

**Sveučilište u Zagrebu**

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Tomislav Malvić

***NAFTNOGEOLOŠKI ODNOSI I VJEROJATNOST  
PRONALASKA NOVIH ZALIHA UGLJIKOVODIKA  
U BJELOVARSKOJ ULEKNINI***

Doktorska disertacija

Zagreb, 2003.

Doktorska disertacija je izrađena u **Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu** Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, te u tvrtki INA-Industrija nafte d.d. (Naftaplin), Šubićeva 29, Zagreb.

Mentor: **dr. sc. Zvonimir Hernitz**, redovni profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

*Rad sadrži:*

- *123 stranice teksta koje uključuju:*
  - 73 slike,
  - 20 formula i
  - 18 tablica;
- *148 literaturnih navoda od kojih je:*
  - 59 objavljenih radova i
  - 89 radova iz fonda stručne dokumentacije;
- *sažetke na hrvatskom i engleskom jeziku;*
- *životopis autora;*
- *13 priloga koji obuhvaćaju:*
  - kartu paleoreljefa
  - 5 strukturnih karata
  - 5 karata debljina i
  - paleotektonski profil te
  - računalni program za semivariogramsku analizu.

## ZAHVALA

Zadovoljstvo mi je zahvaliti svima koji su pripomogli u izradi disertacije.

Zahvaljujem voditelju prof. dr. sc. Zvonimiru Hernitzu koji mi je pomogao u određivanju ciljeva te odabiru odgovarajućih analitičkih metoda.

Zahvaljujem prof. dr. sc. Josipi Velić i dr. sc. Johannesu Wendebourgu na čitanju rukopisa i pomoći pri oblikovanju rada. Također i prof. dr. sc. Zdenku Krištaforu, doc. dr. sc. Slavki Pfaff te dr. sc. Borisu Vrbancu na savjetima i raspravama koje su mi pomogle u pronalaženju odgovora na brojna pitanja.

Svim djelatnicima INA-Industrije nafte d.d. koji su mi omogućili upotrebu podataka iz arhiva INA-Naftaplina te pomogli svojim znanjem i iskustvom. Hvala kolegama zaposlenim u Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta na stručnim raspravama, a poimenice gospodri Anici Mihelj te dr. sc. Zoranu Nakiću koji su pomogli u stvaranju završne inačice rada.

Hvala svim dragim i bliskim ljudima koji su mi pružali podršku.

Najveću zahvalu upućujem svojim roditeljima - Gordani i Dubravku.

## SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. GEOGRAFSKA OBILJEŽJA	3
2.1. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ I ADMINISTRATIVNO USTROJSTVO	3
2.2. VAŽNIJA NASELJA I PROMETNICE	3
2.3. MJESTA NA KOJIMA POSTOJE BUŠOTINSKI PODACI	4
2.4. HIDROGRAFSKA MREŽA	5
2.5. KLIMATSKA OBILJEŽJA	6
3. POVJEST NAFTNOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA	7
3.1. RAZDOBLJE 1852.-1945.	7
3.2. RAZDOBLJE 1946.-1979.	7
3.3. RAZDOBLJE 1980.-2001.	9
3.3.1. Geotermijsko polje Velika Ciglena – 1989. godina	10
3.3.2. Naftno polje Galovac-Pavljani – 1991. godina	10
3.3.3. Bušotina kod Rovišća – 1992. godina	11
3.3.4. Plinsko polje Grubišno polje – 1993. godina	11
3.3.5. Bušotine kod Dežanovca i Veličke Trmovitice – 1993. i 1994. godina	11
3.3.6. Plinsko polje Bačkovicu – 2000. godina	11
4. IZVORI PODATAKA I METODE NJIHOVE OBRADE	12
4.1. STRUKTURNO-STRATIGRAFSKA I GEOSTATISTIČKA ANALIZA	12
4.2. INTERPRETACIJA SEIZMIČKIH PROFILA	13
4.3. OCJENA ZRELOSTI POTENCIJALNIH MATIČNIH STIJENA	14
5. STRATIGRAFSKI PREGLED	16
5.1. MAGMATSKO-METAMORFNE STIJENE PALEOZOIKA I MEZOZOIKA	16
5.2. SEDIMENTI MEZOZOIKA	17
5.3. DONJI I SREDNJI MIOCEN – FM. MOSLAVAČKA GORA	19
5.3.1. Član Mosti	21
5.3.2. Lapor Križevci	22
5.4. GORNJI PANON – FM. IVANIĆ-GRAD	23
5.4.1. Lapor Lipovac	23
5.4.2. Član Zagreb i pješčenjaci Okoli	24
5.5. DONJI PONT – FM. KLOŠTAR-IVANIĆ	24
5.5.1. Lapor Lepšić	26
5.5.2. Pješčanjaci Poljana	26
5.5.3. Lapor Graberje	26
5.5.4. Pješčenjaci Pepelana	27
5.5.5. Lapor Cabuna	27
5.5.6. Lapor Kloštar-Ivanić	27
5.6. GORNJI PONT – FM. BILOGORA	27
5.7. DACIJ, ROMANIJ, KVARTAR – FM. LONJA	29
5.8. KARAKTERISTIČNI STRATIGRAFSKI PROFILI	30
6. STRUKTURNI I TEKTONSKI ODNOSI	36
6.1. TEKTONSKO-STRATIGRAFSKA POVJEST	36
6.2. GLAVNE VRSTE OPAŽENIH STRUKTURA	39
6.3. STRUKTURNE KARTE BJELOVARSKE ULEKNINE	41
6.3.1. Karta paleoreljefa po granicama "Tg" i "Pt"	41
6.3.2. Strukturalna karta po plohi EK-markera Rs7	42
6.3.3. Strukturalna karta po plohi EK-markera Rs5	43
6.3.4. Strukturalna karta po plohi EK-markera Z'	44
6.3.5. Strukturalna karta po plohi EK-markera Δ	44
6.3.6. Strukturalna karta po plohi EK-markera D'	45
6.4. PALEOSTRUKTURNE KARTE	46
6.4.1. Karta debljina fm. Bilogora (intervala D'-Δ)	47
6.4.2. Karta debljina fm. Kloštar-Ivanić (intervala Δ-Z')	47
6.4.3. Karta debljina fm. Ivanić-Grad (intervala Z'-Rs5)	47
6.4.4. Karta debljina čl. Križevci, fm. Moslavačka gora (intervala Rs5-Rs7)	48
6.4.5. Karta debljina čl. Mosti, fm. Moslavačka gora (intervala Rs7-Pt/Tg)	48
6.5. INTERPRETACIJA AKTIVNOSTI VAŽNIJIH RASJEDA	49
6.6. PALEOTEKTONSKI PROFILI	51
7. GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE, ZRELOST I POLOŽAJ MATIČNIH STIJENA TE UGLJKOVODIKA	52
7.1. MEHANIZAM POSTANKA UGLJKOVODIKA	52

7.2. GEOKEMIJSKE VARIJABLE	52
7.2.1. Statistika varijabli	53
7.2.2. Određivanje međusobne zavisnosti varijabli	55
7.2.3. Analiza vitrinitne refleksije (Ro)	57
7.3. INDEKS TERMIJSKE ZRELOSTI, GEOKEMIJSKI GRADIJENT I OPTIČKA ZRELOST	59
7.3.1. Određivanje termijske zrelosti	61
7.3.1.1. Metoda EASY%Ro	61
7.3.1.2. Dijagram taložne povijesti i dobivanje vrijednosti TTI	62
7.3.2. Konstrukcija linija dubine i račun indeksa termijske zrelosti	62
7.3.3. Geokemijski potencijal uleknine	65
8. STATISTIČKA I SEMIVARIOGRAMSKA ANALIZA ŠUPLJKAVOSTI	68
8.1. ODABIR I PRILAGODBA ULAZNIH PODATAKA	68
8.1.1. Smještanje podataka u intervale	68
8.1.2. Programska obrada	69
8.2. KORIGIRANA SREDNJA VRIJEDNOST	69
8.3. OSNOVE SEMIVARIOGRAMSKA ANALIZE	70
8.3.1. Matematičke osnove semivariograma	71
8.3.1.1. Parametri	71
8.3.1.2. Još neka svojstva semivariograma	72
8.3.1.3. Teoretski semivariogramske modeli	72
8.3.2. Interpretacijske krivulje	73
8.3.3. Provjera ulaznih podataka i testiranje metode	75
8.4. ANALIZA ŠUPLJKAVOSTI PO LITOSTRATIGRAFSKIM JEDINICAMA	77
8.4.1. Temeljno gorje i podloga tercijara	77
8.4.2. Fm. Moslavačka gora / član Mosti	80
8.4.3. Fm. Moslavačka gora / član Križevci	82
8.4.4. Fm. Ivanić-Grad	82
8.4.5. Fm. Kloštar-Ivanić / pješč. Poljana	83
8.4.6. Fm. Kloštar-Ivanić / pješč. Pepelana	86
8.5. PREGLED REZULTATA	89
9. NAFTNOGEOLOŠKI MODEL BJELOVARSKE ULEKNINE	93
9.1. PROCJENA POGREŠKE I INTERPOLACIJE VRIJEDNOSTI	95
9.1.1. Metoda ujednačenih polja	96
9.1.2. Metoda poligona	97
9.2. PROCJENA VJEROJATNOSTI NA TEMELJU GEOLOŠKIH PARAMETARA	98
9.3. POTENCIJALNA LEŽIŠTA U STIJENAMA PODINE NEOGENA I ČLANA MOSTI TE POLOŽAJ MATIČNIH STIJENA	99
9.3.1. Mjesta s potencijalnim matičnim stijenama	99
9.3.2. Zamke uz granicu Tg/Pt	101
9.3.3. Procjena vjerojatnosti postojanja ležišta	103
9.4. POTENCIJALNA LEŽIŠTA FORMACIJE KLOŠTAR-IVANIĆ	106
9.4.1. Jedinica Poljana	106
9.4.2. Jedinica Pepelana	108
10. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI	113
11. LITERATURA	117
11.1. OBJAVLJENI RADOVI	117
11.2. IZ FONDA I ARHIVA STRUČNE DOKUMENTACIJE	119

## **POPIS SLIKA:**

- Slika 2.1:** Geografska karta istraživanog područja (bjelovarske uleknine)
- Slika 2.2:** Položaji polja i istraživačkih bušotina s kojih su dobiveni podaci
- Slika 4.1:** Pet izdvojenih zona u kojima su korišteni različiti zakoni brzina
- Slika 5.1:** Litostratigrafske jedinice dravske potonine (*ŠIMON, 1968*)
- Slika 5.2:** Shematska geološka karta stijena u podini tercijarnih naslaga
- Slika 5.3:** Karta debljina formacije Moslavačka gora (samo bušotinski podaci)
- Slika 5.4:** Karta debljina formacije Ivanić-Grad (samo bušotinski podaci)
- Slika 5.5:** Karta debljina formacije Kloštar-Ivanić (samo bušotinski podaci)
- Slika 5.6:** Karta debljina formacije Bilogora (samo bušotinski podaci)
- Slika 5.7:** Karta debljina formacije Lonja (samo bušotinski podaci)
- Slika 5.8:** Mjesta karakterističnih bušotina za koje su prikazani litostratigrafski stupovi
- Slika 5.9:** Litološka legenda i popis pronađenih fluida za litostratigrafske stupove odabranih bušotina
- Slika 5.10:** Litostratigrafski stupovi bušotina Fa-1, Ki-1, Mo-1 u zapadnom i sjevernom dijelu uleknine
- Slika 5.11:** Litostratigrafski stupovi bušotina Le-1, Pav-1, VC-1 u središnjem dijelu uleknine
- Slika 5.12:** Litostratigrafski stupovi bušotina Cre-1, Gak-1, Gr-1z, VT-1, Cg-1 u istočnom, jugoistočnom i južnom dijelu uleknine
- Slika 6.1:** Glavne geotektonске jedinice unutar Panonskoga bazenskog sustava (*ROYDEN & DOVENYI, 1988; VRBANAC, 1996*)
- Slika 6.2:** Zakriviljenost parakleze kao posljedica kompakcije sedimenata
- Slika 6.3:** Rotacija krovinskog krila u odnosu na podinsko
- Slika 6.4:** Skica postanka glavnoga i pozadinskoga (“*backthrust*”) reverznog rasjeda
- Slika 6.5:** Deformacije uzrokovane horizontalnim stresom I
- Slika 6.6:** Deformacije uzrokovane horizontalnim stresom II
- Slika 6.7:** Prostorni prikaz prostora zahvaćenog jakom horizontalnom tektonikom
- Slika 6.8:** Ukupan i načinjen broj paleostrukturalnih karata
- Slika 7.1:** Histogrami uzoraka člana Križevci (lijevo) i Mosti (desno) s krivuljama razdiobe
- Slika 7.2:** Van Krevelenov dijagram uzoraka kerogena na području bjelovarske uleknine
- Slika 7.3:** Higerarhijsko stablo 4 uspoređene varijable (svaka varijabla ima 2 vrijednosti)
- Slika 7.4:** Nomogram za određivanje vitrinitne refleksije (Ro) iz maksimalne temperature stijena poznate starosti (*SWEENEY & BURNHAM, 1990*)
- Slika 7.5:** Izmjerene i izračunate vrijednosti vitrinitne refleksije u sedimentima fm. Moslavačka gora
- Slika 7.6:** Raspodjela toplinskog toka u Hrvatskoj (*JELIĆ & PAVIČIĆ, 1999*)
- Slika 7.7:** Karta geotermijskog gradijenta člana Mosti bjelovarske uleknine
- Slika 7.8:** Određivanje vrijednosti Ro i TTI uz različite iznose termijskog zagrijavanja. “Nafni prozor” je osjenčan (*SWEENEY & BURNHAM, 1990*)
- Slika 7.9:** Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Rovišće-1
- Slika 7.10:** Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Velika Ciglena-1
- Slika 7.11:** Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Hampovica-7
- Slika 7.12:** Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Vis-1
- Slika 7.13:** Podjela polja prema vrsti otkrivenih ugljikovodika i migracijski putovi
- Slika 8.1:** Parametri semivariograma
- Slika 8.2:** Teoretski modeli-sferni (2A), eksponencijalni (2B), Gaussov (2C)
- Slika 8.3:** Interpretacija semivariogramske krivulje-1 (*HOHN, 1988*)
- Slika 8.4:** Interpretacija semivariogramske krivulje-2 (*KUPFERSBERGER & DEUTSCH, 1999*)
- Slika 8.5:** Prikaz ulaznih podataka iz jezgara ležišta E bušotine Ša-35
- Slika 8.6:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti lež. E u buš. Ša-35
- Slika 8.7:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-4 / temeljno gorje

- Slika 8.8:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Dež-1 / podloga tercijara
- Slika 8.9:** Dijagram konvencionalne elektrokarotaže stijena “temeljnog gorja” u bušotini Gr-1z
- Slika 8.10:** Dijagram karotaže SP-CN u stijenama “temeljnog gorja” u bušotini Pav-1
- Slika 8.11:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Dež-1 / član Mosti
- Slika 8.12:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-4 / člana Mosti
- Slika 8.13:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 / član Mosti
- Slika 8.14:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Rov-1 / član Križevci
- Slika 8.15:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-1 / pješčenjaci Poljana
- Slika 8.16:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-2 (1) / pješčenjaci Poljana
- Slika 8.17:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-2 (2) / pješčenjaci Poljana
- Slika 8.18:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Rov-1 / pješčenjaci Poljana
- Slika 8.19:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (1) / pješčenjaci Poljana
- Slika 8.20:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (2) / pješčenjaci Poljana
- Slika 8.21:** Dijagram konvencionalne elektrokarotaže poljanskih pješčenjaka u bušotini Cre-2
- Slika 8.22:** Dijagram konvencionalne elektrokarotaže poljanskih pješčenjaka u bušotini Gak-1
- Slika 8.23:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-1 / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.24:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Rov-1 / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.25:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Ša-5 (1) / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.26:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Ša-5 (2) / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.27:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Ša-35 / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.28:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (1) / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.29:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (2) / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.30:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (3) / pješčenjaci Pepelana
- Slika 8.31:** Dijagram konvencionalne elektrokarotaže pepelanskih pješčenjaka u bušotini Ša-167al
- Slika 8.32:** Ulazne (lijevo) i korigirane (desno) vrijednosti šupljikavosti
- Slika 8.33:** Ulazne (lijevo) i korigirane (desno) vrijednosti dosega
- Slika 8.34:** Shematski raspored izračunate korigirane šupljikavosti i dosega
- Slika 9.1:** Integrirani model pristupa naftnogeološkoj procjeni
- Slika 9.2:** Izdvajanje polja na temelju kojih se određuju težinski koeficijenti
- Slika 9.3:** Polje utjecaja u metodi poligona

## POPIS FORMULA:

- Formula 7.1:** Udaljenost *cluster* analize
- Formula 8.1:** Korigirana šupljikavost
- Formula 8.2:** Faktor korekcije (šupljikavosti)
- Formula 8.3:** Variogram
- Formula 8.4:** Sferni model
- Formula 8.5:** Eksponencijalni model
- Formula 8.6:** Gaussov model
- Formula 8.7:** Ugnježdeni model
- Formula 8.8:** Korigirani doseg
- Formula 8.9:** Faktor korekcije (dosega)
- Formula 9.1:** Procijenjena vrijednost
- Formula 9.2:** Pogrješka u iznosu procjenjene vrijednosti na lokaciji “j”
- Formula 9.3:** Srednja pogrješka
- Formula 9.4:** Ukupna srednja vrijednost cijelog promatranog područja
- Formula 9.5:** Vjerovatnosc pojedine zone
- Formula 9.6:** Zbirna vjerovatnost jedinice
- Formula 9.7:** Volumen valjka
- Formula 9.8:** Volumen prema Simposonovoj formuli za paran broj članova
- Formula 9.9:** Piramidalna formula

## **Formula 9.10:** Sferna formula

### **POPIS TABLICA:**

**Tablica 6.1:** Skok i EK-markeri koje su presjekli važniji rasjedi strukturnog sklopa (d.=diskordancija, -=rasjed nije presjekao taj EK-marker)

**Tablica 6.2:** Rasjedi i njihovi skokovi u pojedinim litostratigrafskim intervalima

**Tablica 7.1:** Statistika  $C_{org}$ ,  $S_2$ , HI, OI za član Mosti

**Tablica 7.2:** Statistika  $C_{org}$ ,  $S_2$ , HI, OI za član Križevci

**Tablica 7.3:** Statistika Ro za članove Mosti i Križevci

**Tablica 7.4:** Korelacija  $C_{org}$ - $S_2$  (unutar članova)

**Tablica 7.5:** Korelacija  $C_{org}$ - $S_2$  (između članova)

**Tablica 7.6:** Usporedba vrijednosti TTI,  $R_o$  i vrste nastalih ugljikovodika (WAPLES, 1988)

**Tablica 8.1:** Vrijednost šupljikavosti i dosega u bušotini Pav-4 / temeljno gorje

**Tablica 8.2:** Vrijednost šupljikavosti i dosega u bušotini Dež-1 / podloga tercijara

**Tablica 8.3:** Vrijednost šupljikavosti i dosega u bušotinama Dež-1, Pav-4, VC-1 / član Mosti

**Tablica 8.4:** Vrijednosti šupljikavosti i dosega u bušotini Rov-1 / član Križevci

**Tablica 8.5:** Vrijednosti šupljikavosti i dosega u buš. Pav-1, Pav-2, Rov-1, VC-1 / pj. Poljana

**Tablica 8.6:** Vrijednost šupljikavosti i dosega u buš. Pav-1, Rov-1, Ša-5, Ša-35, VC-1/pj. Pepelana

**Tablica 9.1:** Proračun korekcije kod računa volumena obzirom na kut nagiba slojeva

**Tablica 9.2:** Vjerojatnost kategorija i parametara jedinice Mosti

**Tablica 9.3:** Vjerojatnost kategorija i parametara jedinice Poljana

**Tablica 9.4:** Vjerojatnost kategorija i parametara jedinice Pepelana

### **POPIS PRILOGA:**

**Prilog 1:** Karta paleoreljefa po granicama "Tg" i "Pt"

**Prilog 2:** Strukturalna karta po plohi EK-markera Rs7

**Prilog 3:** Strukturalna karta po plohi EK-markera Rs5

**Prilog 4:** Strukturalna karta po plohi EK-markera Z'

**Prilog 5:** Strukturalna karta po plohi EK-markera Δ

**Prilog 6:** Strukturalna karta po plohi EK-markera D'

**Prilog 7:** Karta debljina formacije Bilogora (intervala D'-Δ)

**Prilog 8:** Karta debljina formacije Kloštar-Ivanić (intervala Δ-Z')

**Prilog 9:** Karta debljina formacije Ivanić-Grad (intervala Z'-Rs5)

**Prilog 10:** Karta debljina čl. Križevci, fm. Moslavacka gora (intervala Rs5-Rs7)

**Prilog 11:** Karta debljina čl. Mosti, fm. Moslavacka gora (intervala Rs7-Pt/Tg)

**Prilog 12:** Paleotektonski profili BJE-19A-92

**Prilog 13:** Programska kod za semivariogramsku analizu napisan u programskom jeziku Microsoft Visual Basic™

## 1. UVOD

Nakon gotovo 150 godina suvremenog iskorištanja naftne u svijetu, a više od 100 godina bavljenja njome u Hrvatskoj nakupljeno je mnogo znanja o stvaranju i ponašanju naftnogeoloških sustava. Posljedica je da danas raspoložemo goleim znanjem proisteklim iz ranijih istraživanja i proizvodnje, pa bi samim time daljnji razvoj i novi iskoraci trebali biti puno lakši nego li u prošlosti. No, zapravo je situacija potpuno obrnuta, jer preostala, skrovita ležišta ugljikovodika teže je naći, a uspjeh dolazi kao posljedica analize puno većeg broja podataka i uloženog vremena nego li prijašnjih desetljeća.

To je izravna posljedica razvoja istraživačkih metoda i uređaja. Treba li napomenuti koliko se danas, u jednakom vremenu, dobije više seizmičkih podataka (snimi više kilometara) ili načini više laboratorijskih analiza s točnijim rezultatima. No, takve mogućnosti otvaraju i brojna nova pitanja! Na primjer ako je analizirano neko područje sa svega nekoliko bušotina i kilometara seizmičkih profila prosječne kvalitete rezultat je mogao sadržavati tek nekoliko, najčešće sličnih, geoloških modela na temelju koji je odlučeno o proizvodnji ili napuštanju na tome mjestu. No, kada su nam na raspolaganju desetine (pa i stotine) bušotina, brojni kvalitetni seizmički profili i laboratorijske analize, brojni rasjedi, barijere, iskljinjavanja, leće i promjene svojstava rezervoara koje su dotada bile nevidljive, pa za nas nisu niti postojale, sada su tu! Rezultat je puno detaljniji model, no uz koji je sada vezano mnogo više pretpostavki, odnosno nesigurnosti i rizika koje treba procijeniti.

Danas prostor dravske potonine (površine oko 9000 km<sup>2</sup> u Hrvatskoj), u naftnogeološkom pogledu, spada u vrlo detaljno istražena područja, odnosno u "zrelo" područje kakav je i cijeli Panonski bazenski sustav. Do sada je većina istraživanja bila usmjerena na pješčenjačke naslage neogena koje su prema fizičkim značajkama kolektorske stijene, a danas su smještene unutar povoljnih struktura, najčešće antiklinala.

Bjelovarska uleknina predstavlja jugozapadni ogrank dravske potonine, površine oko 2900 km<sup>2</sup>, koji također graniči sa savskom potoninom. Već je ranije taj prostor označen kao uglavnom neperspektivan za otkrića značajnijih količina ugljikovodika. Dva su razloga tomu. Prvi je relativno izdvojen smještaj bjelovarske uleknine u odnosu na središnju potoninsku zonu. Drugi je tada prepostavljena debljina neogensko-kvartarnih naslaga do 2500 m (u ovome radu ta je granica spuštena ispod 3000 m), za razliku od središnje potoninske zone gdje i njihova dvostruka debljina nije rijetkost. Promatranje bjelovarske uleknine kao uglavnom neperspektivnog prostora obzirom na otkrića ekonomskih zaliha ugljikovodika rezultiralo je izradom puno manjega broja bušotina, pa je i gustoća podataka po jedinici površine u bjelovarskoj uleknini puno manja nego li u preostalom dijelu dravske potonine.

Najveću analitičku vrijednost imaju podaci s otkrivenih naftnih i plinskih polja u samoj uleknini, kako svojom kvalitetom tako i brojnošću. No, većina tih otkrića su novijeg datuma. Godine 1990. otkriveno je plinsko polje Grubišno polje, a 1992. naftno polje Galovac-Pavljani. Kako je ranije otkriveno tek polje Lepavina (1963.) ovim je otkrićima zaista i potvrđena naftoplilonosnost bjelovarske uleknine te otvorena mogućnost otkrića dalnjih gospodarski isplativih ležišta ugljikovodika. Bilo je tu još otkrića, redom većih polja, ali sva su ona vezana uz rubnu (obilogorskiju) zonu na granici s ostatom dravske potonine pa im je vrijednost za interpretaciju najvećeg dijela uleknine ograničena.

U usporedbi s nekim hrvatskim najvećim poljima otkrića spomenutih triju polja su zanemariva, no njih treba promatrati u kontekstu činjenice da zadnjih dvadesetak godina, od otkrića plinsko-kondenzatnoga polja Molve, u dravskoj potonini nije bilo novih vrijednijih nalaza ugljikovodika, do spomenutih. Zato se danas smatra potrebnim obnavljanje i širenje istraživanja na prostoru bjelovarske uleknine.

## 1. Uvod

Ovaj rad je upravo zamišljen kao doprinos takvim istraživanjima. Primijenjene metode predstavljaju dijelom nove istraživačke korake, dijelom nadogradnju već poznatih postupaka, a rezultati doprinose što boljem naftnogeološkom upoznavanju toga prostora - sve s ciljem pronalaska novih isplativih zaliha nafte i plina.

S obzirom na dosadašnje naftnogeološke spoznaje u cijeloj potonini pretpostavljeno je kako su za akumulaciju ugljikovodika najznačajnije najstarije istaložene neogenske naslage te vršni dio paleozojskih i mezozojskih stijena u njihovoј podlozi s razvijenom sekundarnom poroznošću i pratećom propusnošću. Zato su istraživanja postavljena tako da jedan od primarnih ciljeva bude upoznavanje i opis tih stijena.

Najvažniji ulazni podaci dobiveni su s polja smještenim u uleknini (Letičani, Galovac-Pavljani, Grubišno polje, Velika Ciglena) ili na njezinim rubovima (Lepavina, Jagnjedovac, Mosti, Hampovica, Čepelovac, Šandrovac i Gakovo) te iz regionalnih istraživačkih bušotina.

Relativno oskudan broj i nepravilan raspored bušotina nadoknađen je seizmičkim podacima iz gусте i dobro postavljene mreže seizmičkih profila. Očekivano, kvalitetom su odsakalji profili snimljeni u zadnja dva desetljeća, a njihov cijeli skup predstavljao je dovoljnu osnovu za kvalitetnu interpretaciju strukturnih odnosa. Ona je bila popraćena interpretacijom, a dijelom i reinterpretacijom, stratigrafije, taložnih okoliša i geokemijskih procesa. Prikupljeni su prijašnji radovi koji su dijelom ili u cijelosti ispitivali prostor bjelovarske uleknine te su preuzeta ili dijelom prihvaćena neka od objavljenih rješenja.

Dobiveni i objavljeni rezultati u disertaciji čine jednu cjelinu koja se može promatrati kao svojevrsna "baza podataka" toga prostora. Metode kojima su opisana ležišta svojstva unutar uleknine prvenstveno se temelje na geostatističkom pristupu. Kod procjene novih otkrića rizik je određen vjerojatnosnim modelom. Najveći broj analiziranih podataka i rezultata zabilježen je digitalno i u budućnosti bi mogli poslužiti za stvaranje GIS prikaza prostora uleknine.

## 2. Geografska obilježja

# 2. GEOGRAFSKA OBILJEŽJA

Pod geografskim obilježjima promatrani su i opisani zemljopisni položaj, izgled i osobine terena (*fizička geografija*) koji su prikazani po zasebnim cjelinama *hidrogeografijom, klimatologijom i geomorfologijom*. Njima su pridodani opisi *stanovništva, prometa, naselja i gospodarstva* kao geografskih cjelina koje su posljedica ljudske djelatnosti.

## 2.1. ZEMLJOPISNI SMJEŠTAJ I ADMINISTRATIVNO USTROJSTVO

Bjelovarska uleknina prostire se na najistočnijem dijelu Središnje Hrvatske (ŽULJIĆ, 1974). Granice bjelovarske uleknine određene su na temelju geoloških odnosa s kojima se dobro podudara površinska morfologija. Zemljopisno su granice uleknine određene sljedećim gorama: Kalnikom (643 m) na sjeverozapadu, Bilogorom (288 m) na sjeveroistoku, Papukom (953 m), Ravnom gorom (854 m) i Psunjem (984 m) na istoku i jugoistoku te Moslavačkom gorom (489 m) na jugu. Granicu bjelovarske uleknine na jugozapadu, između Kalnika i Moslavačke gore, predstavlja dio Lonjskog polja stvoren prije utjecanja rijeke Zeline u rijeku Lonju. Na jugu, između Moslavačke gore i Psunja smjestila se dolina koju su urezale rijeke Ilova i Pakra probijajući se prema jugu.

Prema administrativnom ustroju Republike Hrvatske bjelovarska uleknina prekriva područja triju županija, tj. cijelu površinu Bjelovarsko-bilogorske županije, a malim dijelovima južni dio Koprivničko-križevačke županije te istok Zagrebačke županije.

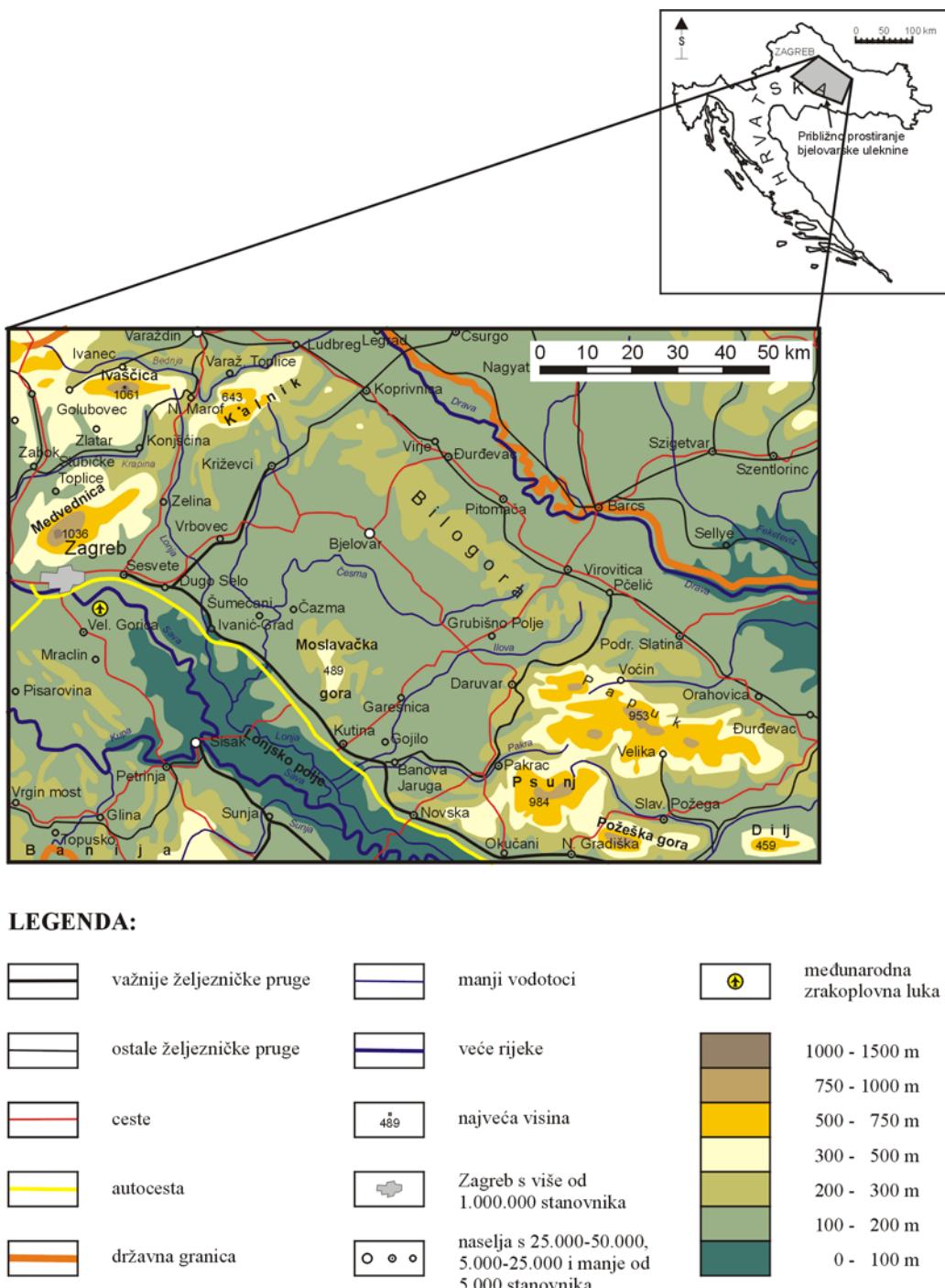
## 2.2. VAŽNIJA NASELJA I PROMETNICE

Zemljopisni položaj, veća naselja i značajnije prometnice prikazane su na **slici 2.1**. Bjelovarsko-bilogorska županija površine je  $2636,67 \text{ km}^2$ , a broji 144042 stanovnika (1991.). Ona obuhvaća 5 gradova (Bjelovar, Čazma, Daruvar, Garešnica, Grubišno Polje) i 18 općina (Berek, Dežanovac, Đulovac, Hercegovac, Ivanska, Kapela, Končanica, Nova Rača, Rovišće, Severin, Sirač, Šandrovac, Štefanje, Velika Pisanica, Velika Trnovitica, Veliki Grđevac, Veliko Trojstvo i Zrinski Topolovac).

Kao glavno gradsko središte izdvojen je grad Bjelovar, administrativni centar Bjelovarsko-bilogorske županije. Ipak, on nije jako regionalno središte, jer su njegovu ulogu dijelom preuzeala druga županijska mikroregionalna središta poput Daruvara i Pakraca na zapadnim obroncima Papuka i Psunja ili nešto manja, područna središta poput Čazme na sjeverozapadu i Garešnice na jugoistoku Moslavačke gore te Grubišnoga Polja sjeverozapadno od Daruvara. U Zagrebačkoj županiji status grada ima Vrbovec, a u Koprivničko-križevačkoj, na samome rubu uleknine, smjestio se grad Križevci.

Željeznica je do polovice prošloga stoljeća bila najvažniji način prijevoza. U nekoliko zadnjih desetljeća primat je preuzeo prijevoz putnika i robe osobnim i gospodarskim vozilima. Nove se pruge nisu gradile, nego je, suprotno tomu, cjelokupni sustav lokalnih pruga zatvoren, tako da je danas preostala tek pruga Bjelovar-Križevci koja se nastavlja prema Zagrebu. Najvažniji cestovni pravci u regiji su Koprivnica-Zagreb i posebno Đurđevac-Bjelovar-Zagreb. Istočnim dijelom bjelovarske uleknine prolazi dio magistralne ceste koja povezuje sjevernu granicu Hrvatske na Dravi (Terezino polje) s južnom granicom na Savi (Stara Gradiška). Uz ta dva glavna prometna pravca postoji razgranata mreža cesti nižeg reda koje dobro povezuju sva veća mjesta cijele regije.

## 2. Geografska obilježja



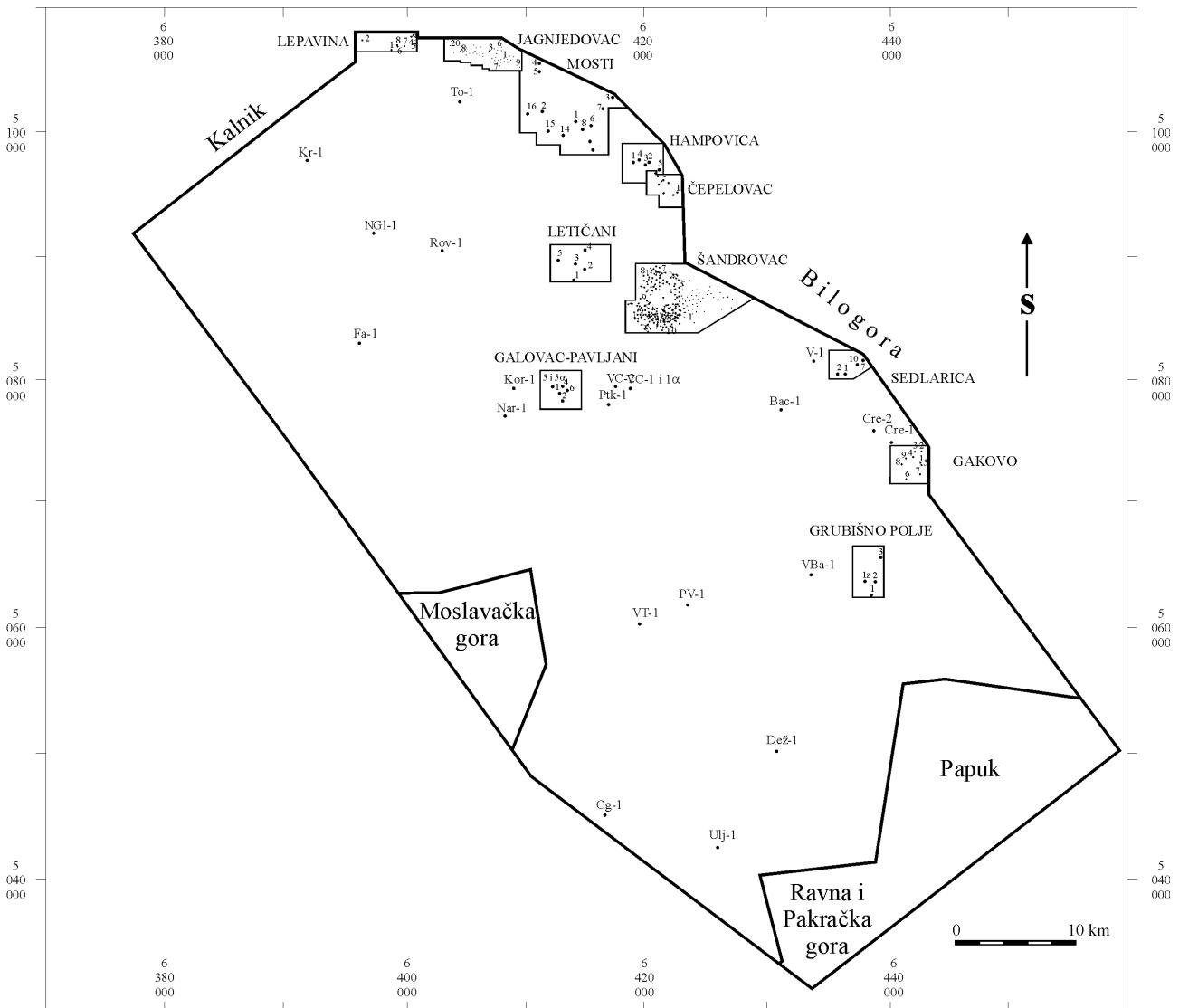
Slika 2.1: Geografska karta istraživanog područja (bjelovarske uleknine)

### 2.3. MJESTA NA KOJIMA POSTOJE BUŠOTINSKI PODACI

Takva mjesta podijeljena su prema tomu radi li se o cijelom polju ili mjestu s jednom, eventualno dvije, istraživačke bušotine. Polja s kojih su upotrijebljeni bušotinski podaci su sljedeća: Bačkovica, Čepelovac, Gakovo, Galovac-Pavljani, Grubišno polje, Hampovica, Jagnjedovac, Lepavina, Letičani, Mosti, Šandrovac, Velika Ciglena. Mjesta s regionalnim istraživačkim bušotinama su: Ciglenica, Cremušina, Dežanovec, Farkaševac, Korenovo, Križevci, Narta, Novi Glog, Rovišće, Pavlovac, Sedlarica, Topolovac, Uljanik, Velika Trnovitica i Vis.

Položaji spomenutih polja i mjesta prikazani su na **slici 2.2**.

## 2. Geografska obilježja



Slika 2.2: Položaji polja i istraživačkih bušotina s kojih su dobiveni podaci

## 2.4. HIDROGRAFSKA MREŽA

Mreža tekućica na području bjelovarske uleknine vrlo je razgranata, a uz njih su brojni ribnjaci posebno uz rijeku Česmu oko 10-20 km sjeverno i sjeveroistočno od Čazme. Najveće tokove predstavljaju Česma te Ilova. One izviru na istočnim obroncima Bilogore, te zatim teku pretežno prema jugozapadu, s time da Česma nedugo nakon što obide Grubišno polje sa zapada naglo skreće pod kutom od gotovo  $90^{\circ}$  prema sjeverozapadu tekući tim smjerom do sela Narta. Tamo ponovno počinje skretati i usmjeravati svoj tok prema jugozapadu. Zbog skretanja, rijeka Česma protječe sjevernim i sjeverozapadnim dijelom, a rijeka Ilova istočnim i jugoistočnim dijelom bjelovarske uleknine, omeđujući donjim dijelovima svojih tokova Moslavačku goru s dvije strane. Malo veću rijeku predstavlja još Pakra koja izvire na južnim padinama Papuka, a zatim probija svoj tok uskom dolinom koja dijeli Papuk i Psunj. Nakon izlaska iz te doline naglo skreće i nastavlja teći uz rub Psunja, prvo približno u smjeru zapada, a zatim jugozapada. Zajedno s rijekom Ilom urezala je dolinu između Moslavačke gore i Papuka. Ilova i Pakra utječe u Trebež, dok zapadnije Česma utječe u Lonju. Cijeli slijev pripada nizinskom području Lonjskog polja, smještenom na lijevoj strani rijeke Save.

Područje bjelovarske uleknine pripada savskom pojusu otjecanja. Čitav kraj obiluje vodom za što prvenstveno treba zahvaliti sastavu i hidrogeološkim osobinama zemljista. Prema MILETIĆU

## 2. Geografska obilježja

(1968) obzirom na hidrogeološke osobine treba razlikovati *hidrogeološku jedinicu temeljnog gorja te taložine tercijara i kvartara*. Slično RIĐANOVIĆ (1974) izdvaja kao hidrogeološke jedinice *stijene u podlozi tercijarnog sistema i tercijarno-kvartarne naslage*.

**Stijene u podlozi tercijarnog sistema** izgrađuju osnovu Papuka, Psunja i Moslavačke gore, odlikuju se sekundarnom poroznošću, a izvori su malih kapaciteta (vrlo rijetko kapaciteta većeg od 1 l/s, tek izuzetno više od 10 ili čak 20 l/s), silaznog tipa i razbijenog izvorišta (MILETIĆ, 1968). Izdašniji izvori najvećim se dijelom nalaze u karbonatnim stijenama (MILETIĆ, 1968), no ukupno gledajući kapaciteti i brojnost izvora su premali za stvaranje većih akumulacija vode.

**Tercijarne i kvartarne naslage** izgrađuju *rebrasto-brežuljkasta porječja* savskih pritoka, *potočne doline* na padinama gorja i na *kvartarne vodonosne slojeve* savske i dravske nizine (RIĐANOVIĆ, 1974). Općenito kenozojske taložine su najvrijedniji nositelji podzemne vode na području Sjeverne Hrvatske (MILETIĆ, 1968). *Rebrasto-bežuljkasti* predjeli često sadrže vodonosnike primarne poroznosti, koji su uglavnom istaloženi u tercijaru, a rjeđe u kvartaru. Takve predjеле čine *porječja Česme i Ilove, te manje tekućice* na prigorjima Kalnika, Bilogore i padinama Moslavačke gore. Dubina na kojoj se nalazi podzemna voda naglo se mijenja. Izvori su silaznog tipa, a zbog česte izmjene stijena različite su propusnosti i kapaciteta pa je prosječna izdašnost izvora mala (do 1 l/s). Ipak izvora je mnogo te stalno opskrbljuju brojne tekućice. Najdublji bunari dosegli su dubinu od 180 m, a najveći kapacitet bunara je 10 l/s. U nizinskim i ravničarskim predjelima uz veće rijeke (Česma, Ilova, Pakra) vodonosnici su *kvartarne starosti* i taloženi su kao dio tipičnog kvartarnog sedimentnog slijeda u kojem se okomito i bočno izmjenju pijesci sa šljunkom, glinama i mnogobrojnim proslojcima treseta, dok je čisti šljunak rijedak (MILETIĆ & URUMOVIĆ, 1975). Od zapadu prema istoku broj vodonosnih slojeva i tlak u njima općenito se povećavaju, a kapacitet izvora i vodopropusnost naslaga padaju (MILETIĆ, 1968).

## **2.5. KLIMATSKA OBILJEŽJA**

Bjelovarska uleknina, odnosno cijela Središnja Hrvatska, rubni je dio Panonske nizine. U klimatskom pogledu to je prijelazno područje gdje klimu određuju zračna strujanja iz Panonske nizine i s planinsko-gorskog sustava Alpi i Dinarida. Ti planinsko-gorski sustavi donekle slabe utjecaj Atlantskog oceana, a osobito Sredozemnog mora (ŠEGOTA, 1974).

Područje uleknine je tijekom cijele zime ispunjeno hladnim zrakom, a kontinetalno obilježje očituje se u relativno malom horizontalnom gradijentu temperature kako zimi tako i ljeti. Razlike srednje siječanske temperature raznih dijelova tog područja vrlo su male. Siječanska temperatura iznosi oko -1°C, a tek na rubovima slavonskih gora Papuka i Psunja oko -2°C. Također može biti nešto niža još i oko riječnih dolina zbog jačeg hlađenja tih područja, što uostalom vrijedi za sve konkavne reljefne oblike. Srednja srpanjska temperatura također vrlo malo varira oko 21°C, a najtoplji su niži reljefni oblici poput doline Ilove, Pakre ili Česme. Srednja godišnja amplituda temperature opada s porastom nadmorske visine. Svi navedeni podaci odgovaraju kontinentalnom tipu klime.

Veća količina padalina vezana je uz gorske, a manja uz nizinske predjele. Područja Kalnika, Bilogore, Moslavačke gore i rub slavonskih gora ističu se kao predjeli s nešto više padalina (>900 mm/god.) od središnjih dijelova uleknine (<900 mm/god.).

### **3. POVIJEST NAFTNOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA**

Većina istraživanja koja su obuhvatila prostor bjelovarske uleknine imala su kao prvenstveni cilj određivanje geoloških i naftnogeoloških odnosa u okolnim dijelovima savske i dravske potonine. Tek zadnjih dvadesetak godina, kao posljedica otkrića novih ležišta i usmjeravanja istraživanja prema manjim zalihamama, porastao je broj radova u prostoru bjelovarske uleknine. Njihov prikaz, podijeljen na tri razdoblja, dan je u ovome poglavlju.

#### **3.1. RAZDOBLJE 1852.-1945.**

Davne 1852. godine VUKOTINOVIĆ daje prvu geološku skicu Moslavačke gore s izdvajenim granitima i gnajsevima okruženim tercijarnim naslagama. HAUER je između 1867. i 1871. prikupio podatke i objavio prvu preglednu geološku kartu područja Bilogore na kojoj su izdvojeni kongerijski slojevi, belvederski i kvartarni šljunci te les. KOCH (1889) objavljuje preglednu geološku kartu Moslavačke gore. Početkom 20. stoljeća TUČAN (1904) piše o pegmatitima kristalina Moslavačke gore, a KOCH (1906) opisuje kristalaste škriljavce okolo granitne jezgre te izdvaja les i aluvij.

Radovi u cilju otkrivanja ležišta ugljikovodika načinjeni su na području Sedlarice i Marinovaca od 1922. do 1923. godine. Dubokim buštinama izbušeno je ukupno 2570 m, no bez otkrića ugljikovodika.

Prvo veće istraživanje pred II. svjetski rat provela je austrijska tvrtka Petrolej koje su u ratu nastavili njemački poduzetnici. Oni su u razdoblju 1940-42. istražili južni, jugoistočni i sjeverni dio Kalnika te izdvojili strukture Ludbreg i Subotica (na samoj tromeđi dravske i murske potonine i bjelovarske uleknine) te antiklinalu Lepavina. Snimljena je gravimetrijska karta velikog dijela dravske potonine i načinjene su dvije istraživačke bušotine kod Ludbrega te po jedna kod Sedlarice i Grubišnog polja. Sve su bušotine bile negativne (OŽEGOVIĆ, 1944). Uz njih je u Ludbregu načinjeno 15 tzv. "kounterfleš" bušotina dubine 70-330 m, no uz mjestimične pojave i kratkotrajne erupcije nafte izostali su nalazi ležišta. Slični rezultati dobiveni su 1942. godine bušenjem kod Ribnjaka i Velikog Poganeca, gdje su rezultat izvedbe 21 "kounterfleš" bušotine dubine 200-300 m predstavljali tragovi nafte, a u bušotini Ri-3 dobiveno je 30 l nafte eruptivno (OŽEGOVIĆ, 1947).

Od svih tih lokaliteta kasnije će se najperspektivnijim pokazati Grubišno polje. No tada tamo nisu otkriveni ugljikovodici. Završetkom bušenja na Bujavici i Kozarici u savskoj potonini istraživanja su se preselila na drugu stranu ilovske subdepresije, u područje bjelovarske uleknine. Bušotina Gr-1 smještena je na mjestu ranije utvrđenog gravimetrijskog maksimuma i započeta u siječnju 1941. Bušenje je završeno u stijenama temeljnog gorja (TARI-KOVAČIĆ, 1996).

#### **3.2. RAZDOBLJE 1946.-1979.**

Izrađen je veći broj plitkih istraživačkih bušotina kod Lepavine, Sokolovca, Mosti i Sedlarice (RUBINIĆ, 1954). Godine 1949. dubokom buštinom Lepavina-1 (937,4 m) otkriveno je ležište nafte u badenskim pješčenjacima i paleozojskom serpentinitu. Bila je aktivna sve do 1987., a zadnja je 1988. godine izbušena Lepavina-28 na zapadnom dijelu tjemena antiklinale.

Od 1956. godine započelo se s izradom većeg broja regionalnih dubokih istraživačkih bušotina kako bi se dobio uvid u potencijalnu naftoplilonosnost cijele dravske potonine, uključujući do tada gotovo neistražene (neperspektivne?) dijelove poput prigorja Kalnika i Moslavačke gore. Rezultati su bili više nego dobri jer je u središnjoj potoninskoj te bilogorskoj zoni otkriveno nekoliko naftnih i plinskih polja: Cabuna (Levinovac), Ferdinandovac, Jagnjedovac i Šandrovac. Zadnja dva smještena su na granici bjelovarske uleknine prema središnjoj potoninskoj zoni.

### 3. Povijest naftnogeoloških istraživanja

Ta otkrića potakla su ponovno intenzivnija bušenja u središnjem i južnom dijelu bjelovarske uleknine. Na žalost otkrića ugljikovodika nije bilo, ali vrijedno je spomenuti mjesta gdje je bušeno.

Godine 1956. na prijelazu prema savskoj uleknini načinjena je bušotina Uljanik-1 kako bi se ispitao prostor ilovske zavale. Iako su dijelovi savske potonine koji graniče s tom zavalom naftoplilonosni (polja Gojlo, Bujavica, Janja Lipa) spomenuta bušotina bila je negativna (*FILJAK, 1956*). Dvije godine kasnije (1958.) načinjena je istraživačka bušotina Korenovo-1 smještena na sjevernomoslavačkoj antiklinali. No niti u jednom propusnom horizontu nisu bile utvrđene pojave ugljikovodika.

Šezdesetih godina prošloga stoljeća visok stupanj istraženosti južnog ruba Moslavačke gore te značajna proizvodnja nafte i plina s brojnih polja (Kloštar, Šumečani, Bunjani, Mramor Brdo, Gojlo - sva u savskoj potonini) bili su u suprotnosti s vrlo oskudnim naftnogeološkim poznavanjem sjevernog i sjeveroistočnog ruba Moslavačke gore (bjelovarska uleknina), gdje je nedovoljan broj podataka bio prepreka određivanju potencijalne naftoplilonosnosti. Uz to otkrića brojnih ekonomski isplativih zaliha u središnjem dijelu savske potonine, počeviš od otkrića polja Gojlo do pronalaska polja Kloštar zadovoljila su trenutne potrebe za ugljikovodicima. Također, u to se vrijeme raspolagalo tek oskudnim tehničkim sredstvima i iskustvom. Polovicom šezdesetih godina odlučeno je načiniti dvije nove istraživačke bušotine na jugoistočnom dijelu uleknine i to Ciglenicu-1 i Pavlovac-1. Usپoredbom tih podataka s podacima iz bušotine Korenovo-1 načinjena je regionalna interpretacija sjeveroistočnog ruba Moslavačke gore, ali ugljikovodici nisu otkriveni. Na krajnjem zapadnom rubu uleknine, istočno od Križevaca, izrađena je 1962. godine bušotina Križevci-1 (*VUGRINEC, 1962*) kojom je testirana pozitivna gravimetrijska anomalija, no bez ugljikovodika. Negativan rezultat dobiven je i buštinom Farkaševac-1 smještenom u zapadnom dijelu uleknine (*HAJNŠEK, 1964*).

Otpriklike u to vrijeme nastavljeni su radovi kod Grubišnog polja. Tjeme strukture određeno je oko 1 km sjeveroistočno od bušotine Gr-1 te je tamo izbušena Gr-2 (1961. godine), ali ugljikovodici nisu pronađeni kao niti s buštinom Gr-3.

Početak šezdesetih godina ipak nije protekao bez otkrića novih ekonomskih zaliha nafte i plina, no sva su vezana uz rubnu bilogorsku zonu. Najveće otkriće ostvareno je 1961. godine kada je prvoj buštinom Jagnjedovac-1 otkriveno bogato ležište nafte (*VUGRINEC, 1961*). Samo polje smješteno je na južnim obroncima Bilogore između dviju drugih naftnogeološki poznatih struktura – Lepavine i Mosti. Na obje su kasnije otkrivene isplitative zalihe i privredne proizvodnji, ali nijedne tako značajne kao na Jagnjedovcu. Dvije godine kasnije južno od antiklinale Jagnjedovac bušeno je na strukturnom nosu Topolovac (*VUGRINEC, 1963b*), ali bez otkrića ugljikovodika. S više uspjeha bušeno je na bliskoj strukturi Hampovica (*HAJNŠEK, 1963*). Iako je prva bušotina bila negativna kasnije je tu dokazano jedno manje naftno-plinsko polje. Iste godine, jugoistočno od strukture Sedlarica, otkriveno je drugo malo plinsko polje – Gakovo. Te iste godine ostvareno je najveće otkriće nafte u bjelovarskoj uleknini, a i cijeloj dravskoj potonini. Pronađeno je naftno-plinsko polje Šandrovac na istoimenoj brahiantiklinali. Razradom je utvrđeno čak 18 ležišta u neogenskim pješčenjacima od kojih su najvećeg prostiranja i rezervi ležišta E, E', F i G (*PETOŠIĆ & JUNGWIRTH, 1987*).

Većina otkrića tih seždesetih godina obuhvatila je bilogorske strukture. Promatrano približno od sjeverozapada prema jugoistoku to su Lepavina, Jagnjedovac, Mosti, Šandrovac, Sedlarica, Gakovo i Pepelana. No u drugim dijelovima bjelovarske uleknine nastavljena su uglavnom samo površinska geološka kartiranja, najviše u području Moslavačke gore. Tih godina dravska je potonina podijeljena na više naftnogeoloških zona na temelju strukturnih (*GJETVAJ et al., 1962*), litofacijsnih (*JURKOVIĆ, 1962; URBIHA, 1962*) i hidrogeoloških (*HRNČIĆ, 1962*) karata.

### 3. Povijest naftnogeoloških istraživanja

Određeni su položaji drevnih razvodnica i vodenih tokova te prepostavljeni glavni putovi migracije i položaji strukturnih i stratigrafskih zamki. Na temelju rezultata i uz već poznata naftna i plinska polja ukupno je izdvojeno deset naftoplilonosnih zona koje su pojedinačno obilježene geografskom cjelovitošću, približno jednakim debljinama sedimenata, dubinom rezervoarskih stijena i vrstom zamki. Redom su to (PLETIKAPIĆ, 1964; PLETIKAĆ et al., 1964): zapadnobilogorska (34 % potencijalnih zaliha), papučko - krndijska (27 %), moslavačka (22,5 %), istočnobilogorska (6,5 %), podkalnička (4 %), vilanjsko - mečečka (3 %), južnogergeteška (1,5 %), podbilogorska (1 %), centralna potoninska (0,25%) i legradski prag (0,25%). Tamo gdje su već otkrivena polja pridodana je i veća vrijednost novih otkrića, kao npr. u zapadnobilogorskoj zoni. Relativno visoka vrijednost pridjeljena je moslavačkoj zoni što do danas nije potvrđeno. Ostale zone koje u cijelosti ili dijelom pripadaju uleknini (podkalnička, istočnobilogorska, podbilogorska) imaju relativno niske vrijednosti potencijalnih zaliha, što je danas dijelom potvrđeno ipak malobrojnim otkrićima. Analiza visoke perspektivnosti moslavačke zone i dokazivanje da je procjena u ostale tri spomenute zone bila premala također je tema ove disertacije.

Prema istim autorima (PLETIKAPIĆ et al., 1964) u cijeloj potonini potencijalne zalihe ugljikovodika raspodijeljene su tako da je 56 % zaliha u ležištima sa stratigrafskim, 31 % u ležištima s rasjednim, 8 % u ležištima s antiklinalnim i 5 % u ležištima s kombiniranim zamkama. Također je predviđeno da se 90 % potencijalnih zaliha nalazi na dubini manjoj od 1750 metara. Rezultati su bili vrlo optimistični i poticajni za daljnje istraživanje, posebno jer su se predviđena ležišta nalazila na relativno manjim dubinama. Predviđenih 56 % zaliha u ležištima sa stratigrafskim zamkama značajno je i u današnje vrijeme kada se pažnja sve više posvećuje dosad slabo istraženim stratigrafskim ležištima.

Približno u isto vrijeme HANICH (1964) fotogeološki obrađuje vrbovečko-moslavačko i bilogorsko područje, dok nešto kasnije PRELOGOVIĆ et al. (1969) morfometrijski prikazuju strukture Bilogore.

Sedamdesetih godina objavljeno je nekoliko radova koji se dotiču dijelova bjelovarske uleknine. Na području Bilogore opisani su tektonski (HAJNŠEK, 1971) te litofacijsni odnosi mlađih neogenskih i kvartarnih naslaga (KRANJEC et al., 1971). U istom radu utvrđuju se konture morfostrukturalnih jedinica bjelovarske uleknine, Bilogore i dubokog dijela dravske potonine. Tektonske odnose u zapadnom dijelu dravske potonine i kutinskoj zoni analizirao je NAJDENOVSKI (1974). PRELOGOVIĆ (1975) objavljuje neotektonsku kartu Hrvatske na kojoj je također prikazano i područje bjelovarske uleknine.

Dobiveni rezultati potakli su, istina malobrojne, nove bušaće rade. Godine 1973. buštinom Vis-1 istražena je istoimena antiklinala smještena na vrhu Bilogore u blizini strukture Sedlarica. Utvrđene su pojave ugljikovodika. Nedaleko na istok iste godine je načinjena prva bušotina na antiklinali Cremušina, a godinu kasnije i druga. S obzirom na male pojave nafte i plina bušotine nisu stavljene u proizvodnju.

### **3.3. RAZDOBLJE 1980.-2001.**

Početkom osamdesetih pojavljuju se radovi koji obrađuju područje bjelovarske uleknine samostalno. Prvo su 1980. godine opisane strukture i sedimentacijski razvoj uleknine (NAJDENOVSKI & HAJNŠEK, 1980). Načinjene su strukturne karte, karte izopaha i karte konsedimentacijskog razvoja struktura za obrađene intervale. Na osnovi toga rada planirani su daljnji geofizički radovi. Iz njihovih rezultata te starijih podataka reinterpretirani su strukturni odnosi cijele uleknine i graničnog područja prema savskoj i dravskoj potonini (NAJDENOVSKI & HAJNŠEK, 1982). Dobivena karta paleoreljefa i strukturne karte te geološki profili potvrdili su rješenje iz njihova prethodna rada, a generalno i prijašnja rješenja iz drugih radova. Izdvojeno je još

### 3. Povijest naftnogeoloških istraživanja

nekoliko perspektivnih područja (Žabno, Žabljak i područje Bjelovara), a prvi put je u potpunosti opisana granica savske i dravske potonine od Kalnika i Medvednice, preko Moslavačke gore do Psunja.

Devedesete godine bile su najznačajnije u pogledu potvrđivanja naftoplilonosnosti bjelovarske depresije. Prvo su 1991. i 1992. načinjena detaljna gravimetrijska i geomagnetska mjerena dijela bjelovarske uleknine (*LOVRIĆ, 1992*), a rezultati su prikazani na kartama mjerila 1:25000 i 1:100000. Snimljeno je područje oblika nepravilnog peterokuta kojem bi vrhovi približno odgovarali položaju Vrbovca, Rijeke Koprivničke, Lepavine, Patkovca i Bereka, odnosno sjeverozapadnom dijelu bjelovarske uleknine. Na kartama gravimetrijskih anomalija uočen je niz pozitivnih struktura, posebno na karti reziduala kao npr. istočno od Križevaca te sjeverozapadno od Lepavine. Bušenjem su potvrđeni "burried hill" oblici. U bušotini Križevci-1 (Kr-1) nabušeni su dolomiti i vapnenci na 800 m dubine. Prema tim podacima procijenjena je dubina stijene na 700 m, a širina stijenskoga tijela na 1300 m. Bušotinom Lepavina-1 (Lp-1) potvrđena je pretpostavljena dubina jer je na dubini od 690 m nabušen serpentin, uzročnik gravimetrijske, ali i magnetske anomalije. Područje negativnih Bouguerovih anomalija nalazi se sjeverno od Pavlovca Vrbovečkog. Također niz negativnih anomalija na potezu Česma-Ivančani-Kapele-Cugovec-V. Lovrećine-Tkalec-G. Velika upućuju na osjetna zadebljanja sedimenata mlađeg tercijara. Uz to, taj niz razdvaja antiklinale na istoku i sjeveru od onih na jugozapadu i zapadu. Geomagnetska ispitivanja ukazala su na dvije izrazite magnetske anomalije kod Lepavine i Gregurovca. Kako ih drugdje nema zaključeno je da je kristalinska podloga uglavnom nemagnetična (tipa gabro, granodiorit, razni škriljavci), odnosno bez znatnih lateralnih promjena magnetskog susceptibiliteta. Dok je kod Lepavine zabilježena i gravimetrijska anomalija, kod Gregurovca to nije slučaj. Uzročnik anomalije kod Lepavine je ranije spomenut serpentinit velikog magnetskog susceptibiliteta. Kod Gregurevca vjerojatni uzročnik magnetske anomalije je ograničeni prođor magnetičnih (vjerojatno) dijabaza i serpentina u tercijarne naslage. Zbog nepostojanja gravimetrijske anomalije može se zaključiti da je bočno prostiranje tih stijena malo. Dubina stijena podloge procijenjena je na 1000 m.

Devedesete godine prošloga stoljeća bile su najznačajnije u provjeravanju i potvrđivanju naftoplilonosnosti bjelovarske uleknine. Otkriveno je jedno manje naftno, dva plinska i jedno geotermijsko polje, a ostali radovi provjerili su rezervoarski i matični potencijal dijelova uleknine u kojima se do tada nije uopće ili gotovo uopće bušilo.

#### **3.3.1. GEOTERMIJSKO POLJE VELIKA CIGLENA - 1989. GODINA**

U nekim ranijim studijama pretpostavljene debljine tercijara u najdubljim dijelovima uleknine preko 3000 m što otvara pretpostavku postojanja zrelih matičnih stijena. Većina prethodnih bušenja bila su smještena po rubovima uleknine, a najvećim dijelom vezana uz polja i lokalitete na njezinom sjeveroistočnom dijelu (Lepavina, Jagnjedovac, posebice Šandrovac). Duboki dijelovi dviju glavnih subuleknina (sjeverozapadne i jugoistočne) nisu bili istraživani dubokim bušenjem, pa je u jugoistočnoj 1989. godine načinjena bušotina Velika Ciglena-1 (VC-1), smještena na blago izraženom strukturnom nosu u blizini najdubljeg dijela jugoistočne subuleknine. Bušotinom su prikupljeni geološki podaci o tercijaru i stijenama podloge u dubokim jugoistočnim dijelovima uleknine, a također je otkriveno geotermijsko ležište i načinjena je usmjerena bušotina (VC-1α) u cilju iskorištavanja te energije.

#### **3.3.2. NAFTNO POLJE GALOVAC-PAVLJANI - 1991. GODINA**

Prijašnja dostignuća, zajedno s novim seizmičkim snimanjima omogućila su ponovnu naftnogeološku procjenu prostora uleknine. Godine 1991. načinjena je istraživačka bušotina Pavljani-1 (Pav-1) na prostoru između sela Stari i Novi Pavljani te Galovac. Na temelju ranijih mjerena pretpostavljeno je postojanje povoljne strukture, a bušotinom je u stijenama podloge

### 3. Povijest naftnogeoloških istraživanja

tercijara te badenskim brečama i brečokonglomeratima otkriveno ležište nafte. Prostor je podijeljen na pet istraživačkih blokova te se pristupilo bušenju i procjeni naftnonosnosti svakog od njih. Bušotina Pav-2 (1992.) bila je negativna, pa se odustalo od bušenja već projektirane bušotine Pav-3. Negativna bušotina bila je i Pav-5 (1993.). Sve ostale proizvodne bušotine Pav-4 (1992.), Pav-5α (1993.) i Pav-6 (1994.) probušile su ležište na najplićem, središnjem dijelu polja, unutar stijena podloge, badenskih breča i brečokonglomerata.

#### **3.3.3. BUŠOTINA KOD ROVIŠĆA - 1992. GODINA**

Bušotina Rovišće-1 načinjena je 1992. godine u zapadnom dijelu uleknine gdje su ranija (regionalna) bušenja načinjena još polovicom šezdesetih godina. Već ranije je zaključeno kako je bjelovarska uleknina mjestimice dovoljno "topla" za generiranje nafte (VC-1), a godinu dana ranije (1991.) otkriveno je oko 15 km jugozapadno naftno polje Galovac-Pavljani. U antiklinali Rovišće nisu pronađeni ugljikovodici niti u neogenskim klastitima niti u paleoreljefu.

#### **3.3.4. PLINSKO POLJE GRUBIŠNO POLJE - 1993. GODINA**

Otkriće naftnoga polja Galovac-Pavljani potaklo je nastavak istraživanja na istoku bjelovarske uleknine, kod Grubišnog polja. Nova i kvalitetnija seizmička mjerena otkrila su točan položaj tjemena strukture zapadnije od postojećih bušotina (Gr-1, 2, 3). Tamo je 1993. izrađena bušotina Gr-1zapad kojom je otkriveno plinsko ležište u badenskim klastitima i paleozojskim škriljavcima. Naknadno je izrađena i bušotina Gr-4 kojom je ležište potvrđeno, a obje bušotine su stavljene u proizvodnju.

#### **3.3.5. BUŠOTINE KOD DEŽANOVCA I VELIKE TRNOVITICE - 1993. I 1994. GODINA**

Kako bi se ponovno procjenio naftoplinski potencijal slabo istraženog jugoistočnog dijela uleknine načinjena je bušotina Dež-1 na istoimenoj antiklinali Dežanovec (*VICAN, 1993*) udaljenoj oko 9 km na sjeveroistok od bušotine Ulj-1. Nabušene su stijene mezozoika, ali nisu otkriveni ugljikovodici. Nedugo potom na sjevernom obodu Moslavacke gore kod Velike Trnovitice izbušena je VT-1 kako bi se provjerili rezultati ranijih bušenja u tom dijelu uleknine (Pavlovac, Dežanovec, Uljanik, Ciglenica). Utvrđeno je očekivano isklinjavanje neogena, ali i nedostatak kolektorskih osobina sedimenata. Bušotina je bila negativna (*VUKADINOVIC, 1994*).

#### **3.3.6. PLINSKO POLJE BAČKOVICA - 2000. GODINA**

U svibnju 1997. kod sela Bačkovica na istoku uleknine, oko 25 km južno od Bjelovara, načinjena je istraživačka bušotina Bac-1. Osim neznatnih pojava ugljikovodika nije bilo. Slične negativne rezultate dala je i bušotina Bac-2 iako je seizmički utvrđen "bright spot" (*TROGRLIĆ, 2000*) što je ipak bio dovoljan razlog za novu bušotinu Bac-1z kojom je otkriveno malo plinsko polje.

## 4. IZVORI PODATAKA I METODE NJIHOVE OBRADE

Metode rada primjenjene u disertaciji obuhvaćaju neke od uobičajenih postupaka koji se u naftnoj geologiji podrazumijevaju pod **analizom bazena**. Bazen je u ovom slučaju prostor bjelovarske uleknine, koja u okvirima panonskog bazenskog sustava sa svojih  $2900 \text{ km}^2$  pripada među male bazene.

Načinjene analize daju odgovore o: (1) prostornoj i vremenskoj evoluciji struktura i sedimenata, (2) prostornom rasporedu petrofizikalnih parametara važnih za oblikovanje rezervoara, (3) ocjenu zrelosti potencijalnih matičnih stijena te (4) mogućim mjestima i količinama novih zaliha ugljikovodika.

Na istraživanom području postoji 501 bušotina. Većina ih je razmještena na naftnim i/ili plinskim poljima Lepavina, Jagnjedovac, Mosti, Hampovica, Čepelovac, Šandrovac, Sedlarica, Gakovo, Letičani, Velika Ciglena, Galovac-Pavljani i Grubišno polje. Preostali manji broj bušotina (oko 4 %) su regionalne.

### 4.1. STRUKTURNO-STRATIGRAFSKA I GEOSTATISTIČKA ANALIZA

**Osnovne geološke i topografske karte** upotrijebljenje su za upoznavanje stratigrafskih i strukturnih odnosa na površini. Pregledane su O.G.K. listova Bjelovar, Kutina, Ivanić-Grad i Daruvar (M 1:100000). Utvrđeni su odgovarajući morfološki oblici čiji odraz se eventualno mogao pratiti u dubinu.

**Bušotinski podaci** prikupljeni iz *dossiera* bušotina pohranjenih u arhivu INA-Naftaplina, bili su podloga za određivanje litoškoga sastava, stratigrafske pripadnosti i petrofizikalnih osobina. Stratigrafski prikaz načinjen je od najstarijih prema najmlađim taložinama po litostratigrafskim jedinicama reda člana i formacije u dravskoj potonini (*ŠIMON, 1968*). Interpretirani su taložni okoliši i izvorišta materijala. Detaljnije su proučeni podaci u stijenama koje su se mjestimice potvrdile kao ležišta. To su sedimenti badenske, gornjopanonske i donjopontske starosti. Također su prikupljeni geokemijski podaci stijena gornjeg badena, sarmata i donjeg panona koje su određene kao potencijalne matične stijene u nekim dijelovima uleknine.

Debljina klastičnih litostratigrafskih jedinica i razmještaj vrsta stijena u podlozi tercijarnog sistema prikazane su kartama koje su načinjene programom **SURFER® for Windows** (KECKLER, 1994). Zbog načina rada programa ovdje su detaljnije opisane neke metode interpolacije odabrane kod izrade karata. Istraživano područje uleknine ograničeno je poligonom čiji su vrhovi (njih 19) na sljedećim Gauss-Krügerovim koordinatama (X,Y): 6377600,5092000 - 6390500,5108636 - 6400500,5108636 - 6417727,5103182 - 6437727,5085000 - 6458500,5050500 - 6444375,5056042 - 6441042,5055833 - 6438958,5041250 - 6429375,5040417 - 6431667,5034375 - 6431250,5033958 - 6433000,5031500 - 6410000,5048500 - 6408542,5050417 - 6411667,5057083 - 6410417,5064792 - 6402708,5062708 - 6399167,5062917 - 6377600,5092000.

Broj točkastih lokacija na kojima su mogli, u idealnom slučaju, biti prikupljeni podaci iznosio je 501. No, u stvarnosti su vrijednosti očitane na najviše stotinjak lokacija po promatranoj litostratigrafskoj jedinici. Tih stotinjak vrijednosti bilo je najvećim dijelom grupirano na područjima većih naftnih i/ili plinskih polja.

Kako bi se riješio taj problem, a uz to prepoznala moguća anizotropija odabrana je interpolacija metodom **kriginga**. Taj postupak predstavlja pouzdan i široko primjenjiv **geostatistički alat** za procjenu vrijednosti regionalizirane varijable u točkama mreže koja prekriva odabranu područje.

#### 4. Izvori podataka i metode njihove obrade

Nove vrijednosti procijenjene su iz okolnih podataka uključenih u procjenu, a kojima su dodjeljeni odgovarajući "težinski" koeficijenti. Pri tom je postavljen jedan "snažan" uvjet da dobivena rješenja moraju imaju minimalnu moguću varijancu pogreške procjena. *Kriging* vrlo uspješno rješava problem grupiranja ("clustering") podataka, što je opaženo i na analiziranom ulaznom skupu u ovome radu.

Metodu je prvi razvio, primijenio i opisao južnoafrički inženjer KRIGE (1951) kod procjene koncentracije rude u ležištima zlata. Vremenom je uslijedio daljnji teoretski razvoj metode i njezine primjene s čime je započeo MATHERON (1965). Do danas je objavljeno mnoštvo radova, algoritama i podmetoda za njezinu raznovrsnu primjenu.

Svaka upotreba *kriginga* za interpolaciju podrazumijeva prethodno određivanje prostorne zavisnosti podataka za što se najčešće upotrebljava semivariogramska analiza. No, upotrebljeni program je samostalno definirao potreban prostorni model, stoga je jedino određena veličina i broj polja za radijus utjecaja okolnih vrijednosti. Područje oko procijenjene točke podijeljeno je na 4 kvadranta s radijusom kružnice od 20000 jedinica (oko 15 km). Minimalni dopušteni broj točaka za svaki kvadrant bio je 1, a maksimalni 6 (najbližih). Ako neki od okolnih kvadrantata nije sadržavao niti jednu vrijednost interpolacija je načinjena obzirom na preostale "ispunjene" kvadrante. Time se izbjegla mogućnost da program iscrta nepostojeće diskordancije unutar kartirane jedinice.

Sljedeća geostatistička metoda upotrebljena prilikom izrade disertacije bila je **semivariogramska analize**. Primijenjena je samostalno, a ne kao dio nekoga interpolacijskoga paketa, odnosno načinjena je 1D analiza čiji rezultat se nije mogao prikazati kartografski. Semivariogramski su analizirani podaci laboratorijskih analiza jezgara, a dokumentirani u *dossierima* bušotina. Time su ponašanje i pravilnosti uočene u jezgrovanim dijelovima ležišta ekstrapolirane na krovinu i podinu odabralih jezgara, naravno ako se radilo o istoj (najčešće neformalnoj) litostratigrafskoj jedinici.

Kod svih upotrijebljenih geostatističkih proračuna glavni problem je predstavlja dovoljan broj ulaznih podataka. Nije bilo moguće načiniti dodatne bušotine, jezgrovanja ili laboratorijska mjerena pa je posebna pažnja posvećena kvalitetnom i sustavnom odabiru te pripremi ulaznog skupa vrijednosti. Broj od 501 bušotine na površini od  $2900 \text{ km}^2$  statistički je velik, no glavni problem predstavlja je njihov vrlo nejednolik raspored, odnosno izrazito grupiranje većine vrijednosti na malom broju mjesta. Stoga je geostatističke metode, poput semivariogramske analize i interpolacije krigingom, bila nemoguće zajednički primijeniti za analizu distribucije parametara u horizontalnoj ravnini.

## **4.2. INTERPRETACIJA SEIZMIČKIH PROFILA**

**Seizmički profili** bili su primarno izvor podataka za strukturno-tektonsku analizu. U prvom krugu odabранo je 42 refleksijska 2D profila raspoređenih u relativno pravilnoj mreži uzdužnih (SZ-JI) i poprečnih (SI-JZ) linija. Nakon analize njihove kvalitete više od polovice upotrijebljeno je za izradu karte paleoreljefa, strukturnih i paleostrukturnih karata. Zakoni brzina širenja seizmičkih valova izmjereni su u sljedećim bušotinama: Bačkovica (Bac-1z), Ciglenica (Cg-1), Cremušina (Cre-1), Dežanovec (Dež-1), Farkaševac (Fa-1), Gakovo (Gak-1), Grubišno polje (Gr-1z), Hampovica (Ha-1), Jagnjedovac (Jag-2), Letičani (Le-4, Le-5), Mosti (Mo-3), Novi Glog (Ngl-1), Pavljani (Pav-1, Pav-4, Pav-6), Rovišće (Rov-1), Šandrovac (Ša-1alfa duboka), Topolovac (To-1), Velika Ciglena (VC-1), Velika Trnovitica (VT-1) i Vis (V-1). Kod starijih bušotina u kojima je zakon brzina sniman do 1970. bili su dostupni grafički dijagrami odnosa vremena i dubine. Kod novijih snimaka u tablicama je usporedno prikazan odnos dvostruko vrijeme-dubina. Tako veliki broj zakona brzina (22 mjerena) nije mogao biti upotrijebljen za rješavanje dubinskih podataka u bjelovarskoj uleknini, jer bi tada na pojedinim profilima dolazilo i do nekoliko promjena u izračunavanju odnosa dvostruko vrijeme-dubina, što nije bilo moguće interpretirati. Zato su uspoređeni međusobno svi

#### 4. Izvori podataka i metode njihove obrade

zakoni i u pojedinim područjima odabrani oni koji su najbolje aproksimirali ostala mjerena unutar granica te zone. Nakon takve analize izdvojeno je pet zakona brzina po kojima su izračunate dubine kartiranih granica i EK-markera: NGl-1, Pav-1, Mo-3, VT-1 i Dež-1.

Na temelju izračunatih dubina načinjene su strukturne i paleostruktурne karte po granici neogenskih sedimenata i stijena paleozoika, odnosno mezozoika ( $Tg/Pt$ ), zatim po EK-markerima koji su granice formacija u području dravske potonine ( $D'$ ,  $\Delta$ ,  $Z'$ ,  $Rs5$ ; ŠIMON, 1968) te po jednom EK-markeru 'nižega reda' ( $Rs7$ ) koji je granica između članova Križevci i Mosti formacije Moslavačka gora. Taj EK-marker posebno je izdvojen jer razdvaja dva najperspektivnija naftogeološka člana unutar bjelovarske uleknine, kako u "matičnom" tako i rezervoarskom smislu.

Kvaliteta seizmičkih profila varirala je ovisno o godini njihova snimanja i reljefu područja gdje su bili postavljeni. Brežuljkasta područja Bilogore bila su seizmički izrazito "slijepe" zone, na primjer područje naftno-plinskog polja Šandrovac, gdje nije bilo moguće dosljedno pratiti reflekse pa time niti načiniti pouzdanu interpretaciju. Također niti rubna područja paleozojskih gora, poput Papuka, Psunja i Moslavačke gore nisu kvalitetno ocrtana na seizmičkim profilima pa su granice istraživanog područja postavljene upravo na rubovima tih zona.

Dubina EK-markera, litostratigrafska pripadnost jedinica koje omeđuju i njihov litološki sadržaj određen je na temelju podataka dubokih bušotina. Također u 21 bušotini na području uleknine snimljeni su odgovarajući **zakoni brzina**. Bio je to prevelik broj bušotina da bi se svi ti zakoni mogli uspješno primijeniti u interpretaciji dubinskog geoloških odnosa, posebno u "klasičnoj" obradi bez upotrebe snažnih radnih stanica. Zato su postavljena određena pravila kod određivanja granica područja u kojima je primijenjen odgovarajući zakon brzina. Ta pravila navedena su u sljedećih 5 točaka:

1. eliminirani su gotovo svi zakoni brzina snimljeni do 1980. godine (osim bušotine Mo-3), odnosno zakoni prikazani samo krivuljama odnosa dvostruko vrijeme-dubina (2T-h), a ne i tablično gdje su vrijednosti 2T-h postojale na svakih 5 m dubine;
2. niti jedan profil nije presječen s dva zakona brzina;
3. ako to nije bilo moguće izbjegći presjecište dva zakona brzina postavljeno je uz rasjed;
4. odabrani zakon brzina u određenoj zoni mora približno odgovarati svim eliminiranim zakonima brzina iz te iste zone, što je provjeroeno na svakih 100 m dubine, a odstupanje nije smjelo prelaziti 20 m;
5. zakoni brzina u ostalim zonama značajno se razlikuju (preko 50 m dubinske razlike ispod 500 m dubine) od susjednih zona.

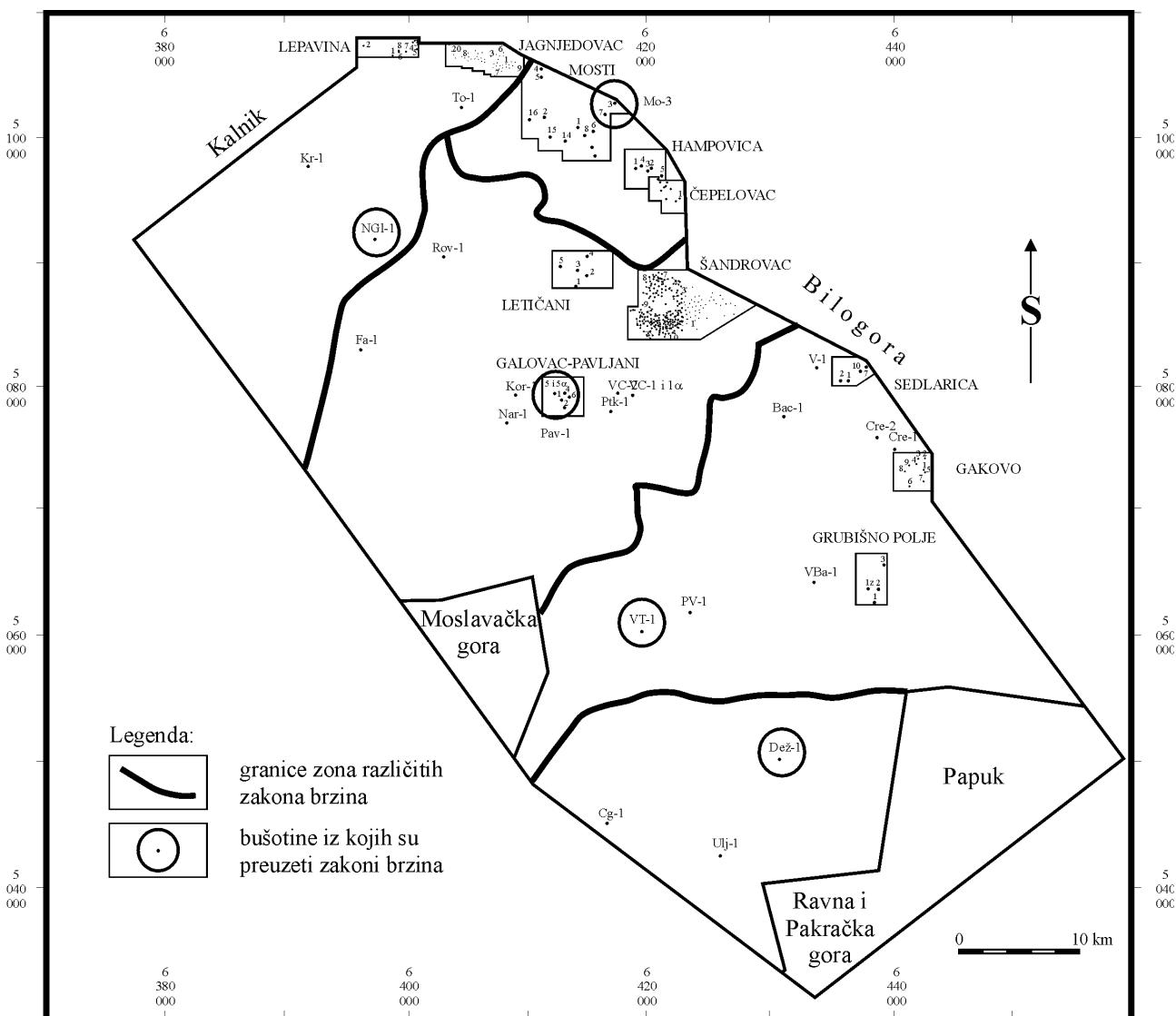
Nakon proračuna načinjenih po navedenim pravilima preostalo je 5 zona, odnosno 5 zakona brzina kojima su zatim rješeni svi profili s područja bjelovarske uleknine, što je prikazano na **slici 4.1**.

### **4.3. OCJENA ZRELOSTI POTENCIJALNIH MATIČNIH STIJENA**

**Geokemijske analize** bile su dostupne i vrlo detaljne u podacima novijih bušotina, posebno onih izrađenih nakon 1990. godine. U starijim bušotinama tek je eventualno zabilježena količina organske tvari (često bez točne litostratigrafske pripadnosti). Na temelju postojećih podataka izdvojena su dva ranije spomenuta člana – Križevci i Mosti, kao sedimenti u kojima postoji dovoljno laporovito-vapnenačkih i silitnih intervala s povišenim sadržajem organske tvari (preko 0,5 %) da bi se mjestimično mogla očekivati matična zrelost. Naravno, trebao je biti ispunjen i uvjet termijske zrelosti tih sedimenata da bi se eventualno mogle generirati odredene količine ugljikovodika. U tom cilju prikupljeni su svi postojeći geokemijski parametri koji ukazuju na zrelost, a zatim su statistički obrađeni na nivou uleknine te prikazani tablično i kartografski. Posebno su vrijedni bili lokaliteti gdje su postojali podaci s vrijednošću vitrinitne refleksije ( $R_o$ ) i genetskog potencijala ( $S_2$ ).

#### 4. Izvori podataka i metode njihove obrade

Na temelju tih vrijednosti generalno je ocjenjen prostor uleknine i izdvojeni dijelovi za koje je procijenjeno da postoji vjerojatnost da su spomenuti litostратigrafski članovi mogli dati makar male količine ugljikovodika. Na temelju stratigrafskih podataka načinjeni su *dijagrami taložne povijesti* te na njima izračunata *ukupna termijska zrelost* (ΣTTI) na nivou EK-markera Rs7 koji razdvaja geokemijski najperspektivnije članove Križevci i Mosti. Tamo gdje je ta vrijednosti ukazala na ulazak tog markera u područje "naftnoga prozora" ukupna termijska zrelost računata je i za sedimente mlađih formacija sve dok je taj uvjet bio ispunjen.



*Slika 4.1: Pet izdvojenih zona u kojima su korišteni različiti zakoni brzina*

Na temelju svih dobivenih parametara načinjena je **procjena vjerojatnosti** koja je obuhvatila izdvajanje i kvantificiranje četiri glavne kategorije vrijednosti važnih za nastanak ležišta ugljikovodika. Te kategorije su obuhvaćale sljedeće parametre: *postojanje zrelih matičnih stijena i putova migracije*, zatim *zamki i izolatorskih stijena, rezervoara i rezervoarskih svojstava te kvalitetnih ugljikovodika i mogućnosti njihova pridobivanja*. U skladu s odgovarajućim strukturnim i stratigrafskim rješenjima te geokemijskim rezultatima izdvojene su odgovarajuće jedinice i zone kao mjesta perspektivna za pronalaženje novih ležišta, odnosno kao mjesta koja mogu ukazati na približni položaj i veličinu novih rezervoara.

## 5. STRATIGRAFSKI PREGLED

Na području bjelovarske uleknine probušene i nabušene stijene podijeljene su u dvije različite skupine. Prva, mlađa obuhvaća neogensko-kvartarne sedimente, a drugoj skupini pripadaju stijene u podini tercijarnog sistema. Osim po starosti te skupine su litološki vrlo različite. Neogensko-kvartarne naslage su klastične, dok stijene njihove podine izgrađuju mezozojski karbonati ili paleozojski magmatiti i metamorfiti. Kronostratigrafska i litostratigrafska podjela tercijarnih i starijih stijena za dravsku potoninu prikazana je na slici 5.1.

Iako različita, istraženost obje skupine stijena je dobra. Velik broj bušotina probušio je neogensko-kvarтарне sedimente te nabušio stijene njihove podine pa su jezgrovani i karotirani intervali i unutar paleozojskih i mezozojskih stijena.

**Slika 5.1:** Litostratigrafske jedinice dravske potonine (ŠIMON, 1968)

STAROST		LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE DRAVSKE POTONINE					Regionalni EK markeri
		KVARTAR					
		TERCIJAR		NEOGEN			
		MIOCEN	DONILOPONT	G. PONT	PLIOCEN	DACIU ROMANIU	
		FORMACIJA	FORMACIJA	FORMACIJA	FORMACIJA	LONIA	
MEZOZOIK		FORMACIJA MOSLAVAČKA GORA	FORMACIJA IVANIĆ-GRAD	FORMACIJA KLOŠTAR-IVANIĆ	cabunski član	cabunski lapor	$\Delta_1$
PALEOZOIK		STIJENE U PODLOZI TERCIJARNOG SISTEMA			pepelanski pješčenjaci		$D_2$
I					graberski čl.	graberski lapor	$D_3$
					poljanski pješčenjaci		$D_4$
					lepsički lapor		$Z'$
					zagrebački član		$R_{s4}$
						okolski pješčenjaci	$R_{s5}$
						lipovački lapor	$F_j$
							$D_5$
					koprivnički pješčenjaci	krivečki član	$Rs7$
					član Mosti	čerajlijski član	Pt/Tg

## **5.1. MAGMATSKO-METAMORFNE STIJENE PALEOZOIKA I MEZOZOIKA**

Magmatske i metamorfne stijene paleozoika i mezozoika u praksi INA-Naftaplina imenovane su **temeljnim gorjem**. Paleozojska podloga izgrađena je od granitnih i gabroïdnih intruzija te dijelova, tim intruzijama razbijenih i izmijenjenih metamorfnih stijena. Metamorfne stijene su regionalno metamorfozirane do nivoa amfibolitskog facijesa, a litološki su predstavljene različitim škriljavcima i gnajsevima.

Pitanje starosti tih stijena bilo je teško egzaktno riješiti, prvenstveno zbog njihove dubine, nejasnih međusobnih odnosa i nekoliko orogenetskih ciklusa kojima su bile podložene. Vrijeme metamorfoze pokušalo se posredno odrediti preko starosti moslavačkog granita (DELEON, 1969) koja je radiometrijski za različite uzorke postavljena na  $90 \pm 5$ , 64 i 62 milijuna godina. Pretpostavljeno je kako je moslavački granit mlađi od metamorfnog kompleksa *temeljnog gorja*. Orogenetski pokreti koji su uzrokovali izdizanje Moslavačke gore, pa i kasniji, također su izazvali utiskivanja *gabra* i ponovno *granita* te erupcije *granodiorita*. Iz toga je jasno da starost dijela magmatskih i metamorfnih stijena može biti i mezozojska.

Također je na mezozojsku starost dijela magmatskog i metamorfnog kompleksa ukazao i PANDŽIĆ (1979) tvrdnjom da su ofiolitske stijene u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena nastajale i kroz cijeli mezozoik. Kasnije i HERNITZ (1983) opisuje gabro i serpentinit na sjeverozapadnoj Majevici i Trebovcu gornjokredne starosti.

## 5. Stratigrafski pregled

Podrijetlo većine škriljavaca usko je povezano s prodrima granitne magme. Takvi prodori uzrokovali su kontaktnu metamorfozu okolnih stijena i rezultat su bili *kvarcno-tinjčasti* i *kvarcno-tinjčasto-kloritni škriljavci*. Mineralna parageneza ukazuje na nizak stupanj metamorfoze, tj. facijes zelenih škriljavaca. Shematski raspored paleozojskih stijena u podlozi prikazan je **slikom 5.2.**

Bušotinski podaci svrstani su i opisani prema geografskoj pripadnosti pojedinim dijelovima bjelovarske uleknine. Razlog takvom svrstavanju je lakše praćenje rezultata bušenja te povezivanje područja na kojima se očekivala veća litološka sličnost.

Na **zapadu** je nabušen *škriljavac*, kod Novoga Gloga i Rovišća kvarcno-sericitno-kloritni, a kod Farkaševca tinjčev (*HAJNŠEK*, 1964; *POMPER*, 1992; \*\*\*, 1993). Na lokalitetu Rovišće iznad škriljavca je hidrotermijski izmijenjeni *efuziv*, vjerovatno dacit. Iako je u *dossieru* bušotine označen kao temeljno gorje sigurno pripada *miocenskom magmatskom ciklusu* tako da je ovdje svrstan u **ćeralijski član** koji je starosni ekvivalent člana Mosti. Unutar uleknine je utvrđena još samo jedna takva pojava, odnosno andezit probušen kod Cremušine (*RAŠKOVIĆ*, 1974) svrstan je također u isti član.

Na **sjeveru**, kod polja Lepavina i Jagnjedovac nabušen je *serpentinit* (*OGULINEC*, 1950).

U **središnjem dijelu** kod Letičana je probušen kvarcno-tinjčasto-kloritski *škriljavac* te ispod njega nabušen *gnajs* (*DRAGIČEVIĆ*, 1974). Na polju Galovac-Pavljani u podlozi su nabušeni *škriljavac* i hidrotermijski izmijenjeni *gabro* ili *granodiorit* (*GJUKIĆ & GENZIĆ*, 1993a,b; *SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ*, 1992, 1994; *KORDIĆ et al.*, 1993a,b). Kod Narte stijene podloge predstavljene su gnajsem 200-300 m plićim od stijena podloge kod Letičana i Galovca-Pavljana.

Na **istoku** kod Grubišnog polja nabušeni su *gnajs* i tinjčev *škriljavac* (*TROGRLIĆ*, 1993). Dalje prema **jugoistoku** u svim buštinama determiniran je *škriljavac* koji se samo razlikuje prema sastavu. Kod Velike Barne se radi o kvarcno-tinjčevom, kod Pavlovca o kvarcno-sericitno-kloritnom, kod Velike Trnovitice o tinjčevom te kod Ciglenice o kloritno-epidotnom (*SREMČEVIĆ*, 1965a,b; *VUKADINOVIC*, 1994). Jedino je u tome dijelu kod Uljanika nabušen *dijabaz* (*FILJAK*, 1956).

Gotovo su svugdje magmatsko-metamorfne stijene paleozoika i mezozoika u vršnom dijelu izrazito trošene i kataklazirane te je ponegdje razvijena značajna sekundarna šupljikavost. Tako je na nekim poljima unutar uleknine u tim stijenama otkriveno ležište ugljikovodika. Ležišta nafte utvrđena su na poljima Galovac-Pavljani i Letičani, a ležište plina na Grubišnom polju. U svim tim slučajevima ležišta su dijelom smještena u opisanim stijenama, a dijelom u najstarijim sedimentima člana Mosti s kojima čine jednu hidrodinamičku cjelinu.

## **5.2. SEDIMENTI MEZOZOIKA**

Sljedeću skupinu stijena, imenovanu u praksi INA-Naftaplina kao **podloga tercijara**, čine taložine mezozojske starosti. Litološki se radi o različitom *vapnencu* i *dolomitu*, koji su često kataklazirani i trošen do stupnja *breče* i *konglomerata*.

Starost tih naslaga određena je **srednje trijaskom**. Pri tomu su od male pomoći bili fosilni nalazi zbog njihove oskudnosti i slabe očuvanosti. Jedino je kod Velike Ciglene srednjotrijaska (ladinička) starost određena na temelju ostataka algi iz reda *dasicladacea* roda *Diplopora annulata* *SCHAFHÄUTL* te roda *Teutloporella sp.* (*VLAHOVIĆ et al.*, 1991; *TADEJ et al.*, 1996).

## 5. Stratigrafski pregled

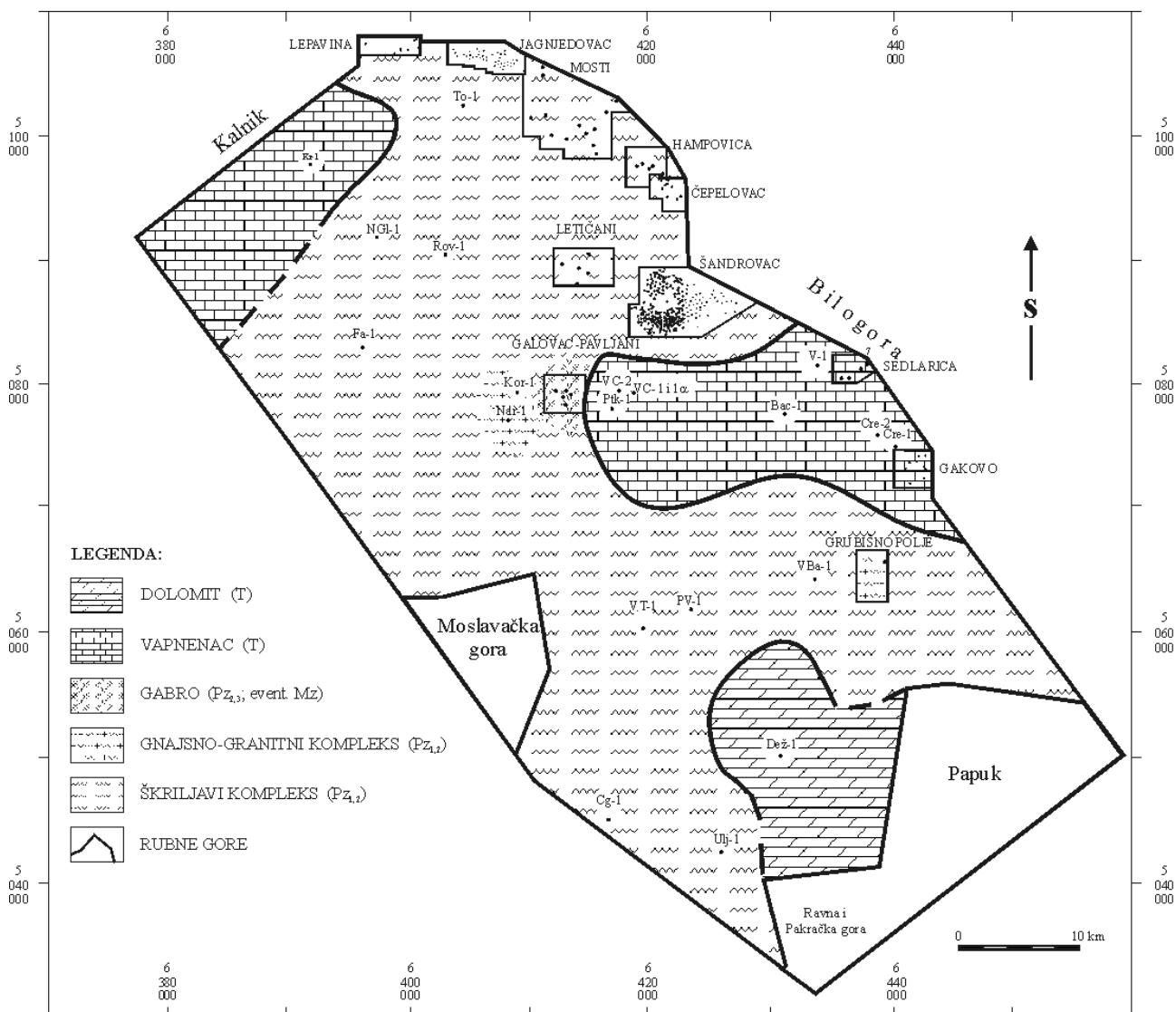
Bušotinski podaci korelirani su s geološkim odnosima (geološkom kartom) na okolnim rubnim gorama. Tako su mezozojski sedimenti unutar uleknine korelirani s taložinama srednjega trijasa (anizika) zapadnog Papuka koje su opisali JAMIČIĆ (1988) i JAMIČIĆ *et al.* (1989). Litološki se radi o istovrsnom *dolomitu*, *dolomitičnom vapnencu* te *dolomitno-vapneničkoj breći*. Na isti način određena je litološka i stratigrafska povezanost mezozojske podloge na zapadu uleknine i Kalničkog masiva. Dijelovi uleknine gdje su u nabušeni mezozojski sedimenti prikazani su na **slici 5.2.**

Geografski promatrano na **zapadu** su mezozojski *vapnenci* nabušeni su kod Križevaca. Na **sjeveru** *vapnenac* te *vapneničke breče* i *konglomerati* su nabušeni kod Topolovca.

U **središnjem dijelu** mezozoik je nabušen kod Velike Ciglene i Patkovca. Najveća debljina od 2250 m mezozojskih naslaga unutar cijele uleknine izmjerena je u bušotini VC-1 (MARKOVIĆ *et al.*, 1990). Radi se o *vapnenacu* i *dolomitu* sa svim mogućim litološkim prijelazima, te čestoj izmjeni uslojenih sedimenata i vrlo razdrobljene *breče*.

Na **sjeveroistoku** su *vapnenac* i *vapnenička breča* nabušeni kod Sedlarice i Visa (RUBINIĆ, 1949a,b,c; PERKOVIĆ, 1974), čija debljina ponegdje prelazi 750 m.

Na **jugoistoku** kod Dežanovca je nabušen *dolomit* (VICAN, 1993).



**Slika 5.2:** Shematska geološka karta stijena u podini tercijarnih naslaga

### 5.3. DONJI I SREDNJI MIOCEN - FM. MOSLAVAČKA GORA

Sedimenti donjega i srednjega miocena označavaju početak sveobuhvatne transgresije na cijelom području uleknine. Taloženi su diskordantno na paleozojske te mezozojske stijene i sedimente u podini. Litostratigrafski odgovaraju **formaciji Moslavačka gora** podijeljenu na stariji **član Mosti** (Mosti član prema ŠIMONU, 1968) približne starosti od donjeg miocena do uključivši sarmat te mlađi **član Križevci** (Križevački član prema ŠIMONU, 1968) približno donjopanonske starosti. Granicu prema paleozojskim i mezozojskim stijenama u podini čini EK-granica označena "Tg" ili "Pt", a prema formaciji Ivanić-Grad u krovini EK-marker Rs5.

Značaj tih sedimenata u naftnogeološkom pogledu je velik. Krupnozrni klastiti fm. Moslavačka gora općenito su povezani s vrlo dobrim rezervoarskim svojstvima, možda i u prosjeku najboljim među svim neogenskim članovima izdvojenim u hrvatskom dijelu panonskoga bazena. Također toj formaciji pripadaju pelitni sedimenti koji bi se jedini eventualno mogli mjestimice smatrati i matičnim stijenama. Zbog toga su prilikom opisa sedimentata formacije Moslavačka gora detaljnije opisani i taložni okoliši te globalna tektonska povijest širega prostora.

Početak donjomiocenske ekstenzijske tektonike pretpostavlja se u **otnangu i karpatu**, prvenstveno na temelju analogije s istovremenim događajima u većem dijelu Panonskoga bazenskoga sustava (ROYDEN, 1988). Paleontološki nalazi vezani su samo za dva bliska lokaliteta pa je teško na temelju tih informacija postaviti tvrdnju koja bi se odnosila na cijelu ulekninu.

Prema VRBANCU (1996) u vrijeme početka neogenske ekstenzije sedimentacijski prostor s marinskim naslagama zahvaća u današnjoj sjevernoj Hrvatskoj dijelove Medvednice, savske potonine, Slavonije, a možda i rubne dijelove Psunja. RÖGL (1996, 1998) to razdoblje opisuje na sličan način, jedino što prave marinske prostore smješta uglavnom na zapad u područje Hrvatskog zagorja i murske potonine, a pretežno slatkvodne pomiče više prema istoku. Također RÖGL (1996, 1998) citira niz autora koji pišu o neprekinutoj sedimentaciji na prijelazu iz donjega u srednji miocen uz taloženje riječno-deltnih sedimenata na rubnom dijelu Moslavačke gore i zapadnog dijela Psunja.

Slijedi **baden** kada jačaju ekstenzijski pokreti koji su zabilježeni na području cijele uleknine. Razvija se nekoliko romboidnih ("pull-apart") bazena u kojima se talože sedimenti značajne debljine. PRELOGOVIĆ *et al.* (1995) izdavaja dva glavna takva prostora jugoistočno i istočno od Bjelovara te na sjevernu ulekninu približno kod današnje Bilogore. Između njih se pravcem sjeverozapad-jugoistok pružalo paleozojsko kopno. U to vrijeme marinska sedimentacija se odvija u cijeloj uleknini, kao i najvećem dijelu sjeverne Hrvatske (VRBANAC, 1996; RÖGL, 1996, 1998). Samo su veće gore, poput Moslavačke, Kalnika, Papuka i Psunja ostale dijelom iznad morske razine i postale otoci.

Trošenjem kopnenih i plitkomorskih dijelova paleozojskih stijena u priobalju je taložen siliciklastični materijal, njačešće mehanizmom aluvijalnih lepeznih delti. Drugi važan izvor materijala bio je karbonatni detritus nastao razaranjem prigrebenskih i grebenskih zajednica crvenih algi (*Coralinacea*) te briozoa strujama i valovima. Rezultat takve dinamike je taloženje krupnoklastičnih sedimenata *breče*, *konglomerata* i *krupnozrnatog pješčenjaka*. Krajem badena ekstenzijski pokreti slabe, taložna sredina postaje mirnija obzirom na energiju vode, opada veličina zrna te je taložen *sitnozrnati pješčenjak*, a zatim *lapor i vapnenac*.

Breča i konglomerat su po podrijetlu uglavnom kataklastični sedimenti, a manjim dijelom siparni. Taloženi su u *proksimalnom dijelu aluvijalne lepezne delte* (MALVIĆ, 1998). Mjestimična odsutnost karbonatnih klasta upućuje da na nekim mjestima nisu bile razvijene veće grebenske

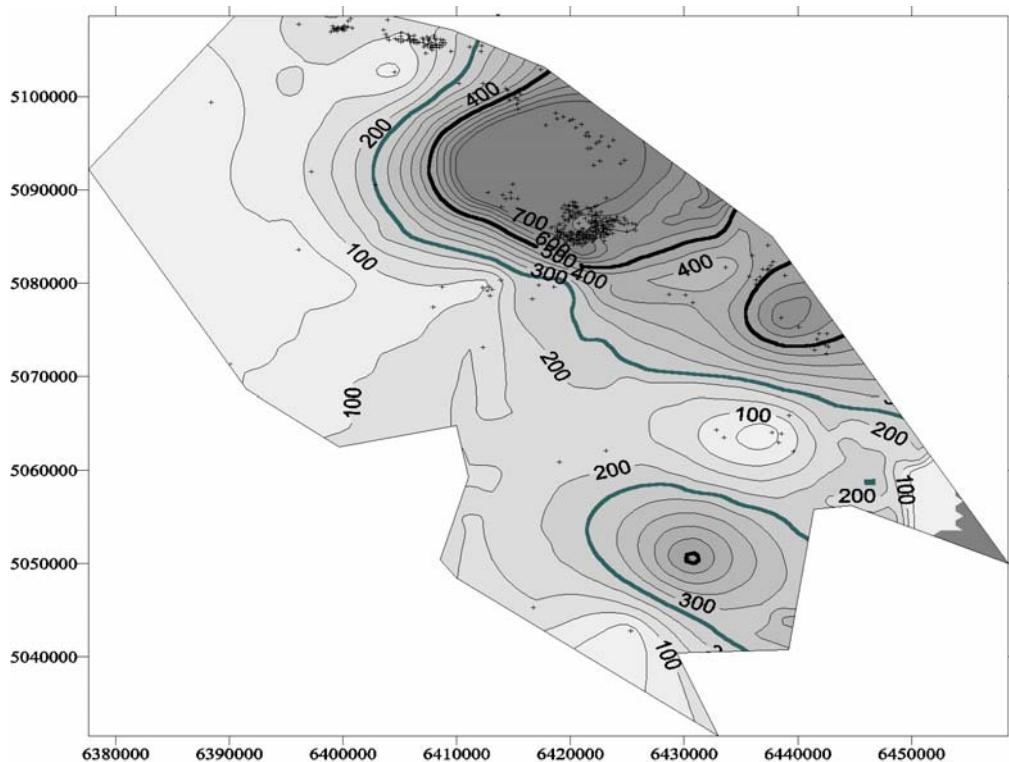
## 5. Stratigrafski pregled

zajednice koje bi trošenjem dale takav materijal. Krupnozrnati do srednjozrnati pješčenjak taložen je u *središnjem dijelu lepeze*. Često je zelenkaste boje s tinjcima i kloritom u tragovima što upućuje na miješanu ili hibridnu vrstu zelenih (glaukonitnih) pješčenjaka (TIŠLJAR, 1994). Njihova pojava ponekad ukazuje na sedimentaciju u slabo reduktivnom morskom prostoru normalnog saliniteta (ODIN & MATTER, 1981; TIŠLJAR, 1994). Srednjo i sitnozrnati pješčenjak taložen je u *distalnom dijelu aluvijalne lepezne delte*.

Pelitne laporovite i laporovito-vapneničke sekvencije kojima završava baden ukazuju na opličavanje i smirivanje taložne sredine i takvim taložnim uvjetima započinje **sarmat**. Površina mora i slanost postupno su se smanjili (VRBANAC, 1996; RÖGL, 1996, 1998), a nastavlja se taloženje psamitsko-pelitnih klastičnih naslaga u prostoru litorala. Tek povremeno je takvo taloženje bilo prekinuto većim donosom krupnozrnatog karbonatnog materijala nastalog trošenjem priobalnih vapneničkih grebena. Zbog litološke identičnosti i relativno malih debljina nije moguće odijeliti vršni dio badenskih i sarmatskih sedimente, pa oni predstavljaju jedinstvenu cjelinu koju je čak teško razlikovati od krovinskih taložina donjega panona.

U **donjem panonu** taložna sredina je i nadalje plitka te je nastavljeno njezino zapunjavanje. Preostaju uglavnom zaštićeni plićaci, brakični prostori (VRBANAC, 1996; RÖGL, 1996, 1998) u kojima se u međusobnoj izmjeni talože tanji slojevi *glinovitog vapnenca*, *kalcitnog*, *siltitnog* ili *pjeskovitog laporanog*, čistog *lapora* te ponekad *pješčenjaka*. Takve sekvencije znadu se ponoviti nekoliko puta čineći serije *ritmitita*. Dominira karbonatni materijal čiji izvor predstavljaju algalni grebeni. Mjestimice dijelovi paleoreljefa izviruju iznad površine vode i predstavljaju izvor siliciklastičnog materijala, no puno siromašniji nego u badenu.

Današnje debljine formacije Moslavačka gora ocrtane su na izohorama na **slici 5.3.**



**Slika 5.3:** Karta debljina formacije Moslavačka gora (samo bušotinski podaci)

### 5.3.1. ČLAN MOSTI

Taj član lokalno obuhvaća eventualno **d o n j o m i o c e n s k e** sedimente koji su probušeni su kod Velike Ciglene i Patkovca. Starost je određena prema vrstama iz podrazreda **foraminifera**: *Amphistegina* sp., *Bolivina* sp., *Globigerinoides* sp., *Globigerina* sp., *Globigerina regularis* D'ORB, *Lenticulina* sp., *Marginulinopsis* sp., *Miogypsinoidea* sp., *Semivulvulina* sp. (MARKOVIĆ et al., 1990; VLAHOVIĆ et al., 1991; RAŠKAJ et al., 1996). U istim jezgrama nađeni su i ostaci **briozoa** i **mokusaka**, zelene alge iz razreda **Chlorophyta** vrsta *Botrycococcus braunii* KUTZING, zatim **gljiva** iz skupina *Myringiales*, *Sphaeriales*, *Hysteriales* i *Kredinales* te rodovi i vrste **sporomorfi** *Lycopodium sporites* (*Retitriletes*) sp., *Betulaepollenites betuloides*, *Quercopollenites robur*, *Liquidambar pollenites stigmosus*. Neki utvrđeni taksoni sporomorfi na području Paratethysa provodni su upravo za donji miocen (NAGY, 1985; PLANDEROVÁ, 1990) pa je na taj način pretpostavljena i starost.

Taloženje se najvjerojatnije odvijalo u plićoj vodenoj sredini, s velikim donosom materijala s kopna na čiju blizinu ukazuje relativno velik broj taksona sporomorfi u odnosu na dinoflagelate, velika zastupljenost lignohuminskih klasta u palinofacijesima te oksidirani ostaci većeg bilja. Spomenuta vrsta zelene alge *Botryococcus braunii* KUTZING ukazuje na plitku fotičku zonu (batimetrijska odredba), a zelene alge i dinoflagelate najčešće ukazuju na brakičnu sredinu.

**LITOLOŠKI** probušeni (eventualno donjomiocenski) sedimenti u **istočnom** dijelu uleknine su **tufitični pješčenjak, breča i brečokonglomerat**.

**B a d e n s k i i s a r m a t s k i** sedimenti probušeni su na gotovo cijelom području uleknine. Dokazani su vrstama i rodovima brojne fosilne zajednice. Iz podrazreda **foraminifera** pronađene su brojne **bentičke** vrste karakteristične za plitkomorsku sredinu: *Amphistegina* sp., *Amphistegina lessonii* D'ORB, *Bolivina* sp., *Cibicides* sp., *Cibicides uvigerianus* D'ORB, *Elphidium* sp., *Elphidium crispum* LINNE, *Elphidium macellum* FICHT & MOLL, *Gypsina* sp., *Heterolepa horidiugeri* BRADY, *Heterostegina* sp., *Lenticulina cultrata* MONT., *Lenticulina* sp., *Melanis* sp., *Melanis soldani* D'ORB, *Miliolidae* sp., *Uvigerina* sp., *Textularia* sp. Nađene su sljedeće **planktonske** vrste: *Globigerina bulloides* D'ORB, *Globigerina concina* REUSS, *Globigerina nephenthes* TODD, *Globigerina praebulloides* BLOW, *Globigerina* sp., *Globigerinoides trilobus* REUSS, *Globigerinoides irregularis* LE ROY, *Globigerinoides bisphaerium* TODD, *Globorotalia obesa* BOLLI, *Orbulina universa* D'ORB, *Orbulina bilobata* D'ORB, *Praeorbulina transitoria* BLOW, *Praeorbulina glomerosa* BLOW. Planktonski oblici su uglavnom opisani u starijim sedimentima središnjeg dijela uleknine te ukazuju na povremeni utjecaj otvorenog mora. Iz razreda **Lamellibranchiata (školjkaša)** spomenuti su rodovi *Pecten* i *Amusium*. Ustanovljene vrste i rodovi **crvenih algi** (raz. *Rhodophyta*, fam. *Corallinaceae*) *Lithotamnum* sp. i *Lithophyllum* sp. su indikator pliće morske sredine. Opisana je i vrsta **zelene alge** *Botryococcus braunii* KUTZING koja također ukazuje na plitku, fotičku zonu. Od drugih fosila češći su bili **ostrakodi** za koje je krajem badena vrhunac razvoja rodova *Ammonia beccarii* LINNE i *Cibicides lobatulus* WALK&JAC koji također ukazuju na opličavanje i oslađivanje taložne sredine. Zatim su nađeni fragmenti **briozoa**, **riba**, **mekušaca** i bodlje **ježeva**. Popis fosila načinjen je prema podacima iz *dossiera bušotina* od sljedećih autora: BRODARIĆ & SOKOLOVIĆ, 1991; BRODARIĆ & SOKOLOVIĆ, 1992; GAĆEŠA, 1961; RAŠKAJ et al., 1996; SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ, 1992; SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ, 1994; SREMČEVIĆ, 1965a; TROGRILIĆ, 1993; VUGRINEC, 1963a,b.

**LITOLOŠKI** je na **zapadu** kod Farkaševca i Rovišća probušen *konglomerat* i *brečokonglomerat* koji pliće prelaze u *konglomeratični pješčenjak* i *pješčenjak* (SREMČEVIĆ, 1964; POMPER, 1992). Kod Novog Gloga je probušen *pjeskoviti vapnenac*, a pliće *laporoviti (litotamnijski) vapnenac* (\*\*\*, 1993). **Sjevernije** na poljima Lepavina i Jagnjedovac naslage započinju kvarcnim *pješčenjakom*, a

## 5. Stratigrafski pregled

slijedi djelomično raspucani, pjeskovito-kalcitni *lapor* (*DORDEVIĆ et al.*, 1988) koji kod Jagnjedovca u sarmatskim sedimentima prelazi u *vapnenac*. Kod Topolovca cijeli član predstavljen je *vapnencem* (*VUGRINEC*, 1963b). Prema jugoistoku na poljima Mosti, Hampovica i Šandrovac, najstariji sedimenti su siliciklastični *konglomerat* i *konglomeratični pješčenjak* koji pliću postupno prelaze u *pješčenjak*, zatim slijedi vrlo čvrsti *lapor*, ponekad pjeskovito-kalcitni (*LUCIĆ*, 1962; *HAJNŠEK*, 1963) i niz završava sarmatskim *vapnenačkim pješčenjakom*. Kod Šandrovca je povećan udjel kalcitne komponente. U **središnjem dijelu** na polju Galovac-Pavljani te kod Narte i Korenova taloženje započinje *brečom*, *brečokonglomeratom* i *konglomeratom* s dominacijom siliciklasta (*GAČEŠA*, 1963b; *GJUKIĆ & GENZIĆ*, 1993a,b; *SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ*, 1992, 1994; *KORDIĆ et al.*, 1993a,b). Na **istoku** su kod Velike Ciglene i Patkovca taloženi dubljevodni sedimenti te su *breča* i *brečokonglomerat* mjestimice proslojeni *siltitom* s organskom tvari (*ŠIKIĆ et al.*, 1996), a pliću dolazi *krupnozrnni pješčenjak* koji postupno prelazi u *lapor* i *glinovito-laporoviti vapnenac*. Kod Letičana najstarije naslage su predstavljene vrlo tvrdim *kalcitnim laporom*, zatim se izmjenjuje sa siliciklastičnim i sitnozrnatim *pješčenjakom* u kojem su pronađeni tragovi nafte, a slijed završava s *kalcitnim laporom* (*DRAGIČEVIĆ*, 1974). Na **sjeveroistoku** uleknine, kod Sedlarice i Visa najstarije taložine predstavljene su siliciklastičnom *brečom* dok je vezivo uglavnom kalcitno. Kod Cremušine i Gakova određen je *lapor*, mjestimice pjeskovito-kalcitni (*RAŠKOVIĆ*, 1974; *VUGRINEC*, 1963a). Na **istoku** kod Grubišnog polja i Velike Barne taloženje započinje *konglomeratičnim pješčenjakom*, pretežno siliciklastičnim. Slijedi *kalcitni lapor* i *lapor*, povremeno proslojen tankim *pješčenjakom*. Prema **jugoistoku** kod Dežanovca i Ciglenice (*SREMČEVIĆ*, 1965b; *VICAN*, 1993) najstariji su *konglomerat* i *breča* s pretežno karbonatnim vezivom, slijedi krupno do srednjozrnni *pješčenjak* te *siltit*. Kod Pavlovca, Uljanika i Velike Trnovitice slijed završava *vapnencem* (*FILJAK*, 1956; *SREMČEVIĆ*, 1965; *VUKADINOVIĆ*, 1994). U sarmatu na cijelom području dolazi *kalcitni lapor*.

### 5.3.2. LAPOR KRIŽEVCI

Starost toga člana je donjopanonska. Te su naslage nazvane još i **Croatica-naslagama** prema provodnom fosilnom školjkašu *Radix croatica*. Na nekim mjestima unutar uleknine taložine toga člana nisu posebno izdvojene, ali iz dostupnih podataka i analiziranih paleogeografskih odnosa može se ustvrditi kako su te naslage istaložene na cijelom području. Litološki se radi najčešće o *laporu* i *vapnencu* s međusobnim prijelazima. Ponegdje su te naslage nazvane *bijelim laporom* iako se litološki radi o *glinovitom vapnencu* niskog stupnja litifikacije (*TIŠLJAR*, 1994). Generalno se nastavlja taloženje sličnih laporovito-vapnenačkih naslaga kojima je obilježen i najmlađi dio člana Mosti. Ti sedimenti dobar su izolator za starija ležišta na poljima Letičani i Galovac-Pavljani.

Fosilni sadržaj bio je vrlo oskudan. Uglavnom su izdvojeni rijetki nalazi **ostrakoda** koji upućuju na brakičnu sredinu.

Na **zapadu i sjeverozapadu** u buštinama je najčešće determiniran *kalcitni lapor* (*HAJNŠEK*, 1963; *JURKOVIĆ*, 1962, *POMPER*, 1992; \*\*\*, 1993). Na **sjeveru** kod Jagnjedovca to je *pjeskovito-kalcitni lapor* (*GAČEŠA*, 1961), a na Šandrovcu se radi se o izmjeni tvrdog *lavora* te čvrsto vezanog siltitnog do laporovitog *pješčenjaka*. U **središnjem dijelu** kod Galovac-Pavljana istaložen je *kalcitni lapor* ili *glinoviti vapnenac*, slijedi *lapor* te izmjena sa srednjozrnatim *pješčenjakom* (*GJUKIĆ & GENZIĆ*, 1993a,b; *SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ*, 1992, 1994; *KORDIĆ et al.*, 1993a,b). Kod Narte dolaze *lapor* i *kalcitni lapor* (*GAČEŠA*, 1963). Na polju Letičani radi se o izmjeni *pješčenjaka* i *lavora* (*DRAGIČEVIĆ*, 1974). U **sjeveroistočnom i istočnom dijelu** (Cremušina, Sedlarica, Vis, Gakovo, Grubišno polje i Velika Barna) donjopanonske naslage su rijetko zasebno izdvojene u *dossierima* bušotina. Općenito je uočeno kako se radi o *lavoru*, djelom *pjeskovitom* ili proslojenom *pješčenjakom*. Na **jugu** (Pavlovac, Velika Trnovitica, Ciglenica) probušen je *kalcitni lapor* (*SREMČEVIĆ*, 1965a,b; *VUKADINOVIĆ*, 1994). Samo je kod

## 5. Stratigrafski pregled

Dežanovca istaložen mjestimice konglomeratični *pješčenjak* (VICAN, 1993), dok je kod Uljanika prepostavljena diskordancija.

### 5.4. GORNJI PANON - FM. IVANIĆ-GRAD

Sljedeća mlađa litostratigrafska jedinica ranga formacije izdvojena u dravskoj potonini imenovana je Ivanić-Grad. U starijim bušotinama ti sedimenti često su označeni kao **Banatica-naslage** prema karakterističnom fosilnom školjkašu *Congeria banatica*. Vrijeme taloženja približno odgovara gornjem panonu. Granicu prema formaciji Moslavačka gora u podini predstavlja elektrokarotažni marker Rs5, a prema formaciji Kloštar-Ivanić u krovini elektrokarotažni marker Z'. Formacija započinje **lipovačkim laporom** (Lipovac lapor prema ŠIMONU, 1968), a nastavlja se **zagrebačkim članom** (Zagreb član; ŠIMON, 1968) ili njegovim bočnim ekvivalentom **okolskim pješčenjacima** (Okoli pješčenjaci; ŠIMON, 1968).

Prema VRBANCU (1996) u vrijeme gornjeg panona područja Panonskog bazenskog sustava u kojima se odvijalo taloženje prekrivala je slatka voda različite dubine. Takav opis za područje naših potonina potvrđuje i RÖGL (1996, 1998). Pronađeni fosilni ostaci bili su oskudni, slabo očuvani i uglavnom bez provodnih oblika, pa je na mnogim mjestima (npr. Jagnjedovac, Hampovica) bilo teško odvojiti pojedine članove te odrediti granicu posebno prema formaciji Moslavačka gora, odnosno križevačkom članu koji je isto siromašan fosilnim sadržajem. Ipak je određeno nekoliko vrsta bentičkih i planktonskih foraminifera na temelju kojih su određeni paleoekološki uvjeti (SOKAČ, 1998). Gornjopanonska starost određena je uglavnom na temelju rodova ostrakoda, silikoplacentina i foraminifera. Iz razreda ***Crustacea* (rakova)**, reda ***Ostracoda*** određeni su rodovi *Hemicytheria* sp. i *Cypridea cf. pannonica* (MEHES). Iz podrazreda ***Testaceai***, odnosno pripadajućeg roda ***Silicoplacentina*** utvrđene su vrste: *Silicoplacentina majzoni* KOWARY, *Silicoplacentina hungarica* KOVARY i *Silicoplacentina inflata* KOWARY. Također i dva roda **foraminifera**: *Globigerina* sp., *Candona* sp. Fosilni sastav određen je prema podacima iz *dossiera* bušotina od sljedećih autora: HAJNŠEK, 1963; SREMČEVIĆ, 1965a,b; VLAHOVIĆ et al., 1991; TROGRLIĆ, 1993; TADEJ et al., 1996. Ukazao je na uglavnom plitku i brakičnu vodenu sredinu.

Središnji dijelovi uleknine ponovno su izronili kao kopno pa npr. na strukturi Pavljani nedostaje lipovački lapor. U drugim dijelovima uleknine nastavljena je neprekinuta sedimentacija kroz cijeli gornji panon.

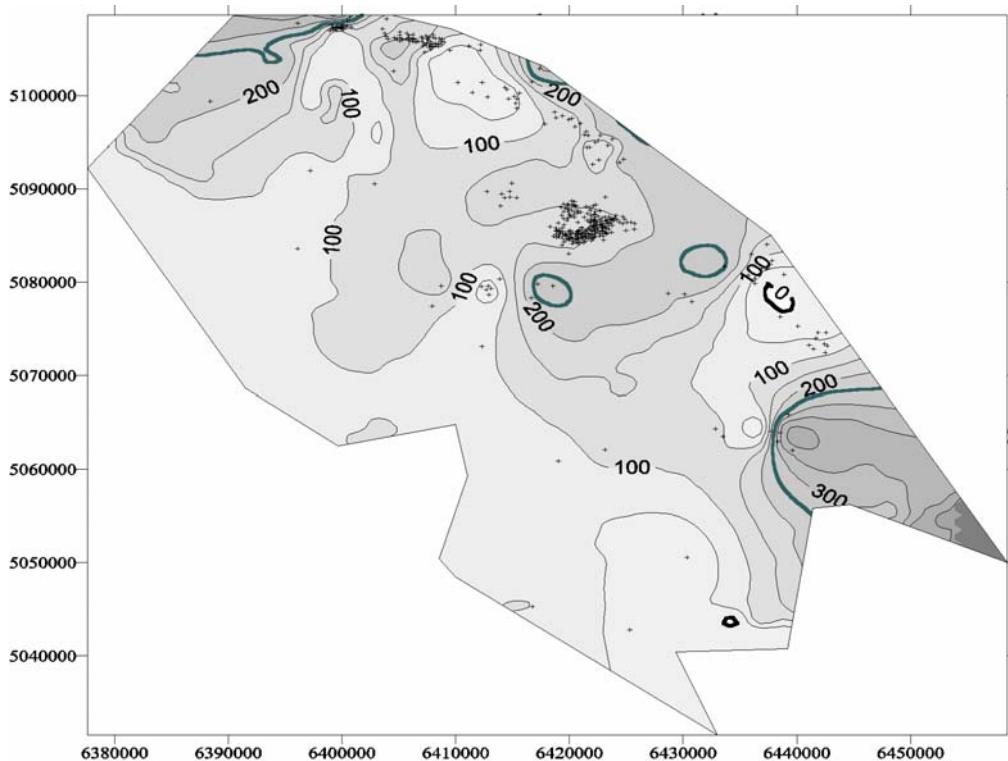
Općenito, **lipovački lapor** je sive do smeđe boje, različite tvrdoće, a ponekad *kalcitni* ili *pjeskoviti*. Mlađi **zagrebački član** vrlo je raznolikog sastava, no češći su *lapor* ili *pjeskoviti lapor*, povremeno u izmjeni s *pješčenjakom* ili *laporovitim pješčenjakom*. Njihov bočni ekvivalent **okolski pješčenjaci** pretežno su izgrađeni od sitnozrnatog, dobrovezanog *pješčenjaka*.

#### 5.4.1. LAPOR LIPOVAC

To je najstariji član fm. Ivanić-Grad. U **zapadnom** dijelu uleknine (Farkaševac, Novi Glog, Rovišće, Križevci) predstavljen je *kalcitnim laporom* (JURKOVIĆ, 1962; SREMČEVIĆ, 1964; POMPER, 1992; \*\*\*, 1993). **Sjevernije** kod Lepavine, Mostija, Hampovice i Šandrovca to je i dalje *kalcitni lapor*, a samo kod Jagnjedovca radi se o *pjeskovitom laporu* s proslojcima *pješčenjaka* (GAČEŠA, 1961; HAJNŠEK, 1963; ĐORĐEVIC et al., 1988). U **središnjem i istočnom** dijelu uleknine na poljima Galovac-Pavljani i Letičani te kod Velike Ciglene i Patkovca probušen je *lapor* i *kalcitno-glinoviti lapor*. Tek na Letičanima ima i proslojaka sitnozrnatog *pješčenjaka* s tragovima nafte (DRAGIČEVIĆ, 1974). Na **sjeveroistoku** (Sedlarica, Vis, Gakovo, Cremušina) probušen je *lapor*, tek kod Visa malo pjeskovit (VUGRINEC, 1963a; PERKOVIĆ, 1974). Prema **jugoistoku** kod Grubišnog polja određeni su *laporovita glina* i *glinoviti lapor* (TROGRLIĆ, 1993). Na bliskoj Velikoj Barni to je *kalcitni lapor* i *laporoviti vapnenac* te *siltna glina*. Na **jugu** kod Velike

### 5. Stratigrafski pregled

Trnovitice, Pavlovca i Ciglenice (SREMČEVIĆ, 1965a,b; VUKADINOVIC, 1994) radi se o pjeskovitom laporu. Dalje kod Dežanovca (VICAN, 1993) i Uljanika (FILJAK, 1956) sedimenti toga člana ne mogu se sa sigurnošću izdvojiti i najvjerojatnije su vrlo malih debljina. Debljine formacije Ivanić-Grad prikazane su na **slici 5.4.**



**Slika 5.4:** Karta debljina formacije Ivanić-Grad (samo bušotinski podaci)

#### **5.4.2. ČLAN ZAGREB I PJEŠČENJACI OKOLI**

Slijedi mlađi **zagrebački član** koji je ponegdje razvijen samo u laporovitom facijesu pa se tada može imenovati i zagrebačkim laporom. Na **zapadu** (Farkaševac, Rovišće, Novi Glog) je to upravo *lapor*, a u pličim dijelovima *glina* (Križevci) (JURKOVIĆ, 1962; \*\*\*, 1993). Na **sjeveru** kod Lepavine, Mostija i Hampovice to je *kalcitni i glinoviti lapor*. Kod Jagnjedovca i Šandrovca radi se o izmjeni *pjeskovitog laporanog pješčenjaka* i *laporovitog pješčenjaka*. U **središnjem dijelu** uleknine (Galovac-Pavljani, Korenovo, Patkovac, Letičani) član je sastavljen od izmjene i različitih udjela *pješčenjaka* i *lapora*, *laporovitog pješčenjaka* i *pjeskovitog laporanog pješčenjaka*. Čisti *lapor* probušen je kod Narte, kao i na **sjeveroistoku** kod Cremušine i Gakova te na **jugoistoku** kod Velike Barne. Tek kod Grubišnog polja utvrđena je izmjena *sitnozrnatog pješčenjaka*, *siltita* i *glinovitog laporanog pješčenjaka*. Na **jugu** (Ciglenica, Velika Trnovitica, Dežanovec, Uljanik) dominira *lapor* i *pjeskoviti lapor*, a tek mjestimice prelazi u *laporoviti pješčenjak*.

**Okolski pješčenjaci** bočni su ekvivalent zagrebačkog člana. Probušeni su na **sjeveroistoku** kod Visa gdje dominira *pješčenjak* s povremenim izmjenama *lapora*. Na **istoku** kod Velike Ciglene radi se o *sitnozrnatom pješčenjaku*.

#### **5.5. DONJI PONT - FM. KLOŠTAR-IVANIĆ**

Vrijeme taloženja formacije **Kloštar - Ivanić** približno odgovara **donjem pontu**. Ti sedimenti još se često imenuju **Abichi-naslagama** prema karakterističnom fosilnom školjkašu *Paradacna abichi*. Najstarije naslage pripadaju **lepsičkom laporu** (Lepsički lapor; ŠIMON, 1968), a zatim slijede **poljanski pješčenjaci** (Poljana pješčenjaci; ŠIMON, 1968), **graberski lapor**

##### 5. Stratigrafski pregled

(Graberski lapor; ŠIMON, 1968), **pepelanski pješčenjaci** (Pepelana pješčenjaci; ŠIMON, 1968) i **cabunski lapor** (Cabunski lapor; ŠIMON, 1968). Kod izrazite dominacije nepropusnih sedimenata svi ti članovi prelaze u jedan nazvan **lapor Kloštar-Ivanić** (Kloštar-Ivanić lapor; ŠIMON, 1968). Donja granica, prema formaciji Ivanić-Grad, označena je elektrokaraotažnim markerom Z', dok elektrokaraotažni marker Δ u vršnom dijelu cabunskog laporanja predstavlja približnu granicu s formacijom Bilogora.

Litološki sastav je predstavljen izmjenom različitih tipova *pješčenjaka i laporanja*. Laporoviti članovi pretežito su litološki homogeni, a izuzetak je povećanje pješčane komponente pri vrhu lepsičkog laporanja. U najmlađem članu, cabunskom laporu, prevladava glinovita komponenta. Pješčenjački članovi nisu homogeni i često sadrže proslojke, ponegdje i značajnih debljinu, laporanja. To se posebno ističe u poljanskim pješčenjacima. Pješčenjak gotovo potpuno nestaje prema jugu i jugoistoku uleknine.

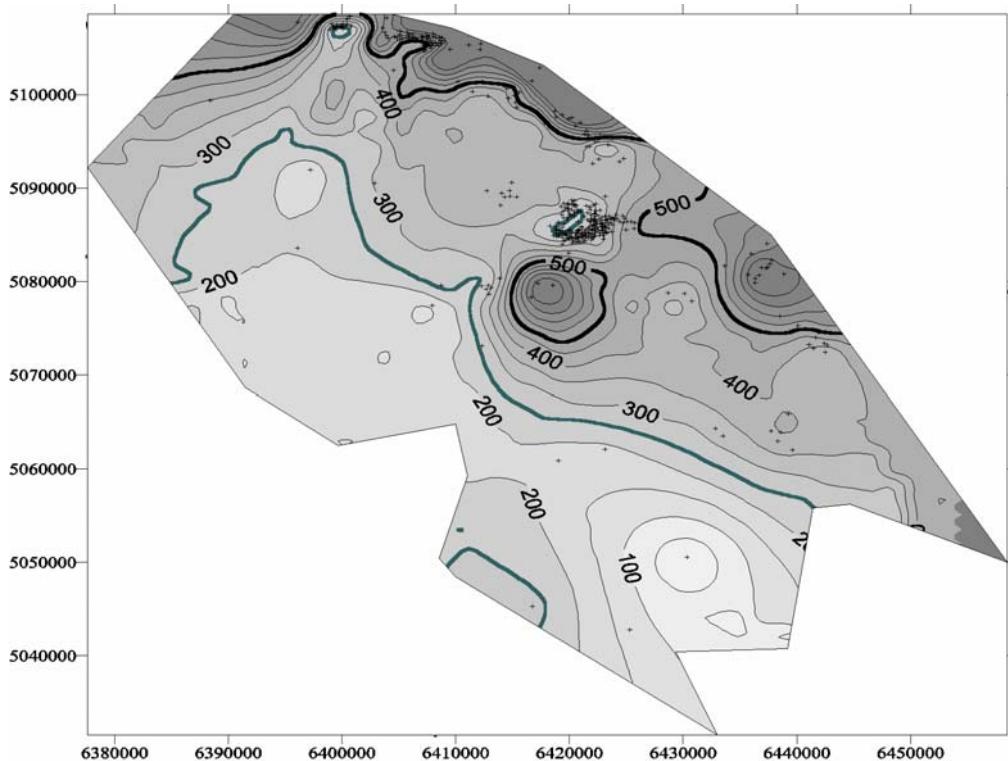
Značajan dio propusnih sedimenata nalazi se u najdubljim dijelovima prostora. Takve taložine moguće su tamo biti donešene turbiditnim strujama. Dio sigurno potječe s uzdignutih područja. Kako je glavnina pješčanog detritusa donešena mutnim tokovima postojao je neki snažni izvor takvog materijala. Takav prostor, koji je u pontu "hranio" prostore naših potonina materijalom, bile su prema ROYDEN (1988) Istočne Alpe. Transport na udaljenost od nekoliko stotina kilometara nije problem za turbiditne struje velike gustoće koje se mogu širiti i nekoliko tisuća kilometara (TIŠLJAR, 1994; VRBANAC, 1996). U razdoblju između aktivnosti dviju turbiditnih struja taloženi su normalni dubljevodni bazenski pelitni sedimenti, uglavnom lapor.

Gotovo svugdje su zabilježeni svi članovi iz čega se vidi kako je cijeli prostor u vrijeme donjeg ponta bio prekriven vodom. VRBANAC (1996) navodi da se u donjem pontu stvara veza između Panonskog i Dacijskog bazena, pa voda postaje kaspibrakična, a fauna slična. RÖGL (1996, 1998) taložnu sredinu u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskog sustava opisuje kao slatkovodnu.

Utvrđena mikro- i makrofossilna zajednica sadrži veći broj vrsta i rodova, no na nekim lokalitetima bila je oskudnih količina i loše očuvana pa je tamo bilo teško odrediti granice formacije posebno prema gornjem panonu. Fosili ukazuju na nastavak oslađivanja prema mlađim naslagama, odnosno taložna sredina prelazi iz brakične u slatkovodnu. Donjopontska starost određena je uglavnom prema nalazu silikoplacentina i školjke *Paradacna abichi*.

U laporovito-pješčenjačkim sedimentima formacije Kloštar-Ivanić pobliže su određene vrste roda **Silicoplacentina**: *Silicoplacentina majzoni* KOWARY, *S. hungarica* KOWARY i *S. inflata* KOWARY. Uz njih opisana je sljedeća fauna **foraminifera**, **Lamellibranchiata (školjakaša)** i **Gastropoda (puževa)**: *Didacna cf. otiophora* (BRUSSINA), *Planorbis sp.*, *Limnocardium sp.*, *Paradacna sp.*, *Congeria sp.*, *Bythocypris sp.*, *Congeria cf. zagrabiensis* BRUSINA, *Paradacna cf. abichi* (R. HÖRNES), *Limnocardium cf. asperocastatum* GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, *Paradacna cf. abichiformis* (G.-K.), *Cyprideis lottoralis* BRADY, *Cypris sp.*, *Cytheridea sp.*, *Buthocypris sp.*, *Loxoconcha sp.*, *Cytherina abscissa*, *Congeria zagrabiensis* BRUSINA, *Congeria digitifera* ANDRUSOV, *C. subrhomboidea*, *Valenciennesia cf. boechhi*, *Leptocythere sp.*, *Didacna otiophora* BRUSINA, *Cyprideis sp.*, *Cardium (Didacna) otiophora* BRUSINA, *Radix kobelti*. Uz nabrojanje vrste pronađene su druge krhotine ostrakoda, riblje ljuške i zubi, ostaci školjaka i puževa. Fosili su izdvojeni iz sljedećih izvještaja: FILJAK, 1956; GAĆEŠA, 1961; LUCIĆ, 1962; HAJNŠEK, 1963; RADOJEVIĆ, 1963; SREMČEVIĆ, 1964, 1965a; VLAHOVIĆ et al., 1991; SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ, 1992, 1994; GJUKIĆ & GENZIĆ, 1993a,b; RAŠKAJ et al., 1996; TADEJ et al., 1996.

Unutar *dossiera* bušotina rijetko su zasebno opisivani članovi formacije Kloštar-Ivanić. Debljine formacije Kloštar-Ivanić ocrteane su na karti na **slici 5.5**.



**Slika 5.5:** Karta debljina formacije Kloštar-Ivanić (samo bušotinski podaci)

### 5.5.1. LAPOR LEPSIĆ

Najstariji član je lepsički lapor debljine 10-30 metara. Veće debljine od 60 m povezane su samo s područjem Velike Ciglene i Patkovca. Svugdje se radi o srednjotvrdom (ovisno o kompakciji) laporu, ponekad u gornjem dijelu mjestimice pjeskovitom.

### 5.5.2. PJEŠČENJACI POLJANA

Pješčenjak je često laporovit, a pojavljuju se i proslojci čistog laporanog. Veći propusni intervali javljaju se vrlo rijetko. Na polju Galovac-Pavljani u donjem dijelu člana prevladava lapor (*KORDIĆ et al., 1993a*). Na bliskim Letičanama je u donjem dijelu pješčenjak (*DRAGIČEVIĆ, 1974; BALTIC, 1979*). Kod Visa (*PERKOVIĆ, 1974*) prvih 108 metara ovoga člana razvijeno je kao čisti pješčenjak, dok preostalih 260 m predstavlja izmjenu pješčenjaka i laporanog. Uz lokalitet Vis najveće debljine su povezane s Velikom Ciglenom i Patkovcom gdje iznose oko 300 m (*RUKAVINA et al., 1991; ŠIKIĆ et al., 1996*), a litološki se ponovno radi o izmjeni pješčenjaka i laporanog različitog stupnja kompakcije.

### 5.5.3. LAPOR GRABERJE

Sljedeći laporoviti dio člana imenovan je graberskim laporom. Debljine su manje nego li kod pješčenjačkih članova. Najmanje su u **središtu** uleknine s 16,5 m na polju Galovac-Pavljani (*GJUKIĆ & GENZIĆ, 1993a,b*) pa do 86 m na Letičanima (*BALTIC, 1979*). Litološki je to mehanički do srednjotvrdi *glinoviti lapor*, s mjestimičnim proslojcima pješčenjaka determiniranim kod Visa (*PERKOVIĆ, 1974*), Cremušine (*RAŠKOVIĆ, 1974*), Sedlarice (*RUBINIĆ, 1949a,b,c*), Bačkovicu (*TROGRLIĆ, 2000*), Gakova (*SAMARDŽIJA, 1977; VUGRINEC, 1963a*), Novoga Gloga (\*\*\*, 1993) te Letičana (*DRAGIČEVIĆ, 1974; BALTIC, 1979*).

## 5. Stratigrafski pregled

U **istočnom** i najdubljem dijelu uleknine kod Velike Ciglene i Patkovca naslage su litološki heterogenije, predstavljene izmjenom *lavora* i *pješčenjaka*, te imenovane kao **graberski član** (MARKOVIĆ *et al.*, 1990; ŠIKIĆ *et al.*, 1996).

### **5.5.4. PJEŠČENJACI PEPELANA**

Debljina toga člana ponovno je veća i iznosi od 50 m na polju Galovac-Pavljani do preko 300 m kod Velike Ciglene (SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ, 1994; RUKAVINA *et al.*, 1991). Litološki to je uglavnom sitnozrnati, kvarcno-tinjčasti *pješčenjak*, slabo do srednje vezan. Česti su proslojci *glinovitog lavora* i *lavorovite gline* čiji udjel može povremeno doseći od 50 do čak 90 %. Zbog heterogenosti teško je generalno izdvajiti dijelove s dobrim rezervoarskim svojstvima. Na primjer na polju Galovac-Pavljani prevladava *glinoviti lapor*, a na bliskoj Narti probušen je čisti *lapor*. Kod Visa *pješčenjak* je vezan za mlađi, a kod Cremušine za stariji dio člana.

### **5.5.5. LAPOR CABUNA**

To je završni član formacije Kloštar-Ivanić. Debljine je od 20-tak metara na polju Galovac-Pavljani do 60-tak m na Letičanima. U pličim dijelovima radi se o pretežito *lavorovitoj glini*, dok dublje prelazi u mekani *glinoviti lapor*. Rijetki su proslojci sitnozrnatog, slabo vezanog *pješčenjaka*.

### **5.5.6. LAPOR KLOŠTAR-IVANIĆ**

Na *jugoistoku* i *jugu* uleknine često dolazi do potpune dominacije nepropusnih sedimenata. Zato je na tim mjestima formaciju nemoguće podijeliti na pojedine članove već je ovdje opisana kao lapor Kloštar-Ivanić. Takav facijes određen je na lokalitetima Velika Barna, Grubišno Polje, Pavlovec, Velika Trnovitica, Ciglenica i Uljanik. Također je na *zapadu* lapor Kloštar-Ivanić probušen kod Križevaca i Farkaševca. Debljina tih sedimenata varira od 80 m kod Grubišnog Polja (TROGRLIĆ, 1993) do 395 m kod Križevaca (JURKOVIĆ, 1962). Litološki *lapor*, ovisno od dubine, sadrži veće količine *gline* ili *kalcita* (SREMČEVIĆ, 1964, 1965a,b; VUKADINOVIĆ, 1994; JURKOVIĆ, 1962; TROGRLIĆ, 1993). Vrlo su rijetki tanki proslojci *pjeska*, odnosno *pješčenjaka* (SREMČEVIĆ, 1964).

## **5.6. GORNJI PONT - FM. BILOGORA**

Starost naslaga formacije Bilogora je približno gornji pont, a te taložine nazivaju se još i **Rhomboidea-naslagama** prema fosilnom školjkašu *Congeria rhomboidea*. Formacija nije podijeljena na niže jedinice (članove) zbog mnogo manje mogućnosti otkrivanja ugljikovodika te time i potrebe detaljnijeg raščlanjivanja sedimenata kao u starijim formacijama. Od sedimenata formacije Kloštar-Ivanić u podini približno je odvojena elektrokarotažnim markerom Δ, a od formacije Lonja u krovini markerom D'.

Nastavlja se taloženje sličnim mehanizmima kao i u donjem pontu, odnosno u slatkovodnom, jezerskom i deltnom okolišu (VRBANAC, 1996; RÖGL, 1996, 1998). Debljine su uglavnom veće nego li kod prethodne formacije, posebno u prostoru Bilogore što upućuje da izdizanje tog masiva tada još nije započelo.

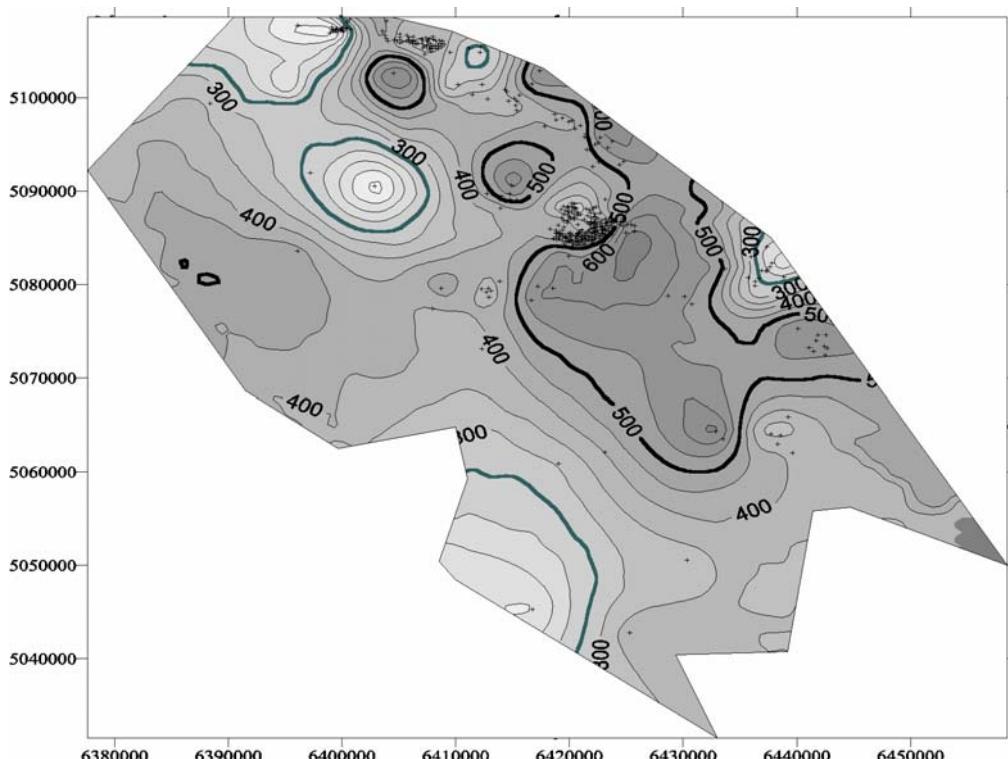
U najvećem dijelu uleknine stariji sedimenti su predstavljeni *glinovitim lavorom*, a u manjoj mjeri i slabovezanim *pješčenjakom*. Najveći stupanj litifikacije zabilježen je na **istoku**, u najdubljem dijelu uleknine kod Velike Ciglene i Patkovca. Mlađi sedimenti formacije su predstavljeni *lavorovitom glinom* i *glinom* te *pješčenjakom* i *pjeskom* uz dominaciju nepropusnih taložina. Dominiraju nepropusni sedimenti. Samo kod Cremušine odnos debljine pješčenjaka i gline je 1:1 (RAŠKOVIĆ,

##### 5. Stratigrafski pregled

1974) te kod Gakova veći od 1 (VUGRINEC, 1963a; SAMARDŽIJA, 1977). U **središnjem dijelu**, kod Narte i Korenova cijela formacija razvijena je u nepropusnom facijesu *glinovitog lapor*, *laporovite gline* i *gline*.

Opisana fauna bila je brojna vrstama, a neke od njih su bile provodne za gornji pont, odnosno fm. Bilogora. Opisani su sljedeće vrste i rodovi **Lamellibranchiata (školjkaša)**: *Cardium (Didacna) otiophorum*, *Congeria sp.*, *Congeria cf. rhomboidea*, *C. zagrabiensis*, *Dreissensia sp.*, *Limnocardium rogenhoferi* BRUSINA, *Limnocardium sp.*, *Limnocardium cf. riegeli* M. HORNES, *L. cartaceum*, *L. arcaceum*, *L. otiophorum*, *Paradacna cf. okrugici* (BRUSINA), *Paradacna sp.* Od razreda **Gastropoda (puževi)** to su: *Melanopsis cf. croatica*, *Planorbis sp.*, *Planorbis clathratus*, *Valencienesia sp.*, *Viviparus sp.* Iz razreda **Crustacea (rakovi)**, odnosno reda **Ostracoda** opisani su: *Amplocypris reticulata*, *Bythocypris sp.*, *Bythocypris sp.*, *Candonia sp. prochazhai* POKORNY, *Candonia (Linocypris) sp.*, *Candonia (Caspiolla) flectimarginata*, *Caspiocypris candida* (LIVENTAL), *Caspiocypris sp.*, *Cyprides sp.*, *Cypridea cf. pannonica* MEHES, *Cythere sttiatocostata* sp., *Cythere cf. muttituberculata* Livental, *Cythere sp.*, *Cytheridea sp.*, *Cytheromorpha sp.*, *Hemicytheria pejinovicensis*, *Leptocythere sp.*, *Linedocyparis trapezoidea* ZALANYI. Iz podrazreda **Testaceai**, odnosno pripadajućeg roda **Silicoplacentina** to su vrste: *Silicoplacentina cf. hungarica* Kövary, *Silicoplacentina majzoni* (Kovary). Pronađene su i krhotine drugih puževa i školjaka, krhotine ostrakoda, lišće bjelogorice, krhotine silikoplacentina, riblji zub, krhotine riblje kosti. Navedena fosilna zajednica nabrojana je prema: GAĆEŠA, 1961; JURKOVIĆ, 1962; LUCIĆ, 1962; HAJNŠEK, 1963; RADOJEVIĆ, 1963; SREMČEVIĆ, 1964; PERKOVIĆ, 1974; SAMARDŽIJA, 1977; BRODARIĆ & SOKOLOVIĆ, 1991; VLAHOVIĆ et al., 1991; TROGRLIĆ, 1993.

Najveće debljine su povezane s područjem Velike Ciglene i tamo prelaze 600 m. Prosječna debljina je između 300 i 400 m. Izohore formacije Bilogora prikazane su na **slici 5.6**.



*Slika 5.6: Karta debljina formacije Bilogora (samo bušotinski podaci)*

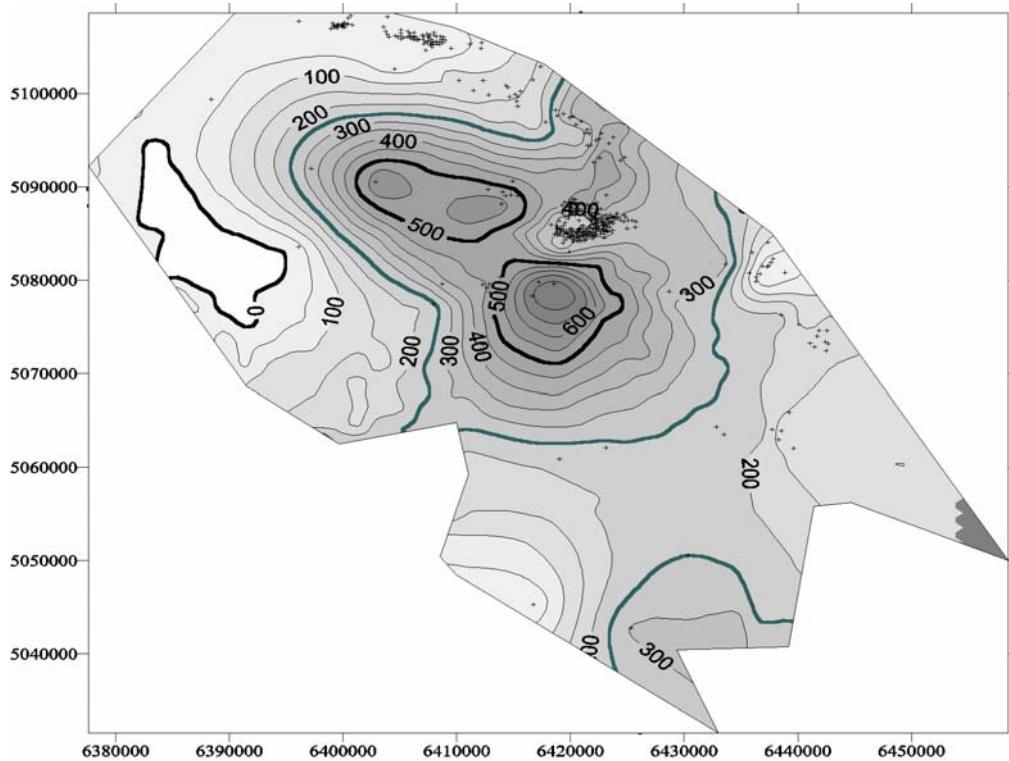
## 5.7. DACIJ, ROMANIJ, KVARTAR - FM. LONJA

Najmlađi dio naslaga pripada formaciji Lonja. U podini je formacija Bilogora, od koje je odvojena elektrokarotažnim markerom D', dok njezinu gornju granicu predstavlja današnja površina terena. Starost joj približno odgovara pliocenu (daciju i romaniju) te kvartaru.

Pliocen je razdoblje kada je prostor cijelog Panonskog bazenskog sustava, pa i bjelovarske uleknine, već podijeljen na niz slatkovodnih jezera (VRBANAC, 1996; RÖGL, 1996, 1998) koja se uglavnom u potpunosti zapunjavaju tako da se u pleistocenu taloženje nastavlja samo u fluvijalnim sredinama. Materijal donose rijeke i potoci koji progradiraju. Taloži se *pjesak i glina*, a unutar dubljih jezera i *siltit, lapor* pa i *karbonat*. Generalno se radi o jezerskom klastičnom okolišu, s taloženjem u deltama Gilbertovog tipa, odnosno sličnim mehanizmima poput onih kakve je opisao TIŠLJAR (1994). U najdubljim dijelovima kod Velike Ciglene i Patkovca radi se o *laporovitoj glini* te još kod Ciglenice o *pjeskovitom laporu*. Ostatak uleknine zapunjen je *glinom*, mjestimično *pjeskovitom* ili s proslojcima *pjeska*. Jedino u središnjem dijelu istaloženi su u izmjeni *šljunak, pjesak i glina* s proslojcima *lignita*. Generalno je moguće naići na centimetarske do metarske proslojke slabokarboniziranog, crnog *lignite* (RUBINIĆ, 1949b,c; JURKOVIĆ, 1962; SREMČEVIĆ, 1964; MARKOVIĆ et al., 1990; VUKADINOVIC, 1994; ŠIKIĆ et al., 1996; TROGRLIĆ, 2000). Stupanj konsolidacije raste s dubinom, odnosno u mlađim dijelovima to su nekonsolidirani sedimenti, a uz površinu su istaloženi holocenski *prapor, ilovača, humus, šljunak, pjesak*, a dominira *glina*.

Starost formacije na istraživanom području određena je uglavnom superpozicijski, jer je geološko praćenje bušotina najčešće započinjalo dublje od EK markera D', a zbog nezanimljivosti u pogledu otkrića ugljikovodika nisu vađene jezgre te rađena paleontološka ispitivanja. Fosilni sastav analiziran je tek kod površinskih geoloških radova, kao npr. u dolini potoka Hotovica na sjeveroistočnim obroncima Bilogore. Tamo je opisana slatkovodna, donjopaludinska makrofauna sa sljedećim vrstama *gastropoda (puževa)*: *Viviparus naumayeri-fuchsi*, *V. fuchi*, *Valvata (Baristheria) naticina*, *V. (Cincina) piscinalis*, *Melanopsis astahmeta* i *Unio sp.* (MAGDALENIĆ & NOVOSEL, 1986). Kod Visa nađeni su fragmenti *lamellibranchiata (školjkaša)* (PERKOVIĆ, 1974).

##### 5. Stratigrafski pregled



*Slika 5.7: Karta debljina formacije Lonja (samo bušotinski podaci)*

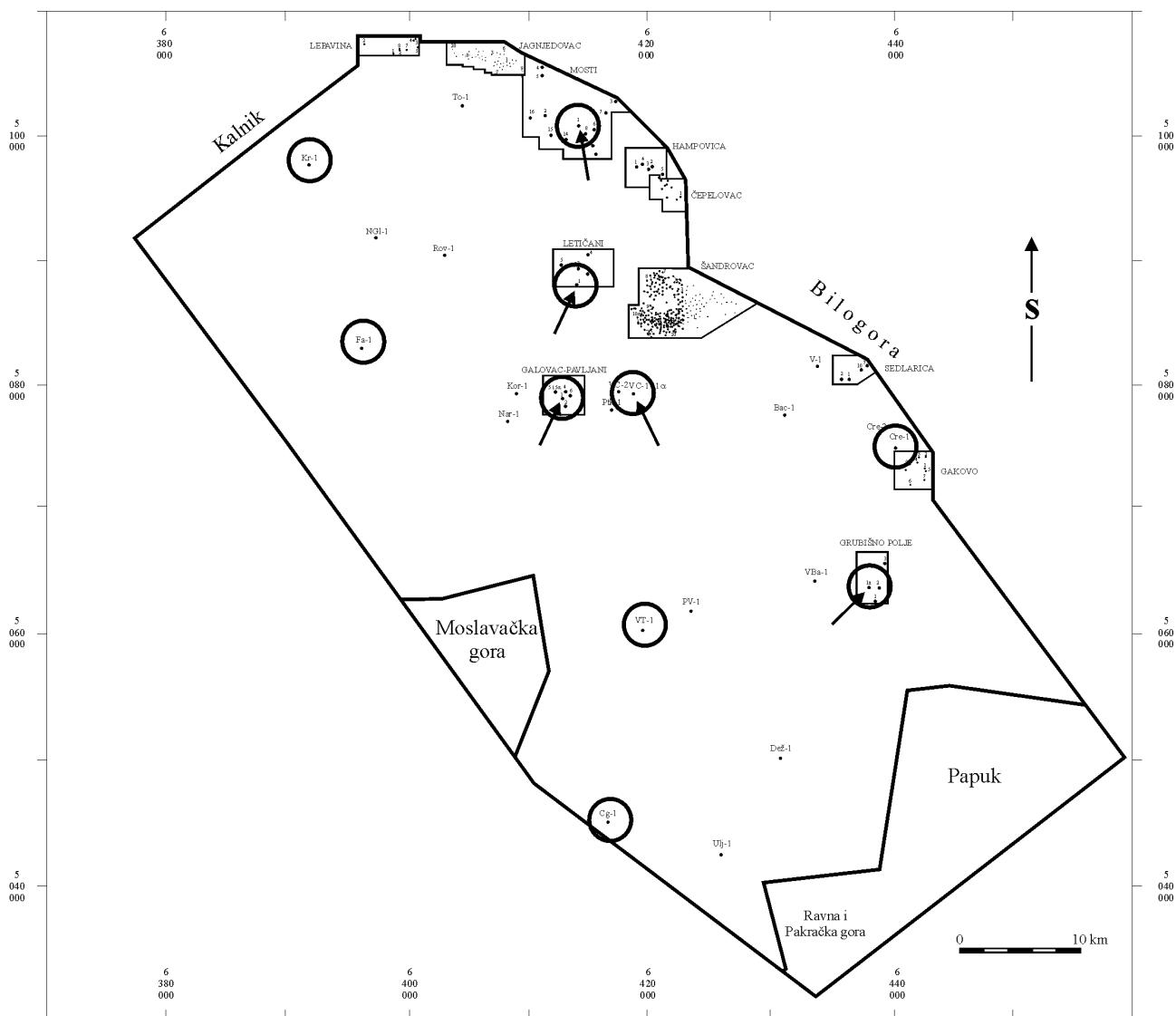
Debljina formacije Lonja kreću se od svega 10-tak metara do preko 700 m (slika 5.7). Prema bušotinskim podacima najmanje debljine izmjerene su na **sjeverozapadu, sjeveru i sjeveroistoku**, odnosno kod Farkaševca (SREMČEVIĆ, 1964), Križevaca (JURKOVIĆ, 1962), Jagnjedovca (GACEŠA, 1963), Hampovice (HAJNŠEK, 1963), Sedlarice (RUBINIĆ, 1949c). Također postoji minimum na **jugu** kod Pavlovca (SREMČEVIĆ, 1965a). Najveće debljine povezane su sa **središnjim** dijelom uleknine kod Letičana (>600 m), Patkovca (>700 m) i Velike Ciglene (>750 m) (ŠIKIĆ *et al.*, 1996; MARKOVIĆ *et al.*, 1990; RUKAVINA *et al.*, 1991).

## 5.8. KARAKTERISTIČNI STRATIGRAFSKI PROFILI

U prethodnim potpoglavlјima dan je stratigrafski prikaz bjelovarske uleknine koji je bio detaljniji za litostratigrafske jedinice koje su, na temelju dosadašnjih istraživanja i proizvodnje unutar uleknine i susjednih dijelova savske i dravske potonine, dokazani kao perpektivni za buduća istraživanja. Izabrano je nekoliko bušotina čiji zemljopisni razmještaj približno pravilno prekriva ulekninu, a kod njihova bušenja načinjena je detaljna stratigrafska i paleontološka odredba. Položaj tih bušotina prikazan je na slići 5.8, a litostratigrafski stupovi s upisanim podacima o eventualnim ležištima na slikama 5.10, 5.11, 5.12. Prateća legenda je na slići 5.9.

Redom to su sljedeće bušotine (od zapada prema jugoistoku): Farkaševac-1, Križevci-1, Mosti-1, Letičani-1, Pavljani-1, Velika Ciglena-1, Cremušina-1, Gakovo-1, Grubišno polje-1 zapad, Velika Trnovitica-1 i Ciglenica-1.

### 5. Stratigrafski pregled



*Slika 5.8: Mesta karakterističnih bušotina za koje su prikazani litostratigrafski stupovi*

Kod prikaza litostratigrafskih stupova nije svugdje postignuta ista detaljnost zbog različitog broja dostupnih podataka. Kod starijih bušotina litološki opisi bili su općenitiji, a litostratigrafska podjela načinjena samo do razine formacija.

**OPIS SIMBOLA VEZAN UZ SLIKE S KARAKTERISTIČNIM  
LITOSTRATIGRAFSKIM STUPOVIMA**

**LITOLOŠKA LEGENDA:**

	humus, šljunak, glina		konglomerat
	glina		brečokonglomerat
	pjeskovita glina		laporoviti konglomerat
	laporovita glina		vapnenac
	izmjena pjeska/pješčenjaka i gline		dolomit
	glinoviti pješčenjak		dolomitna breča
	pješčenjak		laporoviti vapnenac
	laporoviti pješčenjak		kalcitni lapor
	siltni pješčenjak		dijabaz
	izmjena pješčenjaka i lapora		paleozojski škriljavac
	lapor		gnajs
	glinoviti lapor		gabro
			gnajsno-granitni kompleks

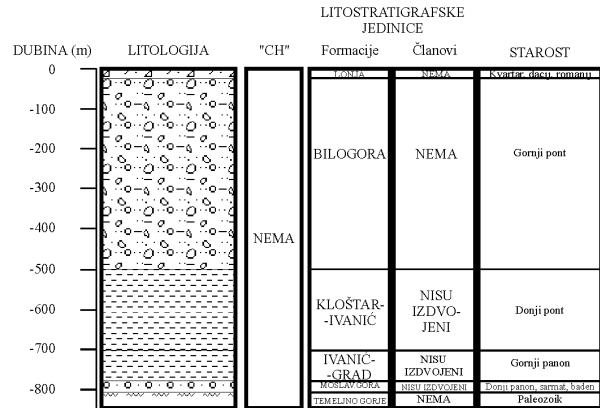
**VRSTA FLUIDA:**

	pojava nafte		proizvodnja nafte
	pojava plina		proizvodnja plina
	pojava nafte i plina		proizvodnja nafte i plina

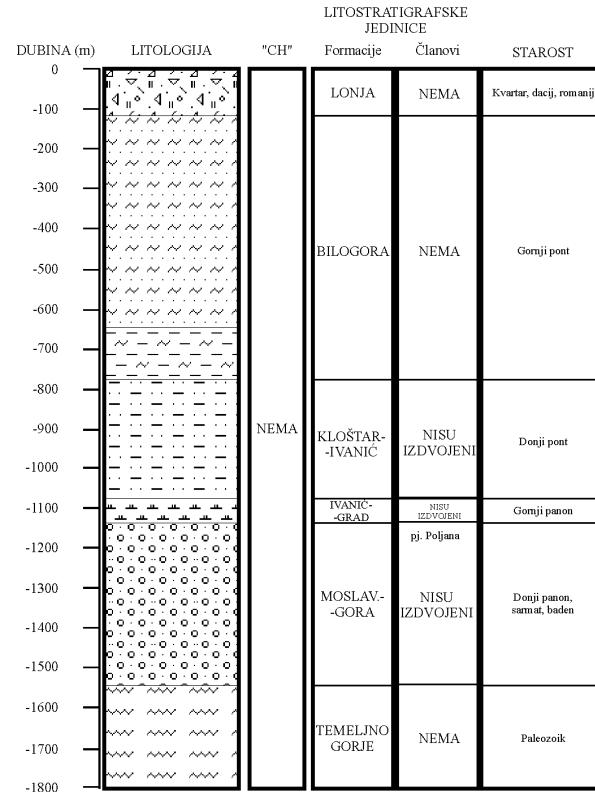
*Slika 5.9: Litološka legenda i popis pronađenih fluida za litostatigradske stupove odabranih bušotina*

## 5. Stratigrafski pregled

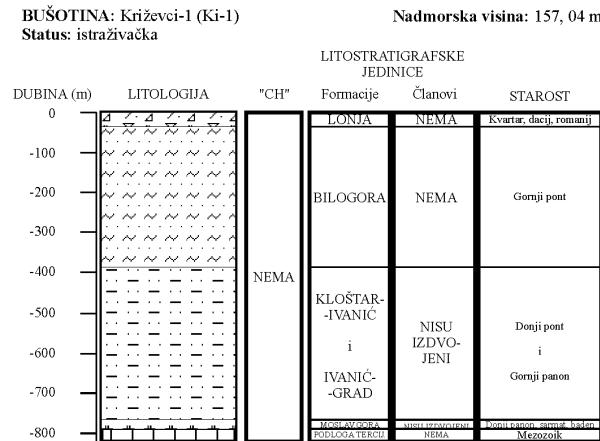
BUŠOTINA: Farkaševac-1 (Fa-1)  
Status: istraživačka



BUŠOTINA: Mosti-1 (Mo-1)  
Status: negativna

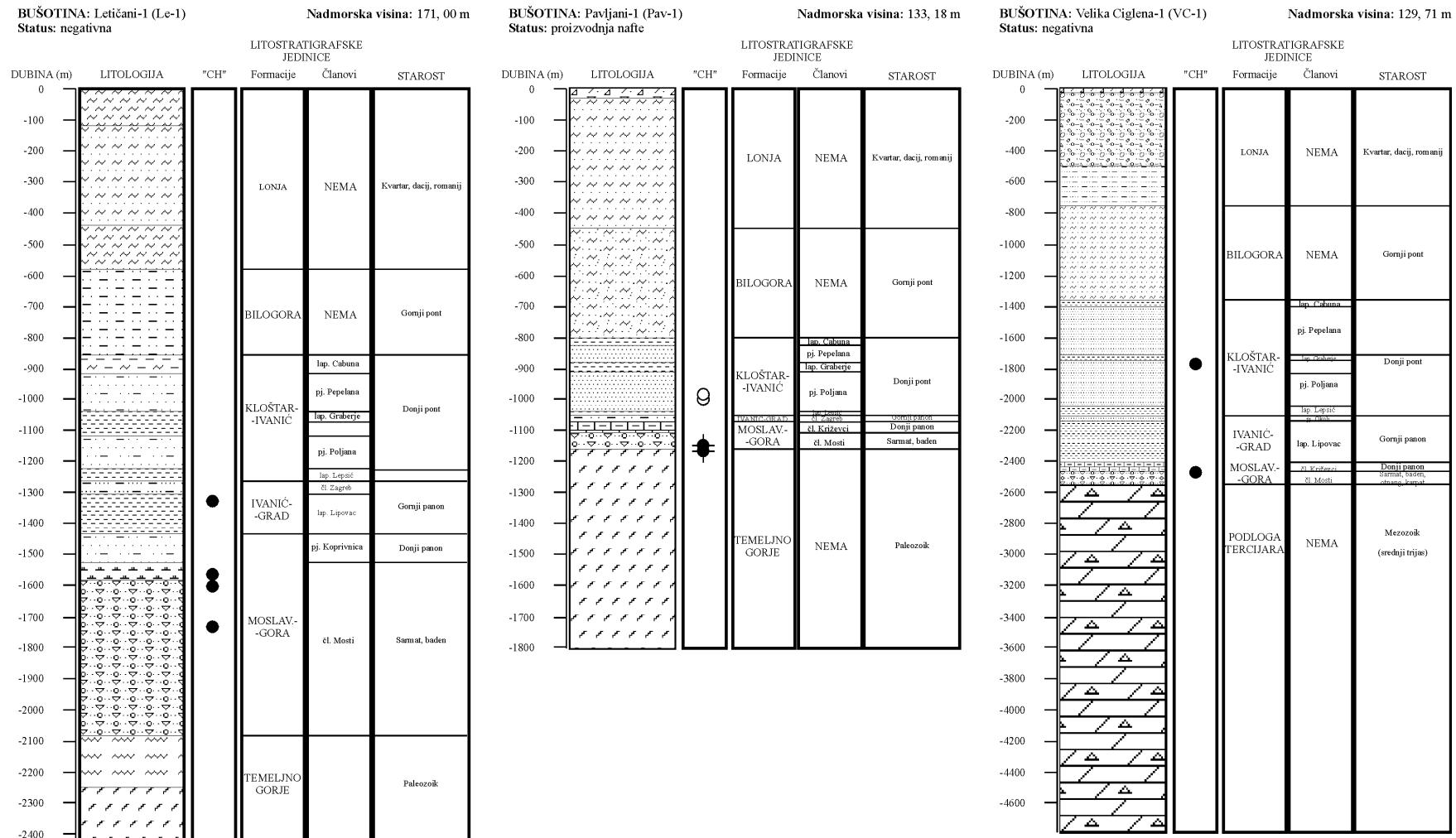


BUŠOTINA: Križevci-1 (Ki-1)  
Status: istraživačka



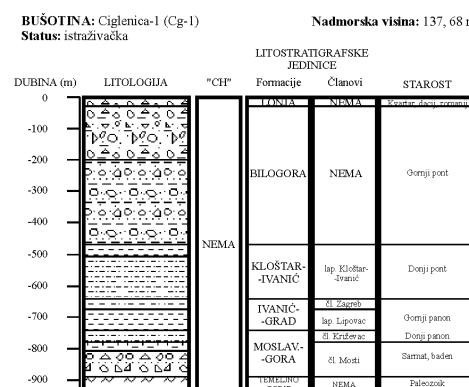
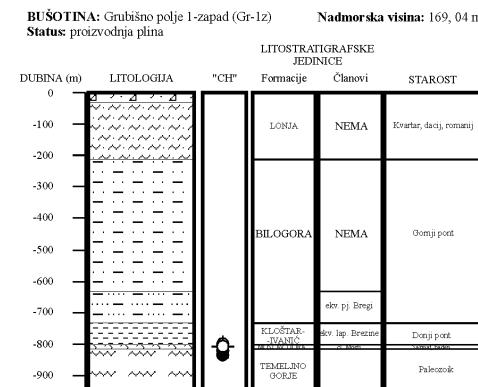
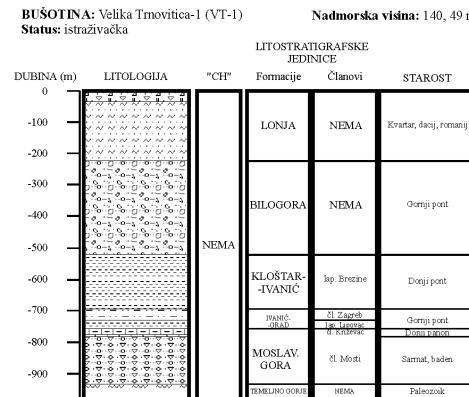
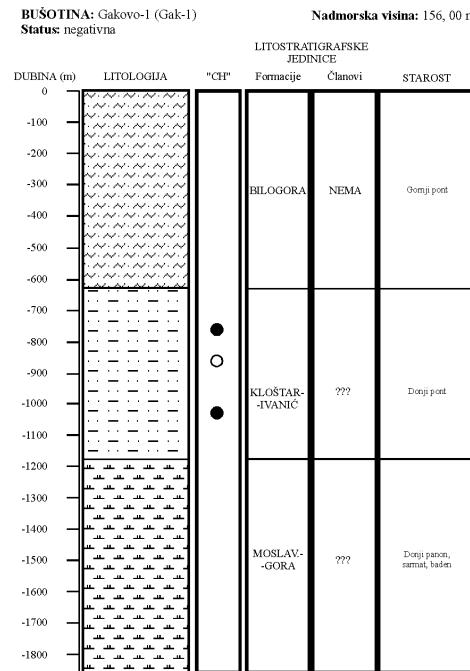
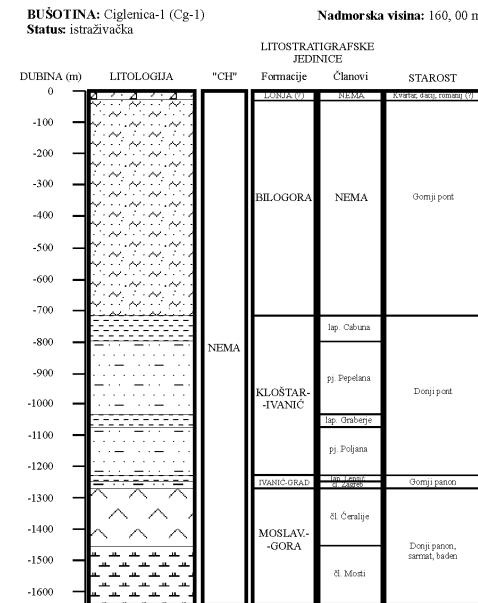
**Slika 5.10:** Litostratigrafski stupovi bušotina Fa-1, Ki-1, Mo-1 u zapadnom i sjevernom dijelu uleknine

## 5. Stratigrafski pregled



Slika 5.11: Litostratigrafski stupovi bušotina Le-1, Pav-1, VC-1 u središnjem dijelu uleknine

## 5. Stratigrafski pregled



**Slika 5.12:** Litostratigrafiski stupovi bušotina Cre-1, Gak-1, Gr-1z, VT-1, Cg-1 u istočnom, jugoistočnom i južnom dijelu uleknine

## 6. STRUKTURNI I TEKTONSKI ODNOSI

Područje bjelovarske uleknine predstavlja zasebnu geotektonsku jedinicu u naftnogeološkoj podjeli hrvatskoga dijela Panonskog bazena. Geografski i geološki to područje je danas odvojeno od ostatka dravske potonine, a najvećim dijelom je to posljedica izdizanja Bilogore pliocensko-kvartarnim pokretima. Na području od približno  $2900 \text{ km}^2$  površine, koliko uleknina prekriva, utvrđene su sve glavne vrste struktura i tektonskih pokreta koji su obilježili i druge dijelove našega dijela Panonskog bazena.

U dalnjem tekstu nabrojane su općenito vrste struktura opažene u podzemlju bjelovarske uleknine i opisan je uzrok njihova nastanka. Zatim su, na temelju strukturnih i paleostrukturalnih karata te diferencijalnih profila, opisane pojedine strukture i rasjedi te određeno vrijeme njihova nastanka i aktivnosti.

### 6.1. TEKTONSKO-STRATIGRAFSKA POVIJEST

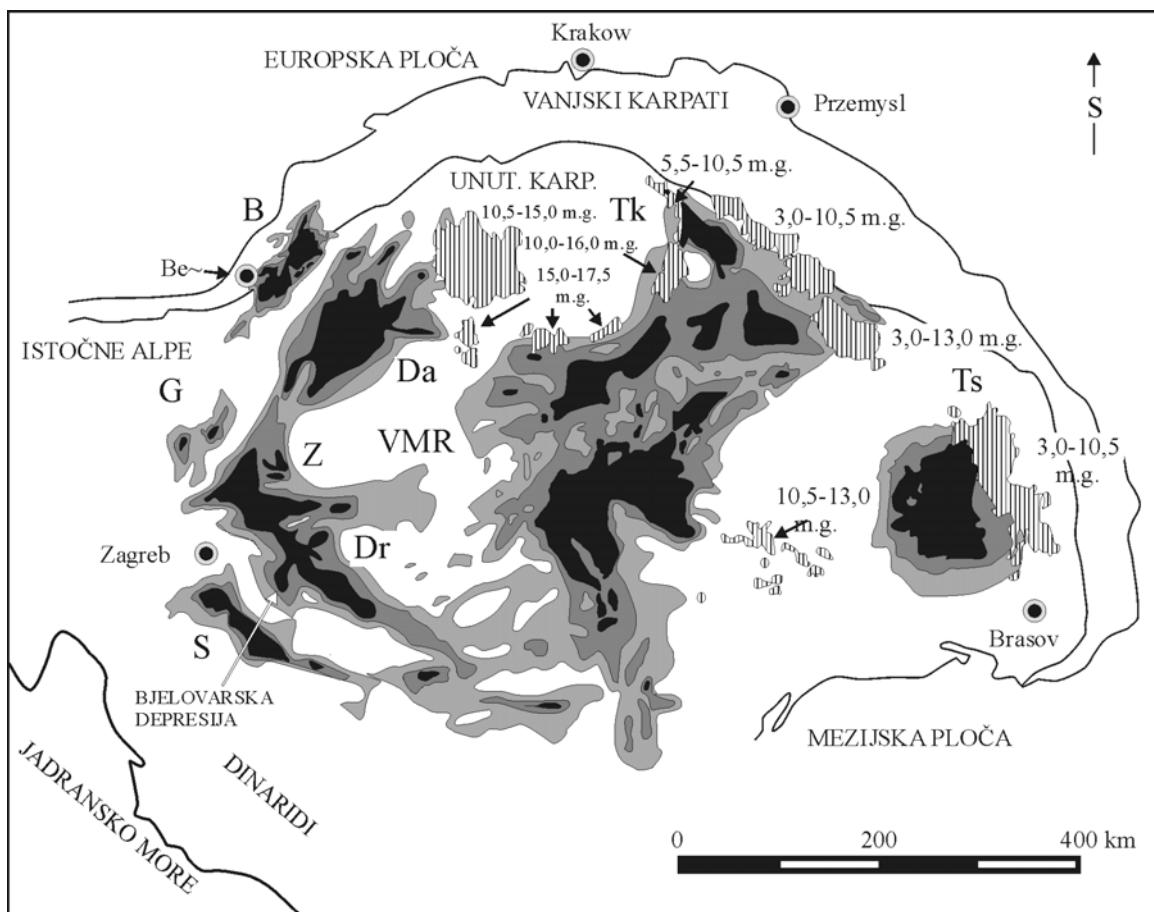
#### Panonski bazenski sustav (PBS)

Panonski bazenski sustav pripada skupini pozadinskih bazena ("back-arc basins"). Njegovo stvaranje započelo je u otnangu subdukcijom i konvergencijom *apulijске ploče* pod *Dinaride*. Tada je započelo i stvaranje njegove južne (*perijadransko-vardarskog lineamenta*) i sjeverne granice (*Vanjski Karpati*). U prostoru između njih otvorene su brojne ekstenzije uz desne i lijeve transkurentne rasjedne sustave ("dextral and sinistral strike-slips"), a posljedica je nastanak bazena, potonina i uleknina (**slika 6.1**). Danas prostor PBS-a najvećim dijelom prekriva južni rub europske ploče, a manjim dijelom dio Unutrašnjih Dinarida.

Tektonska aktivnost toga prostora (ROYDEN, 1988), odnosno prva ekstenzija započela je u otnangu (18,3-17,2 m.g.; RÖGL, 1996, 1998), a bila je praćena početkom marinske transgresije. No ta prva transgresija nije prekrila cijeli prostor, a posebno ne u isto vrijeme. Tako su donjomiocenski sedimenti na području cijelog PBS-a tek mjestimično istaloženi, a prvi miocenski sedimenti na različitim područjima su različite starosti. Ekstenzija je osnažila u karpatu (17,2-16,4 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) kada su se na području između Apusena, Mezijske ploče, Karpata i Podoloskog masiva te na rubu Alpi i Češkog masiva taložili uglavnom jezersko-riječni sedimenti (STEININGER et al., 1978). Na sjeveroistoku Mađarske na rubu tadašnjeg Paratetisa istaloženi su evaporiti, a morski prostor normalnog saliniteta obuhvaćao je zapadni dio središnjeg Paratetisa (dijelovi Poljske, Mađarske, Slovenije, Hrvatske). Veza sa susjednim velikim morskim prostorima je postojala, s Mediteranom sigurna, a Indopacifikom vjerojatna. U sjevernoj Hrvatskoj marinska sedimentacija je egzistirala u najvećem dijelu prostora, u sjeverozapadnom dijelu, oko Medvednice, u dijelovima savske potonine i Slavonije (VRBANAC, 1996). Ekstenzija se nastavila u badenu (16,4-13,0 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) i sarmatu (13,0-11,5 m.g.; RÖGL, 1996, 1998). Do srednjeg badena velika transgresija prekrila je prostore od Austrije do Rumunjske (Transilvanije) te okolicu Karpata (STEININGER et al., 1978), a Karpati i Apuseni su bili veliki otoci. U to vrijeme sva tri velika prostora, Mediteran, Središnji Paratetis (Panonski bazen) i Indopacifik, bila su povezana što je dokazano postojanjem brojnih zajedničkih fosilnih vrsta.

U gornjem dijelu srednjeg badena dolazi do promjene facijesa (STEININGER et al., 1978), veza s Mediteranom je prekinuta, a tijekom sarmata i s Indopacifikom. Posljedica je da se na sve većem području, od Slovačke do Transilvanije, i u području Karpata, od Poljske do Rumunjske i Bugarske, talože evaporiti. PAVELIĆ (2001) vrijeme gornjega badena označava kao granično vrijeme između ekstenzijske i postekstenzije faze, barem u području sjeverne Hrvatske. Nadalje VRBANAC (1996) smatra da je taj prostor i dalje marinski, iz kojega su tek mjestimice današnja gorja stršala kao otoci.

## 6. Strukturni i tektonski odnosi



### LEGENDA:

[Grey box]	1 - 2 km
[Medium Grey box]	2 - 3 km
[Black box]	>3 km
[Vertical lines box]	vulkanske stijene mladeg kenozoika s oznakom starosti u milijunima godina
[Thin line box]	granice Panonskog bazenskog sustava
[Thick line box]	obalna linija

### POPIS BAZENA:

S-savski  
Dr-dravski  
Z-zalski  
G-bazen Graza  
B-bečki  
Da-danubijski  
Tk-transilvanijski  
VMR-Veliki mađarski ravnjak

**Slika 6.1:** Glavne geotektonske jedinice unutar Panonskoga bazenskog sustava (ROYDEN & DOVENYI, 1988; VRBANAC, 1996)

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

ROYDEN (1988) kao vrijeme završetka glavne ekstenzijske faze u najvećem dijelu Panonskoga bazenskog sustava određuje donji panon (11,5-9,3 m.g.; RÖGL, 1996, 1998).

Nastupa postekstenzijsko razdoblje u kojem termijska subsidencija, odnosno hlađenje litosfere, postaje glavni uzročnik dinamike prostora. Tektonska aktivnost je slabija, a subsidencija snažnija u središnjem dijelu prostora (oko 2 km u 10 m.g.). Mjestimice ima većega vulkanizma alkavnoga tipa. Taložni prostor i posebno izvorišta materijala se pomicu na rubove bazenskoga sustava, pa tako u prostoru Hrvatske glavni izvor materijala postaju Istočne Alpe (ROYDEN, 1988). U gornjem panonu (9,3-7,1 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) i pontu (7,1-5,6 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) taloženje je uglavnom u brakičnom i slatkovodnom jezerskom prostoru, a mehanizam prijenosa je deltni ili turbiditni u smjeru sjeverozapad-jugoistok na udaljenosti do nekoliko stotina kilometara.

Najmlađe razdoblje pliocena (5,6-1,8 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) i kvartara (1,8-0,0 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) obilježeno je riječnom i jezerskom sedimentacijom. U tektonskom pogledu jačaju kompresijske sile formirajući reverzne i navlačne odnose, često reaktivirajući starije rasjedne plohe, pa i uz inverziju pomaka na istom rasjedu.

### **Bjelovarska uleknina**

Otvaranje toga prostora posljedica je aktivnosti glavnog transkurentnog rasjednog sustava, zajedno s pratećim drugim rasjednim sustavima poprečnim ili dijagonalnim na smjer središnjeg dravskog rasjeda (PRELOGOVIĆ et al., 1995; ROYDEN, 1988; MALVIĆ, 1998). Današnji oblik uleknine približno je romboidalni, a od savske potonine odvojen je Moslavackom gorom.

Građa predmiocenske podlage bjelovarske uleknine detaljno je opisana u poglavlju sa stratigrafskim pregledom. Izvor podataka bile su jezgre dubokih bušotina toga područja te radovi koji su analizirali izdanke tih stijena posebno na Papuku i Psunj. Završno tektonsko izdizanje koje je utjecalo na oblikovanje terena pred miocensku transgresiju zbilo se nakon krede kada je najvjerojatnije cijeli prostor postao kopno.

Nedostatak izdanaka onemogućio je točno određivanje starosti prvih miocenskih sedimenata, jer su jedini podaci bili iz dubokih bušotina u kojima stratigrafska interpretacija tih najstarijih naslaga često nije bila pouzdana. Prvi miocenski sedimenti svakako su i početak ekstenzijske faze, a opisani su kod Velike Ciglene uz pretpostavljenu otnanšku i karpatsku starost. Ako se za stariji dio može dvojiti o vrsti taložne sredine (marinska, brakična ili slatkovodna) zbog nedovoljnog broja podataka, naslage karpara sigurno su marinske, jer je to vrijeme marinske transgresije u cijelom području sjeverne Hrvatske koje je tada bilo pod vodom (PAVELIĆ, 2001). Taloženje tih naslaga uglavnom se odvijalo u okolišima aluvijalnih lepeznih delti (MALVIĆ, 1998; PAVELIĆ, 2001). U starijem badenu došlo je do povećanja morske razine na cijelome prostoru sjeverne Hrvatske što odgovara povećanju globalne morske razine (PAVELIĆ et al., 1998) tako da se taloženje sinekstenzijskih sedimenata odvijalo na cijelom području uleknine uz vrlo snažnu tektoniku i nastavljanje taloženja u aluvijalnim lepeznim deltama, odnosno uz lokalne izvore materijala.

U srednjem i mlađem badenu postupno dolazi do promjene vrste sedimenata, taloženja sitnijih klastita pa i karbonatnih sedimenata. To je početak završetka ekstenzijske faze te početka postekstenzijskog (postriftnog) razdoblja. Smanjuje se salinitet i nastupaju brakični sedimentacijski uvjeti koji se nastavljaju u sarmatu. Karbonati također ukazuju na smirivanje tektonske aktivnosti (PAVELIĆ, 2001). Debljina sarmata najmanja je od svih miocenskih jedinica i vrlo ga je teško stratigrafski izdvojiti, što sigurno ukazuje na smanjenju količinu materijala.

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

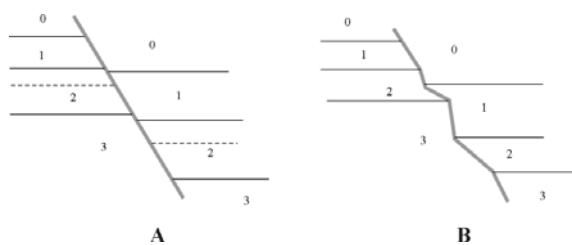
Postekstenzijsko razdoblje trajalo je kroz cijeli panon i pont kada su istaložene monotone serije klastičnih sedimenata pješčenjaka i lapor. Taložni prostor prešao je u jezersko-riječni slatkovodni okoliš gdje izvor materijala više nije lokalnog podrijetla, a spuštanje prostora odvijalo se uglavnom uz ranije formirane rasjedne sustave. U tim sedimentima česti su proslojci smeđega ugljena i lignita.

Najmlađi sedimenti pliocena taloženi u malim slatkovodnim jezerima, močvarama i rijekama, a obilježeni ponovno lokalnim izvorima materijala. Dolazi do zapunjavanja cijelog prostora, a u prostoru uleknine aktiviraju se novi i reaktiviraju neki postojeći rasjedni sustavi. Najmarkantnija posljedica je izdizanje Bilogore, ali dijelom i Papuka (700 m) te Psunja (750 m) (PRELOGOVIĆ, 1975). Isti uvjeti traju i kroz kvartar, a uzrok je obnavljanje potiska s juga i rotaciji toga prostora suprotno od smjera kazaljki na satu.

Bjelovarska uleknina, kao veliki ogrank dravske potonine, nije bila na putu glavnog prijenosa materijala, posebno u postekstenzijskom razdoblju. Zato je donos sedimenata bio značajno manji, cijeli je prostor bio i manje spušten, pa današnje debljine neogensko-kwartarnih naslaga rijetko prelaze 3000 m, za razliku od 7000 m u glavnoj potoninskoj zoni. U tih 3000 m stariji dijelovi su sinekstenzijski sedimenti poput breča, konglomerata i krupnozrnatih pješčenjaka. Prijelazno razdoblje između ekstenzije i postekstenzije obilježeno je najvećim dijelom vaspencima i laporima. Postekstenzijsko vrijeme primjer je monotone izmjene pješčenjaka i lapor u različitim omjerima. Također tim vremenskim slijedom taložna sredina je iz marinske prešla u riječno-jezersku.

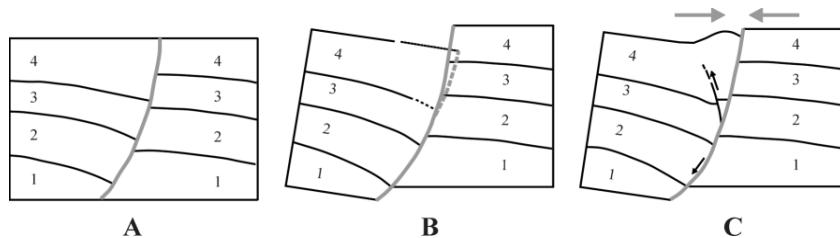
### **6.2. GLAVNE VRSTE OPAŽENIH STRUKTURA**

**Normalni rasjedi** opaženi su u jedinicama svih starosti. Kod najvećih normalnih rasjeda zabilježen je i horizontalni pomak. Paraklaze uglavnom najvećih rasjeda bile su zakriviljene, odnosno radilo se o lističkim rajedima. Neki od tih rasjeda presijecaju i stijene predneogenske podloge. Zakriviljenost paraklaza je posljedica različite kompakcije sedimenata na suprotnim stranama rasjeda (**slika 6.2**).



*Slika 6.2: Zakriviljenost paraklaze kao posljedica kompakcije sedimenata*

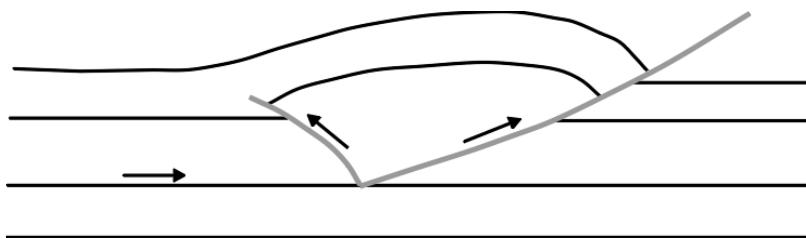
Kod rasjeda s horizontalnim pomakom (uglavnom glavni poprečni rasjedi uleknine) došlo je i do rotacije krovinskog u odnosu na podinsko krilo, što je rezultiralo laganom deformacijom na nekim dijelovima trase rasjeda, pa čak i djelomičnog navlačenja najmlađih sedimenata. Takav mehanizam je shematski prikazan na **slici 6.3**.



*Slika 6.3: Rotacija krovinskog krila u odnosu na podinsko*

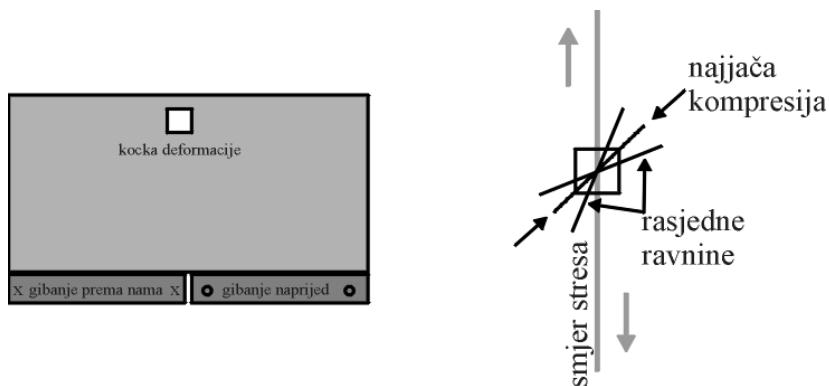
## 6. Strukturni i tektonski odnosi

**Reverzni rasjedi** pojavili su se na mjestima najveće kompresije, a ponekad su dolazili u parovima suprotno nagnutih paraklazi. Rasjedi suprotno nagnutih paraklaza često imaju i zajedničku konvergentnu točku, što je indikator promjene smjera stresa (**slika 6.4**).

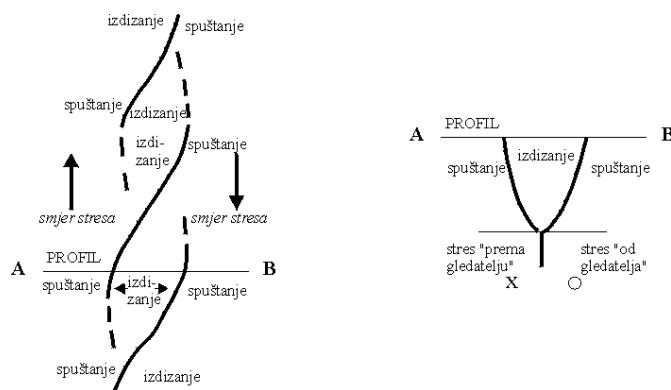


**Slika 6.4:** Skica postanka glavnoga i pozadinskoga ("backthrust") reverznog rasjeda

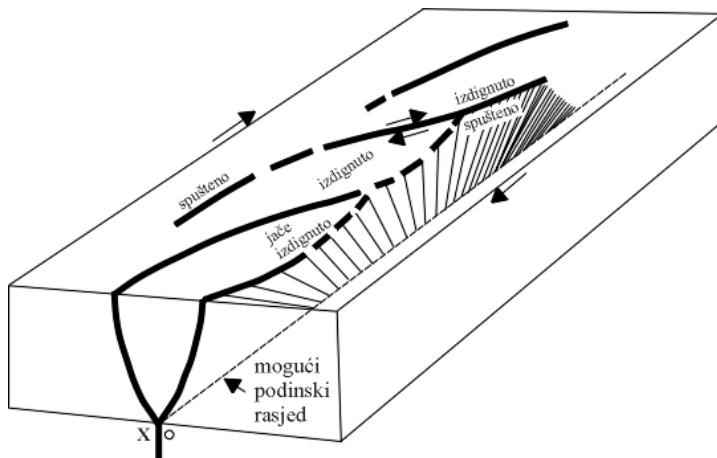
**Rasjedi s izraženom horizontalnom komponentom** bili su po karakteru vertikalnog pomaka normalni rasjedi. Uz neke rasjede zabilježena su utonula ("pull-apart") ili izdignuta ("pop-up") područja čiji nastanak je posljedica horizontalne komponente stresa koja se javlja uzduž zakrivljene trase njihova pružanja. To je shematski prikazano na **slikama 6.5 i 6.6**. Samo je *glavni normalni rasjed* uleknine imao horizontalni pomak, na nekim dijelovima nekoliko puta veći od vertikalnog pa se jedino on može smatrati rasjedom s dominantnim horizontalnim pomakom ("strike-slip fault"). Ostali rasjedi kod kojih je također kartiran horizontalni pomak imali su tu vrijednost približno istoga reda veličine kao i po vertikali, pa su kategorizirani kao rasjedi s kosim pomakom ("oblique-slip faults").



**Slika 6.5:** Deformacije uzrokovane horizontalnim stresom I



**Slika 6.6:** Deformacije uzrokovane horizontalnim stresom II



Slika 6.7: Prostorni prikaz prostora zahvaćenog jakom horizontalnom tektonikom

Na **slici 6.5** vidljivo je kako će se rasjedna ploha stvoriti pod kutom od  $22,5^\circ$  u odnosu na smjer najjače kompresije. Ako je horizontalna komponenta vrlo jaka nastat će utonula i izdignuta područja, koja se još nazivaju cvjetnim ili obrnuto cvjetnim strukturama ("flower or inverse flower structures"). Trodimenzionalni prikaz opisanih deformacija prikazan je na **slici 6.7**, gdje se nabolje uočava kako vertikalni pomaci na suprotnim krajevima istoga krila rasjeda imaju suprotni karakter, što je posljedica zakriviljenosti paraklaze u horizontalnoj ravnini te položaja susjednih rasjeda.

## 6.3. STRUKTURNE KARTE BJELOVARSKE ULEKNINE

### 6.3.1. KARTA PALEORELJEFA PO GRANICAMA "TG" I "PT"

Karta po granicama "Tg" i "Pt" prikazuje paleorelief pod kojim se podrazumijevaju oblici koje su stvorili paleozojske i mezozojske stijene u podlozi neogenskih taložina. Razvedenost i broj struktura na toj su karti najveći (**prilog 1**).

Izdvojena su dva glavna **rasjedna sustava**, poprečni pružanja približno sjever/sjeveroistok-jug/jugozapad i dijagonalni pružanja približno sjeverozapad-jugoistok. Kod poprečnog sustava prevladavaju normalni rasjedi, osim na istoku gdje dominiraju reverzni rasjedi. Promatrajući od zapada, prvi je normalni rasjed spuštena istočna krila, a skoka oko 150 m. Pruža se između Lepavine i Jagnjedovca, zatim na jug između Križevaca i Novoga Gloga, do sjeverno od Sv. Ivana Žabnoga. Nazvan je *zapadni normalni rasjed*. Sljedeći normalni rasjedi smješteni su u središnjem i južnom dijelu karte. Najveći je *glavni normalni rasjed* bjelovarske uleknine, spuštena istočna krila. Presijeca istočno krilo antiklinale Pavljani u središtu uleknine. Iznos skoka raste od juga prema sjeveru, gdje iznosi 300 m. Također je jasno vidljiva i horizontalna komponenta kretanja, a radi se o desnom horizontalnom pomaku. Južno od Pavljana, a sjeverno od Moslavačke gore ocrtava se najdublji dio inverzne cvjetne strukture, imenovanom *inverznom cvjetnom strukturom Berek*. Istočno od toga rasjeda, a približno uzdužno, smješten je drugi *sporedni normalni rasjed*, spuštena zapadna krila i skoka 100 m. Približno paralelno ocrtava se *normalni rasjed kod Štefanja* sa spuštenim jugoistočnim krilom i skokom od 50 m. Istočno od Moslavačke gore, uz dva *trnovitička normalna rasjeda* skoka 100 m izdignut je manji blok. Istok uleknine obilježen je brojnim reverznim rasjedima, vrlo nepravilnih trasa i suprotnih vergencija. Opaženi oblici svakako su očekivani i prepoznatljivi u području gdje se starija paleozojsko-mezozojska podloga, zbog stresa, navlačila na mlađe neogenske sedimente. Uz sam rub Papuka i Psunja pruža se najveći *istočni rubni reverzni rasjed*, navučena istočna krila i skoka oko 100 m. Zbog različitih iznosa i smjerova stresa, na jugoistoku je nastala antiklinala, primjer strukture izdignite uz dva suprotno usmjerena *revezna*

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

*rasjeda kod Uljanika* (“backthrust faults”), a skoka oko 100 m. Radi se o *antiklinali Uljanik*. Vrlo zakriviljeni oblici rasjednih trasa posljedica su djelomične promjene smjera stresa kroz vrijeme te rotacije područja s obzirom na rubni paleozojsko-mezozojski masiv. Takva pojava, no puno manjih skokova, nalazi se zapadno od Grubišnog polja. Sljedeća velika skupina rasjeda približno je dijagonalnog pružanja. Brojem ih je manje od poprečnih, ali ih pružanjem često nadmašuju. Uz cijeli južni rub Bilogore istaknut je normalni rasjed skoka 100-200 m. Taj rasjed dalje na sjeveroistoku vjerojatno prate revezni rasjedi, no kako su oni manjeg skoka, a taj dio uleknine nije seizmički dovoljno kvalitetno snimljen, oni ovdje nisu izdvojeni. Na sjevernoistočnom, uzdignutom krilu toga rasjeda nalazi se veliki broj bilogorskih polja. Nazvan je *bilogorskim normalnim rasjedom* skoka 200 m. Od tih rasjeda zabilježen je *normalni rasjed* kod antiklinale *Grubišno polje* uz skok 50 m i vergenciju prema jugozapadu te rasjed istoga tipa između Šandrovca i Velike Ciglene nazvan *šandrovačko-ciglenički normalni rasjed* vergencije isto prema jugozapadu i skoka 50 m. Južnije od tih rasjeda, gotovo preko cijele uleknine pruža se revezni rasjed pravcem sjeverozapad-jugoistok, skoka oko 200 m, a nazvan je *glavnim reverznim rasjedom*. Zapadni rub mu je oko 8 km sjeverozapadno od Rovišća, a istočni u području *antiklinale Dežanovec* koja je omeđena rasjedima obje skupine, s krovinskim krilom navučenim prema sjeveroistoku. Nadalje, *glavni reverzni rasjed* je u središnjem dijelu uleknine, a s južne strane praćen *sporednim reverznim rasjedom*, navučenog jugozapadnog krila i manjeg skoka. Ocertani su i *reverzni rasjedi kod Dežanovca* skoka 100 m.

Uz brojne rasjede razvedenost paleoreljefa ocrtana je i brojnim **ostalim strukturama** različitih veličina. Od zapada, smjerom jugozapad-sjeveroistok, smještene su dvije antiklinale s najplićom izobatom 700 m (na većoj bušotina Križevci-1 smještena je blizu tjemena), a niz završava sinklinalom južno od Lepavine (izobata 2000 m). Približno usporedo s tim nizom pruža se još jedan sličan niz struktura sastavljen od 4 sinklinale s najdubljim izobatama redom na 1300, 1200, 2400 i 2300 m. Dalje prema središnjem dijelu uleknine, blizu Rovišća, pojavljuje se markantna *zapadnobjelovarska sinklinala* (izobata 2500 m) te u samome centru, 10-ak kilometara dalje, *antiklinala Pavljani* (izobata 1200 m). Južno od Pavljana, na sjeverozapadnom rubu Moslavačke gore, smješten je strukturni nos koji prema sjeveru tone od 400 do 800 m dubine. Sjeverno od Pavljana ocrtan je niz struktura. Najveća je sinklinala između Velike Ciglene i Šandrovca nazvana *šandrovačko-ciglenička*, gdje dubina doseže 3700 m, a prema sjeveru se nadovezuje na strukturni nos koji se s istočne strane Šandrovca uzdiže do 2400 m. Dalje na istok, u području profila ŠA-4-93 i ŠA-4V-94, smještene su dvije sinklinale s najdubljim izobatama na 2800 i 2400 m. Istočno, u području Grubišnoga polja smještena je izrazita antiklinala s najplićim dijelom okruženim izobatom 800, dok se južno od te strukture, u jugoistočnom dijelu uleknine, izmjenjuje nekoliko uzignutih i spuštenih oblika. Najveća struktura je sinklinala s dnom na profilu DAR-10V-92 i najdubljom izobatom 2400/2500 m, presjećena reverznim rubnim rasjedom uz Papuk. Na krajnjem jugoistoku ocrtana je *dežanovečka antiklinala*, reverzno rasjednuta, s najplićom izobatom na 1000 m. Prema jugozapadu ocrtava se nepravilna strukturalna terasa blizu Uljanika koja na granici prema savskoj potonini prijelazi u sinklinalu s najdubljom izobatom na 2400 m. Najplići dio na kojem se nalazi temeljno gorje nalazi se uz Moslavačku goru. S njene istočne strane su izobate dubine od 100 do 500 m, dok su sa zapadne i sjeverne strane te dubine nešto veće, od 200 do 700 m.

### **6.3.2. STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Rs7**

Karta po EK-markeru Rs7 vrstom i brojem struktura (**prilog 2**) ne razlikuje se značajno od prethodne karte. Glavni rasjedni sustavi su podjednako vidljivi, kao i druge glavne strukture bjelovarske uleknine.

Od **rasjeda u poprečnim rasjednim sustavima** zapadnog i središnjeg dijela uleknine i dalje su dominantni normalni rasjedi. Na zapadu to je *zapadni normalni rasjed* sa spuštenim istočnim krilom, skoka oko 100 m i desnim horizontalnim pomakom. *Glavni normalni rasjed* uleknine

## 6. Strukturi i tektonski odnosi

presijeca antiklinalu Pavljani, sa spuštenim istočnim krilom uz skok od 100 m (ali mjestimice do 300 m jugoistočno od Pavljana, kod Nove Rače). Uz rasjed je izražen desni horizontalni pomak. *Normalni rasjed kod Štefanja* skoka je oko 50 m, a *trnovitički normalni rasjedi* i dalje su ocrtni na ovom nivou sa skokom od 100 m. Područje *inverzne cvjetne strukture Berek* nešto je šire. *Istočni rubni reverzni rasjed i reverzni rasjed kod Uljanika* skoka su 100 m. Rasjednuta antiklinala Dežanovec najplića je struktura. U skupini dijagonalnih rasjeda na sjeveru je i dalje dominantan *bilogorski normalni rasjed*, skoka oko 100 m i spuštenog jugozapadnog krila. *Normalni rasjed kod Grubišnog polja* skoka je 50 m, a *šandrovačko-ciglenički* 100 m. Središnjim dijelom pruža se *glavni reverzni rasjed*, praćen u središnjem dijelu južno od Pavljana *sporednim reverznim rasjedom*, a oba su skoka od 100 m. Zabilježeni su *reverzni rasjedi kod Dežanovca* skoka 50-100 m.

Od **ostalih struktura** većina struktura s prethodne karte sačuvala je svoj oblik i na razini EK-markera Rs7, no, posebno na zapadu, došlo je i do pomicanja središta struktura pa i promjene oblika. Ocrtna je nova antiklinala s izobatom 500 m istočno od Križevaca. Inverzija i antiklinala vidljiva je u području Lepavine s najplićom izobatom od 400 m. Istočno od Rovišća središte *zapadnobjelovarske sinklinale* pomaklo se prema jugoistoku. Struktura je reverzno rasjednuta s najdubljom izobatom 2100/2200 m. Prema jugoistoku, javlja se jedna manja sinklinala (2100 m) i zatim se cijelo područje izdiže u antiklinalu Pavljani na 1100/1200 m. Ponovno se istočno od Pavljana pojavljuju dvije sinklinale, no sada nešto pomaknutih središta. Manja je odmah jugozapadno od Velike Ciglene (izobata 3100 m), a druga je *šandrovačko-ciglenička*, veće površine, rasjednuta i dublja (izobata 3300/3400 m). U istočnom i jugoistočnom dijelu karte, od značajnijih struktura, treba spomenuti rasjednuto antiklinalu Grubišno polje (najplića izobata na 800 m) te antiklinalu Dežanovec, sada više ne tako jasnu kao na prethodnoj karti, a s najplićom izobatom na 700 m. Manje uzdignute strukture ocrtavaju se prema Psunjtu gdje se marker izdiže do dubine od 200 m. Na istoku, uz Papuk, i dalje je ocrtna velika sinklinala na profilima ZDEN-A-1V-92 i DAR-10V-92, sada s najdubljom izobatom na 1900/2000 m. Kod Uljanika oblikovana je strukturalna terasa koja na granici sa savskom potoninom prijelazi u sinklinalu s najdubljom izobatom 2200 m.

### **6.3.3. STRUKTURNI KARTA PO PLOHI EK-MARKERA RS5**

Karta po EK-markeru Rs5 (**prilog 3**) razlikuje se od prethodne dvije po značajnoj površini koju prekriva diskordancija u istočnom dijelu uleknine uz Papuk i Psunj, a zatim se proteže u područje Grubišnog polja te gotovo do Velike Ciglene. Manja diskordancija je zabilježena na jugozapadu, oko Čazme.

Broj **rasjeda**, posebno reverznih, nešto je manji uz manji skok u odnosu na prethodne karte. I dalje se izdvajaju spomenuta dva sustava pružanja sjeverozapad-jugoistok i sjever-jug. U skupini poprečnih rasjeda na sjeverozapadu je *zapadni normalni rasjed* skoka od 100 m koji se spušta prema jugu i završava u blizini Novoga Gloga. Najmarkantniji je rasjed te skupine *glavni normalni rasjed* koji prolazi od Berek na jugu, pa istočno od antiklinale Pavljani, zapadno od Velike Ciglene i Šandrovca te preko Bilogore ide u središnji dio dravske potonine. Skok je uglavnom 100 m, a istočno od Pavljana doseže 200 m. Taj glavni rasjed i dalje je praćen u južnom dijelu trase *sporednim normalnim rasjedom*, skoka oko 100 m suprotno usmjerenog spuštenog krila između kojih je smještena *inverzna cvjetna struktura Berek*. Uz trasu glavnoga rasjeda ocrtan je desni horizontalan pomak zapadno od Velike Ciglene. Ranije spomenuti reverzni rasjedi ove skupine nisu zabilježeni zbog diskordancije. U skupini dijagonalnih rasjeda sjevernim dijelom uleknine pruža se *bilogorski normalni rasjed*, skoka 100-200 m. Zapadno od Velike Trnovitice i dalje se ocrtavaju *trnovitički normalni rasjedi* skoka 50 m, uz koje je izdignuto područje između njih.

Od **ostalih struktura** glavna izdignuta i spuštena područja opisana na prethodnim prilozima nalaze se i na ovoj karti, no maksimumi i minimumi tih struktura imaju drugačiji položaj. Na

## 6. Strukturalni i tektonski odnosi

sjeverozapadu najplići dio vezan je uz područje polja Lepavina (izobata 300 m), Jagnjedovac (izobata 500 m) te zapadno od bušotine Križevci-1 (izobata 300). Istočno od Rovišća je središte sinklinale (izobata 1800 m) koja dominira zapadnim dijelom uleknine, odnosno područjem zapadno od *glavnoga normalnog rasjeda*. Ta struktura imenovana je *zapadnobjelovarskom sinklinalom* i vrlo je jasno ocrta na toj karti. Presječena je *glavnim reverznim rasjedom*. Istočno od *glavnog normalnog rasjeda* ta struktura nastavlja se na *šandrovačko-cigleničku sinklinalu*, dok prijelaz između njih čini greben najplići upravo u području strukture Pavljani. Cijelo područje postupno se izdiže prema jugu, odnosno Moslavačkoj gori, uz koje su ocrte i najpliće izobate na 300, odnosno 200 m. U preostalom, istočnom, dijelu karte nema većih struktura, no opaža se trend postupnog tonjenja prema sjeveroistoku. Na najvećem dijelu područja, uključujući bušotine kod Ciglenice, Uljanika, Dežanovca, Grubišnog Polja i Velike Barne, EK-marker Rs5 nije probušen.

### **6.3.4. STRUKTURNΑ KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Z'**

Promjene oblika na ovoj karti (**prilog 4**) prilično su velike u odnosu na granice "Tg" i "Pt". Još veća je površina karte prekrivena diskordancijom. Na istoku uleknine diskordancija prekriva približno istu površinu kao i na **prilogu 3**, uz dodatnu površinu na području Gakova i Sedlarice. Također taj marker nije istaložen niti na najvećem dijelu polja Galovac-Pavljani. Zatim nedostaje uz zapadni rub Moslavačke gore, u odnosu na EK-marker Rs5 nešto dalje na profilu ŠA-12-92 (do T.P. 380), a nešto manje na profilu TO-23-92 (do T.P. 190).

Uz **rasjede** maksimalni skok je do 100 m, osim istočno od antiklinale Pavljani. U skupini poprečnih rasjeda najizraženiji su normalni rasjedi u središnjem dijelu karte, *glavni* i *sporedni normalni rasjed*, skoka 100 m. Prostor *inverzne cvjetne strukture Berek* između njih pruža se sve do prostora između Pavljana i Velike Ciglene. Vidi se još *normalni rasjed kod Štefanja* uz skok od 50 m. Također su na karti i dva *trnovitička normalna rasjeda* sa skokom uz oba od 50 m, te *normalni rasjed kod Štefanja* istoga skoka. U drugoj skupini dijagonalnih rasjeda tri glavna rasjeda opisana na prethodnim kartama i dalje dominiraju prostorom uleknine. Na sjeveru je *bilogorski normalni rasjed* skoka oko 100 m. Južno od njega su *glavni* i *sporedni reverzni rasjed* koji se pružaju od sjeverozapada uleknine, sjeverno od Rovišća, južno od Bjelovara i Pavljana, sjeverno od Pavlovca pa do diskordantne granice. Skok uz njih je 100 m. *Šandrovačko-ciglenički normalni rasjed* (skoka 50 m) presijeca *šandrovačko-cigleničku sinklinalu*.

Promatrajući **ostale strukture** manje je istaknutih, odnosno potpuno "zatvorenih" i "otvorenih" struktura u naftogeološkom smislu (antiklinala i sinklinala), a sve veći dio područja pokriven je strukturalnim terasama ili strukturalnim nosevima. Iako niti te strukture nisu naftogeološki nezanimljive, posebno u definiranju stratigrafskih tipova zamki, sinklinale su svakako najvažnije "zamke" kod traženja depocentara matičnih stijena, a antiklinale najlakše prepoznatljive strukturne zamke. Promatrajući kartu od zapada prva sinklinala pojavljuje se u području Bjelovara (*zapadnobjelovarska*), veće površine i najdublje izobate 1300 m. Antiklinala Pavljani, smještena istočnije, uočljiva je s najplićom izobatom 1100 m. Prema istoku cijeli teren se strukturalnom terasom spušta prema području Nove Rače, Velike Ciglene i Patkovca do dubine od preko 2600 m. Najveće dubine na tome području, ali i na cijeloj karti, vezane su uz *šandrovačko-cigleničku sinklinalu*, normalno rasjednutu na sjevernom krilu i dubine od gotovo 2900 m. Nekoliko je malih "zatvorenih" struktura između Pavlovca i Grubišnog polja. Ostali dio područja postupno se uzdiže na 500 m dubine sjeverno kod polja Mosti te na 100 m uz istočni rub Moslavačke gore.

### **6.3.5. STRUKTURNΑ KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Δ**

Na najvećem dijelu uleknine dubine toga markera su manje od 1000 m (**prilog 5**). Time je broj i izraženost struktura, kao i veličina skoka uz rasjed, značajno manja nego li na prethodnim kartama. Kartirani marker prostire se preko cijele uleknine.

## 6. Strukturalni i tektonski odnosi

Skok je uz sve **rasjede** 50-100 m. U skupini poprečnih rasjeda kod Štefanja je *normalni rasjed* vergencije prema zapadu i skoka 50 m. Uz *glavni i sporedni normalni rasjed* u središnjem dijelu karte skok je 50-100 m. Područje *invezne cvjetne strukture Berek* pruža se od sjevernog ruba Moslavačke gore do prostora između Pavljana i Velike Ciglene te je šire nego na prethodnim prilozima. Reverzni rasjedi na istoku i jugoistoku uleknine ponovo su ocrtani (više to područje ne prekriva diskordancija). *Istočni rubni reverzni rasjed* i *reverzni rasjedi kod Uljanika* imaju skok od 100 m. Struktura “*backthrust*” (kao kod Uljanika) pojavljuje se i uz *rubni rezervni rasjed* na profilu DAR-10V-92 između T.P. 900 i 1100. U skupini dijagonalnih rasjeda na sjeveru i sjeveroistoku je *bilogorski normalni rasjed* skoka 50 m, a južno od Šandrovca i *šandrovačko-ciglenički normalni rasjed* istoga skoka od 50 m. *Glavni reverzni rasjed* pruža se približno od mjesta 8 km sjeverozapadno od Rovišća do Dežanovca. Skok je najčešće oko 100 m. Pojavio se i jedan novi rasjed na jugozapadu uleknine, približno u području Sv. Ivana Žabnoga, a presjeca profile VR-1-KI-1-93, TO-17-91, TO-21-94, TO-23-92, SD-1-77. Zato je imenovan *jugozapadnim normalnim rasjedom*, spuštena sjeverna krila i skoka oko 50 m.

Broj **ostalih struktura** manji je u odnosu na prethodne karte. Općenito su svi geografski rubni dijelovi uleknine, na nivou EK-markera Δ, plići od središnjih i otprilike te dubine se smanjuju do 100-200 m. Izuzetak je jugoistočni rub uleknine, odnosno granica prema savskoj potonini, gdje dubina doseže 2000 m. Zapadno od *glavnoga normalnog rasjeda* oblikom dominira *zapadnobjelovarska sinklinala* čije je središte okružno izobatama 800 i 900 m. Istočno od polja Galovac-Pavljani nastavlja se još jedna sinklinala manje površine, s najdubljom izobatom 1400 m. Od *šandrovačko-cigleničke sinklinale* preostalo je tek malo spuštenje područje okruženo izobatom 900 m. Na sjeveroistoku vidljiva je antiklinala na području Sedlarice (izobata 200 m), zatim prema jugu na području Grubišnoga polja (izobata 700 m) i Dežanovca (izobata 700 m) te istočno na profilu GAR-3-88 (T.P. 700) s izobatama 100/200 m. Osim *dežanovečke antiklinale* površine ostalih su vrlo male. Istočna i jugoistočna granica uleknine obilježena je s tri sinklinale. Ranije je opisana ona na profilu DAR-10V-92 (T.P. 900-1100) s najdubljom izobatom 1900 m. Ostale dvije su na profilu GAR-4-88, prva s depocentrom na T.P. 200 i izobatom 2200 m, a druga na T.P. 400 i izobatom 2000 m.

### **6.3.6. STRUKTURNΑ KARTA PO PLOHI EK-MARKERA D'**

Ta karta načinjena po najmlađem EK-markeru prikazana je na **prilogu 6**. Ujedno ta karta predstavlja paleostruktturnu kartu, odnosno kartu debljina najmlađe formacije Lonja. Na njoj su ponovno ocrtane diskordantne granice smještene oko Moslavačke gore te dalje na zapadu oko Čazme i profila BJE-19-92. Također, postojao je problem sigurnoga određivanja dubine na kojoj se EK-marker nalazi s obzirom na vrijednosti zabilježene u *dossierima* bušotinama. U bušotini Križevci-1 na zapadu te gotovo na svim poljima uz Bilogoru naznačene su dubine često bile određene na 10-30 m, uz naznačenu nesigurnost. Kako su sve karte načinjene s obzirom na ravninu crtanja +100 m, a nadmorske visine u području Bilogore su oko 150-250 m, bilo bi ispravno na tim područjima načrtati diskordanciju, iako su te naslage ipak istaložene. Debljine su ipak iscrtane u cijelom bilogorskem području.

Većina **rasjeda poprečnog pružanja** zabilježena je na toj karti. U središnjem dijelu to je *glavni normalni rasjed* (skok 50 m) i *sporedni normalni rasjed* (skok 50 m), a *kod Štefanja normalni rasjed* (skok 50 m). Na istoku je *istočni rubni reverzni rasjed* (skoka 50 m) i *reverzni rasjedi kod Uljanika* (“*backthrust*” tipa), svi skoka 100 m. Površina *inverzne cvjetne strukture Berek* dospjela je maksimum. U skupini dijagonalnih rasjeda vidljiv je *bilogorski normalni rasjed* pomaknut još sjevernije i skoka od 100 m. Drugi zabilježeni normalni rasjed je *šandrovačko-ciglenički rasjed* uz skok od 50 m, a treći je *jugozapadni normalni rasjed* istoga skoka. *Glavni reverzni rasjed* gotovo je istoga pružanja kao i na prethodnoj karti. Skok je 50 m.

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

Od **ostalih struktura** uz granicu sa savskom potoninom nalazi se sinklinala s izobatom 900 m, a to je inverzna struktura u odnosu na starije horizonte. Na karti su ocrtane još tri veće sinklinale. Najistočnija od njih je *šandrovačko-ciglenička* s najdubljom izobatom 600 m, sada pomaknutom nešto južnije. Sljedeća je smještena u "trokutu" između Pavljana, Velike Ciglene i Nove Rače, relativno male površine i s najdubljom izobatom 900 m. Druga sinklinala, sjeverozapadno od Bjelovara, nešto je plića (izobate 600/700 m), vrlo nepravilna oblika, gotovo podijeljena u dva odvojena područja i na sjevernom dijelu rasjednuta *glavnim reverznim rasjedom*. Površinom je nekoliko puta veća od prethodno opisane. Značajnijih antiklinala nema, već se općenito dubina toga EK-markera smanjuje na granicama uleknine, posebno jugozapadnoj, zapadnoj i sjevernoj.

### 6.4. PALEOSTRUKTURNE KARTE

Ukupan broj paleostrukturalnih karata koje je moguće načiniti za neki skup kartiranih površina je  $N = \frac{(n^2 + n)}{2}$  (HERNITZ & JURAK, 1973). Vrijednost  $N$  je ukupni broj karata,  $n$  broj kartiranih površina. Na području bjelovarske uleknine kartirano je 5 EK-markera ( $D'$ ,  $\Delta$ ,  $Z'$ ,  $Rs5$ ,  $Rs7$ ) i jedna granica (Pt/Tg), znači da je ukupno moguće načiniti 21 paleostrukturu kartu, odnosno 21 kartu debljina i strukturalnu kartu. Prostorno gledano, strukturalne karte (uključujući i kartu paleoreljeфа) također predstavljaju karte debljina i to od kartiranog horizonta do površine terena (ili ravnine crtanja u ovome radu postavljene na +100 m).

Ukupan broj karata koji je bilo moguće načiniti u ovome radu prikazan je na **slici 6.8**, a one koje su i nacrtane na toj su slici osjenčane.

					$D' - +100$
		$\Delta - D'$		$\Delta - +100$	
	$Z' - \Delta$		$Z' - D'$		$Z' - +100$
	$Rs5 - Z'$	$Rs5 - \Delta$	$Rs5 - D'$		$Rs5 - +100$
$Rs7 - Rs5$	$Rs7 - Z'$	$Rs7 - \Delta$	$Rs7 - D'$		$Rs7 - +100$
Tg/Pt - Rs7	Tg/Pt - Rs5	Tg/Pt - Z'	Tg/Pt - Δ	Tg/Pt - D'	Tg/Pt - 100

**Slika 6.8:** Ukupan i načinjen broj paleostrukturalnih karata

Promatrajući načinjeni skup 11 karata vidljivo je kako jednu skupinu predstavljaju strukturalne karte i karta paleoreljeфа, a drugu karte debljina pojedinih formacija, odnosno članova unutar najstarije formacije Moslavačka gora. Zato će se kod opisa tih paleostrukturalnih karata one spominjati kao karte debljina određenih litostratigrafskih jedinica. No, pri tome takve karte debljina treba razlikovati od slika u poglavljju u kojem su opisani stratigrafski odnosi, gdje su također dani prikazi debljina pojedinih formacija uz detaljan opis vrsta naslaga i litostratigrafije u tim jedinicama. Te slike samo su orijentacijskog karaktera, zamišljene kao pomoć kod generalnog pregleda debljina na razini cijele uleknine. Izrađene su samo na temelju bušotinskih podataka i interpolirane kompjutorskim programom. Tek na paleostrukturalnim kartama koje će biti opisane u sljedećim

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

potpoglavlјima u interpretaciju su uključeni seizmički profili i utjecaj pojedinih zabilježenih rasjeda.

### **6.4.1. KARTA DEBLJINA FM. BILOGORA (INTERVALA D'-Δ)**

Na toj karti (**prilog 7**) opažaju se velike promjene debljina na cijeloj površini uleknine. Na jugu, oko Moslavačke gore, označena su područja obuhvaćena diskordancijom. Granice diskordancije i položaji rasjeda, na toj, ali i svim ostalim kartama debljina, uvijek su preuzeti sa strukturne karte kod koje je diskordancija prekrila veću površinu, osim u slučaju kada je diskordancija zabilježena samo na jednoj strukturnoj karti. Na ovoj karti granice diskordancije prenesene su sa strukturne karte po EK-markeru  $\Delta$ .

Od **rasjeda** čija je aktivnost u tome razdoblju opažena po promjenama debljina u krovinskom i podinskom krilu označen je jedino istočni *rubni reverzni rasjed* čiji je skok u tom intervalu 100 m.

Najmanje **debljine** su na zapadu i sjeverozapadu uleknine, gdje su uglavnom manje od 100 m, te u većem dijelu područja Bilogore (na sjeveru i sjeveroistoku) gdje se postupno u smjeru istoka povećavaju od 100 do preko 1000 m. U središnjem dijelu (npr. kod Pavljana i Velike Ciglene) debljine se kreću između 300 i 400 m, zatim kod Grubišnog polja dosežu preko 600 m. Velike debljine formacije Bilogora vezane su najvećim dijelom uz istok uleknine i tamo prelaze 1000 m. Maksimumi na istoku zabilježeni su na profilima BJE-1v-94 (1100 m), DAR-10V-92 (1300 m) i SD-2-80 (1200 m). Najveće debljine fm. Bilogora izmjerene su na samom jugoistoku uleknine, odnosno na granici prema savskoj potonini. Tamo je na profilu GAR-4-88 (T.P. 390-400) ocrta na izohora 1500 m.

### **6.4.2. KARTA DEBLJINA FM. KLOŠTAR-IVANIĆ (INTERVALA Δ-Z')**

Na toj karti (**prilog 8**) debljine variraju približno u istim granicama kao na prethodnom prilogu. Na istočnom (u području Ciglenice, Uljanika, Grubišnog polja, Velike Pisanice i Gakova) i južnom (zapadni rub Moslavačke gore) dijelu karte, u područjima gdje EK-marker  $Z'$  diskordantno nedostaje (a ponegdje i Rs5 te Rs7), radi se o karti debljina intervala  $\Delta$ -Rs5, odnosno  $\Delta$ -Tg/Pt.

**Rasjedi** koji se ocrtavaju su *glavni normalni rasjed uleknine* i suprotno položen *sporedni normalni rasjed*. Skok uz oba rasjeda je 100 m, kojima je područje između njih spušteno u *inverznu cvjetnu strukturu Berek*. Ta dva rasjeda presječena su mlađim *glavnim reverznim rasjedom* uleknine, čija je aktivnost prikazana skokom od 100 m u najvećem dijelu njegove trase, osim na sjeverozapadu gdje aktivnost postupno prestaje.

**Debljine** su ponovno najmanje na zapadu i sjeverozapadu uleknine. U tom području vrijednosti su uglavnom ispod 100 m. Manje vrijednosti zadržavaju se u zapadnom dijelu uleknine do *glavnoga normalnog rasjeda* i u tome dijelu tek mjestimice prelaze 600 m. Najveće vrijednosti očitane su u sjeveroistočnom dijelu karte, gdje se u području između Baćkovic i Velike Ciglene vrijednosti izohora na profilu ŠA-4-93 penju do 2000 m.

### **6.4.3. KARTA DEBLJINA FM. IVANIĆ-GRAD (INTERVALA Z'-RS5)**

Na toj karti (**prilog 9**) debljine nisu tolike kao na prethodna dva priloga. Površina prekrivena diskordancijom gotovo je identična kao na prethodnom prilogu. Sedimenti fm. Kloštar-Ivanić nedostaju uz zapadni rub Moslavačke gore (približno do T.P. 220 na profilu TO-23-92 i T.P. 450 na profilu ŠA-12-92). No, najveću površinu diskordancija zahvaća na istoku uleknine u području Ciglenice, Uljanika, Grubišnog polja, Velike Pisanice, no ne i Gakova kao na prethodnoj karti, jer je granica povučena približno na početku (T.P. 0) profila ŠA-4V-94.

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

**Rasjedi** čija se aktivnost očrtala promjenama debljina u promatranom intervalu su *glavni normalni rasjed uleknine* i prateći *sporedni normalni rasjed* suprotne vergencije. Skok uz oba rasjeda je ponovo 100 m, a područje između njih i dalje se oblikuje kao *inverzna cvjetna struktura Berek*. Uz ta dva rasjeda koji se pružaju središnjim dijelom prostora na zapadu je zabilježena aktivnost *zapadnoga normalnog rasjeda* s vertikalnom komponentom skoka od oko 50 m. Svi normalni poprečni rasjedi imaju i horizontalnu komponentu pomaka po kojoj predstavljaju desne transkurentne rasjede. Taj pomak prepoznat je na mjestima gdje su presjekli trasu *bilogorskoga normalnog rasjeda* koji se pruža sjevernim i sjeveroistočnim dijelom uleknine i u promatranom intervalu skoka je od 50 m na sjeveru do 100 m na sjeveroistoku.

**Debljine** fm. Ivanić-Grad ne dosežu tolike iznose kao debljine na prethodne dvije karte. Također maksimalne vrijednosti nisu vezane uz (sjevero)istočni dio uleknine, već su najveće debljine u području između Bjelovara i Rovišća, odnosno u području *zapadnobjelovarske sinklinale* gdje najveća izohora ima vrijednost 800 m. Približno od tога područja pa prema rubovima uleknine debljine se smanjuju. Najmanje vrijednosti (ispod 100 m) su uz rub Moslavačke gore. Zatim na sjeveroistoku uleknine oko Gakova, Cremušine i Sedlarice. Također na istoku karte, uz rub diskordancije, očrtana je izohora 100 m, koja se nastavlja na izohoru iste vrijednosti uz Moslavačku goru, presijeca profile SED-6V-92 (T.P. 660), V.ZDEN-1V-92 (T.P. 365 i 712) i V.ZDEN-2V-92 (T.P. 530).

### **6.4.4. KARTA DEBLJINA ČL. KRIŽEVCI, FM. MOSLAVAČKA GORA (INTERVALA RS5-Rs7)**

Debljine na **prilogu 10** manje su nego li na prethodnim kartama, no to je razumljivo jer je kartiran samo mlađi član unutar fm. Moslavačka gora. Diskordancija na nivou EK-markera Rs5 ponovno prekriva veći dio istočnog dijela karte, na površini približno kao na dva prethodna priloga. Također diskordancija se očrtava i na zapadu Moslavačke gore.

**Rasjedi** zabilježeni na ovom intervalu su normalni i reverzni, očrtani najvećim dijelom povećanjem debljine za oko 50 m u krilu prema kojem se određuje vergencija. Iz skupine poprečnih rasjeda označena je aktivnost *zapadnog normalnog rasjeda* u području Lepavine, Jagnjedovca i Novog Gloga te jednoga maloga pratećeg normalnog rasjeda iste vergencije na jugozapadnom rubu Jagnjedovca. *Glavni i sporedni normalni rasjedi uleknine* očrtavaju se samo središnjim dijelovima svojih trasa. Slaba aktivnost glavnoga rasjeda tek je naznačena u njegovu sjevernom i južnom dijelu. Mali normalni rasjed kod Štefanja bio je aktivan upravo u ovome razdoblju. Iz skupine dijagonalnih rasjeda zabilježena je aktivnost *glavnog i sporednog reverznoga rasjeda* i to samo u dijelu trase približno sjeverozapadno od *strukture Berek*. Dalje na jugoistok aktivnost nije mogla biti određena na temelju promjena debljina.

**Debljine** promatranog člana svoj maksimum dosežu u području *zapadnobjelovarske sinklinale*, gdje su na tri mesta očrtane izohore s vrijednošću 500 m. U preostalom dijelu uleknine većina područja prekrivena je izohorama s vrijednostima 100 i 200 m, osim na krajnjem istoku, gdje je na profilu ŠA-4V-94 od T.P. 220 pa prema rubu karte područje obuhvaćeno izohorom 300 m.

### **6.4.5. KARTA DEBLJINA ČL. MOSTI, FM. MOSLAVAČKA GORA (INTERVALA RS7-PT/TG)**

Na toj karti (**prilog 11**) očekivano su izražene najveće promjene debljina i skokovi uz aktivne rasjedne dionice.

Zabilježena je aktivnost samo **rasjeda** normalnog karaktera. Na zapadu to je *zapadni normalni rasjed* sa skokom oko 50 m. Sjevernim i sjeveroistočnim dijelom uleknine proteže se *bilogorski normalni rasjed* sa skokom u najvećem dijelu od 100 m. Trasa toga rasjeda presječena je *glavnim*

## 6. Strukturalni i tektonski odnosi

*normalnim rasjedom* uleknine uz koji je zabilježen skok od 100 m. Na jugu karte, uz glavni ocrtao je dio trase *sporednog normalnog rasjeda* sa skokom od 50 m. Na istoku karte zabilježene su jedino promjene debljine uz *normalni rasjed kod Grubišnog polja*, gdje zabilježeni skok u promatranoj jedinici iznosi 50 m.

**Debljine** člana Mosti formacije Moslavačka gora u nekim dijelovima uleknine prelaze 1000 m. Tako je na sjeveroistoku, na profilu TO-17-91 (T.P. 160) zabilježena debljina od preko 1600 m. Drugo područje okruženo izohorom 1200 m smješteno je oko 8 km sjeverozapadno od Bjelovara (profil TO-23-92, T.P. 970-1040), a treće blizu granice sa savskom potoninom (profil GAR-3-88, T.P. 580). U preostalom dijelu uleknine debljine se kreću uglavnom od 300 do 700 m, a najmanje vrijednosti (ispod 100 m) ocrtane su na istoku prema Papuku, na jugu oko obronaka Moslavačke gore te jugozapadnoj granici prema savskoj potonini.

### 6.5. INTERPRETACIJA AKTIVNOSTI VAŽNIJIH RASJEDA

Nakon izrade odgovarajućeg skupa strukturalnih karata, karte paleoreljefa i karata debljina određena je aktivnost pojedinih rasjeda kartiranih u području bjelovarske uleknine. Zbog preglednosti, uočeni podaci o skoku i vremenu aktivnosti prikazani su tablično. Tako su u **tablici 6.1** navedena imena najvažnijih rasjeda, njihov skok i strukturne karte na kojima su ocrtni. U **tablici 6.2** isti rasjedi su spomenuti obzirom na karte debljina na kojima je uz njih zabilježena promjena debljina. Za potpuno točnu vremensku interpretaciju rasjedne aktivnosti trebalo bi načiniti cijeli skup karata navedenih na **slici 6.9**. No, zbog prirode rada u kojem je vremensko datiranje tektonske aktivnosti jedna od metoda, a ne jedini cilj istraživanja, načinjen je spomenuti skup karata. Vremensko datiranje načinjeno na temelju takvoga skupa od 11 strukturalnih, paleostrukturalnih i karata debljina dovoljno je točno za interpretiranje postojećih i procjenu novih naftogeoloških parametara unutar bjelovarske uleknine.

IME RASJEDA	VERT. POMAK (M) NA GRANICI/EK MARKERU					
POPREČNI RASJEDI	Tg/Pt	Rs7	Rs5	Z'	Δ	D'
1. glavni normalni rasjed	300	100	100-200	100	100	50
2. sporedni normalni rasjed	100	100	100	-	-	-
3. zapadni normalni rasjed	150	100	100	50	50	50
4. normalni rasjed kod Štefanja	50	50	50	50	50	50
5. trnovitički normalni rasjedi	100	100	50	50	-	-
6. istočni rubni reverzni rasjed	100	100	d.	d.	100	50
7. reverzni rasjedi kod Uljanika	100	100	d.	d.	100	50-100
DIJAGONALNI RASJEDI	Tg/Pt	Rs7	Rs5	Z'	Δ	D'
8. bilogorski normalni rasjed	200	100	100-200	100	50	100
9. normalni r. kod Grubišnog polja	50	50	d.	d.	-	-
10. šandrovačko-ciglenički normalni r.	50	100	100-200	50	50	50
11. jugozapadni normalni rasjed	-	-	-	-	50	50
12. glavni reverzni rasjed	200	100	100	100	100	50
13. sporedni reverzni rasjed	200	100	50-100	100	-	-
14. reverzni rasjedi kod Dežanovca	100	50-100	d.	d.	-	-

**Tablica 6.1:** Skok i EK-markeri koje su presjekli važniji rasjedi strukturalnog sklopa (d.=diskordancija, -=rasjed nije presjekao taj EK-marker)

Iz dvije prikazane tablice najuočljivije je kako aktivnost niti jednog tipa rasjeda (normalnog i reverznog) nije isključivo vezana za pojedina razdoblja. Točnije niti je aktivnost normalnih rasjeda vezana samo za razdoblje srednjomiocenske ekstenzije, niti su reverzni pokreti posljedica samo sila nastalih promjenama toplinskog toka u kori. Ipak pravilnost i podudaranje s općenitim tektonskim

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

modelima Panonskoga bazenskog sustava (npr. ROYDEN, 1988; PAVELIĆ, 2001 i dr.) je uočeno i ovim istraživanjem, tj. dominacija aktivnosti normalnih rasjeda je povezana s ekstenzijskim razdobljem koje je svoj maksimum (ali i završetak) imalo otprilike krajem srednjega miocena, dok je aktivnost reverznih rasjeda vezana uglavnom za gornji miocen i mlađa razdoblja. No, svakako treba upozoriti i na pojavu reaktivacije starijih rasjednih sustava koji su nastali u vrijeme ekstenzije, a nastavili djelovati u fazi toplinske kontrakcije i širenja, pa čak i u kvartarnom, odnosno neotektonskom razdoblju.

Ako se rasjedi promatraju po vremenskim razdobljima (katovima) koji približno odgovaraju pojedinim kartiranim litostratigrafskim jedinicama (uglavnom formacijama, a članovima unutar najstarije fm. Moslavačka gora) interpretacija bi izgledala na sljedeći način (podaci su prikazani u **tablici 6.2**):

LITOSTRATIGRAFSKI INTERVAL	NAZIV RASJEDA	VERT. POMAK (M)
rec.-D'	glavni normalni rasjed	50
	sporedni normalni rasjed	50
	normalni rasjed kod Štefanja	50
	reverzni kod Uljanika	50-100
	istočni rubni reverzni	50
	bilogorski normalni rasjed	100
	jugozapadni normalni rasjed	50
D'-Δ	glavni reverzni rasjed	50
Δ-Z'	istočni rubni reverzni rasjed	100
	glavni reverzni rasjed	100
Z-Rs5	glavni normalni rasjed	50
	zapadni normalni rasjed	50
	bilogorski normalni rasjed	100
Rs5-Rs7	glavni normalni rasjed	100-150
	zapadni normalni rasjed	50
	normalni kod Grubišnog polja	50
	glavni reverzni rasjed	50
	sporedni reverzni rasjed	50
Rs7-Tg	glavni normalni rasjed	100
	sporedni normalni rasjed	50
	zapadni normalni rasjed	50
	bilogorski normalni rasjed	100
	normalni rasjed kod Grubišnog polja	50

**Tablica 6.2:** Rasjedi i njihovi skokovi u pojedinim litostratigrafskim intervalima

U skupini poprečnih rasjeda najduža je aktivnost *glavnoga normalnog rasjeda*. Po promjenama debljina susjednih krila njegova aktivnost je započela još u srednjem miocenu početkom ekstenzije i traje sve do danas. Bila je najizraženija u vrijeme donjega panona, kada su neki dijelovi uz njega ponovno zato prešli u kopnenu fazu (npr. struktura Pavljani). *Sporedni normalni rasjed* bio je aktivan u vrijeme ekstenzije (predbaden, baden, ev. sarmat) i tada je zamro, da bi se ponovno reaktivirao u pliocenu i kvartaru. Treći značajniji normalni poprečni rasjed je *zapadni normalni rasjed*. Njegova aktivnost je vezana samo uz srednji i početak gornjega miocena, odnosno počinje najvjerojatnije u badenu i završava u naslagama gornjega panona. Aktivnosti reverznih rasjeda ove skupine povezane su s razdobljem ponta i mlađim. Tako je aktivnost *istočnog rubnog reverznog*

## 6. Strukturni i tektonski odnosi

*rasjeda* vezana uz gornji pont, dok je aktivnost *reverznih rasjeda* kod *Uljanika* povezana s razdobljem pliokvartara.

U skupini dijagonalnih rasjeda primjer reaktivacije izražen je kod *bilogorskog normalnog rasjeda*. Njegova aktivnost započinje u vrijeme položenja člana Mosti (baden, ev. predbaden), zatim prestaje, pa se nastavlja u vrijeme gornjeg panona, ponovo prestaje i nastavlja se u pliokvartarnom razdoblju. Suprotno njemu, *normalni rasjed* kod *Grubišnog polja* bio je aktivan samo u vrijeme ekstenzije, odnosno najdalje do kraja donjeg panona. *Normalni rasjed* kod *Štefanja* je opet bio aktivan samo u najmlađem razdoblju položenja fm. Lonja, kao i *jugozapadni normalni rasjed*. Veća aktivnost reverznih rasjeda u postekstenzijskom razdoblju vidi se na primjeru *glavnog reveznog rasjeda* početak čijeg formiranja je smješten u donji panon, ali najveća aktivnost povezana je s donjim pontom, pliocenom i kvartarom.

## 6.6. PALEOTEKTONSKI PROFILI

Načinjeni paleotektonski profili prikazani su na **prilogu 12**.

**Prilog 12 (a, b, c, d, e, f)** odgovara pružanju profila BJE-19A-92. Uzdužan je na pružanje bjelovarske uleknine. Pružanja je zapad/sjeverozapad-istok/jugoistok. Nalazi se u južnom dijelu uleknine i prelazi preko sjevernih obronaka Moslavačke gore te ide dalje u dublji, istočni dio do prostora smještenog između Velike Trnovitice i Grubišnog polja. U tom dubljem dijelu granica Tg nalazi se na dubini od blizu 2000 m. Približno između T.P. 1000 i 1100 jasno je vidljiv prijelaz u istočni dio bjelovarske uleknine gdje su dubine veće. To mjesto predstavlja rub masiva Moslavačke gore. Rasjedi koji su zabilježeni na opisanom prilogu su *glavni* i *sporedni normalni rasjedi uleknine* te *glavni reverzni rasjed uleknine*. Normalni rasjedi oblikovali su prostor između njih kao *inverznu cvjetnu strukturu* imenovanu *struktura Berek*. Na istoku je paraklaza reverznog rasjeda položena vrlo strmo, gotovo pod kutom od  $85^\circ$ , ali to je uglavnom posljedica toga što je profil presjekao trasu rasjeda pod relativno blagim kutom od  $40^\circ$ .

## **7. GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE, ZRELOST I POLOŽAJ MATIČNIH STIJENA TE UGLJKOVODIKA**

Kao matično perspektivne litostratigrafske jedinice već su ranije spomenuti članovi Mosti i Križevci formacije Moslavačka gora. Dokazano je da upravo te jedinice u našem dijelu panonskoga bazena sadrže zrele matične stijene. Odabранo je i analizirano 5 geokemijskih varijabli:  $C_{org}$  (sadržaj organske tvari),  $S_2$  (genetski potencijal),  $HI$  (vodikov indeks),  $OI$  (kisikov indeks) i  $R_o$  (vitrinitna refleksija). Izdvojene su varijable između kojih postoji međusobna zavisnost, određen je njen iznos i pouzdanost procjene novih vrijednosti. Na temelju dobivenih rezultata te stratigrafsko-tektonskih podataka odabrana su perspektivna mjesta uleknine na kojima je izračunata termijska zrelost, odnosno provjereno pripadaju li ti sedimenti području "naftnoga prozora".

### **7.1. MEHANIZAM POSTANKA UGLJKOVODIKA**

Ugljikovodici nastaju biološkom i termijskom izmjenom organske tvari u sedimentima. Njihovo stvaranje ovisi o temperaturi kojoj je matična stijena bila izložena kroz neko vrijeme, a volumen o količini kerogena po jedinici volumena. Najveći dio nastaje u matičnoj stijeni (*in situ*), ali manji dio, prvenstveno plina, može nastati i za vrijeme migracije i akumulacije u ležištu. Točna kvantifikacija svih procesa u kojima nastaju nafta i plin još uvijek nije moguća. U tu svrhu razvijeni su *kinetički modeli*, no još uvijek su postupci na kojima se temelje njihovi proračuni predmet stalnog poboljšavanja i promjena. Većina modela za proračun količina nastalih ugljikovodika kao ulazne podatke zahtijeva vrijeme nastanka ugljikovodika, zamki, rezervoarskih i izloatorskih stijena. Količina nastalih ugljikovodika izražava se kroz tri iznosa: (1) količina nafte i plina *nastalih* po 1 km<sup>3</sup> matične stijene; (2) količina (m<sup>3</sup>) koja je *istisnuta* u rezervoarsku stijenu te (3) količina (m<sup>3</sup>) *preostala* u matičnoj stijeni.

Osnovni parametri koji određuju količinu nastalih ugljikovodika opisani su Arrheniusovom jednadžbom koja je doživjela mnoge dorade i poboljšanja. Te promjene su prvenstveno obuhvatile mogućnost nastanka različitih vrsta ugljikovodika iz različitih tipova kerogena te generiranje plina iz nafte. Prvi model koji je prilikom generiranja ugljikovodika uzeo u obzir geološko vrijeme prikazao je TISSOT (1969), a uskoro je isti i nadogradio (TISSOT & ESPITALIÉ, 1975). Osnovna ideja je da nafta iz kerogena nastaje u prvoj fazi istovremenim odvijanjem šest kinetičkih reakcija, a u drugoj fazi plin nastaje u jednoj reakciji. Kasnije su TISSOT & WELTE (1984) matematički objasnili reakcije koje opisuju promjene sadržaja ugljikovodika u stijeni s obzirom na vrijeme i temperaturu. Također su objavili tablice s aktivacijskim energijama, reakcijskim konstantama i početnim vrijednostima za svaki tip kerogena. Time je postavljen teorijski model čiji osnovni principi vrijede i danas. Većina kasnijih promjena uglavnom je išla u smjeru podešavanja iznosa aktivacijskih energija u skladu s lokalnim opaženim podacima. No, bilo je i pokušaja stvaranja gotovo potpuno novih modela, u kojima se upotrebljavaju nove kinetičke reakcije u cilju određivanja količine ugljikovodika unutar analiziranog bazena. Takvu metodologiju prikazali su npr. NAKAYAMA & VAN SICLEN (1981).

### **7.2. GEOKEMIJSKE VARIJABLE**

Prema podacima iz *dossiera* bušotina analizirano je 5 geokemijskih varijabli u prostoru uleknine. Svaki podatak je očitan odvojeno za član Križevci i član Mosti. To je sljedećih 4 varijable (svaka s zasebnim veličinama u dva promatrana litostratigrafska člana):

- sadržaj organskoga ugljika u članovima Križevci i Mosti ( $C_{org\_KR}$  i  $C_{org\_MO}$ );
- količina pirolizom generiranih ugljikovodika ( $S_2\_KR$  i  $S_2\_MO$ );

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

- vodikov indeks ( $HI\_KR$  i  $HI\_MO$ );
- kisikov indeks ( $OI\_KR$  i  $OI\_MO$ ).

Kao jedinstven podatak za oba člana, a zbog nemogućnosti razdvajanja, očitana je vitrinitna refleksija ( $R_o\_KM$ ).

Ako je u istoj bušotini unutar istoga člana postojalo više podataka izračunata je njihova srednja vrijednost te je s njom nastavljen proračun na razini uleknine.

Kod *cluster* analize ulazna baza podataka zahtjevala je da za svaku odabranu varijablu postoje očitane vrijednosti u svim uključenim bušotinama. Za one bušotine gdje pojedina varijabla nije mjerena upotrebljena je srednja vrijednost svih odgovarajućih podataka prikupljenih na razini uleknine.

### 7.2.1. STATISTIKA VARIJABLI

Geokemijske varijable analizirane su deskriptivnom statistikom.

$C_{org}$  označava sadržaj organske tvari u sedimentima i izražava se u %. Granična donja vrijednost (vrlo uopćena) da bi klastičnu stijenu smatrali eventualno matičnom je sadržaj organske tvari između 0,5 i 1,0 %.

$S_2$  je količina ugljikovodika i sličnih spojeva dobivena pirolizom kerogena na temp. 420-460°C. Izražava se kao  $g\ CH/kg\ stijene$ , a naziva genetskim potencijalom jer ukazuje na izdašnost analiziranog kerogena u pogledu volumena ugljikovodika koji su mogli nastati iz istoga.

$HI$  je vodikov indeks izražen kao  $S_2/C_{org}$ . Nezavisan je od količina organske tvari. Veće vrijednosti ukazuju na stijenu višeg stupnja zrelosti.

$OI$  je kisikov indeks izražen kao  $S_3/C_{org}$ , a  $S_3$  je količina  $CO_2$  nastala tijekom pirolize ( $g\ CO_2/kg\ stijene$ ). Nezavisan je od količine organske tvari. Veće vrijednosti ukazuju na kerogen tipa III ili oksidaciju organske tvari u procesu dijageneze.

Analizirane varijable prikazane su u **tablicama 7.1, 7.2 i 7.3**. Uz *srednju vrijednost, minimum, maksimum i varijancu* navedeni su još podaci o *intervalu pouzdanosti od 95 %*. *Interval pouzdanosti* je obuhvatio dva stupca (-95 % i 95 %) s krajnijim vrijednostima intervala u koji ulazi 95 % promatranih i očekivanih vrijednosti, uz dobivenu varijancu.

ČLAN MOSTI						
	sr. vrij.	-95 %	95 %	minimum	maksimum	varijanca
$C_{org\_MO}$	1,14	0,15	2,14	0,01	5,3	2,2
$S_2\_MO$	6,91	0	19,17	0,01	22,91	97,4
$HI\_MO$	237,81	45,67	429,94	120,0	397,78	$14,6 \times 10^3$
$OI\_MO$	447,83	0	1851,32	107,3	1100,0	$3,2 \times 10^5$

**Tablica 7.1:** Statistika  $C_{org}$ ,  $S_2$ ,  $HI$ ,  $OI$  za član Mosti

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

ČLAN KRIŽEVCI						
	sr. vrij.	-95 %	95 %	mini-mum	maksi-mum	varijanca
C <sub>org</sub> _KR	0,61	0,35	0,87	0,19	1,41	0,11
S <sub>2</sub> _KR	1,64	1,07	4,34	0,92	2,89	1,18
HI_KR	271,74	0	619,11	184,0	433,0	19,6x10 <sup>3</sup>
OI_KR	76,70	0	650,64	31,53	121,87	4080,66

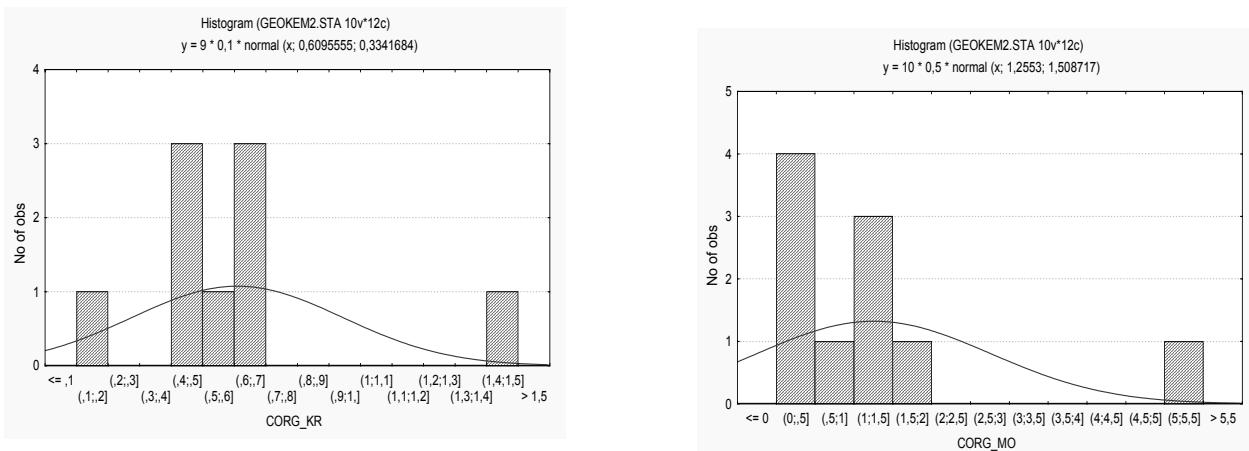
**Tablica 7.2:** Statistika C<sub>org</sub>, S<sub>2</sub>, HI, OI za član Križevci

Članovi Mosti i Križevci						
	sr. vrij.	-95 %	95 %	mini-mum	maksi-mum	varijanca
R <sub>o</sub> _KM	0,72	0	2,25	0,34	1,43	1,09

**Tablica 7.3:** Statistika R<sub>o</sub> za članove Mosti i Križevci

Iz **tablica 7.1** i **7.2** uočeno je da je prosječni sadržaj C<sub>org</sub> gotovo dvostruko veći unutar člana Mosti. U sedimentima oba člana prelazi granicu od 0,5 %, unutar člana Mosti je 1,26 %, a unutar člana Križevci 0,61 %.

Geokemijski je nepovoljan podatak da je donja granica *intervala pouzdanosti* kod oba člana ispod 0,5 %. Uz to, načinjene krivulje razdiobe (**slika 7.1**) u oba su slučaja pomaknute ulijevo što upućuje kako bi većina novih vrijednosti težila upravo prema donjoj granici intervala.



**Slika 7.1:** Histogrami uzoraka člana Križevci (lijevo) i Mosti (desno) s krivuljama razdiobe

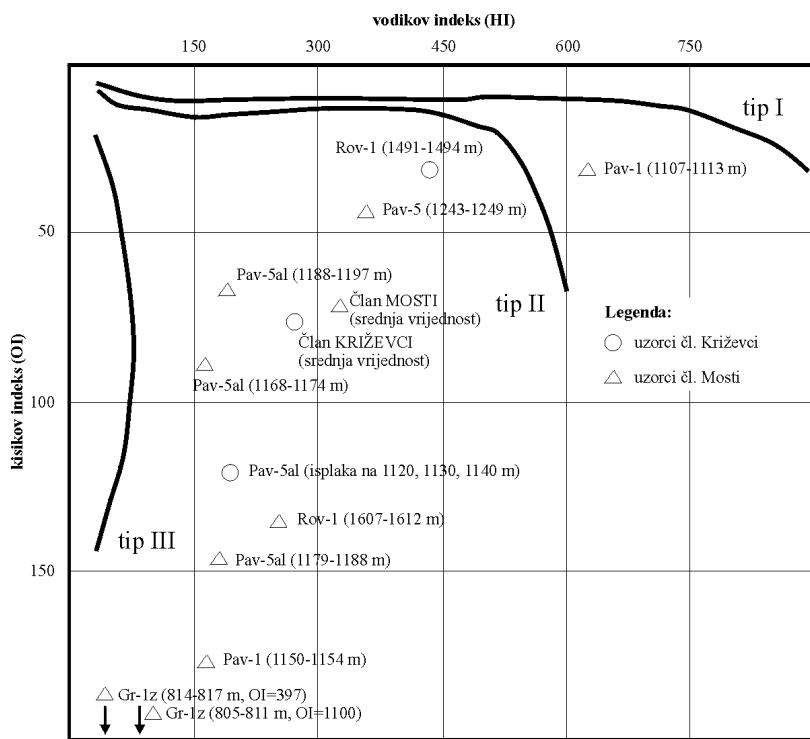
Prema vrijednosti genetskog potencijala S<sub>2</sub> stijene se klasificiraju u tri skupine (BARIĆ, 1990). Stijene s vrijednošću S<sub>2</sub><2 ne predstavljaju matične sedimente, a eventualno su mogle generirati malo plina. Vrijednosti 2<S<sub>2</sub><6 ukazuju na matične stijene ograničenog (manjeg) potencijala. Dobre matične stijene obilježene su vrijednostima S<sub>2</sub>>6.

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

Dobivene srednje vrijednosti  $S_2$  vrlo su različite (**tablice 7.1 i 7.2**). Prema njima sedimenti člana Mosti predstavljaju dobre matične stijene ( $S_2=6,91$ ), a član Križevci je bez ikakvog generirajućeg potencijala ( $S_2=1,07$ ).

Vrijednosti indeksa **HI** i **OI** su bile pomoć pri ocjeni kvalitete potencijalnih matičnih stijena. Visoke dobivene vrijednosti varijance, odnosno devijacije upozoravaju da rezultate treba interpretirati s određenom nesigurnošću.

Usporedba srednjih vrijednosti indeksa **HI** (čl. Mosti 277,1; čl. Križevci 271,7) i **OI** (čl. Mosti 121,7; čl. Križevci 76,7) ukazuju da uzorci kerogena variraju između tipa II i III. Konstruiran je Van Krevelenov dijagram čije osi predstavljaju vrijednosti indeksa HI i OI. Nanesene su vrijednosti indeksa u buštinama Gr-1z, Pav-1, Pav-5al i Rov-1 te srednje vrijednosti na nivou cijele uleknine. Raspoloživo je takođe učinjeno da se u svim slučajevima (osim jednom) radilo o kerogenu na prijelazu tipova II i III (**slika 7.2**). Nije uočena nikakva pravilnost (geografska, po dubini ili litostratigrafiji) kojom bi se mogao povezati položaj pojedinih točaka na dijagramu, tako da veća zastupljenost jedne od tih komponenti slučajno varira od mjesta do mjesta. Iznimno je na Pavljanima na jednom intervalu određen kerogen tipa I/II (*BARIĆ, 1991*). Treba spomenuti da su geokemijska mjerena načinjena i na Velikoj Cigleni, no nisu bili dostupne vrijednosti vodikova i kisikova indeksa. Tamo je utvrđeno da se radi o kerogenu tipa III (*MARCOVIĆ et al., 1990*).



*Slika 7.2: Van Krevelenov dijagram uzoraka kerogena na području bjelovarske uleknine*

### **7.2.2. ODREĐIVANJE MEĐUSOBNE ZAVISNOSTI VARIJABLI**

Međuzavisnost promatranih vrijednosti moguće je odrediti na više načina. U ovome radu odabrane su dvije metode. Prvo je izračunata korelacija dviju varijabli, odnosno njihov Pearsonov koeficijent korelacije ( $R$ ). Na taj način je određen stupanj "linearnosti" veze dviju varijabli (**tablica 7.4**).

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

	C <sub>ORG</sub> MO	S <sub>2</sub> MO		C <sub>ORG</sub> KR	S <sub>2</sub> KR
C <sub>ORG</sub> MO	1,00	0,95	C <sub>ORG</sub> KR	1,00	-0,24
S <sub>2</sub> MO	0,95	1,00	S <sub>2</sub> KR	-0,24	1,00

**Tablica 7.4:** Korelacija C<sub>org</sub>-S<sub>2</sub> (unutar članova)

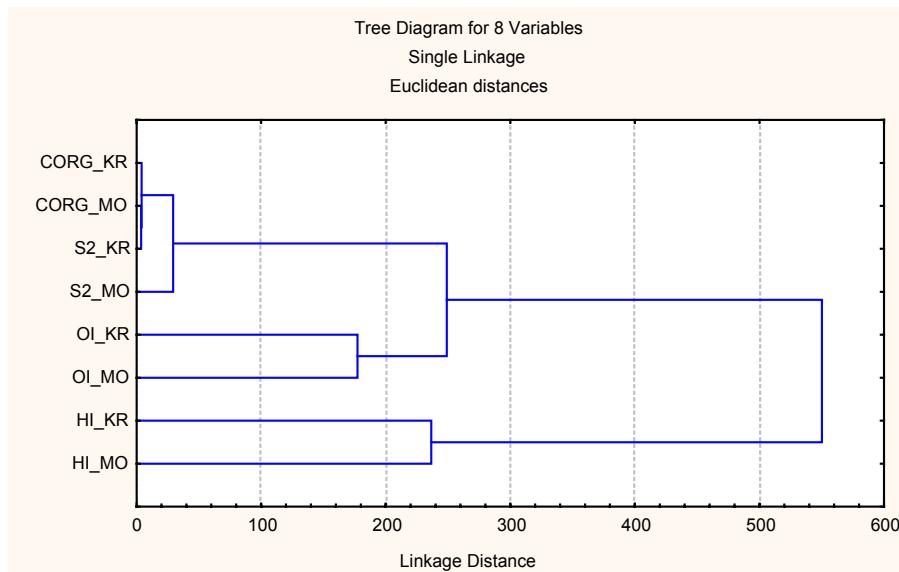
Unutar člana Mosti dobivena je visoka pozitivna korelacija para C<sub>org</sub>\_MO-S<sub>2</sub>\_MO, što ukazuje da su uzorci uglavnom pripadali istoj vrsti kerogena, odnosno mali je interval u prijelazu tipa II i III. Potpuno suprotan rezultat je izračunat za član Križevci. Korelacija je negativna, a njezina vrijednost vrlo niska iz čega je zaključeno da su uzorci toga člana puno različitiji prema tipu kerogena, odnosno da je kerogen uglavnom prema tipu III čime se smanjuje vrijednost genetskog potencijala.

Drugi način kojim se pokušala odrediti veza među odabranim geokemijskim varijablama bila je upotreba *cluster* analize. Ponovno su izdvojene četiri varijable (C<sub>org</sub>, S<sub>2</sub>, HI i OI), dok je R<sub>o</sub> izostavljen zbog različitog karaktera, odnosno predstavlja optičku, a ne težinsku vrijednost. Stoga je procijenjeno kako ga ne bi bilo ispravno uspoređivati s ostalim veličinama.

Smisao *cluster* analize je razvijanje taksonomije promatranih vrijednosti. Postupak se sastoji od izgradnje hijerarhijskog stabla u kojem su pojedine veličine prije ili kasnije međusobno povezane. Pri tomu je najvažniji parametar *udaljenost* na kojoj je povezivanje načinjeno. Varijable povezane na manjoj udaljenosti imaju veću međuzavisnost i obrnuto. Dobiveno hijerarhijsko stablo u načinjenoj analizi prikazano je na **slici 7.3**.

$$Udaljenost(x, y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2} \quad (7.1)$$

Nekoliko je metoda razvijenih za povezivanje vrijednosti. U ovoj analizi upotrebljena je metoda nazvana "single linkage" koja udaljenosti na osi X računa prema **formuli 7.1**. Na taj način odabrana varijabla povezana je s drugom varijablom iz svoga najbližega susjedstva, naravno ako za njoj susjedne veličine nije ranije određena neka druga, jača veza. U takvom sustavu veliki utjecaj ima već sama priprema podataka i određivanje njihova međusobnog početnog redoslijeda. Zato su ulazne varijable poredane u nizu prema njihovoj najvećoj međusobnoj srodnosti što je vidljivo na **slici 7.1**.



**Slika 7.3:** Higerarhijsko stablo 4 uspoređene varijable (svaka varijabla ima 2 vrijednosti)

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

Izgled dobivenih veza i njihove udaljenosti uglavnom su bile očekivane. Najčešće su prvo spojene varijable istoga tipa. No, iznimka je ponašanje varijable  $S_2\text{-KR}$  koja je "bliskija" vrijednostima  $C_{\text{org}}$  za oba člana, nego li svome "paru"  $S_2\text{-MO}$ . No unutar parova  $C_{\text{org}}$  i  $S_2$  najveća međuzavisnost nije dobivena u istome paru već između. Zato je ponovno načinjena korelacijska tablica (**tablica 7.5**) među svim vrijednostima  $S_2$  i  $C_{\text{org}}$  u oba člana, a kako bi se korelacijskim koeficijentima provjerili dobiveni odnosi na hijerarhijskom stablu.

	$C_{\text{org}}\text{-MO}$	$C_{\text{org}}\text{-KR}$	$S_2\text{-MO}$	$S_2\text{-KR}$
$C_{\text{org}}\text{-MO}$		0,144	0,956	0,996
$C_{\text{org}}\text{-KR}$	0,144		-0,292	0,998
$S_2\text{-MO}$	0,956	-0,292		0,998
$S_2\text{-KR}$	0,996	0,998	0,998	

**Tablica 7.5:** Korelacija  $C_{\text{org}}\text{-}S_2$  (između članova)

Neke od dobivenih vrijednosti ukazale su na vrlo visoku pozitivnu korelaciju, npr. između parova  $S_2\text{-MO-S}_2\text{-KR}$  te  $C_{\text{org}}\text{-KR-S}_2\text{-KR}$  (0,998),  $C_{\text{org}}\text{-MO-S}_2\text{-KR}$  (0,996) te  $C_{\text{org}}\text{-MO-S}_2\text{-MO}$  (0,956). To približno odgovara početnom povezivanju triju vrijednosti na hijerarhijskom stablu:  $C_{\text{org}}\text{-MO-S}_2\text{-KR-C}_{\text{org}}\text{-KR}$ .

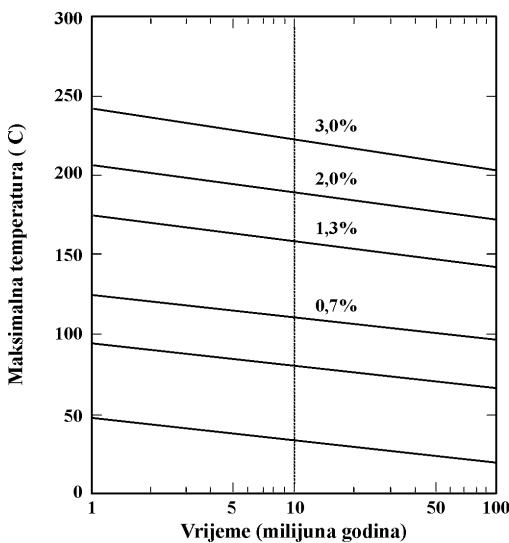
Vidljivo je kako je na oba načina dobiven vrlo sličan rezultat, koji je na taj način i potvrđen. *Cluster* analiza pokazalo se posebno upotrebljivom u slučaju kada su korelacijski koeficijenti između varijabli niski. U tom slučaju hijerarhijsko stablo vizualno vrlo jasno predočava "snagu" veze pojedinih veličina. Pri tome treba uvijek s oprezom pristupati interpretaciji *udaljenosti* očitane iz rezultata *cluster* analize, jer se radi o relativnim vrijednostima. Upravo na taj je način interpretirana povezanost vodikova i kisikova indeksa (HI i OI), koje su pokazale prvenstveno najveću međusobnu zavisnost, a također je vidljivo kako vrijednost OI više ovisi o ostalim parametrima kerogena nego li vrijednost HI.

### **7.2.3. ANALIZA VITRINITNE REFLEKSIJE ( $R_o$ )**

*Vitrinitna refleksija* ( $R_o$ ) nije bila statistički upoređivana s ostale 4 varijable, jer je ona jedina izražena kao vizualna (optička) jedinica. Također vrijednosti te četiri varijable ( $C_{\text{org}}$ ,  $S_2$ , HI, OI) značajna su tek kada su podaci izmjereni u sedimentima koji se mogu smatrati potencijalno matičnima.

Zbog toga je trebalo odrediti približnu "zrelost" odabranih litostratigrafskih jedinica na cijelome području uleknine. U tu svrhu upotrebljene su dostupne vrijednosti optičke zrelosti stijena, odnosno veličina  $R_o$ . I u ovom slučaju broj podataka i njihov raspored bio je vrlo promjenjiv, ovisno o dijelovima uleknine. Kako bi se povećao broj ulaznih vrijednosti, odnosno prepostavile vrijednosti  $R_o$  i na mjestima gdje nije izmjerena, a gdje je u skladu s geološkim odnosima prepostavljena moguća zrelost, upotrebljen je nomogram na **slici 7.4**. Njime se iz maksimalne izmjerene temperature i starosti jedinice mogao približno procjeniti  $R_o$ .

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika



**Slika 7.4:** Nomogram za određivanje vitrinitne refleksije ( $R_o$ ) iz maksimalne temperature stijena poznate starosti (SWEENEY & BURNHAM, 1990)

Unutar člana Mosti izmjerena je  $R_o$  na poljima *Galovac-Pavljani*, *Velika Ciglena*, *Grubišno polje* i kod *Rovišća*. Upotreboom nomograma izračunate su još vrijednosti kod *Novoga Gloga*, te na poljima *Letičani* i *Hampovica*. Kao vrijednost maksimalne temperature upotrebljena je današnja vrijednost izmjerena na spomenutim lokacijama. Ako takav podatak nije postojao, maksimalna temperatura izračunata je u skladu s današnjim geotermijskim gradijentom u tom dijelu uleknine na dubini koja predstavlja granicu članova Mosti i Križevci. Starost te granice postavljena je na 10 milijuna godina (granica sarmata i donjeg panona).

Unutar bjelovarske uleknine nisu očekivana područja veće geokemijske zrelosti, jer su najveće dubine neogenskih sedimenata relativno male. Dubina, geotermijski gradijent i vrijeme provedeno u određenim uvjetima najvažniji su čimbenik dostizanja termijske zrelosti nekog sedimenta.

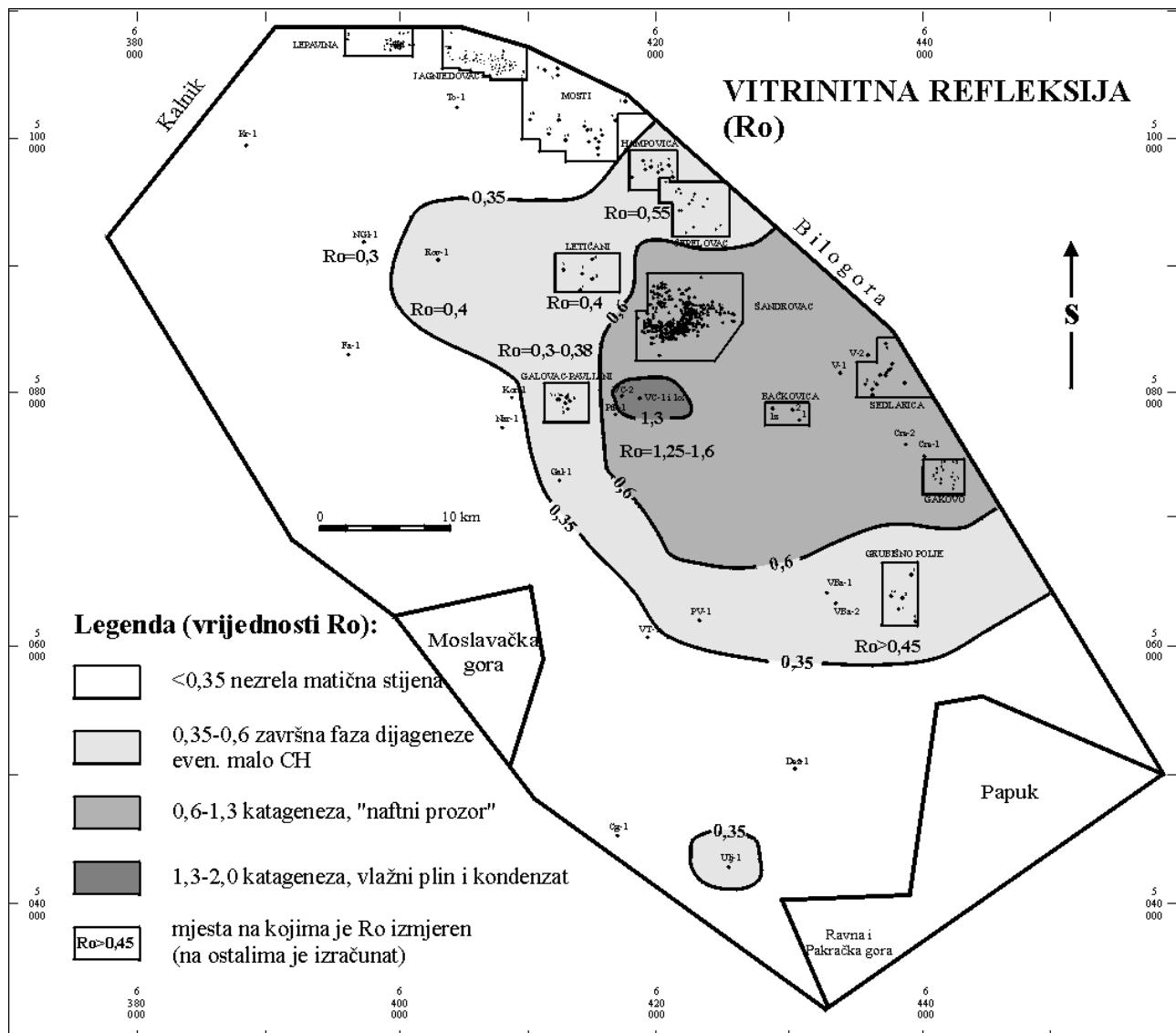
Sve postojeće i izračunate vrijednosti  $R_o$  nanesene su na geografsku podlogu uleknine te je na taj način dobivena karta prikazana na **slici 7.5**. Prema **tablici 7.6** vrijednosti  $R_o$  od 0,8 % i više označavaju ulazak u područje "naftnoga prozora", odnosno područje generiranja kondenzata i plina (degradacija), naravno ako su zadovoljeni i ostali uvjeti - postojanje matičnih stijena, kvalitetnog kerogena te migracijskog puta.

Zona izrazito visoke vrijednosti  $R_o$  ( $>1,25$ ) sa sigurnošću je očrtana jedino u području *Velike Ciglene* (prezrele stijene) te je na osnovi tog podatka ekstrapoliran relativno visoki  $R_o$  za gotovo cijeli sjeveroistočni dio uleknine.

Suprotno tomu, kod *Novog Gloga* ( $R_o=0,3$ ) sedimenti su geokemijski potpuno nezreli, odnosno tek su u fazi dijageneze.

Na ostalim područjima (*Rovišće*, *Letičani*, *Galovac-Pavljani*, *Grubišno polje*, *Hampovica*) postojeći podaci su ukazali tek na završnu fazu dijageneze ( $R>0,35$ ), tj. eventualno se može prepostaviti početak generiranja tek vrlo malih količina plina i nafte. Ipak su takva područja još jednom izdvojena i dodatno analizirana metodom proračuna indeksa termijske zrelosti (TTI).

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika



Slika 7.5: Izmjerene i izračunate vrijednosti vitrinitne refleksije u sedimentima fm. Moslavačka gora

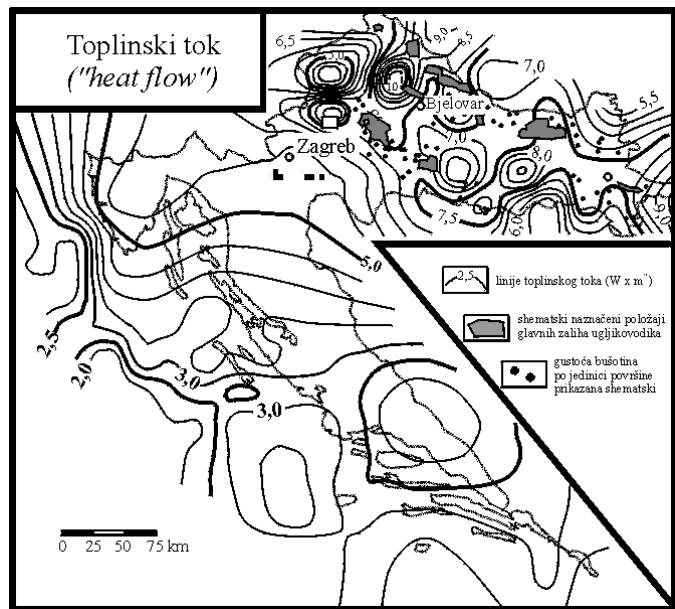
### 7.3. INDEKS TERMIJSKE ZRELOSTI, GEOTERMIJSKI GRADIJENT I OPTIČKA ZRELOST

Proračun indeksa termijske zrelosti desetljećima predstavlja jednu vrlo pristupačnu i široko korištenu geokemijsku metodu. Prvi put metodu je opisao LOPATIN (1971) i uveo u upotrebu većinu danas korištenih pojmove. Najvažniji je **vremensko-temperaturni indeks ("Time-Temperature Index - TTI")**. U ovome radu taj indeks izračunat je metodom WAPLESA (1988) te metodom EASY% $R_0$  (SWEENEY & BURNHAM, 1990).

Za proračun vremensko-temperaturnog indeksa potrebno je poznavati *geotermijski gradijent* ( $G_T$ ). Njegova vrijednost ovisi o vrsti sedimenata i toplinskom toku, a izražava se u  $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (ponekad zbog jednostavnosti samo u  $^{\circ}\text{C}$ ). U državi Hrvatskoj vrijednosti gradijenta najčešće su u intervalu između 2,5 i 7,5  $^{\circ}\text{C}$  kako je to prikazano na slici 7.6 (JELIĆ & PAVIČIĆ, 1999). Prema istoj slici unutar bjelovarske uleknine te vrijednosti se kreću od 3,8 do 6,9  $^{\circ}\text{C}$ , a cijelo područje se nalazi približno između maksimuma zapadnog dijela dravske potonine i minimuma uz Papuk i Psunj.

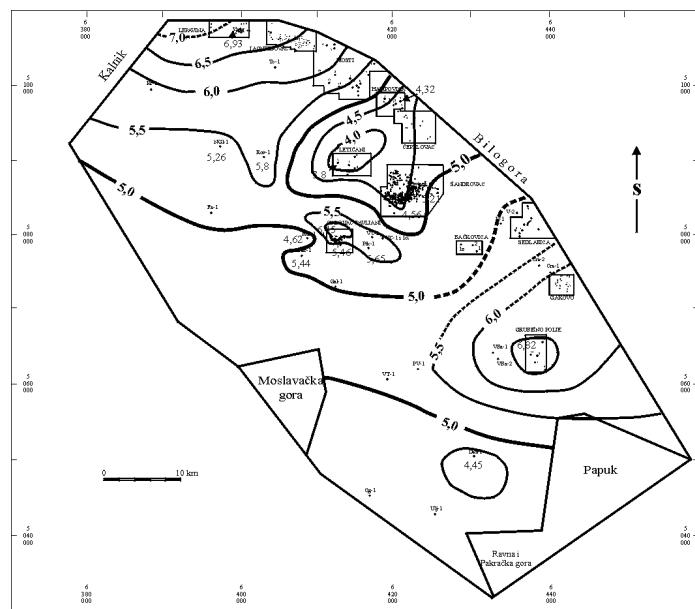
## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

Također autori ističu (JELIĆ & PAVIČIĆ, 1999) kako u hrvatskom dijelu Panonskog bazena "pozitivne" anomalije gradijenata (a time i toplinskog toka) približno odgovaraju položaju mjesta na kojima je otkriveno jedno ili više naftnih i/ili plinskih polja.



*Slika 7.6: Raspodjela toplinskog toka u Hrvatskoj (JELIĆ & PAVIČIĆ, 1999)*

Jedan od ciljeva analize bio je prikupljanje što većeg broja podataka o vrijednostima gradijenata izmjerjenih unutar člana Mosti. Za određeni broj bušotina takvi podaci nalazili su se u *dossierima* bušotina. U starijim *dossierima* bila je zabilježena samo vrijednost temperature na dnu bušotine pa je na temelju nje izračunat današnji geotermijski gradijent. Na kraju su prikupljene i dobivene vrijednosti nanesene na kartu uleknine te je interpolirana raspodjela geotermijskog gradijenta unutar člana Mosti bjelovarske uleknine (**slika 7.7**). Više vrijednosti povezane su sa sjeveroistočnim dijelom uleknine (slično kao za  $R_0$  na **slici 7.5**) te s krajnjim sjevernim dijelom uleknine (polje Lepavina).



*Slika 7.7: Karta geotermijskog gradijenta člana Mosti bjelovarske uleknine*

### 7.3.1. ODREĐIVANJE TERMIJSKE ZRELOSTI

Na temelju stratigrafije i postojećih geokemijskih podataka su izdvojeni sedimenti donjega panona, sarmata i gornjeg badena, odnosno članovi Križevci i Mosti, kao potencijalne matične stijene. Postojeća geokemijska mjerena nisu bila brojna niti relativno pravilno raspoređena po cijeloj uleknini pa je upotrebljena još spomenuta dodatna geokemijska procjena termijske zrelosti stijena. Takav postupak načinjen je u svim dijelovima uleknine koja su na **slici 7.5** označena područjima u završnoj fazi dijageneze ( $R_o > 0,35$ ).

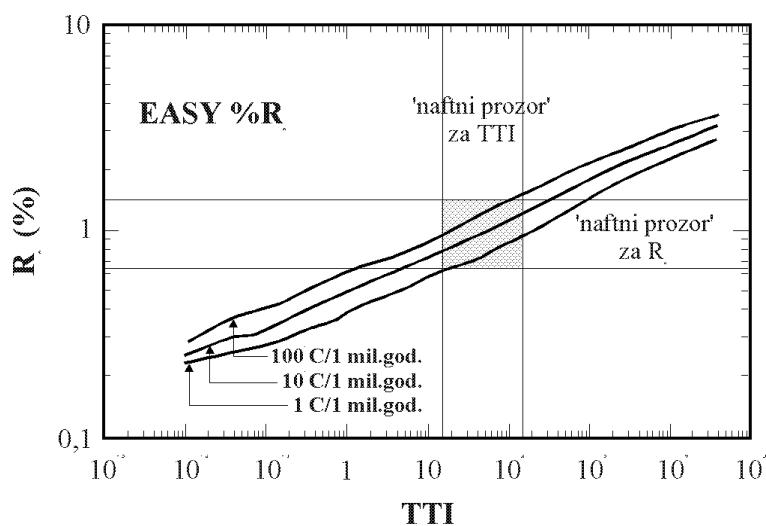
Na taj način ponovno je provjerena zrelost dijelova uleknine koji su označeni perspektivnim obzirom na dubinu i vrstu sedimenata članova Mosti i Križevci. Proračun termijske zrelosti u proračun uključuje i vrijeme koje su sedimenti proveli na određenoj dubini u geološkoj prošlosti. Rezultat je predstavljen vrijednošću *indeksa termijske zrelosti* (TTI).

Cjelovit postupak proračuna tih indeksa poznat je pod nazivom Lopatinova metoda koju su mnogi autori nadogradili i poboljšali. No, na nekim mjestima unutar uleknine nije postojalo dovoljno ulaznih podataka da bi se takav račun mogao provesti te je rezultat TTI dobiven jednostavnom aproksimacijom preko vrijednosti  $R_o$ .

#### 7.3.1.1. METODA EASY% $R_o$

Metodu su razvili SWEENEY & BURNHAM (1990) i objavili nekoliko nomograma za praktičnu upotrebu određivanja zrelosti. Na **slici 7.8** prikazan je nomogram kojim se određuje nepoznata varijabla iz para  $R_o$ -TTI. Interpretator treba odabrati odgovarajući pravac *termijskog zagrijavanja* ( $^{\circ}\text{C}/\text{m.g.}$ ) ili u zadanim granicama postaviti vlastiti.

Pravac se konstruira tako da se očita današnja temperatura (umanjena za prosječnu površinsku godišnju) u sedimentima poznate starosti. Vrijednost se podijeli sa starošću sedimenta (izraženoj u milijunima godina), a rezultat je odnos  $^{\circ}\text{C}/1 \text{ m.g.}$  nazvan *termijskim zagrijavanjem*.



**Slika 7.8:** Određivanje vrijednosti  $R_o$  i TTI uz različite iznose termijskog zagrijavanja. "Naftni prozor" je osjenčan (SWEENEY & BURNHAM, 1990)

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

### 7.3.1.2. DIJAGRAM TALOŽNE POVIJESTI I DOBIVANJE VRIJEDNOSTI TTI

Detaljnija metoda za proračun termijske zrelosti je konstrukcija *dijagrama taložne povijesti* (LOPATIN, 1971; WAPLES, 1988). Na takvom dijagramu prikazana je dubina na kojoj su bili sedimenti od početka taloženja do danas. Zatim je određen prosječni geotermijski gradijent na promatranoj lokaciji i u skladu s tom vrijednošću nanesene su linije temperaturnih intervala svakih 10 °C. Svakom intervalu dodijeljen je odgovarajući temperaturni faktor (LOPATIN, 1971; WAPLES, 1988) koji se množi s razdobljem (izraženim u milijunima godina) koje su sedimenti proveli u svakom pojedinom intervalu. Za svaki interval dobiven je intervalni indeks termijske zrelosti (*iTTI*), a njihovim zbrajanjem izračunata je ukupna termijska zrelost ( $\Sigma TTI$ ) željenih sedimenata.

Zatim je na dijagramu označeno područje "naftnog prozora" u naslagama za koje su računate vrijednosti indeksa termijske zrelosti. Proračun ukupne termijske zrelosti ( $\Sigma TTI$ ) načinjen je od najstarijih prema mlađim sedimentima. Na taložnoj liniji tih sedimenata zabilježen je ulazak i izlazak iz područja "naftnoga prozora". Postupak je ponavljan za mlađe jedinice sve dok su njihove vrijednosti indeksa ulazile u područje "naftnoga prozora" te su označene točke presjecišta litoloških granica i vremena unutar prozora. Na kraju su spojene sve takve točke i dobiveno područje koje pokriva "naftnoga prozora" u vremenu i po dubini. Konstrukcija dijagrama taložne povijesti i račun indeksa termijske zrelosti te primjenu te metode na dvjema bušotinama, jednoj na polju Galovac-Pavljani i jednoj kod Velike Ciglene, prikazao je MALVIĆ (1998).

Vrijednosti TTI i  $R_o$  na kojima dolazi do stvaranja određenih vrsta ugljikovodika, odnosno granice između pojedinih generirajućih faza, prikazane su u **tablici 7.6**.

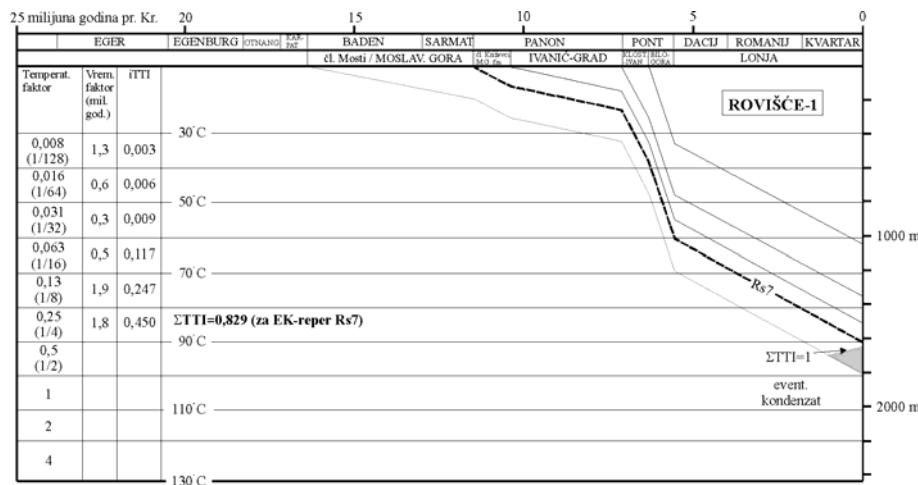
TTI	$R_o$	Vrsta ugljikovodika
1	0,40	Kondezat iz rezinita
3	0,50	Event. nafta iz kerogena bogatog sumporom
10	0,60	Početak 'naftnog prozora'
15	0,65	
20	0,70	
50	0,90	Maksimum generiranja, normalna nafta
75	1,00	Normalna ili lagana nafta
180	1,35	Kondenzat i mokri plin
500	1,75	Mokri plin
900	2,00	Suhi plin

**Tablica 7.6:** Usporedba vrijednosti TTI,  $R_o$  i vrste nastalih ugljikovodika (WAPLES, 1988)

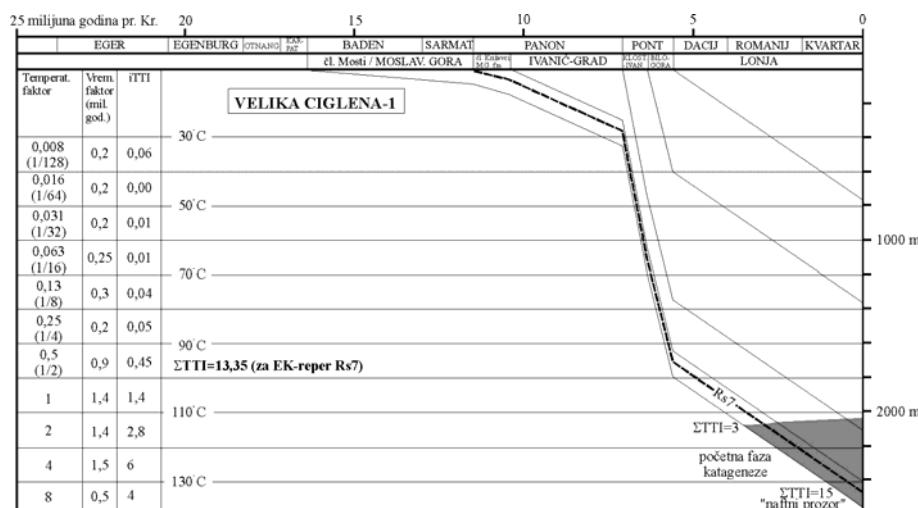
### 7.3.2. KONSTRUKCIJE LINIJA DUBINA I RAČUN INDEKSA TERMIJSKE ZRELOSTI

Lopatinova metoda, odnosno konstrukcija linija dubina te proračun termijske zrelosti načinjen je za bušotine Hampovica-7, Rovišće-1, Velika Ciglena-1 i Vis-1. Postupak je već ranije načinjen i objavljen (MALVIĆ, 1998) u bušotinama Pavljani-1 i Velika Ciglena-1 (no s drugačijom vrijednošću geotermijskog gradijenta).

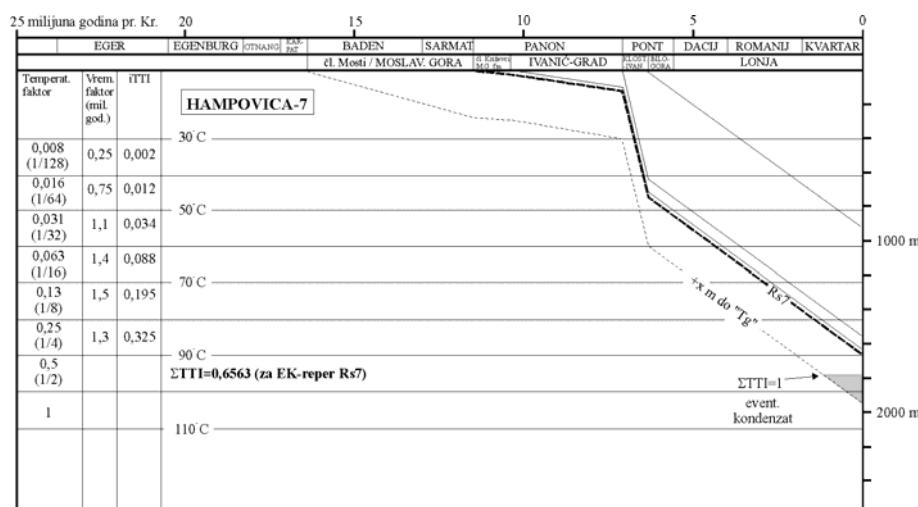
## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika



**Slika 7.9:** Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Rovišće-1

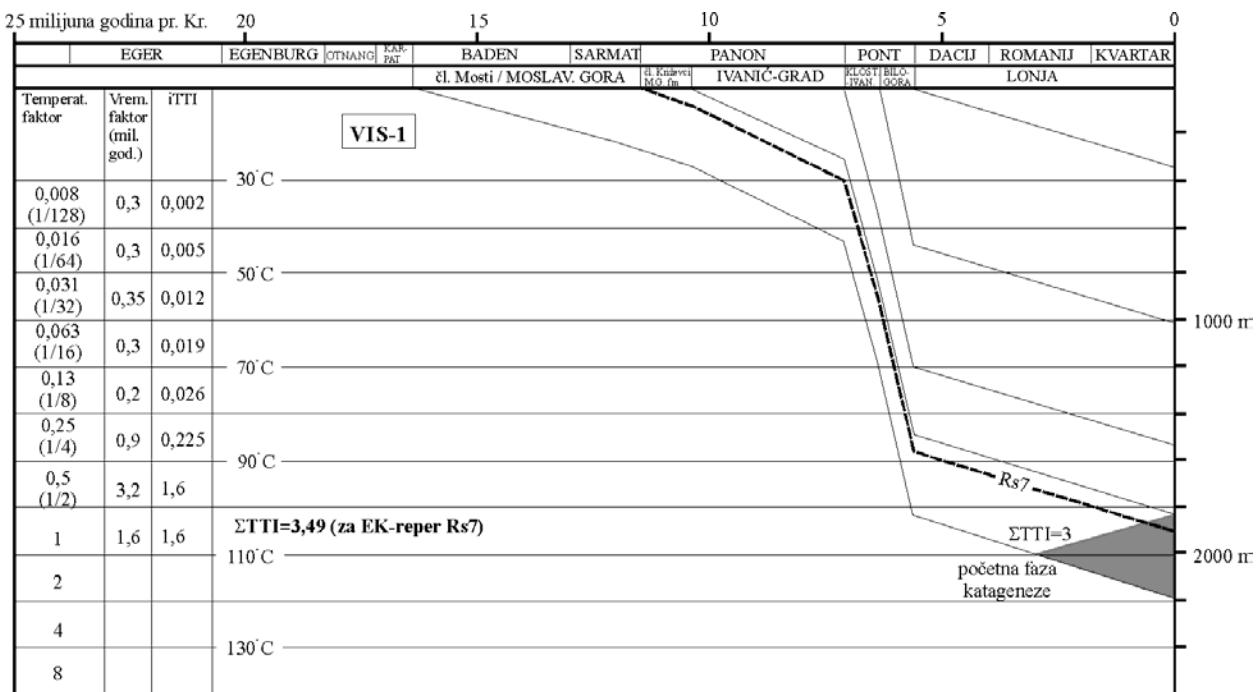


**Slika 7.10:** Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Velika Ciglena-1



**Slika 7.11:** Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Hampovica-7

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika



**Slika 7.12: Krivulja i proračun vrijednosti TTI u bušotini Vis-1**

Na polju Letičani opisani postupak nije načinjen, jer su dubina i litologija nasлага, optička zrelost te geotermijski gradijent vrlo slični onima kod Hampovice (usporedba bušotina Le-4 i Ha-7) pa su se očekivali gotovo jednaki rezultati, odnosno zaključeno je kako sedimenti nisu ušli u područje "naftnoga prozora".

Zbog istih razloga proračun termijske zrelosti nije proveden niti kod Grubišnog polja, gdje je "temeljno gorje" plijeće od 1000 m.

Na mjestima gdje je TTI bio već za EK-marker Rs7 blizak vrijednosti 1 računata je njegova intervalna vrijednost i za sljedeće mlađe litostratigrafske jedinice, ne bi li se na taj način povisila ukupna zbirna termijska zrelost.

Ipak zaključak je kako su dobivene vrijednosti termijske zrelosti općenito niske i na najvećem dijelu uleknine ne predstavljaju osnovu za izdvajanje i klasifikaciju pojedinih dijelova članova Mosti i Križevci kao matičnih stijena. Razlog tomu je uglavnom premala dubina na kojoj se unutar uleknine nalazi EK-marker Rs7. Ipak su izdvojena neka područja na kojima je potvrđena mogućnost generiranja barem malih količina plina i eventualno nafte, iako je većina njih krajnje graničnog potencijala i realno opisujući ne mogu predstavljati osnovu za stvaranje bilo kakvih ekonomskih akumulacija ugljikovodika u svojoj blizini.

Pojedinačno po lokalitetima, i promatrajući od zapada prema istoku, završna **faza dijageneze** izračunata je u bušotini Rov-1 (**slika 7.9**). Sedimenti su nezreli, a tek stariji dio člana Mosti (koji geokemijski nije perspektivan) prelazi granicu  $\Sigma TTI=1$ . Na sjeveru, u bušotini Ha-7 (**slika 7.11**) izračunat  $\Sigma TTI=0,66$  ukazuje na vrlo nisku fazu dijageneze, kao i ranije izračunata (MALVIĆ, 1998) vrijednost  $\Sigma TTI=0,3605$  u bušotini Pav-1.

U dva slučaju termijska zrelost je označila **fazu katageneze**. Vrijednost  $\Sigma TTI=3,49$  u bušotini Vis-1 na sjeveroistoku Bilogore obuhvatila je cijelokupnu fm. Moslavačka gora (do EK-markera Rs5) i ukazala na početnu fazu katageneze (**slika 7.12**). Najveća termijska zrelost u bjelovarskoj uleknini izračunata je u njenom središnjem dijelu, u bušotini VC-1 (**slika 7.10**) gdje se kompletne sedimenti

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

fm. Moslavačka gora i Ivanić-Grad nalaze u katagenetskoj fazi, a za interval "Pt"-Rs7 vrijednost  $\Sigma TTI=15$ .

### **7.3.3. GEOKEMIJSKI POTENCIJAL ULEKNINE**

Područje **Velike Ciglene** označeno je kao najperspektivnije, kako prema vrijednostima termijske zrelosti tako prema drugim geokemijskim podacima. Ipak interpretacije svake od metoda procjene zrelosti ukazuju na ponešto drugačije, a ponekad i kontradiktorne, odnose. *Rock eval* analiza ukazala je na visoki stadij zrelosti, viši od onoga dobivenog računom vrijednost  $\Sigma TTI$ . Prema tim rezultatima sedimenti kod Velika Ciglene danas su "prezreli" odnosno nalaze se u području generiranja termogenog plina (BARIĆ et al., 1992). Na sličan zaključak upućuju najviše izmjerene vrijednosti vitrinitne refleksije koje su iznosile 0,93-1,27 % (BARIĆ et al., 1992), odnosno 1,25-1,6 % (VLAHOVIĆ et al., 1991) (**tablica 7.6**). Niže vrijednosti  $R_o$  dobivene su u sedimentima graberskog člana fm. Kloštar-Ivanić, po kojima bi ti sedimenti odgovarali maksimumu generiranja nafte u području "naftnoga prozora". No, takav generativni potencijal ("naftni prozor") označava i dobivena termijska zrelost  $\Sigma TTI=15$ , koja je izračunata za sedimente člana Mosti, što bi bilo vrlo povoljno! Geokemijska ispitivanja ukazala su da je današnji prosječan sadržaj organske tvari 1,6-1,7 %, no radi se uglavnom o kerogenu tipa III nižega generirajućeg potencijala. Također pretpostavljen je da su male količine dobivenih ugljikovodika dobivenih prilikom izrade bušotine VC-2 sekundarnog podrijetla (VLAHOVIĆ et al., 1991).

Detaljna geokemijska ispitivanja načinjena su na polju **Galovac-Pavljani** (BARIĆ, 1991). Tamo je dubina EK-markera Rs7 prosječno tek nešto veća od 1000 m i danas su dijagenetskoj fazi. No, na nekim intervalima izmjerene su vrlo visoke vrijednosti genetskog potencijala ( $S_2=45 \text{ mg CH/g stijene}$ ), a izdvojen je i primarni bitumen te ugljikovodici. Očito su te stijene u prosjeku toliko bogate organskom tvari te povoljnog geokemijskog facijesa (algalni izvor) da su mogле nastati manje količine ugljikovodika, usprkos nezrelosti. To je i jedino mjesto gdje je na jednom intervalu određen kerogen na prijelazu tipova I i II.

Treće mjesto s obimnijim geokemijskim podacima bilo je **Grubišno Polje**. Iako se tamo neogenski sedimenti nalaze pliće od 1000 m otkriveno je plinsko ležište pa su jezgre i drugi uzorci detaljno ispitani. Sadržaj organske tvari kretao se 0,05-2,47 %, ali povišene vrijednosti su bile vezane uz pliće sedimente bogate ugljenom. *Rock Eval* analiza pokazala je na organsku tvar iz kerogena tipa III, s visokim udjelom terestričkih oksidiranih komponenti. Odnos alkana i alkena pokazao je da se radi o nafti izmijenjenoj procesom evaporitske frakcionacije, odnosno izmijenjenoj zbog dužeg migracijskog puta. Plin u ležištu je po sastavu mješavina termogenog (nastalog izdvajanjem laganih komponenti iz nafte) i biogenog (nastalog u dijagenskoj fazi) plina, za čije je ugljikovodike definirano kako su sekundarnog podrijetla (DONELLI, 1994).

Moguće matične stijene koje su mogле generirati ugljikovodike otkrivene u bjelovarskoj uleknini nije bilo lako i jednoznačno odrediti. Postojeća polja, prema zemljopisnom smještaju, mogu se podijeliti u dvije skupine: prvu koja obuhvaća polja na Bilogori (od Lepavine do Gakova) i drugu u koju su svrstana ležišta unutar uleknine (Letičani, Galovac-Pavljani, Grubišno polje). Prema vrsti otkrivenih ugljikovodika polja se dijele na naftna, naftoplinska i plinska polja, što je zajedno s pretpostavljenim migracijskim putovima prikazano na **slici 7.13**.

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

Strukturno-stratigrafski odnosi, položaj otkrivenih polja i zaliha ugljikovodika te opisani geokemijski odnosi ukazuju na činjenicu da su glavni izvori ugljikovodika smješteni u dubokom dijelu dravske potonine. To je najvjerojatnija, i gotovo jedina mogućnost, obzirom na poznate regionalne odnose u ovome području hrvatskoga dijela Panonskog bazena.

Najveći broj polja nalazi se u bilogorskoj zoni. Od sjeverozapada prema jugoistoku to su *Lepavina*, *Jagnjedovac*, *Mosti*, *Čepelovac*, *Hampovica*, *Šandrovac*, *Gakovo* i *Grubišno polje*. Jedina dva polja smještena unutar uleknine su *Galovac-Pavljani* i *Letičani*. Za bilogorska polja, obzirom na dužinu prepostavljenoga migracijskog puta i područje koje obuhvaćaju, prepostavljeno je kako su "napunjena" iz termijski zrelih matičnih stijena zapadnog dijela dravske potonine. Te stijene mogle su biti izvor većih količina nafte, plina i kondezata, tim više jer su sjevernije od toga područja otkrivena i druga, velika kondenzatna polja *Kalinovac*, *Stari Gradac* i *Molve*.

No, duboki dijelovi dravske potonine pružaju se i dalje prema jugoistoku u području Virovitice i Orešca. Čak i ako se unutar tih dijelova potonine pretpostave relativno kraći migracijski putovi od 15 km kako je to ranije opisano za područje bjelovarske uleknine (MALVIĆ, 1998), ti dijelovi dravske potonine i nadalje ostaju najvjerojatniji izvor ugljikovodika za istočni dio bilogorske zone, odnosno polja *Gakovo* i *Grubišno polje*.

Generalno duboki dijelovi potonine, obzirom na dubinu sedimenata i termijsku zrelost, predstavljaju sredine s visokim generirajućim potencijalom. Dubina pelitnih sedimenata fm. Moslavačka gora kreće se između 2000 i 4000 m pa su intervali smješteni u različitim dijelovima "naftnoga" ili "plinskoga prozora", tj. nalaze se u različitim fazama katageneze i metageneze (BARIĆ, 1992).

Studija koju je načinio BOBIĆ (1990) također je obuhvatila utvrđivanje izvora ugljikovodika unutar bjelovarske uleknine. Analizirani su geokemijski podaci iz sjeverozapadnog dijela bjelovarske uleknine, odnosno prostora *Novog Gloga*, *Rovišća*, *Letičana*, *Galovac-Pavljana* te *Velike Ciglene*. Vrijednosti vitrinitne refleksije u granicama "naftnog prozora" ( $R_o=0,7-1,0\%$ ) interpolirane su na području *Velike Ciglene*, južno od bušotine VC-1, te u trokutu između *Rovišća*, *Letičana* i *Galovac-Pavljana*. Ta područja su ujedno i završetak migracijskog puta koji je započeo sjeveroistočno od Bilogore, a s dva ogranka završio na poljima *Letičani* i *Galovac-Pavljani*. Rezultati toga rada (BOBIĆ, 1990) pružaju optimističniju sliku o zrelosti matičnih stijena, nego li je to opisano u ovome radu.

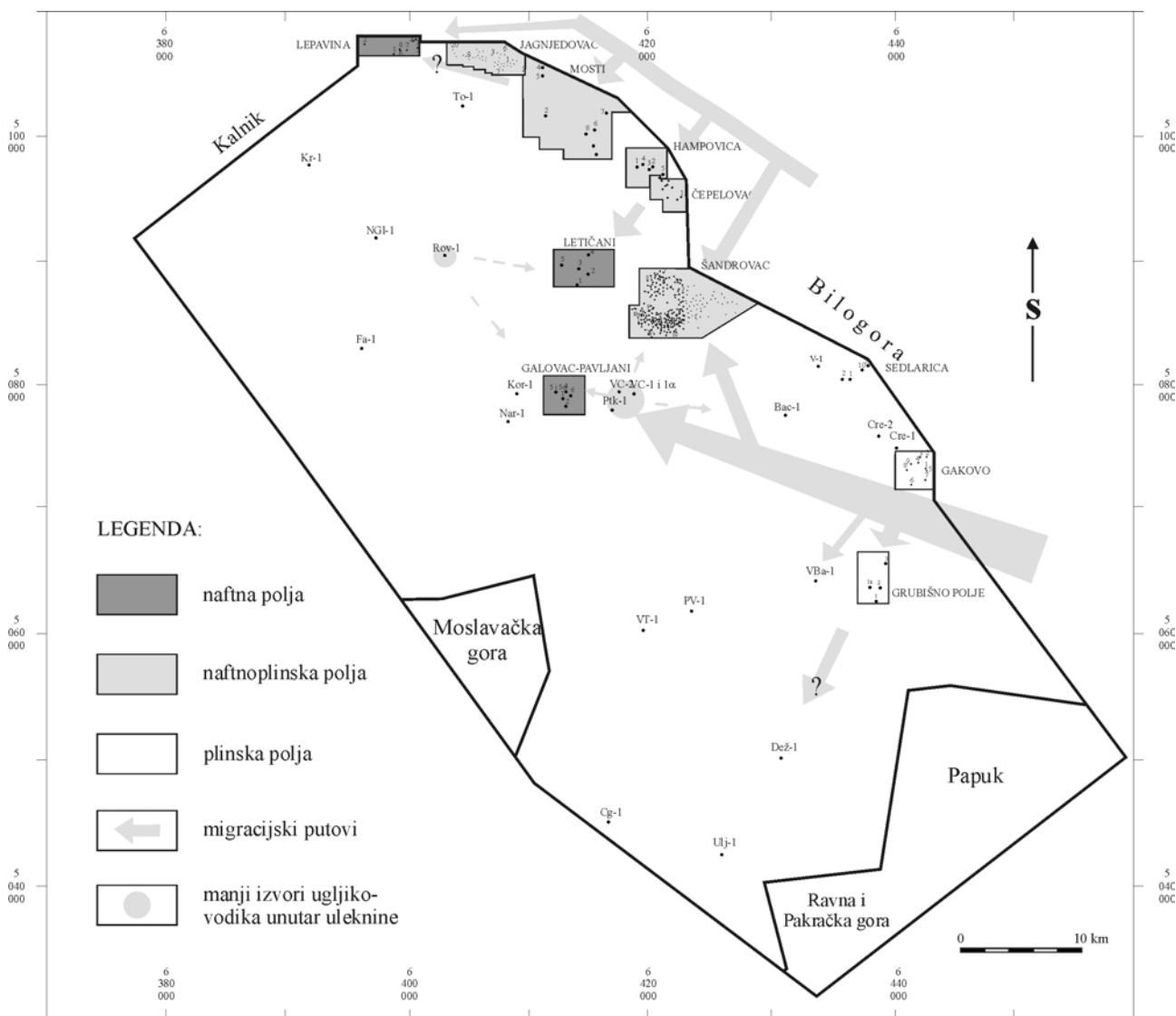
Ostaje pitanje "prihrane" polja koja se nalaze u središnjim dijelovima uleknine, odnosno spomenutih *Letičana* i *Galovac-Pavljana*. Iz geokemijskih analiza vidljivo je kako unutar uleknine ne postoji niti jedno mjesto za koje je sa sigurnošću određeno da predstavlja područje na kojem su se generirale veće količine ugljikovodika, kasnije otkrivene na nekom bliskom polju. No, određeni generirajući potencijal sigurno postoji, jer su mjestimice dobivene vrijednosti različitih parametara koje su ukazale da su neke količine ugljikovodika morale biti stvorene.

Prema dubinima, termijskoj zrelosti, a i litološkom sastavu izdvajaju se područja **Rovišća**, **Visa** i **Velike Ciglene**. Dio plina, a možda i nafte otkrivenih na *Grubišnom polju*, *Galovac-Pavljanima* i *Letičanima* sigurno je migrirao upravo s tih mjesta, tim prije jer se na temelju načinjenih strukturnih karata mogu odrediti smjer i dužina takvih migracijskih putova. Ono što na temelju postojećih podataka, analiza i računa nije bilo moguće odrediti su količine tako stvorenih ugljikovodika.

U području bjelovarske uleknine sadržaj i vrsta organske tvari u prostoru vrlo su promjenjivi. Najveći udjel terigene komponente zabilježen je kod *Velike Ciglene* te je tamo određen kerogen tipa III. Suprotno tomu, kod *Galovac-Pavljana* je na jednoj jezgri određen značajan udjel algalnog

## 7. Geokemijske značajke, zrelost i položaj matičnih stijena te ugljikovodika

materijala, povećan genetski potencijal te kerogen tipa I/II. Svi ostali uzorci kerogena unutar uleknine bili su prijelazni između tipa II i III.



**Slika 7.13:** Podjela polja prema vrsti otkrivenih ugljikovodika i migracijski putovi

## 8. STATISTIČKA I SEMIVARIOGRAMSKA ANALIZA ŠUPLJIKAVOSTI

U ovome poglavlju prikupljene su vrijednosti šupljikavosti u ležišnim stijenama bjelovarske uleknine. Te vrijednosti su (geo)statistički analizirane na onome dijelu skupa laboratorijskih podataka koji su to svojom brojnošću i kvalitetom dopuštali. Na taj način pokušalo se predvidjeti ponašanje šupljikavosti u pojedinim litostratigrafskim jedinicama i na mjestima gdje su dijelovi tih jedinica djelomično jezgrovani. Nakon toga, bilo je lakše pretpostaviti ponašanje istoga parametra u prostoru cijele uleknine.

Spomenute statističke analize obuhvatile su proračun srednje vrijednosti šupljikavosti na odabranim intervalima te njezinu korekciju prema manjim vrijednostima za određeni stupanj nesigurnosti. Vrijednosti šupljikavosti bile su ulaz za semivariogramsку analizu, čiji rezultati su također korigirani na jednak način.

Sve vrijednosti šupljikavosti, prikazane po postojećim jezgrama, ležištima i litostratigrafskim jedinicama, usporedjene su, tamo gdje je to bilo moguće, s vrijednostima propusnosti i proizvodnih mjerena (DST-ovi) kako bi se uočila njihova možebitna veza.

Ulagne vrijednosti za statističke i semivariogramske proračune te drugi rezervoarski podaci dobiveni su iz *dossiera* onih bušotina unutar bjelovarske uleknine koje su sadržavale dovoljno detaljan skup rezultata mjerena. Kako se u tekstu ne bi ponavljali brojni izvori iz kojih su dobiveni ulazni podaci, svi su navedeni na ovome mjestu. Izvori poredani abecednim redom prema lokalitetu bili su za **Bačkovicu** (RAKARIĆ, 2000; TROGRLIĆ, 2000), **Cremušinu** (RAŠKOVIĆ, 1974), **Dežanovec** (TROHA, 1993), **Gakovo** (VUGRINEC, 1963a), **Galovac-Pavljane** (MAROVIĆ, 1992a,b; SOKOLOVIĆ & BRODARIĆ, 1992; TROHA, 1992; GJUKIĆ & GENZIĆ, 1993a,b; KORDIĆ et al., 1993a; DJAČANIN et al., 1993, 1995; DONELLI, 1996;), **Grubišno Polje** (DONELLI, 1994; IBRAHIMPAŠIĆ, 1994), **Hampovicu** (HAJNŠEK, 1963; ĆIRIĆ, 1979), **Jagnjedovac** (GAĆEŠA, 1961, 1963a), **Korenovo** (ĐUMIĆ, 1958), **Lepavinu** (BEVANDIĆ, 1969; RADMILOVIĆ, 1989; STANIŠIĆ, 1996), **Letičane** (DRAGIČEVIĆ, 1974; BALTIĆ, 1979; DONELLI, 1981; KALENIĆ, 1981), **Nartu** (GAĆEŠA, 1963b), **Novi Glog** (\*\*\*, 1993), **Patkovac** (GORIČNIK & DJAČANIN, 1996b; RUMENJAK, 1996; ŠIKIĆ et al., 1996), **Rovišće** (POMPER, 1992) i **Veliku Ciglenu** (BALTIĆ, 1990; MARKOVIĆ et al., 1990; RUKAVINA et al., 1991; VLAHOVIĆ et al., 1991; RAKARIĆ et al., 1995; GORIČNIK & DJAČANIN, 1996a).

### 8.1. ODABIR I PRILAGODBA ULAZNIH PODATAKA

Ulagne podatke predstavljale su vrijednosti šupljikavosti izmjerenih **po okomici** jezgara u laboratoriju INA-Naftaplina i zabilježenih u *dossierima* bušotina. Starost jezgrovanih intervala bila je paleozojska, mezozojska i neogenska. Sve analize bile su **usmjerenе** po dužini jezgara. U vodoravnoj ravnini dimenzije proračun nije bilo moguće načiniti iako su dimenzije ležišta puno veće (odnos je otprilike 15:1). No, broj podataka po jedinici površine bio je puno manji pa nije bilo moguće načiniti pouzdanu analizu. Šupljikavost kao varijabla pokazuje različita svojstva obzirom na odabrani smjer i udaljenost od referentne točke, što ju određuje kao *prostornu (regionaliziranu) varijablu*.

#### 8.1.1. SMJEŠTANJE PODATAKA U INTERVALE

Prostorna (semivariogramska) analiza preferira da ulazni podaci, predstavljeni točkastim (pojedinačnim) vrijednostima, budu međusobno jednako udaljeni.

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

U stvarnosti su se jezgre razlikovale po dužini, broju i rasporedu analiza. Zato je takve skupove trebalo ujednačiti, jer ne bi bilo ispravno na jednaki način promatrati vrijednosti udaljene za 0,5 ili 1,5 m. U tu svrhu jezgre su podijeljene na jednakе dužinske intervale te je unutar svakoga izračunata srednja vrijednost postojećih mjerena. U intervalima gdje nije bilo podataka srednja vrijednost je procijenjena na temelju vrijednosti susjednih intervala, odnosno iz krivulje šupljikavosti. Na nekim bušotinama takve krivulje su postojale (Galovac-Pavljani, Velika Ciglena), dok ih je u drugim slučajevima trebalo konstruirati.

Na temelju empirijskih testova dužina intervala od 0,5 m pokazala se najprimjerenijom. U većini jezgara na svakih 0,5 dužinskih metara dolazilo je po 1-2 mjerena. Također promatrana ležišta su dekametarskih dimenzija pa veći interval unutar jezgara ne bi dovoljno razlučio promjene unutar rezervoara. Suprotno, manji interval bi uzrokovao da većina ulaznih podataka bude izračunata s krivulja, a ne iz laboratorijskih mjerena.

Kod dijela jezgara problem je predstavljala njihova mala dužina, odnosno manje od 10 laboratorijskih mjerena po jezgri. S druge strane položaj bušotina kojima te jezgre pripadaju bio je važan za dobivanje prostorne slike na području uleknine. Kako bi se i takve jezgre uključile u (geo)statističku analizu veličina intervala spuštena je na 0,25 m. Time je dijelom smanjena pouzdanost, ali i povećan broj analiziranih bušotina.

### **8.1.2. PROGRAMSKA OBRADA**

Donja granica broja intervala koji su trebali biti definirani unutar jezgre, a kako bi se ista mogla (geo)statistički analizirati, postavljena je na vrijednost 10. Ta vrijednost određena je upotrebom vlastitoga računalnog programa **Semivariogramska analiza** načinjenim u programu **Visual Basic™**, te izračunatim brojem parova podataka ( $>5$ ) na temelju kojih je za svaku udaljenost izračunata vrijednost eksperimentalnog semivariograma. Spomenutim programom izračunate su vrijednosti *semivariograma  $\gamma(h)$* , *broj usporedenih parova (n)*, *srednja vrijednost*, *sferni* i *eksponencijalni model* te *kvadrati njihova odstupanja od  $\gamma(h)$* .

### **8.2. KORIGIRANA SREDNJA VRIJEDNOST**

Jezgre s dovoljnim brojem intervala (10 i više) razvrstane su prema litostratigrafskoj pripadnosti. Svaki takav skup zasebno je analiziran i prikazan.

Prvo je izračunata srednja vrijednosti šupljikavosti, a ista je potom korigirana. Također korekcijom uzet je u obzir utjecaj varijance ulaznih podataka na interval "pouzdanosti" dobivene srednje vrijednosti. Najjednostavnije, što je varijanca veća "interval pogrješke" (+ ili -) uz dobivenu vrijednost je veći. Zbog veće "pouzdanosti" uvijek je upotrebljena konzervativnija procjena, odnosno dobivena srednja vrijednost smanjena je za veličinu varijance.

Istovrsna srednja vrijednosti može dobiti za dva skupa potpuno različitih ulaznih vrijednosti, ali s jednakim vrijednostima najmanje i najveće moguće vrijednosti te jednakim brojem podataka. Kao primjer može se promatrati 1. skup od 8 vrijednosti (zamišljene) šupljikavosti: 0, 50, 0, 50, 0, 50, 0, 50 te 2. skup od drugih 8 vrijednosti: 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25. Oba skupa imaju jednaku srednju vrijednost 25. No u 1. slučaju ona gotovo uopće ne opisuje stvarno stanje (0) u 2. slučaju predviđanje je potpuno (1). Varijanca (mjera odstupanja podataka od srednje vrijednosti) je u 1. slučaju *maksimalna*, a u 2. slučaju *minimalna*. Kod proračuna **korigirane srednje vrijednosti** to je uzeto u obzir i primijenjeno u sljedećoj formuli:

$$\phi_{kor} = \phi_{sr} \times (1 - VAR) \quad (8.1)$$

gdje su:

$\phi_{kor}$  - korigirana šupljikavost

$\phi_{sr}$  - izračunata srednja šupljikavost

VAR - faktor korekcije baziran na odstupanju podataka od aritmetičke sredine

Ako je varijanca maksimalna VAR će iznositi 1, a  $\phi_{kor}$  (korigirana šupljikavost) 0. Iz iskustva znamo da je očekivanje na nekoj slučajnoj lokaciji, ako mjerimo šupljikavost, uvijek veće od nule. No, geološki takav rezultat nema zamjerki, jer predviđanje poroziteta u takvom ležištu bilo bi potpuno nepouzdano.

Suprotno ako je vrijednost VAR jednaka 0 korigirana šupljikavost jednaka je srednjoj vrijednosti i pouzdanost procjene je najveća.

Varijabla VAR određuje se prema formuli:

$$VAR = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \text{vrijednost} - \phi_{sr} \right|}{n} \quad (8.2)$$

gdje su:

VAR - faktor korekcije (šupljikavosti)

vrijednost - pojedinačna vrijednost intervala jezgre

$\phi_{sr}$  - izračunata srednja šupljikavost

n - broj podataka (intervala) u računatoj jezgri

Upotreba **formula 8.1** i **8.2** smatra se neophodnom zbog prirode varijance. Varijanca je vrlo snažan alat za "vizualiziranje" odstupanja nekoga skupa od njegove srednje vrijednosti, a time i posredno pouzdanosti načinjenoga računa. Ta tvrdnja vrijedi samo u slučaju ako oba skupa sadrže jednaki broj ulaznih podataka, koji dolaze iz istoga raspona.

Gornji postupak primijenjen je na proračunima srednjih vrijednosti svih analiziranih jezgara. Izračunata korekcija, prema **formuli 8.1**, umanjuje srednju vrijednost šupljikavosti, odnosno radi se o konzervativnom pristupu procjeni kako bi se povećala njezina pouzdanost, a obzirom na to da nema matematičke i geološke osnove za očekivanje nižih vrijednosti.

### 8.3. OSNOVE SEMIVARIOGRAMSKE ANALIZE

**Variogram ( $2\gamma$ )** je jedan od osnovnih geostatističkih alata koji se koristi za određivanje ponašanja odabrane varijable u prostoru, odnosno definiranje prostorne zavisnosti. Često se naziva i **semivariogramom ( $\gamma$ )** koji ima potpuno jednaka svojstva, osim što su obje strane variogramske jednadžbe "kraćene" s vrijednošću 2.

Matematički se variogramom mjeri razlika između dviju prostorno udaljenih točkastih vrijednosti odabrane varijable. Definiran je **formulom 8.3** (KUPFERSBERGER & DEUTSCH, 1999):

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (8.3)$$

gdje su:

$2\gamma(h)$  - variogram

$N$  - broj parova podataka uspoređenih na udaljenosti  $h$

$z(x_i)$  - vrijednost varijable na odabranoj lokaciji ( $x_i$ )

$z(x_{i+h})$  - vrijednost varijable na lokaciji udaljenoj za "h" od početne lokacije ( $x_{i+h}$ )

U svakom skupu s 10 ili više intervala izdvojenih na promatranoj jezgri načinjeno je nekoliko proračuna za različite vrijednosti *udaljenosti* ( $h$ ). Skup svih parova podataka na istoj udaljenosti naziva se *klasa*. Spajanjem vrijednosti semivariograma za svaku klasu dobivene su krivulje *eksperimentalnih semivariograma*.

### 8.3.1. MATEMATIČKE OSNOVE SEMIVARIOGRAMA

#### 8.3.1.1. PARAMETRI

Na svakoj semivariogramskoj krivulji može se očitati pet **parametara** (slika 7.1): **odstupanje** ("nugget"), **prag** ("sill"), **doseg** ("range"), **udaljenost** ili **korak** ("distance") i eventualno **odmak** ("lag").

**Odstupanje ( $C_0$ )** predstavlja slučajnu komponentu *regionalizirane varijable*, odnosno pojavu kada krivulja siječe os Y u nekoj pozitivnoj vrijednosti ( $C_0$ ). Na nekim mjestima pojavljuje se i prijevod "efekt grumena" što dolazi iz primjene variogramske analize u rudarstvu, u čijem se okrilju i razvila. Poznato je kako se zlato najčešće nalazi u "grumenima" ili "gnijezdima", odnosno raspoređeno je relativno vrlo nepravilno unutar ležišta. Naravno da takva pojava nije povoljna u definiranju prostorne zavisnosti, jer ju zapravo osporava.

Pojava odstupanja je obilježje velikog broja eksperimentalnih semivariograma, no razlikuje se u svojim iznosima. Manje vrijednosti ne utječu značajno na semivariogramske krivulje, a također ukazuju da postoji velika razlika u vrijednostima vrlo bliskih uzoraka koji u stvarnosti predstavljaju jedinstvenu lokaciju. U praksi se dijelom može odstraniti povećanjem uzoraka koji predstavljaju jedinstvenu lokaciju, i to bilo dodatnim uzorkovanjem, bilo smanjivanjem površine. Najčešće se ne može u potpunosti eliminirati.

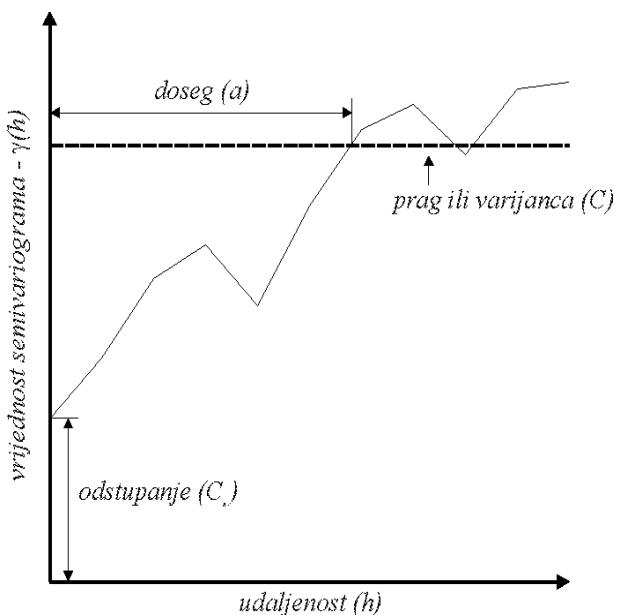
**Prag (C)** odgovara vrijednosti **varijance**. Nakon dosezanja praga (ako ga postiže) krivulja semivariograma najčešće će prestati pravilno rasti te nastaviti oko njega oscilirati.

**Doseg (a)** je vrijednost koraka ( $h$ ) na kojoj semivariogram prvi put presijeca prag, a nakon toga ne postoji prostorna korelacija podataka. Treba spomenuti da svaki semivariogramske model, kako eksperimentalni tako i teoretski, ne treba uvijek imati prag.

**Udaljenost ili korak (h)** je vrijednost na kojoj se međusobno uspoređuju podaci u smjeru u kojem je semivariogram usmjerjen. Svaka udaljenost čini jednu klasu. Toj vrijednosti često je dodijeljena određena tolerancija kako bi se povećao broj ulaznih podataka, a nazvana je **odmakom**. To znači da granicama klase dodajemo vrijednost odmaka, šireći tako klasu. Na primjer, ako u **formuli 8.1** uspoređujemo vrijednosti  $z$  i  $z(h)$  na udaljenosti 1 metar, odmak se može postaviti na 0,5 m. Tada će semivariogramske krivulje biti načinjen za sve vrijednosti koje su od početne točke udaljene između 0,5 i 1,5 metra. Naravno, pri tome treba uzeti u obzir je li semivariogram usmjerjen ("directed") ili neusmjerjen ("omnidirectional"), jer će o tome najviše ovisiti broj parova podataka u proračunu.

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

Odmak se u najvećem broju primjena semivariogramskog računa postavlja na 1/2 vrijednosti udaljenosti ("h"), jer se na taj način maksimalno uvećava broj parova podataka, a time i pouzdanost prostorne analize.



**Slika 8.1:** Parametri semivariograma

### 8.3.1.2. JOŠ NEKA SVOJSTVA SEMIVARIOGRAMA

Ponašanje semivariograma i rezultati semivariogramke analize ovisit će još o mnoštvu dodatnih parametara, varijabli i njihovih svojstava. U ovome poglavlju opisana su samo ona od tih svojstava koja su imala utjecaja na podešavanje ulaznih vrijednosti, izvođenja kalkulacija ili interpretaciju rezultata načinjenih analiza.

Semivariogramskom analizom može se jasno i brojčano odrediti **anizotropija** u ulaznom skupu podataka, odnosno promjena prostorne zavisnosti varijable ovisno o smjeru u kojem se analizira. Cilj je određivanje smjerova najvećega (glavna os) i najmanjega (sporedna os) kontinuiteta. Njihov omjer naziva se *faktorom anizotropije*.

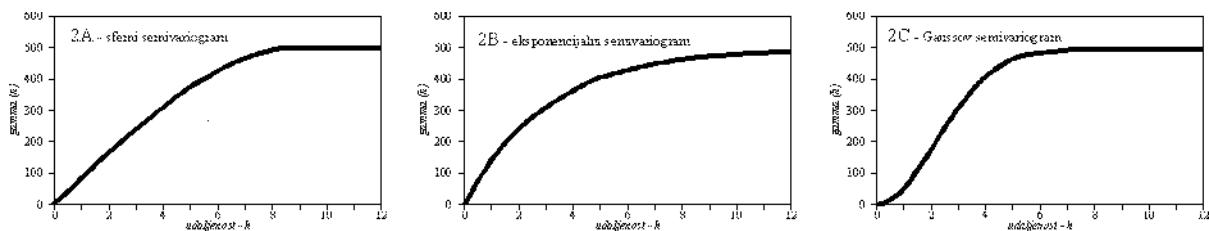
Kada semivariogrami u različitim smjerovima imaju isti prag i različiti doseg radi se o *geometrijskoj anizotropiji*. Ako su prag i doseg različiti to je *zonalna anizotropija*.

**Ekstremne vrijednosti** značajno će utjecati na semivariogramske račune. Razlog je taj što se unutar semivariogramske jednadžbe računa kvadrat razlike vrijednosti, odnosno eventualna razlika se progresivno uvećava.

### 8.3.1.3. TEORETSKI SEMIVARIOGRAMSKI MODELI

Gotovo se svi eksperimentalni semivariogrami mogu matematički aproksimirati s **pet teoretskih modela**: sfernim, eksponencijalnim, Gaussovim, linearnim i logaritamskim (deWys-ovim) (HOHN, 1988). Razlikuju se prema tome sadrže li prag te po načinu ponašanja krivulje u blizini ishodišta. Kako su modeli bez praga rijetki u naftogeološkoj praksi, aproksimacije u ovome radu načinjene su jednim od tri spomenuta teoretska modela koji sadrže prag, tj. sa sfernim, eksponencijalnim ili Gaussovim modelom. Ta tri modela prikazana su na **slici 8.2**.

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti



Slika 8.2: Teoretski modeli - sferni (2A), eksponencijalni (2B), Gaussov (2C)

Oblici krivulja nabrojana tri teoretska modela određeni su sljedećim formulama (HOHN, 1988; ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989):

$$\gamma(h) = C \left[ \left( \frac{3h}{2a} \right) - \left( \frac{h^3}{2a^3} \right) \right] (+C_0), \quad h \leq a \quad \text{sfern model} \quad (8.4)$$

$$\gamma(h) = C (+C_0) \quad h > a$$

$$\gamma(h) = C \left[ 1 - \exp\left(\frac{-h}{a}\right) \right] (+C_0) \quad \text{eksponencijalni model} \quad (8.5)$$

$$\gamma(h) = C \left[ 1 - \exp\left(\frac{-h^2}{a^2}\right) \right] (+C_0) \quad \text{Gaussov model} \quad (8.6)$$

gdje su:

- $\gamma(h)$  - semivariogram
- $h$  - udaljenost ili korak
- $a$  - doseg eksperimentalne krivulje

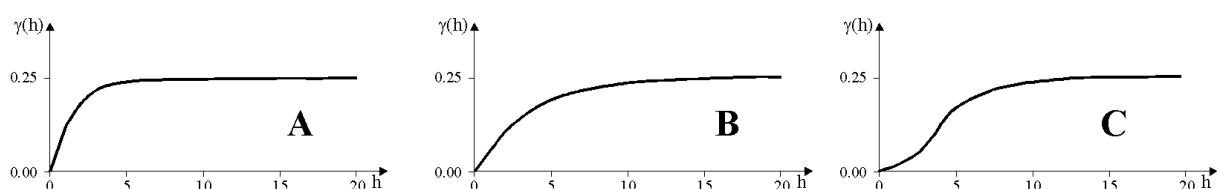
Nakon analiza eksperimentalnih krivulja sve aproksimacije načinjene su sfernim ili eksponencijalnim modelom. Ponekad aproksimacija obuhvaća stvaranje složenoga modela koji je zbroj dvaju ili više osnovnih teoretskih modela različitih dosega i pragova. Takav složeni model naziva se *ugnježdeni model* i iskazuje kao:

$$\gamma(h) = \gamma_1(h) + \gamma_2(h) + \gamma_3(h) + \dots \quad (8.7)$$

No, u ovome radu takav postupak nije bilo potrebe primijeniti, odnosno sve variogramske krivulje predstavljaju modele aproksimirane samo jednom funkcijom.

### 7.3.2. INTERPRETACIJSKE KРИVULJE

Osnovna interpretacija semivariogramskih krivulja temelji se na oblicima tri spomenuta teoretska semivariogramska modela. Zato tri osnovna oblika na **slici 8.3** vrlo nalikuju krivuljama prikazanim na **slici 8.2**.

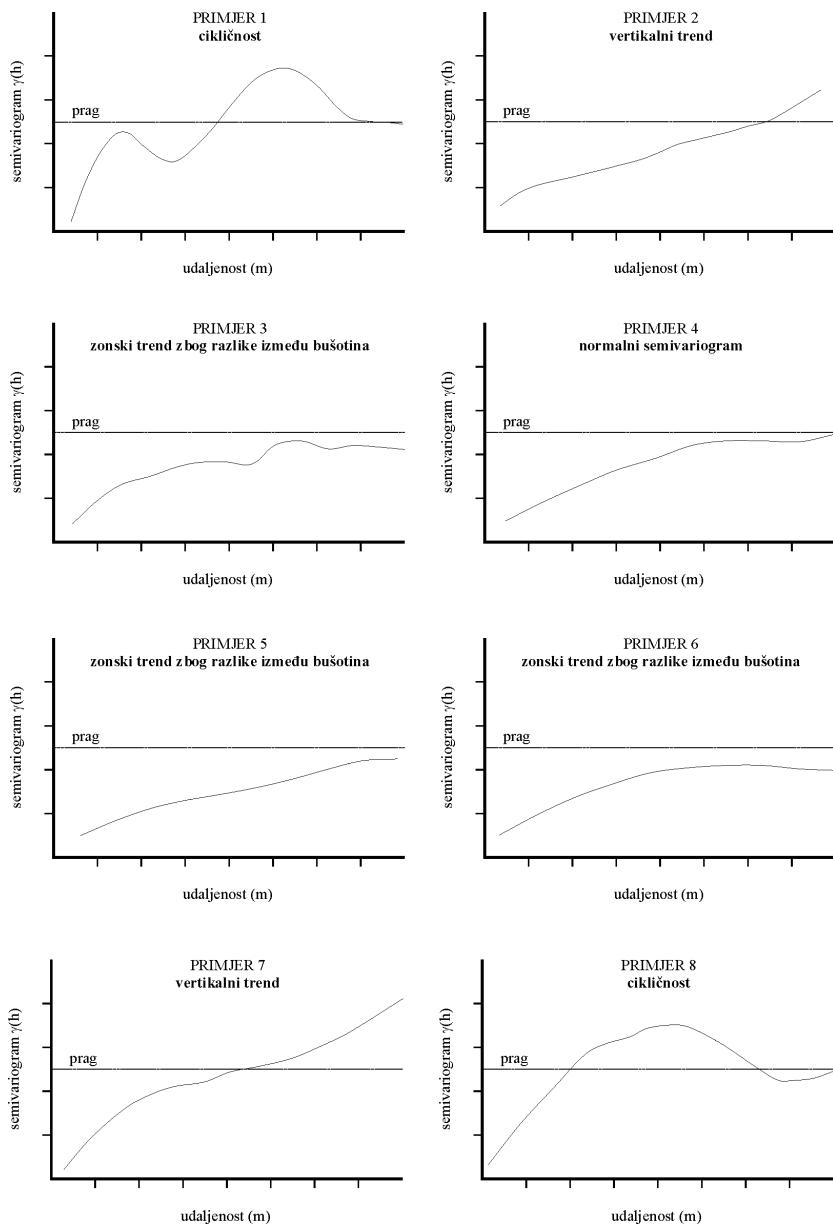


Slika 8.3: Interpretacija semivariogramskih krivulja – I (HOHN, 1988)

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

Na prvome od njih (**A**) krivulja prema pragu raste vrlo brzo, što je posljedica velike razlike u vrijednostima na malim udaljenostima i velikih ekstremi. Drugi primjer (**B**) vezan je uz podatke gdje vrijednosti postupno rastu i padaju, a ekstremi su mali. Tada krivulja postupno raste prema pragu uz veći doseg. Treći slučaj (**C**) posljedica je najujednačenijeg skupa podataka, s vrijednostima ulaznoga skupa čija se distribucija može opisati približno krivuljom normalne raspodjele.

Detaljniji niz od 8 interpretacijskih semivariogramskih oblika (**slika 8.4**) preuzet je iz rada KUPFERSBERGER & DEUTSCH (1999). Autori su analizirali raspodjelu šupljikavosti unutar osam slojeva istoga ležišta. Litološki se radi o klastičnim sedimentima. Svaki od opisanih oblika ukazuje na jednu od tri zabilježene prostorne karakteristike u ponašanju šupljikavosti unutar promatranog sloja, odnosno te krivulje korištene su kao pomoć u interpretaciji drugih klastičnih slojeva. Oblici krivulja ukazuju na *cikličnost*, *vertikalni ili zonski trend*.



**Slika 8.4:** Interpretacija semivariogramskih krivulja - 2 (KUPFERSBERGER & DEUTSCH, 1999)

### 8.3.3. PROVJERA ULAZNIH PODATAKA I TESTIRANJE METODE

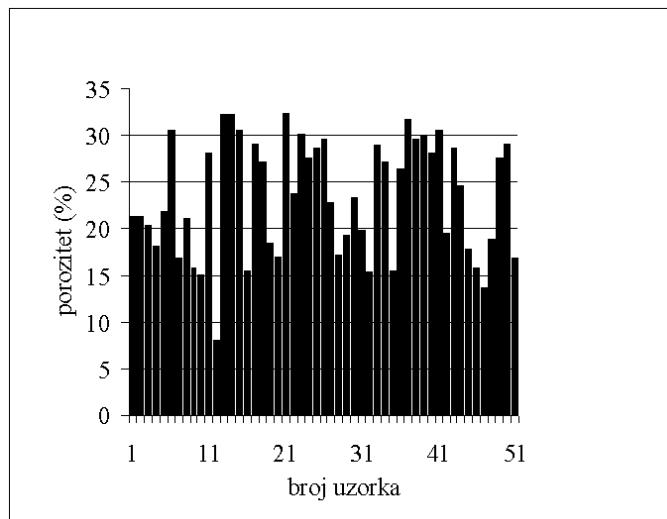
U uvodu je spomenuto kako su sve semivariogramske analize načinjene po okomici jezgara, tj. radi se o *usmjerenim semivariograskim analizama*. Također je opisan način podjele jezgara na intervale, tako da je potrebno odrediti još samo maksimalnu vrijednost *udaljenosti* ili koraka.

Teoretski je ta vrijednost mogla biti između 1 i najvećeg broja intervala u promatranoj jezgri. Zato je *minimalna udaljenost* ili *korak* postavljen na 1 (interval). Kao *maksimalna vrijednost* uzeta je *polovica dužine jezgre* (polovica ukupnog broja intervala). Slične granice za opisanu vrstu semivariogramskih analiza preporučili su, na primjer, PERIŠIĆ (1983) i HOHN (1988).

Na udaljenosti većoj od 1/2 dužine jezgre broj usporedenih parova podataka drastično se smanjuje, ponekad čak i ispod ukupnog broja intervala, pa rezultat postaje nepouzdan. Također se upotrebom prevelikog koraka povećava utjecaj rubnih dijelova jezgre, odnosno područja čija prostorna zavisnost nije numerički jasno definirana.

Za pregled jednoga standardnoga bušotinskog skupa podataka i testiranje semivariogramskog računa na njemu odabrana je bušotina Ša-35, koja je smještena na sjeveru uleknine na području najvećega polja Šandrovac. Cijeli postupak predstavlja jednu vrstu *analize osjetljivosti ("sensitivity analysis")*.

Prikupljen je 51 podatak o **vertikalnoj šupljikavosti** unutar **naftnog ležišta E** (pješčenjaci Pepelana, fm. Kloštar-Ivanić) iz 3 jezgre unutar intervala 797,2-813,7 m. Ulagne vrijednosti prikazane su na **slici 8.5**.

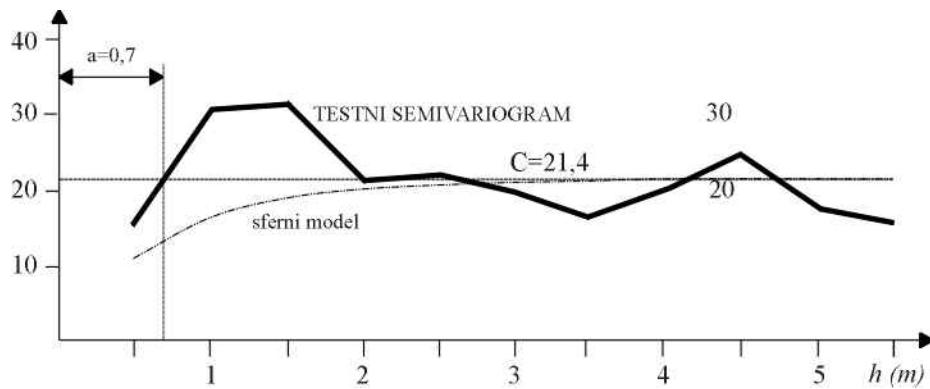


**Slika 8.5:** Prikaz ulaznih podataka iz jezgara ležišta E bušotine Ša-35

Minimalna i maksimalna vrijednost unutar skupa su odbačene, a preostalih 49 podataka svrstano je u 22 intervala dužine 0,5 m.

Srednja vrijednost šupljikavosti iznosi 23,15 %, minimum je 15,4 %, a maksimum 31,4 %. Varijanca iznosi 18,98. Zatim je izračunata vrijednost varijable VAR=0,15 te na kraju *korigirana šupljikavost* od 19,61 %.

Upotrebom semivariogramskog računa dobivena je eksperimentalna krivulja prikazana na **slici 8.6**.



**Slika 8.6:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti lež. E u buš. Ša-35

Iz oblika eksperimentalne i teoretske (sferne) krivulje može se pretpostaviti relativno malo *odstupanje* ( $C_0$ ). Vrijednost *praga* ( $C$ ) relativno je niska (21,4), a *dosega* ( $a$ ) visoka (0,7 m) obzirom na dužinu jezgre i broj podataka. Sve to ukazuje na pouzdanost analize te dovoljan broj ulaznih vrijednosti.

Vrijednost *dosega* (*a*) korigirana je na jednak način kao i vrijednost šupljikavosti prema formuli:

$$doseg_{kor} = doseg \times (1 - VAR\ 2) \quad (8.8)$$

gdje su:

- doseg<sub>kor</sub>* - korigirani doseg  
*doseg* - doseg dobiven semivariogramskom analizom  
*VAR2* - faktor korekcije baziran na varijanci podataka.

Također vrijednost VAR2 računata je na isti način kao vrijednost VAR kod šupljikavosti:

$$VAR\ 2 = \frac{\sum_1^n \left| \gamma(h) - \gamma(h)_{srednji} \right|}{n} \quad (8.9)$$

gdje su:

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| $VAR2$                | - faktor korekcije (dosega)                          |
| $\gamma(h)$           | - semivariogramska vrijednost na udaljenosti " $h$ " |
| $\gamma(h)_{srednji}$ | - srednja vrijednost semivariogramskih vrijednosti   |
| $n$                   | - broj semivariogramskih rezultata                   |

Rezultati semivariogramske analize mogu se nabrojati u nekoliko sljedećih točaka:

1. Korigirani doseg iznosi  $0,55\text{ m}$ . Do te udaljenosti statistički je dopušteno vertikalno extrapolirati korigiranu srednju šupljikavost (19,6 %) u nejezgrovani dio istoga ležišta, bilo u krovini bilo u podini.
  2. Ako se pretpostavi ili dokaže da su petrofizikalna svojstva ležišne stijene izotropna dobivena vrijednost može se extrapolirati i lateralno.
  3. Prihvaćanjem pretpostavke pod točkom 2 (izotropnost) lokalna korigirana srednja vrijednost može se extrapolirati u svim smjerovima za dobiveni doseg u bilo kojem dijelu istoga ležišta na kojem je izmjereno barem nekoliko vrijednosti šupljikavosti.

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

4. U dijelovima istoga ležišta *bez jezgara i podataka laboratorijskih mjerena* ispravno je upotrijebiti korigiranu srednju vrijednost izračunatu na najvećem ulaznom skupu podataka, tj. *na skupu koji je upotrebljen za semivariogramsku analizu*.

Semivariogramska analiza i oblik eksperimentalne krivulje pružaju još nekoliko važnih informacija. Na eksperimentalnoj krivulji jasno je vidljiva cikličnost u njezinu obliku. Takvo ponašanje lako je usporedivo s oblicima **1** i **8** na **slici 8.4**, koji sa svoje strane ukazuju na homogeno ležište unutar kojega šupljikavost jednolikom varira oko srednje vrijednosti.

## 8.4. ANALIZA ŠUPLJIKAVOSTI PO LITOSTRATIGRAFSKIM JEDINICAMA

### 8.4.1. TEMELJNO GORJE I PODLOGA TERCIJARA

U stijenama **temeljnog gorja** analizirana je jedna jezgra bušotine **Pav-4** na dubinama 1137-1143,5 m. Veličina intervala bila je 0,5 m. Dobivene su sljedeće vrijednosti i semivariogramska krivulja (**tablica 8.1, slika 8.7**):

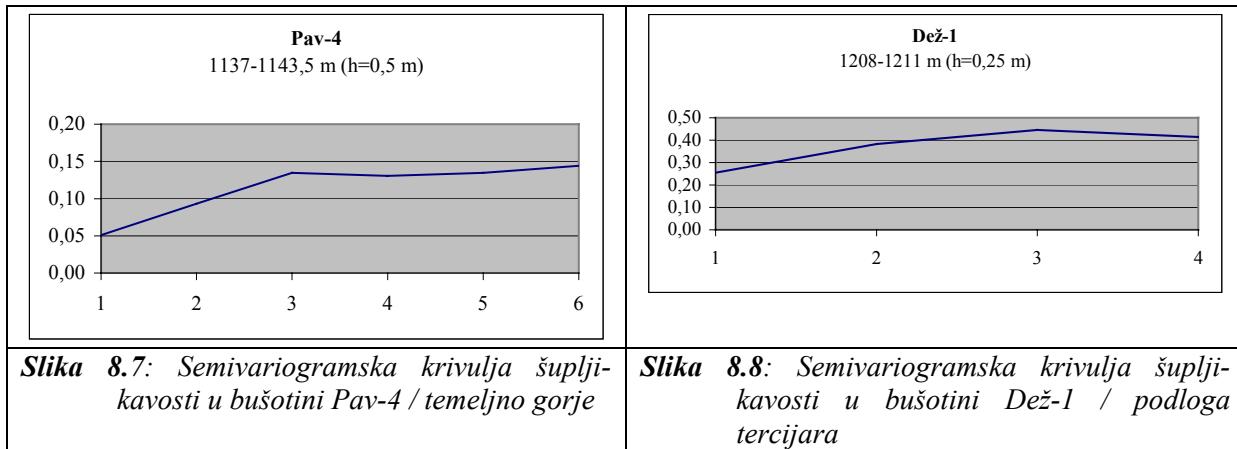
Bušotina	$\phi$ (%)	korekcija	$\phi_{kor}$ (%)	a (m)	korekcija	$a_{kor}$ (m)
Pav-4	0,88	0,29	<b>0,63</b>	1,05	0,27	<b>0,76</b>

*Tablica 8.1: Vrijednosti šupljikavosti i dosega u bušotini Pav-4 / temeljno gorje*

U sedimentima **podloge tercijara** bili su dostupni podaci za buštinu **Dež-1** na dubinama 1208-1211 m. Veličina intervala bila je 0,25 m. Dobivene su sljedeće vrijednosti i semivariogramska krivulja (**tablica 8.2, slika 8.8**):

Bušotina	$\phi$ (%)	korekcija	$\phi_{kor}$ (%)	a (m)	korekcija	$a_{kor}$ (m)
Dež-1	2,30	0,23	<b>1,77</b>	>1 m ?	-	-

*Tablica 8.2: Vrijednosti šupljikavosti i dosega u bušotini Dež-1 / podloga tercijara*

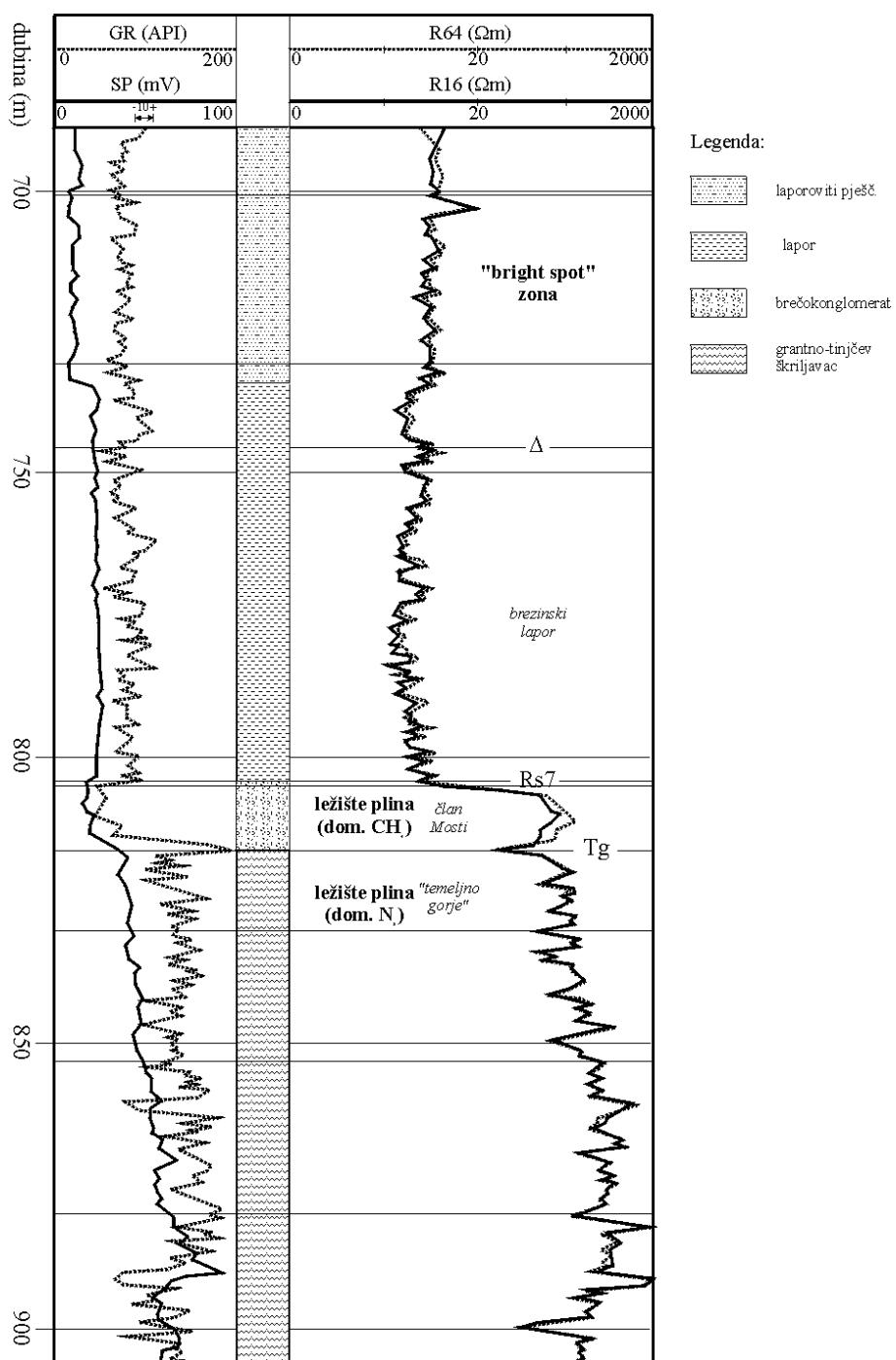


Jezgre iz stijena **temeljnog gorja** izvađene su iz različitih škriljavaca, kvarcitnog pješčenjaka i gabra (**slike 8.9, 8.10**). Sve su bile sličnih karakteristika, obilježene relativno niskom **šupljikavošću** (**tablica 8.1**) i **propusnošću**. Šupljikavost se kreće između 0,9 i 4,1 %, a iznimno je zabilježena vrijednost 11,9 % kod Novog Gloga. Propusnosti su također niske s time da je horizontatalni maksimum  $1,7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  izmјeren u bušotini Dež-1, dok je maksimalna vertikalna propusnost zabilježena u VT-1 iznosila  $0,24 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

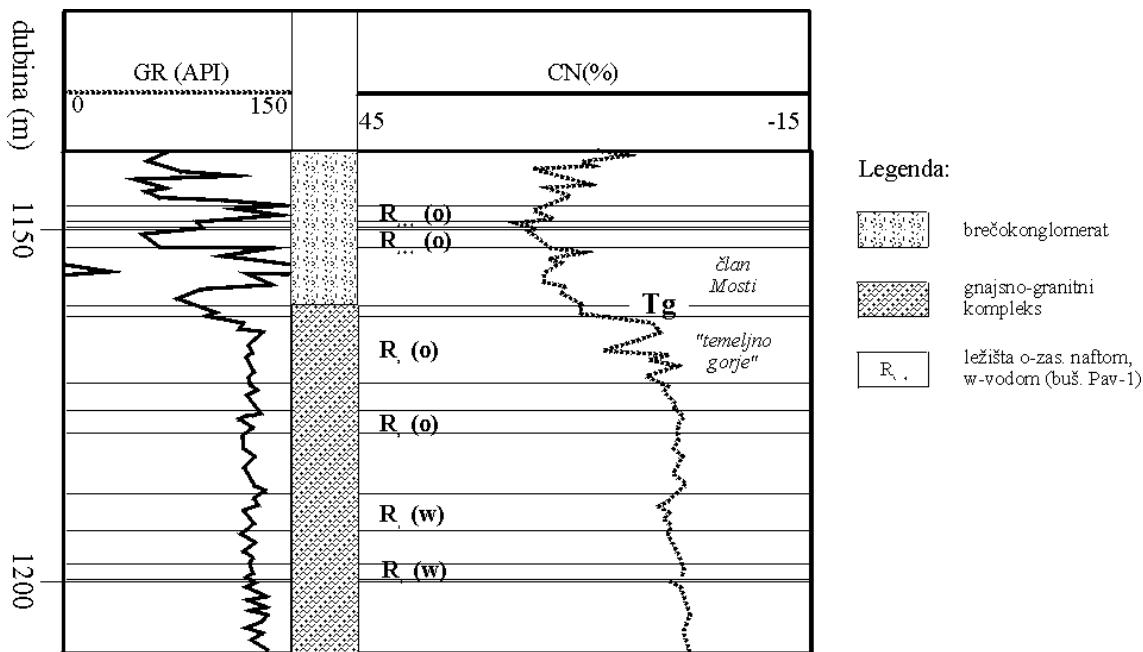
## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

Usporedivši analizirane i ostale laboratorijske podatke vidljivo je kako izračunata **korigirana šupljikavost** odgovara približno minimalnim vrijednostima izmjerenim u laboratoriju. Zbog toga se dobivena korigirana vrijednost od 0,63 % s pratećim dosegom 0,76 m (tablica 8.1) svakako može smatrati prihvatljivom i minimalno očekivanom u stijenama temeljnog gorja.

**Ležišta nafte i plina** otkrivena su na poljima Galovac-Pavljani i Grubišno polje (slike 8.9, 8.10). Kod *Galovac-Pavljana* nafta je dobivena samo u bušotinama koje su te stijene nabušile na najplićem tektonskom bloku, npr. u bušotni Pav-1 na rel. dubini 1162,5-1181,0 m. Plinsko ležište na *Grubišnom polju* testirano je na rel. dubini 905,9-953,0 m, no unutar temeljnog gorja prevladavao je N<sub>2</sub> (79,1 mol. %). U oba slučaja ležišta čine jedinstvenu hidrodinamičku cjelinu sa najdubljim dijelom mlađega člana Mosti.



*Slika 8.9: Dijagram konvencionalne elektrokarotaže stijena "temeljnog gorja" u bušotini Gr-1z*



**Slika 8.10:** Dijagram karotaže SP-CN stijena "temeljnog gorja" u bušotini Pav-1

**Salinitet slojnih voda** kretao se u širokim granicama. Najmanja vrijednost zabilježena je u bušotini Gr-1z od 3,24 g/l NaCl, a najviša u Pav-1 od 15,34 g/l NaCl. To su još uvijek niže vrijednosti od prosječnoga saliniteta u stijenama temeljnoga gorja dravske potonine koji iznosi 18 g/l NaCl (COTA & BRITVIĆ, 1991). Snižene vrijednosti najvjerojatnije su posljedica miješanja tih voda sa slojnim vodama mlađih formacija, prvenstveno fm. Moslavačka gora (MALVIĆ, 1999).

Sedimenti **podloge tercijara litološki** predstavljeni su dolomitima i dolomitnim brečama. Izmjereno je tek nekoliko petrofizikalnih vrijednosti u područjima Velike Ciglene, Patkovca i Dežanovca. **Šupljikavost** se kretala oko 2 %, a vertikalna i horizontalna **propusnost** bila je uglavnom niža od  $0,1x \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ . Testiranjem na Patkovcu i kod Velike Ciglene dobivena je pretežno slojna voda. Iznimno je na nekim intervalima dobiven gotovo čisti CO<sub>2</sub> koncentracije preko 99 %. Samo u bušotini VC-2 na jednom intervalu dobivene su male količine nafte (22,3 m<sup>3</sup>), sekundarnog podrijetla za koju se nije moglo sa sigurnošću utvrditi potječe li iz isplake ili sloja.

**Korigirana vrijednost** šupljikavosti od 1,77 % (**tablica 8.2**) dovoljno je niska da može biti prihvaćena kao minimalna za područje bjelovarske uleknine. Doseg, zbog iznimne promjenjivosti stijenskih parametara, nije bilo moguće odrediti.

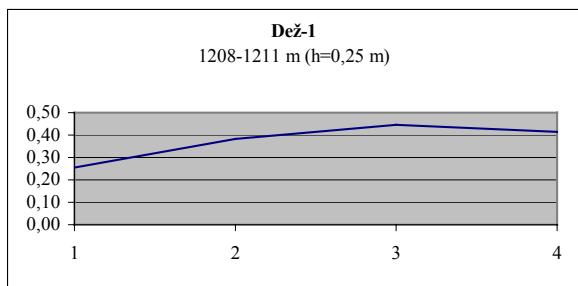
**Salinitet** je u bušotini VC-1 iznosio od 9,9 do 20,79 g/l NaCl, a u bušotini Ptk-1 23,29 g/l NaCl. Te vrijednosti uglavnom su više od prosječnog saliniteta u mezozojskim sedimentima dravske potonine od 15 g/l NaCl (COTA & BRITVIĆ, 1991) što ukazuje na duže zadržavanje akviferske vode u tim sedimentima.

#### 8.4.2. FM. MOSLAVAČKA GORA / ČLAN MOSTI

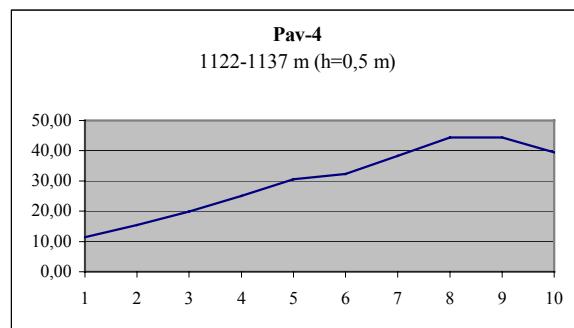
U taložinama člana Mosti analizirane su jezgre triju bušotina na sljedećim dubinama: **Dež-1** na 579-585 m (interval 0,25 m), **Pav-4** na 1122-1137 (interval 0,5 m), **VC-1** na 2516-2518,75 (interval 0,25 m). Dobivene su sljedeće vrijednosti i krivulje (**tablica 8.3**, **slike 8.11, 8.12, 8.13**):

Bušotina	$\phi$ (%)	korekcija	$\phi_{kor}$ (%)	a (m)	korekcija	$a_{kor}$ (m)
<b>Dež-1</b>	12,86	0,27	<b>9,33</b>	0,70	0,44	<b>0,39</b>
<b>Pav-4</b>	12,03	0,34	<b>7,99</b>	4,28	0,61	<b>1,65</b>
<b>VC-1</b>	6,14	0,26	<b>4,54</b>	0,63	0,28	<b>0,46</b>

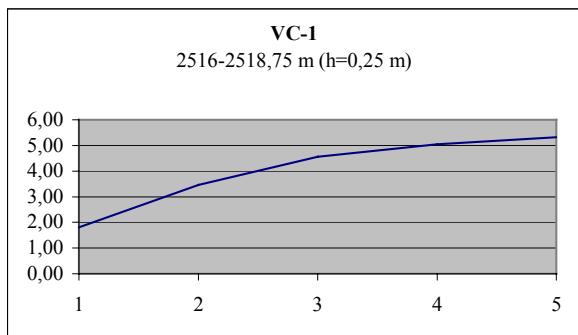
**Tablica 8.3:** Vrijednosti šupljikavosti i dosega u bušotinima Dež-1, Pav-4, VC-1 / član Mosti



**Slika 8.11:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Dež-1 / član Mosti



**Slika 8.12:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-4 / član Mosti



**Slika 8.13:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 / član Mosti

**Litološki** je član Mosti izgrađen od siltita, konglomeratičnih pješčenjaka, breča i brečokonglomerata. Podrijetlo klastita i matriksa je istovrsno te ovisno od položaja unutar taložnog okoliša mijenjaju se udjeli siliciklastičnog i karbonatnog materijala. Slabije propusni i nepropusni intervali unutar ovoga člana uglavnom se javljaju u najmlađem dijelu zbog porasta udjela kalcitnog veziva te smirivanja i opličavanja taložne sredine. Takav litološki slijed dobro je dokumentiran u podacima polja Galovac-Pavljani. No lokalno ima i izuzetaka od toga "pravila", što je i zabilježeno na sjeveroistoku uleknine kod Hampovice i Visa. Na tim mjestima nepropusni sedimenti istaloženi su već u najstarijem dijelu člana Mosti, nisu pretrpjeli nikakve veće tektonske deformacije te i danas predstavljaju isolatorske stijene (kalcitni lapor).

**Šupljikavost i propusnost** (očekivano) su veći nego u stijenama podine tercijara. Prosječna šupljikavost je između 5 i 15 % kako je to zabilježeno na Dežanovcu, Gakovu, Galovcu-Pavljanima, Hampovici, Patkovcu, Velikoj Cigleni... No, mjestimice u nekim intervalima te vrijednosti rastu na preko 30 % (31 % u bušotinama NGl-1 i Le-1). Također ima dijelova gdje su te

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

vrijednosti uglavnom niže od 10 %, npr. kod Sedlarice se kreću između 2 i 13,9 %, kod Velike Trnovitice u dubljim dijelovima između 1,7 i 7,9 %, a na polju Galovac-Pavljani u plićim sedimentima između 4 i 5 %.

Izračunate su srednje šupljikavosti (**tablica 8.3**) koje su nakon korekcije iznosile 4,54 % (Velika Ciglena na istoku), 7,99 % (Galovac-Pavljani u središnjem dijelu) i 9,33 % (Dežanovec na jugoistoku). Vrijednosti dosega su najmanje na jugoistoku (0,39 m Dežanovec) i istoku uleknine (0,46 m Velika Cilgena). Samo na polju Galovac-Pavljani dostigao je 1,65 m i ukazao na vrlo dobra ležišna svojstva člana Mosti.

Propusnoti su vrlo raznolike. Horizontalne vrijednosti su nešto više i iznose najčešće do par jedinica  $10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ . Najmanja maksimalna horizontalna propusnost od  $0,24 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$  izmjerena je na Dežanovcu, zatim na Lepavini  $1,2 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ , kod Velike Trnovitice  $2,1 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ , kod Novoga Gloga  $3,4 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ , a na Galovac-Pavljanima  $21 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ . Izuzetno visoke vrijednosti izmjerene su kod Letičana gdje maksimum iznosi  $1149,2 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ ! Vertikalne vrijednosti su niže i kreću se od  $0,06 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$  u Dež-1 do  $1,74 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$  na polju Galovac-Pavljani.

**Ležišta ugljikovodika** pronađena su u poljima Letičani, Grubišno polje (**slika 8.9**) te Galovac-Pavljani (**slika 8.10**). U naftnom polju *Letičani* ležišta su na najvećim dubinama, npr. u Le-1 na rel. dubini 1587-1610 m. Naftni plin se uglavnom sastoji od metana ili C<sub>1</sub> (preko 92 %) te vrlo malo ugljičnog-dioksida ili CO<sub>2</sub> (ispod 0,5 %). Ležište je izuzetno velike šupljikavosti (20-30 %) i propusnosti. Na plinskom polju *Grubišnog polje* ležište plina se nastavlja iz temeljnog gorja, no sada je zasićeno najvećim dijelom ugljikovodicima. Dominira C<sub>1</sub> (oko 80 %), a udjel CO<sub>2</sub> je ispod 1 %. Na naftnom polju *Galovac-Pavljani* unutar ležišta izdvojena su četiri rezervoara (R<sub>1</sub>-R<sub>4</sub>). Naftni plin je uglavnom C<sub>1</sub> (78 %), a sadržaj CO<sub>2</sub> oko 5 %. Ležišta su uglavnom u članu Mosti, a samo u najplićem dijelu strukture i u temeljnog gorju.

Na većini ostalih mjesta iz propusnih intervala dobivena je samo slojna voda i tek mjestimice pojave plina. Taj plin na zapadu (Rovišće) i sjeveroistoku (Sedlarica) bio je C<sub>1</sub> (76-90 %). Na istoku kod Velike Ciglene i Patkovca ponovno je dobiven CO<sub>2</sub> (95,5-99,0 %).

**Podaci o salinitetu** pokazuju značajne razlike čak i među bliskim bušotinama. Na polju Galovac-Pavljani salinitet je relativno nizak između 4 i 5 g/l NaCl. No u bušotini Gal-1alfa izmjereno je čak 20,6 g/l NaCl (DONELLI, 1996). U ostalom dijelu uleknine vrijednosti variraju između tih vrijednosti. Na zapadu kod Rovišća izmjereno je 13,7 g/l NaCl. Na susjednim Letičanima vrijednost iznosi 18,31 g/l NaCl, a kod Sedlarice na sjeveroistoku dobiveno je niskih 0,23-2,62 g/l NaCl.

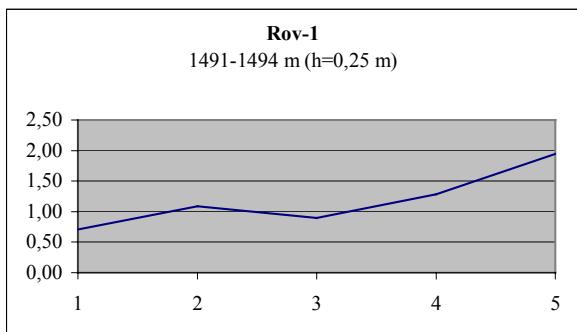
Prosječna vrijednost za područje dravske potonine je 14 g/l NaCl (COTA & BRITVIĆ, 1991). Vrlo raznolike vrijednosti ukazuju na veliku rascjepkanost akvifera u niz manjih hidrodinamičkih cijelina kako je to opisano na polju Galovac-Pavljani (MALVIĆ, 1999). Također prosječna niža vrijednost od 14 g/l NaCl posljedica je u prošlosti učestale komunikacije s akviferima plićih formacija, a možda i prodora površinske vode. Jedino bi izrazito visoka vrijednost kod Galovca ukazivala na stabilan i neaktivan akvifer kroz dugo geološko razdoblje i eventualno miješanje s vodom još starijih (paleozojskih) stijena, no takvu tvrdnju teško je postaviti na temelju samo jedne vrijednosti.

#### 8.4.3. FM. MOSLAVAČKA GORA / ČLAN KRIŽEVCI

U taložinama člana Križevci analizirana je jezgra u bušotini **Rov-1** na dubinama 1491-1494 m (interval 0,25 m). Dobivene su sljedeće vrijednosti i krivulja (**tablica 8.4**, **slika 8.14**):

Bušotina	$\phi$ (%)	korekcija	$\phi_{kor}$ (%)	a (m)	korekcija	$a_{kor}$ (m)
<b>Rov-1</b>	6,01	0,16	<b>5,04</b>	>1,25 ?	-	-

**Tablica 8.4:** Vrijednosti šupljikavosti i dosega u bušotini Rov-1 / član Križevci



**Slika 8.14:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Rov-1 / član Križevci

**Litološki** sedimenti ovoga člana najvećim dijelom su lapori i kalcitni lapori, a tek vrlo rijetko probušeni su pješčenjački proslojci.

Takva litologija praćena je i odgovarajuće niskim vrijednostima **šupljikavosti** i **propusnosti**. U pravilu šupljikavost je iznosila nekoliko postotaka, dok je propusnost bila toliko niska da se u stvarnosti radi o izolatorskim stijenama. Nekoliko izuzetno propusnih intervala dokumentirano je tek u podacima bušotine Pav-1 gdje je šupljikavosti iznosila 24,4-27,4 %, vodoravna propusnost 56-281,6x10<sup>-3</sup> µm<sup>2</sup>, a okomita čak 123x10<sup>-3</sup> µm<sup>2</sup>.

Analiza podataka iz jezgara prikazana je u **tablici 8.4**. **Korigirana šupljikavost** iznosi oko 5 %, a doseg zbog maloga broja podataka nije bilo moguće odrediti. Prema **slici 8.14** njegova vrijednost bi prelazila 1,25 m, što je izrazito visoka ali i moguća vrijednost ako se prepostavi litološka homogenost člana Križevci.

**Ležišta ugljikovodika** nisu pronađena u sedimentima ovoga člana. Na nekoliko mjesta ustanovljena je povišena koncentracija organske tvari. Na temelju tih vrijednosti i litološkog sastava sedimenti člana Križevci određeni su kao potencijalne matične stijene. Primarni i sekundarni ugljikovodici te bitumen unutar bjelovarske uleknine određeni su na više mjesta, na primjer kod Velike Ciglene, Visa, na polju Galovac-Pavljani.

Kod Visa i Galovac-Pavljana dobivene su i veće koncentracije plina, uglavnom C<sub>1</sub>. Samo na istoku, kod Patkovca, opet je plin bio uglavnom sastavljen od CO<sub>2</sub>.

**Salinitet** slojnih voda nije mjerен.

#### 8.4.4. FM. IVANIĆ-GRAD

Za sedimente formacije Ivanić-Grad nisu računate semivariogramske analize zbog nedovoljnog broja kontinuiranih laboratorijskih podataka. Od dostupnih bušotinskih i laboratorijskih podataka

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

većina se odnosila na litostratigraski član pješčenjaka Okoli ili njihov bočni ekvivalent član Zagreb, a manji broj na mlađi lapor Lipovac.

**Litološki** u formaciji dominiraju nepropusni sedimenti, tako da su često i okolski pješčenjaci samo na nekim dijelovima zaista propusni sedimenti. U donjem dijelu tih pješčenjaka kod Visa i Ciglenice probušen je kalcitni lapor, na Hampovici propusni su intervali dobrim dijelom zalaporeni, a na polju Galovac-Pavljani unutar člana Zagreb dominiraju nepropusni intervali. Samo na polju Jagnjedovac unutar okolskih pješčenjaka otkriveno je nekoliko rezervoara.

**Šupljikavost i propusnost** zbog čestih varijacija u litologiji dosta variraju, što ovisi o njihovom geologičkom položaju i dubini. U propusnim dijelovima šupljikavost jedinice pješčenjaka Okoli je između 16 % (kod Visa) i 30 % (na Jagnjedovcu). Te vrijednosti praćene su odgovarajućom propusnošću od  $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  i više.

**Ležišta nafte i plina** unutar tih sedimenata otkrivena su na dva polja na sjevernom i sjevernoistočnom rubu bjelovarske uleknine. Na polju *Jagnjedovac* su određena tri pješčenjačka rezervoara ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) unutar kojih je ovisno o strukturnom položaju zasićenje naftom iznosilo do 50 %. Na polju *Hampovica* otkrivena su tri rezervoara ( $\text{IV}_1$ ,  $\text{IV}_2$ ,  $\text{IV}_3$ ), ali tek mjestimice s dobrom propusnošću i zasićena plinom.

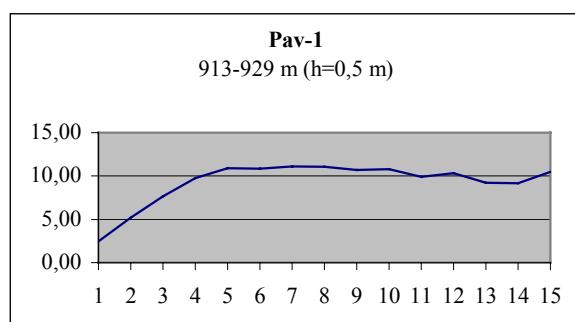
Podataka o **salinitetu** nije bilo.

### 8.4.5. FM. KLOŠTAR-IVANIĆ / PJEŠČ. POLJANA

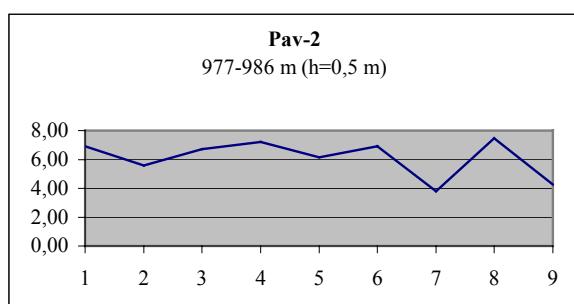
U poljanskim pješčenjacima analizirane su jezgre iz 5 bušotina na šest dubinskih intervala. U bušotini **Pav-1** na dubinama 913-929 (interval 0,5 m), bušotini **Pav-2** na 977-986 i 1071-1075,5 m (intervali 0,5 m), bušotini **Rov-1** na 1311-1317 m (interval 0,5 m) te bušotini **VC-1** na 1747-1751 i 1843,5-1846,25 m (intervali 0,25 m). Dobivene su sljedeće vrijednosti i krivulje (**tablica 8.5**, **slike 8.15, 8.16, 8.17, 8.18, 8.19, 8.20**):

Bušotina	$\phi$ (%)	korekcija	$\phi_{kor}$ (%)	a (m)	korekcija	$a_{kor}$ (m)
<b>Pav-1</b>	27,17	0,09	<b>24,65</b>	1,72	0,18	<b>1,41</b>
<b>Pav-2 (1)</b>	25,23	0,08	<b>23,30</b>	0,45	0,17	<b>0,37</b>
<b>Pav-2 (2)</b>	20,44	0,18	<b>16,80</b>	1,29	0,59	<b>0,52</b>
<b>Rov-1</b>	21,43	0,16	<b>17,91</b>	0,42	0,23	<b>0,32</b>
<b>VC-1 (1)</b>	12,58	0,29	<b>8,95</b>	0,49	0,44	<b>0,27</b>
<b>VC-1 (2)</b>	16,39	0,17	<b>13,64</b>	0,27	0,23	<b>0,21</b>

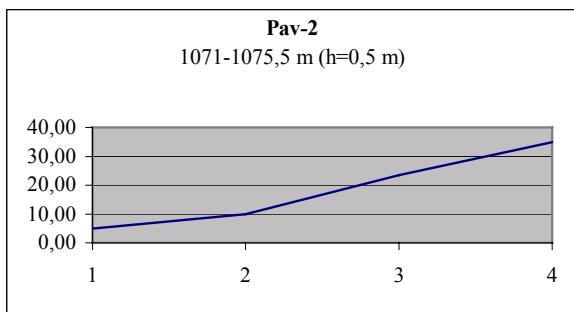
**Tablica 8.5:** Vrijednosti šupljikavosti i dosega u bušotinima Pav-1, Pav-2, Rov-1, VC-1 / pj. Poljana



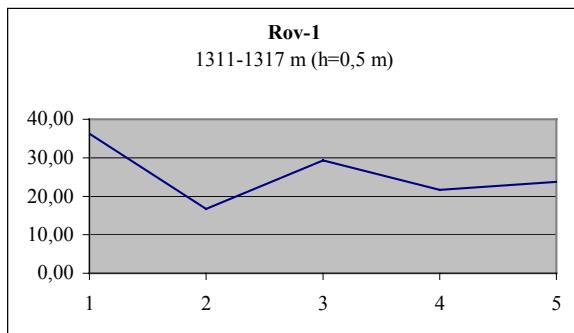
**Slika 8.15:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-1 / pješčenjaci Poljana



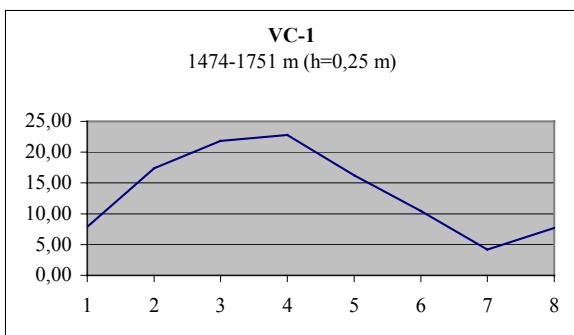
**Slika 8.16:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-2 (1) / pješčenjaci Poljana



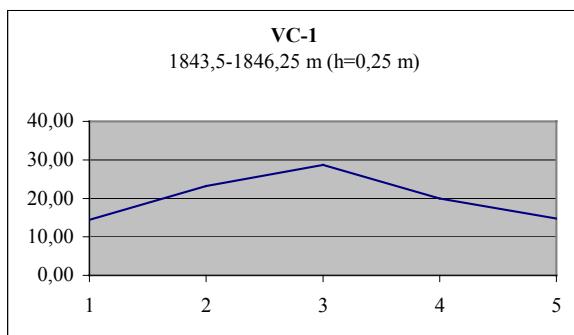
**Slika 8.17:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-2 (2) / pješčenjaci Poljana



**Slika 8.18:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Rov-1 (2) / pješčenjaci Poljana



**Slika 8.19:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (1) / pješčenjaci Poljana



**Slika 8.20:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-2 (2) / pješčenjaci Poljana

**Litološki** poljanski pješčenjaci su vrlo promjenjiva sastava, slično kao i okolski pješčenjaci u prethodnoj fm. Ivanić-Grad. Takve njihove osobine ocrtavaju i semivariogramske krivulje na slikama 8.15, 8.16, 8.17, 8.18, 8.19 i 8.20.

U dobroj rezervoarskim intervalima **šupljikavost i propusnost** iznosile su između 20 i 30 %, odnosno do nekoliko desetaka jedinica  $10^{-3} \mu\text{m}^2$ . Takvi intervali s dobrim rezervoarskim osobinama posebno su vezani za sjeverni i sjeveroistočni dio uleknine. Na Cremušini (slika 8.21) te su vrijednosti bile 21,2-28,2 % te do  $34,8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ . Na polju Gakovo (slika 8.22) šupljikavost se kretala između 16 i 24 %, a još više vrijednosti izmjerene su u bušotini Vis-1 gdje su iznosile do 31 % i  $108,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , a na polju Jagnjedovac čak 30-32 %.

U dijelovima pješčenjaka Poljana gdje je udjel laporovite komponente bio velik šupljikavost je iznosila manje od 10 %, a prateća propusnost oko  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  pa i niže. Takve slabo propusne zone obično su probušene u starijim dijelovima poljanskih pješčenjaka, što je najbolje dokumentirano ponovno na sjeveru i sjeveroistoku kod Visa, Hampovice i na Jagnjedovcu. Na istoku i jugoistoku slaba rezervoarska svojstva utvrđena su unutar cijelokupnoga člana, što je zabilježeno kod Velike Ciglene, Patkovca, a posebno Pavlovca i Ciglenice.

Statistički i semivariogramski je analizirano 6 intervala poljanskih pješčenjaka u 4 bušotine zapadnog (Rovišće), srednjišnjeg (Galovac-Pavljani) i istočnog (Velika Ciglena) dijela uleknine (tablica 8.5). Promatraljući dijelove uleknine s dobrim ležišnim svojstvima unutar toga člana dobivene su i visoke vrijednosti. Srednja šupljikavost iznosi 20,44-27,17 %, a korigirana 16,80-24,65 %. Dosezi se kreću u relativno širokim granicama. Najniži su 0,32-0,37 m (Pav-2, Rov-1),

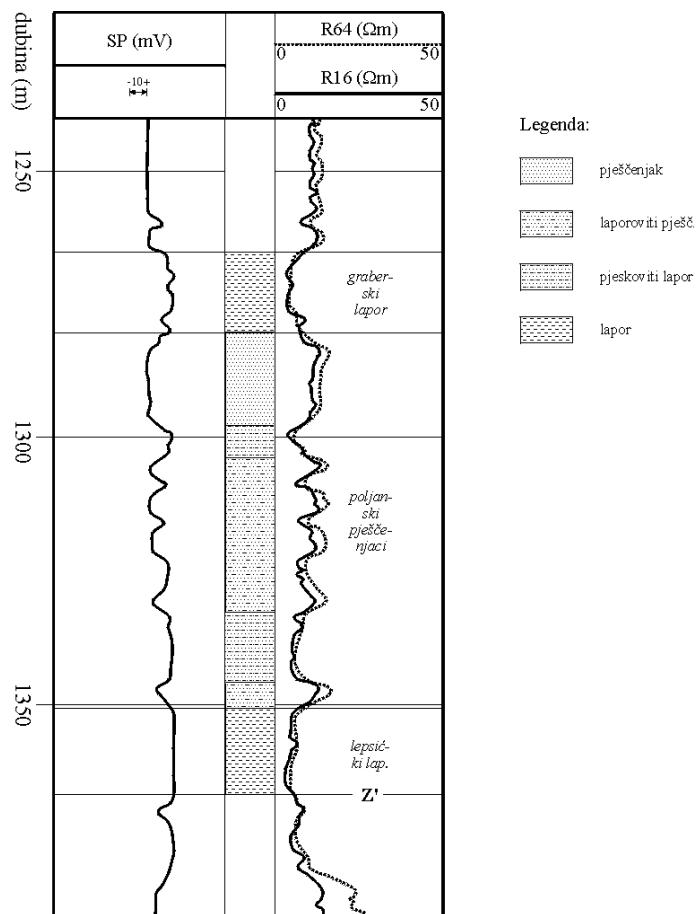
## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

zatim 0,52 m (Pav-2 dublje), dok je kao maksimum izračunat 1,41 m (Pav-1). Veći iznos i pouzdanost dobiveni su na jezgrama s dobrim i kontinuiranim rezervoarskim svojstvima.

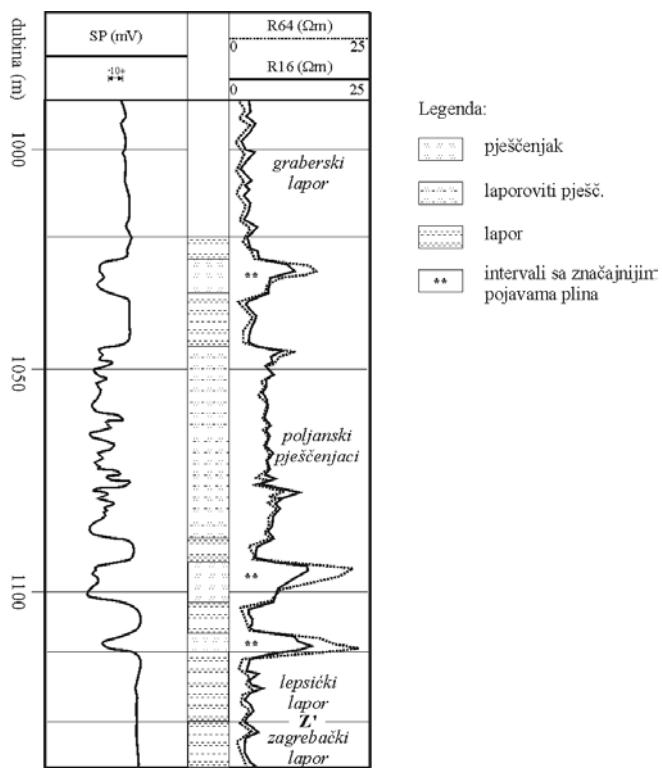
Suprotno, kod Velike Ciglene dobivene su značajno manje vrijednosti. Korigirana šupljikavost je oko 10 %, a dosezi oko 0,25 m (**tablica 8.5**) što su bile očekivane vrijednosti u takvim slabopropusnim sedimentima.

**Ležišta ugljikovodika** unutar poljanskih pješčenjaka otkrivena su na nekoliko polja bilogorske zone. Na polju *Jagnjedovac* definirana su tri rezervoara (A, B, C) u kojima je, ovisno o strukturnom položaju bušotine, ležište nafte. Na polju *Šandrovac* izdvojene su dva naftna ležišta (G, H) manjega proizvodnog značenja. Na polju *Hampovica* svi izdvojeni rezervoari (unutar serije II) bili su zavodnjeni. Male pojave nafte i plina od nekoliko postotaka zabilježene su kod Cremušine (**slika 8.21**), Sedlarice i na polju Galovac-Pavljani. Svi propusni intervali na polju Gakovo bili su zavodnjeni (**slika 8.22**).

Izmjereni **saliniteti** bili su uglavnom viši od prosjeka za sedimente fm. Kloštar-Ivanić koji iznosi 6,2 g/l NaCl (COTA & BRITVIĆ, 1991). Prosječno su izmjerene vrijednosti između 9 i 15 g/l NaCl što upućuje na vezu sa slojnim vodama starijih formacija. Izuzetak je bušotina Pav-1 gdje su dobivene znatno snižene vrijednosti (2,8-4,8 g/l NaCl) i ukazuju na vezu s mlađim sedimentima i površinskim vodama (MALVIĆ, 1999).



*Slika 8.21: Dijagram konvencionalne elektrokaroteze poljanskih pješčenjaka u bušotini Cre-2*



Slika 8.22: Dijagram konvencionalne elektrokarotaže poljanskih pješčenjaka u bušotini Gak-1

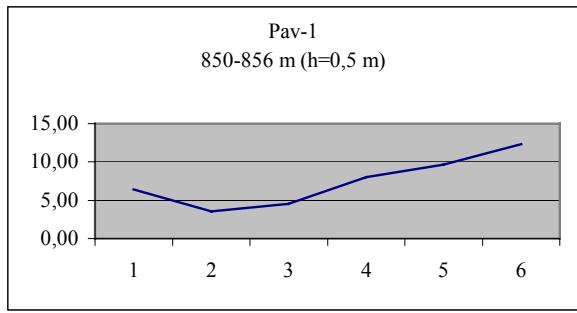
#### 8.4.6. FM. KLOŠTAR-IVANIĆ / PJEŠČ. PEPELANA

U pepelanskim pješčenjacima analizirane su jezgre iz 5 bušotina na osam relativnih dubinskih intervala. U bušotini **Pav-1** na dubinama 850-856 m (interval 0,5 m), bušotini **Rov-1** na 1047-1053 m (interval 0,5 m), bušotini **Ša-5** na 680,3-686,3 i 810,6-816,6 m (intervali 0,5 m), bušotini **Ša-35** na 797,7-813,7 m (interval 0,5 m), bušotini **VC-1** na 1479,25-1482,50 (interval 0,25 m), 1536-1542 (interval 0,5 m) i 1579,0-1583,5 m (interval 0,25 m). Dobivene su sljedeće vrijednosti i krivulje (tablica 8.6, slike 8.23, 8.24, 8.25, 8.26, 8.27, 8.28, 8.29, 8.30):

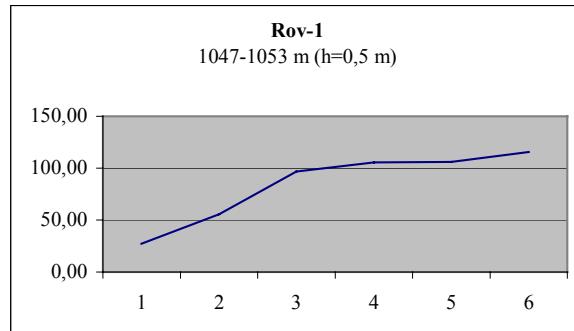
Bušotina	$\phi$ (%)	korekcija	$\phi_{kor}$ (%)	a (m)	korekcija	$a_{kor}$ (m)
<b>Pav-1</b>	25,03	0,09	<b>22,81</b>	2,67	0,35	<b>1,73</b>
<b>Rov-1</b>	22,54	0,32	<b>15,28</b>	1,23	0,34	<b>0,81</b>
<b>Ša-5 (1)</b>	31,15	0,04	<b>29,99</b>	1,25	0,24	<b>0,95</b>
<b>Ša-5 (2)</b>	21,75	0,27	<b>15,98</b>	1,08	0,27	<b>0,79</b>
<b>Ša-35</b>	23,15	0,15	<b>19,61</b>	0,69	0,20	<b>0,55</b>
<b>VC-1 (1)</b>	14,63	0,10	<b>13,14</b>	1,14	0,38	<b>0,70</b>
<b>VC-1 (2)</b>	15,02	0,04	<b>14,46</b>	0,60	0,29	<b>0,43</b>
<b>VC-1 (3)</b>	19,91	0,18	<b>16,40</b>	1,56	0,34	<b>1,03</b>

Tablica 8.6: Vrijednosti šupljikavosti i dosega u bušotinima Pav-1, Rov-1, Ša-5, Ša-35, VC-1 / pj. Pepelana

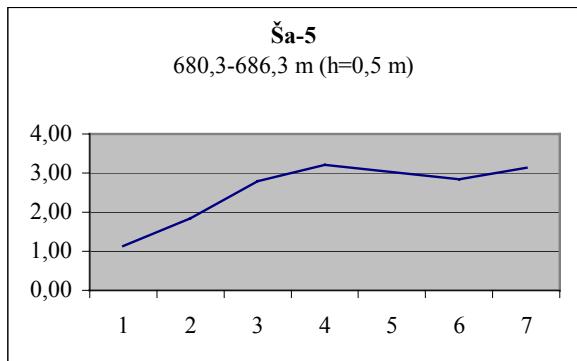
## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti



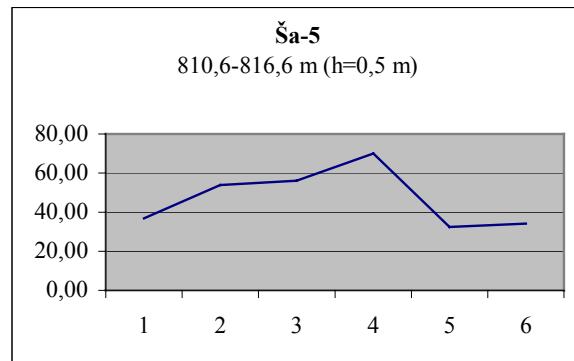
**Slika 8.23:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Pav-1 / pješčenjaci Pepelana



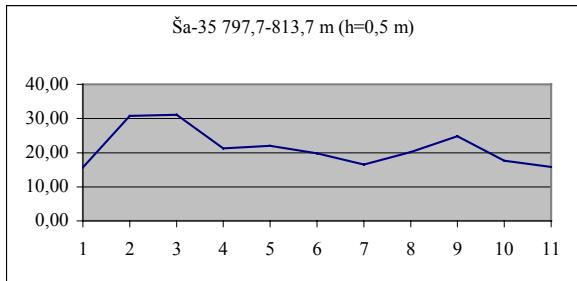
**Slika 8.24:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Rov-1 / pješčenjaci Pepelana



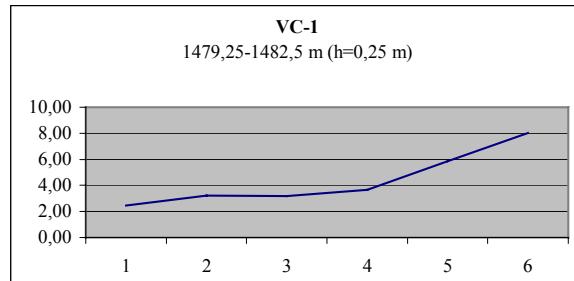
**Slika 8.25:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Ša-5 (1) / pješčenjaci Pepelana



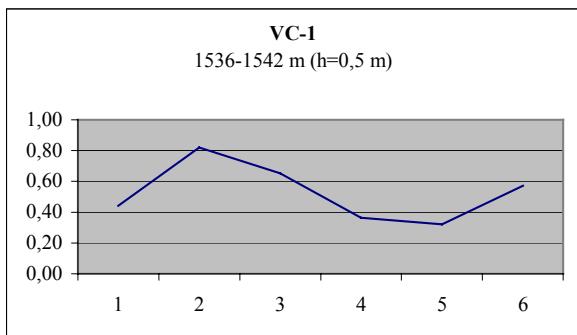
**Slika 8.26:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Ša-5 (2) / pješčenjaci Pepelana



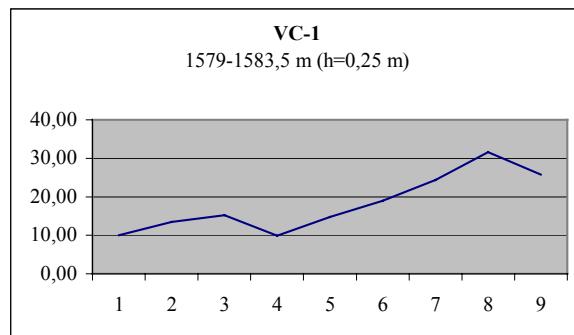
**Slika 8.27:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini Ša-35 / pješčenjaci Pepelana



**Slika 8.28:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (1) / pješčenjaci Pepelana



**Slika 8.29:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (2) / pješčenjaci Pepelana



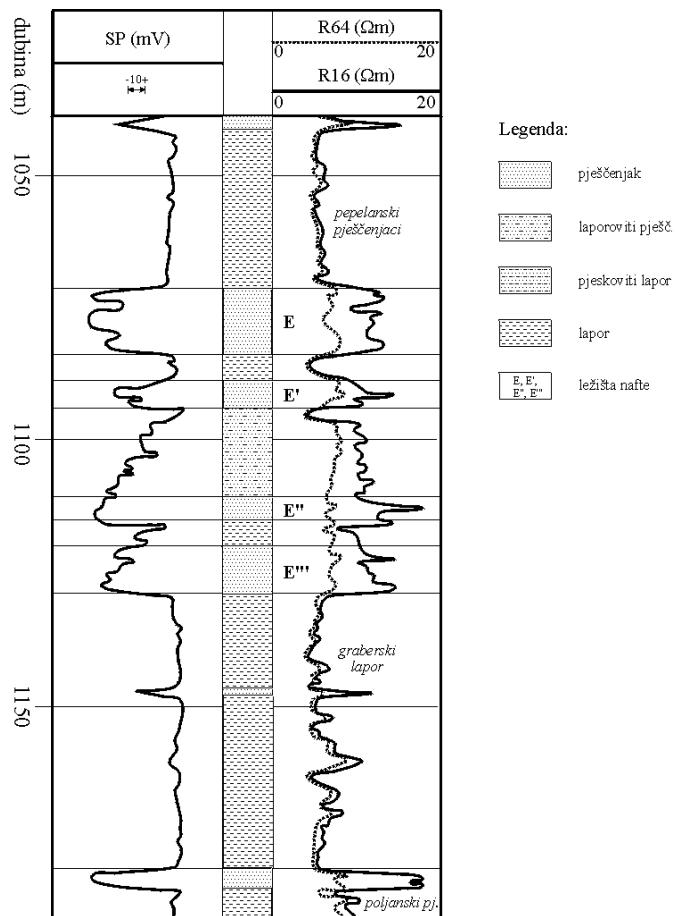
**Slika 8.30:** Semivariogramska krivulja šupljikavosti u bušotini VC-1 (3) / pješčenjaci Pepelana

Broj dostupnih laboratorijskih podataka bio je manji nego li za prethodni član. **Litološka nepostojanost** ponovno je pravilo, no manje je uzražena nego li u prethodna dva člana što se vidi i po rezultatima analiza.

Unutar propusnih intervala dokumentirane su relativno visoke vrijednosti **šupljikavosti** i **propusnosti**. Šupljikavost je redovito iznad 15 %, a na polju Šandrovac preko 30 % (slika 8.31), dok horizontalna propusnost iznosi  $0,31-5,3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

U **tablici 8.6** korigirane vrijednosti najviše su na polju Šandrovac, gdje je šupljikavost između 15 i 30 %, a doseg između 0,5 i 1,0 m. Nešto niža šupljikavost i doseg u približno istim granicama izračunati su za Veliku Ciglenu. Područja Rovišća i Pavljana odlikuju se visokim vrijednostima dosega (preko 1 m) što upućuje na još bolja i ujednačenija litološka svojstva. Promatrajući na nivou cijele uleknine pepelanski pješčenjaci imaju bolja rezervoarska svojstva od starijih poljanskih pješčenjaka.

**Ležišta nafte i plina** u sedimentima ovoga člana otkrivena su jedino na polju Šandrovac, no radi se o najvećim zalihamama ugljikovodika unutar uleknine, kako u apsolutnom tako i relativnom iznosu. Također je to jedno od najvećih polja u Hrvatskoj. Unutar pješčenjaka Pepelana razvijene su četiri serije ležišta nazvanih C, D, E i F, a međusobno odvojenih izolatorskim laporima. Najproduktivnija je serija E unutar koje je izdvojeno četiri ležišta imenovanih E, E', E'', E''. Stratigrafski položaj i oblik krivulje spontanog potencijala tih ležišta prikazan je na **slici 8.31**. Jasno se prepoznaju karakteristični cilindrični i zvonasti ocrti krivulje spontanog potencijala koji ukazuju na dobro razvijena pješčenjačka tijela taložena u različitim taložnim okolišima.



Slika 8.31: Dijagram konvencionalne elektrokarotaže pepelanskih pješčenjaka u bušotini Ša-167al

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

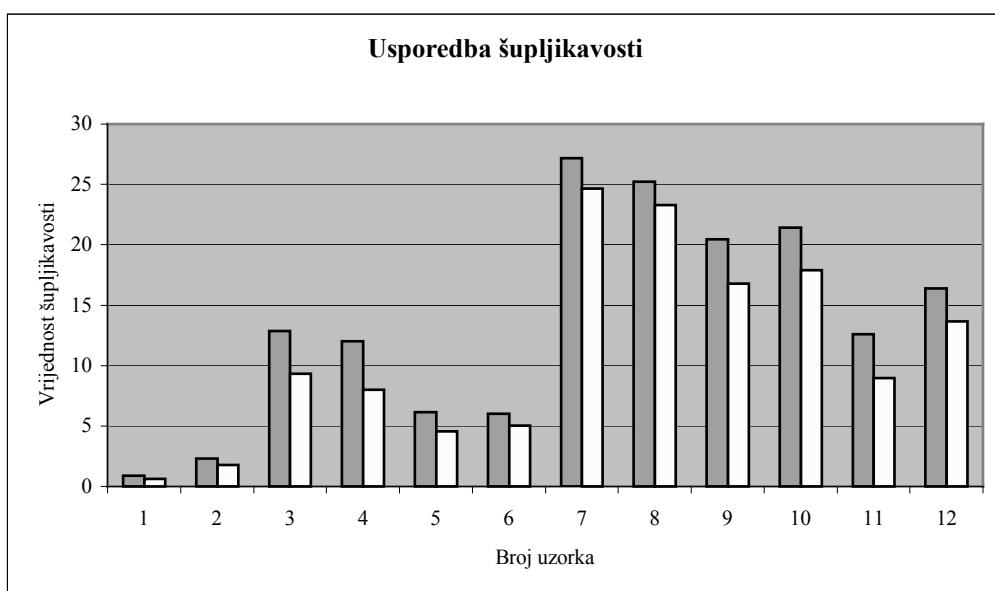
Posebnost polja Šandrovac je mjestimice vrlo velika količina CO<sub>2</sub>, posebno u ležištima E i E'. Na zapadnom dijelu polja udjel CO<sub>2</sub> u dobivenom plinu je između 50 i 80 %, dok je na istočnom dijelu strukture njegov udjel neznatan (ispod 0,3 %). Veliki udjel CO<sub>2</sub> u ukupno pridobivenom plinu dobiven je i u ležištima B (do 66,31 %) te F i F' (do 74,3 %) također na zapadnom dijelu polja.

U preostalom dijelu uleknine zabilježene su tek slabe pojave plina u iznosu najčešće ispod 10 %, a prema sastavu to je pretežno biogeni metan.

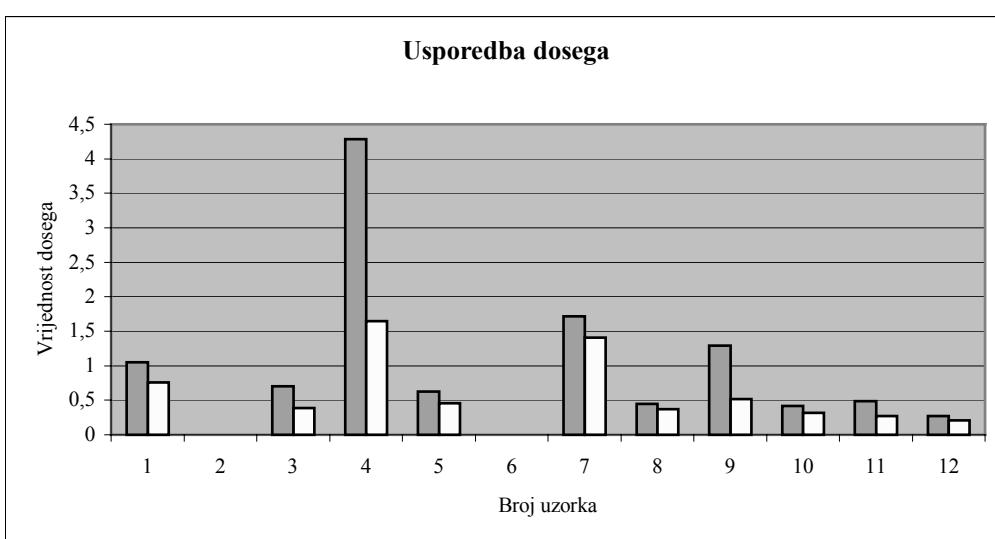
Podaci o **salinitetu** nisu mjereni.

### **8.5. PREGLED REZULTATA**

Petrofizikalni parametri i analize prikazane su obzirom na pojedine litostratigrafske jedinice. Također su uspoređene srednje i korigirane vrijednosti šupljikavosti te dosega (**slike 8.32 i 8.33**).



**Slika 8.32:** Uzlazne (lijevo) i korrigirane (desno) vrijednosti šupljikavosti



**Slika 8.33:** Uzlazne (lijevo) i korrigirane (desno) vrijednosti dosega

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

Uvođenje faktora korekcije, izračunatog na temelju vrijednosti varijance podataka, snizilo je iznose šupljikavosti i dosega izračunatih kao srednje vrijednosti.

U prosjeku vrijednosti korigirane šupljikavosti niže su za 17,7 %, a korigiranog dosega za 33,0 %.

Glavni problem kod klasifikacije jezgara i odabira ulaznih podataka bila je velika litološka promjenjivost većine opisanih litostratigrafskih članova. To je ponekad uzrokovalo veliku razliku u vrijednostima bliskih uzoraka, čak i unutar iste jezgre. Naravno, u takvim slučajevima su i varijanca i korekcija bile velike, a mogućnost ekstrapolacije toliko mala da je praktično bila neupotrebljiva.

Promatrano po litostratigrafskim jedinicama, promjenjivost je manje bila izražena u stijenama „*temeljnoga gorja*”, „*podloge tercijara*” i sedimentima *člana Mosti*. U stijenama u podini neogena prikupljeno je premalo podataka za ozbiljnu geostatističku analizu, a analize su načinjene tek na nekoliko mjesta gdje su probušena ležišta.

U taložinama člana Mosti brojnost podataka bila je puno veća. Dobivene su korigirane vrijednosti u relativno širokom rasponu. Vrijednosti dosega su između 0,39 i 1,65 m, a šupljikavosti između 5 i 10 %, s time da su više vrijednosti povezane sa starijim dijelom člana Mosti. Rezultati opisuju litološku promjenjivost člana, posebno sekvensiju positnjavanja gledajući općenito prema mlađim dijelovima.

Sljedeće su bile analize triju mlađih pješčenjačkih članova fm. Ivanić-Grad i Kloštar-Ivanić. Unutar *okolskih pješčenjaka* fm. Ivanić-Grad nije bilo dovoljno kvalitetnih ulaznih podataka za semivariogramsku analizu. Na temelju opisane stratigrafije vidljivo je da ta jedinica nema litološka obilježja pravoga pješčenjačkoga člana u većem dijelu uleknine. Bolja rezervoarska svojstva na temelju bušotinskih podataka dokumentirana su jedino u području Velike Ciglene i naftnoga polja Jagnjedovac, gdje su otkrivena i ležišta.

Sljedeći litostratigrafski član čine *poljanski pješčenjaci* koji su zahvaljujući većem broju podataka vrlo dobro (geo)statistički analizirani. Dobiveni rezultati varirali su u dosta širokim granicama. Doseg je imao vrijednosti između 0,21 i 1,41 m, a šupljikavost između 8,95 i 24,65 %. Takve vrijednosti potpuno su u skladu s litološkim značajkama člana, odnosno vertikalnom i horizontalnom neujednačenošću koja je opažena čak i unutar istoga ležišta. Litološka promjenjivost ove jedinice bila je najveća u usporedbi sa svim ostalim izdvojenim litostratigrafskim članovima. To je sigurno jedan od glavnih razloga zašto nisu otkrivena veća ležišta ugljikovodika u sedimentima te jedinice unutar bjelovarske uleknine. Manje pojave utvrđene su tek mjestimice pa su tako otkrivena 3 ležišta na polju Jagnjedovac, 2 na polju Šandrovcu te veće pojave plina na Cremušini. Kao primjer izrazite vertikalne litološke promjenjivosti priložen je karotažni dijagram bušotine Cre-2 (**slika 8.21**). Na tome malome plinskome polju nije bilo moguće niti u bliskim bušotinama korelirati sve istovrsne ležišne stijene, posebno u mlađem dijelu poljanskih pješčenjaka.

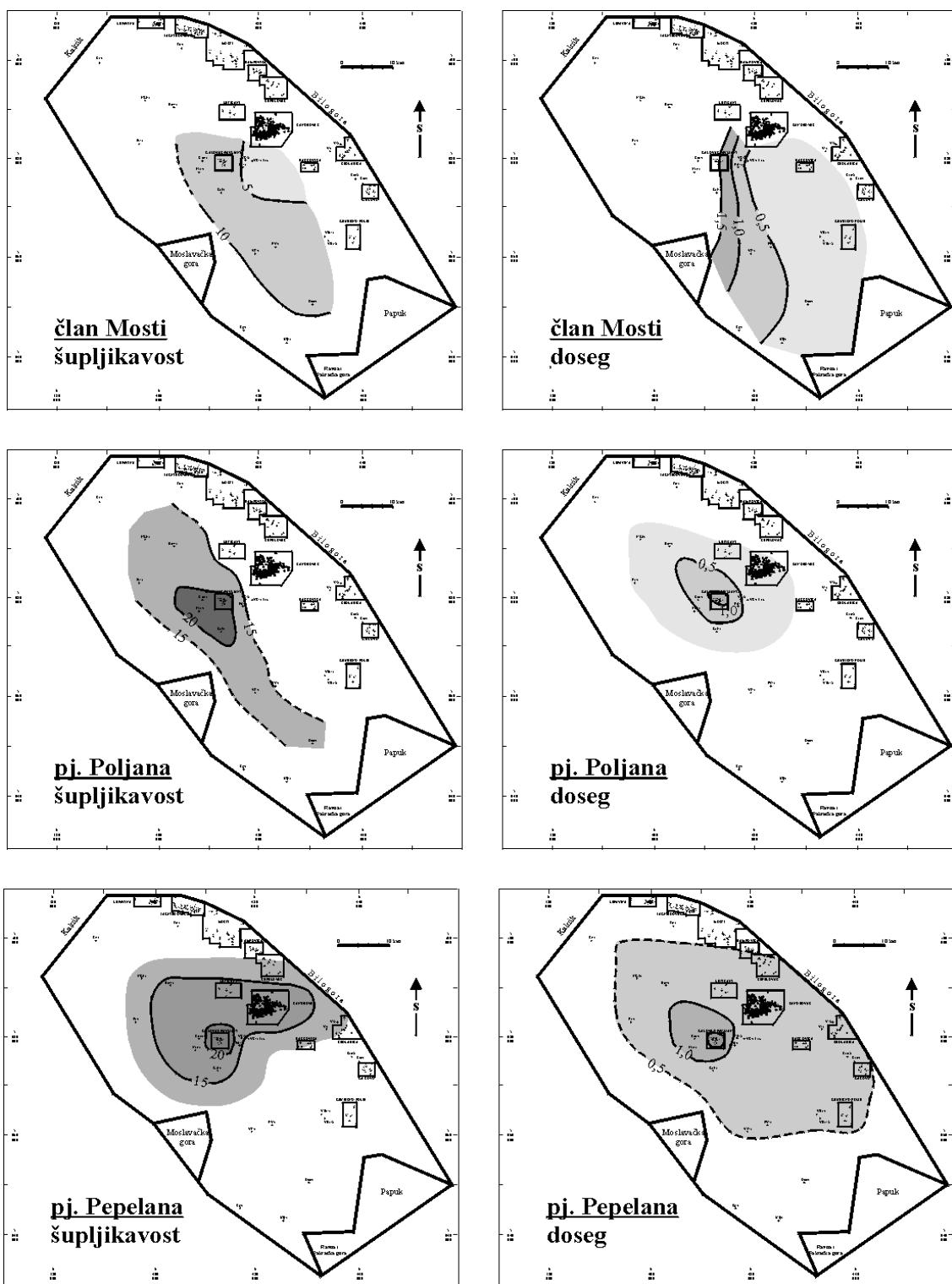
Unutar najmlađih *pepelanskih pješčenjaka* također se raspolagalo relativno većim skupom podataka. Najveća srednja šupljikavost iznosi do 29,99 %, a dobiveni su i prosječno najveće vrijednosti dosega (0,55-1,73 m). Ti podaci, kao i stratigrafski opisi, ukazali su na najpostojaniji litološki sastav između svih prikazanih jedinica. Naftnoplinonosnost pješčenjaka Pepelana potvrđena je otkrićima velikih ležišta u serijama C, D, E, F na polju Šandrovac. Neobično i nepovoljno je što takvo otkriće nije bilo praćeno s još barem nekoliko manjih sličnih pojava u okolnim prostorima iste jedinice unutar uleknine. Vidljivo je iz prethodnih opisa kako je litologija pepelanskih pješčenjaka vrlo promjenjiva u pojedinim dijelovima uleknine, no njezina varijabilnost je manja nego li u starijim, posebno klastičnim, jedinicama. Zato se može pretpostaviti da raspoložive količine nafta i plina i migracijski putovi nisu bili dovoljni da bi "nahranili" dodatne,

## 8. Statistička i semivariogramska analiza šupljikavosti

unutarnje prostore uleknine. No, to je svakako predmet drugih regionalnih analiza i studija, posebno geokemijskih i tektonskih, o kojima ovdje neće biti riječi.

Raspodjela izračunatih vrijednosti šupljikavosti i dosega na području cijele uleknine prikazana je na **slici 8.34**. Kao interpolacijske točke upotrebljene su vrijednosti na mjestima gdje je, obzirom na broj podataka, bilo moguće načini statističku i semivariogramsku analizu. Zbog premalog broja tako dobivenih točkastih vrijednosti izolinije su konstruirane slobodnom procjenom interpretatora, odnosno nije upotrebljena niti jedna "računalna" interpolacijska metoda. Procijenjeno je da bi njihova upotreba dovela do krivih rezultata, jer je količina podataka premala, njihov razmještaj je vrlo nepravilan te nije bilo moguće odrediti nikakvu pouzdanu prostoru zavisnost u horizontalnoj ravnini.

Na temelju prikazanih parametara uočljivo je kako su kvalitetni dijelovi rezervoarskih jedinica obilježeni visokim vrijednostima korigirane šupljikavosti i dosega, koje prate i odgovarajuće visoke vrijednosti propusnosti.



Slika 8.34: Shematski raspored izračunate korigirane šupljikavosti i dosega

## 9. NAFTNOGEOLOŠKI MODEL BJELOVARSKE ULEKNINE

Završni korak u procjeni bilo kojega analiziranog prostora predstavlja stvaranje naftnogeološkog modela. Njegova prvenstvena namjena je što detaljnije geološko opisivanje prostora pod čime se podrazumijeva stratigrafski, strukturno-tektonski i geokemijski prikaz te prateće analize. Na temelju tih rezultata pristupa se predviđanju novih ležišta i ocjene vjerljivosti njihova otkrića. Takav cijeloviti analitičko-istraživački postupak naziva se **modeliranjem bazena** (*basin modeling*). Neke od metoda koje uključuje taj postupak primjenjenje su u ovoj disertaciji, a s ciljem dobivanja što kvalitetnijega geološkog modela i odgovora na pitanje treba li opisani prostor i dalje istraživati ili napustiti.

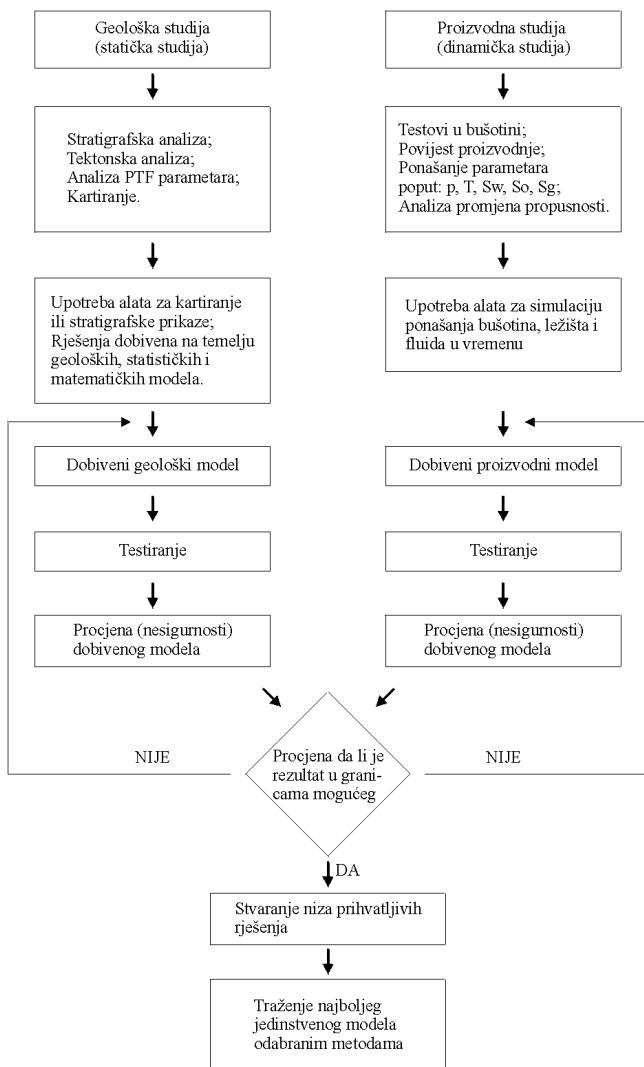
Postoje različite metode kojima se procjenjuje vjerljivost novih otkrića ugljikovodika. Neke se uglavnom oslanjaju na geološku interpretaciju, dok druge prvenstveno upotrebljavaju matematičke modele. Najbolji rezultati mogu se očekivati od metoda koje objedinjuju ta dva pristupa u zajedničkom geološkom modelu.

U Hrvatskoj je objavljeno nekoliko radova o metodama za procjenu vjerljivosti ili rizika u istraživanju ugljikovodika. FRANK (1990) je prikazao kvantitativne metode koje se koriste za procjenu mogućih neotkrivenih zaliha ugljikovodika te prednosti i nedostatke svake pojedine metode. Prema autoru najprikladnija je volumetrijska metoda. U radu su zatim obrađeni pojedini geološki parametri i vjerljivost novih otkrića. Ponovno u magistarskom radu FRANK (1992) je razradio procjenu perspektivnosti i rizika kod istraživanja ugljikovodika na primjeru podmorja otoka Mljet, a proračun je ponovno načinjen volumetrijskom metodom. Rezultat je prikazan kao stupanj rizičnosti otkrića ugljikovodika u svakome pojedinačnom izdvojenom prospektu te zbirni uspjeh barem jednoga otrića na cijelome području. Iste godine NOVINC (1992) je također u magistarskom radu opisao upotrebu ekspertnog sustava kod predviđanja naftnih i plinskih ležišta na nekoliko polja smještenih u Istočnoj Slavoniji. Prognozirano je postojanje nekoliko perspektivnih područja s obzirom na naftni i plinski potencijal. Zadnji takav rad obajvili su HERNITZ et al. (1999) gdje je na odabranim područjima savske potonine i bjelovarske uleknine, na temelju odabranih stratigrafskih i tektonskih parametara, dana numerička procjena vjerljivosti otkrića novih ležišta (reda veličine polja Galovac-Pavljana, Voloder ili satelitskih ležišta polja Šandrovac). Pri tome je iskorištena prilagođena metoda procjene koju je objavio WHITE (1993).

Svako modeliranje u istraživanju ležišta nafte i plina može obuhvatiti dva glavna postupka. Prvi je **geološko modeliranje** (*geological modeling*), a drugi **simulacija proizvodnje** (*reservoir engineering simulation*). Uglavnom se pri tome stvaranje geološkog modela promatra kao **statička**, a proizvodnog modela kao **dinamička studija**, no i tu ima iznimaka te međusobnog prožimanja. Najvrijedniji rezultati se dobiju ako se obje studije povežu u jedan **integrirani model** kako je to prikazano na **slici 9.1**.

Prema toj shemi vidljivo je kako je u prethodnim poglavljima ove disertacije obuhvaćen potpuni geološki model s brojnim analitičkim metodama poput stratigrafske i strukturno-tektonske studije, analize petrofizikalnih parametara i odabranih geokemijskih varijabli te izrada odgovarajućih karata i slika. U takvu geološku analizu uključeni su dijelovi koji se odnose na proizvodne parametre i procjenu, odnosno ponašanje petrofizikalnih varijabli. Tako se pokušalo dobiti što kvalitetniji konačni model sa što većim brojem elemenata jednog pravog i potpuno integriranog modela s konačnim ciljem predviđanja položaja novih ležišta i njihovih odgovarajućih geoloških parametara.

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine



*Slika 9.1: Integrirani model pristupa naftnogeološkoj procjeni*

Za načinjene prostorne analize geoloških podataka najvažnije je bilo utvrditi koji od njih pokazuju svojstvo prostorne neprekinutosti, svakako najvažnije svojstvo kod najvećeg broja geoloških i geostatističkih analiza. Naravno, kako se u naftnogeološkim analizama uvijek radi s većim ili manjim brojem točkastih podataka njihovo pretvaranje u neprekinute prostorne podatke uvijek je zadatak određenih metoda koje se za to upotrebljavaju, od najvizualnijih poput korelacije i interpolacije do različitih matematičkih proračuna poput semivariogramske analize, procjene korigirane vrijednosti i vjerojatnosti. Svaka takva metoda nosi svoj stupanj pogreške koji treba poznavati i po mogućnosti što točnije kvantificirati kako bi se u dalnjim proračunima temeljenim na prethodnim rezultatima ta pogreška mogla točno odrediti te vidjeti da li je njen iznos prihvatljiv.

Važan alat u stvaranju takvoga modela je geostatistika, odnosno statistika prostorno ili vremenski koreliranih podataka. Većina geoloških podataka ima svojstvo prostorne korelacije. Kao primjer se mogu promatrati vrijednosti šupljikavosti. Na pojedinom uzorku šupljikavost je gotovo svugdje jednaka, no razlika između vrijednosti sve se više mijenja s udaljenošću. Ipak gotovo uvijek postoji određeni zajednički uzorak koji se može pratiti na promatranom prostoru s određenim stupnjem korelacije. Posljedica je da je takva varijabla (šupljikavost) korelativna sa samom sobom u prostoru, tj. **autokorelirana** što predstavlja temelj za njezino kartiranje.

Procjena takvih vrijednosti uključuje rješavanje većeg ili manjeg broja jednadžbi kojima se opisuje očekivana autokorelacija između vrijednosti opaženim na kontrolnim točkama i vrijednosti koje se žele procijeniti. Zato konstruiranje modela autokorelacije je u biti istovrsni postupak onome kada se prilikom ručne interpolacije karata oblik izolinija i njihovo pružanje u područjima bez podataka

## 9. Naftogeološki model bjelovarske uleknine

prilagođavaju prema procjeni interpretatora. Također jedan od najboljih alata za određivanje autokorelacije promatrane varijable je **semivariogramska analiza**. Drugi važan geostatistički alat je određivanje **intervala pouzdanosti** procjene. Takav postupak sastavni je dio brojnih programskih paketa, a moguće ga je samostalno izračunati na temelju histograma fekvencija promatranih varijabli i oblika krivulja njihove razdiobe.

Nakon svih načinjenih analiza rezltati geostatističke obrade podataka u pravilu se prikazuju na dva načina – kartama i krivuljama raspodjele. Kartografski se prikazuju rezltati analiziranih varijabli poput šupljikavosti ili debljina čija prostorna raspodjela je najvažniji parametar u donošenju odluka o procjeni izabranog perspektivnog lokaliteta, odnosno njegovim rezervoarskim ili proizvodnim svojstvima. Krivulje raspodjele vrlo su korisne u procjeni pouzdanosti računa, odnosno određivanja stupnja rizika koji se mora uzeti u obzir s dobivenim rezultatima.

Sve spomenute metode obrade i prikaza rješenja odnose se na vrstu varijabli koje se u geostatistici nazivaju regionaliziranim. *Regionalizirana varijabla* se može definirati kao slučajna varijabla distribuirana u prostoru. Većina geoloških varijabli može se nazvati regionaliziranim varijablama, npr. debljina jedinice, geotermijski gradijent, petrofizikalni parametri...

Postupci primjenjeni u ovoj disertaciji kod procjene vjerojatnosti postojanja novih ležišta najkraće se mogu prikazati u sljedeća četiri koraka:

1. Na temelju strukturnih i paleostruktturnih karata izdvojene su perspektivne strukture u pogledu stvaranja zamki i ležišta ugljikovodika.
2. Kod određivanja povoljnijih litostratigrafskih jedinica u pogledu stvaranja ležišta, a kao dokazane litostratigrafske jedinice u pogledu postojanja ležišta ugljikovodika unutar bjelovarske uleknine, izdvojene su: (1) stijene temeljnog gorja sa starijim dijelom čl. Mosti, (2) pješčenjaci Poljana i (3) pješčenjaci Pepelana. Te jedinice su geostatistički analizirane.
3. Na izdvojenim dijelovima uleknine (točka 1) interpolirani su postojeći i izračunati parametri (točka 2) okolnih istraživačkih bušotina te naftnih i plinskih polja.
4. S tako dobivenim vrijednostima procijenjena je vjerojatnost novih otkrića ugljikovodika.

Interpolacija vrijednosti pod točkom 3 te procjena vjerojatnosti u točki 4 predstavljaju postupke prikazane u sljedećim potpoglavlјima.

### **9.1. PROCJENA POGRJEŠKE I INTERPOLACIJE VRIJEDNOSTI**

Na svakome mjestu gdje nema mjerenih podataka unutar uleknine te vrijednosti su procijenjene metodom koja najbolje odgovara vrsti analize koja se željela načiniti. Općenito na mjestima gdje je trebalo načiniti takvu procijenu njihova vrijednost može se izračunati **formulom 9.1**:

$$vrprocj = \sum_{j=1}^n tez_j \times vr_j \quad (9.1)$$

gdje su:

*vrprocj* - procijenjena vrijednost

*vr<sub>j</sub>* - poznata vrijednost na lokaciji "j"

*tez<sub>j</sub>* - težinski faktor na lokaciji "j"

Cilj svake analize je da parametar "tež" bude što bliže vrijednosti 1,0 tako da *pogrješka* procjene bude što bliže 0, odnosno varijabla "vrprocj" jednaka varijabli "vr". No pogrješku je gotovo uvijek nemoguće izbjegći, a njen iznos se procijenjuje **formulom 9.2**:

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

$$r_j = vrprocj - vr_j \quad (9.2)$$

gdje su:

$r_j$  - pogreška u iznosu procijenjene vrijednosti na lokaciji "j"

$vrprocj$  - procijenjena nova vrijednost

$vr_j$  - vrijednost na lokaciji "j"

Ako je procijenjena vrijednosti ( $vrprocj$ ) dobivena uvrštavanjem u račun većeg broja ( $n$ ) izmjerениh vrijednosti ( $vr$ ), a gotovo uvijek je tako, onda postoji i veći broj izračunatih pogreški ( $r$ ) iz kojih se zatim računa vrijednost *srednje pogreške* ( $m$ ).

$$m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j \quad (9.3)$$

Znači jedini problem koji treba rješiti kod procjene pogreške računa je pitanje ispravnog određivanja *težinskog faktora*, odnosno *korekcije* poznate vrijednosti kako bi se mogle procijeniti nepoznate vrijednosti toga parametra.

Klasična srednja vrijednost izračunata na cijelom skupu podataka slabo odražava ponašanje promatrane varijable u prostoru ako je ona prostorno vrlo nejednoliko raspoređena. Zato je za postizanje dobre procjene velikog skupa podataka potrebno odabrati model koji dodjeljuje **težinske koeficijente** svakom pojedinom uzorku, ali tako da se riješi problem njihova nejednolikog grupiranja na pojedinim dijelovima istraživanog područja (npr. polja), odnosno da grupiranje što manje utječe na procjenu. Od nekoliko mogućih rješenja prikazane su dvije metode procjene od kojih je metoda poligona odabrana, prilagođena i upotrebljena u ovome poglavlju. Također ranije spomenuta metoda *kriginga* predstavlja glavni geostatistički postupak za interpolaciju vrijednosti. Osnova metode također se temelju na pravilima opisanim u točki 9.1, a specifičnost je vezana za način izračuna težinskih koeficijenata (*matrice kriginga*).

### 9.1.1. METODA UJEDNAČENIH POLJA

Kod **metode ujednačenih polja** (*cell declustering method*) treba odrediti pravilnu mrežu polja odabrane veličine kojom se prekrije cijelo područje. Slijedi prebrojavanje uzoraka u pojedinom polju te na osnovi toga broja određivanje *težinskih koeficijenata*. Svakome uzorku u pojedinom polju dodijeljen je *težinski koeficijent* obrnuto proporcionalan broju uzoraka u polju, tj. to je težinski koeficijent za cijelo polje. Polje koje obuhvaća veći broj podataka imat će manji zajednički *težinski koeficijent* nego polje s tek jednom ili dvije regionalne bušotine unutar njih. Na **slici 9.2 težinski koeficijenti** bili bi po poljima (s lijeva na desno)  $1/2$ ,  $1/5$  i  $1/3$ , odnosno zbroj svih vrijednosti u svakom polju daje 1. Rješenje za cijeli promatrani prostor dobiva se prema **formuli 9.4**:

$$uleksr = \sum poljesr \times tez \quad (9.4)$$

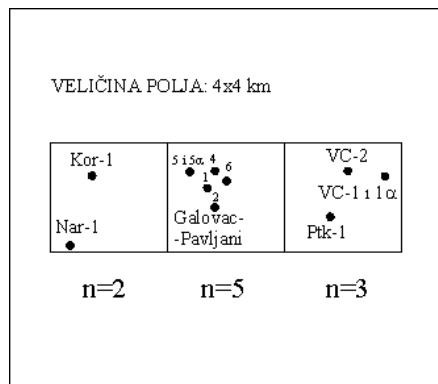
gdje su:

$uleksr$  - ukupna srednja vrijednost cijelog promatranog područja

$poljesr$  - srednja vrijednost vrijednosti u pojedinom izdvojenom polju

$tez$  - težinski koeficijent polja

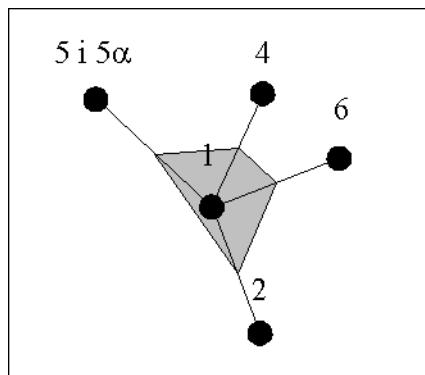
$\Sigma$  - suma rezultata svakog pojedinačnog polja



Slika 9.2: Izdvajanje polja na temelju kojih se određuju težinski koeficijenti

### 9.1.2. METODA POLIGONA

**Metoda poligona** (*polygonal method*) se temelji na podjeli područja u *poligone utjecaja* za svaki pojedini nepoznati uzorak. Vrhovi poligona utjecaja su polovišta udaljenosti od točke u kojoj želimo napraviti procjenu do točke u kojoj imamo podatak (slici 9.3). Ovisno o površini takvog poligona u odnosu na cijelu istraživanu površinu njemu se dodjeljuje odgovarajući *težinski koeficijent* s kojim se zatim množe okolne vrijednosti.



Slika 9.3: Polje utjecaja u metodi poligona

Problem se može pojaviti kod podataka smještenih na rubu područja gdje oni nisu potpuno okruženi s drugim podacima pa nije moguće oblikovati poligon. Tada je najprimjerenije kao granicu odabrati geološku granicu istraživanog područja. Ako to nije moguće treba arbitrarno odrediti najveću dopuštenu udaljenost do uzorka i tamo gdje nema podataka poligon zatvoriti kružnicom toga radijusa.

Svaka od metoda ima svoje prednosti i nedostatke. *Metoda poligona* često je detaljnija, pa time i točnija kod procjene težinskog koeficijenta i *srednje vrijednosti*. Problem je proračun površine takvih poligona koji može biti preopsežan ako je tih poligona puno. *Metodom ujednačenih polja* točnost je zavisna od pravilnog odabira veličine polja. Kod premaloga polja moguće je da svaki podatak bude samostalan pa će svi podaci imati *težinski koeficijent* 1. Suprotno ako su polja prevelika najveći broj vrijednosti opet će biti unutar istog polja s istim *težinskim koeficijentima*. Zato odabrana veličina mora pažljivo biti odabrana između te dvije krajnosti.

Na području uleknine vidljivo je da je raspored bušotina vrlo neravnomjeran. One su najvećim dijelom raspoređene u područjima naftnih i plinskih polja, a tek oko 5 % njih prekriva ostatak uleknine. Od ukupno 11 polja njih 8 smješteno je u bilogorskoj zoni, a 3 unutar uleknine. Procjena novih vrijednosti radit će se samo na odabranim dijelovima uleknine koje zbog nejednolikog

## 9. Naftogeološki model bjelovarske uleknine

rasporeda podataka ne bi bilo moguće prekriti odgovarajućim poljima jednake veličine na cijelom području uleknine. Iz toga razloga odabrana je **metoda poligona** u kojoj udaljenosti do poznatih vrijednosti mogu biti različite.

## **9.2. PROCJENA VJEROJATNOSTI NA TEMELJU GEOLOŠKIH PARAMETARA**

Kako je spomenuto, osnovi za ovaj proračun preuzete su iz radova WHITE (1993) i HERNITZ et al. (1999). Svi ulazni parametri podešeni su prema ulaznim vrijednostima bjelovarske uleknine na temelju kojih je tada procijenjena vjerojatnost novih otkrića. Te ulazne vrijednosti podijeljene su u **četiri glavne kategorije (a, b, c, d)**, koje unutar sebe obuhvaćaju još nekoliko podkategorija.

- a. **Matične stijene-zrelost-migracija.** U prvoj kategoriji tri su bitna geokemijska parametra. Prvi je da li postoje matične stijene s dovoljnim količinama i kvalitetom organskoga materijala, zatim da li je pružanje i debljina tih sedimenata zadovoljavajuća, kao i ukupna količina organskog ugljika i vrsta organske tvari. Drugi parametar je zrelost tih sedimenata, odnosno je li bilo dovoljno vremena i jesu li ti sedimenti kroz to vrijeme bili na pravoj temperaturi da te stijene budu dovoljno dugo u području "naftnoga prozora". Treći parametar obuhvaća migraciju koju po mogućnosti treba razlučiti na primarnu i sekundarnu te vidjeti da li se odvijala na dovoljnoj udaljenosti da ugljikovodici dosegnu prepostavljene rezervoarske stijene.
- b. **Zamka-izolatorske stijene-vrijeme.** Kod definiranja zamke treba odrediti o kakvoj se vrsti zamke radi i po mogućnosti njezin volumen. Zatim trebaju postojati bliske izolatorske stijene, dovoljno kvalitetne da zadrže kako naftu tako i plin kroz duže vremensko razdoblje. I na kraju ostaje definirati vrijeme koje bilo je na raspolaganju od trenutka stvaranja rezervoarsko-izolatorskog sustava, odnosno vidjeti je li ga bilo dovoljno da završi prepostavljena migracija.
- c. **Rezervoar-šupljikavost-propusnost.** Jedan od najvažnijih parametara je postojanje rezervoarskih stijena s dovoljnom debljinom, litološkom postojanošću i kontinuiranošću. Takoder važno je da se rezervoar na što širem prostoru odlikuje dovoljnim vrijednostima primarne ili sekundarne šupljikavosti i propusnosti te da nema zona s izraženom cementacijom.
- d. **Očuvanje-kvaliteta ugljikovodika-pridobivanje.** Zadnja tri parametra povezana su sa svojstvima ugljikovodika. Važno je da su oni unutar ležišta ostali očuvani, odnosno da nisu zahvaćeni procesima ispiranja, biodegradacije ili postupnog raspršivanja (posebno plin). Zatim je važno da su zalihe ugljikovodika što kvalitetnije i veće koncentracije, odnosno da nafta nije previše viskozna, kao i njeno zasićenje u ležištu te stupac ugljikovodika premali. Na kraju, treći parametar pridobivanje prepostavlja povoljne uvjete crpljenja, tlak i temperaturu.

U četiri spomenute točke navedeni su svi geološki parametri potrebni za procjenu vjerojatnosti otkrića novih ležišta. Oni su poredani tablično gdje je svakoj kategoriji dodjeljena odgovarajuća vjerojatnost ovisno od toga koliko je i na koji način zadovoljeno uvjeta u pripadajućim podkategorijama. Vrijednosti vjerojatnosti (ili rizika, ovisno kako se promatra) mogu biti između 0,0 i 1,0. Ako su svi uvjeti u potpunosti zadovoljeni odgovarajućem polju dodijeljena je vrijednost 1,0. Ako barem jedan od njih nije uopće ispunjen upisala bi se vrijednost 0,0, ali tada bi cijeli daljnji račun bio besmislen. Takve su jedinice odbačene iz analize već prilikom geološke studije na temelju čijih rezultata se izdvajaju mesta potencijalnih ležišta. U praksi su vrijednosti uvijek između spomenute dvije krajnosti.

Opisani proračun načinjen je na svakoj odabranoj **jedinici** posebno. U ovome radu te su jedinice odabrane prema litostratigrafskom kriteriju i predstavljene kao: (1) vršni dio stijena u podlozi tercijara/stariji dio člana Mosti, (2) pješčenjaci Poljana, (3) pješčenjaci Pepelana. Takoder te jedinice se prostiru na razini cijele uleknine i nisu bile analizirane na cijelom prostoru na kojem se pružaju već samo u izdvojenim perspektivnim, a slabije izraženim dijelovima uleknine. Takvi dijelovi jedinice nazvani su **zonama** i na nivou svake zone načinjen je poseban proračun, a zatim su te vrijednosti objedinjene u zajedničku vrijednost svih zona na nivou promatrane jedinice.

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

Spominjući vjerojatnosti jedinica i zona podrazumijeva se vjerojatnost da u tim područjima budu otkrivena nova ekonomski isplativa ležišta ugljikovodika.

*Vjerojatnost pojedine zone (z)* dobiva se umnoškom ranije nabrojane četiri kategorije (*a, b, c, d*) prema **formuli 9.5**:

$$z = a \times b \times c \times d \quad (9.5)$$

*Zbirna vjerojatnost jedinice (m)*, odnosno svih zona unutar nje dobiva se uvrštavanjem vrijednosti u **formulu 9.6**:

$$j = gv \times \{1,0 - [(1,0 - z_1) \times (1,0 - z_2) \times \dots \times (1,0 - z_n)]\} \quad (9.6)$$

gdje su:

*j* - zbirna vjerojatnost jedinice s obzirom na sve zone unutar nje

*gv* - generalna vjerojatnost jedinice bez obzira na pojedine zone

*z<sub>1</sub>* - vjerojatnost zone 1

*z<sub>2</sub>* - vjerojatnost zone 2

*z<sub>n</sub>* - vjerojatnost zone *n*

## **9.3. POTENCIJALNA LEŽIŠTA U STIJENAMA PODINE NEOGENA I ČLANU MOSTI TE POLOŽAJ MATIČNIH STIJENA**

Analizirani su naftnogeološki uvjeti s obzirom na postojanje ležišta ugljikovodika, ali i područja s dovoljnom zrelošću potencijalnih matičnih stijena. Izdvojene su litostratigrafske jedinice sastavljene od vršnog dijela stijena u podlozi tercijara te najstarijeg dijela člana Mosti istaloženog diskordantno preko njih, a zatim klastita pješčenjaka Poljana i Pepelana.

### **9.3.1. MJESTA S POTENCIJALNIM MATIČNIM STIJENAMA**

Najperspektivnija mjesta uleknine obzirom na matični potencijal analizirana su i izdvojena u poglavljju o geokemijskim odnosima. Sada su ponovno spomenuta neka od tih i još dodatno, a prema dubinama na karti paleoreljeфа i strukturnoj karti po EK-markeru Rs7 (**prilozi 1 i 2**), mjesta gdje su dubina i oblik strukture predstavljeni mogući indikator zrelosti.

Prvo je izdvojeno područje **Velike Ciglene** kao najdublje i geokemijski najbolje analizirano područje uleknine. Minimum strukture je okružen izobatom 3700 m. Struktura predstavlja rasjednuto sinklinalu, a bušotine su smještene na jugozapadnom krilu. Izračunata termijska zrelost ( $\Sigma TTI=15$ ) ukazala je na katagenetsku fazu, odnosno "naftni prozor". Vrijednosti vitrinitne refleksije  $R_o=1$  i više od 1 indiciraju na izlazak iz područja spomenutog "prozora".

Aproksimativno je određen mogući volumen matičnih stijena kod Velike Ciglene uz pomoć načinjenih karata i bušotinskih podataka. Prema karti debljina Tg-Rs7 (**prilog 11**) debljina člana Križevci i gornjeg dijela člana Mosti (kao pelitnih sedimenata) je prosječno oko 150 m. Bušotine VC-1, VC-1alfa, VC-2 i Ptk-1 smještene su na jugozapadnom krilu rasjednute šandrovačko-cigleničke sinklinale, strukture površine oko 6x6 km i pružanja smjerom sjeveroistok-jugozapad na strukturnoj karti po EK-markeru Rs7. Ako se volumen spomenutog intervala aproksimira s valjkom njegov se volumen može izračunati prema **formuli 9.7**:

$$Vv = r^2 \times \pi \times h \quad (9.7)$$

gdje su:

$Vv$  - volumen valjka

$r^2$  - radius valjka

$h$  - visina valjka

Uvrštavanjem vrijednosti u **formulu 9.7** dobiva se okvirni volumen od **4,24 km<sup>2</sup>** u kojem bi potencijalne matične stijene bile na dovoljnom termijskom stupnju zrelosti. U takvom proračunu je pretpostavljeno da su slojevi položeni horizontalno, a također iznos pogreške nije značajan do nagiba slojeva od 20°. Uostalom ako se spomenuta pogreška uzme u obzir radijus opisanog valjka će se još povećati, a time i volumen, jer se pretvorba nagiba na horizontalnu ravninu radi *kosinusnom funkcijom* tako da se ta funkcija uvrsti u razlomak 1/cos x. Vrijednost x predstavlja nagib slojeva, a vrijednosti kosinusne funkcije do nagiba od 30° prikazane su u **tablici 9.1**:

nagib slojeva (°)	kosinus	1/kosinus	(1/kosinus) <sup>2</sup>
0	1,000	1,000	1,000
5	0,996	1,004	1,008
10	0,985	1,015	1,030
15	0,966	1,035	1,071
20	0,940	1,132	1,132
25	0,906	1,104	1,219
30	0,866	1,150	1,323

**Tablica 9.1:** Proračun korekcije kod računa volumena obzirom na kut nagiba slojeva

Vrijednosti nagiba slojeva kod Velike Ciglene iznose prema načinjenim kartama od 5° do 16° što znači da bi se gornji volumen mogao još uvećati za 1-7 %.

Sljedeća ocrtana sinklinala na karti paleoreljefa ocrtana je kod **Rovišća**, ali s minimumom okruženim izobatom 2500 m na karti paleoreljefa, odnosno izobatom 1600 m na strukturnoj karti po EK-markeru Rs7 (**prilozi 1 i 2**). Ova bušotina bila je najbolji primjer za provjeru točnosti dviju metoda proračuna vrijednosti R<sub>o</sub> opisanih uz **sliku 8.4**, odnosno **sliku 8.8**. Ako se takav proračun načini za obje metode dobiju se identični rezultati vitrinitne refleksije R<sub>o</sub>=0,45 %, tj. sedimenti još nisu ušli u fazu generiranja glavne količine ugljikovodika. Ista interpretacija dobivena je proračunom termijske zrelosti (ΣTTI) koja je dosegla vrijednost malo preko 1. Time je dokazana upotrebljivost nomograma i dijagrama sa slika **8.2 i 8.8** za proračun zrelosti sedimenata bjelovarske uleknine.

Struktura **Vis**, koja je uz Veliku Ciglenu imala najveću vrijednost termijske zrelosti (ΣTTI=3,49), prema karti paleoreljefa smještena je na strukturnoj terasi na dubini nešto većoj od 2400 m. Kako bliske i pliće smještene bušotine na Sedlarici i Cremušini nisu dale gotovo nikakve pozitivne rezultate na ispitivanje ugljikovodika, osim tek nekoliko pojave plina, jasno je da ti sedimenti nisu generirali gotovo nikakve količine ugljikovodika, a najvjerojatnije zbog malog i nekvalitetnog sadržaja organske tvari.

Preostala su dva mjesta koja nisu analizana niti geokemijski niti proračunom indeksa termijske zrelosti jer nema bušotinskih podataka. Oba mjesta strukturno su sinklinale u čijoj se blizini na nekoliko kilometara udaljenosti nalaze strukturne zamke.

Prvo takvo mjesto je **jugozapadno od naselja Nova Rača**. Minimum sinklinale okružen je izobatom 3100 m, rasjednut reverznim rasjedom i približnih dimenzija 5x3 km (SZ-JI/SI-JZ). Zbog relativno velike dubine paleoreljeфа, a uz pretpostavljeni geotermijski gradijent sa **slike 8.7** od 5 °C te uz upotrebu nomograma na **slici 8.4** određen je približni iznos vitrinitne refleksije  $R_o=1$  čemu bi prema **tablici 8.6** odgovarao kraj glavne faze “naftnog prozora”. No, također kada se promotri ocrt te strukture na **prilogu 2**, odnosno na karti po EK-markeru Rs7, njen izgled prelazi u struktturnu terasu, a i dubina se prema jugozapadu značajno smanjuje pa tek uz rasjed na njezinom sjeveroistočnom rubu dostiže 2400-2500 m dubine. Ako se sada promatra zrelost sedimenata taloženih u neposrednoj krovini EK-markera Rs7 ona bi prema izračunatoj vitrinitnoj refleksiji iznosila  $R_o=0,7$  % što prema **tablici 8.6** ukazuje na maksimum generiranja nafte.

Dруго struktorno perspektivno mjesto je **smješteno uz Papuk** na profilu DAR-10V-92 kod T.P. 900-1040. Na karti paleoreljeфа (**prilog 1**) dno rasjednute sinklinale okruženo je izobatom 2400 m, a gotovo isti ocrt struktura ima na strukturnoj karti po EK-markeru Rs7 (**prilog 2**). Prema tim podacima procijenjena zrelost prema **slikama 8.4 i 8.8** uz EK-marker Rs7 iznosi  $R_o=0,55$  % što bi prema **tablici 8.6** značilo da su ti sedimenti na ulasku u područje “naftnog prozora”.

### **9.3.2. ZAMKE UZ GRANICU TG/PT**

Sve izdvojene *jedinice* imenovane su prema lithostratigrafskim članovima koje obuhvaćaju, a *zone* prema strukturama kartiranim u tim članovima. Parametri važni za formiranje povoljnih uvjeta obzirom na generiranje ugljikovodika, migraciju i nakupljanje u ležištu analizirani su na temelju oblika *karte paleoreljeфа*, podataka iz *dossiera bušotina* te podataka *dobivenih analizama* u prethodnim poglavljima.

Promatrajući kartu paleoreljeфа (**prilog 1**) ističe se nekoliko jasnih paleouzvišenja (*burried hills*) na kojima se mogu očekivati ležišta ugljikovodika, naravno ako su zadovoljeni i svi ostali uvjeti. Na zapadu je to **antiklinala Križevci** čiji maksimum je okružen izobatom 700 m. Zatim je to na sjeveru struktura **Mosti** s izobatom 1100 m.

U središnjem dijelu uleknine je struktura **Letičani** s najplićom izobatom 2000 m te oko 7 km jugoistočnije struktura **Pavljani** s najplićom izobatom 1200 m.

Na istoku su također prikazane dvije jasne “pozitivne” strukture kao moguća ležišta ugljikovodika. Na sjeveroistoku uleknine je struktura **Grubišno polje** s izobatom 900 m. Druga takva struktura je **Dežanovec** na jugoistoku uleknine u području između obronaka Papuka i Psunja uz najpliću izobatu 1000 m.

Važno je istaknuti kako osim nabrojanih struktura više ne postoji niti jedna toliko jasna i volumenom značajna struktura “zatvorena” u sva četiri smjera na nivou granice Tg/Pt. Sve te strukture ispitane su barem jednom buštinom i najmanje jednim seizmičkim profilom. Znači na temelju kartiranja paleoreljeфа ne može se izdvojiti niti jedno novo, do sada potpuno bušotinski neispitano, struktorno perspektivno mjesto u cijeloj uleknini gdje bi se s malim rizikom mogla smjestiti nova bušotina.

Od nabrojanih struktura na nekoliko njih su otkriveni ugljikovodici. U središnjem dijelu uleknine to su dva naftna polja **Letičani** i **Galovac-Pavljani**, dok je na sjeveroistoku plin otkriven na **Grubišnom polju** i ponešto na **Gakovu**. To svakako ukazuje na činjenicu da je glavni migracijski put u ležišta te starosti i litologije dolazio sa sjeveroistoka, preko Bilogore iz dubljeg dijela dravske potonine. Tako je upravo taj prostor glavni izvor ugljikovodika za spomenuta ležišta bjelovarske uleknine čime se ostali prostori stavljuju u podređeni položaj obzirom na mogućnosti “punjenja” zamki. Unutar uleknine u prostoru Letičana, Galovac-Pavljana i Grubišnog polja samo jedno mjesto

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

predstavlja mogući izvor ugljikovodika koji su nastali na tom području. To je ranije spomenuti prostor **Velike Ciglene** koji iskazuje dovoljnu termijsku zrelost sedimenata. Nepovoljan je relativno nizak prosječni sadržaj organske tvari koji najčešće ipak prelazi sadržaj od 0,5 % C<sub>org</sub> kao prosječne donje granice za klastične sedimente da bi ih zvali eventualno matičnima. Ono što je nepovoljnije je činjenica da je analizirani kerogen gotovo uvijek predstavljao tip III, znači s dominantnom terestičkom komponentom i time dosta smanjenjem generirajućim potencijalom sedimenata. Ipak određene količine ugljikovodika sigurno su generirane u tom prostoru, vjerojatno nafte i plina što je zaključeno iz položaja najbližeg naftnog polja Galovac-Pavljani. Time se položaj izvora plina otkrivenog na Grubišnom polju i nafte na Letičanima mora pretpostaviti sigurno izvan granica bjelovarske uleknine. Također vrlo vjerojatan dokaz da migracija ugljikovodika nije išla sa sjeverozapada, iz prostora gdje graniče dravska i murska potonina, je činjenica da tamo nema ležišta u stijenama te starosti, a niti na zapadnjoj analiziranoj strukturi uleknine **antiklinali Križevci** nisu otkriveni niti tragovi ugljikovodika.

Ipak, zanimljivom preostaje još jedna struktura na jugoistoku uleknine – **Dežanovec**. Iako je na njoj načinjena bušotina ona prema načinjenoj karti paleoreljefa (**prilog 1**) nije na tjemenu strukture. Dubina na kojoj su nabušeni mezozojski sedimenti je 1106 m, a tjeme strukture je kartirano na 964 m dubine. Time postoji mogućnost da se manje ležište nalazi upravo u dijelu temeljnog gorja plicem od mjesta gdje je ono nabušeno. Sjeveroistočno krilo antiklinale Dežanovec također je presjećeno *glavnim reverznim rasjedom uleknine*, a prema odnosima na postojećim poljima bjelovarske uleknine uglavnom su sve rasjedne zone koje su presijekle ležišta propusne za fluide, odnosno pliće od rasjedne zone nema ležišta. Kako je krovinsko krilo toga rasjeda presjeklo sedimente mezozoika na dubini od 1015 m eventualni dodir voda-ugljikovodici bio bi pliće od te dubine. Ako se on pretpostavi na dubini 1010 m može se načiniti približni proračun maksimalnog volumena stijena koje bi mogle sadržavati ugljikovodike. Radi se o vrlo pravilnoj antiklinali (odnosno strukturi tipa *burried hill*) pa se za proračun može uspješno primijeniti *Simpsonova formula* koja ležište aproksimira krnjim stošcem i izračunava njegov volumen. Upotrijebljena je **formula 9.8** za paran broj članova, odnosno planimetrirani broj površina koje zatvaraju pojedine izopahе (ekvidistancija je 10 m):

$$Vs = \frac{e}{3} \times (a_0 + 4a_1 + 2a_2 + 4a_3 + a_4) \quad (9.8)$$

gdje su:

*Vs* - volumen prema Simpsonovoj formuli za paran broj članova

*e* - ekvidistancija

*a<sub>0</sub> – a<sub>4</sub>* - površine 0., 1., 2., 3. i 4. izopahе

Za proračun volumena vrha, odnosno “kape” pretpostavljenog ležišta upotrijebljene su **formule 9.9 i 9.10**:

$$V_1 = \frac{h_n \times a_n}{3} \quad \text{piramidalna formula} \quad (9.9)$$

$$V_2 = \frac{h_n^3 \times \pi}{6} + \frac{h_n \times a_n}{2} \quad \text{sferna formula} \quad (9.10)$$

Volumen “kape” dobiva se kao srednja vrijednost rezultata **formula 9.9 i 9.10**, a ukupni računati volumen je zbroj volumena “kape” i vrijednosti *Vs*.

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

Nakon uvrštavanja svih vrijednosti planimetriranih na strukturi Dežanovec dobiven je *ukupni maksimalni volumen* stijenske mase od  $1.356.723 \text{ m}^3$ . Ako se tu uvrsti izračunata vrijednost *korigirane šupljikavosti* u bušotini Dež-1 u mezozojskim sedimentima od 1,77 % (**tablica 6.2**) vrijednost maksimalnog prostora koji može biti ispunjen fluidima iznosi **24.014 m<sup>3</sup>**. Tome volumenu bi se u povoljnim strukturno-tektonskim uvjetima mogao pridodati i volumen dijela stijena sedimenata člana Mosti. No prema obliku na strukturnoj karti po EK-markeru Rs7 (**prilog 2**) antiklinala Dežanovec prelazi u jednu vrstu strukturne terase "zatvorenu" na jednom dijelu (sjeveroistočnom) reverznim rasjedom tako da se unutar toga člana ne može očekivati gotovo nikakvo ležište, već su samo mlađi sedimenti toga člana mogli poslužili kao dobre izolatorske stijene. Eventualno samo najstariji dio sedimenata člana Mosti može predstavljati zajedničku hidrodinamičku cjelinu za sedimente mezozoika i tako povećati volumen mogućeg ležišta. Sam volumen sedimenata bio bi puno manji od prethodno izračunatog, ali su petrofizikalni i geostatistički parametri člana Mosti puno bolji. Njihove vrijednosti u bušotini Dež-1 prema **tablici 6.3** iznose za *korigiranu šupljikavost* 9,33 %, a za *korigirani doseg* 0,39 m. Zato se eventualni dodatni volumen dijela ležišta u članu Mosti može pretpostaviti istoga reda veličine onome izračunatom u sedimentima mezozoika.

Kada bi bio ostvaren idealan slučaj i cijeli izračunati volumen bio ispunjen ugljikovodicima radilo bi se jednom manjem ležištu obzirom na predviđene volumene novootkrivenih ležišta u dijelovima savske potonine i bjelovarske uleknine (HERNITZ et al., 1999). Prema predviđanjima iznesenim u istome rasu udjel bilančnih u ukupno otkrivenim zalihamama bio bi manji za 3,5-10 puta.

Vidljivo je da bi eventualno otkriveno ležište na Dežanovcu prema svojoj veličini bilo na donjoj granici isplativosti. To svakako ovisi i o tome može li se u taj volumen pribrojiti i dio sedimenata člana Mosti, odnosno predstavljaju li rasjedne zone zaista propusne sredine. Možda je najveći problem u ovome dijelu bjelovarske uleknine taj da je vrlo teško pretpostaviti postojanje bilo kakvog migracijskog puta ugljikovodika u njezin jugoistočni dio u područje Dežanovca. Granica prema savskoj potonini je u tom smislu "nepropusna" što je dokazano, među ostalim, i dvjema još jugozapadnijim bušotinama Uljanik-1 i Ciglenica-1. Obje su smještene na samoj granici bjelovarske uleknine i savske potonine, a načinjena ispitivanja nisu ukazala na nikakve indikacije ugljikovodika. Ako se promatra suprotna strana strukture Dežanovec, prema sjeveroistoku, uočljivo je da je ta struktura relativno vrlo udaljena od najbližeg ležišta na Grubišnom polju – preko 10 km. Već i samo Grubišno polje predstavlja tek malo plinsko polje koje je prihranjeno iz još udaljenijih dijelova dravske potonine tako da je veliko pitanje jesu li ugljikovodici mogli prijeći još taj dodatni put do Dežanovca. Posebno i stoga što su pretpostavljeni migracijski putovi unutar bjelovarske uleknine, a i većeg dijela dravske potonine, uglavnom 10-15 km (MALVIĆ, 1998). Možda bi eventualno generiranje ugljikovodika uz Papuk, kako je to spomenuto u prethodnom potpoglavlju, moglo predstavljati izvor određenih količina plina i nafte.

### **9.3.3. PROCJENA VJEROJATNOSTI POSTOJANJA LEŽIŠTA**

Prva procjena vjerojatnosti načinjena na temelju metode čije je temelje postavio WHITE (1993), a u našim prostorima primijenili HERNITZ et al. (1999) načinjena je za sedimente člana Mosti na području strukture Dežanovec. U tom slučaju član Mosti je predstavljao *jedinicu*, a struktura Dežanovec *zonu*.

Na temelju prikupljenih podataka, načinjenih analiza i odabrane metode za procjenu vrijednosti na mjestima bez bušotinskih podataka određene su vrijednosti za svaki navedeni parametar unutar kategorija izdvojenih u **tablici 9.2**.

**Kategorija A (postojanje matičnih stijena – zrelosti – migracije).** Parametri 1 i 2. Približno prostiranje područja u kojem se mogu očekivati geokemijski zreli sedimenti unutar člana Mosti i

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

Križevci prikazano je na **slici 8.5**. Oni se pružaju na približno  $535 \text{ km}^2$  površine, od ukupno 2900  $\text{km}^2$  koje zauzima bjelovarska uleknina. To iznosi oko 18,5 % površine. No, uz primarnu treba uzeti u obzir i sekundarnu migraciju (**parametar 3**), odnosno prepostavljeni maksimalni iznos migracijskih putova koji su u ovom prostoru prepostavljeni do maksimalno 15 km (MALVIĆ, 1998). U tom slučaju površina na kojoj su ostvareni uvjeti sva tri parametra (količina i kvaliteta organskoga materijala, zrelost, migracija) se povećava na  $1642 \text{ km}^2$ , odnosno prekriva oko 57 % površine uleknine. Time bi **kategorija A** jedinice *Mosti* imala vjerojatnost od **0,57**.

Promatrajući samostalno strukturu Dežanovec, tj. *zonu Dežanovec*, uočava se da je smještena na samome rubu granice “zrelog” područja *jedinice Mosti*. Time postaje upitno može li se vjerojatnost jedinice u potpunosti prenijeti na zonu, tim više što je glavni migracijski put za to područje prema **slici 8.13** prepostavljen kao mali i upitni ogrank migracije iz sjeveroistočnog dijela dravske potonine. Konstruiran je **polygon Dežanovec** čija je površina izračunata na  $78,3 \text{ km}^2$ . Ako se kao indikator moguće migracije usporedi broj mjesta na kojima su otkriveni ugljikovodici u odnosu na broj mjesta s bušotinskim podacima u vrhovima poligona ta vrijednosti iznosi **0,33**.

**Kategorija B (postojanje zamki – izolatorskih stijena – vremena).** Vjerojatnost da na istraživanom području postoje zamke i izolatorske stijene (**parametri 1 i 2**) potvrđena je kartom paleoreljefa i strukturnom kartom po plohi EK-markera Rs7 (**prilozi 1 i 2**) i podacima iz *dossiera* bušotina. **Parametar 3**, tj. vrijeme potrebno za migraciju dokazano je postojanjem naftnih polja u većem dijelu prostora bjelovarske uleknine. Zato je **kategoriji B** na nivou *jedinice Mosti* dodijeljena vjerojatnost **1,0**.

Promatrajući *zonu Dežanovec* prva dva parametra također su u potpunosti zadovoljila postavljene uvjete. Vrijeme potrebno za migraciju, ako je migracijski put zahvatio i promatranu zonu, ostvareno je kao i u ostalim dijelovima uleknine pa je cijeloj *zoni Dežanovec* za sva tri parametra također dodijeljena vjerojatnost **1,0**.

**Kategorija C (postojanje rezervoara – šupljikavosti – propusnosti).** Debljina člana Mosti na cijeloj površini uleknine svugdje iznosi barem nekoliko desetaka, a često i po nekoliko stotina metara (**prilog 11**). Šupljikavost je detaljno analizirana semivariogramskim računom te proračunima korigiranih srednjih vrijednosti i dosega. Promatrajući rezultate analiza kako stijena u podini člana Mosti, tako i sedimenata člana Mosti vidljivo je da oni najvećim dijelom ukazuju na zadovoljavajuća, a mjestimično i vrlo dobra svojstva. Šupljikavost vršnog dijela paleozojskih stijena je niska i ispod 1 %, ali konstantnih vrijednosti koje su stoga pokazivale i vrlo dobru prostornu autokorelaciju (npr. 0,76 m u buš. Pav-4; **tablica 6.1**). No rezultati analize mezozojskih sedimenata su pokazali da te stijene ne predstavljaju potencijalne rezervoare zbog vrlo malih te vrlo promjenjivih vrijednosti (**tablica 6.2**). Parametri analizirani unutar člana Mosti pokazuju značajno više vrijednosti kako šupljikavosti (4,5-9,3 %) tako i dosega (0,39-1,65) od parametara starijih stijena. One su popraćene odgovarajućom propusnošću od obično nekoliko  $10^{-3} \mu\text{m}^2$  (miliDarcyja) pa iznimno do čak  $1149 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  na Letičanima. Svakako se radi o dobrim rezervoarskim stijenama unutar kojih šupljikavost i doseg imaju značajan autokorelacijski (**slika 6.34**). Zato je vjerojatnost **kategorije C** za *jedinicu Mosti* postavljena na **1,0**.

Prema spomenutim analizama slični uvjeti očekivani su za *zonu Dežanovec*. Ipak na tome mjestu izračunate su niže vrijednosti šupljikavosti unutar sedimenata mezozoika bez njihove prostorne autokorelacije (**tablica 6.2**). Kako je stariji dio jedinice vrlo promjenjivih i upitnih rezervoarskih svojstava, odnosno u jednome od dva litološka kompleksa ne treba uopće očekivati rezervoare, vjerojatnost te kategorije procijenjena je na **0,5**.

**Kategorija D (jesu li ugljikovodici sačuvani – njihova kvaliteta – mogućnosti pridobivanja).** Prema analizi proizvodnje na poljima unutar bjelovarske uleknine nisu prepostavljeni veći

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

problemi kod očuvanja, kvalitete i pridobivanja ugljikovodika iz *jedinice Mosti*. Na niti jednom ležištu u tim sedimentima nije došlo do ispiranja ili degradacije (**parametar 1**), kvaliteta nafte bila je skladu s prosjekom (spec. tež. 0,9-0,95 g/cm<sup>3</sup>; **parametar 2**), a nije bilo problema niti s previsokim proizvodnim tlakovima i temperaturama (**parametar 3**). Na nivou *jedinice Mosti* unesena je vrijednost **1,0**.

Niti u području *zone Dežanovec* nisu pretpostavljeni drugačiji uvjeti ako bi se ostvarila eventualna proizvodnja pa je i tu dodijeljena vrijednost **1,0**.

kategorije i parametri	vjerojatnosti	
	jedinica Mosti	zona Dežanovec
<b>(A) postojanje matičnih stijena – zrelosti – migracije</b> 1. količina i kvaliteta organskog materijala ( <i>prostiranje i debljina tih stijena, ukupni C<sub>org</sub>, tip kerogena</i> ) 2. zrelost ( <i>postignuta termijska zrelost kroz dovoljno vremena, ali ne predaleko u prošlosti</i> ) 3. migracija ( <i>da li je ostvarena primarna i sekundarna</i> )	a=0,57	e=0,33
<b>(B) postojanje zamki – izolatorskih stijena – vremena</b> 1. zamka ( <i>postoji li, kakvog je tipa i volumena</i> ) 2. izolatorske stijene ( <i>postoje li, gdje, da li su djelomično propusne za plin, jesu li rasjednute</i> ) 3. vrijeme ( <i>je li postojalo dovoljno vremena za migraciju</i> )	b=1,0	f=1,0
<b>(C) postojanje rezervoara – šupljikavosti – propusnosti</b> 1. debljina ( <i>posjeduju li rezervoarske stijene dovoljnu debljinu, dolazi li do promjene facijesa, iskljinjavanja, rasjedanja</i> ) 2. šupljikavost ( <i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i> ) 3. propusnost ( <i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i> )	c=1,0	g=0,5
<b>(D) jesu li ugljikovodici sačuvani – njihova kvaliteta – mogućnosti pridobivanja</b> 1. sačuvanje ( <i>da nije bilo ispiranja, biodegradacije ili raspršenja</i> ) 2. kvaliteta ( <i>da nafta nije previskozna, zasićenje ugljikovodicima premalo, odnosno stupac ugljikovodika prenizak</i> ) 3. pridobivanja ( <i>lakše crpljenje, uz povoljne tlakove i temperature</i> )	d=1,0	h=1,0
<b>VJEROJATNOST JEDINICE MOSTI</b> ( <i>i=a x b x c x d</i> )	i=0,57	
<b>VJEROJATNOST ZONE DEŽANOVEC</b> ( <i>j=e x f x g x h</i> )		j=0,165
<b>UKUPNA VJEROJATNOST</b> ( <i>k=i x(1-(1-j))</i> )		k=0,09

**Tablica 9.2:** Vjerovatnosti kategorija i parametara jedinice Mosti

Iz **tablice 9.2** te **formule 9.6** izračunata je generalna vjerojatnost *jedinice Mosti* od 0,57. No vjerojatnost *zone Dežanovec* znatno je niža i iznosi svega 0,165. Kada se obje nesigurnosti objedine na analiziranom prostoru ukupna vjerojatnost pada na samo **0,09**. Područje Dežanovca je tako slabo perspektivno prvenstveno obzirom na vrlo malu vjerojatnost postojanja migracijskog puta u taj dio uleknine, što naravno ne mora biti pravilo i u ostalim dijelovima toga prostora.

#### **9.4. POTENCIJALNA LEŽIŠTA FORMACIJE KLOŠTAR-IVANIĆ**

Sedimenti formacije Kloštar-Ivanić prostiru se između EK-markera Z' i Δ. Unutar te formacije izdvojena su dva litostratigrafska člana (*ŠIMON, 1968*) koji generalno predstavljaju pješčenjačke jedinice. Kako je ranije objašnjeno ta dva člana uzeta su kao druge dvije *jedinice* u naftnogeološkom modelu bjelovarske uleknine za koje će se također načiniti strukturno-geokemijska analiza te proračun vjerojatnosti postojanja novih ležišta ugljikovodika.

Za strukturno-tektonsku analizu tih jedinica prvenstveno su poslužile strukturne karte po EK-markeru Z' (**prilog 4**) i Δ (**prilog 5**) te karta debljina intervala Z'-Δ (**prilog 8**)

Unutar **pješčenjaka Poljana** ekonomski isplativa ležišta ugljikovodika otkrivena su na poljima **Jagnjedovac** i **Šandrovac**. U ostalim analiziranim dijelovima uleknine dobivena je pretežno slojna voda, a tek ponegdje još i pojave manjih količina ugljikovodika.

U **pješčenjacima Pepelana** ležišta nafte i plina otkrivena su jedino na polju **Šandrovac**.

##### **9.4.1. JEDINICA POLJANA**

Prema rasporedu postojećih ležišta očito je da su ona smještena samo u području *bilogorske zone*. Zato je i to područje ostalo najperspektivnije obzirom na eventualno nova ležišta. U struktturnom pogledu povoljni oblici za stvaranje zamki procijenjeni su, ovisno koja se litostratigrafska jedinica promatra, o oblicima na struktturnim kartama u krovini i podini (jer strukturne karte pojedinih članova nisu načinjene). Na vrstu oblika starijih **poljanskih pješčenjaka** utjecali su oblici kartirani na strukturnoj karti po EK-markeru Z' (**prilog 4**). Ležišta unutar te jedinice stratigrafski se mogu pretpostaviti, kako je to već spomenuto, u bilogorskoj zoni kao i uz istočnu, diskordantnu granicu. Područje uz Moslavacku goru već je ranije isključeno iz takvog razmatranja zbog slabih litoloških svojstava (u rezervoarskom pogledu) članova formacije Kloštar-Ivanić. To je prikazano na **slici 5.11** na litostratigrafskim i litološkim profilima. U bušotini VT-1 probušene naslage fm. Kloštar-Ivanić gotovo su u cijelosti predstavljene laporom kao i 4,5 km jugozapadnije u bušotini Cg-1. Izmjena laporanja i pješčenjaka unutar članova Poljana i Pepelana zabilježena je na krajnjem sjeveroistoku, kod Gakova. Samo na Cremušini, blizu Gakova, sedimenti ovih dvaju članova zaista predstavljaju pješčenjačke članove s tek mjestimičnim povećanjem laporovite komponente.

Na cijeloj strukturnoj karti po plohi EK-markera Z' (**prilog 4**) najjasnije je ocrtna rasjednuta antiklinala Pavljani s najplićom izobatom 1100 m. Tamo najveći dio sedimenata fm. Kloštar-Ivanić diskordantno nedostaje. Na preostalom dijelu karte malo je izraženih antiklinala, a niti jedna nije značajnog volumena. Stratigrafska analiza u cilju definiranja stratigrafskih zamki uz diskordantnu granicu bila je moguća samo tamo gdje je postojao dovoljan broj bliskih bušotinskih podataka. Bilo je to na sjeveroistočnom rubu uleknine u već spomenutim područjima Cremušine i Gakova gdje zbog plićeg strukturnog položaja Gakova kao i povećanja udjela nepropusnih naslaga prema istome mjestu postoji mogućnost postojanja stratigrafske zamke. Također uvezvi u obzir geokemijske analize zrelosti i mogućih migracijskih putova ponovno se izdvajaju sjeverni, sjeveroistočni i središnji dijelovi uleknine kao mjesta na kojima je eventualno moglo doći do migracije i akumulacije ugljikovodika. Veliki dio otkrivenih ugljikovodika najvjerojatnije je došao u prostor

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

bjelovarske uleknine sa sjeveroistoka iz dubljeg dijela dravske potonine, a tada je dio migracijskih putova sigurno išao preko Cremušine.

Načinjeni su približni proračuni maksimalnih volumena stijena koje su mogli obuhvaćati unutar sebe i sedimente ove jedinice.

Na **prilogu 4** sjeveroistočno od *glavnoga reverznog rasjeda* vidljive su dvije male antiklinale s izobatama 1800 m. Sjevernija je nazvana *zonom A*, a istočnija, bliže diskordanciji, nazvana je *zonom B*. Ako se njihov volumen izračuna **formulama 9.9 i 9.10** uz očitane visine struktura s karte i profila dobivaju se volumeni  $6.333.595 \text{ m}^3$ , odnosno  $7.335.427 \text{ m}^3$ . Pomnoženi su s prosječnom šupljikavošću kako bi se dobio maksimalni volumen koji može biti ispunjen fluidima. Najbliže bušotine u kojima je načinjena detaljna analiza šupljikavosti bile su na polju Galovac-Pavljani i Velikoj Cigleni pa uz interpoliranu vrijednost s tih mjesta pretpostavljena šupljikavost iznosi 17,5 %. Tada je **volumen A  $1.108.379 \text{ m}^3$** , a **volumen B  $1.283.700 \text{ m}^3$** . Naravno samo dio tih volumena ispunjavaju sedimenti pješčenjaka Poljana, odnosno njihov porni prostor.

Područje **strukture Cremušina** većega je volumena od prethodno opisanih struktura, a eventualna zamka bila bi kombiniranog strukturno-stratigrafskog tipa. Ako se kao primjer uzme bušotina Cre-2 na **slici 6.21** prikazan je dio karotažnog dijagrama kroz te sedimente. Prema njemu i podacima iz *dossiera* bušotina ukupna debljina tih pješčenjaka je 71 m. No prema spomenutoj slici vidljivo je kako je najveći dio predstavljen laporovitim pješčenjakom, a u najdubljem dijelu uglavnom pjeskovitim laporom. Samo najplićih 17 m predstavlja litološki rezervoarski dio te jedinice. Uvrstivši te podatke u formule za proračun i pomnoživši dobiveni rezultat ukupni **volumen** prostora u kojem su smješteni i poljanski pješčenjaci iznosi  **$2.992.500 \text{ m}^3$** .

Dobivene vrijednosti svakako ne predstavljaju ukupne volumene potencijalnih ležišta koji se eventualno mogu otkriti na tim strukturama. Izračunate vrijednosti trebaju se promatrati kao pretpostavka **maksimalnog mogućeg prostora** koji bi u neposrednoj krovini tih struktura mogli zauzimati porni volumeni sedimenta izdvojenih kao *jedinica Poljana*. Veliki dio toga prostora uopće ne mora postojati, bilo zbog manje debljine jedinice Poljana od pretpostavljene, manjeg volumena koji otpada na dijelove sa zadovoljavajućom šupljikavošću i propusnošću ili uopće zbog toga što su sedimenti cijele formacije jednostavno zavodnjeni. Zato su prikazane vrijednosti samo **relativnog značenja**, odnosno služe za međusobnu usporedbu veličine perspektivnih prostora, a *ne za njihovu kvantifikaciju*.

Nakon spomenutih analiza moglo se pristupiti popunjavanju vrijednosti u **tablici 9.3** za procjenu vjerojatnosti pronalaska novih ležišta ugljikovodika u promatranim jedinicama.

**Kategorija A (postojanje matičnih stijena – zrelosti – migracije).** Procjena **parametara 1, 2 i 3** može se preuzeti iz proračuna vjerojatnosti prethodne jedinice, kao i dužina migracijskih putova. Sva otkrivena ležišta unutar te jedinice nalaze se na 57 % površine koja je kod opisa zrelosti, matičnih stijena i migracijskih putova izdvojena kao područje gdje su ostvareni uvjeti za nakupljanje ugljikovodika. Zato je prenesena ponovno jednaka vjerojatnost kao i u toj jedinici, odnosno vjerojatnost za *jedinicu Poljana* također je **0,57**.

Kod procjene pojedinih *zona* dodijeljene su uglavnom niže vrijednosti. U blizini sjeveroistočnog i istočnog dijela uleknine nema otkrivenih ležišta u sedimentima pješčenjaka Poljana. Strukture na istoku uleknine najvjerojatnije su udaljene od svih većih putova migracije i njima se može pridjeliti vjerojatnosti jednaka kao za *zonu Dežanovec*, tj. **0,33**. U području Cremušine, a prema prikazanom geokemijskom modelu u ovome radu, migracija je očekivana pa je dodijeljena vrijednost **1,0**.

**Kategorija B (postojanje zamki – izolatorskih stijena – vremena).** Vjerojatnost da na istraživanom području postoje zamke i izolatorske stijene (**parametri 1 i 2**) potvrđena je strukturnim kartama po plohami EK-markera  $Z'$  i  $\Delta$  (**prilozi 4 i 5**) te podacima iz *dossiera bušotina*. **Parametar 3**, tj. vrijeme potrebno za migraciju dokazano je postojanjem naftnih polja u većem dijelu prostora bjelovarske uleknine. Zato je **kategoriji B** na nivou *jedinice Poljana* dodijeljena vjerojatnost **1,0**.

Promatrajući izdvojene *zone A, B i Cremušina* unutar *jedinice Poljana* prva sva tri parametra su u potpunosti zadovoljila postavljene uvjete kao i unutar jedinice. Zato je za sva tri parametra također dodijeljena vjerojatnost **1,0**.

**Kategorija C (postojanje rezervoara – šupljikavosti – propusnosti).** Debljina *jedinice Poljana* na cijeloj površini uleknine svugdje iznosi barem nekoliko desetaka metara (**prilog 8, dossieri bušotina**). Šupljikavost je detaljno analizirana semivariogramskim računom te proračunima korigiranih srednjih vrijednosti i dosega. Promatrajući rezultate analiza pješčenjaka Poljana vidljivo je da oni najvećim dijelom ukazuju na vrlo dobra rezervoarska svojstva. Semivariogramska analiza načinjena je na podacima središnjeg i sjevernog dijela uleknine. Na svim poljima (Galovac-Pavljani, Šandrovac) kao i bušotini Rovišće-1 šupljikavost prelazi 15 % (**tablice 6.5 i 6.6**) i popraćena je odgovarajućom propusnošću. Jedino u sedimentima na polju Velika Ciglena te su vrijednosti niže i kreću se između 8,95 i 16,40 % (**tablice 6.5 i 6.6**), obzirom da se tamo litološki radi više o izmjeni pješčenjaka i laporanog, što je svakako i odraz dublje taložne sredine. Visoke vrijednosti šupljikavosti popraćene su i odgovarajuće visokim vrijednostima *autokorelacije*, odnosno *dosega* koja u *jedinici Poljana* dosežu 1,41 m (**tablica 6.5**). U skladu s tim vjerojatnost **kategorije C** za *jedinicu Poljana* postavljena je na **1,0**.

Zbog litološkog sastava, posebno u istočnom dijelu *jedinica (zone A i B)* kvaliteta zamki je upitna pa je vjerojatnost snižena na **0,8**. Kod Cremušine potvrđena je kvaliteta petrofizikalnih parametara pa je vjerojatnost postavljena na **1,0**.

**Kategorija D (jesu li ugljikovodici sačuvani – njihova kvaliteta – mogućnosti pridobivanja).** Prema analizi proizvodnje na poljima unutar bjelovarske uleknine nisu pretpostavljeni veći problemi kod očuvanja, kvalitete i pridobivanja ugljikovodika iz *jedinice Poljana*. Niti u jednom poznatom ležištu u tim sedimentima nije došlo do ispiranja ili degradacije (**parametar 1**), kvaliteta nafta bila je očekivana (**parametar 2**), a nije bilo problema niti s previsokim proizvodnim tlakovima i temperaturama (**parametar 3**). Na nivou *jedinice Poljana* unesena je vrijednost **1,0**.

Ipak u središnjem dijelu uleknine, na polju Galovac-Pavljani, u tim sedimentima otkrivene su pojave ugljikovodika, ali nafta je degradirana prudorima površinske vode. To je ukazalo na oprez kod procjene mogućih novih ležišta posebno na približno jednakim dubinama obzirom na očuvanje nafte unutar njih. Zato je vjerojatnost **kategorije D** snižena na **0,66**.

Ako se dobivene vrijednosti uvrste u **formulu 9.6** dobiva se ukupna vjerojatnost *jedinice Poljana* koja iznosi **0,45**. Po zonama najveća vjerojatnost određena je za *zonu Cremušina* od **0,66**. Vrijednosti svih kategorija jedinice i zona te izračunata vjerojatnost prikazani su u **tablici 9.3**.

#### 9.4.2. JEDINICA PEPELANA

Strukture *jedinice Pepelana* analizirane su najvećim dijelom na temelju oblika strukturne karte po EK-markeru  $\Delta$  (**prilog 5**). Prema oblicima na toj karti zapažena su dva mesta u *bilogorskoj zoni* koja bi mogla iskazati veću ili manju vjerojatnost u pogledu postojanja zamki za nakupljanje ugljikovodika.

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

Manje područje na sjeveroistoku je tjeme strukture Sedlarica. Veće se nalazi na istočnom rubu polja Šandrovac. To su dvije izdvojene zone unutar ove jedinice.

U zoni Sedlarica na rubu tjemena strukture postoji bušotina, a prema podacima iz *dossiera* bušotina u kolektorskim sedimentima pronađena je slojna vode s ponekom pojavom plina. Takvi rezultati svakako nisu povoljni u pogledu daljnog istraživanja na području te strukture. Proračunom volumena tjemena strukture i množenjem s prosječnom šupljikavošću od 20 % dobiven je iznos od približno **23.500 m<sup>3</sup>**.

Kod strukture Šandrovac uvjeti su bili bitno drugačiji. Radi se o najvećem polju uleknine na kojem je upravo u *jedinici Pepelana* smješten najveći broj ležišta, ujedno i najvažnijih. Redom su to (od najmlađeg prema najstarijem): C, D, E i F. Na temelju strukturne karte na **prilogu 5** izdvojena je struktura na istočnom rubu polja Šandrovac, presječena sa sjeverne i južne strane *bilogorskim* te *šandrovačko-cigleničkim* normalnim rasjedima. Značajno je većega volumena od prethodno spomenute strukture. U obzir je uzet opis rasjeda iznesen u strukturno-tektonskoj analizi, a posebno činjenica da se radi o propusnim zonama obzirom na fluide. Tako je ograničen volumen čiji se iznos želio proračunati (izobata 360 m), odnosno određen je prostor unutar kojega bi veći dio sedimenata pripadao pješčenjacima Pepelana, a obzirom na njihovu prosječnu debљinu utvrđenu na polju Šandrovac. Izračunati volumen puno je veći od onoga na Sedlarici i iznosi uzevši prosječnu korigiranu šupljikavost na polju Šandrovac od 21,86 % oko **68,9x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>**. Na temelju nekih ranijih istraživanja, a posebno onih načinjenih zadnjih godina upravo na tome polju postoje velike količine zaobiljene naftne (*by-passed oil*) koje bi se mogle pridobiti iz manjih ili satelitskih dijelova postojećih ležišta (STEINER et al., 2001). Također na tom polju je načinjena vrlo kvalitetna geostatistička analiza petrofizikalnih parametara koja je jednako tako ukazala na vrlo dobra prostorna ponašanja tih parametara iz kojih je očito kako se radi o homogenim klasitima u kojima su rezervoarska svojstva uglavnom vrlo dobra. Veće varijacije u malome prostoru posljedica su različitog stupnja cementacije pješčenjaka (OREŠKOVIC, 2001) i upravo o dobrom katiranju tih vrijednosti ovisi određivanje volumena mogućih ležišta.

**Kategorija A (postojanje matičnih stijena – zrelosti – migracije).** Procjena parametara **1, 2 i 3** oslanjala se na to da je u *jedinici Pepelana* analizirano samo područje *bilogorske zone*. Ono većim dijelom obuhvaća područje gdje je pretpostavljeno da su zadovoljena sva tri parametra i u prethodne dvije analizirane jedinice. Zato je preuzeta jednaka vrijednost **kategorije A** na nivou *jedinice Pepelana* od **0,57**.

Kod procjene pojedinih *zona* dodijeljene su također istovrsne vrijednosti, kako zbog postojanja polja Šandrovac na zapadu tako i područja Cremušine (neposredno do Sedlarice) na istoku za koje je ranije zaključeno kako je njime prolazio migracijski put. Kako obje zone ulaze u prethodno opisano “zrelo” područje uleknine i ništa ne dodatno ne umanjuje vrijednost tih parametara unutar njih vjerojatnost obiju zona je **1,0**.

**Kategorija B (postojanje zamki – izolatorskih stijena – vremena).** Vjerojatnost da na istraživanom području postoje zamke i izolatorske stijene (**parametri 1 i 2**) potvrđena je strukturnom kartom po plohi EK-markera  $\Delta$  (**prilog 5**) i podacima iz *dossiera* bušotina. **Parametar 3**, tj. vrijeme potrebno za migraciju dokazano je postojanjem naftnih polja u većem dijelu prostora bjelovarske uleknine. Zato je **kategoriji B** na nivou *jedinice Pepelana* dodijeljena vjerojatnost **1,0**.

Također jednaka vrijednost je dodijeljena *zonama Šandrovac i Sedlarica – 1,0*.

**Kategorija C (postojanje rezervoara – šupljikavosti – propusnosti).** Debljina *jedinice Pepelana* na cijeloj površini uleknine svugdje iznosi barem nekoliko desetaka metara (**prilog 8, dossier bušotina**). Šupljikavost je detaljno analizirana semivariogramskim računom te proračunima

## 9. Naftnogeološki model bjelovarske uleknine

korigiranih srednjih vrijednosti i dosega. Promatraljući rezultate analiza pješčenjaka Pepelana vidljivo je da one ukazuju na najbolja rezervoarska svojstva od svih analiziranih jedinica. Na polju Velika Ciglena koje je obilježeno najlošijim rezervoarskim obilježjima ovih sedimenata *korigirana šupljikavost* iznosi značajnih 14,66 %, *korigiranog dosega* 0,72 m. Već te vrijednosti ukazuju na vrlo dobre rezervoarske karakteristike. Na ostalim analiziranim mjestima središnjeg i sjevernog dijela uleknine (Galovac-Pavljani, Rovišće i Šandrovac) te vrijednosti još su veće. *Korigirana šupljikavost* iznosi 20,73 %, a *korigirani doseg* 0,97 m. Najveći iznos *dosega* unutar *jedinice Pepelana* je čak 1,73 m. To potvrđuje prethodno iznesenu tvrdnju kako se radi o najkvalitetnijim rezervoarskim jedinicama, naravno u onim dijelovima uleknine gdje su prema stratigrafskim parametrima izdvojeni dijelovi s uglavnom čistima pješčenjacima. U skladu s tim vrijednostima vjerovatnost **kategorije C** za *jedinicu Pepelana* u području *bilogorske zone* i središnjeg dijela uleknine postavljena je na **1,0**.

Kako litološki nije predviđena nikakva značajnija promjena litologije u odnosu na prethodno opisane parametre jedinice u području *zona Šandrovac i Sedlarica* vrijednost **kategorije C** ponovno je postavljena na **1,0**.

### **Kategorija D (jesu li ugljikovodici sačuvani – njihova kvaliteta – mogućnosti pridobivanja).**

Prema analizi proizvodnje na poljima unutar bjelovarske uleknine nisu prepostavljeni veći problemi kod očuvanja, kvalitete i pridobivanja ugljikovodika iz *jedinice Pepelana*. Niti u jednom poznatom ležištu u tim sedimentima nije došlo do ispiranja ili degradacije (**parametar 1**), sastav nafte bio je očekivan (**parametar 2**), a nije bilo problema niti s previsokim proizvodnim tlakovima i temperaturama (**parametar 3**). Ipak na jednom od 10 izdvojenih naftnih i plinskih polja, bez obzira na veličinu i starost ležišta, opažena je degradacija pojave nafte u jedinici ove starosti (Galovac-Pavljani). Zato je na nivou *jedinice Pepelana* prepostavljena vjerovatnost od 90 % da ugljikovodici budu očuvani, odnosno unesena vjerovatnost od **0,9**.

U *zoni Šandrovac* nije prepostavljeno nikakvo dodatno pogoršanje tih parametara, dapače tamo je ostvarena velika proizvodnja iz te jedinice pa je vjerovatnost **1,0**. Kod *zone Sedlarica* eventualna ležišta bila bi smještena vrlo plitko (**prilog 5**) pa bi najvjerojatnije kroz geološku prošlost bila podvrgnuta procesu ispiranja, odnosno degradacije. Tek je oko 10 % površine uleknine smješteno pliće od izdvojene zone, pa je vjerovatnost očuvanja ugljikovodika na tome mjestu procijenjena vrlo nisko na **0,1**.

Ako se dobivene vrijednosti uvrste u **formulu 9.6** dobiva se ukupna vjerovatnost pronalaska novih otkrića unutar *jedinice Pepelana* od **0,51**. Tako visoka vrijednost dobivena je prvenstveno zahvaljući visokoj vjerovatnosti otkrića novih zaobidenih zaliha nafte u manjim ležištima u *zoni Šandrovac* (vjerojatnost **1,0**), dok je *zona Sedlarica*, najvećim dijelom zbog male dubine na kojoj su ti sedimenti procijenjena u stvari neperspektivnom za daljnja istraživanja s vjerovatnošću otkrića od samo **0,1**. Vrijednosti svih kategorija jedinice i zona te izračunata ukupna vjerovatnost prikazani su u **tablici 9.4**.

kategorije i parametri	vjerojatnosti			
	jedinica Poljana	zona A	zona B	zona Cre- mušina
<b>(A) postojanje matičnih stijena – zrelosti – migracije</b> 4. količina i kvaliteta organskog materijala ( <i>prostiranje i debljina tih stijena, ukupni C<sub>org</sub>, tip kerogena</i> ) 5. zrelost ( <i>postignuta termijska zrelost kroz dovoljno vremena, ali ne predaleko u prošlosti</i> ) 6. migracija ( <i>da li je ostvarena primarna i sekundarna</i> )	a=0,57	e1=0,33	e2=0,33	e3=1,0
<b>(B) postojanje zamki – izolatorskih stijena – vremena</b> 4. zamka ( <i>postoji li, kakvog je tipa i volumena</i> ) 5. izolatorske stijene ( <i>postoje li, gdje, da li su djelomično propusne za plin, jesu li rasjednute</i> ) 6. vrijeme ( <i>je li postojalo dovoljno vremena za migraciju</i> )	b=1,0	f1=1,0	f2=1,0	f3=1,0
<b>(C) postojanje rezervoara – šupljikavosti – propusnosti</b> 4. debljina ( <i>posjeduju li rezervoarske stijene dovoljnu debjinu, dolazi li do promjene facijesa, isklinjavanja, rasjedanja</i> ) 5. šupljikavost ( <i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i> ) 6. propusnost ( <i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i> )	c=1,0	g1=0,8	g2=0,8	g3=1,0
<b>(D) jesu li ugljikovodici sačuvani – njihova kvaliteta – mogućnosti pridobivanja</b> 4. sačuvanje ( <i>da nije bilo ispiranja, biodegradacije ili raspršenja</i> ) 5. kvaliteta ( <i>da nafta nije previskozna, zasićenje ugljikovodicima premalo, odnosno stupac ugljikovodika prenizak</i> ) 6. pridobivanja ( <i>lakše crpljenje, uz povoljne tlakove i temperature</i> )	d=1,0	h1=0,66	h2=0,66	h3=0,66
<b>VJEROJATNOST JEDINICE POLJANA (i=a x b x c x d)</b>	i=0,57			
<b>VJEROJATNOST ZONA A, B, CREMUŠINA (j=e x f x g x h)</b>		j1=0,22	j2=0,22	j3=0,66
<b>UKUPNA VJEROJATNOST (k=i x(1-(1-j1)x(1-j2)x(1-j3))</b>		k=0,45		

Tablica 9.3: Vjerovatnosti kategorija i parametara jedinice Poljana

kategorije i parametri	vjerojatnosti		
	jedinica Pepelana	zona Sedlarica	zona Šandrovac
<b>(A) postojanje matičnih stijena – zrelosti – migracije</b> 7. količina i kvaliteta organskog materijala ( <i>prostiranje i debljina tih stijena, ukupni C<sub>org</sub>, tip kerogena</i> ) 8. zrelost ( <i>postignuta termijska zrelost kroz dovoljno vremena, ali ne predaleko u prošlosti</i> ) 9. migracija ( <i>da li je ostvarena primarna i sekundarna</i> )	a=0,57	e1=1,0	e2=1,0
<b>(B) postojanje zamki – izolatorskih stijena – vremena</b> 7. zamka ( <i>postoji li, kakvog je tipa i volumena</i> ) 8. izolatorske stijene ( <i>postoje li, gdje, da li su djelomično propusne za plin, jesu li rasjednute</i> ) 9. vrijeme ( <i>je li postojalo dovoljno vremena za migraciju</i> )	b=1,0	f1=1,0	f2=1,0
<b>(C) postojanje rezervoara – šupljikavosti – propusnosti</b> 7. debljina ( <i>posjeduju li rezervoarske stijene dovoljnu debljinu, dolazi li do promjene facijesa, iskljinjavanja, rasjedanja</i> ) 8. šupljikavost ( <i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i> ) 9. propusnost ( <i>postoje li kontinuirano dovoljno visoke vrijednosti</i> )	c=1,0	g1=1,0	g2=1,0
<b>(D) jesu li ugljikovodici sačuvani – njihova kvaliteta – mogućnosti pridobivanja</b> 7. sačuvanje ( <i>da nije bilo ispiranja, biodegradacije ili raspršenja</i> ) 8. kvaliteta ( <i>da nafta nije previskozna, zasićenje ugljikovodicima premalo, odnosno stupac ugljikovodika prenizak</i> ) 9. pridobivanja ( <i>lakše crpljenje, uz povoljne tlakove i temperature</i> )	d=1,0	h1=0,1	h2=1,0
<b>VJEROJATNOST JEDINICE PEPELANA (i=a x b x c x d)</b>	i=0,51		
<b>VJEROJATNOST ZONA SEDLARICA, ŠANDROVAC (j=e x f x g x h)</b>		j1=0,1	j2=1,0
<b>UKUPNA VJEROJATNOST (k=i x (1-(1-j1)x(1-j2))</b>		k=0,51	

Tablica 9.4: Vjerojatnosti kategorija i parametara jedinice Pepelana

## 10. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Rekonstrukcija geoloških i geokemijskih odnosa prostora bjelovarske uleknine načinjena je na temelju rezultata interpretacije *seizmičkih refleksijskih profila*, podataka iz *dossiera bušotina te rezultata dobivenih upotrijebljenim analitičkim metodama* u ovome radu.

Glavne metode korištene u radu opisane su u poglavlju o **metodologiji**.

Prilikom **stratigrafskog prikaza** dan je prikaz sedimenata temeljen na podjeli stijena u *litostratigrafskom sustavu* počevši od najstarijih stijena paleozoika i mezozoika u podlozi neogensko-kvartarnih sedimenata, zatim krupnoklastičnih sedimenata člana Mosti pretežno badenske starosti, preko pješčenjačko-laporovitih članova mlađih formacija, pa sve do pregleda najmlađih kvartarnih taložina.

Na temelju rezultata dobivenih usporedbom i analizom **stijena paleozoika i mezozoika te starijih sedimenata člana Mosti** utvrđeno je sljedeće:

1. Rezervoarski najperspektivniji prostori uleknine općenito su povezani s potencijalnim ležištima smještenim u vršnom dijelu stijena podlage i najstarijem dijelu formacije Moslavačka gora.
2. Ta serija je uglavnom najpostojanijih rezervoarskih svojstava i na velikom broju mjesta su zadovoljeni potrebni parametri za stvaranje ležišta. Na gotovo svim mjestima postojale su zamke i izolatorske stijene, a u tri slučaja i migracijski put pa su u tim stijenama ležišta nafte otkrivena na poljima Letičani i Galovac-Pavljani, a plina na Grubišnom polju.
3. U većini postojećih ležišta (Letičani, Galovac-Pavljani) dokazano je da stijene podlage i sedimenti člana Mosti čine jednu hidrodinamičku cjelinu.
4. Prema razlici saliniteta slojnih voda u tim ležištima i okolnim prostorima te hidrodinamičke cjeline nisu velikog prostiranja i vezane su obično za pojedine tektonske blokove.

Sljedeće dvije perspektivne jedinice izdvojene unutar formacije Kloštar-Ivanić gornjopontske su starosti i obuhvaćaju litostratigrafske članove imenovane **pješčenjacima Poljana i pješčenjacima Pepelana**. Dobri su kolektori na nekim mjestima uleknine, posebno u bilogorskoj zoni. No, također je činjenica da u najvećem dijelu uleknine, a posebno prema granici sa savskom potoninom, dobra rezervoarska svojstva tih članova se često brzo gube jer dolazi do značajnog povećanja laporovite komponente pa i potpune promjene litoloških svojstava, odnosno prelaska u nepropusne sedimente.

5. Prijelaz članova Poljana i Pepelana u nepropusne sedimente posebno je izražen na sjevernom i sjeveroistočnom rubu Moslavačke gore, odnosno južnom i jugozapadnom rubu bjelovarske uleknine. Upravo to područje označeno je kao strukturno najpovoljnije u pogledu očekivanog isklinjavanja neogenskih pješčenjačkih jedinica, odnosno stvaranja stratigrafskih zamki. Analizom je potvrđeno kako ta područja nemaju kvalitetna litološka svojstva da bi se tu mogli očekivati rezervoari bilo kakve veličine.
6. U središnjem dijelu uleknine također su potvrđena slaba rezervoarska svojstva ta dva litostratigrafska člana. Uočena je degradacija ionako malobrojnih količina ugljikovodika u tim sedimentima. Degradacija je posljedica djelovanja površinske vode koja je u geološkoj prošlosti prodirala u te naslage i ispirala nakupljene ugljikovodike. Također niti u tom dijelu uleknine ti pješčenjački članovi litološki nisu čisti pješčenjaci, već redovito sadrže određen iznos laporovite komponente ili proslojaka laporanja.
7. Jedina značajna ležišta ugljikovodika u tim članovima stvorena su na nekoliko polja smještenih u bilogorskoj zoni. Time je dokazano da je uglavnom u tome dijelu bjelovarske uleknine moguće očekivati još neka dodatna manja satelitska ležišta u tim jedinicama, prvenstveno u manjim zamkama strukturnog tipa.

## 10. Diskusija i zaključci

**Strukturno-tektonski odnosi** interpretirani na području bjelovarske uleknine uklopili su se u općeprihvaćenu sliku razvoja naših prostora Panonskog bazenskog sustava kroz razdoblje neogena i kvartara. Prvi tektonski poremećaji ostavili su traga vjerojatno već u *otnangu i karpatu*, no njih je teško jasno izdvojiti zbog maloga prostiranja tih naslaga i uopće njihova teškoga stratigrafskog određivanja. No, sigurno je dokazano da je u *badenu* snažna tektonika, kao posljedica sveopće ekstenzije, zahvatila cijeli prostor uleknine. Posljedica je dodatna dezintegracija dijelova stijena u podini neogena te diskordantno taloženje najstarijih neogenskih krupnoklastičnih sedimenata, odnosno stvaranje vrlo dobrih rezervoarskih cjelina na gotovo cijelom području uleknine. Ekstenzija koliko god bila snažna bila je i kratkotrajna te je relativno brzo, u sarmatu i donjem panonu, došlo do tektonskog i taložnog smirivanja uz sedimentaciju pelitnih sedimenata, najčešće kalcitnog lapora s jako dobrim izolatorskim svojstvima. Ukratko je zaključeno sljedeće:

8. Svi zabilježeni rasjedi mogu se svrstati u jedan od dva izdvojena sustava. Prvi je približno *poprečnog* pružanja sjever/sjeveroistok-jug/jugozapad, a drugi približnog *dijagonalnog* pružanja zapad/sjeverozapad-istok/jugoistok.
9. Obje skupine sadrže kako normalne tako i reverzne rasjede.
10. Promatrajući geološka razdoblja oba tipa rasjeda bila su aktivna kroz cijelo vrijeme. No, dokazana je djelomična dominacija aktivnosti normalnih rasjeda u razdoblju *baden-donji panon*, a reverznih u razdoblju *gornji panon-kvartar*.
11. Većina rasjednih zona koje su presjekle ležišta, a prema njihovom međusobnom položaju, određene su propusnim za fluide, odnosno nepovoljnima za stvaranje zamki.
12. Većina starijih zamki je strukturnog tipa (uključujući rasjede), a mlađih uglavnom strukturno-stratigrafskog tipa (bez rasjeda).
13. Starija ležišta su redovito vezana uz strukture tipa *burried hill*.
14. Prema mlađim litostratigrafskim jedinicama paleotopografska razvedenost dna taložnog prostora sve je manja.

Kako bi se u potpunosti prikupili svi podaci o kvaliteti promatranog naftogeološkog sustava analizirani su odabrani **geokemijski parametri** na nivou cijele uleknine. Iz njihove međusobne usporedbe, analize i rezultata zaključeno je da:

15. Eventualne matične stijene, a prema sadržaju organske tvari i termijskoj zrelosti, mogu biti samo mjestimično sarmatski i donjopanonski pelitni sedimenti.
16. Vrsta kerogena, kao najvažniji indikator rezidualnog potencijala ( $S_2$ ), u 95 % slučajeva je mješavina tipova II i III na nivou cijele uleknine.
17. Samo u dva slučaja određen je drugačiji tip kerogena. Kerogen tipa III je dominantan kod Velike Ciglene, a kerogen tipa I/II je pronađen na nekoliko intervala na polju Galovac-Pavljani.
18. Iz međusobne korelacije geokemijskih varijabli zaključeno je da mlađi dio člana Mosti predstavlja najkvalitetnije sedimente obzirom na vrijednosti  $C_{org}$  i  $S_2$ .
19. Udjel kerogena tipa III veći je unutar sedimenata člana Križevci.
20. Migracijski putovi su procijenjeni na red veličine 10-15 km što je u skladu s analizama nafte i vrijednostima toplinskog toka u prostoru dravske potonine.
21. Glavna mjesta unutar uleknine koja su pokazala određeni potencijal generiranja ugljikovodika su *Velika Ciglena* gdje je vjerojatno najvećim dijelom generiran plin, a sedimenti su danas prešli vrijednosti "naftnoga prozora". Zatim prostor *jugozapadno od Nove Rače* gdje su pelitni sedimenti danas u području "naftnog prozora", no strukturno se ne radi o sinklinali. Treće područje je *sinklinala uz Papuk* zabilježena na profilu DAR-10V-92 u kojoj su sedimenti na ulasku u područje "naftnoga prozora". Na kraju je preostala *sinklinala Rovišće* gdje taložine badena, sarmata i donjeg panona su u završnoj fazi dijageneze.
22. Ukupno područje gdje bi se s obzirom na vrijednosti *vitritinitne refleksije* ( $R_o$ ) mogla očekivati zrelost potencijalnih matičnih sedimenata, naravno ako su zadovoljeni svi ostali uvjeti, prekriva približno  $535 \text{ km}^2$ , što je oko 18,5 % ukupne površine bjelovarske uleknine.

## 10. Diskusija i zaključci

Upravo su *geokemijski parametri* pokazali najveći problem kod vrednovanja prostora bjelovarske uleknine u pogledu naftnogeološke perspektivnosti. Jedan od bitnih uvjeta za "pozitivnost" obzirom na otkrića ležišta ugljikovodika je postojanje dovoljnog volumena i kvalitete matičnih stijena te dovoljnog broja migracijskih putova kako unutar uleknine tako iz dijelova smještenih izvan nje, a koji su sadržavali matične stijene. U prostoru bjelovarske uleknine dovoljni volumeni matičnih stijena nisu dokazani, a niti odgovarajuća kvaliteta organske tvari, tj. tipa kerogena. Jasno je da su gotovo sve količine otkrivenih ugljikovodika podrijetlom iz prostora izvan granica uleknine. Prema razmještaju otkrivenih ležišta i usporedbom tipa nafti bio je to isključivo prostor dravske potonine. Uz poznate i pretpostavljene dužine migracijskih putova jasno je kako je samo sjeverni, sjevernoistočni i središnji dio bjelovarske uleknine mogao biti "prihranjen" određenim količinama nafte i plina.

Završno je načinjena procjena **vjerojatnosti** postojanja novih ležišta ugljikovodika u području uleknine. U pogledu veličine velika je vjerojatnost da bi novootkrivena ležišta bila reda veličine onih otkrivenih u središnjem i istočnom dijelu uleknine, bilo da se radi o samostalnim poljima ili satelitskim ležištima postojećih polja. Radi se o volumenu od 20000 do 50000 m<sup>3</sup> ispunjenog fluidima.

Procijenjena vjerojatnost najvećim se dijelom temeljila na rezultatima metoda i analiza primijenjenih i načinjenih u prethodnim poglavljima. Značajan dio njih svrstan je u skupinu **geostatističkih analiza**. Njihov prvenstveni cilj bio je određivanje prostorne *autokorelacije* i *prirode ponašanja* promatranih varijabli. Kod vizualnih metoda, odnosno kartiranja načinjenog računalom upotrijebljena je metoda *kriginga* kao najprimjerena analiziranim skupu i broju podataka. Shematski pregled upotrijebljenih metoda po redoslijedu njihove primjene prikazan je u sljedećih šest točaka:

1. Univarijatna statistika s računom srednje vrijednosti, varijancom i histogramima;
2. Semivariogramski račun;
3. Krivulje distribucije;
4. Interpolacija pod odabranim uvjetima kriginga;
5. Rješavanje odgovarajućih (geo)statističkih jednadžbi;
6. Crtanje karata različitih izolinija (izohora, stratoizohipsa, izobata...).

*Univarijatnom analizom* načinjen je početni pregled ulaznih podataka. Na temelju rezultata prvenstveno su eliminirane ekstremne vrijednosti te je određena priroda ponašanja, odnosno raspodjela promatranih varijabli. Krivulje raspodjele pokazale su slijede li podaci približno normalnu distribuciju što je uvjet za pouzdanu primjenu pratećih analiza. Interpolacija varijabli dala je uvid u njihovu prostornu raspodjelu. Geostatistički je određeno ponašanje varijance podataka, srednjih vrijednosti i dosega (autokorelativnosti) te njihovih korigiranih vrijednosti.

Tim metodama dobiveni su *ulazni parametri* za ocjenu potencijalnih jedinica i zona obzirom na vjerojatnost otkrića novih zaliha ugljikovodika. Izdvojene *jedinice* obuhvatile su tri litostratigradska člana unutar neogenskih sedimenata. Najstarija jedinica imenovana *jedinicom Mosti* uključila je i vršni dio stijena u podini člana Mosti, jer s njime predstavlja zajedničku hidrodinamičku cjelinu. Prvenstveno na temelju strukturno-tektonske analize unutar te jedinice izdvojena je jedna struktura kao perspektivna za procjenu novog otkrića, a to je *zona Dežanovec*. Za sva ostala strukturno povoljna mjesta unutar uleknine zaključeno je kako su već ranije istražena u dovoljnom opsegu da su u potpunosti upoznati naftnogeološki odnosi, odnosno procijenjena njihova pozitivnost ili negativnost obzirom na postojanje ležišta ugljikovodika.

Eventualno otkriveno ležište na Dežanovcu prema svojoj veličini bilo bi najvjerojatnije na donjoj granici ekonske isplativosti. Konačna ocjena svakako ovisi o tome koliko volumen ležišta je smješten u mezozojskim sedimentima, a koliki u taložinama člana Mosti. Najveći problem ovoga

## 10. Diskusija i zaključci

dijela bjelovarske uleknine je taj da je vrlo teško prepostaviti postojanje značajnijeg migracijskog puta ugljikovodika. Prema načinjenom proračunu vjerojatnost otkrića unutar *jedinice Mosti* općenito je **0,57**. No *zona Dežanovec* značajno je niže vrijednosti od samo **0,165**. Spomenuti problem migracije jedan je razlog tomu, a drugi vrlo slaba rezervoarska svojstva mezozojskih sedimenata u ovom dijelu uleknine. Zato je i ukupna vjerojatnost te jedinice obzirom na prostor Dežanovca samo **0,09**.

Sljedeća izdvojena *jedinica* bila je *Poljana*. Njoj pripadajuća ukupna vjerojatnost je veća od prethodne jedinice i iznosi **0,45**. Ako se te vrijednosti promatraju odvojeno po zonama onda su vrijednosti vrlo različite. *Zone A* i *B* smatraju se neperspektivnima zbog niske vjerojatnosti od **0,22**, a izdvojene su samo kao primjeri smještaja i veličine eventualno novih ležišta koja bi se pronašla detaljnijim kartiranjem toga dijela bjelovarske uleknine. Naprotiv, vjerojatnost *zone Cremušina* je viša i iznosi **0,66** pa time opravdava ponovnu analizu te strukture, reinterpretaciju postojećih podataka, a možda na temelju novih rješenja i nova istraživanja.

Najmlađa *jedinica Pepelana* ujedno ima i najveću ukupnu vjerojatnost od svih opisanih jedinica koja iznosi **0,51**. Gledano po analiziranim zonama radi se o potpuno različitim ocjenama perspektivnosti. *Zona Sedlarice* je ocjenjena kao potpuno neperspektivna s vjerojatnošću od samo **0,1**, prvenstveno zbog vrlo male dubine tih sedimenata na tome području. Suprotno tome, *zona Šandrovac* je ocjenjena kao najperspektivnije područje u cijeloj bjelovarskoj uleknini obzirom na otkrića novih isplativih ležišta ugljikovodika i to s vjerojatnošću od **1,0**. Obje mlađe jedinice formacije Kloštar-Ivanić odlikuju se većom ukupnom vjerojatnošću od starijih sedimenata člana Mosti i stijena u njihovoј podini prvenstveno zbog toga jer su izdvojene perspektivne zone smještene puno bliže pretpostavljenih migracijskih putova. Zato je unutar njih svakako veća vjerojatnost pronalaska novih, ali relativno malih ležišta ugljikovodika.

## 11. LITERATURA

### 11.1. OBJAVLJENI RADOVI

1. BARIĆ, G., MESIĆ, I. & JUNGWIRTH, M. (1992): *Sedimentary and geochemical characteristics of rocks and fluids of the western part of the Drava depression.* Nafta, 43, p. 225-238, Zagreb.
2. COTA, L. & BRITVIĆ, V. (1991): *Hidrodinamika i kemizam formacijskih voda Dravske potoline - Panonski bazen.* Nafta, 42/4, p. 121-136, Zagreb.
3. DELEON, G. (1969): *Pregled rezultata određivanja apsolutne geološke starosti granitoidnih stijena u Jugoslaviji.* Radovi Inst. za geol.-rud. istraž. i ispit. nuklearnih i dr. min. sirovina, Sv. 6, 1, Beograd.
4. FRANK, G. (1990): *Prospects and Risk Evaluation before Exploration Drilling.* Nafta, 41/1, p. 17-26, Zagreb.
5. FRANK, G. (1992): *Procjena perspektivnosti i rizika istraživanja ugljikovodika dijela podmorja Mljet.* Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Svučilište u Zagrebu, p. 115, Zagreb.
6. HAUER, F. (1867-71): *Geologische übersichts - karte der Oesterreich-Ungarischen monarchie.* Wien.
7. HERNITZ, Z. (1983): *Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije.* Doktorska disertacija, poseb. izd. Nafte, p. 221, Zagreb.
8. HERNITZ, Z. & JURAK, V. (1973): *Primjena paleostruktурне i statističke analize naslaga mlađega tercijara u području Ivanić-Grada (Sjeverna Hrvatska).* Nafta, 24/7-8, p. 343-367, Zagreb.
9. HERNITZ, Z., BOKOR, N. & MALVIĆ, T. (1999): *Probability Evaluation of New Hydrocarbon Finds in Some Parts of Sava and Drava Depression.* Working materials of the 2<sup>nd</sup> Int. Symposium on Petroleum Geology, 22.-24. IV. 1999., p. 165-175, Zagreb.
10. HOHN, M., E. (1988): *Geostatistics and Petroleum Geology.* Van Nostrand Reinhold, p. 264, New York.
11. ISAAKS, E., H. & SRIVASTAVA, R., M. (1989): *Applied Geostatistics.* Oxford University Press, p. 560, New York - Oxford.
12. JAMIČIĆ, D. (1988): *Osnovna geološka karta M 1:100.000 - list Daruvar.* Savezni geološki zavod, Beograd.
13. JAMIČIĆ, D., VRAGOVIĆ, M. & MATIČEC, D. (1989): *Tumač za list Daruvar.* Savezni geološki zavod, p. 55, Beograd.
14. JELIĆ, K. & PAVIČIĆ, H. (1999): *Heat flow and hydrocarbon reservoirs in Croatia.* Nafta, 50/7-8, p. 257-260, Zagreb.
15. KECKLER, D. (1994): *SURFER® for Windows - Contouring and 3D Surface Mapping.* Golden Software Inc., Golden.
16. KOCH, F. (1889): *Prilog geološkom poznavanju Moslavacke gore.* Rad JAZU, knj. 92, Zagreb.
17. KOCH, F. (1906): *Tumač geologiske karte Ivanić Kloštar i Moslavina.* Geologiska prijegledna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije 1:75000, arhiva NSK, Zagreb.
18. KRANJEC, V., PRELOGOVIĆ, E., HERNITZ, Z. & BLAŠKOVIĆ, I. (1971): *O litofacijelnim odnosima mlađih neogenskih i kvartarnih sedimenata u širem području Bilogore (sjeverna Hrvatska).* Geološki vjesnik, 24, p. 47-55, Zagreb.
19. KRIGE, D.G. (1951): *A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand.* Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 52, p. 119-139.
20. KUPFERSBERGER, H. & DEUTSCH, C., V. (1999): *Methodology for Integrating Analog Geologic Data in 3D Variogram Modeling.* AAPG Bulletin, 83/8, p. 1262-1278, Tulsa.
21. LOPATIN, N.V. (1971): *Temperature and Geologic Time As a Factor in Coalification.* Akademija Nauk SSSR Izvestiya, Seriya Geologicheskaya, 3, p. 95-106.

## 11. Literatura

22. MAGDALENIĆ, Z. & NOVOSEL, S. (1986): *Tumač za list Bjelovar - Sedimentno-petrografske karakteristike nevezanih stijena neogena i kvartara*. Savezni geološki zavod, p. 20-26, Beograd.
23. MALVIĆ, T. (1998): *Strukturni i tektonski odnosi te značajke ugljikovodika širega područja naftnoga polja Galovac-Pavljani*. Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, p. 112, Zagreb.
24. MALVIĆ, T. (1999): *Ležišne vode naftnoga polja Galovac-Pavljani*. Hrvatske vode, 7, p. 139-148, Zagreb.
25. MILETIĆ, P. (1968): *Hidrogeologija sjevernog dijela SR Hrvatske*. Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, p. 150, Zagreb.
26. MILETIĆ, P. & URUMOVIĆ, K. (1975): *O geološkom okviru hidrogeoloških značajki Savske doline u Hrvatskoj*. Zbornik radova RGN fakulteta (1939-1974), Sveučilište u Zagrebu, p. 101-105, Zagreb.
27. NAGY, E. (1985): *Sporomorphs of the Neogene in Hungary*. Geologica Hungarica, Series Paleontologica, Fasciculus 47, p. 471, Pl. 118, Budapest.
28. NAKAYAMA, K. & Van SICLEN, D., C. (1981): *Simulation model for petroleum exploration*. AAPG Bull., 65, p. 1230-1255, Tulsa.
29. NAJDENOVSKI, J. (1974): *Kratak prikaz rezultata tektonske analize Kutinske zone*. Nafta, 25/10, p. 527-531, Zagreb.
30. NOVINC, M. (1992): *Mogućnosti procjene naftoplilonosnosti dijela istočne Podravine primjenom ekspertnog sustava*. Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, p. 85, Zagreb.
31. ODIN, S., G. & MATTER, A. (1981): *De glauconiarum origine*. Sedimentology, 28/5, p. 611-641, Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
32. OŽEGOVIĆ, F. (1944): *Prilog geologiji mlađeg tercijara na temelju podataka iz novijih dubokih bušotina u Hrvatskoj*. Vjesnik HDGZ i HDGM, Svezak II/III, Zagreb.
33. PANDŽIĆ, J. (1979): *Podloga tercijara jugozapadnog dijela Panonskog bazena*. Zbornik radova IV. god. znanstv. skupa I. sekc. ZSN JAZU - Stub. toplice 1978., p. 33-44, Zagreb.
34. PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M. & SARKOTIĆ ŠLAT, M. (1998): *Early to Middle Miocene facies succession in lacustrine and marine environments on the southwestern margin of the Pannonian basin system*. Geol. Carpathica, 49, 433-443.
35. PAVELIĆ, D. (2001): *Tectonostratigraphic Model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System*. Blackwell Science, Basin Research, 13, p. 359-376.
36. PERIŠIĆ, M. (1983): *Geostatistika*. Rudarski institut, p. 534, Beograd.
37. PLANDEROVÁ, E. (1990): *Miocene Microflora of Slovak Central Paratethys and its Biostratigraphical Significance*. Dionyz Štúr Institute of Geology, p. 144, Pl. 86, Bratislava.
38. PLETIKAPIĆ, Ž. (1964): *Naftoplilonosnost Dravske potoline*. Nafta, 9, p. 250-254, Zagreb.
39. PLETIKAPIĆ, Ž., GJETVAJ, I., JURKOVIĆ, M., URBIHA, H., HRNČIĆ, Lj. (1964): *Geologija i naftoplilonosnost Dravske potoline*. Geološki vjesnik, 17, p. 49-78, Zagreb.
40. PRELOGOVIĆ, E. (1975): *Neotektonská karta SR Hrvatske*. Geol. vjesnik, 28, Zagreb.
41. PRELOGOVIĆ, E., HERNITZ, Z. & BLAŠKOVIĆ, I. (1969): *Primjena morfometrijskih metoda u rješavanju strukturno-tektonskih odnosa na području Bilogore (sjever. Hrvatska)*. Geol. vjesnik, 22, Zagreb.
42. RIĐANOVIĆ, J. (1974): *Obilježja prirodne osnove - vode*. Geografija SR Hrvatske (pogl. 3) (ed. Crkvenić, I.), p. 67-76, Školska knjiga, Zagreb.
43. ROYDEN, L., H. (1988): *Late Cenozoic Tectonics of the Pannonian Basin System*. AAPG Memoir 45 (Chap. 3) - The Pannonian Basin (eds. Royden, L., H. & Horváth, F.), p. 27-48, AAPG, Tulsa.
44. RÖGL, F. (1996): *Stratigraphic Correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene*. Mitteilungen Ges. Geol. Bergbaustudenten Österreich, 41, p. 65-73, 1 tab., Wien.
45. RÖGL, F. (1998): *Palaeographic Consideration for Mediterranean and Paratethys Seaways*

## 11. Literatura

- (Oligocene to Miocene). Ann. Naturhist. Mus. Wien, 99A, p. 279-310, Wien.
46. SOKAČ, A. (1998): *Paleontologija beskralježnjaka*. Skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, p. 135, Zagreb.
47. STEINER, I., HERNITZ, Z. & SEČEN, J. (2001): *By-passed oil – a contemporary challenge*. Zbornik radova 2. međun. naftnogeol. znan. skupa, pos. izd. Nafte, Zagreb.
48. STEININGER, F., RÖGL, F. & MÜLLER, C. (1978): *Geodynamik und paläogeographische Entwicklung des Badenien*. Chronostratigraphie und Neostratotypen Miozän der Zentralen Paratethys, Bd. VI, Verlag der Slowak. Akad. der Wissenschaften, p. 110-127, Bratislava.
49. SWEENEY, J., J. & BURNHAM, A., K. (1990): *Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics*. AAPG Bulletin, 74/10, p. 1559-1570, Tulsa.
50. ŠEGOTA, T. (1974): *Obilježja prirodne osnove - klima*. Geografija SR Hrvatske (pogl. 3) (ed. Crkvenčić, I.), p. 61-66, Školska knjiga, Zagreb.
51. TISSOT, B. (1969): *Premières données sur les mécanismes et la cinétique de la formation du pétrole dans les sédiments: Simulation d'un schéma réactionnel sur ordinateur*. Rev. Inst. Fr. Pet., 24, 470-501.
52. TISSOT, B. & ESPITALIÉ, J. (1975): *L'évolution thermique de la matière organique des sédiments: Applications d'une simulation mathématique*. Rev. Inst. Fr. Pet., 30, p. 743-777.
53. TISSOT, B., P. & WELTE, D., H. (1984): *Petroleum Formation and Occurrence*. 2<sup>nd</sup> ed. Springer-Verlag, New York.
54. TIŠLJAR, J. (1994): *Sedimentne stijene*. Školska knjiga, p. 416, Zagreb.
55. TUĆAN, F. (1904): *Pegmatit u kristaličnom kamenju Moslavacke gore*. Rad JAZU, knj. 159, Zagreb.
56. VRBANAC, B. (1996): *Paleostruktурне i sedimentološke analize gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić grad u savskoj depresiji*. Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Sveučilište u Zagrebu, p. 303, Zagreb.
57. ŽULJIĆ, S. (1974): *Prostor i elementi njegova središnjeg značenja*. Geografija SR Hrvatske (pogl. 3) (ed. Crkvenčić, I.), p. 61-66, Školska knjiga, Zagreb.
58. WAPLES, D.W. (1988): *Geochemistry in Petroleum Exploration*, Kluwer Academic Publisher Group, p. 121-153, Dordrecht.
59. WHITE, D., A. (1993): *Geologic Risking Guide for Prospects and Plays*. AAPG Bulletin, 77/12, p. 2048-2061, Tulsa.

## **11.2. IZ FONDA I ARHIVA STRUČNE DOKUMENTACIJE**

1. BALTIĆ, A. (1979): *Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Letičani-3 (Le-3)*. Dossier bušotine Letičani-3, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
2. BALTIĆ, A. (1990): *Interpretacija plinske karotaže i TDC podataka za istražnu buštinu Velika Ciglena-1 (VC-1)*. Dossier bušotine Velika Ciglena-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
3. BARIĆ, G. (1990): *Uvod u naftnu geokemiju*. INA-Naftaplin, interni priručnik, p. 89, Zagreb.
4. BARIĆ, G. (1991): *Geokemijski izvještaj za istražnu buštinu Pavljani-1 (Pav-1)*. Dossier bušotine Pavljani-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
5. BEVANDIĆ, K. (1969): *Analiza vode po Palmeru*. Dossier bušotine Lepavina-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
6. BOBIĆ, D. (1990): *Karta zrelosti i migracije sjeverozapadnog dijela bjelovarske depresije (na karti po Rs7)*. Elaborat prostora bjelovarske uleknine, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
7. BRODARIĆ, A. & SOKOLOVIĆ, B. (1991): *Završni izvještaj bušotine Pavljani-1 (Pav-1) - Biostratigrafija, litologija i litofacijesi*. Dossier bušotine Pavljani-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
8. BRODARIĆ, A. & SOKOLOVIĆ, B. (1992): *Završni izvještaj bušotine Pavljani-2 (Pav-2) -*

## 11. Literatura

- Biostratigrafska, litološka i sedimentološka interpretacija.* Dossier bušotine Pavljani-2, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
9. ĆIRIĆ, M. (1979): *Geološki izvještaj za eksploracijsku buštinu Hampovica-3 (Ha-3).* Dossier bušotine Hampovica-3, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
10. DJAČANIN, D., TROHA, M., PAPAC, N., ŽERJAVIĆ, LJ., JAMBROŠIĆ, P., PLAVLJANIN, D., JELASIĆ, D., JURKOVIĆ, V. & TOMAŠINEC, D. (1993): *Izvještaj o petrofizikalnim analizama (osnovna i specijalna ispitivanja stijena) za buštinu Pavljani-4 (Pav-4).* Dossier bušotine Pavljani-4, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
11. DJAČANIN, D., TROHA, M., PAPAC, N., JAMBROŠIĆ, P., ŽERJAVIĆ, LJ., JELASIĆ, D., PLAVLJANIN, D., BARIČEVIĆ, D. & TOMAŠINEC, D. (1995): *Izvještaj o petrofizikalnim analizama (osnovna i specijalna ispitivanja stijena) za buštinu Pavljani-6 (Pav-6).* Dossier bušotine Pavljani-6, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
12. DONELLI, B. (1981): *DST izvještaji bušotine Letičani-5 (Le-5).* Dossier bušotine Letičani-5, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
13. DONELLI, D. (1994): *Kromatografska analiza plina.* Dossier bušotine Grubišno polje-1z, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
14. DONELLI, D. (1996): *Analiza uzoraka plina, nafte i vode u buštoni Galovac-1alfa (Gal-1al).* Dossier bušotine Galovac-1alfa, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
15. DRAGIČEVIĆ, N. (1974): *Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Letičani-1 (Le-1).* Dossier bušotine Letičani-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
16. ĐORĐEVIĆ, J., PLAČIĆ, I. & PETOŠIĆ, M. (1988): *Rezultati geološkog praćenja proizvodne bušotine Lp-28.* Dossier bušotine Lepavina-28, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
17. ĐUMIĆ, D. (1958): *Geološki izvještaj za duboku istražnu buštinu Korenovo-1 (Kor-1).* Dossier bušotine Korenovo-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
18. FILJAK, R. (1956): *Geološka osnova za duboku istražnu buštinu Uljanik-1 (Ulj-1).* Dossier bušotine Uljanik-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
19. GAĆEŠA, V. (1961): *Geološki izvještaj dub. istr. buš. Jagnjedovac-1 (Jag-1).* Dossier bušotine Jagnjedovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
20. GAĆEŠA, J. (1963a): *Geološki izvještaj Jagnjedovac-18 (Jag-18).* Dossier bušotine Jagnjedovac-18, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
21. GAĆEŠA, V. (1963b): *Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Narta-1 (Nar-1).* Dossier bušotine Narta-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
22. GJETVAJ, I., HAJNŠEK, J. & TUFEKČIĆ, D. (1962): *Tektonska građa Dravske potoline.* Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
23. GJUKIĆ, B. & GENZIĆ, Z. (1993a): *Završni izvještaj za istražnu buštinu Pavljani-1 (Pav-1).* Dossier bušotine Pavljani-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
24. GJUKIĆ, B. & GENZIĆ, Z. (1993b): *Završni izvještaj za potvrđnu buštinu Pavljani-2 (Pav-2).* Dossier bušotine Pavljani-2, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
25. GORIČNIK, B. & DJAČANIN, D. (1996a): *Izvještaj o petrofizikalnim analizama Velika Ciglena-2 (VC-2).* Dossier bušotine Velika Ciglena-2, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
26. GORIČNIK, B. & DJAČANIN, D. (1996b): *Izvještaj o petrofizikalnim analizama Patkovac-1 (Ptk-1).* Dossier bušotine Patkovac-1, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
27. HANICH, M. (1964): *Izvještaj o rezultatima izrade fotogeološke karte Vrbovačke, Moslavačke i Bilogorske zone.* Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
28. HAJNŠEK, S. (1963): *Geološka osnova za duboku istražnu buštinu Hampovica-1 (Ha-1).* Dossier bušotine Hampovica-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
29. HAJNŠEK, S. (1964): *Geološka osnova, prognozni profil, program jezgrovanja za duboku istražnu buštinu Farkaševac-1 (Fa-1).* Dossier bušotine Farkaševac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
30. HAJNŠEK, S. (1971): *Tektonika zapadne i istočne Bilogorske zone.* Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.

## 11. Literatura

31. HRNČIĆ, Lj. (1962): *Hidrogeološki odnosi u Dravskoj potolini*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
32. IBRAHIMPAŠIĆ, F. (1994): *Analiza slojne vode*. Dossier bušotine Grubišno polje-1z, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
33. JURKOVIĆ, A. (1962a): *Geološki izvještaj za duboku istražnu buštinu Križevci-1 (Ki-1)*. Dossier bušotine Križevci-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
34. KALENIĆ, L. (1981): *Rezultati fizičkih ispitivanja uzoraka jezgara*. Dossier bušotine Letičani-5, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
35. KORDIĆ, M., VICAN, P., KIŠIĆ, D., VILJEVAC, T., FINZIR, Ž., GOLUB, B. & ĆORKOVIĆ, D. (1993a): *Rezultati geološkog praćenja duboke istražne bušotine Pavljani-5 (Pav-5)*. Dossier bušotine Pavljani-5, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
36. KORDIĆ, M., VICAN, P., KIŠIĆ, D., VILJEVAC, T. & MARENić, D. (1993b): *Rezultati geološkog praćenja proizvodne bušotine Pavljani-5al (Pav-5al)*. Dossier bušotine Pavljani-5al, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
37. LOVRIĆ, D. (1992): *Detaljna gravimetrijska i geomagnetska ispitivanja - Bjelovarska depresija 1992.*, Fond struč. dok., Odjel za gravimagnetometriju, Geofizika, Zagreb.
38. LUCIĆ, M. (1962): *Geološki izvještaj za duboku istražnu buštinu Šandrovac-1 (Ša-1)*. Dossier bušotine Šandrovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
39. MARKOVIĆ, N., BOBIĆ, D., TROSKOT, T., KARAN, D. & OŠTRIĆ, D. (1990): *Rezultati geološkog praćenja bušotine Velika Ciglena-1 (VC-1)*. Dossier bušotine Velika Ciglena-1, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
40. MAROVIĆ, M. (1992a): *Interpretacija plinske karotaže za istražnu buštinu Pavljani-2 (Pav-2)*. Dossier bušotine Pavljani-2, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
41. MAROVIĆ, M. (1992b): *Interpretacija plinske karotaže za konturno-proizvodnu buštinu Pavljani-4 (Pav-4)*. Dossier bušotine Pavljani-4, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
42. MAROVIĆ, M. (1993a): *Interpretacija plinske karotaže za istražnu buštinu Pavljani-5 (Pav-5)*. Dossier bušotine Pavljani-5, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
43. MAROVIĆ, M. (1993b): *Interpretacija plinske karotaže za razradnu buštinu Pavljani-5al (Pav-5al)*. Dossier bušotine Pavljani-5al, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
44. MATHERON, G. (1965): *Les Variables Régionalisées et leur Estimation*. Masson & Cie, Paris.
45. NAJDENOVSKI, J., HAJNŠEK, S. (1980): *O strukturnim odnosima i konsedimentacijskom razvoju struktura u bjelovarskoj sinklinali dravske potoline*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
46. NAJDENOVSKI, J., HAJNŠEK, S. (1982): *Strukturni odnosi Bjelovarskog sinklinorija i graničnog područja Savske i Dravske depresije*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
47. OGULINEC, J. (1950): *Geološki referat o sektorima*. Dossier bušotine Lepavina-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
48. OREŠKOVIĆ, J. (2001): *Semivariogramska analiza petrofizikalnih parametara (polje Šandrovac)*. Seminarski rad na poslijediplomskom studiju, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, p. 19, Zagreb.
49. OŽEGOVIĆ, M. (1947): *Geološki referat o sektorima*. Dossier bušotine Lepavina-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
50. PERKOVIĆ, A. (1974): *Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Vis-1 (V-1)*. Dossier bušotine Vis-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
51. PETOŠIĆ, M. & JUNGWIRTH, M. (1987): *Projektni zadatak i projekt bušotine*. Dossier bušotine Šandrovac-230, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
52. POMPER, M. (1992): *Rezultati geološkog praćenja istraživačke bušotine Rovišće-1 (Rov-1)*. Dossier bušotine Rovišće-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
53. PRELOGOVIĆ, E., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & KRANJEC, V. (1995): *Struktorna dinamika prostora sjeverne Hrvatske*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.

## 11. Literatura

54. RADMILOVIĆ, S. (1989): *Tehnički izvještaj o remontnim radovima na bušotini Lepavina-28 (Lp-28)*. Dossier bušotine Lepavina-28, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
55. RADOJEVIĆ, M. (1963): *Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Topolovac-1 (To-1)*. Dossier bušotine Topolovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
56. RAKARIĆ, D., TROGRLIĆ, S., STILINOVIĆ, D., OREŠIĆ, Ž. & NOVOSELEC, M. (1995): *Rezultati geološkog praćenja istražne bušotine Velika Ciglena-2 (VC-2)*. Dossier bušotine Velika Ciglena-2, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
57. RAKARIĆ, D. (2000): *Rezultati geološkog praćenja istražne bušotine Bačkovica-1zapad (Bac-Iz) s interpretacijom podataka LNB*. Dossier bušotine Bačkovica-1z, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
58. RAŠKOVIĆ, M. (1974): *Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Cremušina-1 (Cre-1)*. Dossier bušotine Cremušina-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
59. RAŠKAJ, N., SOKOLOVIĆ, B., BRODARIĆ, A., STANKOVIĆ, D. & KRIZMANIĆ, K. (1996): *Završno izvješće Patkovac-1 (Ptk-1) - biostratigrafska i petrografska-sedimentološka interpretacija*. Dossier bušotine Patkovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
60. RUKAVINA, J., KRALJEVIĆ, D., ŠIPIĆ, I., DALIĆ, N., DEVIĆ, T. & MEĐIMUREC, M. (1991): *Rezultati geološkog praćenja geotermalne bušotine Velika Ciglena-1alfa (VC-1al)*. Dossier bušotine Velika Ciglena-1alfa, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
61. RUBINIĆ, A. (1949a): *Geološka osnova za duboku istražnu bušotinu Sedlarica-1 (Sd-1) i plinsku (do 500 m) Sedlarica-6 (Sd-6)*. Dossier bušotine Sedlarica-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
62. RUBINIĆ, A. (1949b): *Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Sedlarica-1 (Sd-1)*. Dossier bušotine Sedlarica-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
63. RUBINIĆ, A. (1949c): *Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Sedlarica-3 (Sd-3)*. Dossier bušotine Sedlarica-3, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
64. RUBINIĆ, A. (1954): *Rezultati istražnih radova na strukturi Sedlarica*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
65. RUMENJAK, LJ. (1996): *Geokemijski izvještaj istražne bušotine Patkovac-1 (Ptk-1)*. Dossier bušotine Patkovac-1. Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
66. SAMARDŽIJA, J. (1977): *Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Gakovo-9 (Gak-9)*. Dossier bušotine Gak-9, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
67. SOKOLOVIĆ, B. & BRODARIĆ, A. (1992): *Završno izvješće Pavljani-4 - biostratigrafija, litološka i sedimentološka interpretacija*. Dossier bušotine Pavljani-4, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
68. SOKOLOVIĆ, B. & BRODARIĆ, A. (1994): *Završno izvješće Pavljani-6 (Pav-6) - biostratigrafske i petrografska-sedimentološka interpretacija*. Dossier bušotine Pavljani-6, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
69. SREMČEVIĆ, M. (1964): *Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Farkaševac-1 (Fa-1)*. Dossier bušotine Farkaševac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
70. SREMČEVIĆ, M. (1965a): *Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Pavlovac-1 (Pv-1)*. Dossier bušotine Pavlovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
71. SREMČEVIĆ, M. (1965b): *Geološki izvještaj za duboku istražnu bušotinu Ciglenica-1 (Cig-1) – geološko-geofizički podaci*. Dossier bušotine Ciglenica-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
72. STANIŠIĆ, A. (1996): *Projekt za kapitalni remont sloja bušotine Lepavina-28 (Lp-28)*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
73. ŠIKIĆ, S., TROGRLIĆ, S., STILINOVIĆ, D., FARARIK, B., NOVOSELEC, M., MARINIĆ, D., OREŠIĆ, Ž., MIOČEV, M. & MEĐIMUREC, M. (1996): *Rezultati geološkog praćenja istražne bušotine Patkovac-1 (Ptk-1)*. Dossier bušotine Patkovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
74. ŠIMON, J. (1968): *Informativne litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleksa u profilima dubokih bušotina na području Dravske potoline*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d.,

## 11. Literatura

Zagreb.

75. TADEJ, J., STANKOVIĆ, D. & VLAHOVIĆ, T. (1996): *Završno izvješće Velika Ciglena-2 (VC-2) - petrografska-sedimentološka i biostratigrafska interpretacija*. Dossier bušotine Velika Ciglena-2, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
76. TARI-KOVAČIĆ, V. (1996): *Geološka osnova za duboku istražnu buštinu na istražnoj strukturi Grubišno polje otkrivenoj pomoći gravimetrijskih mjerena-prijevod njemačkog izvornika*. Dossier bušotine Grubišno polje-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
77. TROGRLIĆ, S. (1993): *Rezultati geološkog praćenja istražne bušotine Grubišno polje-1 zapad (Gr-1z)*. Dossier bušotine Grubišno polje-1z, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
78. TROGRLIĆ, S. (2000): *Rezultati geološkog praćenja istražne bušotine Bačkovica-2 (Bac-2) s interpretacijom podataka LNB-a*. Dossier bušotine Bačkovica-2, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
79. TROHA, M. (1992): *Rezultati petrofizikalnih analiza stijena iz bušotine Pavljani-2 (Pav-2)*. Dossier bušotine Pavljani-2, Fond struč. dok., INA-Naftaplin, Zagreb.
80. TROHA, M. (1993): *Rezultati petrofizikalnih analiza stijena iz bušotine Dežanovec-1 (Dež-1)*. Dossier bušotine Dežanovec-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
81. URBIHA, H. (1962): *Litofacijski odnosi u Dravskoj potolini*. Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
82. VICAN, P. (1993): *Rezultati geološkog praćenja istražne bušotine Dežanovec-1 (Dež-1)*. Dossier bušotine Dež-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
83. VLAHOVIĆ, T., STANKOVIĆ, D., RAŠKAJ, N. & BAN, D. (1991): *Završni izvještaj bušotine Velika Ciglena-1 i Velika Ciglena-1alfa - biostratigrafija, litofacijski i okoliši sedimentacije*. Dossier bušotine Velika Ciglena-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
84. VUGRINEC, J. (1961): *Geološka osnova i prognozni profil za duboku istražnu buštinu Jagnjedovac-1 (Jag-1)*. Dossier bušotine Jagnjedovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
85. VUGRINEC, J. (1962): *Geološka osnova i prognozni geološki profil za duboku istražnu buštinu Križevci-1 (Ki-1)*. Dossier bušotine Križevci-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
86. VUGRINEC, J. (1963a): *Geološka osnova, prognozni profil, program jezgrovanja i mjerena za duboku istražnu buštinu Gakovo-1 (Gak-1)*. Dossier bušotine Gakovo-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
87. VUGRINEC, J. (1963b): *Geološka osnova za duboku istražnu buštinu Toplovac-1 (To-1)*. Dossier bušotine Toplovac-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
88. VUKADINOVIC, M. (1994): *Završni geološki izvještaj za istražnu buštinu Velika Trnovitica-1 (VT-1)*. Dossier bušotine Velika Trnovitica-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
89. \*\*\* (1993): *Završni izvještaj za duboku istražnu buštinu Novi Glog-1 (NGL-1)*. Dossier bušotine Novi Glog-1, Fond struč. dok., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.

## SAŽETAK

Područje bjelovarske uleknine prekriva približno 2900 km<sup>2</sup>. Istraženo je s preko 500 dubokih bušotina, više desetaka seizmičkih profila te gravimetrijskim mjeranjima zapadnog i sjeverozapadnog dijela uleknine. U ovoj disertaciji prikupljeni su, analizirani, interpretirani i reinterpretirani stratigrafski, seizmički, petrofizikalni i geokemijski podaci. Većina podataka bila je dostupna na mjestima dvanaest naftnih i/ili plinskih polja različitih veličina, smještenih uglavnom uz rubove uleknine. To su Lepavina, Jagnjedovac, Mosti, Hampovica, Čepelovac, Šandrovac, Sedlarica, Gakovo, smješteni u bilogorskoj zoni, te Letičani, Galovac-Pavljani, Velika Ciglena i Grubišno polje, smješteni u središnjem i istočnom dijelu uleknine. Oko 4 % bušotina su označene kao regionalne.

Cilj istraživanja bio je određivanje vjerojatnosti za otkrivanje novih ležišta nafte i/ili plina na području uleknine, odnosno procjena njihova položaja. Načinjene analize svrstane su u nekoliko različitih skupina. Njihovi rezultati dopustili su rekonstrukciju evolucije sedimenata i struktura na istraživanom području, procjenu zrelosti mogućih matičnih stijena, raspodjelu petrofizikalnih parametara te izdvajanje mogućih novih ležišta i volumena zamki.

**Litološki sastav, stratigrafska pripadnost i petrofizikalna svojstva** neogenskih i kvartarnih sedimenata te stijena u njihovoj podini određeni su na temelju podataka prikupljenih iz *dossiera* bušotina. Također su interpretirani taložni okoliši neogensko-kvartarnih sedimenata. Detaljnije su opisane taložine badenske, sarmatske, panonske i donjopontske starosti koje su izdvojene kao najperspektivnije s obzirom na rezervoarska i matična svojstva.

Rezervoarski najperspektivniji prostori bjelovarske uleknine stratigrafski su smješteni u vršnom dijelu najstarijih stijena u podini neogena i najstarijem dijelu neogenskih sedimenata. Najstariji neogenski sedimenti interpretirani su kao član Mosti. Stijene njihove podine su paleozojske i mezozojske starosti. Ti perspektivni rezervoari smješteni u sjevernom, sjeveroistočnom i središnjem dijelu bjelovarske uleknine mogu se nalaziti u dosegu pretpostavljenih migracijskih putova. Iako se radi o litološki različitim cjelinama, one čine jedinstvene ležišne i hidrodinamičke jedinice koje su povezane s pojedinim tektonskim blokovima.

Mlađe potencijalne rezervoarske jedinice predstavljaju pješčenjaci Poljana i Pepelana. Gornjopontske su starosti i označeni kao dobri kolektori s postojanim rezervoarskim svojstvima samo u sjevernom i dijelom sjeveroistočnom prostoru uleknine. U ostalim dijelovima uleknine udjel laporovite komponente unutar tih članova vrlo je značajan. Mjestimice je utvrđena potpuna dominacija nepropusnih sedimenata, posebno uz rubove Moslavačke gore na jugu i jugozapadu uleknine. Također u tim članovima zabilježene su degradacije ugljikovodika kao rezultat prodora površinske vode.

**Strukturno-tektonska interpretacija** načinjena je rješavanjem odabranih seizmičkih profila te kartiranjem odgovarajućih elektrokartažnih markera koji razdvajaju pojedine lithostratigrafske formacije dravske potonine. Kartiran je i jedan EK-marker "nižega" reda (Rs7) koji dijeli članove Mosti i Križeveci unutar najstarije neogenske formacije Moslavačka gora. Izdvojen je zbog njegova naftogeologiskog značenja. Opisana su dva rasjedna sustava i prateće strukture. Prvi rasjedni sustav je približnog pružanja sjever/sjeveroistok-jug/jugozapad (približno poprečni), a drugi zapad/sjeverozapad-istok/jugoistok (približno uzdužni). Dominacija aktivnosti normalnih rasjeda potvrđena je za razdoblje baden-donji panon, a reverznih za razdoblje gornji panon-kvartar. Također, bilo je i mjestimičnih odstupanja od toga pravila. Rasjedne zone su određene propusnim za fluide. To je nepovoljno u naftogeološkim analizama, tj. za nastanak ležišta. Početak neogena obilježen je ekstenzijom, koja je vjerojatno započela u otnangu i karpatu, a sigurno u badenu kada

ima i svoj maksimum. Tada dolazi do dezintegracije vršnog dijela stijena paleozoika i mezozoika te taloženja krupnoklastičnih sedimenata, najčešće u područjima aluvijalnih lepeznih delti sa snažnim i kratkim transportom. Sarmat je obilježen slabijom tektonikom, a u donjem panonu dolazi do promjene mehanizma koji pokreće tektoniku u cijelom Panonskom Bazenskom sustavu. Termijsko spuštanje cijelog bazena daje impuls za stvaranje novih taložnih prostora i pretaložavanje u postojećim. Dio rasjednih sustava se reaktivira, a pojavljuje se i nekoliko novih.

Kao moguće matične stijene, a prema sadržaju organske tvari i termijskoj zrelosti određeni su mjestimično gornjobadenski, sarmatski i donjopanonski pelitni sedimenti u kojima je odabранo i analizirano pet **geokemijskih parametara**. Te vrijednosti su promatrane u dijelovima uleknine gdje je procijenjeno da postoji barem mali generirajući potencijal. Kerogen je u gotovo cijelom prostoru uleknine određen kao prijelazni između tipova II i III. Samo na dva mjesta je određen drugačiji tip. Kod Velike Ciglene kerogen je tip III, a na polju Galovac-Pavljani u nekoliko intervala prijelazni između tipova I i II. Na temelju analiza određeno je kako mlađi dio člana Mosti predstavlja kvalitetnije matične sedimente s obzirom na vrijednosti  $C_{org}$  i  $S_2$ , te udjel kerogena tipa II. Izdvojeno je nekoliko povoljnijih mjesta unutar uleknine obzirom na generiranje ugljikovodika. Najpovoljnije mjesto je Velika Ciglena gdje su sedimenti danas dublje od područja "naftnoga prozora" te područje Nove Rače gdje se te taložine nalaze upravo u području "naftnoga prozora". Ukupna površina gdje bi sedimenti obzirom na dubinu, vrijednosti vitrinitne refleksije, indeksa termijske zrelosti, količine i vrste organske tvari mogli imati određena matična svojstva prekriva oko 18,5 % površine bjelovarske uleknine. To se područje nalazi približno u središnjem i sjevernom dijelu uleknine. Općenito dovoljne količine matičnih stijena i kvaliteta organske tvari nije dokazana. Gotovo su sve količine otkrivenih ugljikovodika podrijetlom izvan područja uleknine, odnosno migrirali su iz prostora središnjeg dijela dravske potonine smještenih sjeverno i sjeveroistočno od bilogorske zone.

Analizom **petrofizikalnih parametara** određen je prostorni raspored i distribucija šupljikavosti u jezgrovanim dijelovima ležišta i susjednim područjima. Izračunate su vrijednosti korigirane šupljikavosti, dosega (prostorne autokorelacije) i varijance u dijelovima uleknine s dovoljnim brojem podataka. U jedinici Mosti vrijednosti korigirane šupljikavosti iznosile su između 5 i 10 %, što su pratile odgovarajuće vrijednosti propusnosti do nekoliko stotina  $10^{-3} \mu\text{m}^2$ . Doseg takve distribucije iznosio je od 0,39 do 1,65 m. U skladu s tim vrijednostima ovi rezervoari imaju dobre petrofizikalne karakteristike unutar cijele uleknine.

Pješčenjaci Poljana bili su sljedeća analizirana litostratigrafska jedinica. Vrijednosti dosega (0,21-1,41 m) i šupljikavosti (8,95-24,65 %) prelazile su vrijednosti prethodno opisanog člana. Međutim, prostorna promjenjivost tih vrijednosti je veća zbog česte vertikalne i lateralne promjene u litološkom sastavu te jedinice u gotovo cijelom području uleknine. Ležišta ugljikovodika i postojane petrofizikalne vrijednosti vezane su samo uz sjeverne dijelove uleknine.

Najmlađi pješčenjaci Pepelana litološki su sličnih obilježja kao prethodni član. Povoljna rezervoarska svojstva opažena su u području bilogorske zone, što je potvrđeno vrlo visokim izračunatim vrijednostima dosega (0,55-1,73 m) i šupljikavosti (do 30 %).

**Procijenjena je vjerojatnost** postojanja ležišta. Ona je obuhvatila izdvajanje i kvantificiranje četiri glavne kategorije vrijednosti važnih za nastanak ležišta ugljikovodika. Načinjena je geološka i vjerojatnosna procjena postojanja matičnih stijena i putova migracije, postojanja zamki i izolatorskih stijena, kvalitetnih rezervoara te postojanje kvalitetnih i pridobivih količina ugljikovodika. Procjena je načinjena za tri izdvojene jedinice i pojedine zone unutar njih. Jedinice su nazvane Mosti, Poljana i Pepelana prema litostratiskim članovima koje su obuhvatile. Zone su imenovane prema strukturama kartiranim i analiziranim unutar spomenutih jedinica.

Unutar jedinice Mosti generalno je procijenjena velika vjerojatnost za otkriće ugljikovodika koja iznosi 0,57 (1,0 je vjerojatnost od 100 %). Istraženost povoljnih naftnogeoloških struktura gotovo je potpuna tako da je procjena načinjena samo kod Dežanovca. Određena je vjerojatnost od 0,165. Nakon usporedbe s rizikom cijele jedinice Mosti vrijednost pada na samo 0,09. Unutar članova Poljana i Pepelana formacije Kloštar-Ivanić dobivene su veće vjerojatnosti, prvenstveno jer je istraženost tih jedinica izvan bilogorske zone relativno niska. Za cijelu jedinicu Poljana izračunata je vjerojatnost od 0,57, a izdvojene su tri zone unutar nje. Dvije zone (A i B) prikazane su samo kao primjer približnog smještaja i veličine očekivanih struktura u tome dijelu uleknine i njihova vjerojatnost je niska - 0,22. Najveća vjerojatnost od 0,66 vezana je uz područje Cremušine na sjeveroistoku, gdje također već postoje dvije bušotine. Kada se vjerojatnosti pojedinih zona usporede s vjerojatnošću cijele jedinice ukupna vjerojatnost iznosi 0,45. Jedinica Pepelana ima najveću ukupnu vjerojatnost od 0,51. Tako visoka vrijednost dobivena je prvenstveno zahvaljući zoni Šandrovac u kojoj je vjerojatnost otkrića novih zaliha ugljikovodika 1,0 (100 %), bilo na satelitskim ležištima, bilo da se omogući pridobivanje zaobiđene naftne. Također je ispitana zona Sedlarica. Promatrani sedimenti su smješteni vrlo plitko i vjerojatnost je samo 0,1, tj. radi se o potpuno neperspektivnom području.

**Ključne riječi:** bjelovarska uleknina, naftnogeološki odnosi, vjerojatnost, zalihe ugljikovodika, geostatistika, tektonika, stratigrafija.

## SUMMARY

Bjelovar sag area covers approximately 2900 km<sup>2</sup>. It is well explored by more than 500 wells, dozens of seismic reflection profiles and gravimetric mapping in the western and northwestern parts. In this Thesis, stratigraphic, seismic, petrophysical and geochemical data are collected, analysed, interpreted and reinterpreted. These data were available mostly from twelve oil and/or gas fields of different size, located mostly along the sag margins. Those fields are Lepavina, Jagnjedovac, Mosti, Hampovica, Čepelovac, Šandrovac, Sedlarica, and Gakovo, located within the Bilogora zone, and Letičani, Galovac-Pavljani, Velika Ciglena and Grubišno Polje located in the central and eastern part of the sag. About 4 % of all wells are marked as regional.

The goal was to determine the probability potential on discovering some new oil and/or gas reservoirs in the sag area, i.e. evaluation of their positions. Performed analyses are separated in several different groups. Obtained results allowed me to reconstruct the sedimentary and structural evolution of the study area, to estimate the maturity of possible source rocks, the distribution of petrophysical data and to separate possible new reservoir locations and volumes of traps.

**Lithological composition, stratigraphic position and petrophysical properties** of Neogene-Quaternary sediments and basement rocks have been determined from well's file data. Also, environments of Neogene-Quaternary sedimentation are interpreted. Badenian, Sarmatian, Pannonian and Lower Pontian sediments are described in more detail, since these are characterised with the highest potential with respect to reservoir and source rock properties.

As the most promising reservoir areas, the highest part of basement rocks and lower parts of Neogene sediments are marked. Older Neogene sediments are interpreted as Mosti member. Basement is represented with Palaeozoic and Mesozoic rocks. These promising reservoirs, which are located in the northern, northeastern and central part of the Bjelovar sag, could be in the range of supposed migration pathways. Although these are two lithologically different entireties, together they represent unique reservoirs and hydrodynamic units, which are linked with particular tectonic blocks.

Poljana and Pepelana sandstones are selected as younger potential reservoir units. They are both of Upper Pontian age and marked as good collectors with stable reservoir properties only in the northern and partially in the northeastern part of the sag. In other parts marl's portion is very significant. A total domination of impermeable sediments is locally observed, especially along the margins of Moslavacka gora Mt., on the southern and southwestern parts of the sag. Also, hydrocarbon's degradations, as a result of penetration of surface water, are determined.

**Structural-tectonic interpretation** was performed with solving of selected seismic sections and with mapping of corresponding electrolog markers that separate particular lithostratigraphic formation in Drava depression. Here is included one "lower" electrolog-marker (Rs7) that marks the border between Mosti and Križevci members in the oldest Neogene Moslavacka gora formation. Marker Rs7 is outlined because of its oil-geological significance. Two fault systems and accompanied structures are described. The first fault system strikes approximately north/northeast-south/southwest (approximately transversal), and the second strike approximately west/northwest-east/southeast (approximately longitudinal). Predominant fault activity is confirmed within Badenian-Lower Pannonian time for normal faults, and within Upper Pannonian-Quaternary for reverse faults. However, locally there was a deviation of such a rule. Fault zones are determined as permeable for fluids. That is unfavourable for oil-geological analyses, i.e. for creating of reservoirs. Older Neogene is characterised by extension, which probably started in Ottangian and Karpatian, but for sure during Badenian when it reached its maximum. The result is disintegration of the upper

part of basement rocks and sedimentation of coarse-grained sediments, mostly in the alluvial-fan environments that are characterised by a strong and short transport. In Sarmatian tectonic activity was not such intensive, and Lower Pannonian has been characterised by changing of mechanism that caused tectonic movements in the whole Pannonian basin system. Thermal subsidence of entire basin system gave a different impulse for movements and dislocations of sediments. Some fault systems are reactivated, while new ones are activated as well.

Upper Badenian, Sarmatian and Lower Pannonian pelitic sediments are locally determined as possible source rocks based on organic matter content and thermal maturity. Five **geochemical parameters** are chosen and analysed in these sediments. These are observed in those parts of the sag where any hydrocarbon generation potential has been evaluated. Almost all kerogene is determined as transition between II and III types. Different type is found only on two places. Kerogene type III is found near Velika Ciglena, and transitional kerogene I and II types on the Galovac-Pavljani field. It is determined that younger part of the Mosti member has the best source rocks with regard to  $C_{org}$  and  $S_2$  values, as well as portion of kerogene type II. Some favourable places for hydrocarbon generation are selected. The most favourable area is Velika Ciglena where at present described sediments are deeper than "oil-window" zone. Second place is nearby Nova Rača where these sediments are in the "oil-window" zone. Total area where sediments regarding their depth, vitrinite reflectance, index of thermal maturity and quantity and type of organic matter could posses some source rock's properties covers about 18,5 % of the Bjelovar sag. That area is approximately in the central and northern parts of the sag. Generally enough quantities of source rocks and quality of organic matter are not proved. Almost whole hydrocarbon's reserves discovered in the Bjelovar sag migrated from the central part of the Drava depression located northern and northeastern from the Bilogora zone.

Spatial position and distribution of porosity in the cored parts of reservoirs and neighbouring areas were determined by **petrophysical parameter analyses**. Values of corrected porosity, range (spatial autocorrelation) and variance are calculated within those parts of the sag where enough number of data exists. In the Mosti member corrected porosity values range between 5-10 %, accompanied by adequate permeability values even up to the few hundreds  $10^{-3} \mu\text{m}^2$  units. Distribution range was 0.39-1.65 m. Accordingly, these reservoirs have good petrophysical properties within the entire sag.

The next analysed lithostratigraphic unit was Poljana sandstones. Range (0.21-1.41 m) and especially porosity (8.95-24.65 %) values were often higher then those in the previous unit. However, spatial variation of these values is higher due to a frequent vertical and lateral change in lithological composition of this unit over almost the entire area of the sag. Hydrocarbon reservoirs and stable petrophysical values could be found only in the northern parts of the sag.

The youngest Pepelana sandstones have lithologically similar properties as the previous unit. Favourable reservoir properties are observed only in the Bilogora zone, as documented by very high calculated range values (0.55-1.73 m) and porosity (up to 30 %).

**Probability** of reservoir's existence has been evaluated. It comprised a selection and quantification of the four main categories of values that are important for hydrocarbon's reservoirs creation. Geological and probability evaluation of source rocks and migration pathways, traps and isolators, good reservoirs, together with evaluation of quality and recoverable hydrocarbons has been performed. The evaluation is made for three selected units and particular zones inside them. These units are named Mosti, Poljana and Pepelana after comprising lithostratigraphic units. Zones are named after structures that were mapped and analysed in mentioned units.

Generally, high probability in Mosti unit of 0.57 is calculated (1.0 is probability of 100 %). Unfortunately, oil-geological favourable structures are explored almost completely. It is why the new estimation is performed only by the Dežanovec locality. Here, the calculated value is 0.165, and after comparison by risk of the whole unit, a new obtained value is only 0.09. Higher values are obtained for the Poljana and Pepelana members of the Kloštar-Ivanić formation, mostly because these units are relatively low explored outside the Bilogora zone. Poljana unit has probability of 0.57, and three zones are selected. Two of them (zones A & B) are shown only as examples of approximately location and size of expected structures in that part of the Bjelovar sag. Their probability is low - 0.22. The highest probability of 0.66 is assigned to the Cremušina zone on the northeast. There are already two wells. Total probability of Poljana unit (probability of the whole unit compared with probability of particular zones) is 0.45. Pepelana unit reached the highest total probability of 0.51. Such a high value is calculated mostly due to the Šandrovac zone, where probability for new hydrocarbon's discoveries is 1.0 (100 %). It points out that there are certain new reserves within the satellite reservoirs/fields or in recovering of by-passed oil. Also the Sedlarica zone was explored. However, observed sediments are very shallow and probability is only 0.1, i.e. it is completely unfavourable area.

**Key words:** the Bjelovar sag, oil-geological relations, probability, hydrocarbon reserves, geostatistics, tectonics, stratigraphy.

## ŽIVOTOPIS

Rođen sam u Zagrebu 17. siječnja 1971. godine, gdje sam završio srednju školu "Nikola Tesla" (danasm X. gimnazija), matematičko-informatički smjer.

Dodiplomski studij geologije započeo sam 1991. godine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Ukupni prosjek ocjena na dodiplomskom studiju iznosio je 4,41. Diplomirao sam ocjenom izvrstan 9. lipnja 1995. na smjeru Geologija ležišta mineralnih sirovina i primjenjena geofizika s radom "*Geološki odnosi područja Virovitica-Rezovačke Krčevine-Orešac*". Voditelj rada bila je prof. dr. sc. Josipa Velić, kod koje sam također u školskim godinama 1993./94. te 1994./95. bio postavljen za demonstratora. U školskoj godini 1993./94. primaо sam stipendiju Sveučilišta u Zagrebu. Godine 1994. dobio sam Rektorovu nagradu za studentski rad "*Interpretacija nagiba slojeva u dubokim dijelovima dravske depresije*".

Kao znanstveni novak zaposlio sam se u Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta 1. rujna 1995. godine. U školskoj godini 1995./96. upisao sam poslijediplomski studij geologije, smjer Geologija nafte i plina, na istome fakultetu. Sve ispite položio sam ocjenom izvrstan. Istim uspjehom obranio sam magistarsku radnju "*Strukturni i tektonski odnosi, te značajke ugljikovodika širega područja naftnoga polja Galovac-Pavljani*" dana 29. prosinca 1998. Voditelj rada bio je prof. dr. sc. Zvonimir Hernitz. Od 1999. godine, također pod mentorstvom prof. dr. sc. Zvonimira Hernitza, pripremam doktorsku disertaciju naslovljenu "*Naftogeološki odnosi i vjerojatnost pronađaska novih zaliha ugljikovodika u bjelovarskoj uleknini*".

Od kada sam se zaposlio u Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo radio sam kao znanstveni novak, prvo u svojstvu mlađeg asistenta, a od 1999. godine asistenta, pod vodstvom prof. dr. sc. Zvonimira Hernitza. Između ostalih pomagao sam u izvođenju praktičnog dijela nastave (vježbi) na sljedećim kolegijima: Geologija kaustobiolita i Dubinsko kartiranje (za studente geološkog odjela), Geologija ležišta fluida (za studente naftnog odjela) te Geologije energetskih sirovina (za studente rudarstva).

S prof. dr. sc. Zvonimirovom Hernitzom surađivao sam i na drugim aktivnostima. Bio sam tajnik Programskog odbora 2. i 3. međunarodnog naftogeologijskog skupa održanih 1999. i 2002. godine u Zagrebu. Također obavljao sam tajničku dužnost Sekcije za geologiju, geofiziku i geokemiiju ZVN HAZU u razdoblju od 1999. do 2002. godine. Član sam i predstavnik za Hrvatsku *American Association of Petroleum Engineers* (AAPG). Član sam i urednik Vijesti Hrvatskog geološkog društva.

Od 1. kolovoza 2002. godine zaposlen sam u Poslovnoj jedinici za primjenjenu geofiziku i modeliranje pri Službi za geološku razradu ležišta. Služba pripada Sektoru za razradu INA-Naftaplina. Radim na poslovima specijalista iz područja geostatistike, odnosno geostatističkim analizama petrofizikalnih parametara i seizmičkih atributa te određivanju prostorne raspodjele odabranih geoloških varijabli na različitim naftnim i ili plinskim poljima.

## **Znanstveni i stručni radovi:**

MALVIĆ, T. (1998): *Strukturni i tektonski odnosi te značajke ugljikovodika širega područja naftnoga polja Galovac-Pavljani*. Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, p. 112, Zagreb.

MALVIĆ, T. (1999): *Ležišne vode naftnoga polja Galovac-Pavljani*. Hrvatske vode, 27/7, p. 139-148, Zagreb.

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

HERNITZ, Z., BOKOR, N. & MALVIĆ, T.: *Probability Evaluation of New Hydrocarbon Discoveries in Selected Parts of the Sava and Drava Depressions, Croatia*. 2<sup>nd</sup> međ. naftnogeol. znanstv. skup, zbornik radova, pos. izd. Nafte, p. 145-155, Zagreb.

## **Radovi objavljeni na simpozijima:**

HERNITZ, Z., BOKOR, N. & MALVIĆ, T. (1999): *Probability Evaluation of New Hydrocarbon Finds in Some Parts of Sava and Drava Depressions*. 2<sup>nd</sup> međ. naftnogeol. znanstv. skup (Zagreb, 22.-24. 4. 1999.), radni materijali, izd. Rud.-geol.-naft. fak., Zagreb.

MALVIĆ, T. & HERNITZ, Z. (2000): *Structural Dynamics at the Southern Part of the Drava Depression: Sedimentation and Structures in the Northern Part of Bjelovar Sag, Croatia*. Pancardi 2000 (Dubrovnik, 1.-3. 10. 2000), Vijesti HGD-a, 37/3, p. 74-76, Zagreb.

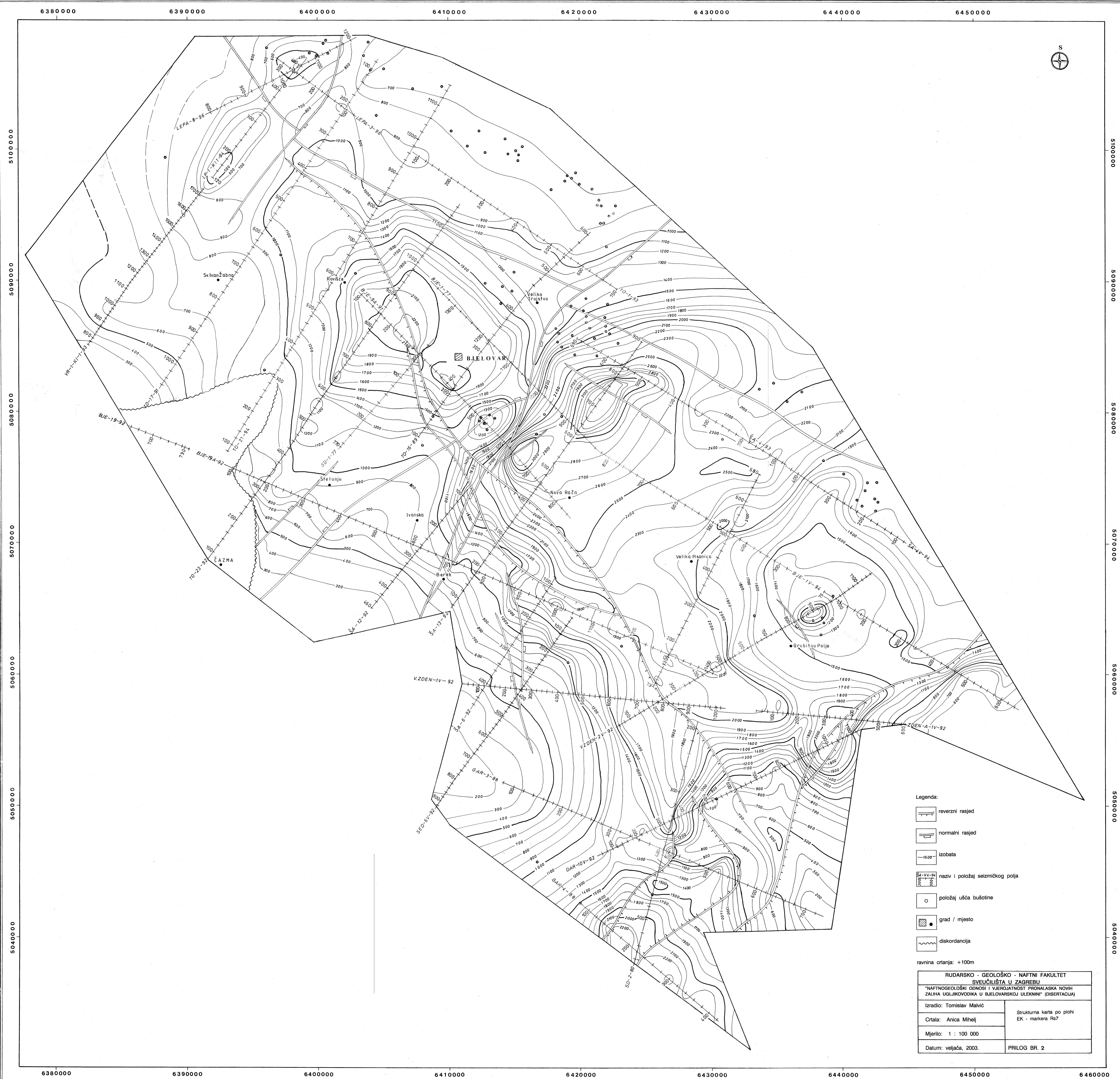
HERNITZ, Z., BOKOR, N. & MALVIĆ, T. (2001): *Geostatistical Modelling of Petrophysical Data of Oil Fields in the Northern Croatia*. 63<sup>rd</sup> EAGE Conference & Technical Exhibition (Amsterdam, 11.-15. 7. 2001.), zbornik radova.

KALAC, K., HERNITZ, Z., VELIĆ, J. & MALVIĆ, T. (2002): *Stratigraphy of Coarse Grained Clastics of the Fields Obod, Ladislavci and Crnac (Croatia)*. 64<sup>th</sup> EAGE Conference & Technical Exhibition (Firenca, 27.-30. 5. 2002.), zbornik radova.

## **Ostalo**

Pristupnik je također publicirao 5 stručno-popularnih radova, nekoliko izvješća s konferencija u stručnim časopisima (Nafta, Vijesti HGD-a) te održao jedno predavanje u Hrvatskoj akademiji znanosti i umjetnosti.





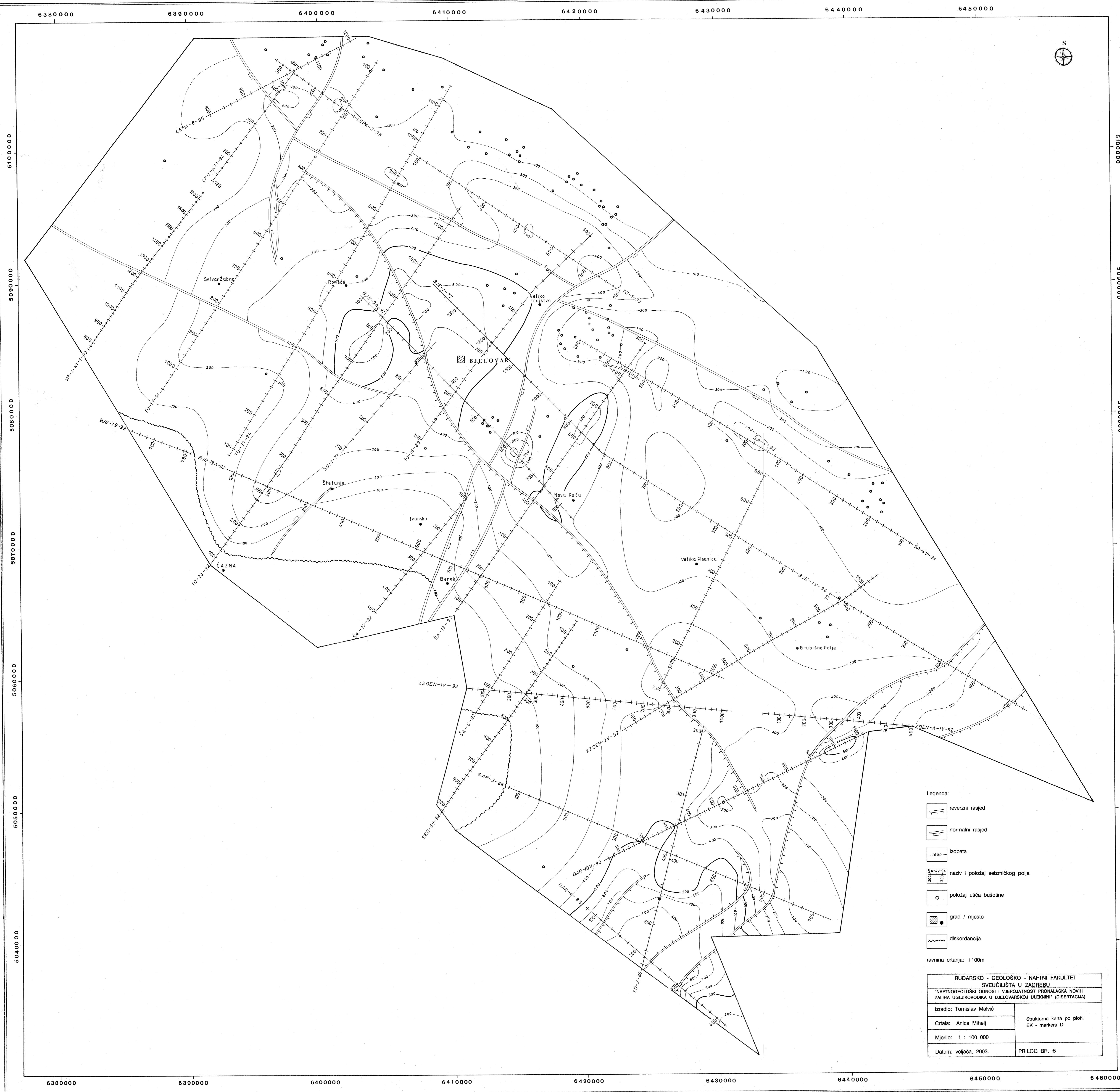


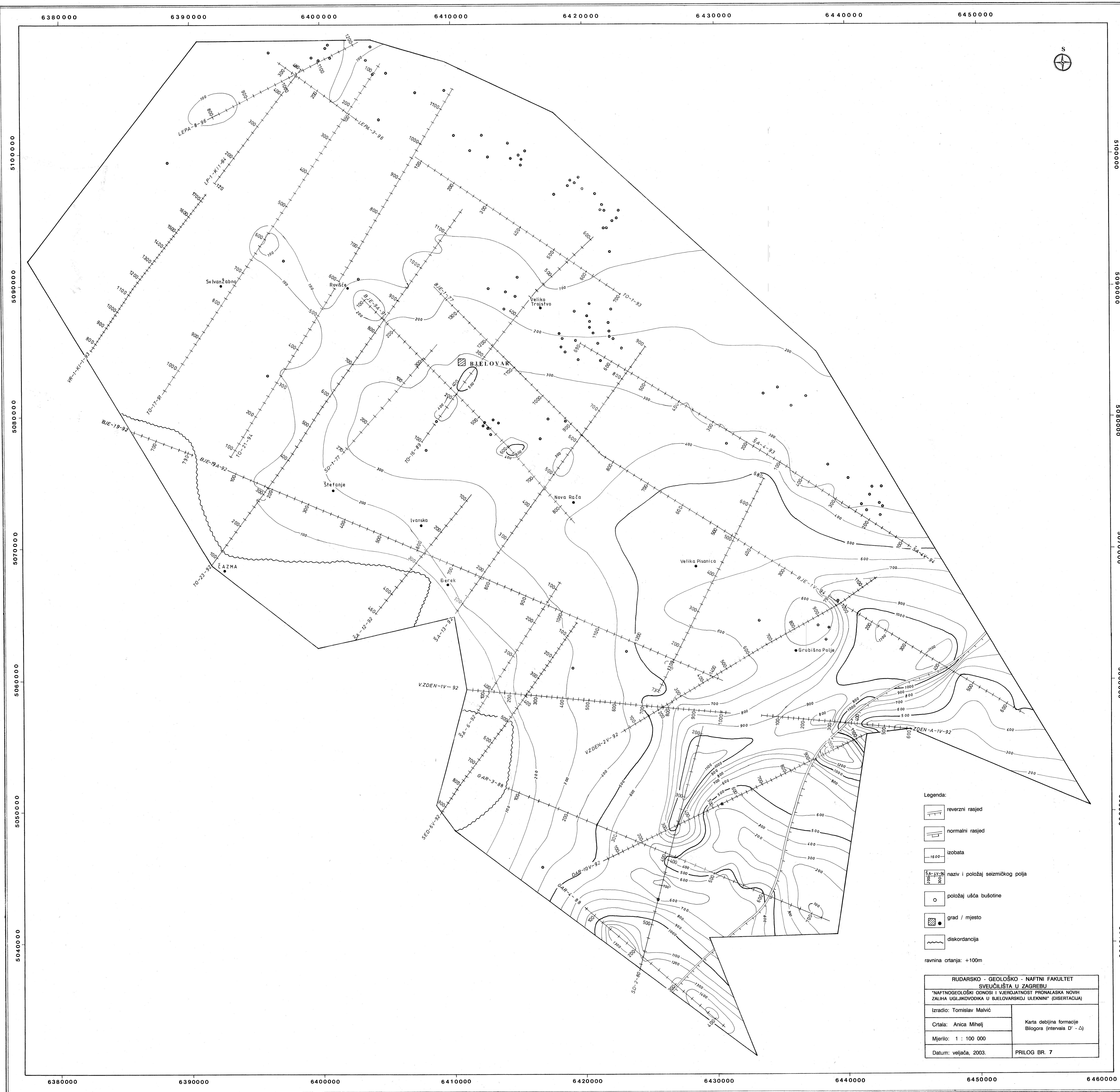
RUDARSKO - GEOLOŠKO - NAFTNI FAKULTET  
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU  
"NAFTNOGEOLÓŠKI ODNOŠI I VJEROJATNOST PRONALASKA NOVIH  
ZALIHA UGLJKOVODIKA U BJELOVARSKOJ ULEKNINI" (DISERTACIJA)  
Izradio: Tomislav Malvić  
Crtala: Anica Mihelj  
Mjerilo: 1 : 100 000  
Datum: veljača, 2003.

Strukturalna karta po plohi  
EK - markera R5  
PRILOG BR. 3

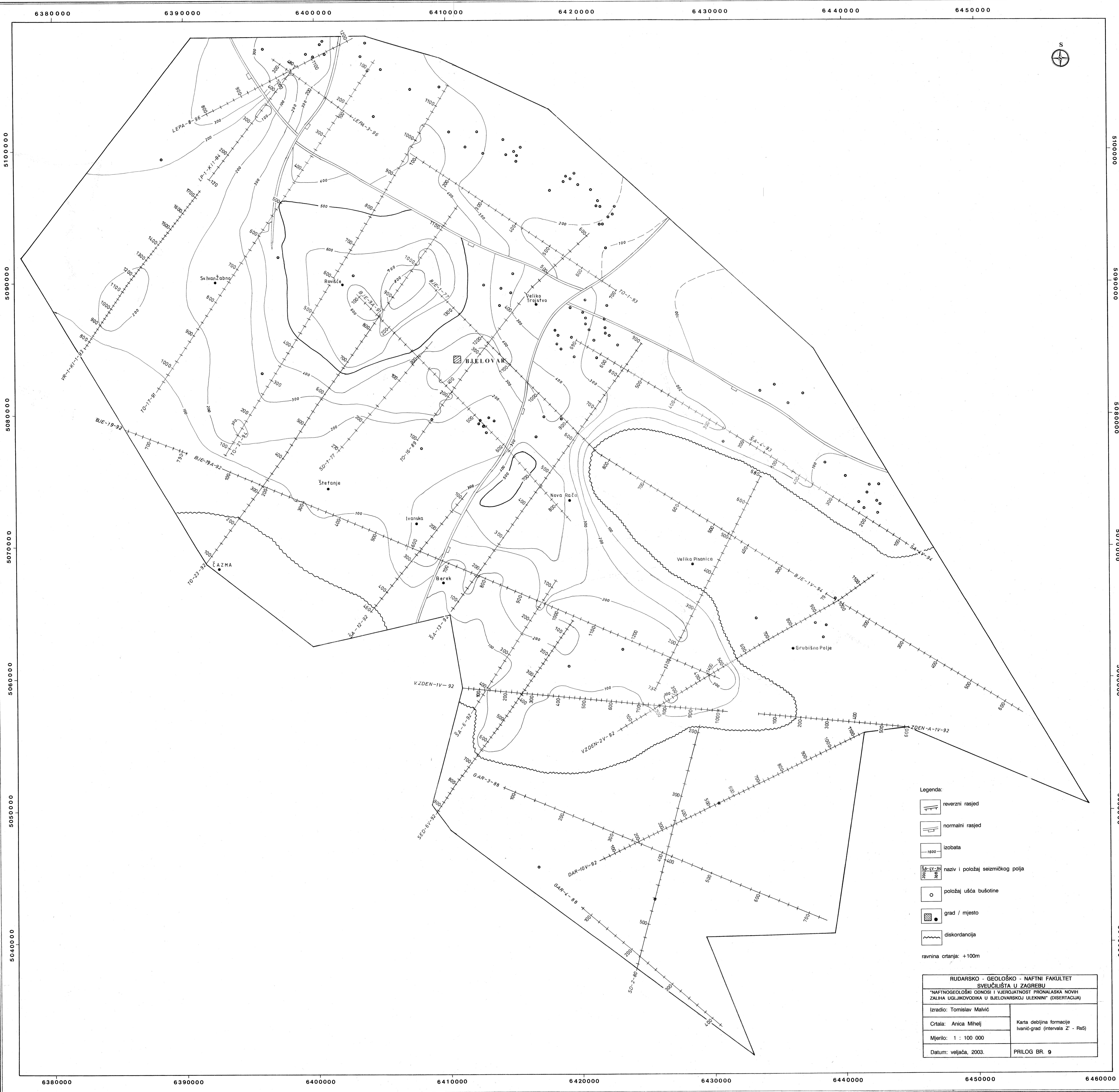


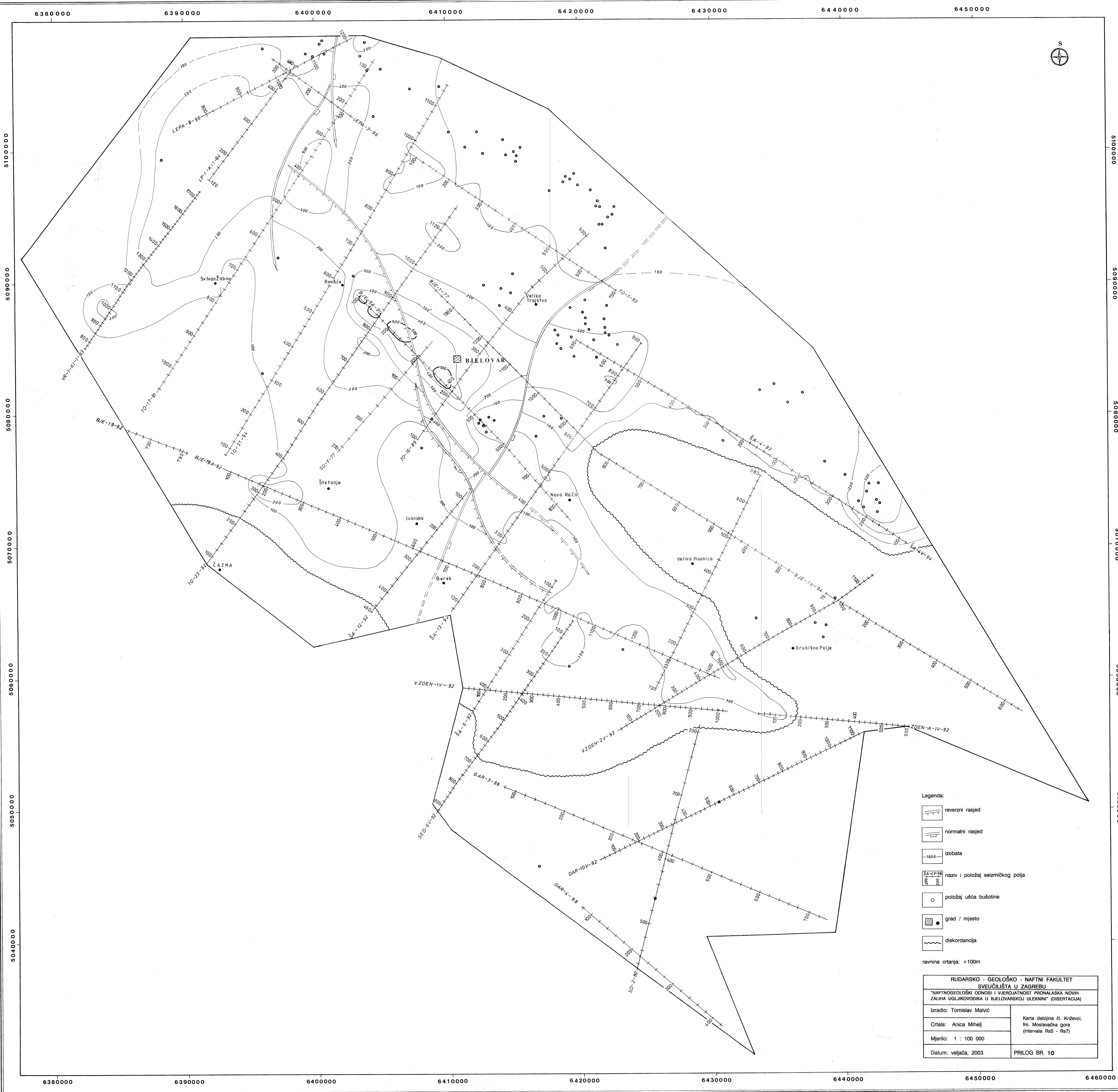




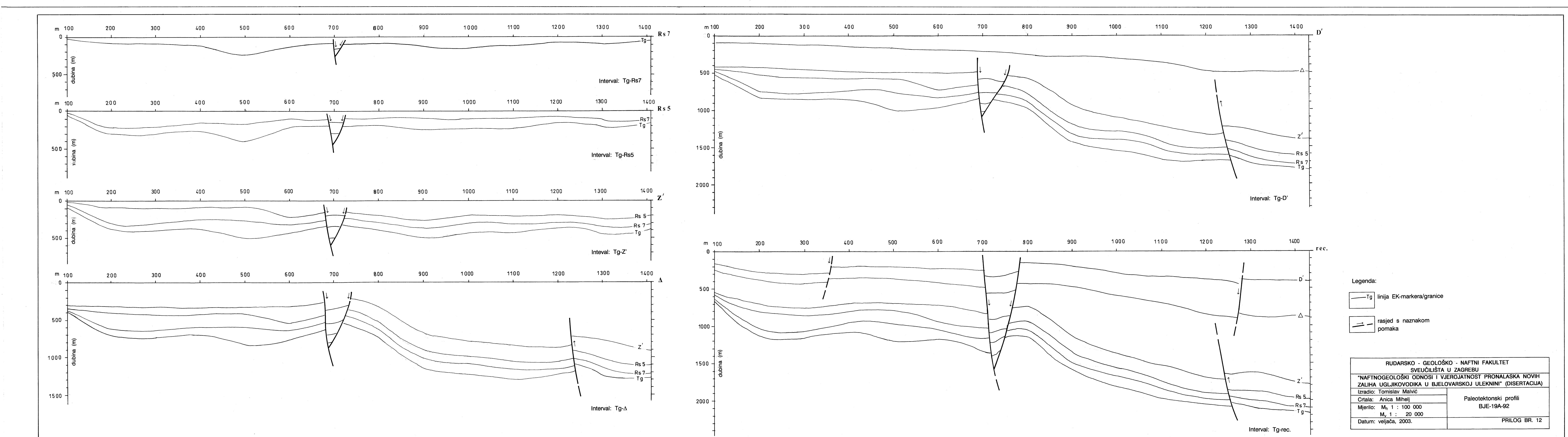












## **PRILOG BR. 13**

### **Programski kod za semivariogramsku analizu napisan u programskom jeziku Microsoft Visual Basic<sup>TM</sup>**

#### **Option Explicit**

```
' SEMIVARIOGRAMSKI dio programa
Dim vrijednost(55, 55)
Dim gamma(100)
Dim x, y, z, a, b, h, s, brojač As Integer
Dim brpod, brkoraka As Integer
Dim vri, srvri, varpom, var, doseg, minkvadsfe, minkvadeks
Dim izbor As Integer
Dim enter$
' TEORETSKI MODELI
Dim eks(100), sfe(100), deveks(100), devsfe(100)
Dim C
```

#### **Private Sub Form\_Load()**

```
' početne VARIJABLE
s = 0: h = 1: brojač = 0: var = 0
brpod = 0: brkoraka = 0
' početni NATPISI za SEMIVARIOGRAMSKI DIO
F_Semivariogram.Caption = "Semivariogram"
L_Podaci = "Rezultati gamma"
L_Udaljenost = "Najveći h": TB_Udaljenost = 0
L_Gornji_zbrojevi = "Gornji zbrojevi"
L_Brojač = "Broj parova": TB_Brojač = brojač
L_Varijanca = "Prag": TB_Varijanca = var
L_Doseg = "Doseg (x0,5 m)": TB_Doseg = 0: doseg = 0
L_Srednji = "Sr. vrijednost": TB_Srednji = 0
' početni natpisi za TEORETSKE modele
L_Sferni = "Sferni model": L_Eksp = "Eksp. model"
L_Najkvadeks = "Kvad. odst.": L_Najkvadsfe = "Kvad. odst."
TB_Najkvadeks = 0: TB_Najkvadsfe = 0
End Sub
```

#### **Private Sub Učitaj\_datoteku\_Click()**

```
' UČITAVA podatke
Open "C:\VB moji programi\Podaci.dkt" For Input As #1
For y = 1 To 55
    For x = 1 To 55
        Input #1, vri
        vrijednost(y, x) = vri
        If vri > 0 Then
            ' BROJI podatke
            brpod = brpod + 1
        End If
    Next x
    ' preskače znak za novi red
    Input #1, enter$
```

```
Next y  
Close #1  
End Sub
```

```
Private Sub Snimi_datoteke_Click()  
' snima SEMIVARIOGRAM  
Open "C:\VB moji programi\Semivariogram.dkt" For Output As #1  
For y = 1 To h  
Write #1, gamma(y)  
Next y  
' pridaje PRAG, DOSEG i ENTER  
Write #1, var  
Write #1, doseg  
Close #1  
' snima TEORETSKE modele  
Open "C:\VB moji programi\Sforni.dkt" For Output As #1  
Open "C:\VB moji programi\Ekspon.dkt" For Output As #2  
For x = 1 To h  
    Write #1, sfe(x)  
    Write #2, eks(x)  
Next x  
    Write #1, minkadsfe  
    Write #2, minkadeks  
Close #1  
Close #2  
End Sub
```

```
Private Sub Snimi_praznu_datoteku_Click()  
' snima PRAZNU DATOTEKU na hard disk  
Open "C:\VB moji programi\Podaci.dkt" For Output As #1  
For y = 1 To 55  
For x = 1 To 55  
    vrijednost(y, x) = 0  
    Write #1, vrijednost(y, x),  
Next x  
    Write #1, Chr$(13)  
Next y  
Close #1  
End Sub
```

```
Private Sub Ispisi_datoteku_Click()  
' Ispis na PRINTER  
For y = 1 To 55  
For x = 1 To 55  
    Printer.Print vrijednost(y, x);  
Next x  
Printer.Print Chr$(10)  
Next y  
Printer.EndDoc  
End Sub
```

```

Private Sub Semivariogram_Click()
' račun i ispis SREDNJE VRIJEDNOSTI
Dim s2, brojač2 As Integer
s2 = 0: brojač2 = 0
For y = 1 To 55
For x = 1 To 55
    If vrijednost(y, x) > 0 Then
        s2 = s2 + vrijednost(y, x)
        brojač2 = brojač2 + 1
    End If
Next x
Next y
    srvri = s2 / brojač2
    TB_Srednji = srvri
' račun i ispis PRAGA (varijance)
Dim varpom
varpom = 0
For y = 1 To 55
For x = 1 To 55
    If vrijednost(y, x) > 0 Then
        varpom = varpom + (vrijednost(y, x) - srvri) ^ 2
    End If
Next x
Next y
    var = varpom / (brojač2 - 1)
    TB_Varijanca = var
' račun SEMIVARIOGRAMA - gamma()
Do While h <= (brpod / 2)
brkoraka = brkoraka + 1
brojač = 0: s = 0: srvri = 0
For y = 1 + h To 55 - h
For x = 1 + h To 55 - h
    For b = -h To h Step h
    For a = -h To h Step h
        If vrijednost(y + b, x + a) > 0 And vrijednost(y, x) > 0 Then
            s = ((vrijednost(y, x) - vrijednost(y + b, x + a)) ^ 2) + s
            If b <> 0 Or a <> 0 Then
                brojač = brojač + 1
            End If
        End If
    Next a
    Next b
Next x
Next y
gamma(h) = s / (2 * brojač)
Dim gammastring As String
gammastring = CStr(gamma(h))
LB_Podaci.AddItem Left(gammastring, 6)
' ispis GORNJIH ZBROJEVA
LB_Gornji_zbrojevi.AddItem s
' ispis broja USPOREĐENIH PAROVA

```

```

TB_Brojač = brojač
' ispis UDALJENOSTI (h)
TB_Udaljenost = h
' račun i ispis DOSEG
Dim dosegpom1, dosegpom2
If (gamma(h) > var And doseg = 0) Then
    dosegpom1 = gamma(h) - gamma(h - 1)
    dosegpom2 = var - gamma(h - 1)
    doseg = (h - 1) + (dosegpom2 / dosegpom1)
    TB_Doseg = doseg
End If
h = h + 1
Loop
' TEORETSKI MODELI
' privremene varijable
Dim deks, dsfe, z2
deks = 0: dsfe = 0: minkvadeks = 0: minkvadsfe = 0
' račun i ispis SFERNOG i EKSPON. modela
For z = 1 To h - 1
    C = var: a = doseg
    If a = 0 Then a = 0.001
    ' EKSPONENCIJALNI model
    eks(z) = C * (1 - Exp((-z) / a))
    LB_Eksp.AddItem eks(z)
    ' SFERNI model
    sfe(z) = C
    If (z < doseg) Then
        sfe(z) = C * (((3 * z) / (2 * a)) - ((z ^ 3) / (2 * (a ^ 3))))
    End If
    LB_Sforni.AddItem sfe(z)
' račun NAJMANJIH KVADRATA (odstupanja)
    minkvadeks = minkvadeks + (Abs(gamma(z) - eks(z)))
    minkvadsfe = minkvadsfe + (Abs(gamma(z) - sfe(z)))
' račun DEVIJACIJA oba modela
    For z2 = 1 To z
        deks = deks + ((eks(z) - srvri) ^ 2)
        dsfe = dsfe + ((sfe(z) - srvri) ^ 2)
    Next z2
    deveks(z) = Sqr(deks / z)
    devsfe(z) = Sqr(dsfe / z)
Next z
TB_Najkvadeks = minkvadeks
TB_Najkvadsfe = minkvadsfe
End Sub

```

**Private Sub Pomoć\_Click()**  
' Pomoć.HelpFile = "C:\VB Moji programi\Semivariogram\help.doc"  
End Sub

**Private Sub Kraj\_rada\_Click()**  
' KRAJ rada  
Dim a\$

```
Dim b$  
a$ = "Kraj rada?"  
b$ = "Kraj rada"  
izbor = MsgBox(a$, 20, b$)  
Select Case izbor  
    Case 6  
        End  
    Case 7  
        Exit Sub  
End Select  
End Sub
```