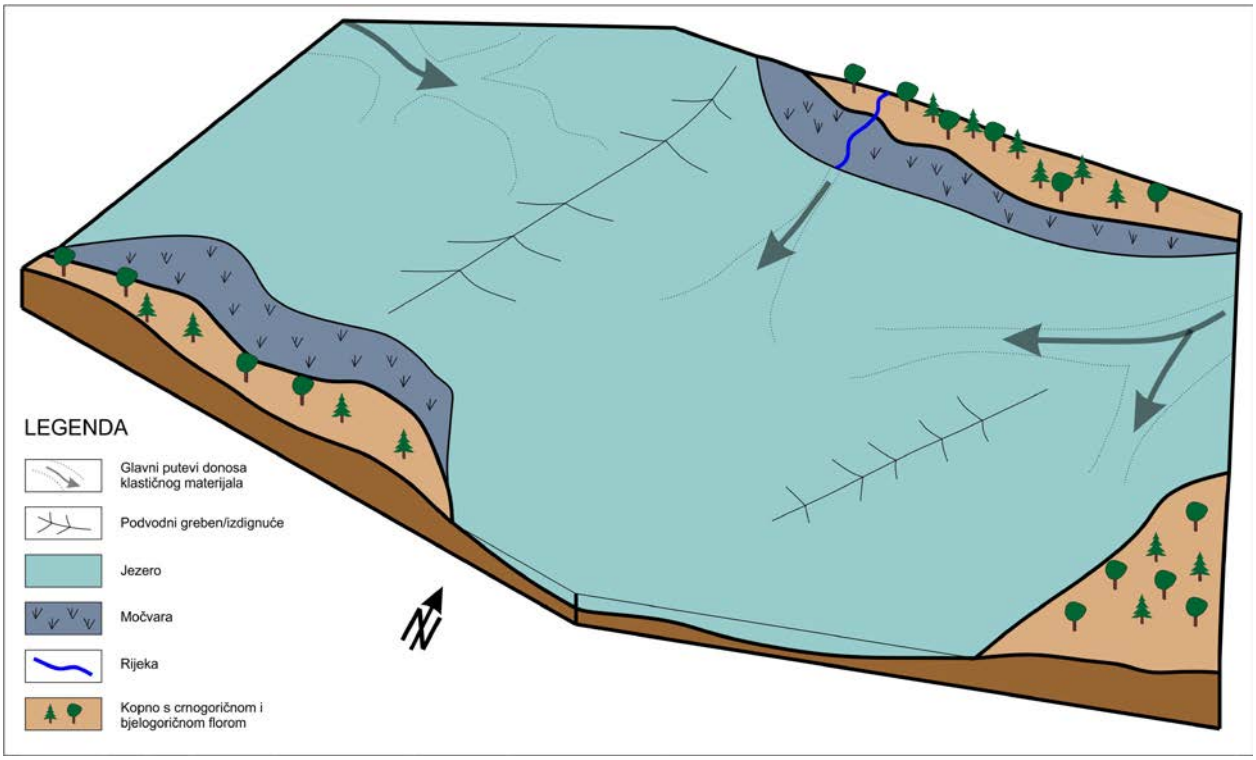
12. RASPRAVA

Za bolje shvaćanje razvoja okoliša taloženja i tektonskih odnosa u zadnjoj fazi razvoja Savske depresije, načinjena je detaljna analiza svih do sada predstavljenih podataka. Jednostavnost modela vrlo je teško postići s obzirom na sve čimbenike koji su sudjelovali u stvaranju tog okoliša. Opće je prihvaćeno kako klimatski uvjeti, kao ni tektonski utjecaj zasebno ne mogu objasniti razvoj jezerskih sredina, već akomodacijski prostor kontrolira tektonika, a količinu donosa sedimenta klima (CARROLL & BOHACS, 1999).

Razvoj Savske depresije u zadnjih 5,333 milijuna godina (pliocen, pleistocen i holocen), tj. taloženja sedimenata formacije Lonja, može se podijeliti u pet razdoblja s različitim sedimentacijskim uvjetima i intenzitetom tektonike. Takva razdioba načinjena je s obzirom na litološki sastav naslaga, učestalost izmjene, odnosno debljine pojedinih litofacijesa, izvorišno područje materijala i fosilne ostatke kao indikatore okoliša (nalazi faune) i klimatskih uvjeta (nalazi flore).

I. razdoblje - za vrijeme pretpostavljenog ranog pliocena, taloženja članova Hrastilnica i Batina utvrđen je donos materijala iz smjera sjeverozapada za zapadni dio područja kroz glavni distribucijski kanal dinarske orijentacije (**Slika 12.1**). Unutar glavnog i sporednih kanala pretežito se talože šljunkoviti i pjeskoviti sedimenti dok bočno prevladava izmjena glina, laporovitih glina i prahova. Analize teške frakcije ukazale su na prevladavajuću količinu rezistentnih minerala bez lako trošivih. Prema tome, moguće je da se radi o pretaloženim klastičnim naslagama čije izvorišne stijene mogu biti panonsko-pontski klastiti na sjeveroistočnim obroncima Petrove i Zrinske gore ili još stariji klastiti (permski). Istočni dio ima vjerojatno različito izvorišno područje materijala, no zbog nedostatka otkrivenih izdanaka to nije bilo moguće potvrditi analizama teške frakcije već je zaključeno na temelju litofacijesnih karata. Donos je bio sa sjevera i sjeveroistoka što je također intepretirano na temelju litofacijesnih karata. Tektonski utjecaji za vrijeme taloženja ove formacije su vrlo mali što je uzrokovalo relativno male razlike u debljinama na istraživanom području bez naglašenih skokova i izrazitih trendova. Značajne su jedino naznake dvaju izdignutih područja unutar pretpostavljene jezerske sredine: zapadni dio, koji odjeljuje član Hrastilnicu od člana Ravneš i istočni, koji uzrokuje smanjene debljine na području od Banove Jaruge prema Lonjici. Jugozapadno područje pretpostavljeno je kao kopneno (**Slika 12.1**) s obzirom na granicu kartiranih naslaga ove faze razvoja. Pretpostavljena su kopna na istoku i sjeveru (današnje smjestište Moslavačke gore). Postoji mogućnost da su i ta područja bila zapravo

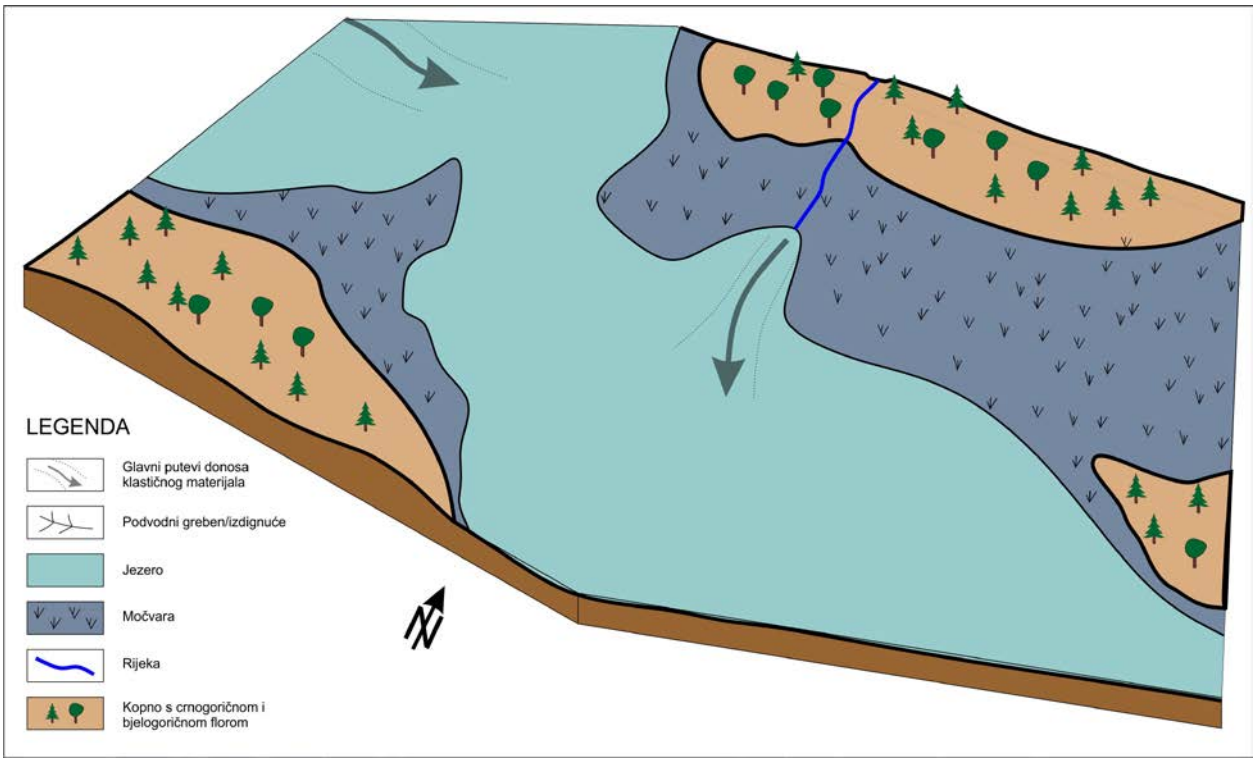
ispod vodene površine, no smatra se da je početkom druge transpresijske faze krajem ponta (MALVIĆ & VELIĆ, 2011; MALVIĆ, 2012) na području Moslavačke gore bilo blago izdignuto kopno ili barem podvodni greben koji je onemogućio taloženje zamjetnih debljina sedimenata tijekom ponta. Ugljeni u ovom intervalu niskog su stupnja karbonizacije (ligniti) i prevladavaju na područjima koja su van glavnog distribucijskog toka naznačeni u opisu krhotina iz isplake bušotina Hra-2 i Zu-1 (GJUKIĆ *et al.,* 1974*; NEUMANOVSKI *et al.,* 1964*). Klimatski uvjeti uvjetovali su prevladavanje crnogorične flore u odnosu na listopadno drveće što je karakteristično za ovo razdoblje i utvrđeno na geografski bliskim područjima (ŠERCELJ, 1985).



Slika 12.1: *Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja članova Hrastilnica i Batina*

Postupno oplićavanje taložnog okoliša i ujednačenost debljina na gotovo svim dijelovima područja istraživanja karakteristično je za **II. razdoblje** razvoja formacije Lonja i taloženje člana Ravneš. Kopneni prostor povećao se pod pretpostavkom blagoga utjecaja tektonike i nemogućnosti nastanka novog akomodacijskog prostora. Ukupni donos sedimenata bitno je smanjen u odnosu na prethodnu fazu što je vjerojatno utjecaj klimatskih promjena u starijem dijelu ranog pliocena (BERTINI, 2011). Plitkovodni okoliš omogućio je

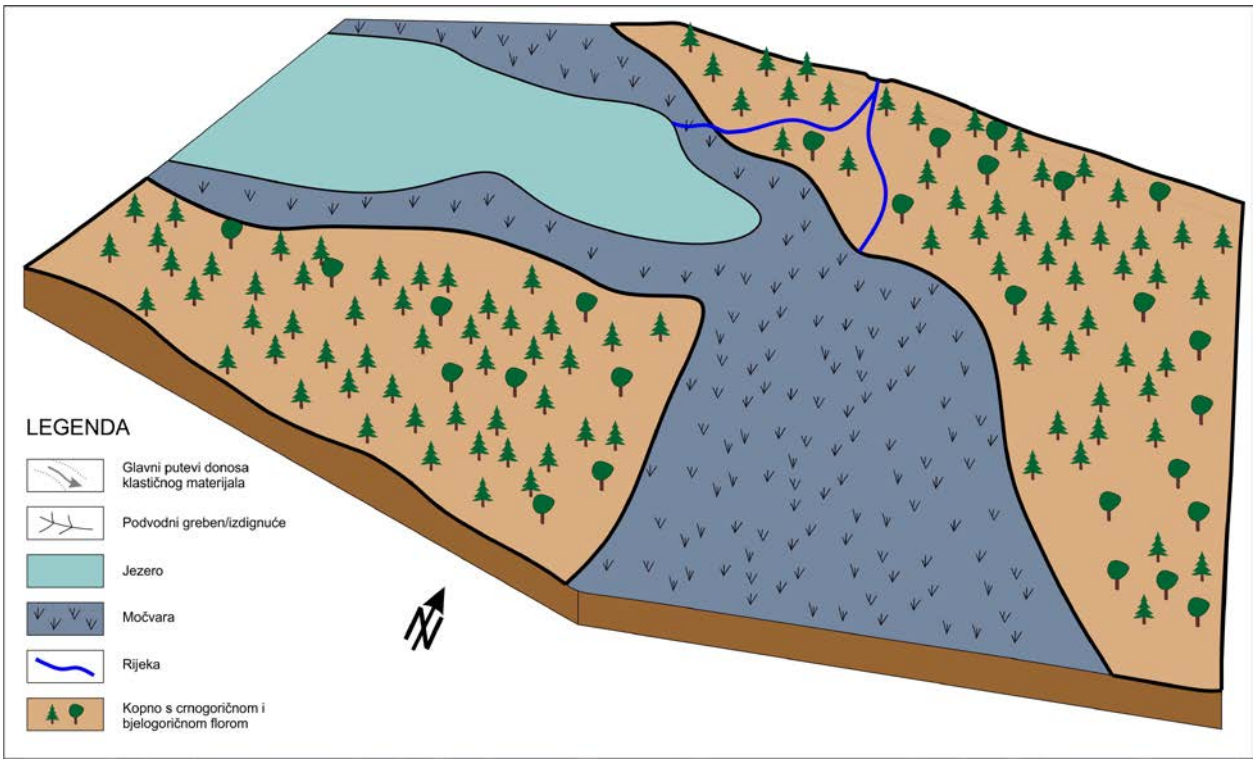
značajnu produkciju biološkog materijala i formiranja močvara te potom i tresetišta s kojih je materijal povremeno bio spiran u dublja područja za vrijeme viših vodostaja i povećanih količina padalina. Uglavnom se radi o prevladavajućim glinovitim sedimentima i lećama pijesaka sa značajnim debljinama ugljena koje mogu u sastavu ovog člana sudjelovati s više od 50 % ukupne debljine (GJUKIĆ *et. al.*, 1974*; NEUMANOVSKI *et al.*, 1964*). Lokalno, taloženi su i pijesci (okolica bušotina Vrb-2 i Lek-1), no nikada kao prevladavajuća litološka sastavnica naslaga (**Slika 10.4**).



Slika 12.2: *Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Ravneš*

Rekonstrukcija **III. razdoblja** vrlo je teška zbog toga što se najvjerojatnije sedimentacija većih debljina naslaga nije odvijala na cijelom području. Potpuni izostanak na jugoistočnom dijelu područja istraživanja te pojavnost u sjeverozapadnom ukazuje na lokalno taloženje ili pak eroziju paketom naslaga koji je nastao u idućoj fazi razvoja. Pretpostavka je da je jezerska sredina reducirana na sjeverozapadni dio područja istraživanja (**Slika 12.3**). Donos materijala bio je povremenim tokovima, gdje su se u glavnim distribucijskim kanalima taložili krupnozrnatiji sedimenti s prevladavajućim pijescima i šljuncima te podređeno glinom dok bočno prevladavaju gline i pijesci s vrlo rijetkim proslojcima lignita i treseta. Šljunci su jedino zapaženi u područjima oko bušotina s najvišim udjelom propusnih naslaga poput Zu-1 i Hra-2 (GJUKIĆ *et. al.*, 1974*; NEUMANOVSKI *et al.*, 1964*) dok bočno prevladava

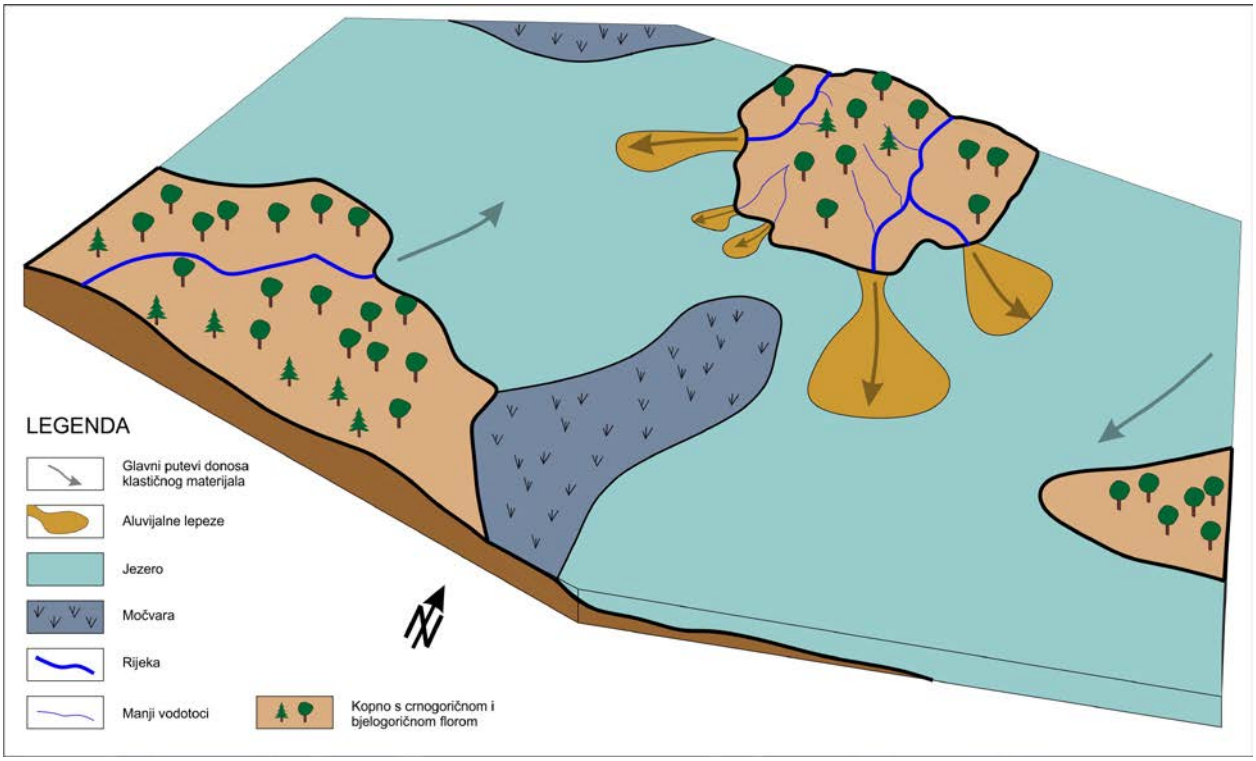
izmjena pijesaka i glina (IGRIĆ et al., 1985*, MIŠKULIN *et al.*, 1986*). Također, za krupnozrnate sedimente distribucijskog kanala karakterističan je povremeni visoki udio krhotina mekušaca koji su vjerojatno naplavljeni iz priobalnih močvarišta za vrijeme viših vodostaja.



Slika 12.3: *Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Popovača*

Tektonski najdinamičnije je **IV. razdoblje** razvoja formacije Lonja unutar Savske depresije podudara se s taloženjem člana Vrbak. Stvaranje jezerskoga akomodacijskog prostora nastaje aktivacijom sustava rasjeda sjevernog rubnog rasjeda Savske depresije, točnije njegovom reaktivacijom. Paralelno s izdizanjem na području Moslavačke gore na sjeveru i Psunja na istoku u središnjem dijelu depresije stvara se znatan akomodacijski prostor. Takvo intenzivno izdizanje, u kombinaciji s vlažnom pliocenskom klimom (BERTINI, 2011; FAUQUETTE *et al*., 1999) za posljedicu je imalo taloženje debelih naslaga pijesaka, prahova i glina, a mjestimice i šljunaka. Izvorišno područje materijala različito je za pojedine dijelove depresije jer se radi o pretaloženim sedimentima donjopliocenskih naslaga, te kasnije i svi starijih kako je izdizanje napredovalo. Transport je bio relativno kratak i odvijao se je gravitacijskim tokovima i rijekama da bi naposljetku bio taložen unutar jezerskog područja. Takav način transporta uzrokovao je iznimno lošu sortiranost sedimenata (**Tablica 7.1**). Također, različitost sastava mineralne frakcije po pojedinim područjima, osim

što se dominantno sastoji od rezistata, ukazuje da su geografski bliska područja imala različito izvorišno područje (**Slika 7.1**). Naslage ugljena pretežito su sekundarne jer se radi o pretaloženim tresetima i lignitima koji su nastajali u močvarištima koja su izdizanjem terena uništeni erozijskim procesima. Nastanak primarnih ugljena moguć je na mirnijem dijelu u kojem su podređeno taložene propusne naslage.



Slika 12.4: *Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Vrbak*

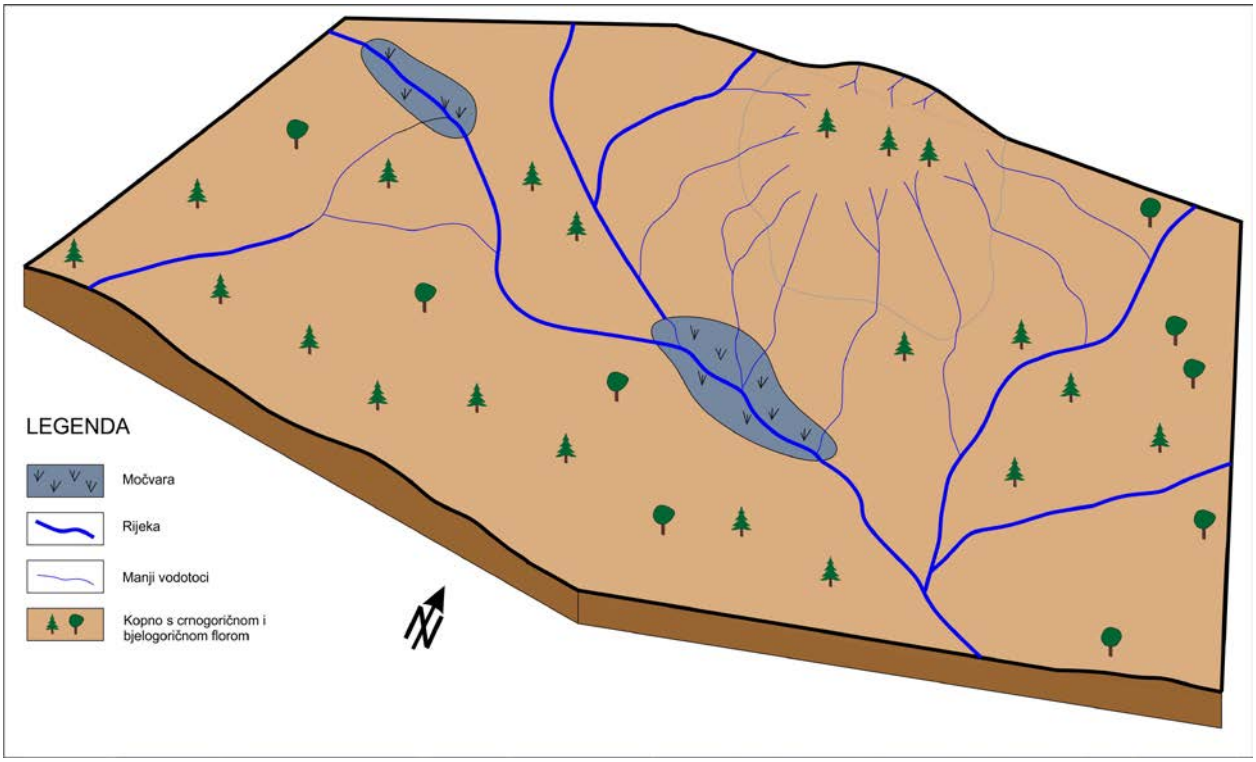
U pijescima i slabolitificiranim pješčenjacima ovog razdoblja mjestimice (južni obronci Moslavačke gore) se može vidjeti kosa slojevitost (**Slika 12.5**) koja ukazuje na značajan riječni transport za vrijeme vlažnijih klimatskih uvjeta ili definira paleoobalnu liniju kasnopliocenskog jezera. Debljina pijesaka može biti i preko 10 m što ukazuje na činjenicu da su rijeke imale značajnu energiju za transport materijala, a koja je slabila na ulasku u veći taložni prostor – jezero. U proslojcima ili podini i krovini ovih pijesaka i slabolitificiranih pješčanjaka nalaze se prahovite gline koje mjestimice sadržavaju fosilnu floru. Zapaženi su ostatci bjelogoričnog lišća (**Slika 12.6**), vjerojatno bukve, što je u suglasju s većim udjelom bjelogorične flore u gornjem pliocenu utvrđeno na geografski bliskim područjima (BERTINI, 2011; ŠERCELJ, 1985).

Slika 12.5: *Kosa slojevitost utvrđena na južnim obroncima Moslavačke gore*

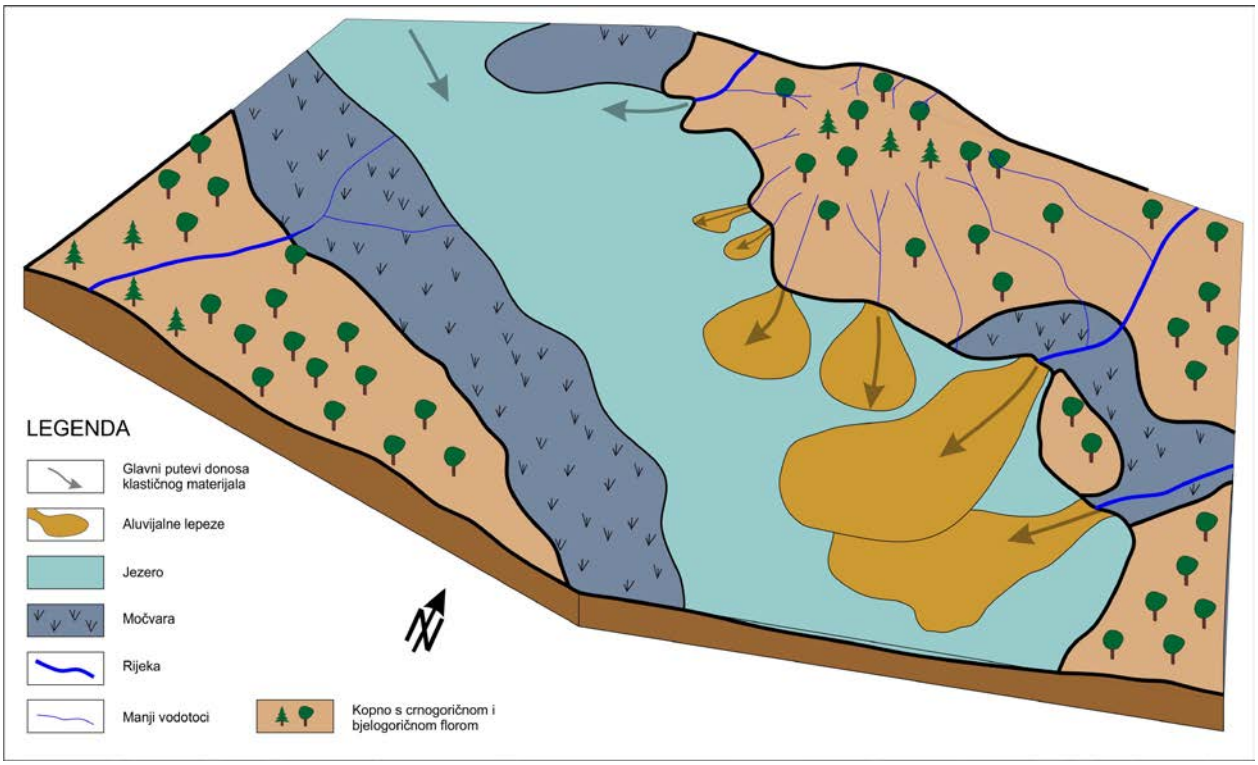
Slika 12.6: *Ostatci bjelogoričnog lišća u prahovitoj glini smeđe boje - podina slabo litificiranih pješčenjaka s kosom slojevitosti*

Nalazi faune asocirani su s jezerskim ili riječnim sedimentima. Tako su primjerice brojni puževi roda *Viviparus*, inače karakteristični za močvarišta ili mirnije tokove spirani tokovima visoke energije te se mogu naći unutar krupnoklastičnih sedimenata (krupnozrnasti pijesci i šjunkoviti pijesci) kao fragmenti ili u iznimno slabo sortiranim kokinama. U takvim kokinama, ostrakodi su znatno bolje očuvani nego debeloljušturni puževi roda *Viviparus* te se iz toga može zaključiti da su oni autohtoni u okolišu u kojem se je taj sediment taložio.

Završno, **V. razdoblje**, predstavlja nastavak transpresijskog tektonskog utjecaja, zajedno s izrazitim klimatskim promjenama koje su vladale za vrijeme kvartara. Kao rezultat istaloženi su na pojedinim mjestima debele naslage opisane kao član Oborovo. Ujedno, o ovim naslagama bilo je najmanje dostupnih podpovršinskih podataka za rekonstrukciju. Kako je već navedeno, radi se prvenstveno o krupnije klastičnim sedimentima šljuncima i pijescima s glinama i prahovima te mjestimičnim pojavama pretaloženih ugljena. S obzirom na velike razlike u klimatskim uvjetima za vrijeme kvartara, postoji i velika razlika u okolišima koji su vladali za vrijeme glacijala i onima za vrijeme stadijala (HERNITZ *et al.*, 1980; 1981; ŠEGOTA, 1967). Razdoblje stadijala s povećanom količinom oborina i otapanjem snijega uzrokuje bujične tokove putem kojih se plitkom jezeru talože šljunci i pijesci. Močvarišta su i dalje prisutna što za rezultat ima nastanak slojeva ugljena, posebice na sjeverozapadnom dijelu područja gdje su zapaženi i analizirani (HERNITZ *et al.*, 1981). Najveća jezerska područja nalazila su se u središnjem dijelu depresije dok su se močvarišta nalazila po rubovima. U razdobljima glacijala jezera su reducirana na rjetke močvare, rijeke i potoke te kopneni okoliš (**Slika 12.7**). U vodenim sredinama talože se gline, prahovi i rijetko pijesci, a na kopnu les. Glavni izvor materijala je lokalan, a predstavljala su ga izdignuta gorja na sjeverozapadnom području, tj. Medvednica i Samoborsko gorje (HERNITZ *et al.*, 1980; 1981) dok je na središnjem dijelu glavnu ulogu imalo trošenje Moslavačke gore u izdizanju. Dokazi tektonskog utjecaja može se vidjeti na odnosima debljina naslaga kvartarnih taložina, kao i neposrednim dokazima kao što je rasjed blagog kuta nagiba sa strijama u glinovito prahovitim sedimentima u glinokopu u Garešnici (**Slika 6.4**).



Slika 12.7:*Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Oborovo u vrijeme glacijala*



Slika 12.8: *Rekonstrukcija okoliša i glavnih smjerova donosa materijala za vrijeme taloženja člana Oborovo u vrijeme stadijala*

Sa stajališta geologije ugljikovodika članovi formacije Lonja svakako nisu za zenemariti zbog svog, u uvoj disertaciji, dokazanog potencijala. Postojanje plina dokazano je, iako nisu provedene kromatografske analize najplićih plinskih ležišta u Savskoj depresiji (Stružec, Lipovljani) kako bi se utvrdilo njihovo podrijetlo – biogeno ili ono katagenetsko. Svakako je preporuka izvođenje karotažnih mjerenja u starim istražnim bušotinama koja je tehnički moguće izvesti s obzirom na konstrukciju bušotine u svom najplićem dijelu koji pripada formaciji Lonja.

13. POPIS DOPRINOSA

Izradbom ove disertacije načinjeni su brojni doprinosi. Neki od njih odnose se na napredak u tehničkom pristupu i korištenju novih programa za izradbu dubinskogeoloških karata te primjenu geomatematičkih metoda, oboje upotrebljivih na stijenama raznovrsnog litološkog sastava i starosti. Drugi, glavni doprinosi, odnose se na konkretne zaključke o razvoju trećega neogensko-kvatarnoga megaciklusa, tj. okoliša taloženja, strukturno-tektonskih odnosa te razradbe na članove litostratigrafskog sustava jedinica proizašlih iz njih. Načinjeni su sljedeći doprinosi na području prirodnih znanosti, polja geologija:

- Prikazan je pravilan način izradbe strukturnih karata pomoću računalnog programa Petrel^{TM} u slučaju prostorno ograničenih objekata kartiranja, opisano u **podpoglavlju 5.1.3**.
- Predstavljen je korektan način izradbe dvokomponentnih litofacijesnih karata pomoću računalnih programa kako ne bi došlo do nesuglasja u vrijednostima varijabli **„h“**, **„he“** i **„ss/sh“** u interpoliranom ili ekstrapoliranom području karte, opisano u **podpoglavlju 5.1.4**.
- Potvrđena je uporabljivost analiza neuronskim mrežama za određivanje litološkog sastava stijena iz CVETKOVIĆ (2007), CVETKOVIĆ *et al.* (2009), CVETKOVIĆ & VELIĆ 2012 i CVETKOVIĆ & VELIĆ (2013) kod slabo konsolidiranih i rastresitih naslaga trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa te iskoristivost rezultata za izradbu litofacijesnih karata.
- Uporabljivost krivulje ZSD-a za određivanje EK markera α' potvrđena je i na cijelom području istraživanja u odnosu na ograničeno područje iz CVETKOVIĆ & MALVIĆ (2013). Također, ZSD krivulje pokazale su se kao korisne za određivanje EK markera i repera untar intervala naslaga trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa, prikazano u **podpoglavlju 5.5.3**.
- U naslagama trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa, uz već postojeći EK marker α' i EK reper Q', utvrđena su dva nova EK markera i jedan EK reper. To su redom EK markeri K', I' i EK reper J'. Način njihovog raspoznavanja iz vrijednosti EK dijagrama detaljno je opisan u **poglavlju 8**. Također, zbog erozijskog karaktera Q' utvrđeno je da je on EK reper, a ne marker.

- Formacija Lonja raščlanjena je na pet članova čija je krovina i podina određena već postojećim i novoutvrđenim EK markerima i reperima. Izdvojeni su prema prevladavajućem litološkom sastavu, učestalosti izmjene propusnih i nepropusnih slojeva. To je načinjeno pomoću karotažnih dijagrama SP-a, R_{16} i R_{64}, geomatematičkom obradbom njihovih vrijednosti te opisima ostataka sa sita i rijetkih jezgara. Ti članovi su Hrastilnica, Batina, Ravneš, Popovača, Vrbak i Oborovo.

- Na temelju apsolutnih dubina do pojedinih EK markera i repera, te površinskih podataka s OGK, načinjene su strukturne karte po svim EK markerima i reperima unutar naslaga trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa. Iako su dosada već postojale strukturne karte po EK markeru α', one načinjene u ovoj disertaciji napravljene su na temelju reinterpretacije EK dijagrama (**podpoglavlje 5.5.3.2**) te predstavljaju novi doprinos. Strukturne karte po EK reperu Q' također predstavljaju doprinos u odnosu na one načinjene ranije (HERNITZ *et al.*, 1980; 1981) s obzirom da pokrivaju znatno veće područje.

- Načinjeni su diferencijalni (palinspastički) profili po pojedinim EK markerima i reperima na kojima se jasno mogu vidjeti tektonski utjecaji i karakter pomaka duž rasjeda koji su najznačajnije utjecali na razvoj sedimentacijskog prostora. Utvrđeno je da treći neogensko-kvartarni megaciklus nije nastao isključivo za vrijeme utjecaja transpresijske tektonike.

- Izrađene su dvokomponentne litofacijesne karte svih članova izuzev člana Oborovo zbog nedostka podataka. Na temelju tih karata prvi put je napravljena analiza pojedinih članova formacije Lonja s obzirom na raspored ukupnih debljina, debljina propusnih intervala te odnosa debljina propusnih i nepropusnih naslaga kao i broj propusnih slojeva. Karte su korištene za interpretaciju okoliša i glavnih smjerova donosa materijala u područje depresije.

- Napravljena je analiza naftno-plinskog potencijala za pojedine članove na temelju strukturnih i litofacijesnih karata, mogućih pojava ugljikovodika prema karotažama prividne otpornosti, rezultatima geokemijskih analiza izdanaka ugljena i organskom tvari bogatih glina te pojava ugljikovodika na površini.

- Članovi Hrastilnica i Batina imaju umjeren potencijal pronalaska novih rezervi plina ekonomske važnosti. Prvenstveno zato jer se radi o relativno tankoslojevitim pješčenjacima u izmjeni s glinama i laporovitim glinama. Ugljeni utvrđeni unutar ovih članova, mogu biti matične stijene koje su s obzirom na stupanj zrelosti sposobne otpuštati dijagenetski plin.
- Član Ravneš ima najveće debljine ugljena u odnosu na ukupnu debljinu. Prema tome, svaka pješčenjačka leća dovoljne debljine i površine rasprostiranja, na strukturno povoljnim smjestištima, zanimljiv je cilj istraživanja.
- Član Popovača zbog izostanka mogućih matičnih stijena i zabilježenih pojava plina u bušotinama i na karotažnim dijagrama ne predstavlja zanimljiv objekt istraživanja.
- Član Vrbak s najvećim ukupnim debljinama unutar formacije Lonja, kao i s najdebljim propusnim intervalima predstavlja najzanimljiviji objekt istraživanja. Brojni proslojci ugljena u fazi su otpuštanja biogenoga plina te se prema geokemijskim rezultatima mogu usporediti s matičnim stijenama pliocensko-pleistocenske starosti u Jadranskom podmorju. Osim biogenoga plina, u zonama najvećih rasjeda, moguća su zasićenja migriranim plinom i naftom iz dubljih dijelova depresije .
- Član Oborovo ima umjeren plinski potencijal zbog male dubine zalijeganja i upitne mogućnosti formiranja ležišta ekonomskog značaja. Ipak, ne može se u potpunosti izostaviti zbog brojnih plinskih pojava zabilježenim u bušotinama, bunarima i na samoj površini terena.

- Izrađene su rekonstrukcije paleookoliša prostora koji obuhvaća područje istraživanja podjeljene na pet faza razvoja. Osim distribucije okoliša, naznačeni su i smjerovi donosa materijala u sedimentacijski prostor.
  - Obilježje I. faze razvoja je prostran jezerski prostor, relativno male dubine. Donos sedimenta bio je dominantno iz smjera sjeverozapada, sjevera i sjeveroistoka. Močvare i kopno nalazili su se na samom rubu prostora.

- II. faza obilježena je znatnim oplićavanjem i reduciranjem površine jezera. Velik dio područja depresije prekriven je močvarama dok su na samom rubu kopneni okoliši.
- III. faza predstavlja nastavak oplićavanja i daljnju redukciju jezerskog okoliša na sjeverozapadni dio istraživanog područja zbog utjecaja tektonike koja omogućava nastajanje akomodacijskoga prostora. Ostatak prostora pripada ili močvarištima ili kopnenim okolišima.
- IV. faza, uz najznačajniji tektonski utjecaj, obilježena je ponovnim nastankom prostranog jezerskog područja u području depresije. Kao rezultat snažne erozije i izdizanja, ponajprije Moslavačke gore, talože se velike debljine naslaga.
- Razdoblje pliocena i pleistocena svrstano je u V. fazu razvoja u kojoj okoliši taloženja i njihova prostorna raspodjela ovise o promjenama klime iznimno značajnim u tom vremenskom periodu. Samim tim, u razdobljima vlažnih i toplih intergalcijala predviđeno je postojanje jezera i močvara uz kopnene okoliše. Za vrijeme glacijala prevladavaju kopneni okoliši uz rijetka močvarišta.

14. ZAKLJUČAK

Razdoblje trećega neogensko-kvartarnoga megaciklusa izrazito je dinamično u geološkom smislu. Varijacija u okolišu taloženja i klimatskim uvjetima su imala izniman utjecaj na izmjenu litološkog sastava. Na temelju interpretacije i ograničavanja pojedinih razdoblja s različitim klimatskim uvjetima i tektonskom aktivnošću moguće je bilo načiniti razdiobu formacije Lonja na šest članova – Hrastilnica, Batina, Ravneš, Popovača, Vrbak i Oborovo. Pomoću paleontoloških odredaba, rekonstrukcijom klimatskih uvjeta i strukturnom analizom podzemlja utvrđeno je da su naslage članova Hrastilnica, Batina i Ravneš donjopliocenske, članova Popovača i Vrbak gornjoplicoenske, a člana Oborovo pleistocensko-holocenske starosti. Do sada korišten biostratigrafski termin Paludinske naslage, koji se odnosi na zonu pojavnosti puževa roda *Viviparus*, smatrao se isključivo pliocenske starosti. Taj odnos, kao i podjelu na donje, srednje i gornje paludinske slojeve općenito, potrebno je ispraviti i vremenski produžiti s obzirom na prikazane paleontološke nalaze pleistocenskih viviparida, a posebice onih na području mjesta Lipovljana.

Strukturne analize područja na temelju karotažnih dijagrama i seizmičkih profila ukazuju na pet razdoblja razvoja zapadnoga dijela Savske depresije tijekom pliocena, pleistocena i holocena. Prva tri razdoblja glavni utjecaj imaju klimatski faktori, a druga dva tektonika i klimatski uvjeti zajedno. Značajne razlike u debljini sedimenata u zonama rasjeda ukazuju na sinsedimentacijsku tektoniku gdje su vertikalni pomaci najintenzivniji kod južnih obornaka Moslavačke gore. Prema svem navedenom, upravo je razdoblje gornjeg pliocena te pleistocena i holocena bilo tektonski najaktivnije u zadnjoj fazi oblikovanja depresije, a kao rezultat bio je nastanak Moslavačke gore.

Debljine ležišnih naslaga te postojanje izolatorskih i matičnih stijena ukazuju na znatnu mogućnost pronalaska ležišta plina i to prvenstveno onoga biogenoga podrijetla. Ležišta su moguća u slojevitim, litološki ekraniziranim ležištima, tj. stratigrafskim zamkama, gdje je zatvaranje ostvareno uslijed isklinjavanja ležišnih naslaga i strukturnoga nagiba. U ovom pogledu najzanimljiviju članovi su Hrastilnica, Batina, Ravneš i Vrbak, no ne treba isključivati najmlađi član Oborovo zbog brojnih indikacija na njegovu plinonosnost. Lignit i treset utvrđeni su u svim članovima osim u članu Popovača. Najveće debljine lignita dolaze u članu Vrbak, dok u odnosu na debljinu formacije najviše lignita prisutno je u članu Ravneš. Zbog niskog stupnja zrelosti ugljena, nisu pogodni za uplinjavanje u podzemlju već su zanimljivi kao matična stijena za plin. Matične stijene i ugljeni su, kako je već navedeno,

nezreli, no s obzirom na sadržaj ugljika organskog podrijetla, kerogen tipa III i IV pogodni su za otpuštanje biogenog plina, poput uvjeta koji vladaju u podmorju Sjevernoga Jadrana.

S obzirom na sve navedeno, preporučuju se detaljna istraživanja mlađih naslaga na području Savske depresije. Kao cilj istraživanja ležišta plina ekonomskih količina ugljikovodika preporuča se član Vrbak u dubljim dijelovima područja naznačenog u ovoj disertaciji te članovi Hrastilnica, Batina i Ravneš. Najmlađi član Oborovo također ukazuje na mogućnost pronalaska plinskih ležišta manjih dimenzija, no upitnog ekonomskog značaja.

U Zagrebu,

15. LITERATURA

ANDREESCU, I. CODREA V., ENACHE C., LUBENESCU V., MUNTEANU T., PETCULESCU A., STIUCA E. & TERZEA E. (2011): Reassessment of the Pliocene/Pleistocene (Neogene / Quaternary) boundary in the Dacian Basin (Eastern Paratethys), Romania. Oltenia Journal for Natural Sciences, 27, 1, 197-220.

BARIĆ, G. 2006: Naftna geokemija. INA Industrija nafte, d.d., Zagreb, 253 str.

BASCH, O. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Ivanić-Grad. Savezni geološki zavod, Beograd.

BASCH, O. (1983): Tumač za list Ivanić-Grad. Savezni geološki zavod, Beograd, 61 str.

BASSIOUNI, Z. (1994): Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs.– Society of Petroleum Engineers, Richardson, 372 str.

BHATT, A. (2002): Reservoir properties from well logs using neural networks. Doktorski rad. Dep. Petroleum Technology and Applied Geophysics, NTNU, Trondheim, 157 str.

BERTINI, A. (2001): Pliocene climatic cycles and altitudinal forest development from 2.7 Ma in the Norhern Apennines (Italy): Evidence from the pollen record of stiron section (~5.1 to ~2.2 Ma). Geobios, 34, 3, 253-265.

BLATT, H. (1963): Selective destruction of unudlatory quartz in sedimentary environments. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 73, 118-119.

BRUSINA, S. (1897): Gragja za neogensku malakološku faunu Dalmacije, Hrvatske i Slavonije uz neke vrste iz Bosne, Hercegovine i Srbije. Tisak dioničke tiskare, Zagreb, 21 tabl.

BRUSINA, S. (1902): Iconographia molluscorum fossilium in tellure tertiaria Hungariae, Croatiae, Slavoniae, Dalmatiae, Bosniae, Herzegovinae, Serbiae et Bulgariae inventorum. Zagreb, 30 tabl.

CARROLL, A. R. & BOHACS, K. M. (1999): Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls. Geology, 27, 2, 99-102.

CVETKOVIĆ, M. (2007): Naftnogeološka primjena neuronskih mreža na primjeru ležišta u polju Kloštar. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 49 str.

CVETKOVIĆ, M. & MALVIĆ, T. (2013): Defining electro-log markers in poorly consolidated, heterogeneous clastic sediments using standard deviation data trends – an example from the Sava Depression, Pannonian Basin System. 16th Hungarian &

5th Croatian and Hungarian congress abstract and program book, Horváth, J. ; Wágenhoffer, A. Geiger, J. Cvetković, M. Malvić, T. (ur.), Seged, 1-4.

CVETKOVIĆ, M. & VELIĆ, J. (2012): Successfulness of inter well lithology prediction on Upper Miocene sediments with artificial neural networks. U: Geomathematics as geoscience, MALVIĆ, T., GEIGER, J. & CVETKOVIĆ, M. (ur.), 13-20.

CVETKOVIĆ, M., VELIĆ, J. & MALVIĆ, T. (2009): Application of neural networks in petroleum reservoir lithology and saturation prediction. Geologia Croatica, 62/2, 115-121.

CVETKOVIĆ, M., VELIĆ, J. & MALVIĆ, T. (2012): Application of Artificial Neural Networks on Well Log Data for Lithofacies Mapping of Pliocene, Pleistocene and Holocene sediments Sediments in Sava Depression, Pannonian Basin, Croatia. GEOINFORMATICS 2012, Kyiv, EAGE, 1-5.

ĆORIĆ, S., PAVELIĆ, D., RÖGL, F., MANDIC, O., VRABAC, S., AVANIĆ, R., JERKOVIĆ, L., & VRANJKOVIĆ, A. (2009): Revised Middle Miocene datum for initial marine fl ooding of North Croatian Basins (Pannonian Basin System, Central Paratethys). Geologia Croatica, 62, 1, 31–43.

DIMITRIJEVIĆ, M. (1978): Geološko kartiranje. Izdavačko-informativni centar studenata, Beograd, 486 str.

FAUQUETTE, S., SUC, J., GUIOT, J., DINIZ, F., FEDDI, N., ZHENG, Z., BESSAIS, E. & DRIVALIARI, A. (1999): Climate and biomes in the West Mediterranean area during the Pliocene. Palaeo, 152, 15–36.

FORGOTSON, J. M. (1960): Review and classification of quantitative mapping techniques. AAPG Bulletin, 44, 1, 83-100.

GRETIĆ, Z. & BOBIĆ, D. (2002): Od paklina do naftnih polja. INA-Industrija nafte, 343.

HERAK, M. (1987): Geologija. Školska knjiga, Zagreb, 450 str.

HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturno–tektonski odnosi u području istočne Slavonije. Nafta, specijalno izdanje, 221 str.

HERNITZ, Z. & JURAK, V. (1973): Primjena paleostrukturne i statističke analize naslaga mlađeg tercijara u području Ivanić-Grada (Sjeverna Hrvatska). Nafta, 24,7-8, 343-367.

HERNITZ, Z., VELIĆ, J., KRANJEC, V. & NAJDENOVSKI, J. (1980): Prikaz diferencijalnih i maloamplitudnih struktura s primjerima iz Savske potoline (Panonski bazen). Nafta, 7-8, 399-409.

HERNITZ, Z., KOVAČEVIĆ, S., VELIĆ, J. & URLI, M. (1981): Primjer kompleksnih geološko-geofizičkih istraživanja kvartarnih naslaga u okolici Prevlake. Geol. vjesnik, 33, 11-34.

ICS (2013): International Chronostratigraphic Chart. International Commission on Stratigraphy, v. 2013/01.

JAMIČIĆ, D. (1988): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Daruvar. Savezni geološki zavod, Beograd.

JAMIČIĆ, D., VRAGOVIĆ, M. & MATIČEC D. (1989): Tumač za list Daruvar. Savezni geološki zavod, Beograd, 51 str.

JARVIS, A., REUTER, H. I., NELSON, A. & GUEVARA, E. (2008): Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database (http://srtm.csi.cgiar.org).

JOVANOVIĆ, Č. & MAGAŠ, N. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Kostajnica. Savezni geološki zavod, Beograd.

JOVANOVIĆ, Č. & MAGAŠ, N. (1986): Tumač za list Kostajnica. Savezni geološki zavod, Beograd, 46 str.

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

KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. (1964): Paleozoologija. Školska knjiga, Zagreb, 452 str.

KOROLIJA, B. & CRNKO J. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Bjelovar. Geološki zavod, Zagreb.

KOROLIJA, B., VRAGOVIĆ, M., CRNKO, J. & MAMUŽIĆ, P. (1986): Tumač za list Bjelovar. Savezni geološki zavod, Beograd, 41 str.

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, 18/1, 133-147.

MALVIĆ, T. (2003): Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini. Doktorski rad, Rudarsko–geološko–naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 123 str.

MALVIĆ, T. & VELIĆ, J. (2011): Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. U: New Frontiers in Tectonic Research: At the Midst of Plate Convergence, Schattner, U. (ur.), 215-238.

MANGE, M. A. & MAURER H. F. W. (1992): Heavy minerals in colour. Chapman & Hall, London, 147 str.

MARCIN, S. (2011): Climate oscillations of the Holsteinian (Mazovian) Interglacial recorded in shell morphometry of Viviparus diluvianus (Kunth, 1865) from eastern Poland. Qaternary International, 241, 1-2, 143-159.

MATHUR, S. M. (1981): Cyclic sedimentation in the Vindhyan Supergrup. Geological survey of India, Records, 112, 8, 1–6.

MITCHUM, R. M. (1977): Glossary of terms used in seismic stratigraphy. U: PAYTON, C. E. (ur.): Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir, 26, 205-212.

MRINJEK, E., SREMAC, J. & VELIĆ, J. (2006): Pliocen Aluvial Sediments in the Drava Depression of the Virovitica-Slatina Area, North Croatia. Geologia Croatica, 59, 1, 65-84.

MURPHY, M. A. & SALVADOR, A. (1996): International Stratigraphic Guide — An abridged version. Episodes, 22, 4, 255-271.

MÜLLER, G. (1964): Methods in sedimentary petrology. Sedimentary Petrology. Part I. Schweizerbart, Stuttgart, 283 str.

MOORE, T. A. (2012): Coalbed methane: A review. International Journal of Coal Geology, 101, 36-81.

NACSN (2005): North American Stratigraphic Code. AAPG Bulletin, 89, 11, 1547-1591.

NEUMAYER, P. (1875): Die Koiifferien- und Paludinenschichten Slavoniens und deren Faunen. –Abh. der k. k. geol. Reichsanstalt, Wien.

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

PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER, R. (1973): Persistance of heavy minerals and geologic age. J. Geol., 49, 610-625.

PIKIJA, M. (1986): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Sisak. Savezni geološki zavod, Beograd.

PIKIJA, M. (1987): Tumač za list Sisak. Savezni geološki zavod, Beograd, 51 str.

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

PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., MESIĆ, I. &TADEJ, J. (1998): Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. Tectonophysics, 297, 1-4, 283-293.

RÖGL, V. & STEININGER, F. F. (1983): Vom Zerfall der Tethys zu Mediterran und Paratethys. Ann. Naturhis. Mus. Wien, 85/A, 135-163.

SAFTIĆ, B. (1993): Taložni sustav pješčanih rezervoara genetske sekvencije slojeva pješčenjaka Poljana u neogenskim naslagama polja Žutica. Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakučtet, Sveučilište u Zagrebu, 58 str.

SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANÓ, O., JUHÁSZ, G. & IVKOVIĆ, Ž. (2003): Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (northern Croatia and south–western Hungary). Geologia Croatica, 56, 1, 101–122.

SINGH, U. K., TIWARI, R. K. & SINGH, S. B. (2013): Neural network modeling and prediction of resistivity structures using VES Schlumberger data over a geothermal area. Computers & Geosciences, 52, 3, 246-257.

SOKAČ, A. (1978): Pleistocene ostracode fauna of the Pannonian Basin in Croatia. Paleont. Jugosl. 20, 1-51.

SOKAČ, A. & BLAŠKOVIĆ, I. (1971): Atlas fosila kenozoika. Rudarko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 35 str.

StatSoft, Inc. (2004): STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.

ŠEGOTA, T. (1967): Paleotemperature Changes in the Upper and Middle Pleistocene. Eiszeitalter und Gegenwart, 18, 127-141.

ŠERCELJ, A. (1985): Palinološke reiskave v velenjskem premogovnom bazenu. Geologija, 28/29, 199-203.

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

ŠIMON, J. (1973b): O litostratigrafskom stupu tercijarnih naslaga u području istočne Slavonije. Nafta, 3, 119–127.

ŠIMON, J. (1980): Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. Disertacija, Rudarsko–geološko–naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 66 str.

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

TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. (1978): Petroleum formation and occurence: a new approach to oil and gas exploration. Springer Verlag, Berlin, 538 str.

TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene. Školska knjiga, Zagreb, 399 str.

TIŠLJAR, J. (2004): Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 426.

TREFETHEN, J. M. (1950): Classification of sediments. American Journal of Science, 248, 55-62.

TROSKOT-ČORBIĆ, T. (2011): Organski facijesi u gornjojurskim naslagama Gorskoga Kotara, Like i Dalmacije. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 266 str.

TROSKOT-ČORBIĆ, T., VELIĆ, J. &MALVIĆ, T. (2009): Comparison between the Middle Miocene and the Upper Miocene source rock formations in the Sava Depression (Pannonian Basin, Croatia). Geologia Croatica, 62, 2, 123-133.

URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J. & VELIĆ, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih te gornjo i srednjo pleistocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. Zbornik radova IV. Jugosl. simp. o hidrogeol. i inž. geol., 1, 395-410.

VELIĆ, J. (1980): Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije. Doktorski rad, Rudarsko–geološko–naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 137 str.

VELIĆ, J (1983): Neotektonski odnosi i razvitak zapadnog dijela Savske potoline. Acta Geologica, 13, 1. 26-65.

VELIĆ, J. & SAFTIĆ B. (1991): Subsurface Spreading and Facies Characteristics of Middle Peistocene Deposits Between Zaprešić and Samobor. Geol. vjesnik, 44, 69-82.

VELIĆ, J. & DURN, G. (1993): Alternating Lacustric-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases During Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. Geologia Croatica, 46/1, 71-90.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T. & CVETKOVIĆ, M. (2011): Palinspastic reconstruction of synsedimentary tectonics of Neogene and Quaternary sediments in the Kloštar Field (Sava Depression, Pannonian Basin, Croatia. Z. dt. Ges. Geowiss., 162, 2, 193-201.

VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & MALVIĆ, T. (1999): Lithologic composition and Stratigraphy of Quaternary Sediments in the Area of the „Jakuševac“ Waste Depository (Zagreb, Northern Croatia). Geologia Croatica, 52/2, 119-130.

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

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.

VRSALJKO, D., PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M., BRKIĆ, M., KOVAČIĆ, M., HEĆIMOVIĆ, I., HAJEK-TADESSE, V., AVANIĆ, R. 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.

VUKIČEVIĆ, F. (2013): Izradba strukturnih karata pomoću neuronskih mreža iz bušotinskih i seizmičkih podataka- primjer u naftno-plinskom polju Kloštar. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakučtet, Sveučilište u Zagrebu, 47.

WAPLES, D. W. (1985): Geochemistry in Petroleum Exploration. D. Reidel Publishing Company, Boston, 232 str.

WENTWORTH, C. K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 41, 306-309 str.

WERBOS, P. J. (1974): Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioural sciences. Ph.D. thesis, Harvard university

ZAHEDI, F. (1993): Inteligent systems for business, expert systems with neural networks. Wodsworth publishing inc.

ŽGALJIĆ J. (1985): Nafta na našem tlu. Privredni vjesnik, Zagreb, 283 str.

***FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE**

BALTIĆ, A., CEROVEČKI, Z., ČIRIĆ, M., JERAS, Z. & KOVAČIĆ, M. (1982*): Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Lipovljani duboka – 1 (LipD-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

GAĆEŠA, V. & ŠKALER, K. (1965*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Lekenik – 1 (Lek-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

GJUKIĆ, B., DEUR, I. & KEDMENEC, A. (1974*): Geološki izvještaj dubokih istražnih bušotina Hrastilnica – 2 i Hrastilnica – 2α (Hra-2, 2α). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

IGRIĆ, S., ŽIGROVIĆ, K., BRLOBUŠ, M., MAKOVICA, M., LIPIĆ, LJ. & FINZIR, Ž. (1986*): Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Okoli duboka – 2 i 2α. Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

IVIČIĆ, K., BRKLJAČIĆ, V., MILETIĆ, D. & FINZIR, Ž. (1988*): Rezultati praćenja duboke istražne bušotine Vrbak – 1 zapad (Vrb-1z). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

JURKOVIĆ, A. (1962*): Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Lonja – 1 (Lo-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

KRALJEVIĆ, D., MIKULJAN, S., JUREKOVIĆ, LJ. & ŠALER, M. (1984*): Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Iva Duboka – 1 i 1α. Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

MANDIĆ, B. (1966*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Vezišće – 2 (Vz-2). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

MIŠKULIN, B., MITROVIĆ, V., ŽIGROVIĆ, K., KOLUNDŽIĆ, M. & JUREKOVIĆ, LJ. (1985*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Okoli duboka – 1 (OkD-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

MUDRIĆ, D. (2005*): Atlas proizvodnih plinskih polja u Republici Hrvatskoj. INA-Industrija nafte d.d., NAFTAPLIN SD za istraživanje i proizvodnju nafte i plina, Sektor za razradu, Zagreb, 243 str.

NEUMANOVSKI, P. VUKADINOVIĆ, M. & ADŽIĆ, S. (1964*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Žutica – 1 (Žu-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

RAŠKOVIĆ, M. (1970*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Voloder – 5 (Vo-5). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

RUKAVINA, Ž. (1962a*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Brezovica – 1 (Bz-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

RUKAVINA, Ž. (1962b*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Martinska Ves – 2 (MV-2). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

SREMČEVIĆ, M. & CIKUŠA, B. (1966*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Batina – 1 (Bt-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

ŠIMON, J. (1963*): Litostratigrafske jedinice polja Ivanić–Grad.– Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin.

ŠIMON, J. (1969*): Shematski stratigrafski presjek. Informativne litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleksa u profilima dubokih bušotina na području Dravske potoline. Fond stručne dokumentacije, Služba istraživanja, INA- Naftaplin.

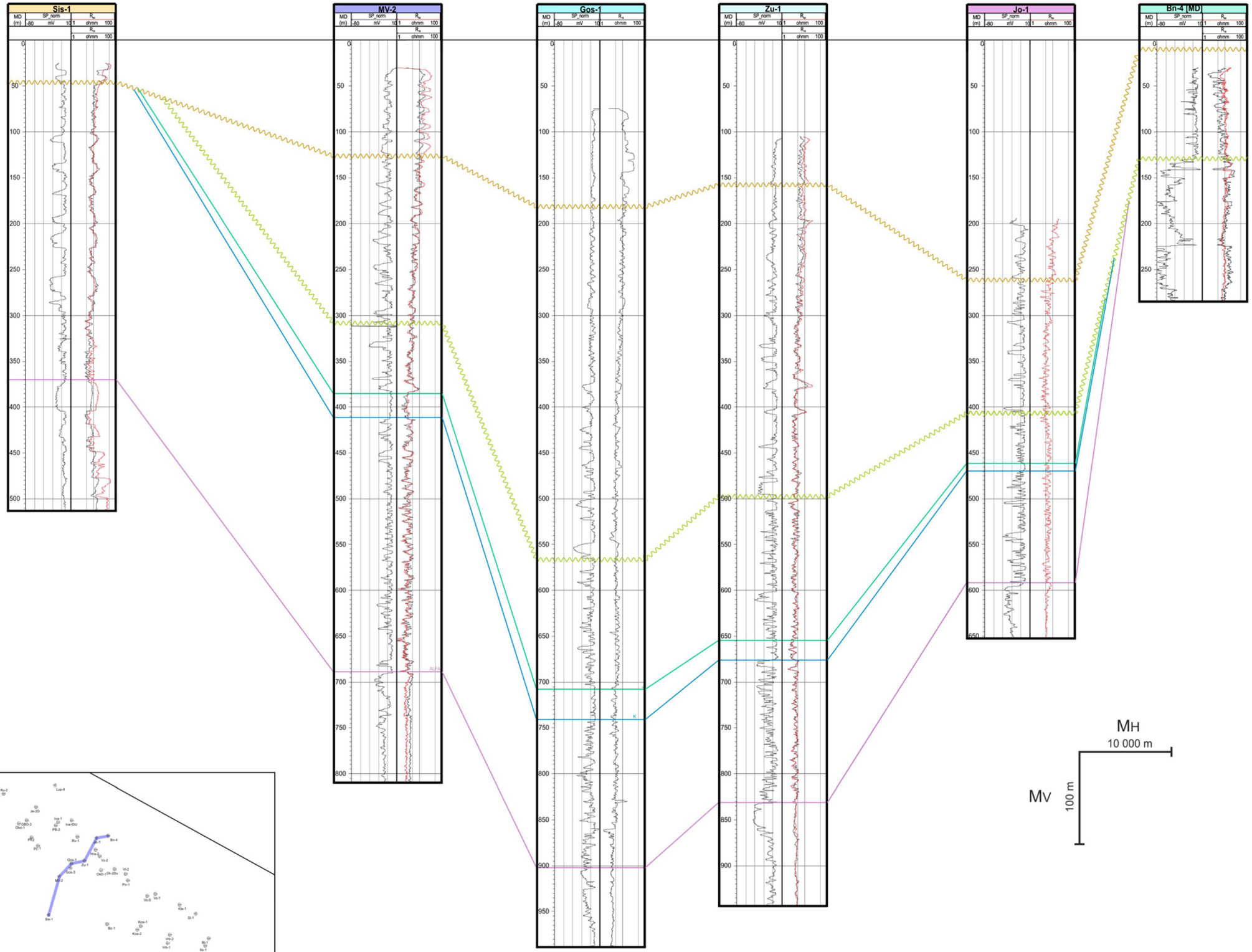
TOMASOVIĆ, T. (1956*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Johovec – 1 (Jo-1). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

TARI, V., SOKOLOVIĆ, B. & RENIĆ, M. (1981*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Lomnica – 1 (Lom-1): Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

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

UCCELINI, S. (1953*): Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Bunjani – 4 (Bn-4). Fond stručne dokumentacije INA Naftaplin, Zagreb.

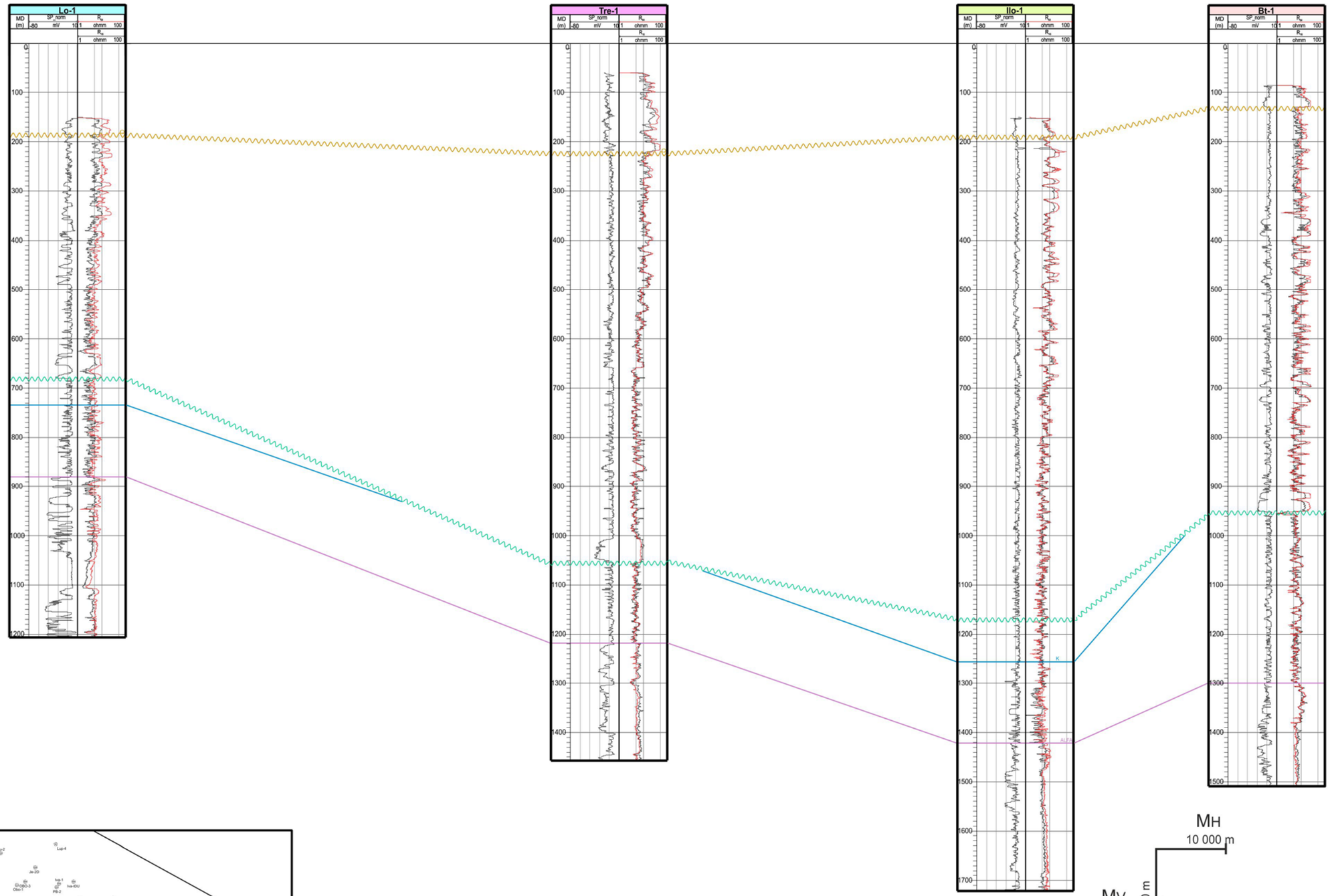
ŽIGROVIĆ, K., MITROVIĆ, V., CESAR, J. & BRLOBUŠ, M. (1985*): Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Ježevo duboka – 2 (Je-2D).

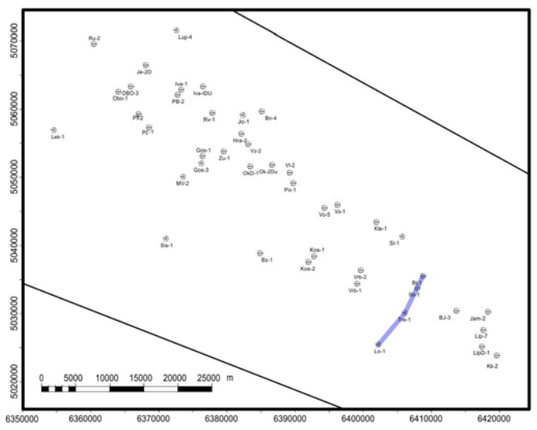


Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

DOKTORSKI RAD
Marko Cvetković, dipl. ing. geol.

Prilog 1:
Shematski poprečni korelacijski profil u zapadnom dijelu istraživanog područja





MH
10 000 m

MV
100 m

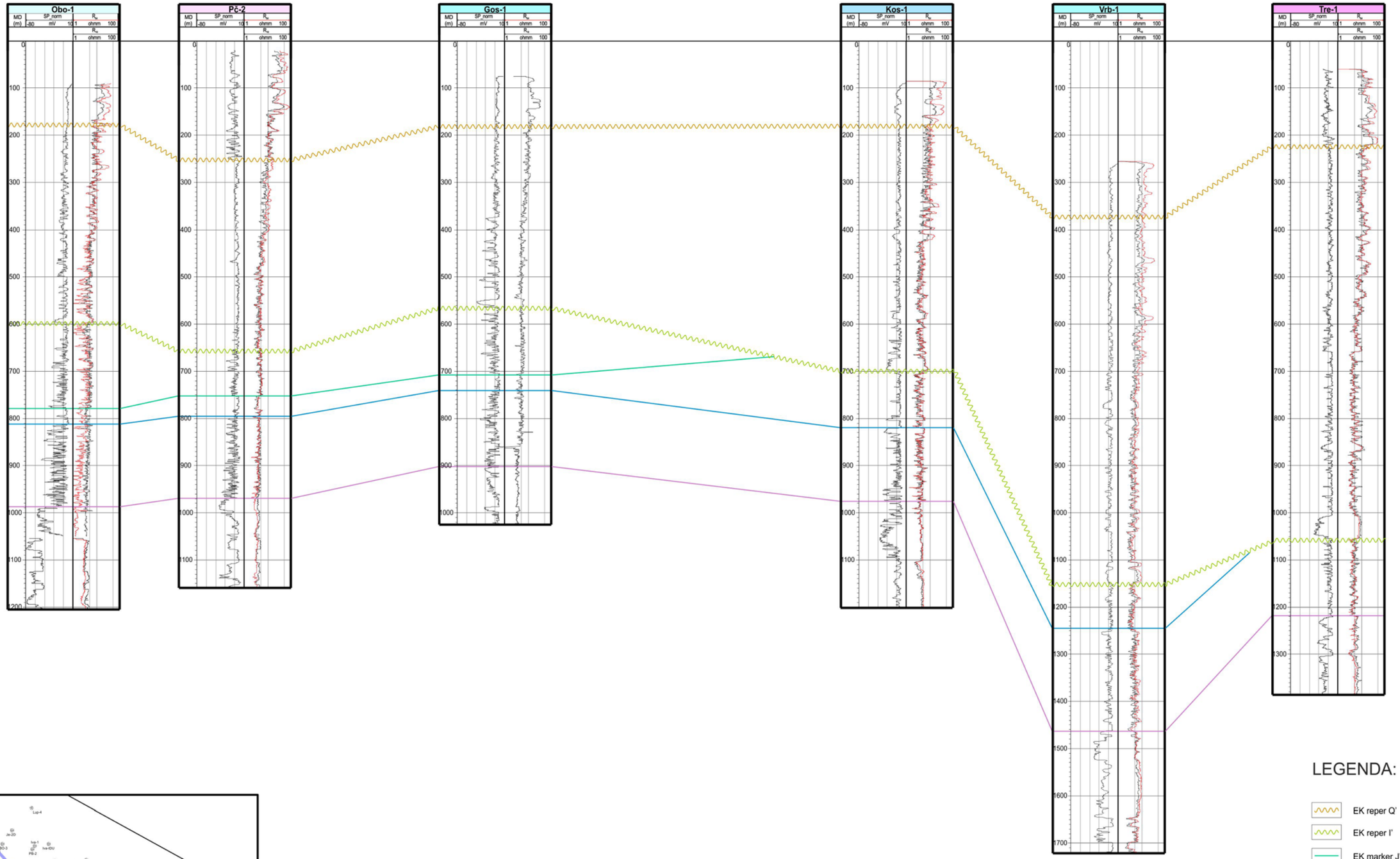
LEGENDA:

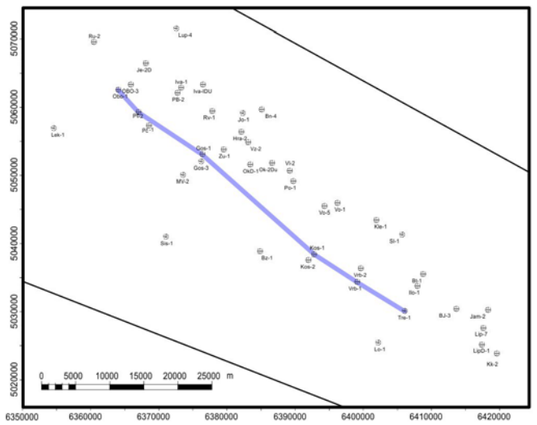
- EK reper Q'
- EK reper J'
- EK marker K'
- EK marker α'
- Bušotina
- Trasa profila

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

DOKTORSKI RAD
Marko Cvetković, dipl. ing. geol.

Prilog 2:
Shematski poprečni korelacijski profil u istočnom dijelu istraživanog područja





MH
10 000 m

MV
100 m

LEGENDA:

- EK reper Q'
- EK reper I'
- EK marker J'
- EK marker K'
- EK marker α'
- Bušotina
- Trasa profila

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

DOKTORSKI RAD
Marko Cvetković, dipl. ing. geol.

Prilog 3:
Shematski uzdužni korelacijski profil istraživanog područja

I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
KVARTAR
PLEIST.
HOL.
NEOGEN
PLIOCEN
GORNJI
DONJI
M.
Q'
J'
H'
α'
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
Mos-14
Slav-1
Slav-5
Mos-22
Mos-21
Mos-30
Mos-29
Mos-36
Mos-20
Mos-19
Mos-26
Mos-27
Jo-1
Ilo-1
Ilo-1
Mos-8
Ilo-1
Jo-1
Mos-12
Mos-18
Mos-34
Mos-13
Mos-17
Mos-16
Mos-32
Mos-11
Ilo-1
Mos-24
Ilo-1

IX	X																											XI								XII																	
	Viviparus neumayri BRUSINA	Viviparus vukotinovici FRAUENFELD	Viviparus sturi NEUMAYR	Viviparus cf. dezmanianus BRUSINA	Viviparus cf. avellanus (BRUSINA)	Viviparus zelebori NEUMAYR	Viviparus sp.	Melanopsis cf. hastata NEUMAYR	M. cf. eurystoma NEUMAYR	M. pyrum NEUMAYR	M. recurrens NEUMAYR	M. cf. pterophyla BRUSINA	M. clarigera NEUMAYR	M. hybostoma NUMAYR	Melanopsis sp.	Theodoxus sagittifera BRUSINA	Theodoxus sp.	Lythoglyphus callosus BRUSINA	Lythoglyphus sp.	Gyraulus sp.	Lymea sp.	Valavata sulekiana BRUSINA	Valvata sp.	Hydrobia sp.	Emmericia cf. jenkiana BRUSINA	Planorbis sp.		Unio cf. ptychodes BRUSINA	Unio cf. strossmayerianus BRUSINA	Unio sp.	Pisidium solidarium NEUMAYR	Pisidium sp.	Dreissena polymorpha PALLAS	Dreissena sp.		Cyprides cf. torosa JONES	Cypria sp.	Cypris pubera O. F. MULLER	Cypris sp.	Candona neglecta SARS	C. candida O. F. MULLER	Candona sp.	Candonopsis sp.	Scottia pseudobrowniana KEMPF	Darwinula stevensoni BRADY & ROBERTSON	Ilyocypris cf. brady SARS	Heterocypris icongruens RAMDOHR	Potamocypris sp	Paracandona cf. euplextella ROBERTSON	Fabaeoformiscandona holzkampfi HARTWIG	Herpetocypris sp.	Cyclocypris serena KOCH	Caspiocypris candida LIVENTAL
Slav-4	○																	○	○												○	○																					
Slav-5																		○								○					○	○																					
Mos-22																				○	○											○						○		○	○					○	○	○					
Mos-30																																																					
Mos-29		○													○								○			○				○		○												○								○	
Mos-36							○												○		○																																
Mos-19															○				○	○												○																					
Mos-27			○		○		○									○	○	○				○	○	○	○			○	○			○		○			○			○		○	○	○	○				○	○	○		
jezgra (Jo-1)							○								○				○						○																												
jezgra (Ilo-1)											○				○								○										○	○			○																○
jezgra (Ilo-1)						○					○	○	○	○									○																○														○
Mos-8			○																																																		
jezgra (Ilo-1)								○				○	○	○																○																							
jezgra (Jo-1)				○											○																																						
Mos-12			○	○			○	○	○	○					○	○	○		○				○	○						○			○			○				○		○		○	○								
Mos-13																																				○	○																
Mos-17																																				○	○																
Mos-16			○	○				○		○						○	○	○	○											○	○					○						○		○		○							
Mos-11																																		○		○						○											
jezgra (Ilo-1)																																																					○
jezgra (Ilo-1)										○					○																	○																					

LEGENDA:

- Glina
- Prah
- Pijesak
- Šljunak
- Ugljen
- Puževi
- Školjke
- Ostatci riba
- Lišće i drvovina
- Ostrakodi
- Alge (haracejske)
- ■ Projicirani položaj jezgara s determinacijom faune
- • Projicirani položaj uzorka s površine

I - kronostratigrafske jedinice prema ICS (2013)
II - EK markeri/reperi
III - debljina u metrima
IV - litološki stup
V - projekcija jezgara iz bušotina Jo-1 i Ilo-1 te površinskih uzoraka na litološki stup
VI - oznake jezgara i uzoraka
VII - utvrđena makrofauna
VIII - utvrđena mikrofauna
IX - oznake jezgara i uzoraka s utvrđenom faunom
X - puževi (*Gastropoda*)
XI - školjke (*Bivalvia*)
XII - ostrakodi (*Ostracoda*)

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

DOKTORSKI RAD
Marko Cvetković, dipl. ing. geol.

Prilog 4:
Sintetski stup naslaga pliocena, pleistocena i holocena na području istraživanja

ŽIVOTOPIS

Rođen je 18. ožujka 1984. godine u Bjelovaru. Srednjoškolsko obrazovanje stekao je 2002. godine završivši Opću gimnaziju u Garešnici. Iste godine upisuje studije geologije na Rudarsko-geološko naftnom fakultetu. Godine 2006. pod vodstvom prof. dr. sc. Boška Lugovića dobitnik je Rektorove nagrade za rad „Petrološke i petrogenetske značajke višestruko metamorfoziranih amfibolita Moslavačke gore“. Diplomirao je 15. lipnja 2007. godine obranom teme diplomskog rada „Naftnogeološka primjena neuronskih mreža na primjeru u polju Kloštar“ pod vodstvom prof. dr. sc. Josipe Velić i prof. dr. sc. Tomislava Malvića.

Od rujna 2007. godine zaposlen je na Rudarsko-geološkom naftnom fakultetu kao znanstveni novak na znanstvenom projektu Ministarstva znanosti i obrazovanja „Stratigrafska i geomatematička istraživanja naftnogeoloških sustava u Hrvatskoj“ pod vodstvom prof. dr. sc. Josipe Velić. Izvodi vježbe iz kolegija Geologija nafte, Istraživanja ležišta nafte te pomaže u izvođenju vježbi iz kolegija Geologija ležišta fluida. Doktorski studij na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu upisuje akademske godine 2008./2009.

Član je Hrvatske udruge naftnih inženjera i geologa, IAMG te Hrvatskog geološkog društva u kojem od 2009. godine obnaša dužnost pročelnika Geomatematičkog odsjeka. Sudjelovao je u izradbi stručne studije „Unapređivanje geoloških interpretacijskih metoda u cilju povećanja iscrpka unutar pješčenjačkih ležišta“. Do sada je u koautorstvu publicirao 27 radova.

Oženjen je i otac jednog djeteta.

POPIS RADOVA

Autorske knjige:

MALVIĆ, T & CVETKOVIĆ, M. (2009): Neuronski alati u geologiji ležišta ugljikovodika. Hrvatsko geološko društvo, Zagreb, 100 str.

MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. & BALIĆ, D. (2008): Geomatematički rječnik. Hrvatsko geološko društvo, Zagreb, 74 str.

Poglavlja u knjizi:

MALVIĆ, T., NOVAK ZELENIKA, K. & CVETKOVIĆ, M. (2012): Indicator vs. Gaussian geostatistical methods in sandstone reservoirs – Case study from the Sava Depression, Croatia. –NEW HORIZONS IN CENTRAL EUROPEAN GEOMATHEMATICS, GEOSTATISTICS AND GEOINFORMATICS, GEIGER, J., PÁL-MOLNÁR, E. & MALVIĆ, T. (ur.). GeoLitera Publishing House, Szeged, 37-46.

Izvorni znanstveni i pregledni radovi u CC časopisima:

NOVAK ZELENIKA, K., CVETKOVIĆ, M., MALVIĆ, T., VELIĆ, J. & SREMAC, J. (2013): Sequential Indicator Simulations maps of porosity, depth and thickness of Miocene clastic sediments in the Kloštar Field, Northern Croatia. –Journal of Maps, 9, 3, 1-8.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. & BOŠNJAK, M. (2012): Statistical analysis of diplogs from exploration wells in the Drava Depression, Northern Croatia. –Journal of petroleum geology, 35, 4, 343-356.

Znanstveni radovi u drugim časopisima:

MALVIĆ, T. & CVETKOVIĆ, M. (2013): Lithostratigraphic units in the Drava Depression (Croatian and Hungarian parts) – a correlation (Korelacija litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji (hrvatski i mađarski dio)). –Nafta: exploration, production, processing, petrochemistry, 64, 1, 27-33.

MALVIĆ, T., VELIĆ, J. & CVETKOVIĆ, M. (2012): Quantification of production variables in sandstone hydrocarbon reservoirs versus other lithologies in Croatia. –Naftaplin, 68, 12, 19-25.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. & VRBANAC, B. (2012): Reservoir geology, hydrocarbon reserves and production in the Croatian part of the Pannonian Basin System. –Geologia Croatica, 65, 1; 91-101.

MALVIĆ, T., VELIĆ, J., HORVATH, J. & CVETKOVIĆ, M. (2011): Neural networks in petroleum geology as interpretation tools. –Central European Geology, 53, 1; 97-115.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T. & CVETKOVIĆ, M. (2011): Palinspastic reconstruction of synsedimentary tectonics of Neogene and Quaternary sediments in the Kloštar Field (Sava Depression, Pannonian Basin, Croatia). –Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (ZDGG), 162, 2, 193-203.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. & VRBANAC, B. (2010): Characteristics of Hydrocarbon Fields in the Croatian Part of the Pannonian Basin. –Oil, gas, 36, 3, 146-147.

CVETKOVIĆ, M., VELIĆ, J. & MALVIĆ, T. (2009): Application of neural networks in petroleum reservoir lithology and saturation prediction. –Geologia Croatica, 62/2, 115-121.

Znanstveni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom:

CVETKOVIĆ, M. & MALVIĆ, T. (2013): Defining electro-log markers in poorly consolidated, heterogeneous clastic sediments using standard deviation data trends – an example from the Sava Depression, Pannonian Basin System. 16th Hungarian & 5th Croatian and Hungarian congress abstract and program book, Horváth, J. ; Wágenhoffer, A. Geiger, J. Cvetković, M. Malvić, T. (ur.), Seged, 1-4.

CVETKOVIĆ, M. & VELIĆ, J. (2012): Successfulness of inter well lithology prediction on Upper Miocene sediments with artificial neural networks. –Geomathematics as geoscience, MALVIĆ, T., GEIGER, J. & CVETKOVIĆ, M. (ur.). Hrvatsko geološko društvo, Zagreb, 13-20.

MALVIĆ, T., VELIĆ, J. & CVETKOVIĆ, M. (2012): Stochastical categories in the probability of success (POS) calculation. –Geomathematics as geoscience, MALVIĆ, T., GEIGER, J. & CVETKOVIĆ, M. (ur.). Hrvatsko geološko društvo, Zagreb, 97-104.

NOVAK ZELENIKA, K., VELIĆ, J. MALVIĆ, T. & CVETKOVIĆ, M. (2011): Geological Variables Fitting in Normal Distribution and Application in Indicator Geostatistical

Methods. –IAMG 2011 Conference, MARSCHALLINGER, R. ; ZOBL, F. (ur.). International Association of Mathematical Geosciences, Salzburg, 245-251

MALVIĆ, T.; VELIĆ, J.; CVETKOVIĆ, M. (2010): Database of geostatistical results from hydrocarbon reservoirs in the Sava and Drava depressions (SW part of Pannonian basin) – updated in 2009. –Proceedings of IAMG 2010. WECO Travel Ltd., Budimpešta, 14-14.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M,, WEISSER, M. & CURI, V. (2009): Observation useful for increase of hydrocarbon fields exploitation period within Croatian part of the Pannonian basin. –Modern Management of Mine Producing Geology and Environmental Protection, International Scientific Committee of SGEM, Sofia, 567-574.

Sažetci u zbornicima skupova:

CVETKOVIĆ, M., VELIĆ, J. & MALVIĆ, T (2012): Application of Artificial Neural Networks on Well Log Data for Lithofacies Mapping of Pliocene, Pleistocene and Holocene sediments Sediments in Sava Depression, Pannonian Basin, Croatia. XI th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects 14-17 May 2012, Kyiv, Ukraine - GEOINFORMATICS 2012. Kyiv, EAGE, 1-5.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T. & CVETKOVIĆ, M. (2012): HISTORY OF OIL AND GAS PRODUCTION IN THE CROATIAN PART OF THE PANNONIAN BASIN SYSTEM. 2nd International Conference "Alpine Petrol 2012" on "Geology, Ecology and Petroleum Prospectives of the Carpathians and other Alpine Regions in Europe". Kotarba, M. J.; Wrobel, A. (ur.). Krakow, Society of Research on Environmental Changes "Geosphere", 103-104.

CVETKOVIĆ, M., VELIĆ, J., MALVIĆ, T. & SAFTIĆ, B. (2011): Značajke potpovršinskih kvartarnih naslaga u zapadnom dijelu Savske depresije. 2. znanstveni skup GEOLOGIJA KVARTARA U HRVATSKOJ - knjiga sažetaka. Zagreb, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 11-12.

MALVIĆ, T., NOVAK ZELENIKA, K. & CVETKOVIĆ, M. (2011): Indicator vs. Gaussian geostatistical methods in sandstone reservoirs - Case study from the Sava Depression, Croatia. Abstracts of The XIV. Congress of Hungarian Geomathematics and the III. Congress of Croatian and Hungarian geomathematics "Applications of geostatistics,

GIS and remote sensing in fields of geosciences and environmental protection". GEIGER, J .(ur.). Szeged, Magjarhoni Foldtani Tarsulat, 10-10.

MALVIĆ, T., VELIĆ, J. & CVETKOVIĆ, M. (2011): Quantification of production varibales in sandstone hydrocarbon reservoirs versus other lithologies in Croatia. Abstracts, The first Central and Eastern European international oil and gas conference and exibition. HOLODA, A., ZELIĆ, M., OSZ, A. SR. & KRIŽ, J. (ur.). Budimpešta: MONTAN-PRESS Program Organizing, Consulting and Publishing Ltd., 118-118.

BOŠNJAK, M., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. & VELIĆ, J. (2010): Statistička i grafička interpretacija mjerenja nagiba slojeva u bušotinama šire okolice Virovitice. - 4. hrvatski geološki kongres - Knjiga sažetaka. Horvat, M. (ur.). Zagreb: Hrvatski geološki institut, 386-387.

JOVIĆ, G., CVETKOVIĆ, M., MALVIĆ, T. & VELIĆ, J. (2010): Odnos rezervi i proizvodnje ugljikovodika po dekadama i dominantnim ležišnim litologijama u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. - 4. hrvatski geološki kongres - Knjiga sažetaka. Horvat, M. (ur.). Zagreb: Hrvatski geološki institut, 272-273.

CVETKOVIĆ, M. & BOŠNJAK, M. (2009): Successfulness of different neural network algorithms for missing well log data prediction – Example from the Sava Depression. XIII. Congress of Hungarian Geomathematics and the II. Congress of Croatian and Hungarian Geomathematics Applications of Geostatistics, GIS and Remote Sensing in the Fields of Geosciences and Environmental Protection. Abstract book 2009 Mórahalom. Morahalom, 11-11.

VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M. & JOVIĆ, G. (2009): Upper Miocene sedimentary rocks along the Northern marginal fault of the Sava depression influenced by syn-sedimentary tectonics (Kloštar oil field, Pannonian basin, Croatia) // Tectonics & Sedimentation (conference volume) / Tom McCann, Niko Froitzheim, Jean Thein, Andreas Schafer (ur.). Bonn, University of Bonn, Steinmann Institute - Geology, 77-77.