

# Analize i kartiranje geokemijskih i geoloških varijabli u prostoru Bjelovarske subdepresije

---

**Andrić, Kristina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:267279>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-29**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij naftnog rudarstva

**ANALIZE I KARTIRANJE GEOKEMIJSKIH I GEOLOŠKIH VARIJABLI U  
PROSTORU BJELOVARSKO-SUBDEPRESIJE**

Diplomski rad

Kristina Andrić

N353

Zagreb, 2021.

## ZAHVALA

*Prva i glavna zahvala mojem dragom mentoru prof. dr.sc. Tomislavu Malviću na nesebičnom davanju svoga vremena, znanja i vještina, ali i na njegovom strpljenju i savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada.*

*Druga, ali ne i manje važna zahvala mojim roditeljima Jozi i Sandri i mojem bratu Zvonimiru koji su mi neprestano bili veliki oslonac za vrijeme trajanja mojeg studija.  
Hvala Vam jer bez Vas ovo ne bih nikad uspjela.*

*Hvala dragom Antunu koji mi je strpljivo pomagao svih pet godina studija i uljepšao mi svaki dan na fakultetu.*

*Mojim kolegicama Ivani i Anesi hvala na uzajamnom pomaganju i strpljivosti od prvog dana na fakultetu.*

*Mojoj Župi „Marije Kraljice Apostola“, a posebno pateru Goranu i Anti i mojim dragim članovima zbora mladih „Apostoli“ se želim zahvaliti na potpori, savjetima i dobroj dozi smijeha.*

*Na kraju bih se zahvalila dragom Bogu koji je sve ovo omogućio i koji nije dozvolio da ikad posumnjam u svoje sposobnosti.*

***„Ne boj se, jer sam te otkupio, pozvao sam te po imenu: Moj si!“ Izaija 43,1***

## ANALIZE I KARTIRANJE GEOKEMIJSKIH I GEOLOŠKIH VARIJABLI U PROSTORU BJELOVARSKJE SUBDEPRESIJE

KRISTINA ANDRIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Analiziran je prostor Bjelovarske subdepresije. Ulazni podaci bile su vrijednosti geokemijskih varijabli, vitrinitne refleksije ( $R_o$ ) i vremensko-temperaturnog indeksa ( $TTI$ ) za bušotine Čep (polje), Pav-1, Gr (polje), Ha-7, Le-4, Rov-1, NG-1, VC-1, Vis-1 i Ulj-1 te njihove Gauss-Krügerove koordinate. Zbog nedostatka pet podataka vrijednosti  $TTI$ -ja i tri vrijednosti  $R_o$ -a, određena je termička zrelost stijena EASY% $R_o$  metodom. Pomoću nomograma se jednostavnom konverzijom odredila nepoznata varijabla iz para  $R_o$ - $TTI$ . Kartirano je metodom inverzne udaljenosti ( $IDW$ ) pomoću programskog paketa Surfer 8.0™. Metoda inverzne udaljenosti primijenjena je zbog svoje jednostavnosti u pripremi i brzini u proračunu, ali i dobivenog izlaza koji se može jednostavno i smisleno geološki interpretirati. Metoda inverzne udaljenosti ( $IDW$ ) je uobičajena metoda interpolacije karata za male uzorke (manje od dvadeset podataka) u Hrvatskom panonskom bazenskom sustavu. Nanovo načinjene digitalne karte poslužile su za doradu postojeće karte migracijskih putova ugljikovodika.

Ključne riječi: Bjelovarska subdepresija, kartiranje, interpolacija, metoda inverzne udaljenosti, Surfer 8.0™.

Diplomski rad sadrži: 66 stranica, 34 slike, 4 tablice i 83 referenci.  
Jezik izvornika: hrvatski  
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb.

Voditelj: dr. sc. Tomislav Malvić, redoviti profesor RGNF-a

Ocjenjivači: dr.sc. Tomislav Malvić, redoviti profesor RGNF-a  
dr. sc. Rajna Rajić, redovita profesorica RGNF-a  
dr. sc. Uroš Barudžija, izvanredni profesor RGNF-a

Datum obrane: 10. rujna 2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

**ANALYSIS AND MAPPING OF GEOCHEMICAL AND GEOLOGICAL VARIABLES  
IN THE AREA OF BJELOVAR SUBDEPRESSION**

KRISTINA ANDRIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The area of Bjelovar subdepression was analyzed at the regional level (the entire subdepression). Input data were values of geochemical variables, vitrinite reflection ( $R_o$ ) and Time Temperature Index of Maturity ( $TTI$ ) for wells Čep (field), Pav-1, Gr (field), Ha-7, Le-4, Rov-1, NG-1, VC - 1, Vis-1 and Ulj-1 and their Gauss-Krüger coordinates. Due to the lack of five  $TTI$  value data and three  $R_o$  values, the thermal maturity of the rocks was determined by the EASY% $R_o$  method. Using a nomogram, an unknown variable from the  $R_o$ - $TTI$  pair was determined by simple conversion. Mapping was carried out by Inverse Distance Weighting method using the Surfer 8.0™ software package. The Inverse Distance Weighting method was applied due to its simplicity in preparation and speed in the calculation, but also the obtained output, which is relatively clear. Furthermore, within the subdepression, the Inverse Distance Weighting method ( $IDW$ ) has been identified as the most appropriate interpolation method because it is a common method, of interpolating maps for small samples (less than twenty pieces of data) in CPPB. The newly created digital maps served as a new map of hydrocarbon migration pathways.

Keywords: Bjelovar subdepression, mapping, interpolation, Inverse Distance Weighting, Surfer 8.0™.

Thesis contains: 66 pages, 34 figures, 4 tables and 83 references.

Original in: Croatian.

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb.

Supervisor: Full Professor Tomislav Malvić, PhD

Reviewers: Full Professor Tomislav Malvić, PhD  
Full Professor Rajna Rajić, PhD  
Associate Professor Uroš Barudžija, PhD

Date of defense: September 10, 2021, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
University of Zagreb.

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA</b> .....	I
<b>POPIS TABLICA</b> .....	III
<b>POPIS KORIŠTENIH KRATICA I OZNAKA</b> .....	IV
<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. GEOGRAFSKA OBILJEŽJA</b> .....	3
2.1. Geografski smještaj i položaj.....	3
2.2. Regije i administrativni ustroj .....	4
2.3. Obuhvaćena naselja i prometnice .....	4
2.4. Mjesta s poznatim bušotinskim podacima.....	7
2.5. Hidrografska mreža .....	9
2.6. Klimatska obilježja .....	11
<b>3. POVIJEST DOSADAŠNJIH NAFTNOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA</b> .....	13
3.1. Razdoblje od završetka Drugog svjetskog rata do kraja sedamdesetih godina prošlog stoljeća .....	14
3.2. Razdoblje od početka osamdesetih godina prošlog stoljeća do danas.....	15
<b>4. OSNOVNA GEOLOŠKA OBILJEŽJA HRVATSKOG PANONSKOG BAZENSKOG SUSTAVA (skr. HPBS) I BJELOVARSKE SUBDEPRESIJE</b> .....	17
4.1. Tektonska povijest PBS-a.....	19
4.2. Evolucija i današnji izgled Bjelovarske subdepresije u okviru Dravske depresije i Panonskog bazenskoga sustava .....	21
4.3. Kronostratigrafska podjela HPBS-a uz navođenje litostratigrafije .....	23
<b>5. GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE I TERMIČKA ZRELOST STIJENA</b> .....	27
5.1. Arrheniusova jednadžba kemijsko-kinetičke teorije .....	27
5.2. Vremensko-temperaturni indeks, geotermijski gradijent i vitritna refleksija.....	28
5.3. Određivanje termičke zrelosti (metoda EASY% $R_o$ ).....	32
<b>6. RAČUNALNA IZRADBA DUBINSKIH KARATA PROMATRANIH GEOKEMIJSKIH VARIJABLI</b> .....	38
6.1. Interpolacijske metode.....	41
6.2. Metoda inverzne (obrnute) udaljenosti ( <i>IDW</i> (engl. <i>Inverse Distance Weighting</i> )).....	41

6.3. Korišteni računalni program .....	47
<b>7. REZULTATI DUBINSKOGA KARTIRANJA GEOKEMIJSKIH VARIJABLI METODOM INVERZNE UDALJENOSTI.....</b>	<b>49</b>
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>57</b>
<b>9. POPIS LITERATURE .....</b>	<b>59</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Geografski položaj Bjelovarske subdepresije.....	3
Slika 2-2. Geografska karta istraživanog područja Bjelovarske subdepresije.....	5
Slika 2-3. Položaj Bjelovarske subdepresije i cestovni pravci Bjelovarsko-bilogorske županije .....	6
Slika 2-4. Položaj polja i istraživačkih bušotina iz kojih su dobiveni podatci .....	8
Slika 2-5. Mreža tekućica u području Bjelovarske subdepresije.....	10
Slika 2-6. Köppenova klasifikacija klime.....	11
Slika 3-1. Prva petrografska, odnosno litostratigrafska karta Moslavačke gore, koju je izradio Farkaš Vukotinović, prvi hrvatski prirodoslovac 1852. godine.....	13
Slika 4-1. Glavne geotektonske jedinice unutar Panonskoga bazenskog sustava .....	18
Slika 4-2. Položaj Bjelovarske subdepresije unutar HPBS-a .....	19
Slika 4-3. Skica paleosmjera turbiditnih struja tijekom gornjeg pontu u HPBS-u .....	21
Slika 4-4. Shematski blok-dijagramski prikaz nastanka romboidne grabe .....	22
Slika 4-5. Depresije i subdepresije unutar hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava .	23
Slika 4-6. Osnovna geološka karta M 1:100 000 Bjelovara: list Bjelovar 33 s ucrtanim (djelomičnim) granicama Bjelovarske subdepresije.....	24
Slika 4-7. Kronostratigrafske jedinice Dravske depresije .....	26
Slika 5-1. Raspodjela toplinskog toka u Hrvatskoj .....	30
Slika 5-2. Nova karta geotermalnih gradijenata na području kontinentalne Hrvatske .....	31
Slika 5-3. Određivanje vrijednosti $R_o$ i $TTI$ uz različite iznose termijskog zagrijavanja .....	33
Slika 5-4. Određivanje vrijednosti $R_o$ uz poznatu vrijednost $TTI$ -ja na primjeru bušotine Vis-1 .....	33
Slika 5-5. Izračunate i izmjerene vrijednosti vitritne refleksije u taložinama fm. Moslavačka gora. ....	34
Slika 5-6. Izračunate i izmjerene vrijednosti vremensko-temperaturnog indeksa u sedimentima formacije Moslavačka gora. ....	35
Slika 5-7. Krivulja i proračun vrijednosti $TTI$ u bušotini Rovišće-1 .....	36
Slika 5-8. Krivulja i proračun vrijednosti $TTI$ u bušotini Vis-1 .....	36
Slika 5-9. Krivulja i proračun vrijednosti $TTI$ u bušotini Velika Ciglena-1 .....	37



Slika 6-1. Oblik „leptira“ opažen na liniji jednake poroznosti „15“ u središtu karte.....	39
Slika 6-2. Pretraživani elipsoid, mjerene i procijenjene točke upotrijebljene za <i>IDW</i> izračun.....	43
Slika 6-3. Prikaz posljedice promjene vrijednosti težinskog koeficijenta udaljenosti ( <i>p</i> ) na strukturnoj karti <i>IDW</i> -a dobivena interpolacijom varijable <i>R<sub>o</sub></i> .....	44
Slika 6-4. Prikaz posljedice promjene vrijednosti težinskog koeficijenta udaljenosti ( <i>p</i> ) na strukturnoj karti <i>IDW</i> -a dobivena interpolacijom varijable <i>TTI</i> .....	45
Slika 6-5. Primjer sučelja i ulaznih podataka u Surferu 8.0 <sup>TM</sup> .....	47
Slika 6-6. Primjer sučelja u Surferu 8.0 <sup>TM</sup> .....	48
Slika 7-1. 2D karta geokemijske varijable <i>R<sub>o</sub></i> u prostoru Bjelovarske subdepresije.....	51
Slika 7-2. 3D karta geokemijske varijable <i>R<sub>o</sub></i> u prostoru Bjelovarske subdepresije.....	52
Slika 7-3. 2D karta geokemijske varijable <i>TTI</i> u prostoru Bjelovarske subdepresije.....	53
Slika 7-4. 3D karta geokemijske varijable <i>TTI</i> u prostoru Bjelovarske subdepresije.....	54
Slika 7-5. Nova karta migracijskih putova ugljikovodika.....	56

## POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Imena eksploatacijskih polja i bušotina korištenih za kartiranje.....	9
Tablica 4-1. Vremenska skala glavnih tektonskih i taložnih razdoblja u neogenu i kvartaru unutar HPBS-a.....	21
Tablica 7-1. Ulazni podatci za izradbu karata vitrinitne refleksije ( $R_o$ ) metodom inverzne udaljenosti.....	49
Tablica 7-2. Ulazni podatci za izradbu karata vremensko-temperaturnog indeksa ( $TTI$ ) metodom inverzne udaljenosti.....	50

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA I OZNAKA

BBŽ - Bjelovarsko-bilogorska županija

KKŽ - Koprivničko-križevačka županija

ZŽ - Zagrebačka županija

DZS - Državni zavod za statistiku

ŽC - županijska cesta

LC - lokalna cesta

HPBS - Hrvatski panonski bazenski sustav

PBS - Panonski bazenski sustav

Tg - temeljno gorje

Pt - podina tercijara (paleogena i neogena)

$k$  - brzina reakcije ( $s^{-1}$ )

$A$  - kolizijski faktor

$E_a$  - aktivacijska energija (cal/mol; 1 cal/mol = 4,186798 J/mol)

$R$  - univerzalna plinska konstanta ( $8.31 \cdot 10^{-3}$  kJ mol $^{-1}$ K $^{-1}$ )

$T$  - temperatura (K)

$TTI$  - vremensko-temperaturni indeks (engl. *Time Temperature Index of Maturity*)

$\gamma$  - temperaturni faktor

$n$  - indeks vrijednosti

$\Delta T$  - vremenski indeks

$\frac{dT}{dz}$  - vertikalni temperaturni gradijent

$T_f$  - temperatura formacije (°C)

$T_s$  - temperatura na sloju (°C)

$g_T$  - geotermijski gradijent (°C/100 m)

$D$  - dubina (m)

$R_o$  - vitrinitna refleksija

$IDW$  - metoda inverzne udaljenosti (engl. *Inverse Distance Weighting*)

$z_{IU}$  - procijenjena vrijednost

$d_1, \dots, d_n$  - udaljenosti lokacija 1, ..., n od mjesta procjene  $z_{IU}$

$p$  - težinski koeficijent udaljenosti

$z_1, \dots, z_n$  - stvarne (mjerene) vrijednosti na lokacijama  $1, \dots, n$

$\Sigma TTI$  - ukupni (ili zbirni) vremensko-temperaturni indeks (engl. *suma TTI*)

$C_{org}$  - sadržaj organske tvari

## 1. UVOD

Znanje o stvaranju i ponašanju naftnogeoloških sustava nakupljeno je nakon gotovo 170 godina suvremenog iskorištavanja nafte u svijetu, a više od 120 godina u Hrvatskoj. Za razliku od ranijih istraživanja za naftom i prirodnim plinom te njihovom proizvodnjom, danas raspoložemo golemim znanjem koje je proizišlo iz navedenog, a to ujedno predstavlja i mogućnost mnogo lakšeg daljnjeg razvoja i novih dostignuća. Ova konstatacija se može gledati i na način da je u svijetu preostalo skrovitih ležišta ugljikovodika koje je teže pronaći, no analiziranjem puno većeg broja podataka i ulaganjem vremena, i dalje se postižu uspjesi u ovome polju znanosti i inženjerstva.

Hrvatski panonski bazenski sustav (skr. HPBS) predstavlja jugozapadni dio Panonskog bazenskog sustava (skr. PBS) koji je okružen planinskim lancima Alpa, Dinarida i Karpata te omeđen rijekama Murom i Dravom na sjeveru, Dunavom na istoku te Savom i Kupom na jugu. Unutar HPBS-a postoje četiri velike depresije, a upravo je jedna od njih Dravska depresija, odnosno njezin jugozapadni dio koju čini Bjelovarska subdepresija. Malvić (2003) je detaljno interpretirao taložni paleookoliš te subdepresije. Eksploatacija ugljikovodika na tom području započela je prema Velić et al. (2012) već 1941. godine, a većina istraživanja neogenskih depresija HPBS-a prema Velić et al. (2002), Malviću (2003), Saftiću et al. (2001) i Saftiću et al. (2003) provedena je sa svrhom pronalaska i određivanja zaliha.

U znanosti, a posebno u geofizici, geologiji i naftnom inženjerstvu želja je prilikom istraživanja i analize prikupljenih postojećih podataka predvidjeti varijable na mjestima gdje podatci nisu dostupni pomoću postojećih podataka okolnih područja. Zato se prostorna procjena vrijednosti varijable radi geostatističkim i drugim geomatemičkim metodama. Sve geoznanosti imaju korist od upotrebe matematike, pogotovo u moderno doba razvojem digitalnih računala budući da je moguće obraditi veliku količinu podataka (Agterberg, 2014). Prema Malvić et al. (2020) podatci, metode i problemi u geoznanostima široka su tema i bave se širokim spektrom temeljnih znanosti. No za prikupljanje podataka, njihovu obradu i analizu, uzorkovanje, testiranje hipoteza pomoću računalnih simulacijskih modela te kvantitativna predviđanja, potrebno je mnoštvo geomatemičkih tehnika.

Prema Mesić Kiš (2017) u geologiji postoji skup čestih metoda koje se koriste u geološkom kartiranju računalnim paketima. Malvić (2008) je opisao metodu inverzne

udaljenosti kao jednu od najčešćih interpolacijskih metoda, a koja se često primjenjuje kao alternativa geostatističkim postupcima. U kartiranju pješčenjačkih ležišta Balić et al. (2008) su izdvojili metode najbližeg susjedstva, inverzne udaljenosti, pokretne sredine i krigiranja kao najčešće metode interpolacije geoloških varijabli u geologiji Hrvatske. Navedena metoda inverzne udaljenosti predstavlja determinističku interpolacijsku metodu koja daje samo jedno rješenje, tj. primjenom iste metode za isti skup podataka uvijek će se dobiti ista karta.

Svrha ovog rada je poticanje šire upotrebe metode inverzne udaljenosti pri kartiranju geokemijskih i geoloških varijabli u području Bjelovarske subdepresije zbog njezine jednostavnosti u pripremi i brzini u proračunu, ali i dobivenog izlaza koji je relativno pregledan. Ova metoda je, prema Ivšinoviću i Malviću (2020), uobičajena metoda interpolacije karata za male uzorke (manje od dvadeset podataka) u HPBS-u. Nove digitalne karte konstruirane računalom pomoću programskog paketa Surfer 8.0<sup>TM</sup> ne predstavljaju pouzdan prikaz, ali pouzdanije su i detaljnije od ručno interpoliranih karti prema Malviću (2003). Iz načinjenih karata može se odrediti smjer i duljina migracijskih putova te je stoga u ovome radu priložena nanovo iscrtana karta migracijskih putova.

## 2. GEOGRAFSKA OBILJEŽJA

Ovo poglavlje obuhvaća opis objekata i geografskog položaja te izgled i osobine elemenata u prostoru koji se zajednički zovu fizička geografija. U radu su zasebno prikazana područja koja proučavaju pojave u reljefu i okolišu (geomorfologija, hidrografija i klimatologija) te one koje su posljedica ljudske djelatnosti (prometna geografija i urbana geografija).

### 2.1. Geografski smještaj i položaj

Bjelovarska subdepresija nalazi se u sjevernom umjerenom klimatskom pojasu, a rasprostire se okvirno između četrdesetpete i četrdesetšeste paralele sjeverno od ekvatora te šesnaestog i sedamnaestog meridijana istočno od nultog meridijana (slika 2-1).



**Slika 2-1.** Geografski položaj Bjelovarske subdepresije.

Prema Žuljiću (1974) subdepresija se smjestila na najistočnijem dijelu Središnje Hrvatske. Ujedno predstavlja jugozapadni dio Dravske depresije. Regionalno-geološki (sub)depresija predstavlja spuštenu, potonulo tlo, uleknuće; dio zemaljske površine ili morskoga

dna, koji se (zbog tektonskih pomaka, erozije i sl.) nalazi (ili se paleogeografski nalazio) ispod razine okolnog tla (<https://enciklopedija.hr/>, 2021). Na temelju geoloških odnosa s kojima se dobro podudara površinska morfologija, određene su granice Bjelovarske subdepresije. One prolaze gorom Kalnik (643 m) na sjeverozapadnu, Bilogorom (288 m) na sjeveroistoku, Papukom (953 m), Ravnom gorom (854 m) i Psunjom (984 m) na jugu i jugoistoku te Moslavačkom gorom (489 m) na jugu (Malvić, 2003).

## 2.2. Regije i administrativni ustroj

Bjelovarska subdepresija je smještena (i) u Nizinskoj Hrvatskoj, površinom najvećoj i stanovništvom najbrojnijoj prirodno-geografskoj regiji Republike Hrvatske. Prema upravno-teritorijalnom ustroju Republike Hrvatske prekriva područja triju županija, cijelu Bjelovarsko-bilogorsku županiju (skr. BBŽ) (2 640 km<sup>2</sup>), a nešto manjim dijelom južni dio Kopriivničko-križevačke županije (skr. KKŽ) te istočni dio Zagrebačke županije (skr. ZŽ).

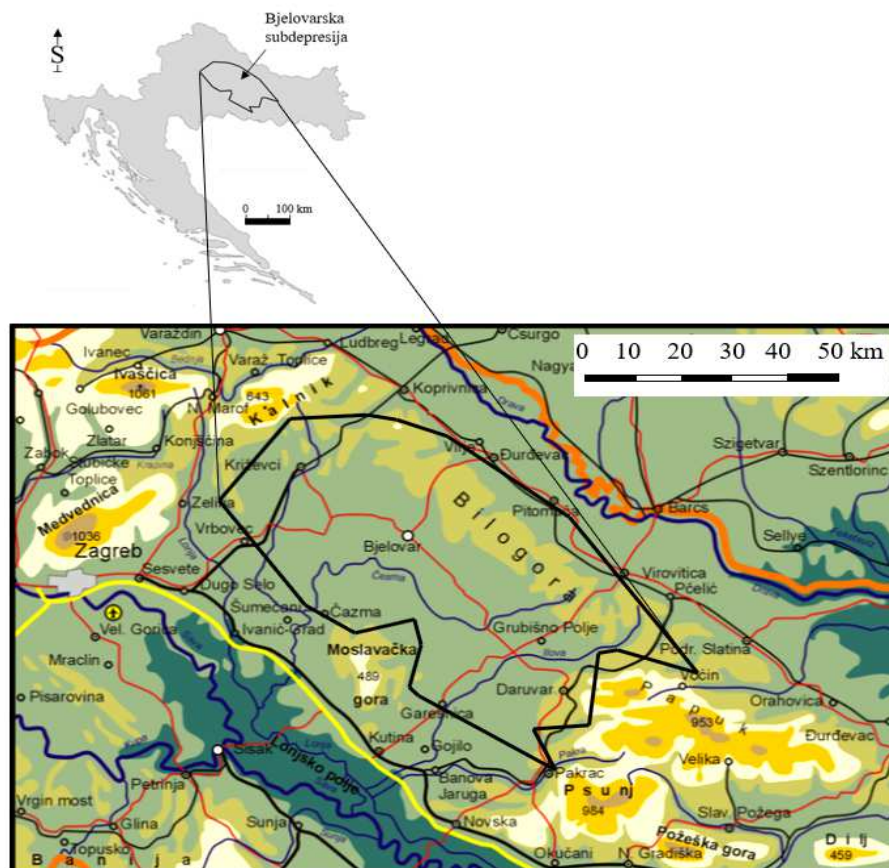
## 2.3. Obuhvaćena naselja i prometnice

BBŽ prema zadnjem popisu Državnog zavoda za statistiku (skr. DZS) iz 2011. godine broji 119 764 stanovnika na površini od 2 640 km<sup>2</sup> s prosječnom gustoćom naseljenosti od 45,37 stanovnika/ km<sup>2</sup> što je manje od državnog prosjeka. Županija obuhvaća 5 gradova (Bjelovar, Čazma, Daruvar, Garešnica, Grubišno Polje), 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) i 323 naselja. Geografski položaj, veća naselja, gradovi i značajnije prometnice prikazane su na slici 2-2 (slika 2-2).

Grad Bjelovar je administrativni, gospodarski i društveno-kulturni centar BBŽ-a te predstavlja težište razvitka i sjecište svih razvojnih pravaca svog šireg okruženja. Nije jako regionalno središte, ne postoji izrazita koncentracija stanovništva i radnih mjesta u jednom (dvojnog) naselju, već je izražena raspršenost (Borovac, 2002) u četiri veća (Bjelovar, Koprivnica, Križevci i Virovitica) i nekoliko manjih (Daruvar, Pakrac). Status grada u

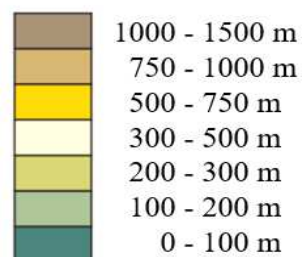


Zagrebačkoj županiji (skr. ZŽ) stekao je Vrbovec, a na samom rubu uleknine u Koprivničko-križevačkoj županiji (skr. KKŽ) smjestio se grad Vrbovec.



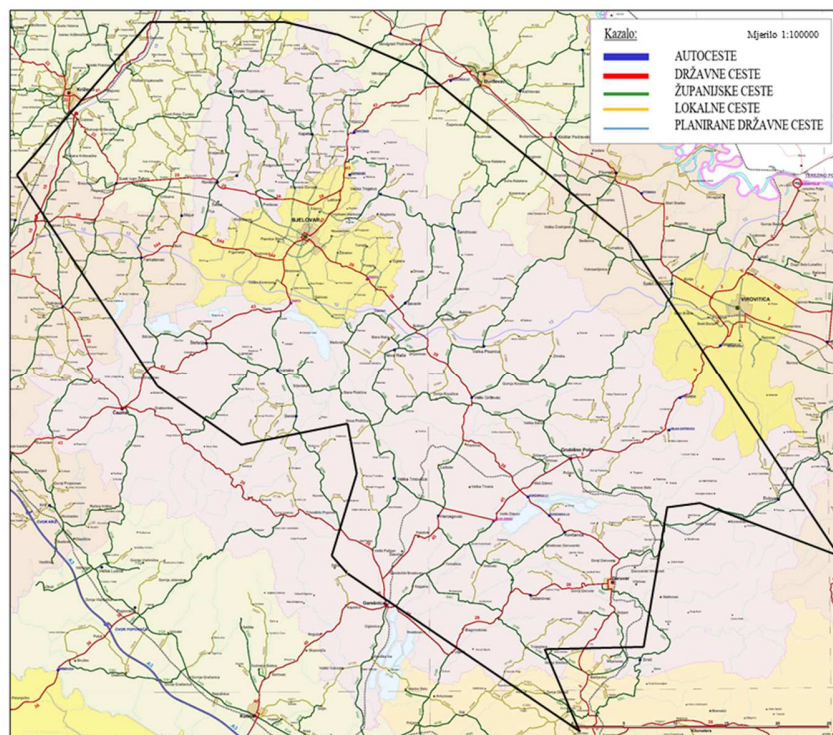
**LEGENDA:**

Nadmorska visina:



**Slika 2-2.** Geografska karta istraživanog područja Bjelovarske subdepresije (prema Malvić, 2003).

Područje Bjelovarske subdepresije prometno je izolirano, usprkos svojem povoljnom geografskom položaju između Panonske nizine i grada Zagreba. To je vidljivo iz činjenice da ga svi važniji prometni pravci zaobilaze (autocesta), tj. prolaze rubnim dijelom subdepresije (slika 2-3). Cestovna mreža županije je razgranata, ali niske prometne razvijenosti. Najvažniji cestovni pravci regije su Koprivnica-Zagreb i posebno Đurđevac - Bjelovar - Zagreb. Državna cesta D5 (granični prijelaz Terezino Polje (granica Mađarske) - Virovitica - Veliki Zdenci - Daruvar - Okučani - granični prijelaz Stara Gradiška (granica Bosne i Hercegovine)) prolazi istočnim dijelom Bjelovarske subdepresije. Međutim, mnogo je napravljeno izgradnjom bjelovarske istočne obilaznice pa se iz središnje hrvatske Podravine u Zagreb putuje preko Bjelovara. Uz navedene pravce postoji niz razgranatih županijskih cesta (skr. ŽC) i lokalnih cesta (skr. LC) koje dobro povezuju sva veća mjesta ove regije.



**Slika 2-3.** Položaj Bjelovarske subdepresije i cestovni pravci Bjelovarsko-bilogorske županije (prema Dadić et al., 2007).

Osim cestovnog prometa, do polovice 20. stoljeća najveću ulogu u načinu prijevoza je odigrala željeznica. Bjelovar je preko Križevaca povezan željezničkom prugom sa Zagrebom, a preko Kloštra Podravskoga s Viroviticom i Osijekom (Dadić et al., 2007). Uz željeznički promet prisutan je zračni promet u jednom bjelovarskom naselju. Na lokaciji u naselju Brezovac postoji zračno pristanište za sportske i lake komercijalne zrakoplove, nedostaje suvremena oprema i popratni sadržaji. Aerodromom upravlja Zrakoplovni klub Bjelovar (Božić et al., 2017).

#### 2.4. Mjesta s poznatim bušotinskim podacima

Bušotinski podatci dobiveni su iz takvih mjesta koja su podijeljena prema tome radi li se o cijelom polju ili mjestu s jednom ili više istraživačkih bušotina. Polja s kojih su preuzeti podatci prikazani u Malvić (2003) su Čepelovac (Čep), Galovac-Pavljani (Pav-1), Grubišno polje (Gr), Hampovica (Ha-7), Letičani (Le-4), Rovišće (Rov-1), Novi Glog (NG-1), Velika Ciglana (VC-1), Vis (Vis-1) i Uljanik (Ulj-1) (slika 2-4). Prema Malvić (1998) 6,5 km sjeveroistočno od sela Galovac i 7,5 km jugoistočno od grada Bjelovara se nalazi selo Velika Ciglana gdje su izrađene tri bušotine (VC-1, VC-1 $\alpha$  i VC-2) kojima je pronađeno geotermalno polje Velika Ciglana. Bušotine čiji su podatci korišteni za izradbu karata se nalaze u tablici 2-1, označene su crvenim točkicama na karti unutar granica poligona, tj. istraživačkog područja čiji su vrhovi određeni Gauss-Krügerovim koordinatama (X,Y).



**Slika 2-4.** Položaj polja i istraživačkih bušotina iz kojih su dobiveni podatci (prema Malvić, 2003).

**Tablica 2-1.** Imena eksploatacijskih polja i bušotina korištenih za kartiranje.

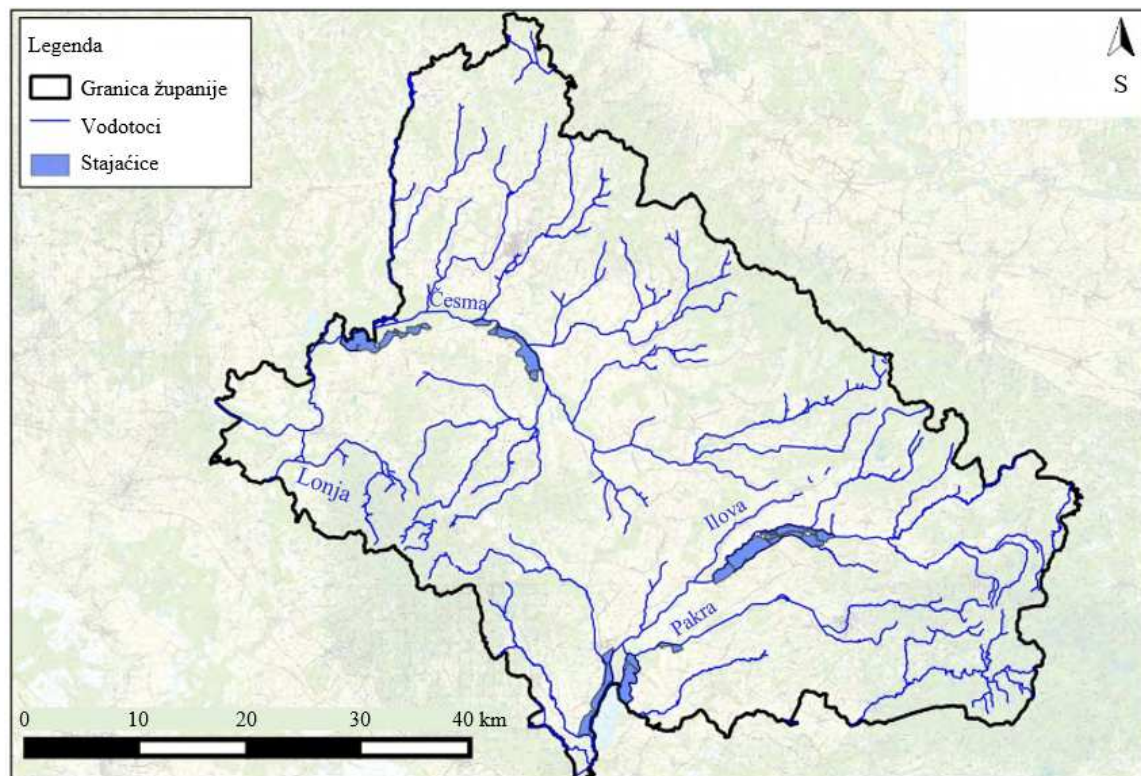
<b>Eksploatacijsko polje ili regionalna bušotina</b>	<b>Oznaka bušotine</b>
Čepelovac	Čep
Galovac-Pavljani	Pav-1
Grubišno polje	Gr
Hampovica	Ha-7
Letičani	Le-4
Rovišće	Rov-1
Novi Glog	NG-1
Velika Ciglena	VC-1
Vis	Vis-1
Uljanik	Ulj-1

## 2.5. Hidrografska mreža

U području Bjelovarske subdepresije mreža tekućica je vrlo razgranata, a uz nju se nalaze brojni ribnjaci, s posebno uz rijeku Česmu. Najveće tokove predstavljaju rijeka Česma i Ilova koje izvire na obroncima Bilogore te zatim teku prema jugozapadu, s time da Česma nedugo nakon što obiđe Grubišno polje naglo skreće pod kutom od 90° prema sjeverozapadu te tekući dalje počinje skretati i usmjeravati svoj tok prema jugozapadu. Rijeka Česma protječe sjevernim i sjeverozapadnim dijelom, a Ilova istočnim i jugoistočnim dijelom Bjelovarske



subdepresije. Zbog skretanja svojim donjim dijelovima tokova omeđuju Moslavačku goru s dvije strane. Na južnim padinama Papuka izvire malo veća rijeka Pakra koja se zatim probija uskom dolinom koja dijeli Papuk i Psunj do ruba planine Psunj u smjeru juga i jugozapada. Izlaskom iz doline skreće i zajedno s rijekom Ilovom urezuje dolinu između Moslavačke gore i Papuka te konačno utječu u Trebež, dok Česma zapadnije utječe u Lonju (slika 2-5).

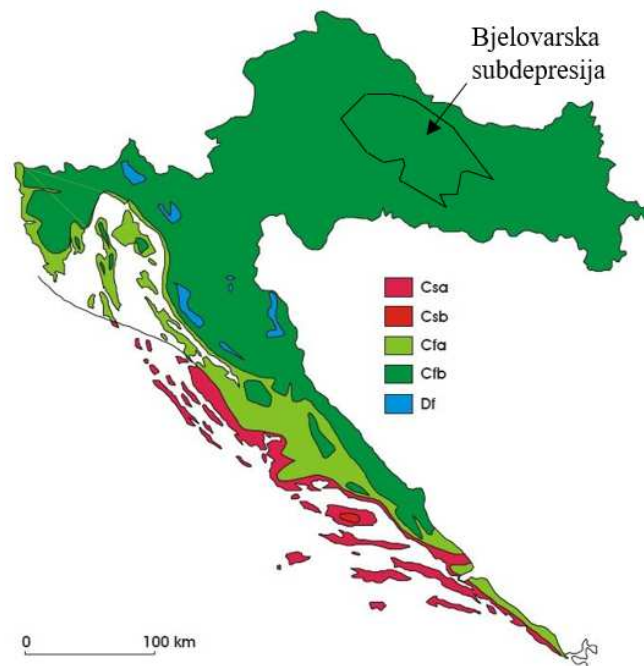


**Slika 2-5.** Mreža tekućica u području Bjelovarske subdepresije (prema Brkić et al., 2015).

Područje Bjelovarske subdepresije smješteno na lijevoj strani rijeke Save pripada savskom pojasu otjecanja i crnomorskom slijevu. Sastav i hidrogeološke osobine zemljišta čitavog kraja uzrok su velikog bogatstva voda ovoga kraja. Prema Miletić (1968) treba razlikovati geološku jedinicu „temeljnog gorja“ te taložine tercijara i kvartara s obzirom na geološke osobine, a prema Riđanović (1974) stijene u podlozi tercijarnog sistema i tercijarno-kvartarne naslage. Danas je tercijar kao sistem/period u geologiji napušten te se koriste periodi paleogena i neogena, a time su današnje ispravne jedinice predneogenska podina te neogensko-kvartarne naslage.

## 2.6. Klimatska obilježja

Prema Köppenovoj klasifikaciji, klima područja Bjelovarske subdepresije spada u tip Cfb, tj. umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom (kontinentalna klima) (slika 2-6). Ljeta su nešto svježija, tj. srednja srpanjska temperatura zraka niža je od 22°C (Šegota i Filipčić, 2003).



**Slika 2-6.** Köppenova klasifikacija klime (prema Šegota i Filipčić, 2003).

Kontinentalnu klimu modificiraju maritimni uvjeti sa Sredozemlja koji se južno od rijeke Save ističu jače, nego na sjeveru i sve više slabe prema istočnom području. Oslabljen je utjecaj glavnih zapadnih vjetrova s Atlantika zbog pružanja Alpi. Sljedeća lokalna varijabla klime je orografija, koja može pojačavati kratkotrajne jake oborine na vjetrinskoj strani prepreke ili stvarati oborinske sjene u zavjetrini (<https://meteo.hr/>, 2021). Treba još uputiti na utjecaj Panonske nizine u kojoj je tijekom cijele zime akumuliran hladni zrak, a ljeti se jače i brže zagrijava za razliku od okolnih planina. Srednja siječanjska temperatura u razdoblju od 1949.

do 2019. iznosi nešto manje od 0 °C. Srednja srpanjska temperatura nešto je viša od 21 °C, a najtopliji su niži reljefni oblici riječnih dolina Česme, Ilove i Pakre.

Kontinentalni maksimum padalina, tj. maksimalni udio padalina je u toplijem dijelu godine od svibanja do rujna. Područje Bilogore, Kalnika, Moslavačke gore i ruba slavonskih gora imaju nešto više padalina (>900 mm/god) u odnosu na središnje dijelove subdepresije (<900 mm/god).



### 3. POVIJEST DOSADAŠNJIH NAFTNOGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Prva istraživanja na području Bjelovarske subdepresije imala su za cilj odrediti geološke i naftnogeološke odnose u okolnim dijelovima Savske i Dravske depresije. Tek zadnjih tridesetak godina, kao posljedica otkrića novih ležišta i usmjeravanja istraživanja prema manjim zalihama, porastao je broj radova u prostoru Bjelovarske uleknine (Malvić, 2003). Prvu geološku skicu Moslavačke gore s izdvojenim granitima i gnajsevima okruženim mlađim paleogenskim i neogenskim naslagama, daje Vukotinović 1852. godine (slika 3-1). Prvu preglednu geološku kartu područja Bilogore je objavio Hauer između 1868. i 1871. godine u kojoj je izdvojio kongerijske slojeve, belvederske i kvarcne šljunke te prapor. Preglednu kartu Moslavačke gore je objavio Koch (1889), a zatim Koch (1906) opisuje kristalaste škriljavce koji okružuju jezgre te izdvojio prapor i aluvij. Prema Malvić (2003), između 1922. i 1923. godine načinjeni su radovi na području Sedlarice i Marinovaca s ciljem otkrivanja ležišta ugljikovodika. Broj radova u prostoru Bjelovarske subdepresije je porastao u zadnjih četrdesetak godina kao posljedica otkrića novih ležišta sukladno novim dubinsko-geološkim istraživanjima.



**Slika 3-1.** Prva petrografska, odnosno litostratigrafska karta Moslavačke gore, koju je izradio Farkaš Vukotinović, prvi hrvatski prirodoslovac 1852. godine (Šebečić, 2009).

### 3.1. Razdoblje od završetka Drugog svjetskog rata do kraja sedamdesetih godina prošlog stoljeća

Prije i tijekom Drugog svjetskog rata istraživanja su financirali austrijski i njemački poduzetnici, a najperspektivnijim se područjem pokazala okolica Grubišnog Polja (Drnasin, 2017). Nakon drugog svjetskog rata, prema Rubinić (1954), izrađen je veći broj plitkih istraživačkih bušotina kod Lepavine, Sokolovca, Mosti i Sedlarice. Otkrićem ležišta Lepavina te intenzivnijim bušenjem iza 1956. godine ostvaren je izuzetan uspjeh te je otkriveno više polja ugljikovodika u Dravskoj depresiji i bilogorskoj zoni. To su naftna i plinska polja: Cabuna, Ferdinandovac, Jagnjedovac i Šandrovac (Malvić, 2003).

Izradba bušotina Uljanik-1 (Savska depresija), Korenovo-1 (Sjevernomoslavačka antiklinala), Ciglenica-1 i Pavlovac-1 (jugoistočni dio subdepresije), Križevci-1 (zapadni rub subdepresije), Farkaševac-1 (zapadni dio subdepresije), Gr-2 i Gr-3 kod Grubišnog Polja nisu rezultirale otkrićem ugljikovodika. Međutim, 1961. godine prema Vugrinecu (1961) bušotinom Jagnjedovac-1 otkriveno je bogato nalazište nafte na južnim obroncima Bilogore između dviju poznatih naftnogeoloških struktura Lepavine i Mosti. Dvije godine kasnije dokazano je naftno-plinsko polje kod Hampovice, a 1963. pronađeno je naftno-plinsko polje Šandrovac. Na području Dravske depresije redom je izdvojeno deset naftno-plinonosnih zona (Pletikapić et al., 1964): Zapadnobilogorska (34 % potencijalnih zaliha), Papučko - krndijska (27 %), Moslavačka (22,5 %), Istočnobilogorska (6,5 %), Podkalnička (4 %), Vilanjsko - mečeška (3 %), Južnogergeška (1,5 %), Podbilogorska (1 %), Središnja potolinska (0,25 %) i Legradski prag (0,25 %), temeljem rezultata geoloških kartiranja.

Sedamdesetih godina Hajnšek (1971) opisuje tektonske odnose, a Kranjec et al. (1971) utvrđuju granice morfostrukturnih jedinica Bjelovarske subdepresije, Bilogore i dubokog dijela Dravske depresije. Područje Bjelovarske subdepresije opisuje Prelogović (1975) na neotektonskoj karti Hrvatske.

### 3.2. Razdoblje od početka osamdesetih godina prošlog stoljeća do danas

Početak osamdesetih godina, prema Najdenovski i Hajnšek (1980), načinjene su strukturne karte, karte izopaha i karte razvoja struktura kroz geološko vrijeme za obrađene intervale, a na osnovi toga planirani daljnji geofizički radovi. Iz njihovih rezultata te starijih podataka reinterpetirani su strukturni odnosi cijele uleknine i graničnog područja prema Savskoj i Dravskoj potolini (Najdenovski i Hajnšek, 1982). Godine 1982. isti autori po prvi puta u potpunosti opisuju granicu Savske i Dravske depresije od Kalnika i Medvednice, preko Moslavačke gore do Psunja (Mesić Kiš, 2017).

Naftoplinost Bjelovarske subdepresije potvrđena je devedesetih godina kada je otkriveno jedno manje naftno, dva plinska i jedno geotermalno polje. Tim otkrićem su načinjena najznačajnija istraživanja, provjeravanja (ležišni i matični potencijal) i potvrđivanja pojave ugljikovodika. Izradbom bušotine Velike Ciglene-1 (VC-1) 1989. godine, otkriveno je geotermijsko ležište te načinjena usmjerena bušotina (VC-1 $\alpha$ ) s ciljem iskorištavanja toplinske energije geotermalne vode. Na lokaciji Galovac-Pavljeni otkriveno je naftno ležište bušenjem na pet istraživačkih blokova od 1991. do 1994. godine. Daljnjim istraživanjem 1993. godine otkriveno je plinsko polje Grubišno polje, a 1997. godine, prema Trogrlić (2000), otkriveno je malo plinsko polje Bačkovica bušotinom Bac-1z.

Općenito najbolja ležišna svojstva, prema Malviću i Đurekoviću (2004), imaju krupnozrnati sedimenti badenske starosti člana Mosti, a pješčenjaci regionalnih ležišnih jedinica Poljana i Pepelana obuhvaćaju i nekoliko manjih povoljnih struktura u sjevernim, središnjim i južnim dijelovima subdepresije. Za dodatna istraživanja i procjene kao nove perspektivne zone odabrane su zona Šandrovac u Pepelani te zona Cremušina u jedinici Poljana. Geološkim kartiranjem Bjelovarske subdepresije prema Malvić (2011) su uobičajenim metodama interpolacije lako opažene nesuglasnosti (lagana dominacija normalnih (baden - donji pont) i reverznih rasjeda (gornji pont - kvartar) u istočnom dijelu subdepresije (istočna sinklinala i struktura Deženovac). Hrvatske i mađarske granice litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji analizirane su i korelirane 2013. godine te je načinjena shema i litološki opisi koji će prema Malviću i Cvetkoviću (2013) pomoći u bilo kakvim geološkim istraživanjima ili procjenama u cijeloj analiziranoj depresiji. Daljnja istraživanja Dravske depresije te izračun geološke izglednosti upućuju na moguće nove količine ugljikovodika na strukturnim rubovima

uz kontakt nafta-voda s vjerojatnošću uspjeha pronalaska ugljikovodika od 9,375%. Pretpostavljene rezerve na tom području mogu se klasificirati kao vjerojatne (Malvić et al., 2014). Zatim su se 2014. godine statistički analizirali podatci za cijelu subdepresiju iz 497 očitavanja podataka iz redovite mreže s veličinom ćelije 1x1 km koja pokriva postojeću paleostrukturu kartu (Mesić Kiš i Malvić, 2014). Godinu dana kasnije je Malvić (2015) dao pregled pridobivanja i uporabe energenata na području Bjelovarske subdepesije, a zatim sustav dubina i rasprostranjenost takvih ležišta u dijelovima gdje su istraživani i pretpostavljeni. U tom području su također pretpostavljena nekonvencionalna ležišta, unutar gornjobadenskih, sarmatskih i donjopanonskih matičnih stijena, koje su dostigle termalnu zrelost. Ležišta plina mogla bi se naći i na rubu subdepresije, u Bilogorskoj zoni, unutar strukture gdje nisu dokazana konvencionalna ležišta ugljikovodika (Cremušina, Gakovo). Izvedena je i geostatistička analiza u Bjelovarskoj subdepresiji. Podatci za analizu su prema Špelić et al. (2016) dobiveni iz strukturnih karata subdepresije, prethodno napravljenih ručnom interpolacijom. Digitalizacijom starijih karata sačuvane su gotovo sve regionalne informacije. Za zonsku procjenu Bjelovarske subdepresije Mesić Kiš i Malvić (2018) koristili su Thiessenovu metodu poligona kao uvodnu analizu koja prethodi interpolaciji metodom kriginga na regionalnoj skali.

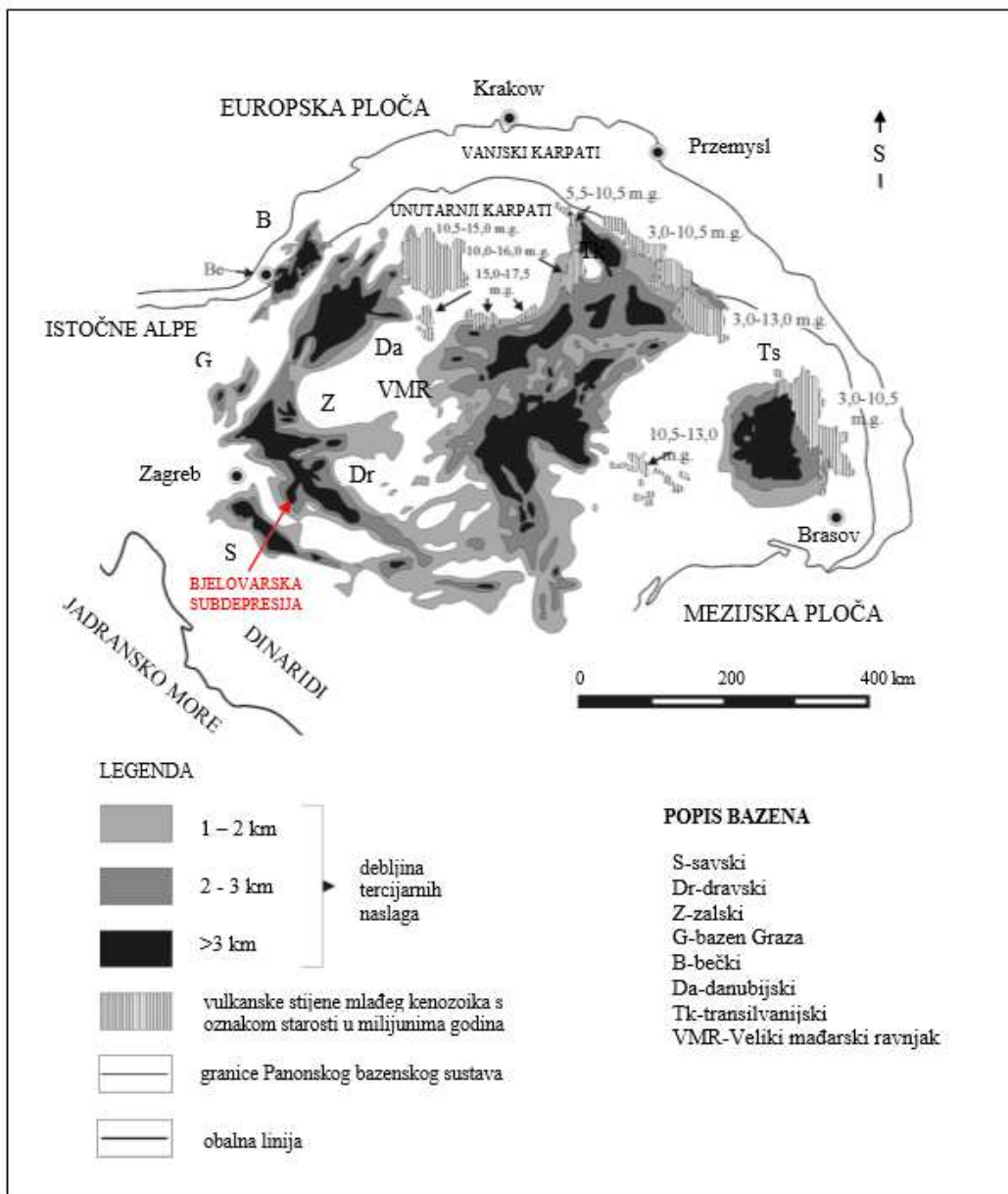
#### **4. OSNOVNA GEOLOŠKA OBILJEŽJA HRVATSKOG PANONSKOG BAZENSKOG SUSTAVA (skr. HPBS) I BJELOVARSKO SUBDEPRESIJE**

Područje Bjelovarske subdepresije predstavlja zasebnu geotektonsku jedinicu u naftno-geološkoj podjeli Panonskoga bazenskog sustava (Malvić, 2003). Danas je to područje geografski i geološki odvojeno od ostatka Dravske depresije zbog posljedice izdizanja Bilogore (pliocensko-kvartarni pokreti) (5,5-0,0 mil. god.). Površina od približno 2 900 km<sup>2</sup> koje subdepresija prekriva objedinjuje utvrđene glavne vrste struktura i tektonske pokrete koji su obilježili i druge dijelove HPBS-a.

Panonski bazenski sustav pripada skupini pozadinskih bazena (engl. *back-arc basins*) (Malvić, 2003). Stvaranje Panonskog bazenskog sustava je, prema Pavelić (2001), započeto u ranom miocenu (23,0-16,0 mil. god.) zbog kontinentalne kolizije i subdukcije (podvlačenja) Europske pod Apulijsku ploču. Zatim je započelo stvaranje njegove južne granice (perijadransko-varđarskog lineamenta) i sjeverne granice (Vanjski Karpati). Zbog termalne promjene u gornjem plaštu u prostoru između otvorene brojne ekstenzije uz desne i lijeve transkurentne rasjedne sustave (engl. *dextral and sinistral strike slips*), a posljedica toga je širenje i slabljenje kore te nastanak pozadinskih bazena, depresija i subdepresija (Horváth i Royden, 1981; Royden, 1988; Horváth, 1993, 1995; Kováč et al., 1998; Malvić, 2003). Razdoblje razvoja bazena, prema Malvić (2011), obilježavaju četiri razdoblja:

- 1) prva transtenzijska faza [baden (16,4-13,0 mil. god.);
- 2) prva transpresijska faza [sarmat (13,0-11,5 mil. god.) - donji panon (11,5-9,3 mil. god.);
- 3) druga transtenzijska faza [gornji panon (9,3-7,1 mil. god.) - donji pont (7,1-6,3 mil. god.);
- 4) druga transpresijska faza [gornji pont (6,3-5,6 mil. god.).

Panonski bazenski sustav (skr. PBS) je omeđen velikim planinskim lancima, Karpatima na sjeveru, Alpama na istoku te Dinaridima na jugoistoku (slika 4-1), a paleogeografski pripada području središnjeg Paratetisa (dijelovi Poljske, Mađarske, Slovenije i Hrvatske). Veze između središnjeg Paratetisa, Mediterana i Indopacifika (postojanje brojnih zajedničkih fosilnih vrsta) nekoliko su puta prekinute tijekom miocena (23,0-5,3 mil. god) te ponovno uspostavljene.



**Slika 4-1.** Glavne geotektonske jedinice unutar Panonskoga bazenskog sustava (prema Royden i Dövényi, 1988; Vrbanac, 1996;; Malvić, 2003; Mesić Kiš, 2017).

Posljedica tog ponovnog uspostavljanja je oscilacija morske razine, različiti načini taloženja te nastanak raznih ekoloških uvjeta. Dno bazena prekriveno je naslagama različite starosti od ranog (23,0-16,0 mil. god.) do kasnog miocena (7,3-5,3 mil. god), nastalih u morskim, bočatim i slatkovodnim okolišima kao posljedica izostanka potpune morske

transgresije tijekom ranog miocena. Pojedini dijelovi bazena su prema Steininger et al. (1978); Steininger i Rögl (1979) i Rögl (1996, 1998) karakterizirani povremenim emerzijama. Hrvatski panonski bazenski sustav (skr. HPBS) sastavni je dio PBS-a gdje se odvijala neogensko-kvartarna sedimentacija i tektonika u rubnim depresijama (Murska, Savska, Dravska i Slavonsko-srijemska depresija) smještenim unutar većeg bazenskog sustava (slika 4-2). Sedimentacija klastičnih stijena se nastavila krajem miocena kroz prijelaz iz morskog u slatkovodni okoliš uzrokovan smanjenjem taložnog prostora. HPBS, prema Prelogović et al. (1998), Saftić et al. (2003) i Malvić (2012), zauzima cijeli jugozapadni dio PBS-a.



**Slika 4-2.** Položaj Bjelovarske subdepresije unutar HPBS-a (prema Balić et al., 2008; Mesić Kiš, 2017).

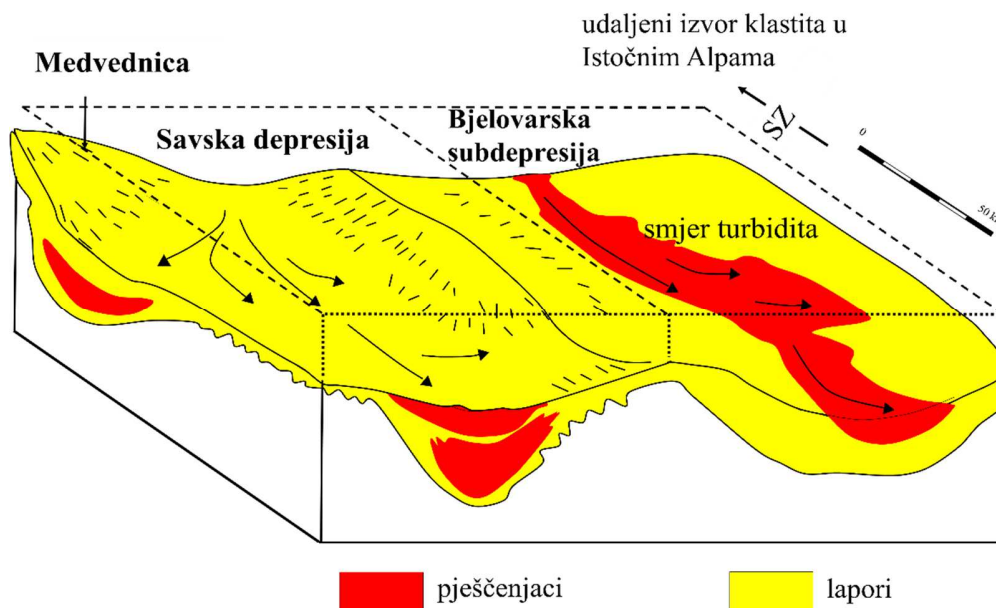
#### 4.1. Tektonska povijest PBS-a

Regionalni, prvi transtenzijski događaj u HPBS-u započeo je u otnangu prije 18,3-17,2 mil. god., a osnažen je tijekom karpata (17,2-16,4 mil. god.) (Rögl 1996, 1998) na području između Apusena, Mezijske ploče, Karpata i Podolojskog masiva na rubu Češkog masiva i Alpa kada su se taložili uglavnom riječno-jezerski sedimenti. U badenu (16,4-13,0 mil. god.) je transtenzija nastavljena i popraćena morskom transgresijom Ćorić et al. (2009); Malvić i Velić

(2011), a nakon toga u sarmatu (13,0-11,5 mil. god.) Rögl (1996, 1998). Karpati i Apuseni su do srednjeg badena bili prekriveni morem, a zbog opće transgresije prema Steininger et al. (1978) postali veliki otoci. U sjeverozapadnom dijelu oko Medvednice te u dijelovima Savske depresije i Slavonije postojala je morska sedimentacija (Vrbanac, 1996). Veza s Mediteranom biva po drugi put prekinuta prema Steininger et al. (1978) i to trajno, a tijekom sarmata s Indopacifikom čime dolazi do promjene facijesa, istaloženi evaporiti na prostoru Slovačke, Transilvanije i Karpata.

Prema Royden (1988) kraj transtenzijske faze započinje u donjem panonu (11,5-9,3 mil. god.) u većem dijelu PBS-a. Slijedi razdoblje transpresije kada tektonska aktivnost slabi, a mjestimice dolazi do intenzivnog vulkanizma alkalnog tipa (Mesić Kiš, 2017). Zbog pomicanja taložnog prostora i izvorišta materijala na rubove bazenskog sustava Malvić (2012); Velić et al. (2015), Alpe postaju glavni izvor materijala na prostoru Hrvatske uz rijetka i mala lokalna izvorišta materijala Novak Zelenika et al. (2013). U gornjem panonu (9,3-7,1 mil. god.) i pontu (7,1-5,6 mil. god.) se taloženje uglavnom odvijalo u bočatom i slatkovodnom jezerskom prostoru. Turbiditne struje su prema Vrbanac et al. (2010); Malvić (2016) predstavljale glavni mehanizam prijenosa u smjeru jugoistoka (slika 4-3) na udaljenosti od nekoliko stotina kilometara. Gornji pliocen (5,6-1,8 mil. god.) i kvartar (1,8-0,0 mil. god) obilježeni su riječno-jezerskom sedimentacijom. Glavna razdoblja oblikovanja HPBS-a prikazanu su u tablici 4-1.





**Slika 4-3.** Skica paleosmjera turbiditnih struja tijekom gornjeg pontu u HPBS-u (prema Vrbanac et al., 2010).

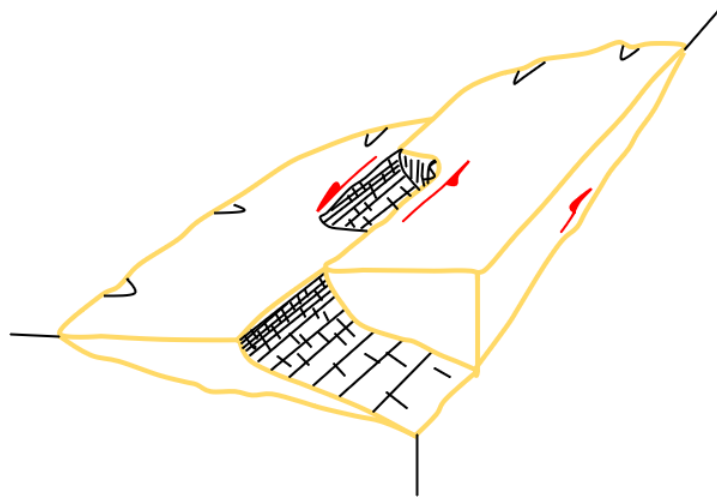
**Tablica 4-1.** Vremenska skala glavnih tektonskih i taložnih razdoblja u neogenu i kvartaru unutar HPBS-a (prema Malvić i Velić, 2011).

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

#### 4.2. Evolucija i današnji izgled Bjelovarske subdepresije u okviru Dravske depresije i Panonskog bazenskoga sustava

Glavni ekstenzijski pokreti odvijali su se uz velike transkurentne (engl. *strike-slip*) rasjedne sustave s desnim i lijevim pomakom (Royden, 1988). Za posljedicu to je imalo

otvaranje brojnih većih ili manjih romboidnih graba, tj. bazena (engl. *pull apart basin*) (slika 4-4). Bjelovarska subdepresija predstavlja upravo takav prostor, na regionalnoj skali.



**Slika 4-4.** Shematski blok-dijagramski prikaz nastanka romboidne grabe.

Otvaranje Bjelovarske subdepresije prema Malvić (1998) posljedica je aktivnosti glavnih depresijskih transkurentnih rasjednih sustava pružanja sjeveroistok-jugozapad te ostalih rasjednih sustava koji su poprečni ili dijagonalni na pravac pružanja središnjega Dravskog rasjeda. Subdepresija približno romboedarskog oblika odvojena je od Savske depresije Moslavačkom gorom na jugozapadu te od ostatka Dravske Bilogorom na sjeveroistoku (slika 4-5). Današnje debljine neogensko-kvartarnih naslaga rijetko prelaze 3 000 m, za razliku od 7 000 m u glavnoj depresijskoj zoni (Malvić, 2003).



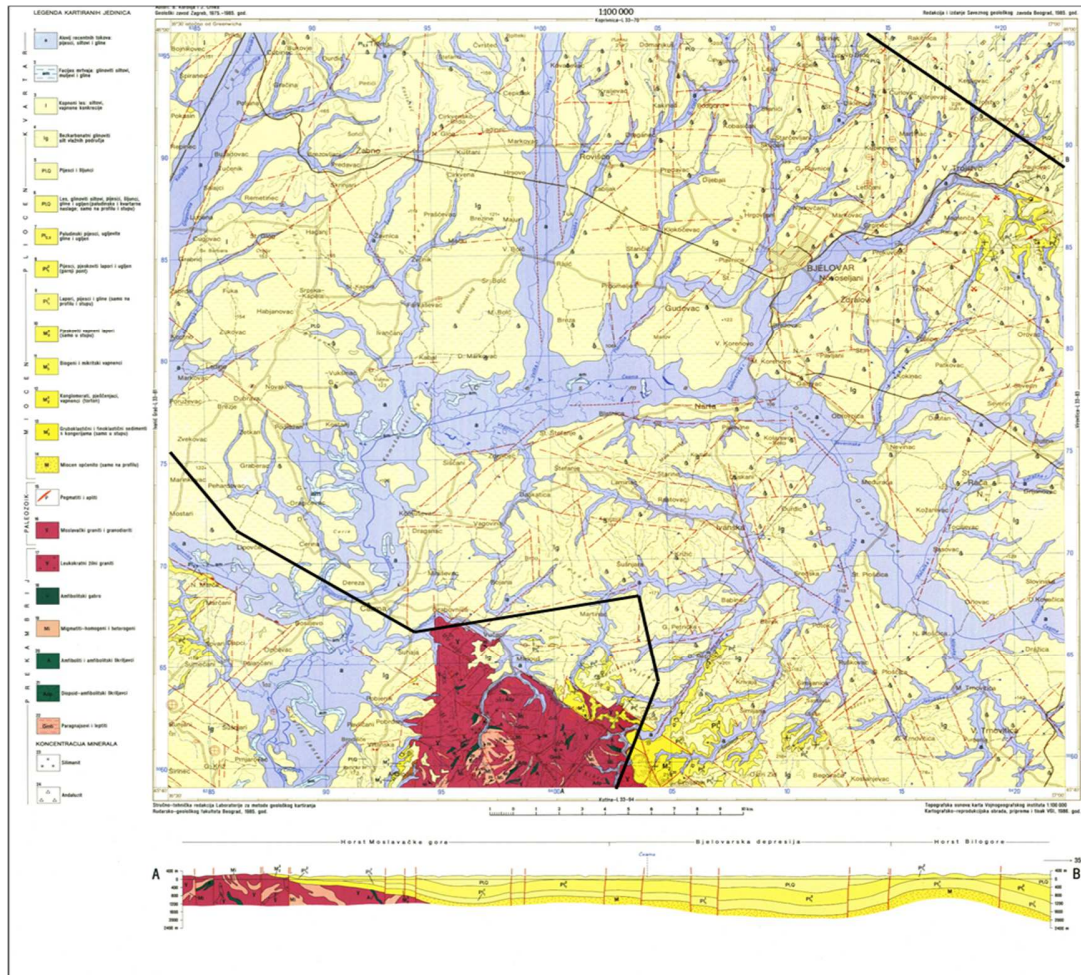
**Slika 4-5.** Depresije i subdepresije unutar hrvatskoga dijela Panonskoga bazenskog sustava (prema Balić et al., 2008; Mesić Kiš, 2017).

Razlog tomu je što Bjelovarska subdepresija nije bila na putu glavnog prijenosa materijala. Stoga je donos detritusa u transtenzijskom razdoblju bio značajno manji. Transtenzijske taložine poput breča, konglomerata i krupnozrnastih pješčenjaka starije su naslage koje danas nisu dublje od 3 000 m. Razdoblje između prve transtenzije i prve transpresije, najvećim dijelom obilježavaju lapori i vapnenci. Monotona izmjena pješčenjaka i lapora u različitim omjerima rezultat je druge transtenzije. Također vremenskim slijedom taložna sredina je iz marinske prešla u riječno-jezersku (Malvić, 2003) te kasnije u vrijeme druge transtenzije i u kopneno-riječnu (Mesić Kiš, 2017).

#### 4.3. Kronostratigrafska podjela HPBS-a uz navođenje litostratigrafije

Kronostratigrafska podjela (koju prati korelativna litostratigrafska podjela) HPBS-a obuhvaća dvije različite skupine stijena. Prva, a ujedno i mlađa obuhvaća neogensko-kvartarne sedimentne stijene, a ponegdje i magmatske stijene (slika 4-6). Drugoj skupini pripadaju stijene

u podini neogena. Ako se u podini nalaze magmatske i metamorfne stijene, tada je EK-granica označena „Tg“ (skr. „temeljno gorje“). Ukoliko su u podini sedimenti, EK-granica je označena kao „Pt“ (skr. „podloga tercijara (paleogena i neogena“)).



**Slika 4-6.** Osnovna geološka karta M 1:100000 Bjelovara: list Bjelovar 33 s ucrtanim (djelomičnim) granicama Bjelovarske subdepresije (prema Korolija i Crnko, 1985).

Te se dvije skupine, osim po starosti, razlikuju i litološki. Mlađe naslage su uglavnom klastične, no ima i karbonata poput litotamnijskih vapnenaca, dok podinske stijene izgrađuju paleozojski magmatiti i metamorfiti ili mezozojski karbonati.

Kronostratigrafska podjela tih dviju skupina stijena na području Dravske depresije prikazana je shematskim stupom na slici 4-7, Šimon (1968) uz navođenje litostratigrafije važeće

za neogensko-kvartarni slijed. Na stupu su prikazane formacije koje se nalaze unutar Dravske depresije, a to su formacija Moslavačka gora (eger-donji panon), Ivanić-Grad (gornji panon), Kloštar Ivanić (donji pont), Bilogora (gornji pont) te formacija Lonja (pliocen-kvartar). Prema Velić (2007) formacija Moslavačka gora se nalazi na zapadnom dijelu Dravske depresije unutar koje leže naftnoplinozne stijene (breče, konglomerati i pješčenjaci). Ujedno sedimenti te formacije predstavljaju glavne kolektore u istočnom dijelu depresije, a svojedobno se tu nalazi najproduktivnije polje Beničanci. Vrlo značajni kolektori su i pješčenjaci (paleozojsko-mezozojske stijene) formacije Ivanić-Grad. Formacija se nalazi u Savskoj i zapadnom dijelu Dravske depresije, a pješčenjački član Iva predstavlja najstariji krupnijeklastični član koji sadrži oko 30% od ukupno otkrivenih rezervi nafte i plina u Hrvatskoj. Nadalje formacija Kloštar-Ivanić se također nalazi u Savskoj te u zapadnom dijelu Dravske depresije. Ona je debela 200 m te izgrađena od sivih do tamnosivih, srednje tvrdih, a mjestimice pjeskovitih lapora te od sitno do srednjositno sivih kvarcnotinjčastih pješčenjaka. Unutar formacije Bilogora starije taložine su najvećim dijelom predstavljene glinovitim laporom unutar subdepresije, a ponegdje slabovezanim pješčenjakom. No najmlađa formacija, smještena unutar Savske i zapadnom dijelu Dravske depresije, je formacija Lonja, debljine 840 m, a sastoji se od plavičastih, sivosmeđih i zelenkastosivih plastičnih glina u izmjeni s proslojcima lignita te različito obojenim šljuncima.

STAROST				LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE DRAVSKE DEPRESIJE		Regionalni EK markeri			
KENOZOIK	KVARTAR	HOLOCEN		fm. Lonja					
		PLEISTOCEN							
	TERCIJAR	NEOGEN	PLIOCEN	DACIJ					
				ROMANU					
			MIOCEN	GORNI PONT	fm. Bilogora			D'	
				DONJI PONT	fm. Kloštar-Ivanić	brezinski lapor	cabunski član	cabunski lapor	Δ
					lepsičko-graberski lapor	pepelanski pješčenjaci	graberski član	graberski lapor	D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> R <sub>n</sub>
						poljanski pješčenjaci	lepsički lapor	D <sub>4</sub>	
		GORNI PANON	fm. Ivanić-Grad	zagrebački član		okolski pješčenjaci	Z'		
						lipovački lapor	Ra4 R <sub>j</sub> D <sub>5</sub>		
DONJI PANON	fm. Moslavačka gora	korivnički pješčenjaci		križevački član	Rs5				
		član Mosti		čerlijski član	Rs7				
MEZOZOIK					Pt/Tg				
PALEOZOIK				stijene u podlozi terciarnog sistema					

Slika 4-7. Kronostratigrafske jedinice Dravske depresije (nacrtano prema Šimon, 1968).

## 5. GEOKEMIJSKE ZNAČAJKE I TERMIČKA ZRELOST STIJENA

Ugljikovodici nastaju biološkom i termičkom izmjenom organske tvari u sedimentima te njihovo stvaranje ovisi o temperaturi kojoj je matična stijena bila izložena kroz neko vrijeme u geološkoj prošlosti, a njihov volumen ovisi o količini kerogena po jedinici volumena. Najveći dio nastaje *in situ* u matičnoj stijeni, a manji dio plina nastaje i za vrijeme migracije i akumulacije u ležištu. Kvantifikacija svih procesa kojima nastaju nafta i prirodni plin nije moguća. Iz tog razloga su razvijeni kinetički modeli koji se stalno poboljšavaju i unapređuju.

### 5.1. Arrheniusova jednadžba kemijsko-kinetičke teorije

Za određivanje stupnja zrelosti organske tvari u matičnim stijenama koriste se različita laboratorijska ispitivanja pomoću velikog broja različitih zrelosnih parametara. Mjerene varijable pokazuju zrelost stijena i njihovu sposobnost geneze ugljikovodika, ali njihov je nedostatak što se, isključivo iz njih, ne može procijeniti u kojem je razdoblju u prošlosti započela geneza matičnih stijena (npr. Andrić, 2019). Lopatin (1971) je za određivanje stupnja zrelosti organske tvari u matičnim stijenama razvio jednu metodu. Ona je računsko-grafički postupak (Malvić, 1998) temeljena na činjenici da je postanak nafte ovisan o temperaturama kojima je kerogen bio izložen kroz različita vremena u geološkoj prošlosti. Lopatinova geokemijska metoda vrlo je pristupačna i široko korištena za proračun indeksa termijske zrelosti, a njezina je matematička osnova Arrheniusova jednadžba kemijsko-kinetičke teorije. Ona pokazuje eksponencijalnu ovisnost brzine reakcije ( $k$ ) o temperaturi ( $T$ ) i aktivacijskoj energiji ( $E_a$ ) (jednadžba 5-1).

$$k = A \cdot e^{\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right)} \quad (5-1)$$

gdje su:

$k$  - brzina reakcije ( $s^{-1}$ );

$A$  - kolizijski faktor;

$R$  - univerzalna plinska konstanta ( $\text{kJ mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ );

$T$  - temperatura (K);

$E_a$  - aktivacijska energija J/mol.

Brzina kemijske reakcije eksponencijalno raste s porastom temperature. Aktivacijska energija ( $E_a$ ) je nepoznanica ove jednadžbe. Eksperimentalno je utvrđeno da na 90 °C započinje stvaranje nafte uz energiju od 68 618 J/mol (npr. u Andrić, 2019). Za kidanje veza ugljik-ugljik i ugljik-kisik potrebna je energija od 167 360 do 251 040 J/mol te je vladalo mišljenje kako stvaranje nafte nije moguće bez mineralnih katalizatora u stijeni.

## 5.2. Vremensko-temperaturni indeks, geotermijski gradijent i vitritna refleksija

Proračun termičke zrelosti matičnih stijena već desetljećima predstavlja jednu pristupačnu i široko korištenu geokemijsku metodu koju je prvi put opisao Lopatin (1971) te njom uveo pojam vremensko-temperaturni indeks (engl. *Time Temperature Index of Maturity*) ili skr. *TTI* koji se izračunava s obzirom na temperaturu i vrijeme. Lopatin (1971) je odredio temperaturni faktor ( $\gamma$ ) koji pokazuje eksponencijalnu zavisnost zrelosti i temperature (jednadžba 5-2) i vremenski faktor ( $\Delta T$ ) koji se množi s odgovarajućim temperaturnim faktorom ( $\gamma$ ) u svakom intervalu čime se dobije produkt poznat kao vremensko-temperaturni indeks (engl. *Time Temperature Index of Maturity*) ili skr. *TTI* (jednadžba 5-3).

$$\gamma = 2^n \tag{5-2}$$

gdje su:

$\gamma$  - temperaturni faktor;

$n$  - indeks vrijednosti.



$$TTI = \sum_{n_{min}}^{n_{max}} \gamma \Delta T \quad (5-3)$$

gdje su:

$TTI$  - vremensko-temperaturni indeks;

$\gamma$  - temperaturni faktor;

$\Delta T$  - vremenski indeks.

U ovom je radu vremensko-temperaturni indeks za bušotine Ha-7, Pav-1, Rov-1, VC-1 te Vis-1 izmjeren prema Malvić (2003), a za bušotine Čep, Gr, Le-4, NG-1 i Ulj-1 izračunat metodom EASY% $R_o$ , jednostavnom aproksimacijom preko vrijednosti  $R_o$  zbog nepostojanja dovoljno ulaznih podataka za izračun  $TTI$ -ja (Sweeney i Burnham, 1990). Za proračun indeksa potrebno je poznavati promjenu temperature s dubinom  $\frac{dT}{dZ}$ , naziva se još geotermijski gradijent ( $g_T$ ), uzimajući u obzir kao granice površinu i neke dubine, čija vrijednost ovisi o vrsti sedimenta i toplinskom toku (jednadžba 5-4 i 5-5).

$$\int_{T_s}^{T_f} dT = g_T \int_0^D dZ \quad (5-4)$$

$$T_f = T_s + g_T \cdot D \quad (5-5)$$

gdje su:

$\frac{dT}{dZ}$  - vertikalni temperaturni gradijent;

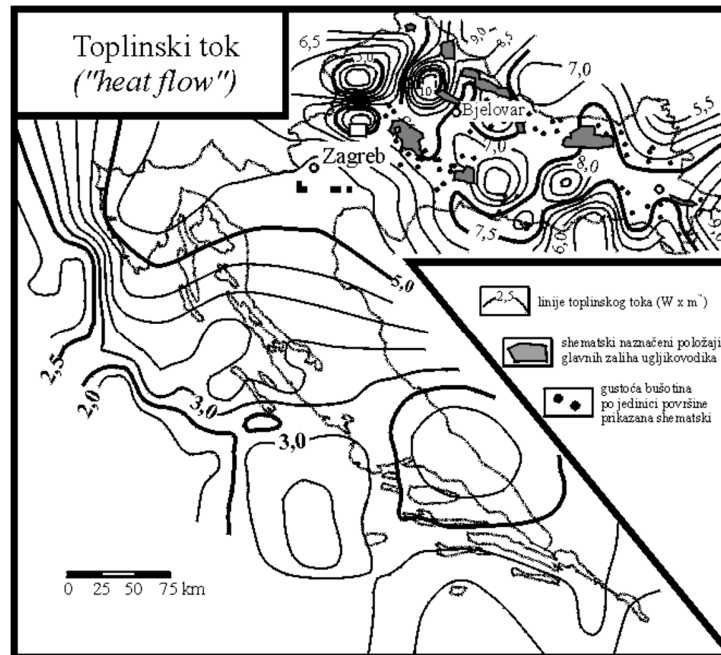
$T_f$  - temperatura formacije (°C);

$T_s$  - temperatura na sloju (°C);

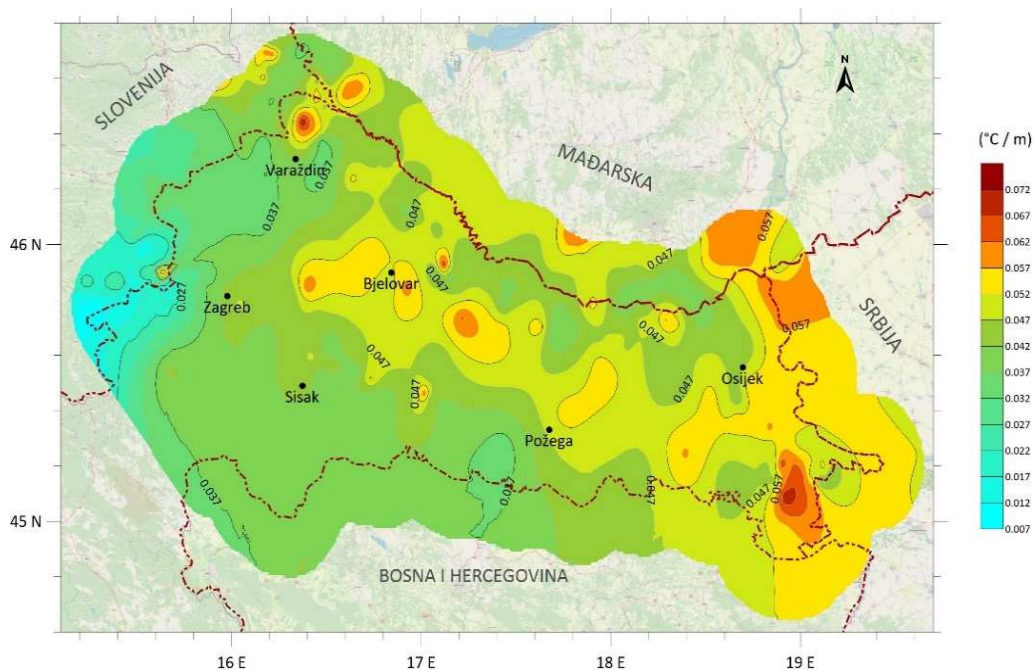
$g_T$  - geotermijski gradijent (°C/100 m);

$D$  - dubina (m).

U Hrvatskoj su vrijednosti gradijenata prema Jelić i Pavičić (1999) najčešće u intervalu između 2,5 i 7,5 °C/100 m. Prema istoj slici, unutar Bjelovarske subdepresije se te vrijednosti prema Malvić (2003) kreću između 3,8 i 6,9 °C/100 m, a cijelo se područje nalazi približno između maksimuma zapadnog dijela Dravske depresije i minimuma Papuka i Psunja. Na području Bjelovarske subdepresije, prema Macenić (2020), on iznosi 4,7 °C/100 m.



**Slika 5-1.** Raspodjela toplinskog toka u Hrvatskoj (Jelić i Pavičić, 1999).



**Slika 5-2.** Nova karta geotermalnih gradijenata na području kontinentalne Hrvatske (prema Macenić, 2020).

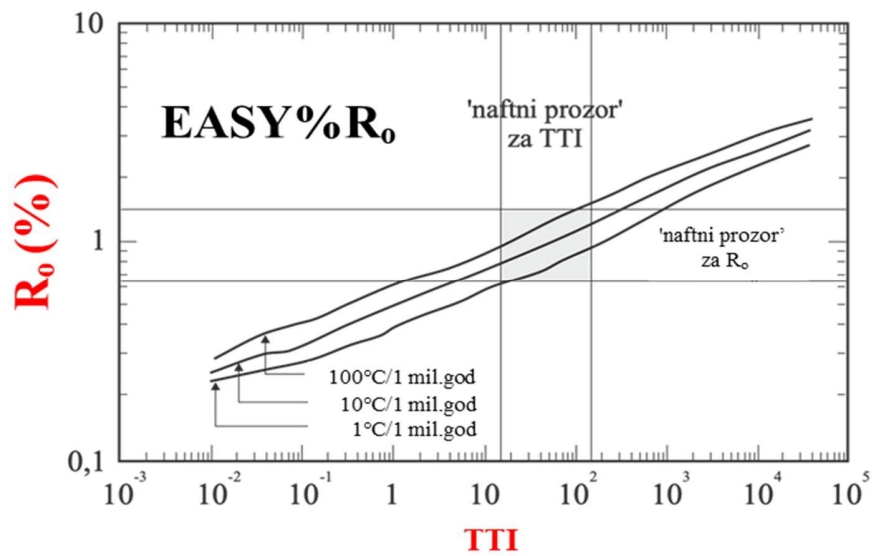
Vitrinitna refleksija vrlo je točan parametar koji pokriva široko područje zrelosti matičnih stijena koji se izražava u postocima (%). Osim što je parametar, vitrinitna refleksija ( $R_o$ ) prema Barić (2006) predstavlja metodu kojom se mjeri refleksija macerala, a prije se koristila za određivanje stupnja procesa karbonizacije. Metoda pokazuje i određena ograničenja u primjeni mjerenja uzoraka niske zrelosti te nepostojanje ili mali udio macerala vitrinita u kerogenu tipa I i II. Vrijednost vitrinitne refleksije  $<0,5\%$  pokazatelj je nezrele organske tvari, a u katagenezi se ona mijenja između 0,5 i 2%. Prema Waples (1988) početak „naftnog prozora“ bilježi vrijednosti između 0,6 i 1,35%, faza nastajanja kondenzata i mokrog plina između 1,35 i 1,75%, a suhog plina 2%. Za potrebe izradbe karata  $R_o$  za bušotine Čep, Gr, Le-4, NG-1, Pav-1, VC-1 i Ulj-1 je već ranije izmjeren, a za bušotine Ha-7, Rov-1 i Vis-1 su izračunate pomoću metode EASY% $R_o$ .

### 5.3 Određivanje termičke zrelosti (metoda EASY% $R_o$ )

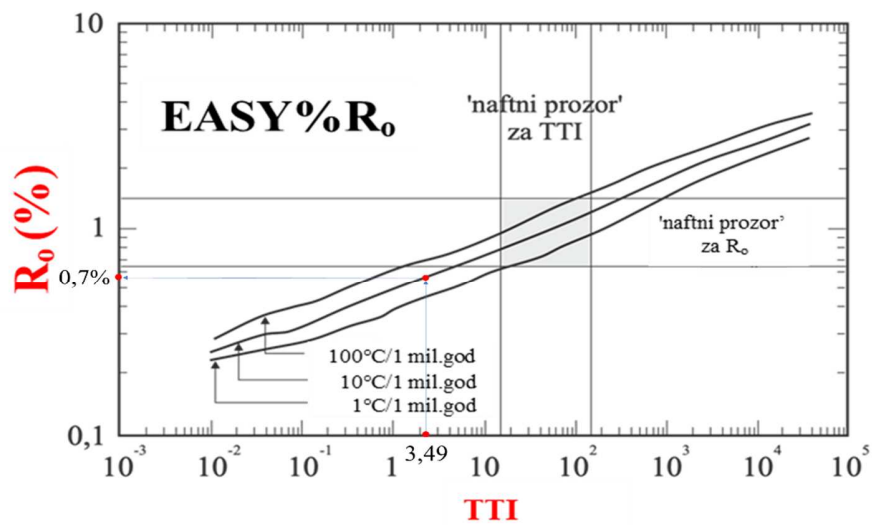
U prošlosti na području Bjelovarske subdepresije, geokemijska mjerenja nisu bila brojna niti pravilno raspoređena, stoga je upotrijebljena dodatna geokemijska procjena termijske zrelosti stijena za sve dijelove subdepresije koji se prema Malviću (2003) nalaze u završnoj fazi dijageneze. Time je ponovno provjerena zrelost dijelova subdepresije koji su označeni perspektivnim. Proračun uključuje i vrijeme u koje su sedimenti proveli na određenoj dubini u geološkoj prošlosti, a rezultat je predstavljen vrijednošću vremensko-temperaturnog indeksa.

Postupak proračuna vremensko-temperaturnih indeksa dao je Lopatin (1971), a mnogi autori su ga nadogradili i poboljšali. Zbog nedostatka dovoljno ulaznih podataka za izračun  $TTI$ -ja na nekim mjestima subdepresije, taj je indeks dobiven jednostavnom aproksimacijom preko vrijednosti  $R_o$ . Sweeney i Burnham (1990) razvili su metodu i objavili nekoliko nomograma za praktično određivanje zrelosti. Nepoznata varijabla iz para  $R_o$ - $TTI$  određuje se pomoću nomograma na slici 5-3.

Najprije treba odabrati jedan od tri odgovarajuća pravca termijskog zagrijavanja ( $1^{\circ}\text{C}/1$  mil.god.,  $10^{\circ}\text{C}/1$  mil.god. ili  $100^{\circ}\text{C}/1$  mil.god.) ili postaviti vlastiti između njih. Konstruirani pravac predstavlja kvocijent očitane današnje temperature umanjenu za prosječnu površinsku godišnju i poznate starosti sedimenta izražen u  $^{\circ}\text{C}/1$  mil.god.. Ukoliko je poznata vrijednost  $R_o$  za određenu bušotinu, ona se nanese na y-os te se od te vrijednosti povuče paralela s osi-x do pravca termijske zrelosti  $10^{\circ}\text{C}/1$  mil. god.. Od sjecišta navedenog pravca termijske zrelosti i paralele s x-osi se zatim povuče paralela s y-osi do x-osi te očita vrijednost  $TTI$ -ja s x-osi (slika 5-4). Isti postupak, ali u suprotnom smjeru se primjenjuje za očitavanje nepoznate vrijednosti  $R_o$  za poznatu vrijednost  $TTI$ -ja. Pomoću navedenog nomograma određene su nepoznate vrijednosti  $R_o$  -a i  $TTI$ -ja za bušotine korištene za izradbu karata (slika 5-5 i 5-6).



**Slika 5-3.** Određivanje vrijednosti  $R_o$  i TTI uz različite iznose termijskog zagrijavanja (prema Sweeney i Burnham, 1990).



**Slika 5-4.** Određivanje vrijednosti  $R_o$  uz poznatu vrijednost TTI-ja na primjeru bušotine Vis-1 (prema Sweeney i Burnham, 1990).



**Legenda (vrijednosti  $R_0$ ):**

■ izračunati  $R_0$

■ izmjereni  $R_0$

**Slika 5-5.** Izračunate i izmjerene vrijednosti vitrinitne refleksije u taložinama formacije Moslavačka gora.



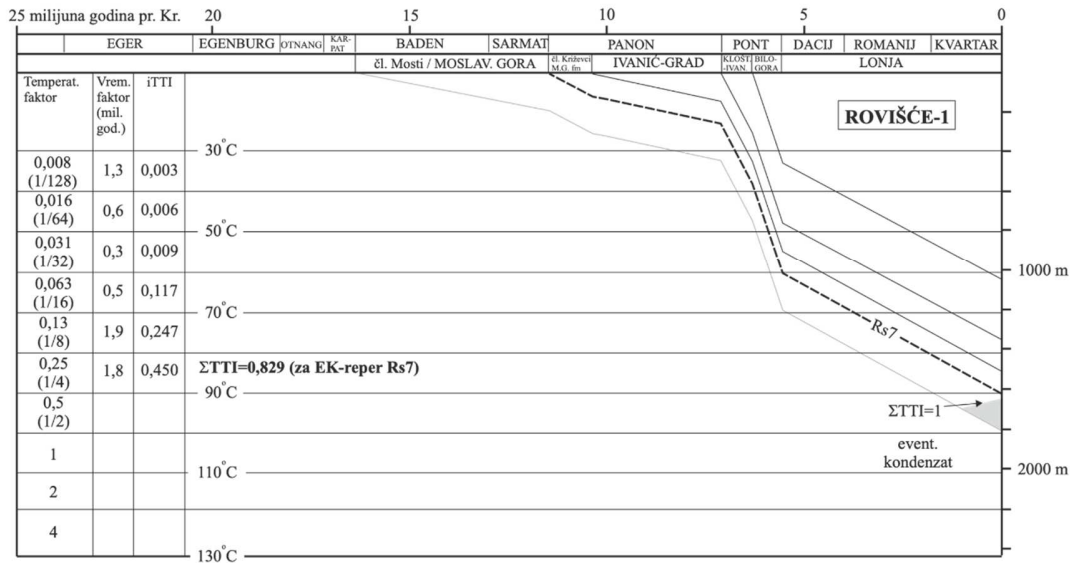
**Legenda (vrijednosti ΣTTI):**

■ izmjereni ΣTTI

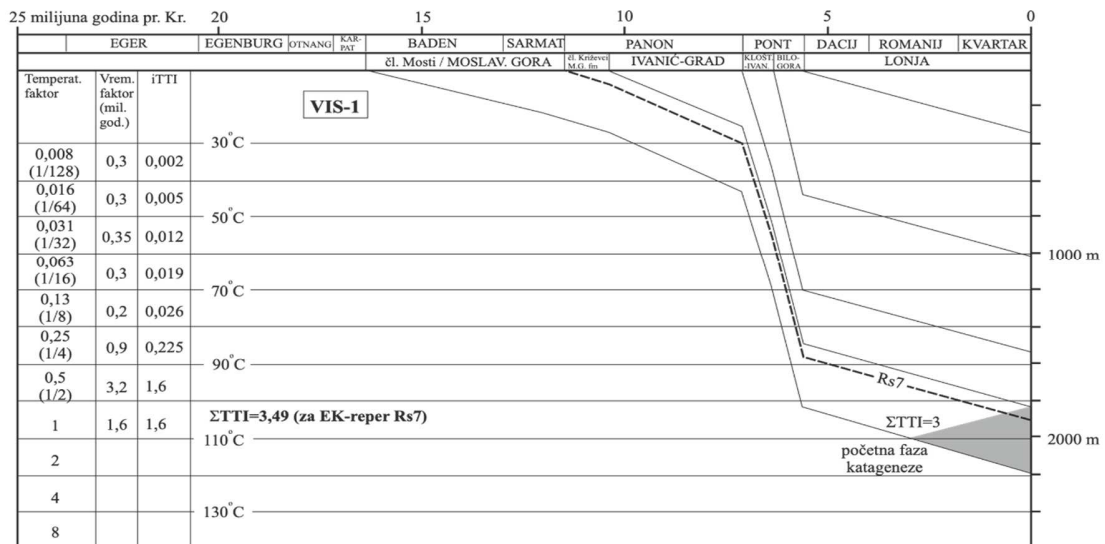
■ izračunati ΣTTI

**Slika 5-6.** Izračunate i izmjerene vrijednosti vremensko-temperaturnog indeksa u sedimentima formacije Moslavačka gora.

Vrijednost  $TTI$ -ja za izradbu karata za bušotinu Rov-1 uzeta je izmjerena vrijednost sa slike 5-7 prema Malviću (2003)  $TTI= 0,83$ , dok je vrijednost vitrititne refleksije izračunata pomoću metode  $EASY\%R_o$  te iznosi  $R_o=0,63\%$ . Prema Malviću (2003), u dva slučaja termička zrelost je označila fazu katageneze. U bušotini Vis-1 je vrijednost  $\Sigma TTI=3,49$  ukazala na ranu katagenezu (formacija Moslavačka gora) (slika 5-8).



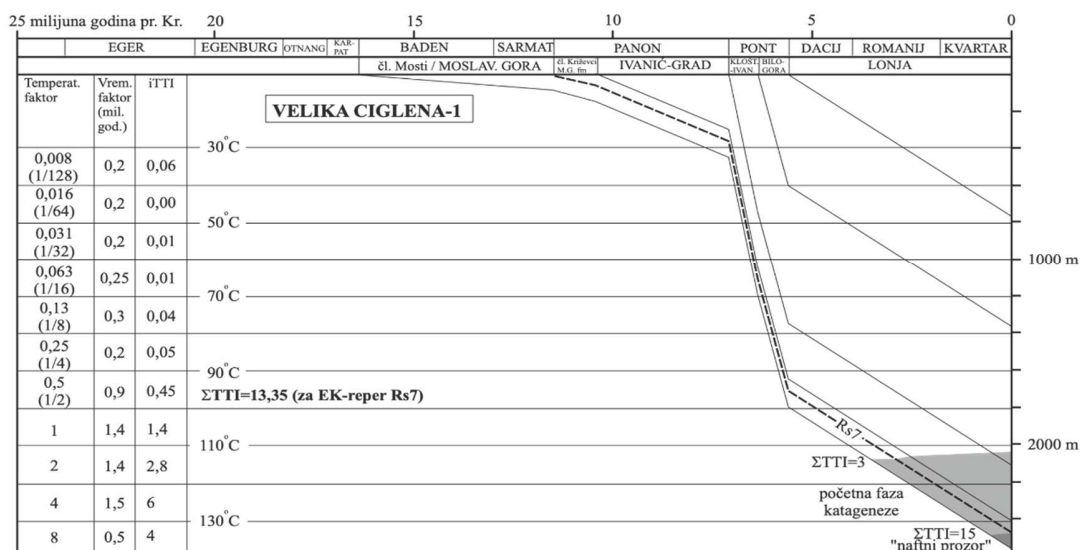
Slika 5-7. Krivulja i proračun vrijednosti  $TTI$  u bušotini Rovišće-1 (prema Malvić, 2003).



Slika 5-8. Krivulja i proračun vrijednosti  $TTI$  u bušotini Vis-1 (prema Malvić, 2003).



Za bušotinu Vis-1  $TTI$  je izmjeren i iznosi 3,49, a  $R_o$  je izračunat metodom EASY% $R_o$  i iznosi 0,7%. Najveća zabilježena termička zrelost prema Malviću (2003) u Bjelovarskoj subdepresiji izračunata je u njezinom središnjem dijelu, u bušotini VC-1 gdje se kompletni sedimenti (formacija Moslavačka gora i Ivanić-Grad) nalaze u katagenetskoj fazi, a za interval "Pt"- $R_s7$  vrijednost  $\Sigma TTI=15$  (slika 5-9). Ranije studije pretpostavljaju debljine paleogena i neogena u najdubljim dijelovima subdepresije preko 3 000 m, što otvara pretpostavku postojanja zrelih matičnih stijena. Vrijednost  $TTI$ -ja i  $R_o$ -a su već ranije izmjerene i iznose  $TTI=13,35$  te  $R_o=1,3\%$ .



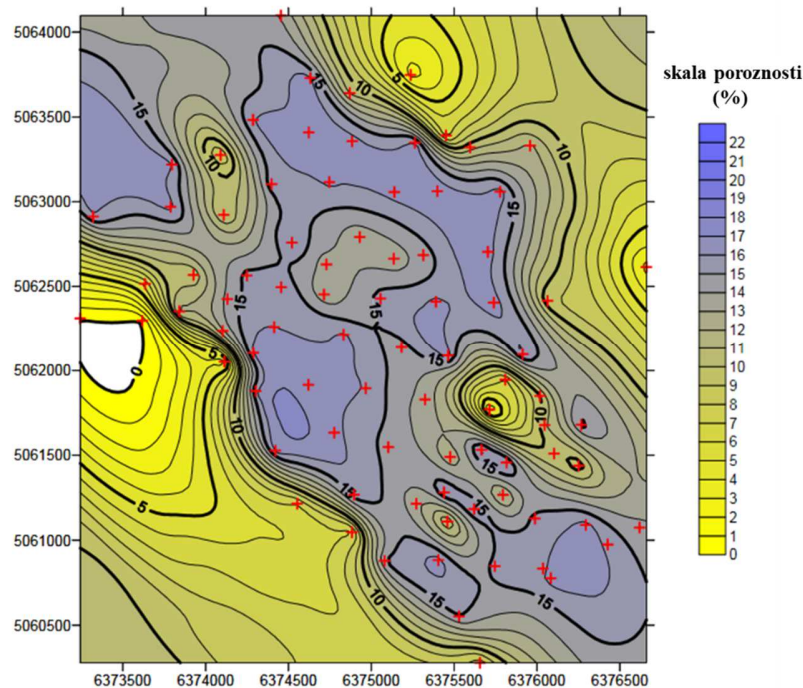
Slika 5-9. Krivulja i proračun vrijednosti  $TTI$  u bušotini Velika Ciglena-1 (prema Malvić, 2003).

## 6. RAČUNALNA IZRADBA DUBINSKIH KARATA PROMATRANIH GEOKEMIJSKIH VARIJABLI

Na dubinskim geološkim kartama mogu se naći različiti oblici i parametri. Linije koje se nalaze na kartama, povezuju sve točke s jednakom vrijednosti kartiranog parametra (npr.  $R_o$  ili  $TTI$ ), a konstruiraju se postupkom interpolacije ili ekstrapolacije. Interpolacija u matematici i fizici (prema <https://enciklopedija.hr/>, 2021) označava određivanje nepoznatih vrijednosti neke veličine s pomoću poznatih vrijednosti u nekom intervalu u kojem su poznate zakonitosti njezinih promjena. U matematičkom polju numeričke analize, interpolacija je metoda izvedbe novih točkastih podataka unutar raspona određenog skupa poznatih vrijednosti (Mesić Kiš, 2017).

U geologiji ona predstavlja postupak crtanja linija jednakih vrijednosti na karti kojim se dodjeljuju odgovarajuće vrijednosti unutar međubušotinskog prostora. Te vrijednosti su pretpostavljene na temelju postojećih točkastih podataka (bušotinskih, seizmičkih i drugih) (Malvić i Saftić, 2008). Za razliku od interpolacije, ekstrapolacija je postupak crtanja odgovarajućih linija jednakih vrijednosti izvan međubušotinskog prostora pa do ruba krate. Ručno nacrtane karte su se u prošlosti, ali i danas, izrađivale na način da se provlače odgovarajuće linije prema odabranoj ekvidistanci između dviju susjednih točaka. Pri tomu treba pripaziti da se linije jednakih vrijednosti ne sijeku i da ne presijecaju linije veće ili manje vrijednosti, ali da se one spajaju u oblik „leptira“ (engl. *butterfly*) (slika 6-1). Sve ostale očekivane vrijednosti trebaju prolaziti između susjednih linija.

Inženjerstvo i znanost općenito raspolažu određenim brojem podataka koji su dobiveni uzorkovanjem ili eksperimentiranjem, a oni predstavljaju vrijednosti funkcije za ograničeni broj vrijednosti nezavisne varijable. Stoga je potrebno procijeniti, tj. interpolirati vrijednost te funkcije za srednju vrijednost nezavisne varijable, što se postiže prilagodbom krivulje. Postoji mnogo metoda interpolacije od kojih mnoge uključuju prilagođavanje nekakve vrste funkcije podacima, a zatim procjenu vrijednosti te funkcije na željenoj točki.



**Slika 6-1.** Oblik „leptira“ opažen na liniji jednake poroznosti „15“ u središtu karte (prema Malvić i Saftić, 2008).

Kartiranje općenito predstavlja postupak izradbe različitih vrsta karata, dok je kartografija znanstvena disciplina o metodama izradbe karata. Karta u geografiji predstavlja umanjeni prikaz Zemljine površine, a u geologiji površine ili plohe ili volumena u dubini. Prema Borčić i Frančula (1979) karta je umanjeni, uopćeni, objašnjeni i po matematički izraženim uvjetima deformirani prikaz na ravnini stvarnog stanja. Kartografski prikaz karakterističan je po grafičkom prikazivanju i sredstvima prikazivanja (kartografski znaci). Zbog opsežnosti i raznolikosti sadržaja, kartografija obuhvaća matematičku kartografiju ili kartografske projekcije, opću kartografiju, praktičnu kartografiju, tematsku kartografiju i metakartografiju. Sastavljanje i oblikovanje geoloških karata pripada području praktične kartografije. Praktična kartografija bavi se primjenom teoretskih načela u sastavljanju i oblikovanju sadržaja karata, počevši od prikupljanja izvornih materijala do umnožavanja karata (Borčić i Frančula, 1979). Za izradbu karata potrebni su složeni postupci u kojima se mnogo različitih operacija usklađuje u jednu cjelinu. Geološke karte se mogu izrađivati u različitim mjerilima (npr. 1: 100 000 i

1:25 000), bilo ručno ili upotrebom različitih matematičkih algoritama koji se primjenjuju u specijalističkim programima za kartiranje na računalu.

Raznovrsno geološko kartiranje se temelji na jednakim pravilima kao kartiranje u drugim strukama. Za pojedine geološke discipline postoje različite podskupine izradbe karata. Neke od tih karata su osnovne geološke karte, geokemijske karte, geomagnetske karte, hidrogeološke karte, karte koncentracija mineralnih sirovina, strukturne i paleostrukturne karte, karte debljina slojeva ili ležišta ugljikovodika, karte šupljikavosti, ali i druge, namjenske karte u kojima se mogu objediniti geološki i geofizički podatci. Iz velikog broja vrsta geoloških karata može se zaključiti da se svaka geološka varijabla može kartirati.

U geologiji ležišta ugljikovodika se geološke karte još nazivaju i dubinskogeološkim kartama na kojima se prikazuju različiti strukturni odnosi ležišta, njihove debljine, dubine, litološki sastav i petrofizikalne varijable koja obilježavaju ta ležišta (šupljikavost i propusnost). Dubinskogeološke karte dijele se na strukturne, karte debljine slojeva (karte izohora), karte pravih debljina (karte izopaha) te litofacijsne karte. Za izradbu takve vrste karata vrlo je važan izvor podataka, njihov broj i vrsta (seizmička mjerenja i bušotinski podatci kojima su utvrđene dubine, debljine i litološki sastav jedinica). Bez obzira koja se geološka jedinica kartira, dubinskogeološkim kartama se određuje oblik i veličina zamke, migracijski putovi te značajke litološkog sastava.

Prilikom izradbe karata osim detalja, načina prikaza, tj. boje, mjerila, raspona kartirane vrijednosti, ekvidistance te odabrane širine zone ekstrapolacije, mnogo je važnija pouzdanost dobivenih karata. Pouzdanost se može procijeniti na temelju oblika iscrtanih izolinija, iskustva inženjera koji je izradio kartu ili na temelju postojeće numeričke veličine kod određenih matematičkih metoda interpolacije koja ukazuje na mjeru točnosti karte. Kvalitativno se ona određuje na temelju vrste i brojnosti ulaznih podataka koji su uvijek točkasti te na taj način prekrivaju područje koje želimo kartirati. Za odabranu geološku jedinicu očitava se neka veličina (debljina, broj propusnih slojeva, srednja poroznost,  $R_o$  ili  $TTI$ ) koja se zatim nanosi na podlogu buduće karte. Da bi se bolje razumjelo područje i sredina u kojoj se izrađuje dubinskogeološka karta, potrebno je upoznati regionalne tektonske i stratigrafske osnove kartiranog područja.

## 6.1. Interpolacijske metode

Interpolacija, odnosno procjena predstavlja pokušaj određivanja vrijednosti odabrane veličine na mjestima na kojima ta veličina (npr.  $R_o$  ili  $TTI$ ) nije mjerena, a moguće ju je načiniti u jednoj, dvije ili tri dimenzije. Prema Malvić et al. (2020) interpolacija je postupak koji ovisi o prostornim i / ili statističkim svojstvima analiziranih varijabli. Te varijable mogu biti poznate vrijednosti promatrane primarne varijable (autokorelacija) ili vrijednosti jedne ili više drugih sekundarnih varijabli na istom prostoru uz uvjet da su one u jakoj korelaciji s primarnom varijablom. Danas postoji mnogo raznih metoda procjene, tj. razina interpolacijskih tehnika kao što su metoda inverzne udaljenosti (skr. *IDW*) (engl. *Inverse Distance Weighting*), metoda najbližeg susjedstva (engl. *Nearest Neighbourhood*), metoda lokalne sredine (engl. *Moving Average*) i kriging (engl. *Kriging*). U ovom radu upotrijebljena je metoda inverzne udaljenosti za izradbu karata pomoću programa Surfer 8.0<sup>TM</sup> koji uz ovu metodu omogućava upotrebu još jedanaest interpolacijskih metoda.

## 6.2. Metoda inverzne (obrnute) udaljenosti (*IDW* (engl. *Inverse Distance Weighting*))

Metoda inverzne udaljenosti, jedna od najčešćih determinističkih matematički jednostavnijih interpolacijskih metoda, primijenjena je često i kao alternativa geostatističkim postupcima. Deterministička interpolacijska metoda daje samo jedno rješenje, tj. primjenom iste metode za isti skup podataka uvijek će se dobiti ista karta. Kod te metode kontrolnim točkama uključenim u procjenu vrijednosti se također dodjeljuju odgovarajući koeficijenti ovisno o njihovim udaljenostima, no proračun tih vrijednosti te određivanje radijusa u kojemu su smještene točke koje utječu na procjenu prilično je jednostavna (Malvić, 2005). *IDW*-om (engl. *Inverse Distance Weighting*) procjenjuje se nepoznata vrijednost varijable na temelju izmjerenih vrijednosti uključenih u pretraživanu kružnicu ili elipsoid (slika 6-2) koristeći relativno jednostavni matematički izraz (jednadžba 6-1).

$$z_{IU} = \frac{\frac{z_1}{d_1^p} + \frac{z_2}{d_2^p} + \dots + \frac{z_n}{d_n^p}}{\frac{1}{d_1^p} + \frac{1}{d_2^p} + \dots + \frac{1}{d_n^p}} \quad (6-1)$$

gdje su:

$z_{IU}$  - procijenjena vrijednost;

$d_1, \dots, d_n$  - udaljenosti lokacija  $1, \dots, n$  od mjesta procjene  $z_{IU}$ ;

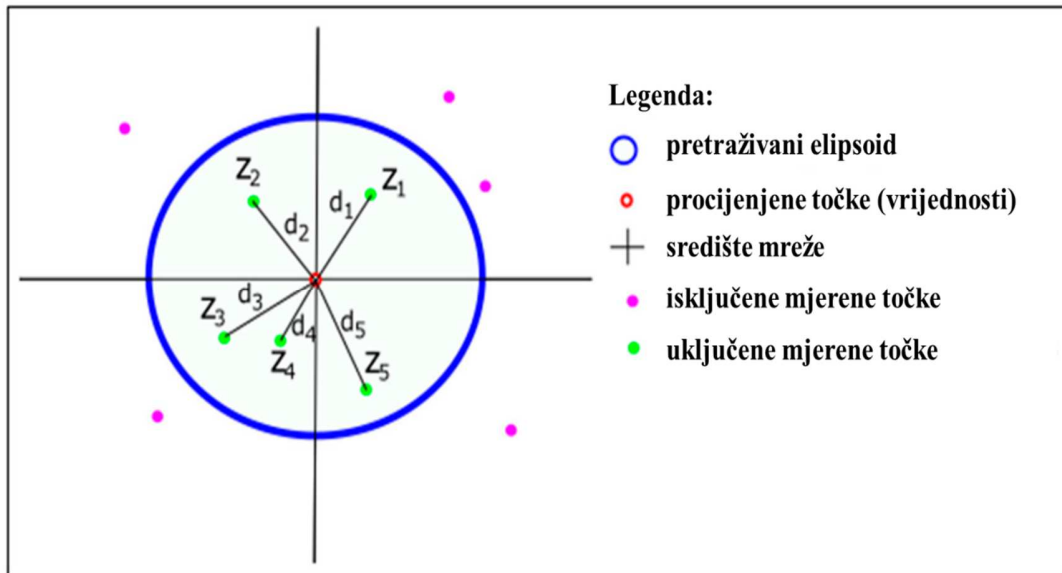
$p$  - težinski koeficijent udaljenosti;

$z_1, \dots, z_n$  - stvarne (mjerene) vrijednosti na lokacijama  $1, \dots, n$ .

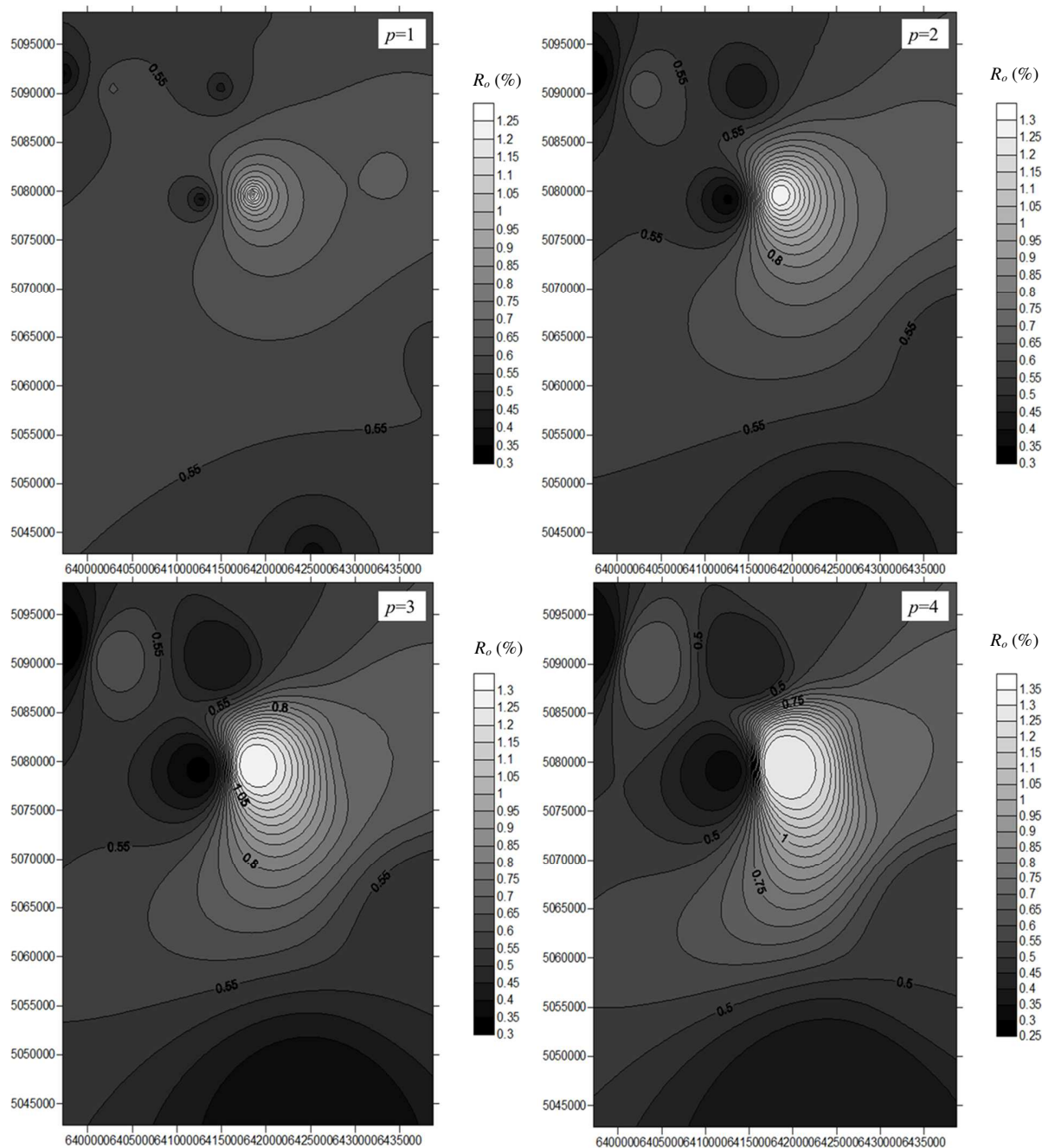
Utjecaj svake točke obrnuto je proporcionalan njezinoj udaljenosti od lokacije na kojoj se procjenjuje vrijednost (Malvić, 2008). Drugim riječima vrijednost koeficijenta varijacije inverzan je težinskom koeficijentu udaljenosti. Broj točaka uključenih u procjenu ( $z_1, \dots, z_n$ ) određen je polumjerom kružnice postavljene oko spomenute lokacije. Sam rezultat metode snažno ovisi o vrijednosti težinskog koeficijenta udaljenosti ( $p$ ) koja najčešće iznosi 2 jer je time oblik karte, odnosno zaobljavanje linija i sam račun najjednostavniji. Vrijednost  $p=2$  je empirijski dokazana kao najprikladnija vrijednost za dubinskogeološko kartiranje HPBS-a. Veće vrijednosti težinskog koeficijenta udaljenosti ( $p$ ) imaju naklonost prema većem utjecaju izmjerenih točaka bliže interpoliranoj točki te naposljetku završe na zonalnoj interpolaciji. Ta vrijednost može biti i drugačija prema Malvić et al. (2019) između 1 i 3 te odabir treba provjeriti usporedbom nekoliko dobivenih rješenja.

Prema Ivšinović i Malvić (2020) vrijednost  $p=1$  naglašava veći utjecaj udaljenijih izmjerenih točaka i većih regionalnih izravnavanja cijele karte. Za  $p=3$  se prema Balić et al. (2008) podatci na manjim udaljenostima i dalje će imati veći utjecaj, no pojedinačni dalji podatci mogu znatno više utjecati na procjenu u točki negoli kod manjih vrijednosti  $p$  (slika 6-3 i 6-4). Ako interpretator posjeduje (dobro) znanje o bočnim varijacijama varijable u kartiranom sloju i poznaje algoritam kartiranja, pametnom uporabom većih vrijednosti težinskoga koeficijenta udaljenosti može ih naglasiti. Uz navedeno, ova se metoda prema Husanović i Malvić (2014)

često koristi kao alternativa za geostatističke metode te je vrlo uspješna ukoliko izmjerene vrijednosti ne čine klaster (engl. *cluster*), tj. nisu snažno grupirane zato što se onda podacima dodjeljuju manji (ili zajednički) težinski faktori.

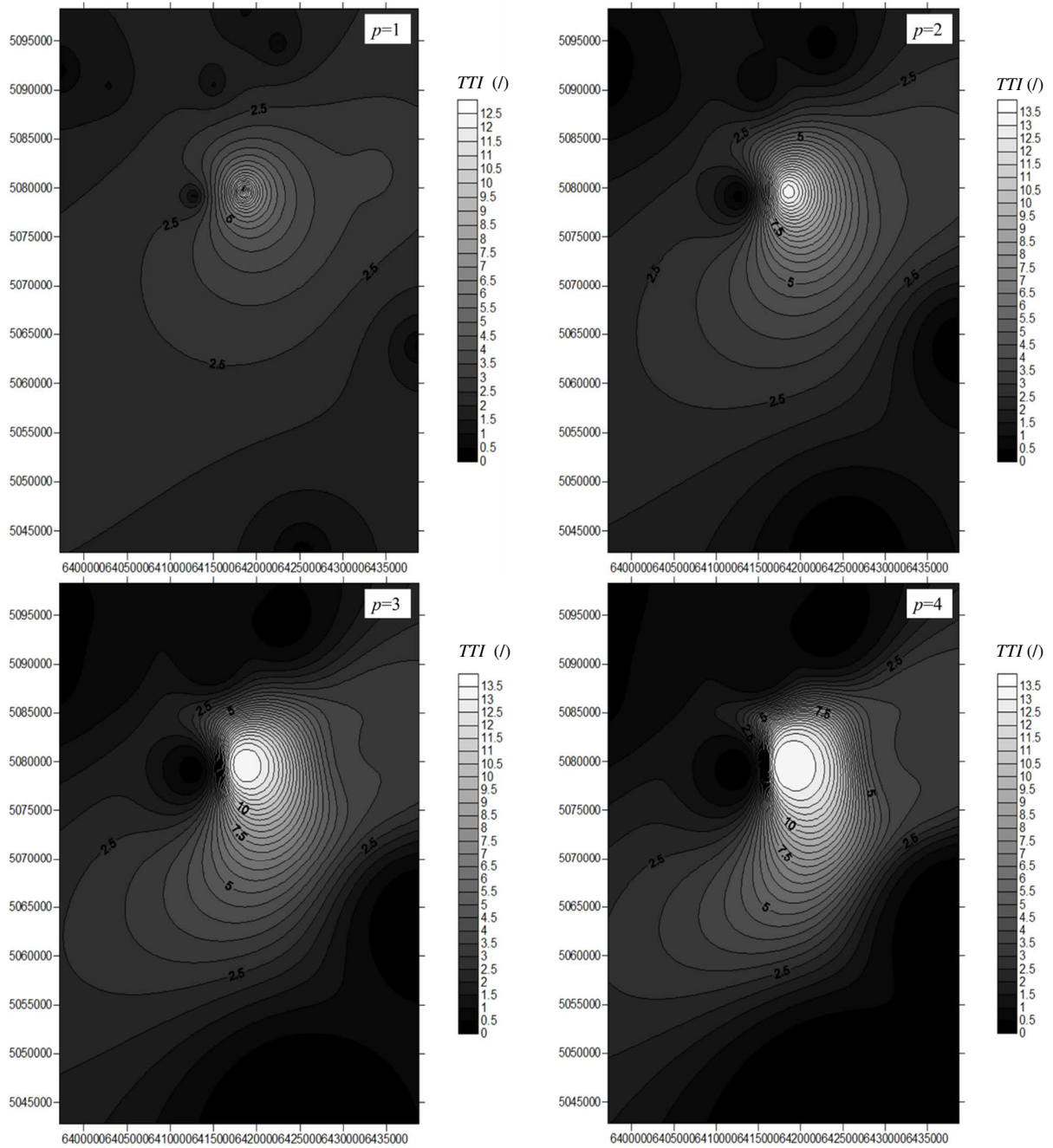


**Slika 6-2.** Pretraživani elipsoid, mjerene i procijenjene točke upotrijebljene za *IDW* izračun (prema Malvić et al., 2019).



**Slika 6-3.** Prikaz posljedice promjene vrijednosti težinskog koeficijenta udaljenosti ( $p$ ) na strukturnoj karti  $IDW$ -a dobivena interpolacijom varijable  $R_o$ .





**Slika 6-4.** Prikaz posljedice promjene vrijednosti težinskog koeficijenta udaljenosti ( $p$ ) na strukturalnoj karti  $IDW$ -a dobivena interpolacijom varijable  $TTI$ .

Analiziranjem parametara ležišta vrlo je važno primijeniti odgovarajuću metodu interpolacije. Izbor odgovarajuće metode interpolacije temelji se na veličini ulaznog skupa podataka. Za uzorak s manje od 20 podataka koji se smatra malim skupom brojeva se prema Ivšinović i Malvić (2020) koristi metoda inverzne udaljenosti kao uobičajena metoda interpolacije karata za male uzorke u HPBS-u. Također je *IDW* jedna od najčešće korištenih metoda za kartiranje različitih varijabli u geologiji. Široko je primjenjivana, posebno za manje skupove ulaznih podataka. Unatoč primjenjivosti ove metode, jasno je da karta konstruirana *IDW* metodom često bude nerealistično previše detaljna te ju je prema Malviću (2008) teže interpretirati.

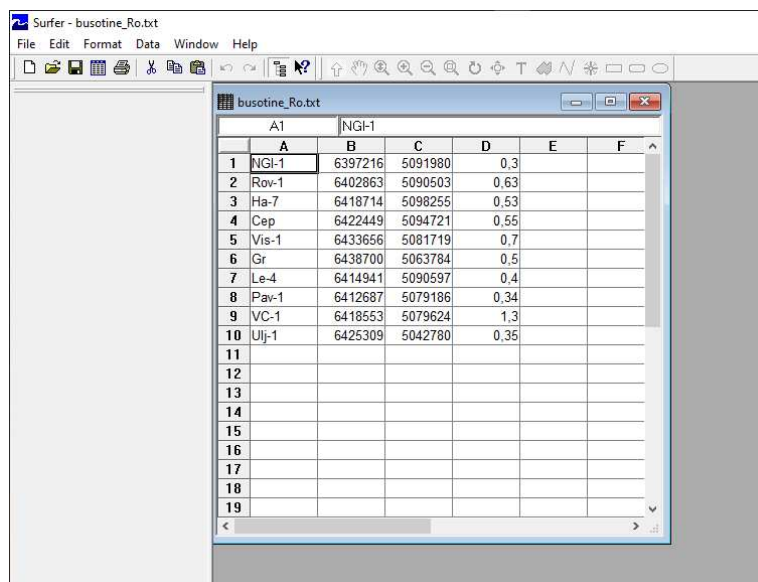
Jedna od prednosti *IDW* metode je njezina jednostavnost u pripremi i brzina u proračunu. Njezin algoritam radi vrlo dobro s relativno pravilno razmještenim kontrolnim točkama (Malvić, 2005). Dobiveni izlaz je relativno pregledan, a podrazumijeva se da ne sadrži mnogo relativno malih površina različitih minimuma i maksimuma. Prema Malvić et al. (2019), rasjed na karti može definirati vodenu frontu uporabom *IDW* metode. To znači da se bilo kumulativni volumeni utiskivane vode u ležište te bilo indirektna kretanja vodene fronte, mogu jednostavno popratiti *IDW* kartama.

Slabost ove metode prema Husanović i Malvić (2014) je dobiti preciznije uvide u strukturne oblike i stratigrafske odnose na dubinskogeološkim kartama i u geološke varijable ležišta ugljikovodika za uzorak s više od 20 podataka. Nedostatak metode je uočen prilikom upotrebe skupa podataka čije se pojedinačne točke grupiraju u skupine (klaster). Kvalitetno načinjena podjela okolnoga prostora kod metode inverzne udaljenosti, može dijelom riješiti problem grupiranja podataka koji inače ta metoda relativno slabo aproksimira. Definiranjem različitog broja sektora u različitim smjerovima prema Malviću (2005) može se obuhvatiti i anizotropija.

### 6.3. Korišteni računalni program

U ovome poglavlju opisan je računalni program korišten za kartiranje geokemijskih i geoloških varijabli. Riječ je komercijalnom paketu Surfer (Surfer 8.0<sup>TM</sup>). U ovom radu korištena je licencirana verzija programskog paketa Surfer (Surfer 8.0<sup>TM</sup>) za kartiranje metodom inverzne udaljenosti. Surfer sadrži opsežne alate za modeliranje kako bi prikupljene ulazne podatke za izradbu karata što točnije i preciznije vizualizirao, analizirao te pridonio kvalitetnijoj komunikaciji i raspravi o rezultatima. Predstavlja napredni interpolacijski program koji se prema <http://www.goldensoftware.com/> (2021) može koristiti za površinsko i dubinsko modeliranje, vizualizaciju, interpolaciju, itd..

Surfer omogućava prilagodbu parametara interpolacije (npr.  $R_o$  i  $TTI$ ) i umrežavanja, definiranje grešaka i graničnih linija te izvode izračuna mreže poput volumena, transformacija, zaglađivanja ili filtriranja. Ulazni podatci (slika 6-5) se pomoću tog programskog paketa brzo pretvaraju u znanje i sjajne proizvode koji su jasni, sažeti te vizualno privlačni. Ovaj programski paket primjenjuje širok spektar znanstvenika poput agronoma, energetičara, geologa, geofizičara, građevinskih inženjera, inženjera zaštite okoliša, meteorologa, naftnih inženjera, vojnih inženjera i još mnogi drugi.

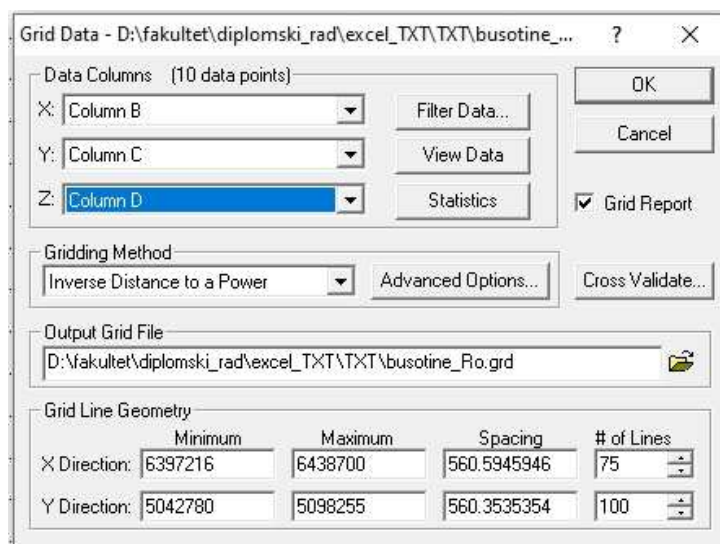


The screenshot shows the Surfer 8.0 software interface with a data table open. The table has columns labeled A through F and rows numbered 1 through 19. The data is as follows:

	A	B	C	D	E	F
1	NGI-1	6397216	5091980	0,3		
2	Rov-1	6402863	5090503	0,63		
3	Ha-7	6418714	5098255	0,53		
4	Cep	6422449	5094721	0,55		
5	Vis-1	6433656	5081719	0,7		
6	Gr	6438700	5063784	0,5		
7	Le-4	6414941	5090597	0,4		
8	Pav-1	6412687	5079186	0,34		
9	VC-1	6418553	5079624	1,3		
10	Ulji-1	6425309	5042780	0,35		
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

**Slika 6-5.** Primjer sučelja i ulaznih podataka u Surferu 8.0<sup>TM</sup>.

Komercijalni paket Surfer 8.0<sup>TM</sup> dopušta upotrebu dvanaest metoda interpolacije, a jedna od njih je *IDW* metoda (slika 6-6). U ovome radu su izrađene i priložene četiri karte, dvije 2D karte i dvije 3D sa setom od deset ulaznih podataka koji predstavljaju (X i Y) koordinate bušotina te varijable *R<sub>o</sub>* i *TTI* za odabrane bušotine unutar Bjelovarske subdepresije.



**Slika 6-6.** Primjer sučelja u Surferu 8.0<sup>TM</sup>.

Program omogućava i promjene vrijednosti varijabli kao što je težinski koeficijent udaljenosti (*p*). Unutar programa postoji i opcija kojom se mijenja radijus elipsoida pretraživanja, kojim je određena prosječna veličina skupa mjerenih podataka koji se koriste za izračun u svakoj točki mreže (npr. Mesić Kiš, 2017). Zatim program automatski stvara mrežu koja se koristi u izradbi karte te prikazuje mrežu procijenjenih vrijednosti točaka za izradbu karte metodom inverzne udaljenosti. Unutar granica pretraživanja čiji je radijus elipsoid ili kružnica, za svaku točku, program računa njezin utjecaj na točku čija se vrijednost procjenjuje.

## 7. REZULTATI DUBINSKOGA KARTIRANJA GEOKEMIJSKIH VARIJABLI METODOM INVERZNE UDALJENOSTI

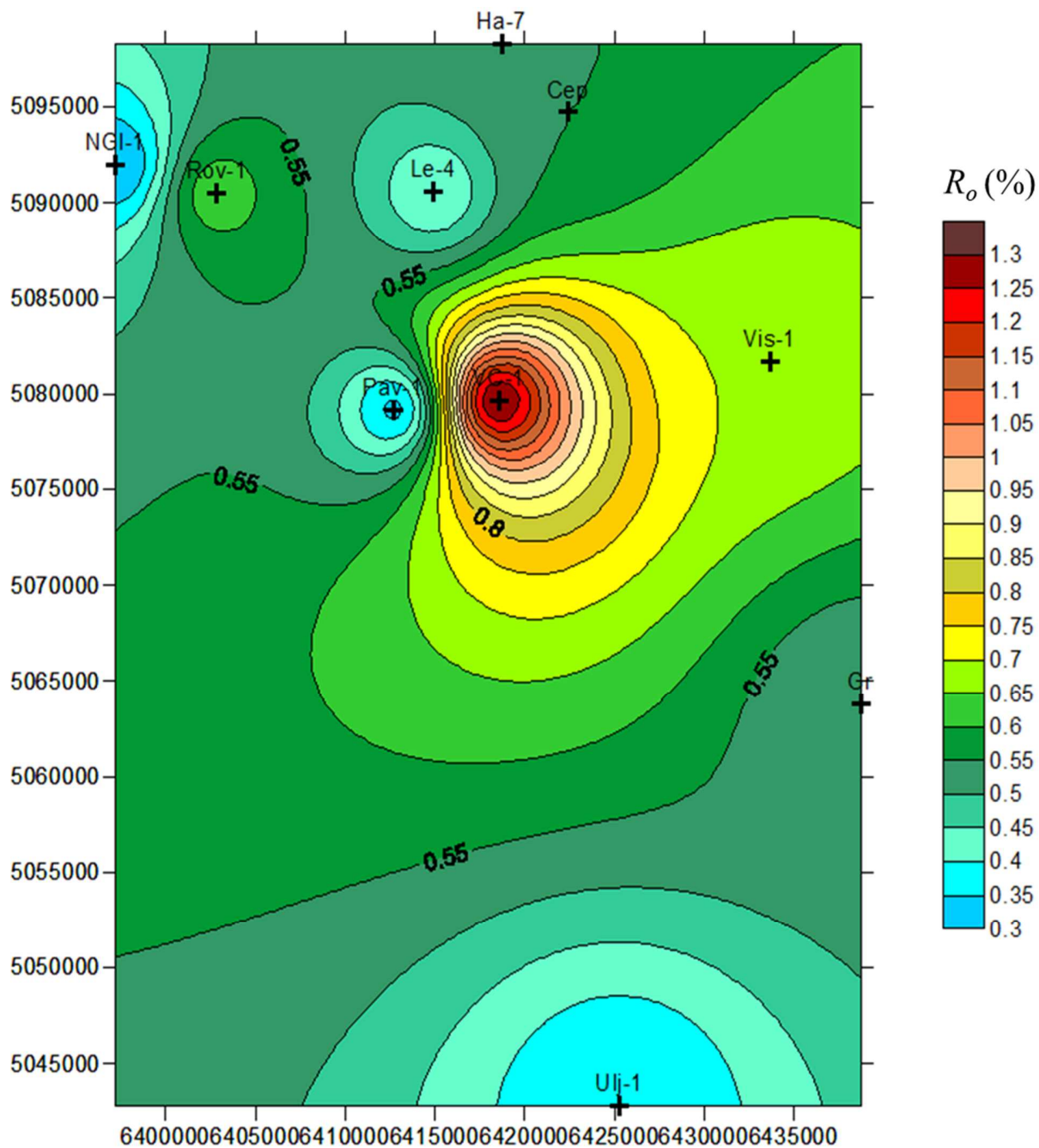
Metoda inverzne udaljenosti primijenjena u Surferu 8.0<sup>TM</sup> služila je za analizu i kartiranje geoloških i geokemijskih varijabli u prostoru Bjelovarske subdepresije. Navedenom metodom su računalom pomoću programa konstruirane nove digitalne karte na temelju starijih ručno izrađenih. Nove karte su detaljnije od onih ručnih karti prema Malviću (2003) zato što je više podataka pri ruci bilo, a varijable koje su korištene su preciznije određene (tablica 7-1 i 7-2). Gauss-Krügerove koordinate bušotinskih podataka dobiveni su prema Malviću (2003) izravnim očitavanjem koordinata sa strukturnih karata u prostoru Bjelovarske subdepresije. Unošenjem podataka iz tih tablica u program dobiju se karte (slika 7-1, 7-2, 7-3, 7-4).

**Tablica 7-1.** Ulazni podatci za izradbu karata vitrinitne refleksije ( $R_o$ ) metodom inverzne udaljenosti.

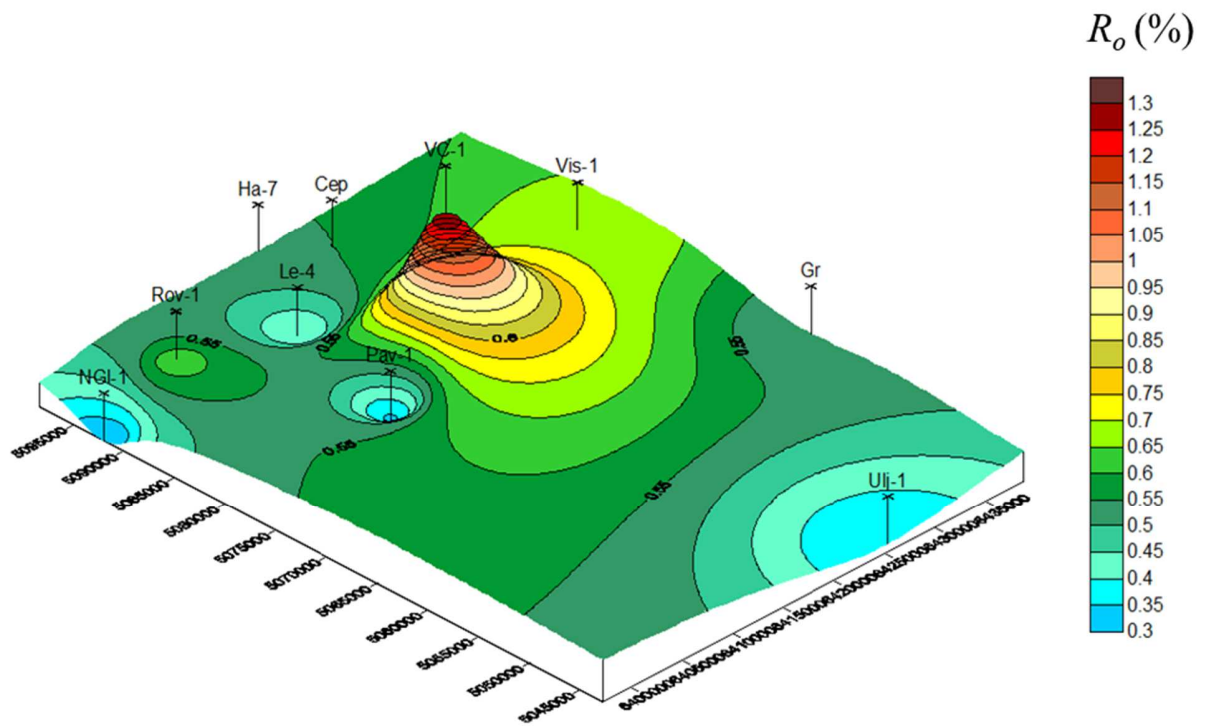
Bušotina	Gauss-Krüger (X)	Gauss-Krüger (Y)	Vitrinitna refleksija [%] ( $R_o$ )
NGI-1	6397216	5091980	0,3
Rov-1	6402863	5090503	0,63
Ha-7	6418714	5098255	0,53
Cep	6422449	5094721	0,55
Vis-1	6433656	5081719	0,7
Gr	6438700	5063784	0,5
Le-4	6414941	5090597	0,4
Pav-1	6412687	5079186	0,34
VC-1	6418553	5079624	1,3
Ulj-1	6425309	5042780	0,35

**Tablica 7-2.** Ulazni podatci za izradbu karata vremensko-temperaturnog indeksa (*TTI*) metodom inverzne udaljenosti.

<b>Bušotina</b>	<b>Gauss-Krüger (X)</b>	<b>Gauss-Krüger (Y)</b>	<b>Vremensko-temperaturni indeks (<i>TTI</i>)</b>
NGI-1	6397216	5091980	0,011
Rov-1	6402863	5090503	0,83
Ha-7	6418714	5098255	0,66
Cep	6422449	5094721	0,3
Vis-1	6433656	5081719	3,49
Gr	6438700	5063784	0,2
Le-4	6414941	5090597	0,66
Pav-1	6412687	5079186	0,36
VC-1	6418553	5079624	13,35
Ulj-1	6425309	5042780	0,022

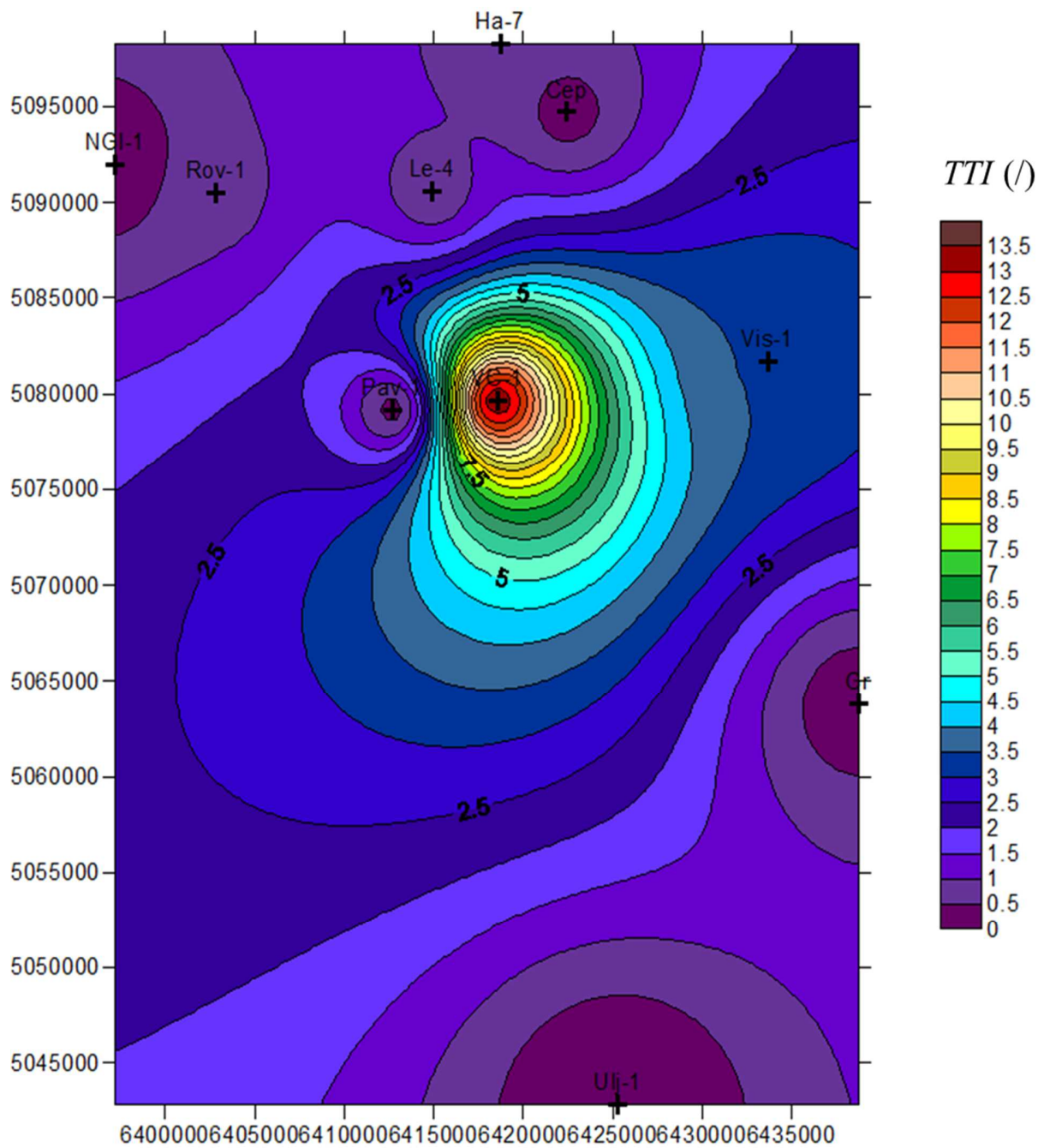


**Slika 7-1.** 2D karta geokemijske varijable  $R_o$  u prostoru Bjelovarske subdepresije.

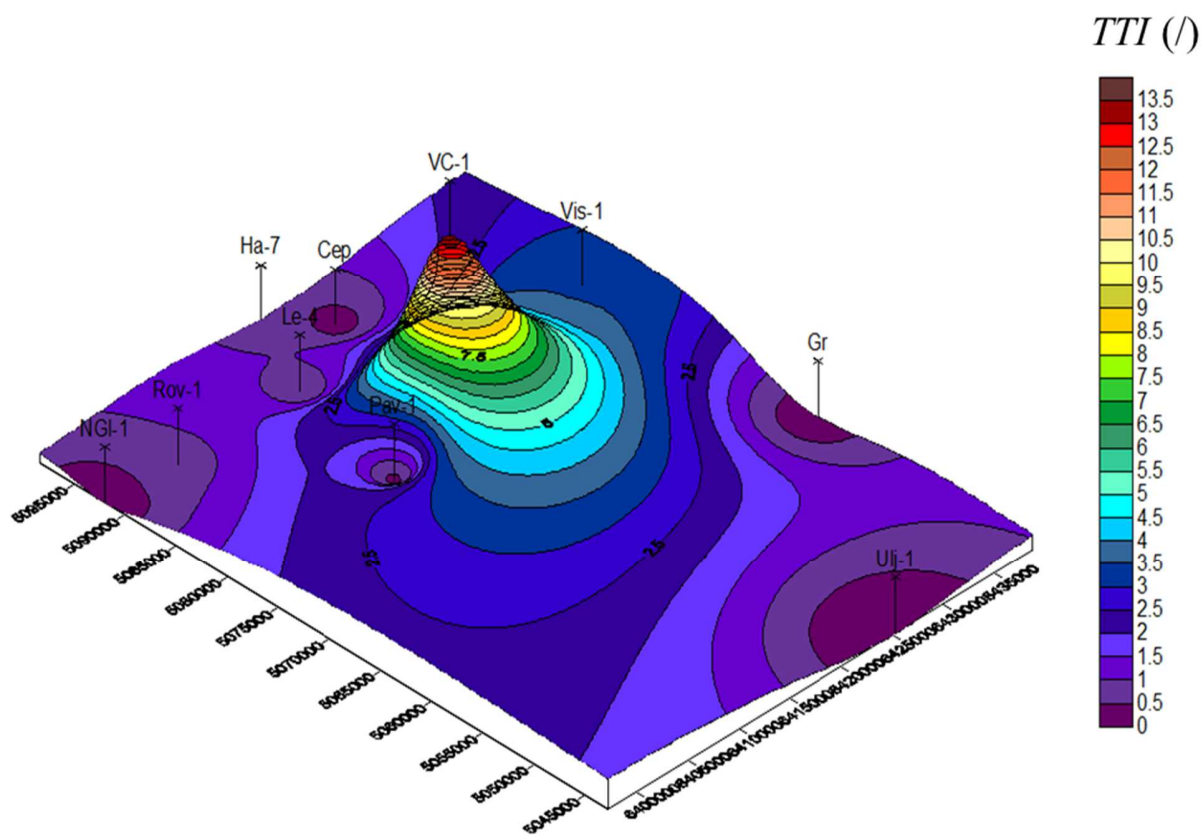


Slika 7-2. 3D karta geokemijske varijable  $R_o$  u prostoru Bjelovarske subdepresije.





**Slika 7-3.** 2D karta geokemijske varijable  $TTI$  u prostoru Bjelovarske subdepresije.

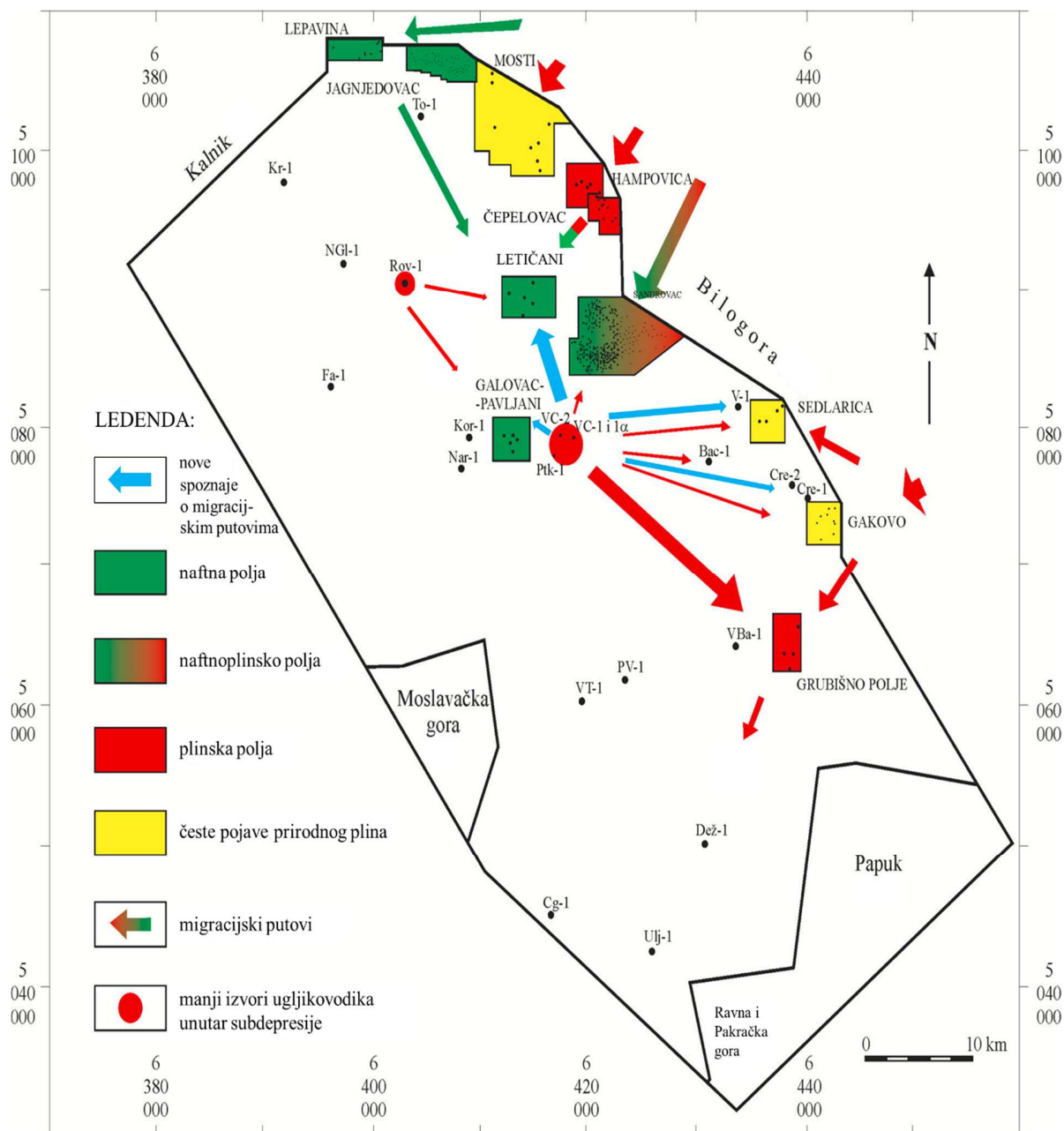


Slika 7-4. 3D karta geokemijske varijable  $TTI$  u prostoru Bjelovarske subdepresije.

Rezultati interpolacije za obje karte ukazuju na jako izražen efekt koncentriranja kružnih izolinja (engl. *bull's eyes effect*) oko bušotina u središnjim dijelovima karata. Javlja se kada je utjecaj ostalih točaka, posebno daljih, jako mali ili ga uopće nema. Time ukazuje na premali broj podataka i/ili loše određivanje prostorne zavisnosti, koja je premala. To ograničenje, često svojstveno baš za metodu inverzne udaljenosti, može se dijelom korigirati promjenom težinskog koeficijenta ( $p$ ) udaljenosti s 2 na 4. Nadalje, progušćivanje izolinja na slikama 7-1 i 7-3 je rezultat postojanja rasjeda velikoga skoka koji se može uočiti na strukturnim kartama objavljenim u Malviću, (2003). Sam rasjed je ocjenjen kao dijelom sinsedimentacijski, koji je time uzrokovao veće dubine pa time i vrijednosti u pojedinim prostorima karte. Takvo obilježja obično su dodatno naglašena na kartama proizašlim iz malih skupova podataka te ih prema Malvić et al. (2019) treba pažljivo protumačiti.

Na interpoliranim kartama mogu se, posredno, raspoznati dvije najdublje sinklinale, u kojima su ujedno najveće kartirane vrijednosti  $TTI$  i  $R_o$ , na lokacijama bušotina Rov-1 i VC-1. Samo tamo je interval badena (16,4-13,0 mil. god.) i sarmata (13,0-11,5 mil. god.) dosegao dovoljnu termičku zrelost za ulazak u katagenezu (VC-1) te kasnu dijagenezu (termički nezreli sedimenti) (Rov-1). Ono što na temelju postojećih podataka, analiza i računa nije bilo moguće odrediti su količine tako stvorenih ugljikovodika, za što bi trebalo načiniti i izračun volumena tih prostora te težinskoga udjela  $C_{org}$  kao i poznavati tip kerogena.

Prema dubinama, termičkoj zrelosti, a i litološkom sastavu izdvajaju se područja Rovišća, Visa i Velike Ciglene (Malvić, 2003). Dio plina, a možda i nafte koji je otkriven na poljima Galovac-Pavljani, Grubišno polje i Letičani, zasigurno je migrirao upravo s tih mjesta. Na temelju načinjenih strukturnih karata mogu odrediti smjer i dužina takvih migracijskih putova, a na temelju novih spoznaja zbog većeg broja podataka te točnijih podataka, nanovo su iscertani migracijski putovi (slika 7-5). Nove spoznaje o migracijskim putovima označeni su na slici 7-5 plavim strjelicama, a one označavaju putove plina, inače to su, zbog kerogena tipa III gotovo potpune količine termogenog plina.



Slika 7-5. Nova karta migracijskih putova ugljikovodika (dorađeno prema Malvić, 2003).

## 8. ZAKLJUČAK

Za analizu i izradbu dubinskogeoloških (geokemijskih) karata za geokemijske varijable  $R_o$  (vitrinitna refleksija) i  $TTI$  (vremensko-temperaturni indeks), upotrijebljena je deterministička metoda interpolacije, metoda inverzne (obrnute) udaljenosti, tj.  $IDW$  metoda. Prikupljeni podaci za upotrebu  $IDW$  metode u računalnom paketu Surfer 8.0<sup>TM</sup> predstavljaju Gauss-Krügerove koordinate ( $X$  i  $Y$ ) te izmjerene i izračunate tamo gdje su nedostajale, vrijednosti vitrinitne refleksije ( $R_o$  (%)) i vremensko-temperaturnog indeksa ( $TTI$ ) za bušotine Čepelovac (Čep), Galovac-Pavljani (Pav-1), Grubišno polje (Gr), Hampovica (Ha-7), Letičani (Le-4), Rovišće (Rov-1), Novi Glog (NG-1), Velika Ciglena (VC-1), Vis (Vis-1) i Uljanik (Uljanik-1) u prostoru Bjelovarske subdepresije.

Metoda inverzne udaljenosti ( $IDW$ ) vrlo je jednostavna i uobičajena za male uzorke (manje od dvadeset ulaznih podataka), a dobiveni izlaz je relativno pregledan. Nedostatak ove metode, tj. problem se javlja kod skupa podataka čije se pojedinačne točke u skupine grupiraju skupine (klaster) (engl. *clustering*). Zato je ponekad potrebno utrošiti mnogo vremena na varijacije parametara i stvaranje prostornih modela na način da se definiranjem različitog broja sektora u različitim smjerovima može se obuhvatiti i anizotropija.

U radu je detaljno opisan izračun vrijednosti varijabli  $R_o$ -a i  $TTI$ -ja za one bušotine na kojima je do sad nedostajao pisani oblik istih. Izračuni su načinjeni na temelju prije načinjenih geokemijskih metoda na za to predviđenim uzorcima te na temelju rezultata dubokog bušenja. Zbog pojave nedovoljno definiranih podataka ili velikog broja podataka o koordinatama bušotina nekih polja (Čepelovac i Grubišno polje), za neka polja izračunata je aritmetička sredina istih radi jednostavnosti proračuna ili je odabrana točno određena bušotina (Ha-7, Le-4 i Pav-1) na odabranom polju.

Cilj ovog rada izričito je vezan za upotrebu  $IDW$  metode, tehnike koja još nije do sada korištena za kartiranje  $R_o$ -a i  $TTI$ -ja prostora HPBS-a, a koja je poslužila za nanovo iscertanu kartu migracijskih putova. Nove digitalizirane strukturne karte ukazuju na jako izražen efekt koncentriranja kružnih izolinija (engl. *bull's eyes effect*) oko bušotina u središnjim dijelovima karata koji ukazuje na premali broj podataka i/ili loše određivanje prostorne zavisnosti koja je premala. Uzrok tog efekta u ovome radu je slab prostorni model, zbog malog broja podataka koji se može malo popraviti promjenom težinskog koeficijenta udaljenosti ( $p$ ) s 2 na 4, ali i

vjerojatni rasjed velikoga skoka, koji se prema Malviću (2003) vidi na strukturnim kartama. Može se zaključiti da se takvo obilježje obično uočava u malim skupovima podataka te ih prema Malvić et al. (2019) treba pažljivo protumačiti, zanemariti ili preračunati.

Zatim je potrebno naglasiti da konstruirane karte predstavljaju najtočnije karte razdiobe dviju kemijskih varijabli (vitritna refleksija ( $R_o$ ) i vremensko-temperaturni indeks ( $TTI$ )) tog prostora (Bjelovarska subdepresija). Za izradbu karata bilo je potrebno 20 podataka, od toga je 12 bilo dostupno, a njih 8 je bilo potrebno naknadno odrediti. Od ukupno deset vrijednosti  $R_o$ -a, bilo je sedam postojećih podataka za bušotine Čep, Gr, Le-4, NG-1, Pav-1, VC-1 i Ulj-1, a preostala tri podatka za bušotine Ha-7, Rov-1 i Vis-1 su dobiveni konverzijom vrijednosti  $TTI$ , tj. izračunata su metodom  $EASY\%R_o$ . Isti postupak je primijenjen za izračun tada nedostatnih vrijednosti  $TTI$ -ja. Za bušotine Ha-7, Pav-1, Rov-1, VC-1 te Vis-1,  $TTI$  je izmjeren prema Malvić (2003), a za preostalih 5 vrijednosti za bušotine Čep, Gr, Le-4, NG-1 i Ulj-1, podatci su dobiveni konverzijom vrijednosti  $R_o$ . Na 3D strukturnim kartama  $IDW$ -a dobivene interpolacijom varijabli  $R_o$  i  $TTI$ , mogu se uočiti prostorni minimumi i maksimumi. Bušotina VC-1 koja bilježi najveću vrijednost  $R_o$ -a (1,3%) i  $TTI$ -ja (13,35) na kartama predstavlja prostorni maksimum (već prije izmjerene vrijednosti). NG-1 i Pav-1 s već izmjerenim vrijednostima  $R_o$ -a od 0,3% (NG-1) i 0,34% (Pav-1) predstavljaju prostorni minimum, a vrijednosti  $TTI$ -ja 0,011 (NG-1) te 0,022% (Ulj-1) također predstavljaju prostorne minimume, podatci dobiveni konverzijom vrijednosti  $R_o$ .

Na temelju izmjerenih i izračunatih vrijednosti  $R_o$ -a na primjeru bušotine VC-a gdje je  $R_o=1,3\%$ , bušotina bilježi početak „naftnog prozora“. Na interpoliranim kartama mogu se raspoznati dvije najdublje sinklinale na lokacijama Rov-1 i VC-1 gdje je interval baden (16,4-13,0 mil. god.) - sarmat (13,0-11,5 mil. god.) dosegao dovoljnu termičku zrelost za ulazak u katagenezu (VC-1) te kasnu dijagenezu, početak katageneze (nezreli sedimenti) (Rov-1). U bušotini Vis-1 vrijednost  $\Sigma TTI=3,49$  ukazala je na ranu katagenezu unutar formacije Moslavačka gora.

U bušotini VC-1 osim najveće vrijednosti  $R_o$ -a zabilježena je i najveća zabilježena termička zrelost gdje se svi sedimenti (formacije Moslavačka gora i Ivanić-Grad) nalaze u katagenetskoj fazi. Ovi rezultati potvrda su zašto je upravo bušotina VC-1 jedna od proizvodnih bušotina geotermalne elektrane Velika-1.

## 9. POPIS LITERATURE

1. AGTERBERG, F., 2014. Geomathematics: Theoretical Foundations, Applications and Future Developments. Quantitative geology and geostatistics. *Springer*, 18, 553 str.
2. ANDRIĆ, K., 2019. Izračun termalne zrelosti potencijalnih mezozojskih matičnih stijena podmorja srednjeg Jadrana na primjeru bušotine Brač-1 beta. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, završni rad, 37 str.
3. BALIĆ, D., VELIĆ, J., MALVIĆ, T., 2008. Selection of the most appropriate interpolation method for sandstone reservoirs in the Kloštar oil and gas field. *Geologia Croatica*, 61/1, 23-75.
4. BARIĆ, G., 2006. Naftna geokemija. Zagreb: INA d.d., 253 str.
5. BRKIĆ, M., MAGJAREVIĆ, V., JURATEK, I., KIŠ, K., GEČI, I., HRIBERŠEK, T., FRESSL, J. UZELAC OBRADOVIĆ, T., BULEŠIĆ, K., POKRIVAČ, M., ROŽANIĆ, I., KLAJIĆ JANČIJEV, D., 2015. Strateška studija o utjecaju na okoliš Prostornog plana Bjelovarsko - bilogorske županije. Zagreb: DVOKUT ECRO d.o.o., 152 str.
6. BORČIĆ, B., FRANČULA, N., 1979. Kartografija. Zagreb: Tehnička enciklopedija (G-Ka), svezak 6, 670-708.
7. BOROVIĆ, I., 2002. Veliki atlas Hrvatske. Zagreb: Mozaik knjiga, 479. str.
8. BOŽIĆ, B., DELIĆ, D., GUDAC, I., IVANEK, I., LELJAK, M., LUGIĆ, E., MATIJEVIĆ, M., MESARIĆ, M., PELEŠ, P., STANIĆ, D., ŠIMUNOVIĆ, I., MESARIĆ, M., 2017. Strateška studija utjecaja na okoliš. Strategija razvoja Grada Bjelovara 2016. - 2020.. Zagreb: IRES ekologija d.o.o., str.
9. ĆORIĆ, S., PAVELIĆ, D., RÖGL, F., MANDIĆ, O., VRABAC, S., AVANIĆ, R., JERKOVIĆ, L., VRANJKOVIĆ, A., 2009. Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of North Croatian Basins (Pannonian Basin System, Central Paratethys). *Geologia Croatica*, 62(1), 31-34.
10. DADIĆ, I., BADANJAK, D., JURUM-KIPKE, J., 2007. Prometno značenje Bjelovarsko-bilogorske županije. Bjelovar: Radovi Zavoda za znanstveno-istraživački i umjetnički rad u Bjelovaru, 1, 99-109.

11. DRNASIN, A., 2017. Geološki model građe malog plinskog polja u Bjelovarskoj subdepresiji i njegov utjecaj na izračun rezervi pomoću programa Petrel™. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, diplomski rad, 46 str.
12. HAJNŠEK, S., 1971. Tektonika zapadne i istočne Bilogorske zone. Zagreb: Fond stručne dokumentacije INA-Razvoj i istraživanje.
13. HAUER, F. R., 1867-71. Geologische Übersichts-karte der Österreich-Ungarischen Monarchie, Beč: *Beck*, list 7.
14. HORVÁTH, F., ROYDEN, L.H., 1981. Mechanism for the Formation of the Intra-Carpathian Basins: a Review. *Earth-Science Reviews*, 3-4, 307-316.
15. HUSANOVIĆ, E., MALVIĆ, T., 2014. Review of deterministic geostatistical mapping methods in Croatian hydrocarbon reservoirs and advantages of such approach. Zagreb: *Nafta*, 65/1, 57-63.
16. HORVÁTH, F., 1993. Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. *Tectonophysics, Elsevier Inc.*, 226, 333-357.
17. HORVÁTH, F., 1995. Phases of compression during the evolution of the Pannonian Basin and its bearing on hydrocarbon exploration. *Marine and Petroleum Geology*, 12, 837-844.
18. IVŠINOVIĆ, J., MALVIĆ, T. (2020). Application of the Radial Basis Function interpolation method in selected reservoirs of the Croatian part of the Pannonian Basin System. *Mining of Mineral Deposits*. 14/3, 37-42.
19. JELIĆ, K., PAVIČIĆ, H., 1999. Heat flow and hydrocarbon reservoirs in Croatia. Zagreb: *Nafta*, 50/7, 8,257-260.
20. KOCH, F., 1889. Prilog geološkom poznavanju Moslavačke gore. Zagreb: Rad JAZU, 139 /27, 1-28.
21. KOCH, F., 1906. Tumač geologijske karte Ivanić Kloštar i Moslavina. Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije 1:75000. Zagreb: arhiva NSK, 22 str.
22. KOROLIJA, B., CRNKO J., 1985. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Bjelovar 33. Zagreb: Geološki zavod Zagreb.
23. KOVÁČ, M., NAGYMAROSY, A., OSZCZYPKO, N., CSONTOS, L., SLACZKA, A., MARUNTEANU, M., MATENCO, L., MÁRTON, E., 1998. Palinspastic reconstruction of



- the Carpathian- Pannonian region during the Miocene. In: Geodynamic Development of the Western Carpathians (Ed. by M. Rakús), Mineralia Slov. Monograph, 189-217.
24. KRANJEC, V., PRELOGOVIĆ, E., HERNITZ, Z. I BLAŠKOVIĆ, I., 1971. O litofacijelnim odnosima mlađih neogenskih i kvartarnih sedimenata u širem području Bilogore (sjeverna Hrvatska). *Geološki vjesnik*, 24, 47-55.
  25. LOPATIN, N. V., 1971. Temperature and time as factors of coalification. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Seriya geologicheskaya*, 3, 95-106.
  26. MACENIĆ, M., 2020. Konceptualni model eksploatacije geotermalne energije revitalizacijom napuštenih naftnih i plinskih bušotina u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, doktorska disertacija, 166 str.
  27. MALVIĆ, T., 1998. Strukturni i tektonski odnosi, te značajke ugljikovodika širega područja naftnog polja Galovac-Pavljani. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, magistarski rad, 111 str.
  28. MALVIĆ, T., 2003. Naftnogeološki odnosi i vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u Bjelovarskoj uleknini. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, doktorska disertacija, 123 str.
  29. MALVIĆ, T., ĐUREKOVIĆ, M., 2004. Regional geological settings and hydrocarbon potential of Bjelovar sag (subdepression), R. Croatia. *Zagreb: Nafta*, 50/7, 8, 273-288.
  30. MALVIĆ, T., 2008. Kriging, cokriging or stochastic simulations, and the choice between deterministic or sequential approaches. *Geologia Croatica*, 61/1, 37-47.
  31. MALVIĆ, T., SAFTIĆ, B., 2008. Dubinsko kartiranje (vježbe). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, fakultetska skripta, 46 str.
  32. MALVIĆ, T., 2005. Kriging. Geostatistička interpolacijska metoda. Zagreb: Hrvatsko geološko društvo, 2. izdanje, 18 str.
  33. MALVIĆ, T., VELIĆ, J., 2008. Geologija ležišta fluida. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, fakultetska skripta, 139 str.
  34. MALVIĆ, T., 2008. Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. Zagreb: INA d.d., 103 str.

35. MALVIĆ, T., 2011. Geological maps of Neogene sediments in the Bjelovar Subdepression (northern Croatia). *Journal of Maps*, 304-317.
36. MALVIĆ, T., VELIĆ, J., 2011. Neogene tectonics in Croatian Part of the Panonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. In: *New Frontiers in Tectonic Research: At the Midst of Plate Convergence* (ed. Schattner, U.), Rijeka: *InTech*, 215-238.
37. MALVIĆ, T., 2012. Review of Miocene shallow marine and lacustrine depositional environments in Northern Croatia. *Geological Quarterly*, 56/3, 493-504.
38. MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M., 2013. Lithostratigraphic units in the Drava Depression (Croatian and Hungarian parts) – a correlation / Korelacija litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji (hrvatski i mađarski dio). Zagreb: *Nafta*, 64/1, 27-33.
39. MALVIĆ, T., SUČIĆ, A., CVETKOVIĆ, M., RESANOVIĆ, F., VELIĆ, J. 2014. Low permeability Neogene lithofacies in Northern Croatia as potential unconventional hydrocarbon reservoirs. *Central European Journal of Geosciences*, 6/2, 182-194.
40. MALVIĆ, T., 2015. Bjelovarska subdepresija kao prostor s konvencionalnim i nekonvencionalnim ležištima ugljikovodika te geotermalnom energijom. (The Bjelovar Subdepression as an Area with Conventional and Unconventional Hydrocarbon and Geothermal Reserves). *Radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad u Bjelovaru*, 9, 161-186.
41. MALVIĆ, T., 2016. Regional turbidites and turbiditic environments developed during Neogene and Quaternary in Croatia. *Materials and Geoenvironment*, 63, 1, 39-54.
42. MALVIĆ, T., BOŠNJAK, M., VELIĆ, J., SREMAC, J., IVŠINOVIĆ, J., PIMENTA DINIS, M. A., BARUDŽIJA, U., 2020. Recent Advances in Geomathematics in Croatia: Examples from Subsurface Geological Mapping and Biostatistics. *Geosciences*, 188/10, 21, 2076-3263.
43. MALVIĆ, T., IVŠINOVIĆ, J., VELIĆ, J., SREMAC, J., BARUDŽIJA, U., 2020. Application of the Modified Shepard's Method (MSM): A Case Study with the Interpolation of Neogene Reservoir Variables in Northern Croatia. *Stats*, 3/1, 68-83.
44. MESIĆ KIŠ, I., MALVIĆ, T., 2014. Zonal estimation and interpolation as simultaneous approaches in the case of small input data set (Šandrovac Field, Northern Croatia). Zagreb: *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 29/1, 9-16.

45. MESIĆ KIŠ, I., 2017. Kartiranje i reinterpetacija geološke povijesti bjelovarske subdepresije univerzalnim krigiranjem te novi opći metodološki algoritmi za kartiranje sličnih prostora. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, doktorska disertacija, 182 str.
46. MESIĆ KIŠ, I., MALVIĆ, T., 2018. The Universal Kriging mapping of the Neogene EL-markers Rs5 and  $\Delta$ , Northern Croatia. *RMZ - Materials and geoenvironment*, 65/4, 187-198.
47. MALVIĆ, T., IVŠINOVIĆ, J., VELIĆ, J., RAJIĆ, R., 2019. Interpolation of Small Datasets in the Sandstone Hydrocarbon Reservoirs, Case Study of the Sava Depression, Croatia. *Geosciences*, 201/9, 11 str.
48. MILETIĆ, P., 1968. Hidrogeologija sjevernog dijela SR Hrvatske. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, doktorska disertacija, 150 str.
49. NAJDENOVSKI, J., HAJNŠEK, S., 1980. O strukturnim odnosima i konsedimentacijskom razvoju struktura u bjelovarskoj sinklinali dravske potoline. Zagreb: Fond stručne dokumentacije INA-Razvoj i istraživanje.
50. NAJDENOVSKI, J., HAJNŠEK, S., 1982. Strukturni odnosi Bjelovarskog sinklinorija i graničnog područja Savske i Dravske depresije. Zagreb: Fond stručne dokumentacije INA-Razvoj i istraživanje.
51. NOVAK ZELENKA, K., VELIĆ, J., MALVIĆ, T., 2013. Local sediment sources and palaeoflow directions in Upper Miocene turbidites of the Pannonian Basin System (Croatian part), based on mapping of reservoir properties. *Geological Quarterly*. 57/1, 17-30.
52. PAVELIĆ, D., 2001. Tectonostratigraphic Model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin system. Blackwell Science, *Basin Research*, 13, 359-376.
53. PLETIKAPIĆ, Ž., GJETVAJ, I., JURKOVIĆ, M., URBIHA, H., HRNČIĆ, LJ., 1964. Geologija i naftoplinonosnost Dravske potoline. *Geološki vjesnik*, 17, 49-78.
54. PRELOGOVIĆ, E., 1975. Neotektonska karta SR Hrvatske. *Geološki vjesnik*, 28, 97-108.
55. PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., DRAGAŠ, M., LUČIĆ, D., 1998. Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. *Tectonophysics, Elsevier Inc.*, 297, 283-293.

56. RIĐANOVIĆ, J., 1974. Obilježja prirodne osnove vode. Geografija SR Hrvatske (ed. Crkvenčić, I.), Zagreb: Školska knjiga, poglavlje 3, 67-76.
57. 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.), 27-48.
58. RÖGL, F., 1996. Stratigraphic Correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene, *Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten Österreich*, 41, 65-73.
59. RÖGL, F., 1998. Palaeographic Consideration for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene). Beč: *Ann. Naturhist. Mus.* 99A, 279-310.
60. RUBINIĆ, A. (1954): Rezultati istražnih radova na strukturi Sedlarica. Zagreb: Fond stručne dokumentacije INA-Razvoj i istraživanje.
61. SAFTIĆ, B., PEH, Z., VELIĆ, J., JÜTTNER, I., 2001. Interdependence of Petrophysical Properties and Depth: Some Implications of Multivariate Solution on Distinction Between the Lower Pontian Hydrocarbon-bearing Sandstone Units in the Western Part of the Sava Depression. *Geologia Croatica*, 54/2, 259-277.
62. SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHAS, G., IVKOVIĆ, Ž., 2003. Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (northern Croatia and south-western Hungary). *Geologia Croatica*, 56/1, 101-122.
63. STEININGER, F. F., RÖGL, F., MÜLLER, C., 1978. Geodynamik und paläogeographische Entwicklung des Badenien. Chronostratigraphie und Neostatotypen Miozän der Zentralen. Bratislava: Bd. VI, Verlag der Slowak. Akad. der Wissenschaften, 110-127.
64. STEININGER, F.F., RÖGL, F., 1979. The Paratethys history - a contribution towards the Neogene dynamics of the Alpine Orogene (an abstract). Atena: *Ann. Géol. Pays Hellén.*, Tome Hors Serie, Fasc., III, 1153-1165.
65. SWEENEY, J., J., BURNHAM, A., K., 1990. Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics. Tulsa: *AAPG Bulletin*, 74/10, 1559-1570.
66. ŠEBEČIĆ, B., 2009. O hrvatskim domoljubima Ljudevitu Farkašu Vukotinoviću, prirodoslovcu i Ladislavu Kukuljeviću Sakcinskom, rudarskom poduzetniku. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 21, 113-117.
67. ŠEGOTA, T., FILIPČIĆ, A., 2003. Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria*, 8/1, 17-37.

68. ŠIMON, J., 1968. Informativne litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleksa u profilima dubokih bušotina na području Dravske potoline. Zagreb: Fond stručne dokumentacije INA-Razvoj i istraživanje.
69. ŠPELIĆ, M., MALVIĆ, T., SARAF, V., ZALOVIĆ, M., 2016. Remapping of depth of e-log markers between Neogene basement and Lower/Upper Pannonian border in the Bjelovar Subdepression. *Journal of Maps*, 12/1, 45-52.
70. TROGRLIĆ, S., 2000. Rezultati geološkog praćenja istražne bušotine Bačkovica-2 (Bac-2) s interpretacijom podataka LNB-a. Dossier bušotine Bačkovica-2, Zagreb: Fond stručne dokumentacije INA-Razvoj i istraživanje.
71. VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B., IVKOVIĆ, Ž., 2002. Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacycles in the Croatian part of the Pannonian basin. Zagreb: *Nafta*, 53/6, 7, 239-249.
72. VELIĆ, J., 2007. Geologija ležišta nafte i plina. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 342 str.
73. VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M., VRBANAC, B., 2012. Reservoir geology, hydrocarbon reserves and production in the Croatian part of the Pannonian Basin System. *Geologia Croatica*, 65/1, 91-101.
74. VELIĆ, J., MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M., 2015. Geologija i istraživanje ležišta ugljikovodika, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, udžbenik, 144 str.
75. VRBANAC, B., 1996. Paleostrukturne i sedimentološke analize gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić grad u Savskoj depresiji. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, doktorska disertacija, 121 str.
76. VRBANAC, B., VELIĆ J., MALVIĆ T., 2010. Sedimentation of deep-water turbidites in main and marginal basins in the SW part of the Pannonian Basin. *Geologica Carpathica*, 61/1, 55-69.
77. VUGRINEC, J., 1961. Geološka osnova i prognozni profil za duboku istražnu bušotinu Jagnjedovac-1 (Jag-1). Dossier bušotine Jagnjedovac-1, Zagreb: Fond stručne dokumentacije INA-Razvoj i istraživanje.
78. VUKOTINOVIĆ, L. F., 1852. Kamenopisna slika gore Moslavačke.

79. ŽULJIĆ, S., 1974. "Prostor i elementi njegova središnjeg značenja", Geografija SR Hrvatske (ed. Crkvenčić, I.), Zagreb: Školska knjiga, poglavlje 1, 23-25.
80. WAPLES, D., W., 1988. Geochemistry in Petroleum Exploration. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher Group, 121-153.

Web izvori:

81. DHMZ, 2021.

URL: <https://meteo.hr/> (12.04.2021.)

82. GOLDEN SOFTWARE, 2021.

URL: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer> (26.05.2021.)

83. LEKSIKOGRAFSKI ZAVOD MIROSLAV KRLEŽA, 2021.

URL: <https://www.enciklopedija.hr/> (12.04.2021. i 24.05.2021.)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad pod nazivom „Analize i kartiranje geokemijskih i geoloških varijabli u prostoru Bjelovarske subdepresije“ izradila samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.



---

Kristina Andrić



KLASA: 602-04/21-01/65  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 2.9.2021.

**Kristina Andrić, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/65, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 14.4.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### ANALIZE I KARTIRANJE GEOKEMIJSKIH I GEOLOŠKIH VARIJABLI U PROSTORU BJELOVARSKJE SUBDEPRESIJE

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof.dr.sc. Tomislav Malvić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj:

(potpis)

Prof.dr.sc. Tomislav Malvić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)