

Primjena algoritma krigiranja u ponovnom kartiranju struktura u Bjelovarskoj subdepresiji

Tominac, Tin

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:169:298515>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

**„Primjena algoritma krigiranja u ponovnom
kartiranju struktura u Bjelovarskoj subdepresiji“**

Diplomski rad

Tin Tominac

G 2026

Zagreb, 2021.

„Primjena algoritma krigiranja u ponovnom kartiranju strukture u Bjelovarskoj subdepresiji“

TIN TOMINAC

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo,
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Razdiobe dubina neogensko-kvartarnih formacija bjelovarske subdepresije analizirane su i kartirane geostatističkim metodama. Bjelovarska subdepresija sastavni je dio Dravske depresije. Reper „Tg“ ili „Pt“ i EK-markeri „Rs7“, „Rs5“, „Z“, „Δ“ i „D“ predstavljaju granice između pojedinačnih formacija unutar Dravske depresije. Ulazni podatci predstavljaju dubine do svakog EK markera i EK granice. Izmjerene dubine za svaki od markera i granice dobivene su pretežito iz seizmičkih profila. Metode kojima su ti podatci obrađeni su variogram, eksperimentalni semivariogram, histogram, F-test i t-test. Hipoteza o nasljednosti struktura na pojedinim EK-markerima i reperu „Tg“ ili „Pt“ Bjelovarske subdepresije ispitana je F-testom i t-testom. Nakon obrade ulaznih podataka pomoću softverskog paketa Surfer 8, konstruirane su strukturne karte repera "Tg" ili "Pt" kao i karte svih EK-markera. Metode korištene za izradu karata su kriging i metoda inverzne udaljenosti. Krosvalidacija korištena je kao numerički pokazatelj ispravnosti karata. Karte dobivene različitim metodama uspoređene su i opisane.

Ključne riječi: Bjelovarska subdepresija, reper, EK-markeri, variogram, histogram, krigiranje, metoda inverzne udaljenosti

Diplomski rad sadrži: 67stranice, 1 tablica, 39 slika i 53 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: prof. dr. sc. Tomislav Malvić dipl. ing.

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Tomislav Malvić dipl. ing.
prof. dr. sc. Rajna Rajić, dipl. ing.
prof. dr. sc. Željko Andreić, dipl. ing.

Datum obrane: 10. rujan 2021.

University of Zagreb

Master's Thesis

Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Application of kriging algorithm in remapping structures in Bjelovar subdepression

TIN TOMINAC

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Institute of Geology and Geology engineering,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

The depth distributions of Neogene-Quaternary formations of the Bjelovar subdepression were analysed and mapped by geostatistical methods. The Bjelovar subdepression is an integral part of the Drava depression. Electrologging boundary "Tg" or "Pt" and Electrologging markers "Rs7", "Rs5", "Z", "Δ" and "D" represent the boundaries between individual formations within Drava depression. The input data represents the drilled depths of each Electrologging marker and boundary. The measured depths for each marker and boundary were obtained from mesh of maps. The methods by which these data were processed are variogram, experimental semivariogram, histogram, F-test and t-test. The hypothesis of heredity of Electrologging markers and Electrologging boundary was tested by F-test and t-test. After processing the input data using the software package Surfer 8, maps of "Tg" or "Pt" Electrologging boundary and all the other Electrologging markers were constructed. The methods used to make the maps are kriging and inverse distance method. Cross-validation was also used as a numerical indicator of map correctness. Maps obtained by different methods were compared and described.

Keywords: Bjelovar subdepression, Electrologging boundary, Electrologging markers, variogram, histogram, kriging, inverse distance method

Thesis contains: 67 pages, 1 table, 39 figures and 53 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Professor Tomislav Malvić, Ph.D.

Reviewers: Professor Tomislav Malvić, Ph.D.

Professor Rajna Rajić, Ph.D.

Professor Željko Andreić, Ph.D.

Date of defense: September 10th, 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA I ZEMLJOPISNA OBILJEŽJA BJELOVARSKJE SUBDEPRESIJE	3
2.1 Pregled stratigrafskih jedinica Bjelovarske subdepresije	7
2.2 Taloženje u doba mezozoika	7
2.3 Taloženje u doba donjeg i srednjeg miocena.....	7
2.4 Taloženje u doba gornjeg panona.....	7
2.5 Taloženje u doba donjeg pontaa.....	8
2.6 Taloženje u doba gornjeg pontaa	8
2.7 Taloženje u doba pliocena, pleistocena I holocena	9
3. POVIJEST RANIJE PROVEDENIH ISTRAŽI-VANJA BJELOVARSKJE SUBDEPRESIJE	10
4. METODE I ULAZNI PODATCI	13
4.1. Metoda variograma.....	14
4.2. Metoda inverzne udaljenosti.....	17
4.3. Metoda krigiranja (obično krigiranje)	18
4.4 Krosvalidacija.....	20
4.5. Ulazni podatci.....	20
5. EKSPERIMENTALNI SEMIVARIOGRAMI DUBINA PO GLAVNOJ OSI	22
6. STATISTIČKA OBRADA ULAZNIH SKUPOVA	26
6.1. Rezultati statističke obrade ulaznih skupova.....	27
6.2. Rezultati statističkih testova	31
6.2.1. <i>t</i> -test „Tg/Pt“ – „Rs7“	32
6.2.2. <i>F</i> -test „Tg/Pt” – „Rs7”	32
6.2.3. <i>t</i> -test “Rs7” – “Rs5”.....	33
6.2.4. <i>F</i> -test “Rs7” – “Rs5”.....	34
7.1. Karte dobivene metodom krigiranja.....	39
7.2. Karte dobivene metodom inverzne udaljenosti	50

8. DISKUSIJA	60
9. ZAKLJUČAK	62
10. LITERATURA	65

POPIS TABLICA

Tablica 1. Iznos krosvalidacije metode inverzne udaljenosti i krigiranja pojedinih karata.....	64
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

POPIS SLIKA

<i>Slika 2.1</i> Zemljopisni položaj Bjelovarske subdepresije.....	4
<i>Slika 2.2</i> Prikaz taložnih megaciklusa unutar HPBS.....	5
<i>Slika 2.3</i> Litostratigrafska podjela jedinica unutar Dravske sepresije.....	6
<i>Slika 3.1</i> Karta EK markera „Rs5“ dobivena algoritmom neuronskih mreža.....	12
<i>Slika 4.1.</i> Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po markeru Z' interpolirana ručno na temelju bušotinskih i seizmičkih podataka.....	14
<i>Slika 5.1.</i> Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa podine neogena „Tg/Pt“ za glavnu os (120°).....	22
<i>Slika 5.2.</i> Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „Rs7“ za glavnu os (120°).....	23
<i>Slika 5.3.</i> Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „Rs5“ za glavnu os (120°).....	24
<i>Slika 5.4</i> Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „Z'“ za glavnu os (120°).....	24
<i>Slika 5.5</i> Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „D'“ za glavnu os (120°).....	25
<i>Slika 6.1.</i> Histogram po reperu „Tg/Pt“.....	28
<i>Slika 6.2.</i> Histogram po EK-markeru „Rs7“.....	28

<i>Slika 6.3. Histogram po EK-markeru „Rs5“</i>	29
<i>Slika 6.4. Histogram po EK-markeru „Z'“</i>	30
<i>Slika 6.5 Histogram po EK-markeru „Δ“</i>	30
<i>Slika 6.6. Histogram po EK-markeru „D'“</i>	31
<i>Slika 6.7 t-test "Tg/Pt" - "Rs7"</i>	32
<i>Slika 6.8 F-test "Tg/Pt" - "Rs7“</i>	33
<i>Slika 6.9 t-test “Rs7” – “Rs5”</i>	34
<i>Slika 6.10 F-test “Rs7” – “Rs5”</i>	34
<i>Slika 6.11 t-test “Rs5” – “Z'”</i>	35
<i>Slika 6.12 F-test “Rs5” – “Z'”</i>	36
<i>Slika 6.13 t-test “Z'” – “Δ' ”</i>	36
<i>Slika 6.14 F-test “Z'” – “Δ' ”</i>	37
<i>Slika 6.15 t-test “Δ” – “D'“</i>	38
<i>Slika 6.16 F test “Δ” – “D'“</i>	38
<i>Slika 7.1. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po reperu “Tg/Pt” korištenjem metode krigiranja</i>	40
<i>Slika 7.2. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs7“ korištenjem metode krigiranja</i>	41
<i>Slika 7.3. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs5“ korištenjem metode krigiranja</i>	43
<i>Slika 7.4. Strukturna karta po markeru „Rs5“, ručno interpolirana koristeći točkaste bušotinske i seizmičke podatke</i>	44
<i>Slika 7.5. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Z'“ korištenjem metode krigiranja</i>	45
<i>Slika 7.6 Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Δ“ korištenjem metode krigiranja</i>	47

<i>Slika 7.7. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „D'“ korištenjem metode krigiranja.....</i>	<i>49</i>
<i>Slika 7.8. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po reperu „Tg/Pt“ korištenjem metode inverzne udaljenosti.....</i>	<i>51</i>
<i>Slika 7.9. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs7“ korištenjem metode inverzne udaljenosti.....</i>	<i>52</i>
<i>Slika 7.10. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs5“ korištenjem metode inverzne udaljenosti.....</i>	<i>53</i>
<i>Slika 7.11. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Z'“ korištenjem metode inverzne udaljenosti.....</i>	<i>55</i>
<i>Slika 7.12. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Δ“ korištenjem metode inverzne udaljenosti.....</i>	<i>57</i>
<i>Slika 7.13. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „D'“ korištenjem metode inverzne udaljenosti.....</i>	<i>59</i>

1. UVOD

Ovim diplomskim radom analizirane su raspodjele dubina neogensko-kvartarnih formacija Bjelovarske subdepresije. Analiza se provodila kartiranjem repera „Tg/Pt“ te EK-markera „Rs7“, „Rs5“, „Z“, „Δ“ i „D“ korištenjem geostatističkih metoda. Elektrokarotažni marker se izdvaja uvijek u konkordantnom slijedu sedimentata na temelju karakterističnog oblika krivulje specifične otpornosti. EK-markeri se postavljaju na intervalima s pelitnim sedimentima i u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava dokazano odražavaju sitne promjene u granulometrijskom sastavu hemipelagičkih lapora. Tako definirani EK-markeri funkcioniraju kao korelacijski horizonti samo na temelju njihovog geofizičkog odraza na karotaži.

Geostatistika je metodologija u analizi prostorno koreliranih podataka. Bavi se proučavanjem svojstava koja se mijenjaju u vremenu i/ili prostoru. Riječ geostatistika sastoji se od dvije grčke riječi „geo“, što znači zemlja i „status“ što znači stanje. U samim počecima razvoja geostatistike smatralo se da ova disciplina ima primjenu samo u geologiji, zbog sličnosti s interpolacijskim metodama. Geostatistika rješava puno zahtjevnije probleme kao što su na primjer procjene koncentracija raznih ruda. Ocem geostatistike smatra se profesor Georges Matheron koji je 1954. godine prvi koristio geostatističke metode kako bi što točnije prikazao model ležišta. Geostatistika je stvorila veliku bazu podataka koji su prikupljeni na različite načine. Prvenstveno se koristila u rješavanju rudarskih problema, a danas ima veliku ulogu u naftnoj industriji, meteorologiji, geokemiji, hidrologiji, hidrogeologiji, oceanografiji, šumarstvu, agrikulturi i ostalim znanostima. Kako je znanost napredovala geostatistika se ukomponirala u računalne programe odnosno geoinformacijske sustave (GIS), programe koji se koriste za statističke izračune i slično, uzmimo za primjer R programski jezik. Najčešće geološke varijable koje geostatistika koristi su poroznost, propusnost, dubina, debljina itd. Geostatistika se temelji na osnovnim postupcima analize i statističkim vrijednostima te je normalno da su uporaba geostatistike i statistike u istraživanju i analizi ležišta ugljikovodika isprepletene i često usko povezane (Malvić, 2008). Za naftnog geologa, krajnji produkt je model ležišta čije su karakteristike pretpostavljene parametrima koji što je moguće bliže odgovaraju onim stvarnima uvjetima, koji vladaju u ležištu.

Geostatistika koristi razne alate za obradu podataka kao što su variogram, eksperimentalni semivariogram. Uključuje i tehnike za izradu karata poput krigiranja ili metode inverzne udaljenosti. Glavna podjela geostatističkih metoda može se svrstati u tri grupe: metode za prostornu analizu (najzastupljeniji je variogram), interpolacijske tehnike (krigiranje kao najzastupljenije) i stohastičke simulacije.

Cilj ovoga rada je prikazati povezanost geostatistike s geološkim modeliranjem, radi dobivanja kvalitetnijih rezultata. Na taj način geostatistika bi se koristila u cilju bolje obrade seizmičkih podataka, kvalitetnije analize karotažnih dijagrama te obrade karata prilikom interpolacije (**Malvić, 2008**).

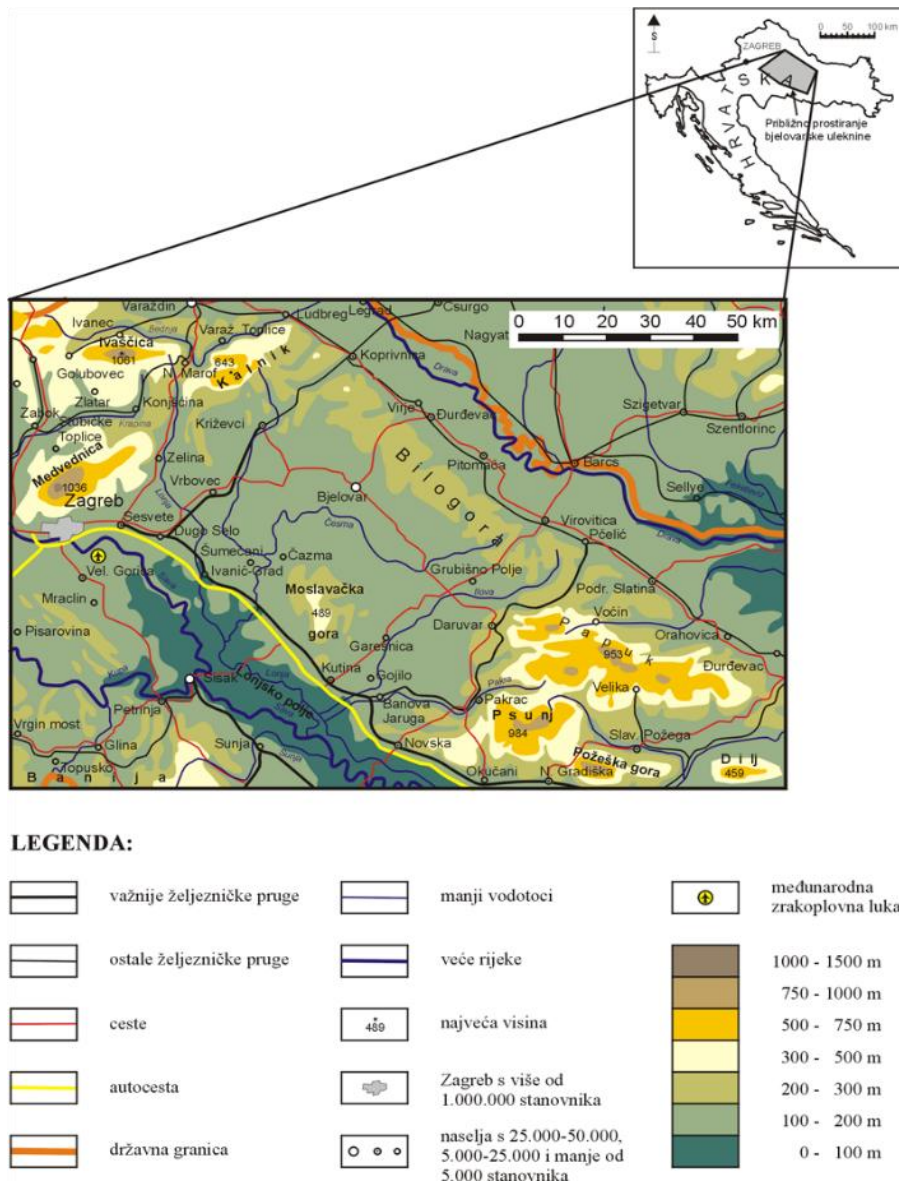
2. PREGLED LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA I ZEMLJOPISNA OBILJEŽJA BJELOVARSKJE SUBDEPRESIJE

Bjelovarska subdepresija nalazi se u središnjem dijelu Hrvatske. Obuhvaća većim dijelom područje Bjelovarsko-bilogorske županije a manjim dijelom Zagrebačke i Koprivničko-križevačke županije. Veća naseljena mjesta su Bjelovar, Grubišno Polje, Garešnica i Križevci. Bjelovar je središte Bjelovarsko-bilogorske županije, te je kao takav odlično povezan s ostatkom Hrvatske. Zemljopisno se nalazi na južnom dijelu Bilogore na 135 metara nadmorske visine. Željeznica povezuje Bjelovar sa Zagrebom preko Križevaca i Osijekom preko Kloštara. Od velike važnosti su i cestovni koridori koji idu od Budimpešte preko Zagreba do Rijeke, te od Osijeka prema Pločama.

Područje Bjelovarske subdepresije bogato je raznim resursima. Od prirodnih bogatstava područje je karakterizirano značajnim šumskim fondom i ležištima plina, nafte, gline, termalnih voda, kvarcnog pijeska i drugim resursima. Najznačajniji vodotoci su rijeke Česma i Ilova. Granice subdepresije određene su na temelju najplićih dijelova predneogenske podine, morfologije terena i okružujućih gora. Na istoku i jugoistoku su to Papuk (953 m), Psunj (984 m) poznati kao Slavonske gore i Ravna gora (854 m). Moslavačka gora (489 m) je na jugozapadu, Kalnik (643 m) na sjeverozapadu, a Bilogora (288 m) na sjeveroistoku. Većina terena su obradive površine i šumski predjeli. Bjelovarska subdepresija pripada jugozapadnom dijelu Dravske depresije površine oko 12 000 km² od kojih 9100 km² pripada Hrvatskoj, dok je ostatak u Mađarskoj. Površina Bjelovarske subdepresije iznosi 2900 km² (**URL 1**). Na **slici 2.1** prikazan je zemljopisni položaj Bjelovarske subdepresije.

Klima Bjelovarske subdepresije je uvjetovana njenim geografskim položajem. Srednja temperatura tijekom siječnja iznosi između 0°C do 2 °C, a srednja srpanjska temperatura iznosi oko 21 °C. Što se tiče padalina, najveći udio je u toplijem dijelu godine,

a viši dijelovi subdepresije (Bilogora, Kalnik, Moslavačka gora) imaju malo više padalina u odnosu na središnje dijelove subdepresije.

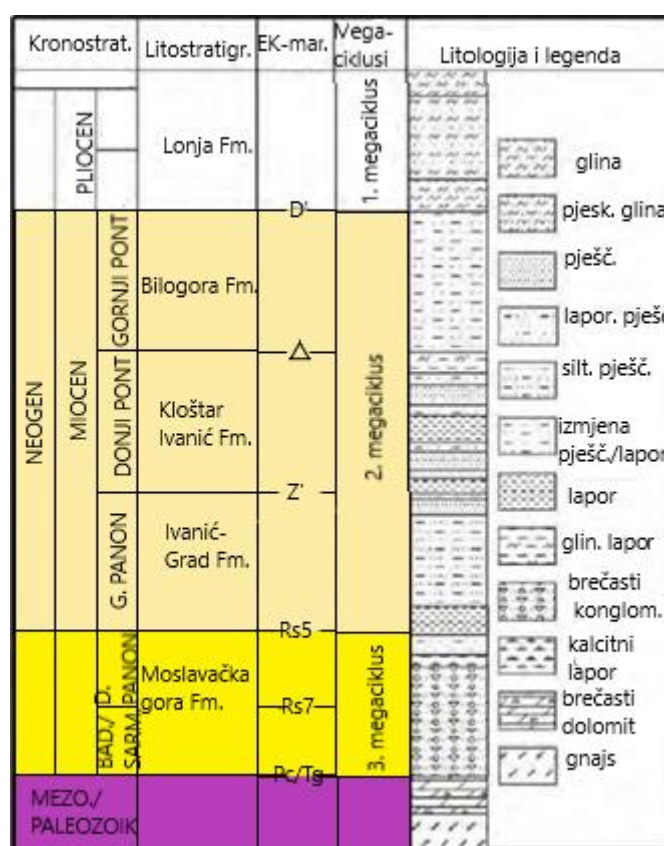


Slika 2.1 Zemljopisni položaj Bjelovarske subdepresije (Malvić, 2003)

Bjelovarska subdepresija zaseban je dio Dravske depresije. Geološki je i geografski odvojena od ostatka Dravske depresije. Uzrok tome predstavljaju kvartarno-pliocenski pokreti koji su zaslužni za izdizanje Bilogore. Strukturni i taložni razvoj Bjelovarske

subdepresije može se objasniti razvojem Panonskog bazenskog sustava, zato što je ona njegov rubni dio no ipak ima specifične karakteristike.

Panonski bazenski sustav pripada skupini pozadinskih bazena (*engl. back-arc basins*). Postanak bazena započinje tijekom otnanga. Tada dolazi do subdukcije i konvergencije Apulijske ploče pod Dinaride. Nastanak bazena i manjih jedinica, depresija i subdepresija posljedica je otvaranja brojnih ekstenzija uz lijeve i desne transkurentne rasjedne sustave (Malvić, 1998, 2003). Prostor HPBS prošao kroz 3 taložna megaciklusa (slika 2.2.)



Slika 2.2 Prikaz taložnih megaciklusa unutar HPBS (Malvić, 2012)

Stijene unutar Bjelovarske subdepresije podijeljene su u dvije skupine. Prva skupina su klastične stijene neogensko-kvartarne starosti, a malim dijelom i biogene, tj. karbonati i ugljeni. Neogensko-kvartarne stijene grade većinu Dravske depresije, a debljina naslaga iznosi i više od 7000 m. Drugu skupinu stijena čine uglavnom karbonati ili paleozojski magmatiti i metamorfiti (Malvić, 2003). Ove grupe stijena čine ujedno i

podinu Dravske depresije. Istraživano područje sastoji se od pet glavnih litostratigrafskih jedinica: formacija Moslavačka gora, formacija Ivanić–Grad, formacija Kloštar–Ivanić, formacija Bilogora i formacija Lonja. Kronostratigrafsku i litostratigrafsku razdiobu zapadnog dijela Dravske depresije načinio je Šimon (1968), te je prikazana na slici 2.3. Dravska i Savska depresija u pojedinim dijelovima litoški odgovaraju jedna drugoj. Ta dva područja zajedno predstavljaju krajnji južni (jugozapadni) dio Panonskog bazenskog sustava (PBS) u kojem su vladali slični mehanizmi i okoliši taloženja.

STAROST	LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE DRAVSKE POTONINE		Regionalni EK markeri
	KVARTAR	PLIOCEN	
KENOZOIK	TERCIJAR	FORMACIJA LONJA	D'
		FORMACIJA BILOGORA	
	NEOGEN	FORMACIJA KLOŠTAR-IVANIĆ	cabunski član cabunski lapor D ₁ brezinjski lapor pepelanski pješčenjaci D ₂ lepašičko-graberski graberski čl. graberski lap. lapor D ₃ D ₄ podjanski pješčenjaci lepašički lapor Z'
		FORMACIJA IVANIĆ-GRAD	zagrebački član R _{s4} okolski pješčenjaci R ₁ D ₅ lipovački lapor R _{s5}
	MIOCEN	FORMACIJA MOSLAVAČKA GORA	koprivnički pješčenjaci križevački član R _{s7}
		FORMACIJA MOSTI	član Mosti čerljijski član Pt/Tg
	MEZOZOIK I PALEOZOIK	STIJENE U PODLOZI TERCIJARNOG SISTEMA	

Slika 2.3 Litostratigrafska podjela unutar Dravske depresije (Šimon, 1968)

2.1 Pregled stratigrafskih jedinica Bjelovarske subdepresije

U Bjelovarskoj subdepresiji stijene se mogu razvrstati u dvije skupine. Prvoj skupini pripadaju stijene neogensko-kvartarne starosti, a u drugoj skupini, onoj starijoj, nalaze se mezozojski i paleozojski magmatiti, metamorfiti i karbonati (**Malvić, 2003**).

2.2 Taloženje u doba mezozoika

Stijene mezozojske starosti obuhvaćaju vapnence i dolomite koji su često kataklazirani i trošeni do stupnja breče ili konglomerata. Ove stijene spadaju pod podinu neogena unutar HPBS-a. Srednjotrijske su starosti a litološki odgovaraju dolomitu, dolomitičnom vapnencu te dolomitno-vapnenačkoj breči.

2.3 Taložne stijene donjeg i srednjeg miocena, formacija Moslavačka gora

Tijekom srednjeg miocena dolazi do transgresije koja je prisutna na cijelom području subdepresije. Na području Velike Ciglene i Dežanovca pretpostavljeni su i sedimenti donjeg miocena taloženi u manjim jezerskim okolišima. Takvi manji taložni prostori predstavljaju okosnicu prve transtenzije tijekom badena. Sedimenti koji su se taložili tijekom transtenzije su diskordantni na paleozojske i mezozojske stijene u podini. Litostratigrafski ove stijene pripadaju formaciji Moslavačka gora. Granica s paleozojskim i mezozojskim stijenama u podini je određena reperom „Tg/Pt“, a u krovini je EK-markerom „Rs5“, koji čini granicu s formacijom Ivanić-Grad.

2.4 Taložne stijene gornjeg panona, formacija Ivanić-Grad

Formacija Ivanić-Grad je prva sljedeća mlađa formacija nakon formacije Moslavačka gora. Za naslage ove formacije karakterističan je školjkaš *Congerina Banatica*, zbog čega se naslage ove formacije nazivaju i „Banatica naslage“. Jasno da je i na taj način

utvrđena starost ovih naslaga. Formacija Ivanić-Grad u podini graniči s formacijom Moslavačka gora, a u krovini graniči s formacijom Kloštar Ivanić. U podini granicu predstavlja EK-marker „Rs5“, a u krovini EK-marker „Z“¹. Formacija je podijeljena na članove, započinje lipovačkim laporom, na njega se nastavlja zagrebački član odnosno okolski pješčenjaci. Starost naslaga unutar ove formacije je određena na temelju fosila.

2.5 Taložne stijene donjeg pontaa, formacija Kloštar Ivanić

Formacija Kloštar Ivanić svoje ime može zahvaliti fosilnoj zajednici školjkaša roda *Paradachna abichi*, zbog čega se naslage ove formacije nazivaju još i naslage Abichi. Najstarije naslage pripadaju lepsičkom laporu, a zatim slijede poljanski pješčenjaci, graberski lapor, pepelanski pješčenjaci i cabunski lapor. Kod izrazite dominacije nepropusnih sedimenata svi ti članovi prelaze u jedan, nazvan lapor Kloštar Ivanić (**Šimon, 1968**). Granicu u podini odnosno granicu s formacijom Ivanić-Grad predstavlja EK-marker „Z“¹, dok EK-marker Δ u gornjem dijelu krovine predstavlja približnu granicu s formacijom Bilogora (**Malvić, 2003**).

2.6 Taložne stijene gornjeg pontaa, formacija Bilogora

Starost formacije Bilogora je gornjopontska. Naslage unutar ove formacije nazivaju se i *Rhomboidea* naslagama. Ime su dobile po školjkašu *Congerina rhomboidea*. Stariji sedimenti ove formacije su glinoviti lapori, a u manjoj mjeri su prisutni slabovezani pješčenjaci. Mlađi sedimenti unutar formacije su laporovite gline, gline te pješčenjaci i pijesci. Formacija Bilogora sadrži dominantno nepropusne naslage. Granicu s formacijom Kloštar-Ivanić u podini predstavlja EK-marker „Δ“¹, a granicu s formacijom Lonja u krovini odjeljuje EK-marker „D“¹.

2.7 Taložne stijene i taložine pliocena, pleistocena i holocena, formacija Lonja

Najmlađe naslage Dravske depresije pripadaju formaciji Lonja. Starost joj je približno pliocenska i kvartarna. U najdubljim dijelovima formacije Lonja kod Velike Ciglene i Patkovca nalaze se laporovite gline, a kod Ciglenice pjeskoviti lapori. Ostali dio depresije ispunjen je glinom, koja u nekim dijelovima može biti pjeskovita ili proslojena pijescima. U središnjem dijelu depresije međusobno se izmjenjuju šljunak, pijesak i glina s proslojcima lignita (**Malvić, 2003**). Od formacije Bilogora u podini formacija Lonja je odvojena EK-markerom „D“, dok granicu u krovini predstavlja površina terena.

3. POVIJEST RANIJE PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA BJELOVARSKE SUBDEPRESIJE

Istraživanje Panonskoga bazenskog sustava sredinom 19. stoljeća rezultiralo je izradom prvih geoloških karata toga prostora. Na temelju prikupljenih površinskih i litoških podataka izrađivale su se skice. Početkom 20. stoljeća s napretkom naftne industrije u Hrvatskoj provode se prva istraživanja s ciljem prolaska ugljikovodika na području Bjelovarske subdepresije. Taj pothvat prolazi bezuspješno. Sredinom 20. stoljeća, za vrijeme Drugog svjetskog rata kao potencijalno područje za pridobivanje ugljikovodika smatra se Grubišno polje. Završetkom Drugog svjetskog rata otkriveno je ležište Lepavina a otkrivena su i ležišta Cabuna, Šandrovac, Jagnjedovac i Ferdinandovac (Malvić, 2003). Ležišta ugljikovodika najvećim dijelom se nalaze u središnjem i rubnom dijelu. Letičani, Velika Ciglena, Grubišno polje i Galovac-Pavljani su polja u središnjem dijelu, dok su Lepavina, Mosti, Šandrovac, Čepelovac i druga polja smještena u rubnom dijelu. Šandrovac je najveće polje u subdepresiji.

Malvić i sur. (2010) rade bazu podataka variograma za petrofizikalna svojstva u Savskoj i Dravskoj depresiji. Za Bjelovarsku subdepresiju izračunat je skup samo 1D eksperimentalnih variograma za podatke poroznosti i propusnosti uzoraka stijena iz jezgara za sedimente badena i donjeg pontaa.

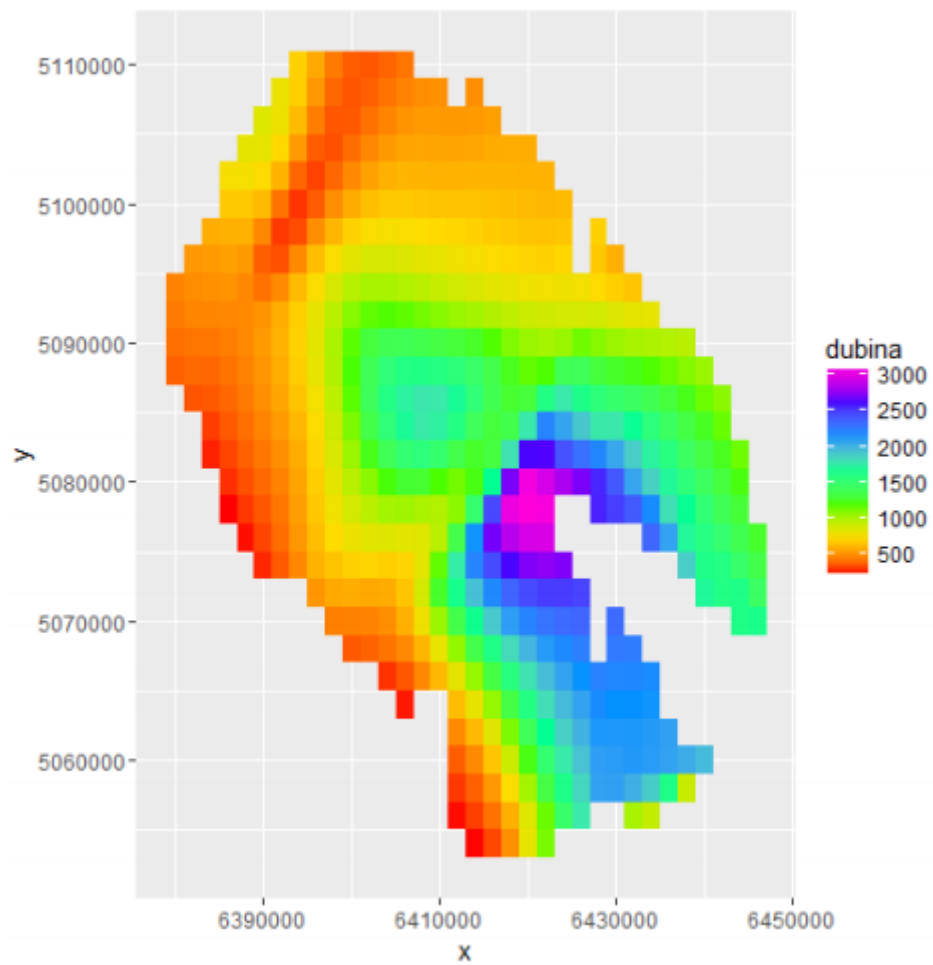
Vrbanac i sur. (2010) bave se opisom sedimentacije dubokovodnih turbidita u JZ dijelu Panonskog bazenskog sustava. U Bjelovarskoj subdepresiji analiziraju dva litostratigrafska člana, član Zagreb i okolski pješčenjaci. Sedimentacija klastičnog materijala donesenog iz Istočnih Alpi je primarno nastupala na dubini vodene razine od 200 m i bila je pod velikim utjecajem obalnog paleoreljefa, koji je određivao smjer toka turbiditnih struja i geometriju pješčenjačkih tijela.

Malvić (2011) koristi konvencionalne metode interpolacije (bez programske potpore) pri geološkom kartiranju podzemlja Bjelovarske subdepresije. Karte su konstruirane pomoću dubina do markera interpolacijom šest stratigrafskih i litostratigrafskih markera. Kao rezultat proizlaze karte koje predstavljaju temelje u

objašnjenju taloženja i evolucije sedimenata i struktura, prostornoj distribuciji mogućih zamki ugljikovodika i procjenu lokacija zrelih matičnih stijena.

Malvić i Majstorović Bušić (2012) proučili su nekonvencionalna ležišta ugljikovodika u Bjelovarskoj subdepresiji. Miocen hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava okarakteriziran je slabo propusnim klastičnim sedimentima. Većinom su to matične stijene na dubinama većim od 2500 m, badenske i rano panonske starosti, litologijom lapori i kalcitični lapori s kerogenom tipa II i III. Ostatak čine slabo propusni badenski kompaktni pješčenjaci. Ta dva litotipa čine potencijalna nekonvencionalna ležišta ugljikovodika u Bjelovarskoj subdepresiji.

Šapina (2016) je izradio kartu dubina po EK markeru „Rs5“ metodom umjetnih neuronskih mreža unutar Bjelovarske subdepresije (**slika 3.1.**). Uspješnost kartiranja skupa hipoteza dubinskih podataka koristeći algoritam originalne umjetne neuronske mreže potvrđena je statističkom analizom i usporedbom s geostatističkom interpolacijskom metodom. Algoritam je napravljen u programu „R“ i korišten je za kartiranje dubine EK-markera „Rs5“ u Bjelovarskoj subdepresiji. Uspoređene su dvije metode krosvalidacijom, neuronska mreža imala je srednju kvadratnu pogrešku 16300 a obično 14600.

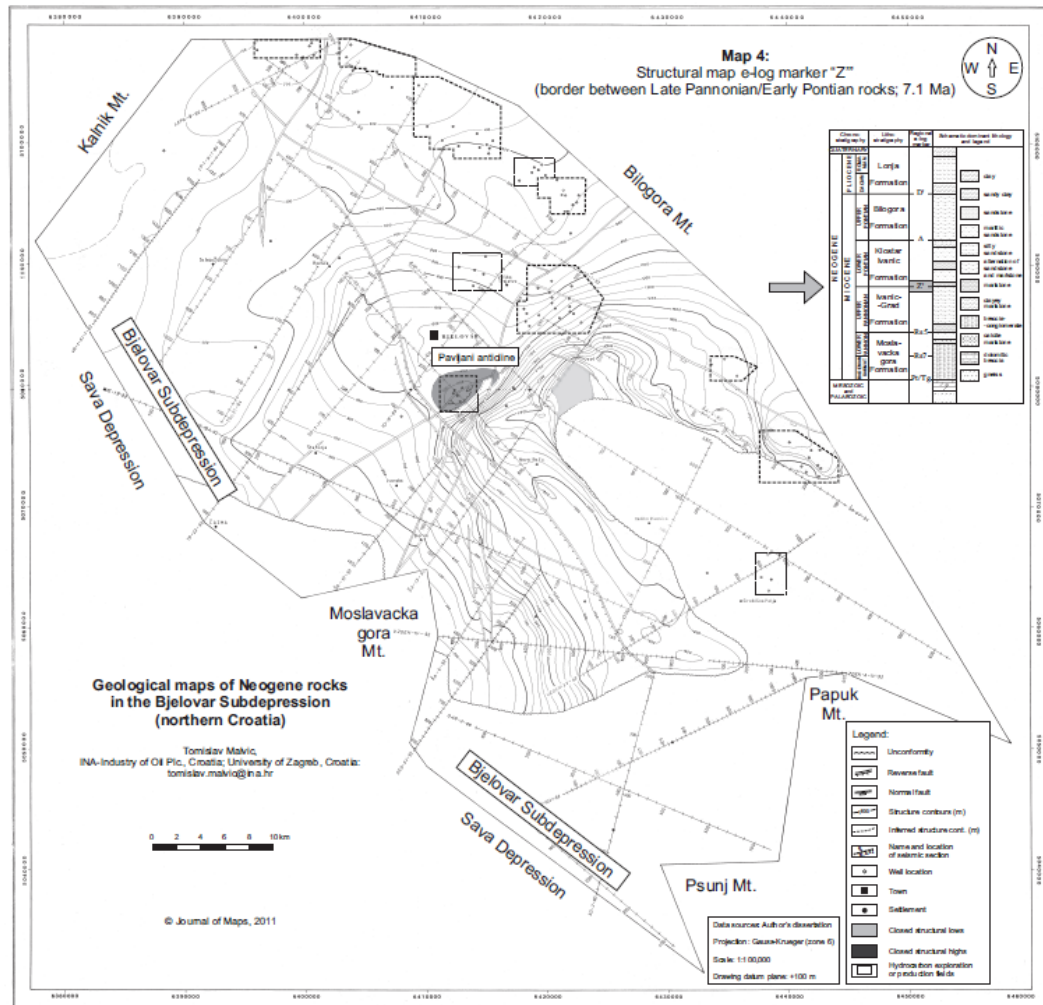


Slika 3.1 Karta EK markera „Rs5“ dobivena algoritmom neuronskih mreža (Šapina, 2016)

4. METODE I ULAZNI PODATCI

Podatci za geostatističku analizu dobiveni su iz strukturnih karta **Malvić (2011)**. Strukturne karte istraživanoga područja dobivene su na temelju dubina repera Tg/Pt i EK-markera Rs7, Rs5, Z', Δ i D'. Primjer strukturne karte po EK-markeru Z' može se vidjeti na **slici 4.1**. Preko navedenih strukturnih karata načinjena je kvadratna mreža dimenzija 2×2 km. U programskom paketu AutoCad 2013 konstruirane su mreže preko svih karata, te se na svakom čvorištu mreže može očitati dubina svakog od EK-markera i repera te njima pridružene X i Y koordinate.

Na strukturnoj karti po markeru Z' (starost EK-markera 7,1 mil. god., **slika 4.1**.) može se uočiti diskordancija koja se proteže na njenom istočnom dijelu te oko antiklinale Pavljani. Strukturne terase i strukturni nosevi prekrivaju velik dio.



Slika 4.1. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po markeru Z' interpolirana ručno na temelju bušotinskih i seizmičkih podataka (Malvić, 2011)

4.1. Metoda variograma

Variogram je jedan od osnovnih geostatističkih alata koji prikazuje strukturu slučajnog polja koji može ovisiti samo o udaljenosti između dviju mjernih točaka i razlici vrijednosti među njima (Mikulčić, 2016). Pomoću variograma (jednadžba 4.1) se može odrediti ponašanje odabrane varijable u prostoru. Pojam „variograma“ je često zamijenjen „semivariogramom“. Eksperimentalni variogram se određuje iz mjernih podataka. Variogram u ovom radu je određen mjerenjima i sadrži sve nedostatke kojima su mjerenja inače podložna. Variogrami mogu biti neusmjereni i usmjereni, u ovom slučaju radi se o neusmjerenim variogramima.

Jednadžba 4.1: Jednadžba variograma

$$2\gamma = \frac{1}{N(h)} * \sum_{n=1}^{N(h)} [z(u_n) - z(u_n + h)]^2$$

gdje je:

$N(h)$ – broj parova podataka uspoređenih na udaljenosti "h"

$z(u_n)$ – vrijednost na lokaciji "u_n"

$z(u_n+h)$ – vrijednost na lokaciji "u_n+h"

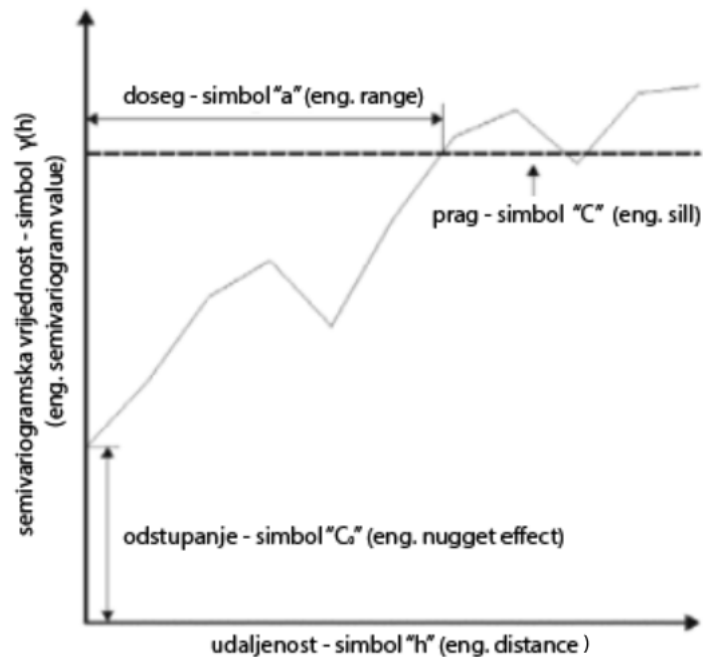
Ekperimentalna semivariogramska krivulja prikazana je na **slici 4.1. (Malvić, 2008)** Na takvoj krivulji može se očitati više veličina (**Malvić, 2008**), a to su:

Odstupanje (C_0) je pojava kada krivulja semivariograma siječe os Y u nekoj pozitivnoj vrijednosti (C_0), a predstavlja slučajnu komponentu regionalizirane varijable.

Prag (C) je ujedno definiran kao varijanca, odnosno razlika pojedinačnih vrijednosti i srednje vrijednosti skupova podataka.

Doseg (a), je vrijednost na X osi na kojoj semivariogram prvi puta presijeca prag, a nakon toga ne postoji prostorna korelacija ili ovisnost podataka.

Udaljenost (h) je vrijednost na kojoj se međusobno uspoređuju podatci.



Slika 4.1 Parametri semivariograma (Malvić, 2008)

Pojam klasa označava skup svih parova na istoj udaljenosti. Ako se spoje vrijednosti za svaku klasu dobiva se eksperimentalni variogram. Svaki eksperimentalni variogram se aproksimira teorijskim variogramom. Teorijski variogram može biti sferni, eksponencionalni, Gaussov, linearni i logaritamski.

Variogramska ili semivariogramska analiza nije ograničena skalom na kojoj su raspoređeni podatci. Eksperimentalni semivariogram može se izračunati za kilometarske, metarske i centimetarske dimenzije (Malvić, 2008). U ovom slučaju analiza se obavila na kilometarskim udaljenostima, pri tome uzimajući u obzir račun samo za glavnu os budući da smo zanemarili svojstvo anizotropije, tj. rabili smo neusmjerene variograme.

4.2. Metoda inverzne udaljenosti

Metoda inverzne udaljenosti je jedna od najčešće korištenih matematičkih interpolacijskih metoda te se koristi i kao alternativa geostatističkim postupcima. Kod metode inverzne udaljenosti (**jednadžba 4.2**) na vrijednost procijenjene varijable najviše utječu vrijednosti parametara koje su najbliže. Procjena se sastoji od n broja točaka i određena je polumjerom kružnice ili elipse koja se nalazi oko promatrane lokacije. Utjecaj svake vrijednosti je obrnuto proporcionalan udaljenosti između te vrijednosti i lokacije na kojoj se vrijednost procjenjuje. Ova metoda je najuspješnija u slučaju da kontrolne točke nisu izrazito grupirane, a kako se vrijednosti u samim odabranim točkama procjenjuju može se vidjeti iz izraza:

jednadžba 4.2:

$$z_{iu} = \frac{\frac{z_1}{d_1^p} + \frac{z_2}{d_2^p} + \dots + \frac{z_n}{d_n^p}}{\frac{1}{d_1^p} + \frac{1}{d_2^p} + \dots + \frac{1}{d_n^p}}$$

gdje vrijedi:

Z_{IU} – procijenjena vrijednost

$d_1 \dots d_n$ – udaljenosti lokacija od mjesta procjene

p – eksponent udaljenosti

$Z_1 \dots Z_n$ – mjerne vrijednosti na lokacijama

Polumjer kružnice ili elipse koja je postavljena oko lokacije određuje koliki će broj točaka biti uključen u procjenu, a utjecaj svake točke je obrnuto proporcionalan njenoj udaljenosti od lokacije na kojoj se procjenjuje vrijednost. Sami rezultat metode ovisi o vrijednosti eksponenta udaljenosti (**Malvić, 2008**).

4.3. Metoda krigiranja (obično krigiranje)

Krigiranje i njegove izvedenice kokrigiranje i stohastičke simulacije, ubrajaju se u statističke metode procjene. Krigiranje je određeno kao najbolji “linearni nepristrani procjenitelj”. Minimaliziranjem varijance krigiranja dobivaju se koeficijenti na temelju kojih se kasnije može izračunati procjena te se zbog toga koristi epitet „najbolji“. Linearnom kombinacijom mjerenih vrijednosti se načini procjena, od čega dolazi „linearni“. „Nepistrani“ osigurava da je očekivanje procjene jednako stvarnome očekivanju cijelog skupa vrijednosti. „Procjenitelj“ označuje metodologiju (Malvić, 2008). Formulom $Z_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i x Z_i$ iskazana je linearnost procjene koja značajno pojednostavljuje cijeli postupak. Vrijednosti regionalizirane varijable na odabranoj lokaciji procjenjuju se na temelju postojećih okolnih vrijednosti. Svakoj vrijednosti je pridružen određeni težinski koeficijent λ .

Postupak krigiranja može se napisati u obliku umnoška matričnih jednadžbi. U dvije od tih matrica vrijednosti su iskazane vrijednošću variograma ili kovarijance, dok se u trećoj matrici nalaze težinski koeficijenti dobiveni iz prvih dviju matrica. Sama matrična jednadžba (**jednadžba 4.3**) se simbolično piše u obliku:

jednadžba 4.3:

$$[W] \times [\lambda] = [B]$$

gdje su:

$[W]$ = matrica variograma između mjerenih točaka

$[\lambda]$ = matrica težinskih koeficijenata mjerenih točaka

$[B]$ = matrica variograma između mjerenih točaka i točke koja se procjenjuje

Gdje su vrijednosti tih matrica izražene vrijednošću variograma ili kovarijance. Treća matrica sadržava težinske koeficijente koji se računaju iz prvih dviju matrica (Malvić, 2008).

Metoda krigiranja sadrži brojne tehnike koje ovise i razlikuju se po obliku matričnih jednadžbi. Njihova primjena ovisi o vrsti podataka i područja na koja se

primjenjuju. Jednostavno krigriranje, obično krigriranje, indikatorsko krigriranje, univerzalno krigriranje, disjunktivno krigriranje spadaju pod tehnike krigriranja. Najjednostavniji oblik metode je jednostavno krigriranje a sama tehnika osnova je ostalim vrstama krigriranja, ali ne zadovoljava uvjet nepristrane procjene.

Sama **jednadžba 4.4** glasi:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_{n1}) \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x) \end{bmatrix}$$

gdje su:

γ = vrijednost variograma

$Z_{1...n}$ = vrijednost izmjerenih parametara

$\lambda_{1...n}$ = vrijednost težinskih koeficijenata

$x_{1...n}$ = udaljenosti između izmjerenih točaka i točke koja se procjenjuje

U tehnici običnog krigriranja nastoji se minimizirati iznos varijance krigriranja tako da dodajemo vanjski parametar: Lagrangeov faktor μ . U ovom slučaju, matrična **jednadžba 4.5** glasi:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_{n1}) & 1 \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x) \\ 1 \end{bmatrix}$$

gdje su:

γ = vrijednost variograma

$Z_{1...n}$ = vrijednost izmjerenih parametara

$\lambda_{1...n}$ = vrijednost težinskih koeficijenata

$x_{1...n}$ = udaljenost između izmjerenih točaka i točke koja se procjenjuje

μ = Lagrangeov faktor

4.4 Krosvalidacija

Krosvalidacija, ili numerička pogreška interpolacije je tehnika za testiranje prihvatljivosti variogramskog modela. Na mjestu gdje postoji podatak mjerena se vrijednost zanemaruje, a procjena krigiranjem radi se iz vrijednosti svih preostalih uzoraka koji se nalaze u granicama elipsoida prostorne zavisnosti. Potom se procijenjena vrijednost uspoređuje s izmjenom, računa se kvadrat razlike procijenjene i izmjerene vrijednosti te se postupak ponavlja za sve postojeće mjerene vrijednosti na karti. Obrada rezultata često može biti teška i imati više značenja. Neobično velike razlike između procijenjene i stvarne vrijednosti mogu upozoriti na nazočnost prostornih ekstrema ili točaka koje po svojim vrijednostima ili svojstvima ne pripadaju mjerenim vrijednostima u istome skupu (**Malvić, 2008**). Izračun se radi prema **jednadžbi 4.6**:

$$MSE_{metode} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{izmjenjena vrijednost} - \text{procijenjena vrijednost})_i^2$$

gdje je:

MSE_{metode} – srednja kvadratna pogreška (krosvalidacija) procjene odabrane metode

izmjerena vrijednost – izmjerena vrijednost odabrane varijable na bušotini „i“

procijenjena vrijednost – procijenjena vrijednost odabrane varijable na bušotini „i“

Krosvalidacija je korištena kao numerički pokazatelj ispravnosti napravljenih karata. Usporedbom vrijednosti krosvalidacije karata pojedinih EK-markera može se potvrditi ili odbaciti vizualna procjena ispravnosti napravljenih karata.

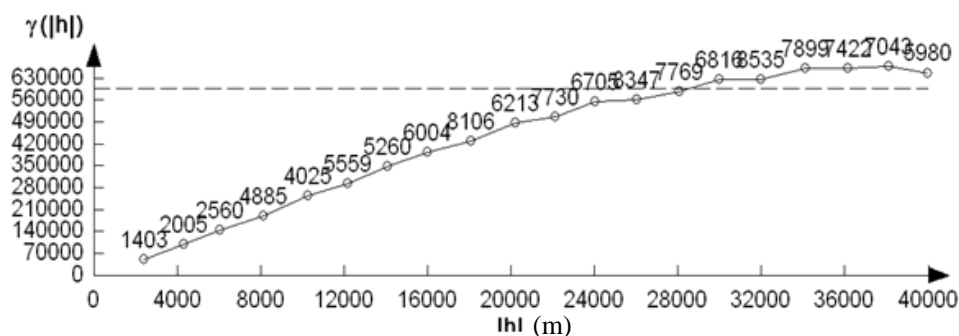
4.5. Ulazni podatci

U geostatistici je najbitnija priprema ulaznih podataka. Ovo poglavlje sadrži ulazne podatke koji su se koristili u istraživanju. Podatci korišteni za geostatističku analizu dobiveni su iz strukturnih karata Bjelovarske subdepresije (**Malvić, 2011**). U Bjelovarskoj subdepresiji postoji šest EK markera i EK granica. Iz njih su se načinile strukturne karte „Tg“, „Rs7“ i „Rs5“, „Z“, „Δ“ i „D“. Korišteni ulazni podatci predstavljaju dubine do određene točke na pojedinom markeru u metrima, te su dobivene pretežito uz pomoć seizmičkih profila. Preko svih strukturnih karata načinjena je kvadratna mreža dimenzija 2×2 km. Mreže su preko navedenih karata nacrtane korištenjem programskog paketa AutoCAD 2013.

Ulazni podatci se sastoje od X i Y kordinata, gdje je svakoj zasebnoj koordinati pridružena određena dubina. Iz dobivenih podataka napravljeni su eksperimentalni semivariogrami pomoću računalnog programa Variowin (**Pavičić et al, 2013**).

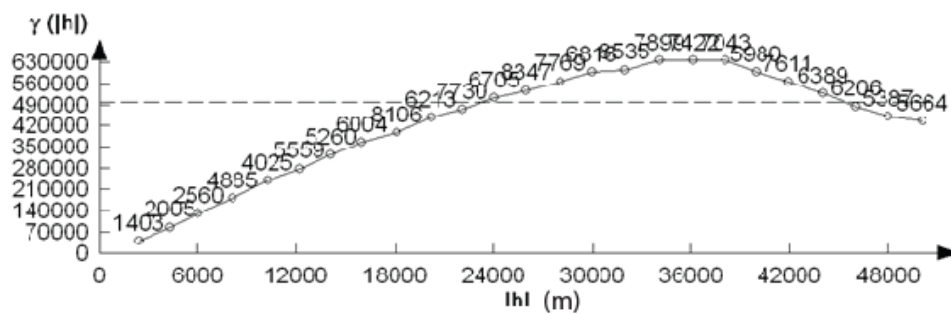
5. EKSPERIMENTALNI SEMIVARIOGRAMI DUBINA PO GLAVNOJ OSI

Eksperimentalni semivariogrami dubina za glavnu os uzeti su iz seminarskog rada **Pavičić et al. (2013)** i **Drmić et al. (2014)**. Oni su samostalno računali eksperimentalne variogramme za svaki od EK-markera i repera unutar računalnog programa Variowin. Svojstvo anizotropije je najvažnija karakteristika variograma. Anizotropija opisuje promjenu vrijednosti variograma ovisno o smjeru u kojem je računat. Na temelju rezultata semivariogramske analize može se odrediti smjer najvećega i najmanjeg diskontinuiteta, odnosno glavna i sporedna os. U ovom radu zanemareno je svojstvo anizotropije. Zbog toga su prikazani eksperimentalni semivariogrami samo po glavnoj osi. Nakon dobivenih eksperimentalnih variograma načinjena je aproksimacija nekim od teorijskih modela. Tri su modela koji se najčešće koriste, a to su sferni, eksponencionalni i Gaussov. Prikaz svih navedenih semivariograma nalaze se na **slikama 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5**. Eksperimentalni semivariogrami na **slikama 5.1, 5.2** i **5.3** aproksimirani su eksponencionalnim modelom, dok su eksperimentalni semivariogrami na **slikama 5.4, 5.5** aproksimirani Gausovim modelom. Podudarnost krivulja Eksperimentalnih semivariograma i teoretskih krivulja ukazuje nam da eksperimentalne semivariogramske osi dubina prate pružanje strukturnih osi. Variogramske veličine za sve semivariogramme su iste: veličina koraka (h) = 2000 m; broj koraka = 20; smjer = 120° . Na variogramu na **slici 5.1** prag iznosi 585000, a doseg je 28000 m.



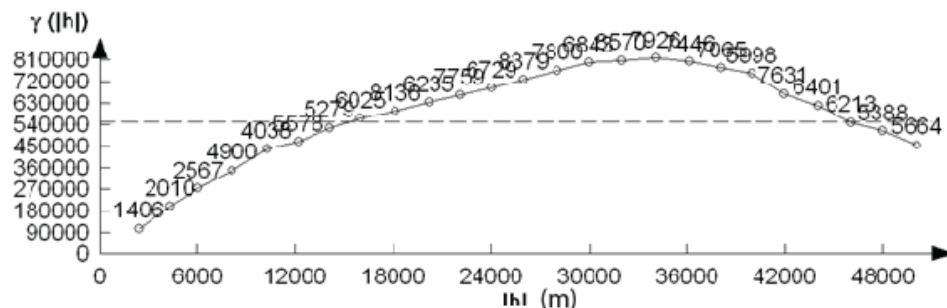
Slika 5.1. Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa podine neogena „Tg/Pt“ za glavnu os (120°) **Pavičić et al. (2013)**

Na variogramu na **slici 5.2.** prag iznosi malo više od 490000, a doseg iznosi 24000 m.



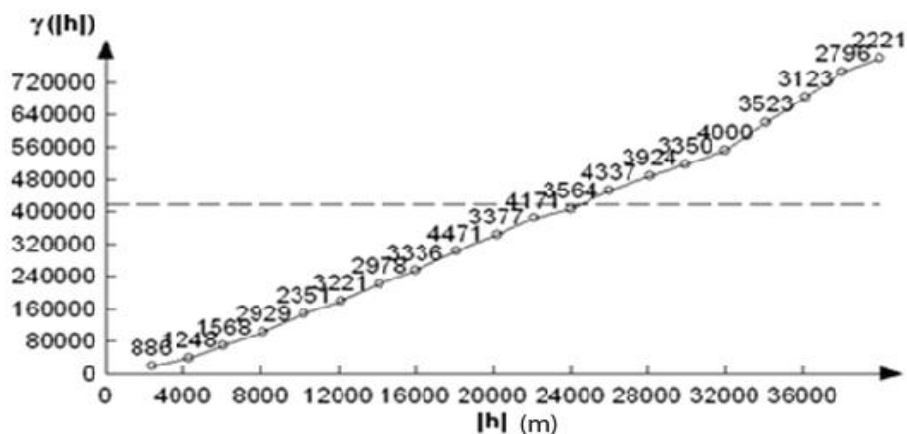
Slika 5.2. Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „Rs7“ za glavnu os (120°) Pavičić et al. (2013)

Na **slici 5.3.** možemo vidjeti da vrijednost praga na ovom variogramu iznosi malo više od 540000, dok je hod 16000 m.



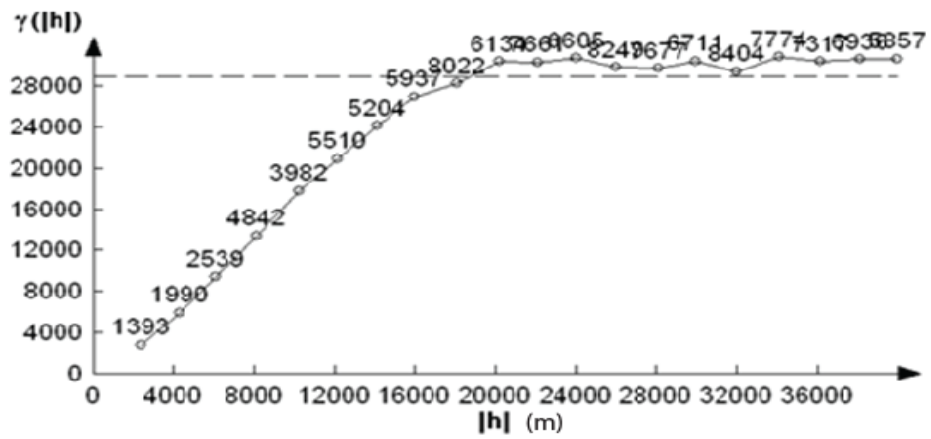
Slika 5.3. Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „Rs5“ za glavnu os (120°) *Pavičić et al. (2013)*

Na **slici 5.4.** vidi se da krivulja siječe prag u vrijednosti približnoj 42000, a doseg iznosi nešto malo više od 24000.



Slika 5.4 Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „Z“ za glavnu os (120°) *Drmić et al. (2014)*

Na **slici 5.5** vrijednost praga iznosi 29000, a doseg iznosi 19000 m.



Slika 5.5 Eksperimentalni semivariogram dobiven iz strukturne karte paleoreljefa EK-markera „D“ za glavnu os (120°) Drmić et al. (2014)

6. STATISTIČKA OBRADA ULAZNIH SKUPOVA

U ovom poglavlju opisane su statističke metode i pojmovi koji su korišteni u obradi ulaznih podataka. Navedene su maksimalne i minimalne vrijednosti, aritmetička sredina i medijan. Izrađeni su i histogrami koji su dobiveni na temelju t-testa i F-testa.

Maksimalna vrijednost (MAX) predstavlja maksimalnu vrijednost varijable u određenom skupu podataka.

Minimalna vrijednost (MIN) predstavlja minimalnu vrijednost varijable u određenom skupu podataka.

Aritmetička sredina (MEAN) označava srednju vrijednost ili prosjek, a dobiva se dijeljenjem sume vrijednosti svih podataka s ukupnim brojem podataka.

Medijan (MED) odgovara središnjoj vrijednosti u nizu elemenata statističkog skupa koji su poredani od najmanjeg do najvećeg i koja dijeli skup na dva jednaka dijela. Pola vrijednosti skupa nalazi se iznad medijana, a pola ispod medijana.

T-test je statistički postupak koji ispituje značajnost razlike između dva uzorka. Uspoređuju se njihove aritmetičke sredine. Pretpostavljena je normalna distribucija za obje skupine podataka, uz nepoznato očekivanje $E(x)$ i varijancu $V(x)$. T-testom se testira nul-hipoteza $H_0 : E(x) = \mu_0$ i $H_1 : E(x) = \mu > \mu_0$ i $H_1 : E(x) = \mu < \mu_0$. Ako je hipoteza H_0 istinita, varijabla $t = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$ pripada Studentovoj t-razdiobi s $k = n - 1$ stupnjeva slobode. Područje odbacivanja hipoteze određeno je nejednakošću $\frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}} > t_{1-\alpha}$, gdje je $t_{1-\alpha}$ takva vrijednost varijable t iz pripadne t-razdiobe da je zadovoljena jednakost: $P\{t > t_{1-\alpha}\} = \alpha$. Pri tome je α unaprijed zadana vjerojatnost pogreške prve vrste (obično 0,05 ili 0,01). Područje odbacivanja hipoteze određeno je također nejednakošću $\frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}} < t_{\alpha}$, gdje je t_{α} odabrana vrijednost varijable t tako da vrijedi: $P\{t < t_{\alpha}\} = \alpha$. Pri tome su t_{α} i $t_{1-\alpha}$ kritične vrijednosti (Malvić i Vrbanac, 2013).

F-test – test koji služi za ispitivanje jednakosti varijanci dviju skupina podataka. Ako su varijance dviju skupina podataka (uz pretpostavljenu normalnu razdiobu) jednake ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$), varijabla $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$ je karakterizirana F-distribucijom s $k_a = n_1 - 1$ stupnjeva slobode u brojniku te $k_b = n_2 - 1$ stupnjeva slobode u nazivniku. Pritom su S_1^2 i S_2^2

nezavisne procjene varijanci σ_1^2 i σ_2^2 . Ako se hipoteza H_0 ne odbacuje, tada u $100 \times (1 - \alpha)\%$ slučajeva vrijednost F zadovoljava nejednakost $F_1 \leq F \leq F_2$. Pritom su F_1 i F_2 odabrane tako da vrijedi **jednadžba 6.1.** :

$$P\{F < F_1\}, P\{F > F_2\} = \frac{\alpha}{2}. \quad (6.1.)$$

gdje je:

F_1, F_2 – pragovi značajnosti

$[F_1, F_2]$ – područje prihvatanja hipoteze H_0

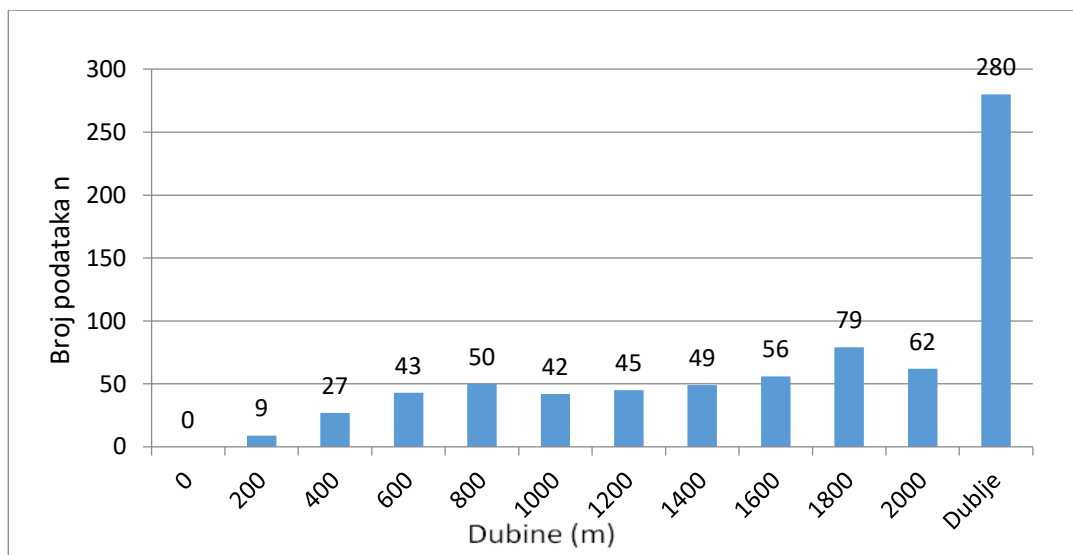
Ako je $F < F_1$ ili $F > F_2$, odbacuje se hipoteza H_0 i prihvaća alternativna hipoteza H_1 .

6.1. Rezultati statističke obrade ulaznih skupova

U ovome potpoglavlju navedene su sve statističke vrijednosti vezane za strukturne karte. Statističke vrijednosti podrazumijevaju numeričke rezultate F i t -testova i histograme. Statistički testovi i histogrami su računati unutar Microsoftovog paketa Excel. Na apscisi histograma se nalaze dubine u metrima, a na ordinati broj ulaznih podataka. Broj razreda na svakom od histograma je 14. Razredi su odabrani tako da pokazuju najbolju raspodjelu dubina po markerima. Interval razreda iznosi 200 m, što je dovoljno za uočavanje veze dubina s taložnim okolišima. Primjerice da interval razreda iznosi duplo više, 400 m, isti broj ulaznih podataka bi se smjestio u manji broj razreda. Na taj način bi bilo teže povezati raspodjele dubina sa taložnim okolišima.

- Histogram dubina po reperu „Tg/Pt“

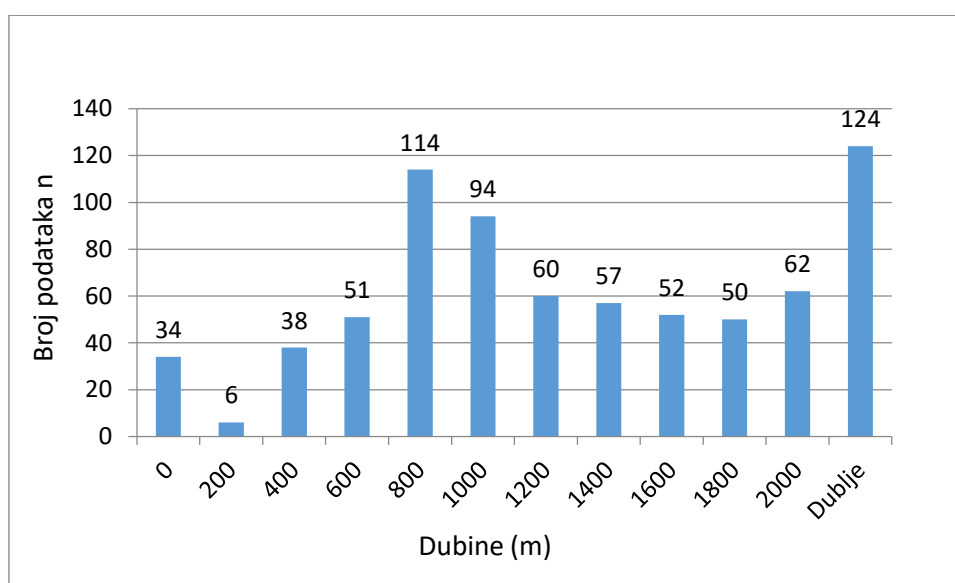
Na histogramu (**slika 6.1**) se može uočiti da najveći broj ulaznih podataka ima vrijednosti veće od 2000 m, te da je najveći dio vrijednosti smješten u razrede s vrijednostima dubina većih od 1000 m. Dobivene vrijednosti: MAX = 3650 m, MIN = 80 m, MEAN = 1692 m, Med = 1715 m.



Slika 6.1. Histogram po reperu „Tg/Pt“

- *Histogram dubina po EK-markeru „Rs7“*

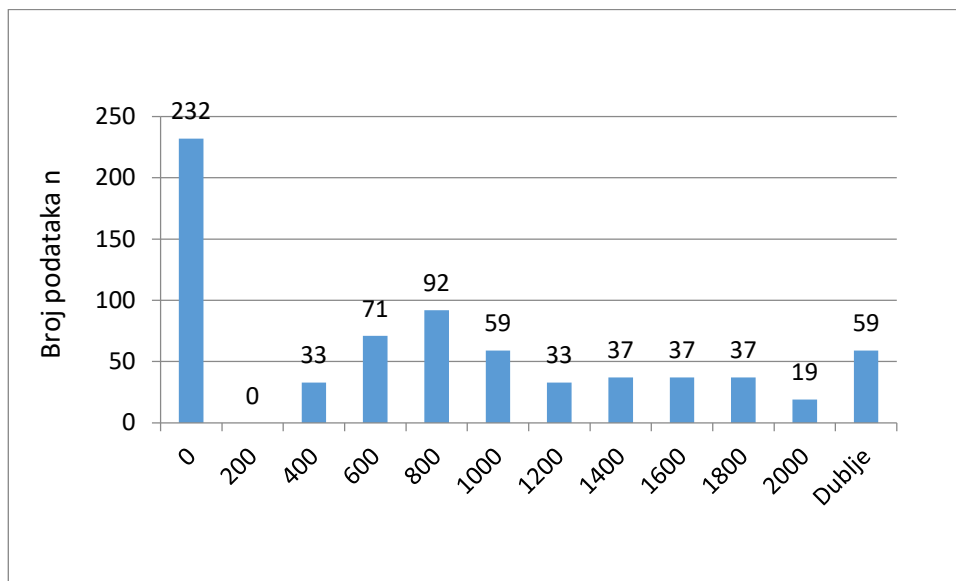
Dobivene vrijednosti: Na temelju histograma dubina po EK-markeru „Rs7“ (**slika 6.2**) može se isčitati da se u razredu dublje od 2000 m nalazi najveći broj podataka. Podatci su gotovo ravnomjerno raspoređeni od razreda dubine 800 m do razreda dubljeg od 2000 m. Dobivene vrijednosti: MAX = 3400 m, MIN = 0 m, MEAN = 1243 m, Med = 1120 m.



Slika 6.2. Histogram po EK-markeru „Rs7“

- Histogram dubina po EK-markeru „Rs5“

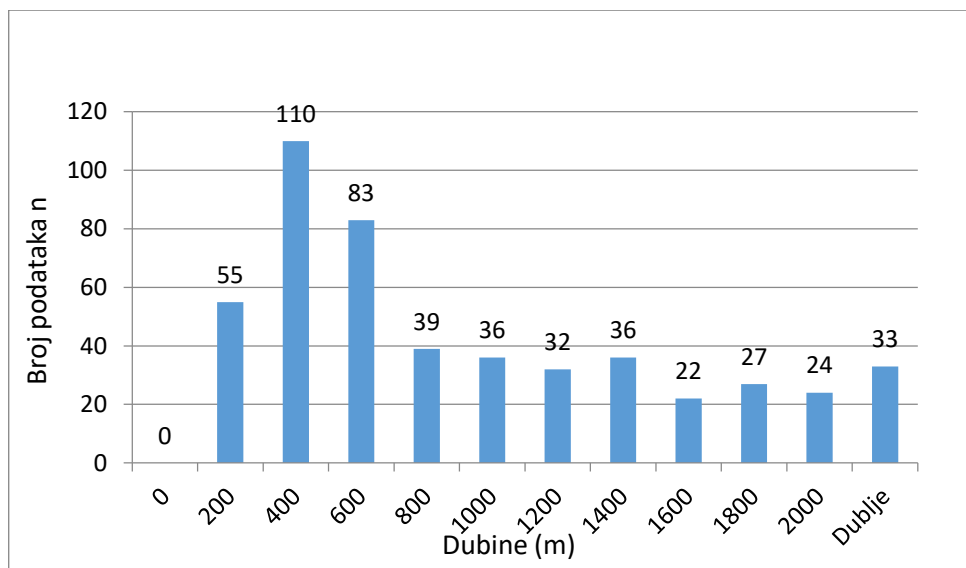
Iz histograma dubina po EK-markeru „Rs5“ (slika 6.3) može se uočiti da najveći dio vrijednosti pripada razredu kojemu je dubina 0 m. Na područjima gdje je dubina probušenih naslaga iznosila 0 m došlo je do erozije ili isklinjenja. To će se kasnije odraziti i na prikazu karte po EK-markeru „Rs5“, točnije na njenom jugoistočnom dijelu. Najveći dio vrijednosti kojima nije pripisana dubina 0 m nalaze se u intervalu od 600 do 1000 m. Dobivene vrijednosti: MAX = 3140 m, MIN = 0 m, MEAN = 759 m, Med = 610 m.



Slika 6.3. Histogram po EK-markeru „Rs5“

- Histogram dubina po EK-markeru Z'

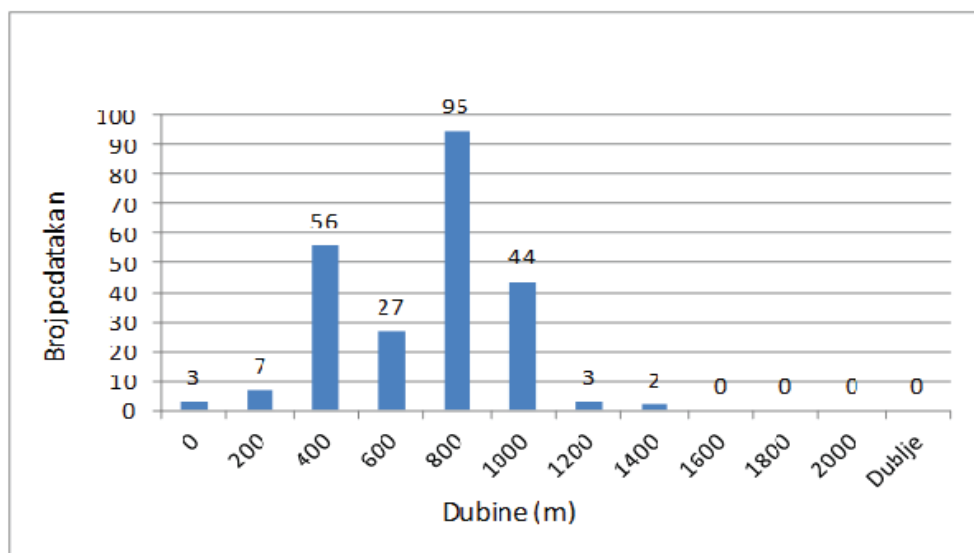
Iz histograma dubina po EK-markeru Z' (slika 6.4) može se uočiti da je većina vrijednosti u razredu s vrijednostima dubina manjima od 800 m. Ostatak vrijednosti je ravnomjerno raspoređen po svim ostalim razredima od 800 pa do dublje od 2000 m. Dobivene vrijednosti: MAX = 2800 m, MIN = 80 m, MEAN = 855 m, Med = 610 m.



Slika 6.4. Histogram po EK-markeru „Z”

- *Histogram dubina po EK-markeru „Δ”*

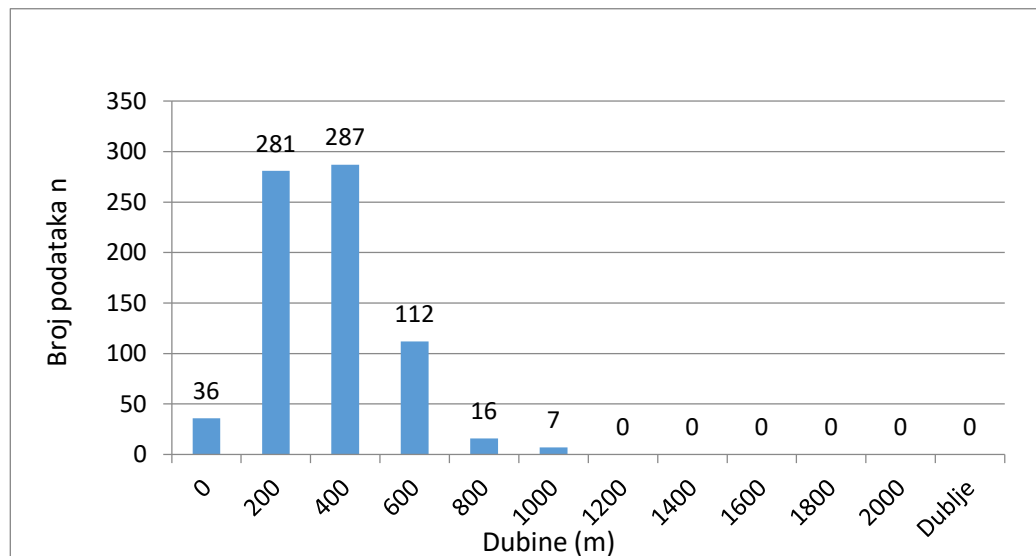
Na temelju histograma dubina po EK-markeru Δ (**slika 6.5**) može se uočiti da najveći broj podataka spada u razrede od 400 do 1000 metara. Najveći broj podataka se nalazi u razredu 800 metara. Dobivene vrijednosti: MAX = 1362 m, MIN = 0 m, MEAN = 618 m, Med = 698 m.



Slika 6.5 Histogram po EK-markeru „Δ”

- Histogram dubina po EK-markeru D

Na temelju histograma po EK–markeru D' (**slika 6.6**) uočava se najveći broj vrijednosti u razredima 200 do 600 m, a općeniti trend je takav da vrijednosti 200–400 m naglo opadaju u razrede s vrijednostima današnjim dubina većih od 1000 m. Dobivene vrijednosti: MAX = 850 m, MIN = 0 m, MEAN = 247 m, Med = 225 m.



Slika 6.6. Histogram po EK-markeru „D’“

6.2. Rezultati statističkih testova

U ovom podpogavlju prikazani su rezultati dobiveni F-testom i T- testom dobivenih pomoću Microsoft Excela. Statistički testovi su provedeni da bi se usporedili skupovi ulaznih podataka repera i EK-markera. Prije testiranja vrijednosti ulaznih podataka postavljena je hipoteza o nasljednosti, odnosno pretpostavka jesu li iste strukture postojane na različitim kartama EK-markera i repera. Hipotezom se željelo provjeriti jesu li

vrijednosti ulaznih podataka u statističkoj vezi, odnosno jesu li proučavani EK-markeri i reper povezani zbog svojstva nasljednosti.

6.2.1. t-test „Tg/Pt“ – „Rs7“

Prvi test (**slika 6.7**) napravljen test je t-test u Microsoft Excelu. t-test uspoređuje srednje vrijednosti dvaju skupova. Dobiveni rezultat ukazuje da pretpostavljena hipoteza ne vrijedi. T-test programa Microsoft Excel sam određuje vrijednosti varijance za pojedine skupove. Varijanca za skup podataka „Tg/Pt“ iznosi 588500 a za skup podataka “Rs7” iznosi 496200. Što ukazuje na ispravno proveden test. Zbog provjere ispravnosti t-testa, vrijednosti varijanci su izračunate i na drugi način, pomoću naredbe „var“ unutar programa Excel.

	A	B	C
1	t-Test: Dva uzorka s pretpostavkom različitih varijanci		
2			
3		<i>Skup 1</i>	<i>Skup 2</i>
4	Aritmetička sredina	1706,837	1253,558743
5	Varijanca	588528,2	496214,8488
6	Broj podataka	732	732
7	Predpostavljena razlika aritmetičkih	2	
8	df	1451	
9	t Stat	11,72295	
10	P(T<=t) razdioba s jedanim krakom	1,09E-30	
11	t kritično razdiobe s jedanim krakom	1,645904	
12	P(T<=t)razdioba s dva kraka	2,17E-30	
13	t kritično razdiobe s dva kraka	1,9616	

Slika 6.7 t-test "Tg/Pt" - "Rs7"

6.2.2. F-test „Tg/Pt” – „Rs7”

Drugi napravljeni test je F-test (**slika 6.8**). F-test uspoređuje aritmetičke vrijednosti varijanca dvaju različitih skupova. Vrijednosti varijanca F-testa su iste kao i u T-testu. Ovaj test nije prošao uspješno, odnosno pretpostavljena hipoteza o nasljednosti nije

zadovoljena. U ovom slučaju pretpostavljena hipoteza nije prošla zato što je $F_{critical} < F$, brojčano $1,129476 < 1,18604$. Varijance su računane i na drugi način, pomoću naredbe „var“ unutar programa Excel, te je na taj način utvrđena ispravnost izračuna u ovome Excelovom testu.

	A	B	C
1	F-Test s dva skupa uzoraka		
2			
3		<i>Skup 1</i>	<i>Skup 2</i>
4	Aritmetička sredina	1706,837432	1253,558743
5	Varijanca	588528,1856	496214,8488
6	Broj uzoraka	732	732
7	df	731	731
8	F	1,186035015	
9	P(F<=f) razdioba s jednim krakom	0,010603275	
10	F kritično razdiobe s jednim krakom	1,129475535	

Slika 6.8 F-test "Tg/Pt" - "Rs7"

6.2.3. t-test "Rs7" – "Rs5"

Treći provedeni test je t-test skupova podataka „Rs7“ i „Rs5“ (**slika 6.9**). Kao i u prethodno provedenom testu željelo se provjeriti vrijedi li postavljena hipoteza. t-test nije prošao, odnosno pretpostavljena hipoteza o nasljednosti ne vrijedi. Varijance su izračunate i na drugi način pomoću funkcije „var“ u Microsoft Excelu, ne samo pomoću t-testa u Microsoft Excelu. Na taj način utvrđena je ispravnost izračuna u ovome Excelovom testu.

	A	B	C
1	t-Test: Dva uzorka s pretpostavkom različitih varijanci		
2			
3		<i>Skup 1</i>	<i>Skup 2</i>
4	Aritmetička sredina	759,0174966	1242,803235
5	Varijanca	552673,8312	498019,1893
6	Broj podataka	743	742
7	Predpostavljena razlika aritmetičkih sredina	0	
8	df	1479	
9	t Stat	-12,86088558	
10	P(T<=t) razdioba s jednim krakom	2,92065E-36	
11	t kritično razdiobe s jednim krakom	1,645884547	
12	P(T<=t)razdioba s dva kraka	5,8413E-36	
13	t kritično razdiobe s dva kraka	1,961569197	

Slika 6.9 t-test "Rs7" – "Rs5"

6.2.4. F-test "Rs7" – "Rs5"

Četvrti po redu napravljeni test je F-test za horizonte "Rs7" i "Rs5"(slika 6.10). U ovome slučaju F-test nije prošao. Prvotno postavljena hipoteza da su EK-markeri „Rs7“ i „Rs5“ u korelaciji zbog svojstva nasljednosti nije valjana. $F_{critical}$ u ovome slučaju je manji od F, što ne zadovoljava uvjete ovoga testa. kao i kod svakog prethodnog urađenog testa varijance su izračunate pomoću naredbe „var“ zbog provjere ispravnosti testa.

	A	B	C
1	F-Test s dva skupa uzoraka		
2			
3		<i>Skup 1</i>	<i>Skup 2</i>
4	Aritmetička sredina	777,9971388	1242,803235
5	Varijanca	580693,2607	498019,1893
6	Broj uzoraka	699	742
7	df	698	741
8	F	1,166005795	
9	P(F<=f) razdioba s jednim krakom	0,019723084	
10	F kritično razdiobe s jednim krakom	1,130486682	

Slika 6.10 F-test "Rs7" – "Rs5"

6.2.5. t-test "Rs5" – "Z"

Peti po redu odrađeni test je t-test za horizonte "Rs5" i „Z“ (slika 6.11). U ovome slučaju t-test nije prošao. Prvotno postavljena hipoteza da su EK-markeri „Rs5“ i „Z“ u korelaciji zbog svojstva nasljednosti nije valjana kao i kod svakog prethodnog testa varijance su računane pomoću naredbe „var“ u Microsoft Excelu zbog provjere ispravnosti testa.

	A	B	C
1	t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
2			
3		Variable 1	Variable 2
4	Mean	759,0174966	854,915493
5	Variance	552673,8312	418141,9767
6	Observations	743	497
7	Hypothesized Mean Di	0	
8	df	1156	
9	t Stat	-2,408636223	
10	P(T<=t) one-tail	0,008083966	
11	t Critical one-tail	1,64617283	
12	P(T<=t) two-tail	0,016167932	
13	t Critical two-tail	1,96201819	

Slika 6.11 t-test "Rs5" – "Z"

6.2.6. F-test "Rs5" – "Z"

Šesti po redu napravljeni test je F-test za horizonte "Rs5" i „Z“ (slika 6.12). F-test nije prošao, $F_{critical}$ u ovome slučaju je manji od F, što ne zadovoljava uvjete ovoga testa. Prvotno postavljena hipoteza da su EK-markeri „Rs7“ i „Rs5“ u korelaciji zbog svojstva nasljednosti nije valjana. Varijance su izračunate i pomoću naredbe „var“ unutar programa Excel zbog provjere ispravnosti testa.

	A	B	C
1	F-Test Two-Sample for Variances		
2			
3		<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
4	Mean	759,0174966	854,915493
5	Variance	552673,8312	418141,9767
6	Observations	743	497
7	df	742	496
8	F	1,321737262	
9	P(F<=f) one-tail	0,000392783	
10	F Critical one-tail	1,14576913	

Slika 6.12 F-test "Rs5" – "Z"

6.2.7. t-test "Z" – "Δ"

Sedmi po redu napravljeni t-test uključuje horizonte "Z" i "Δ" (slika 6.13). t-test nije prošao, na temelju rezultata testa zaključeno je da postavljena hipoteza ne vrijedi. Varijanca za EK–marker Z' iznosi 418100, a za EK–marker Δ 56740. Rezultat je provjeren tako što su naknadno izračunate vrijednosti varijanca za pojedini skup podataka pomoću naredbe „var“ u Microsoft Excelu.

	A	B	C
1	t-Test: Dva uzorka s pretpostavkom različitih varijanci		
2			
3		<i>Skup 1</i>	<i>Skup 2</i>
4	Aritmetička sredina	617,5063291	854,915493
5	Varijanca	56739,08153	418141,9767
6	Broj podataka	237	497
7	Pretpostavljena razlika aritmetičkih sredina	0	
8	df	699	
9	t Stat	-7,221665983	
10	P(T<=t) razdioba s jedanim krakom	6,72367E-13	
11	t kritično razdiobe s jednim krakom	1,647036464	
12	P(T<=t)razdioba s dva kraka	1,34473E-12	
13	t kritično razdiobe s dva kraka	1,963363535	

Slika 6.13 t-test "Z" – "Δ"

6.2.8. F-test "Z" – "Δ"

Deveti odrađeni F-test uključuje horizonte "Z" i "Δ" (slika 6.14). F-test je prošao, $F_{\text{critical}} > F$, odnosno numerički $0,83 > 0,13$. Na temelju rezultata testa zaključeno je da postavljena hipoteza vrijedi. Odnosi između promatranih markera vrijede, odnosno nasljedni su. Test je prošao provjeru tako što su varijance izračunate i na drugi način, pomoću naredbe „var“ u programu Excel.

	A	B	C
1	F-Test s dva skupa uzoraka		
2			
3		Skup 1	Skup 2
4	Aritmetička sredina	617,5063291	854,915493
5	Varijanca	56739,08153	418141,977
6	Broj uzoraka	237	497
7	df	236	496
8	F	0,13569334	
9	P(F<=f) razdioba s jednim krakom	0	
10	F kritično razdiobe s jednim krakom	0,828825992	

Slika 6.14 F-test "Z" – "Δ"

6.2.9. t-test "Δ" – "D"

Sljedeći po redu test je t-test između horizonata "Δ" i "D" (slika 6.15). t-test nije prošao, što bi značilo da pretpostavljena hipoteza ne vrijedi. Varijanca za EK-marker Δ iznosi 56700 a za EK-marker D' 29000. Varijance su također izračunate i pomoću naredbe var u programu Microsoft Excel. Na taj način je utvrđena ispravnost rezultata testa.

	A	B	C
1	t-Test: Dva uzorka s pretpostavkom različitih varijanci		
2			
3		<i>Skup 1</i>	<i>Skup 2</i>
4	Aritmetička sredina	617,5063291	247,4925575
5	Varijanca	56739,08153	28977,99283
6	Broj uzoraka	237	739
7	Predpostavljena razlika aritmetičkih sredina	0	
8	df	317	
9	t Stat	22,16733184	
10	P(T<=t) razdioba s jedanim krakom	1,04036E-66	
11	t kritično razdiobe s jedanim krakom	1,649674634	
12	P(T<=t)razdioba s dva kraka	2,08073E-66	
13	t kritično razdiobe s dva kraka	1,967475592	

Slika 6.15 t-test "Δ" – "D"

6.2.10. F-test "Δ" – "D"

Posljednji provedeni test je F test između horizonata "Δ" – "D" (slika 6.16). Test nije prošao, zato što je $F_{critical} < F$, brojčano $1,18 < 1,96$. Pretpostavljena hipoteza ne vrijedi. Varijance su računane pomoću naredbe „var“ kako bi se provjerila ispravnost testa.

	A	B	C
1	F-Test s dva skupa uzoraka		
2			
3		<i>Skup 1</i>	<i>Skup 2</i>
4	Aritmetička sredina	617,5063291	247,4925575
5	Varijanca	56739,08153	28977,99283
6	Broj uzoraka	237	739
7	df	236	738
8	F	1,958005921	
9	P(F<=f) razdioba s jednim krakom	1,02231E-11	
10	F kritično razdiobe s jednim krakom	1,184954753	

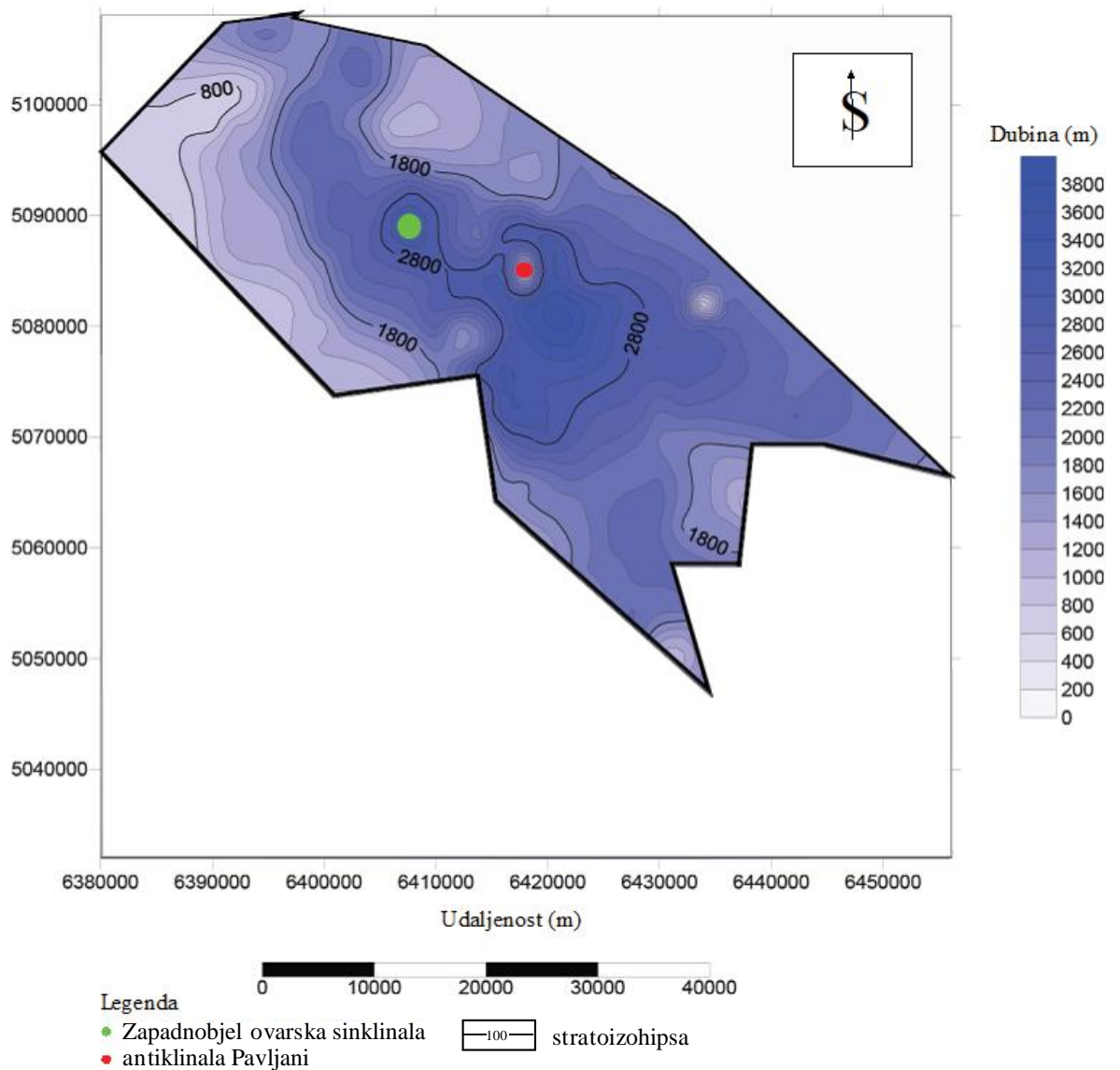
Slika 6.16 F test "Δ" – "D"

7. KARTE DOBIVENE PRIMIJENJENIM METODAMA INTERPOLACIJE

Karte dobivene ranije spomenutim metodama, metodom inverzne udaljenosti i krigiranjem dobivene su pomoću programskog paketa „Surfer 8“. Ulazni podatci za izradu karata predstavljaju x, y i z koordinate. Z koordinata predstavlja dubinu (**Pavičić et al, 2013**).

7.1. Karte dobivene metodom krigiranja

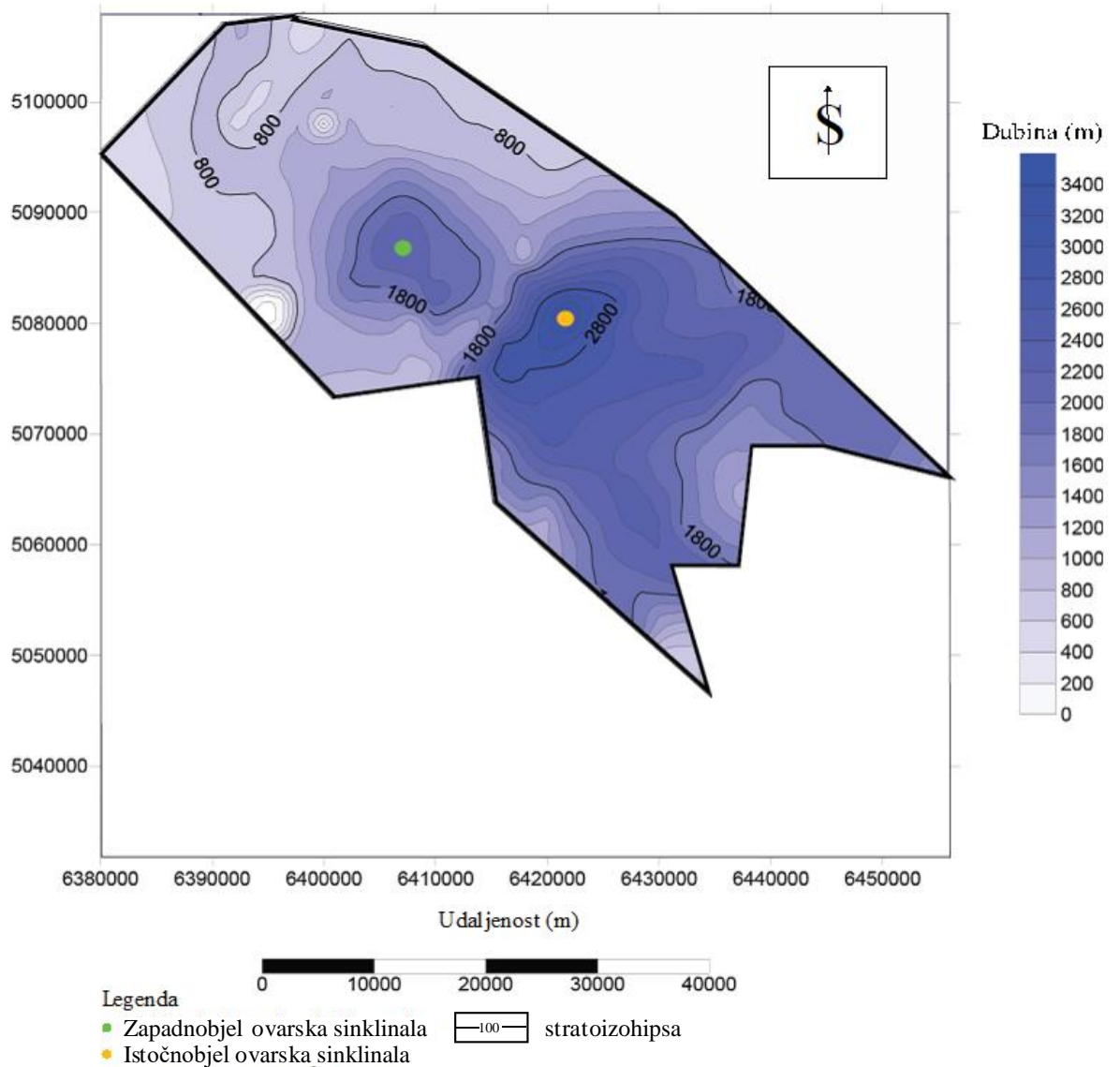
Na karti (**slika 7.1**) repera „Tg/Pt“ koja je napravljena običnim krigiranjem, mogu se uočiti elementi rasjeda koji se očituju promjenom pravca pružanja izolinija te njihovim zgušnjavanjem. Takvi rasjedi vidljivi su u središnjem dijelu karte. Ako se usporedi dobivena karta u programu Surfer 8 s kartom paleoreljefa po reperu „Tg/Pt“ (**Malvić, 2011**) mogu se uočiti sustavi rasjeda na područjima gdje se javlja zgušnjavanje izolinija i nagle promjene pravca pružanja istih. Prema **Malvić (2011)**, radi se o dva sustava reverznih rasjeda, koji pripadaju dijagonalnom sustavu rasjeda i dva sustava normalnih rasjeda, koji pripadaju poprečnom sustavu rasjeda. U središnjem dijelu karte može se uočiti antiklinala „Pavljani“. Sjeverozapadno od antiklinale „Pavljani“ nalazi se Zapadno-bjelovarska sinklinala. Krosvalidacija kod ove karte iznosi 1625.



Slika 7.1. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po reperu "Tg/Pt" korištenjem metode krigiranja

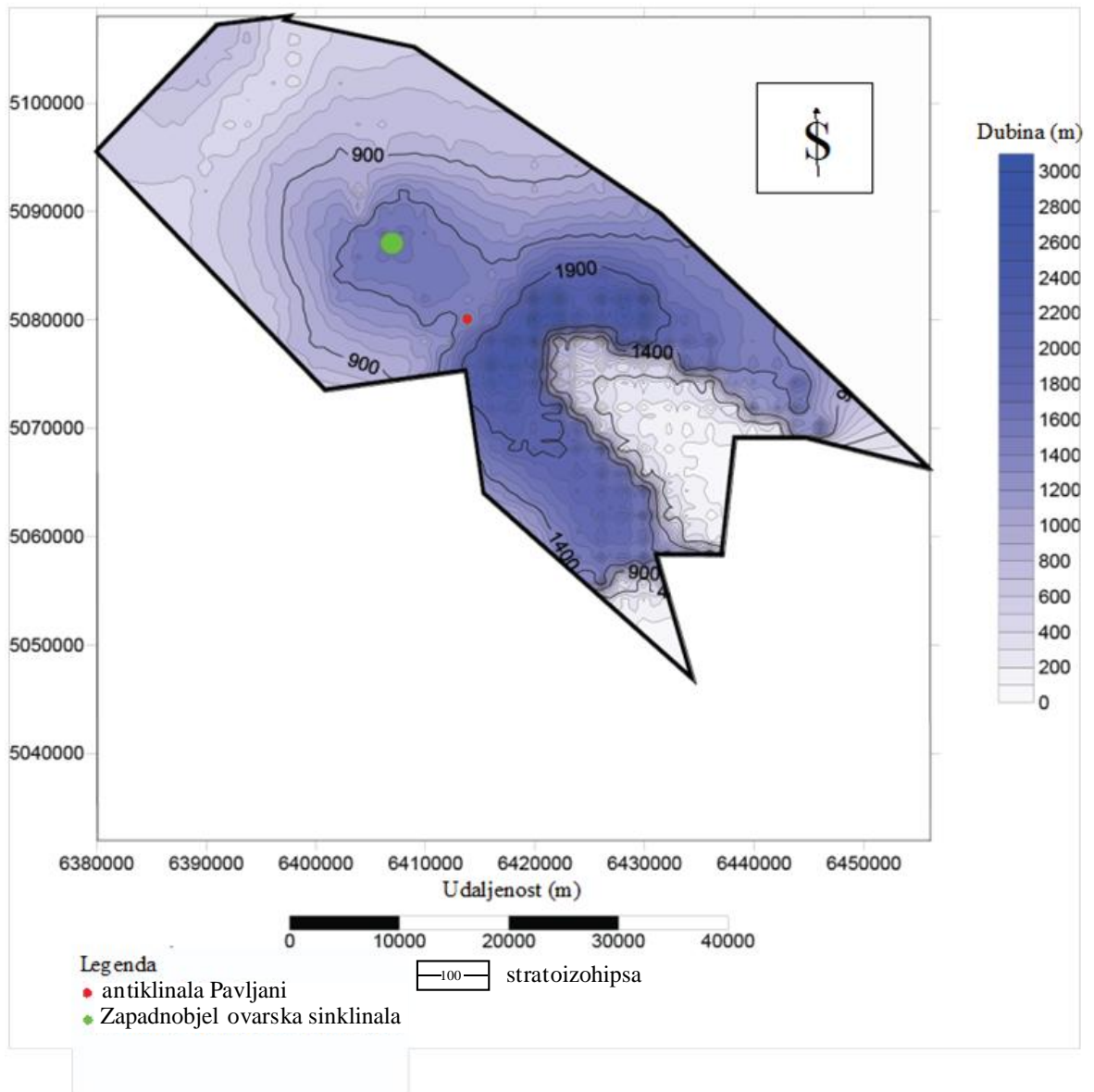
Kod ove karte, karte po *EK*-markeru „Rs7“ (slika 7.2) strukturne elemente rasjeda moguće je pretpostaviti na temelju zgušnjavanja izolinija i iz nagle promjene pravca pružanja. Može se pretpostaviti postojanje rasjeda u središnjem dijelu karte uz izoliniju vrijednosti 1800, na tom području je vidljivo zgušnjavanje izolinija, kao i nagla promjena pravca pružanja. Nešto manje zgušnjavanje može se uočiti u južnom dijelu karte između izolinija 800 i 1800. Ako se novo dobivena karta usporedi sa strukturnom kartom po *EK*-markeru „Rs7“ (Malvić, 2011) može se potvrditi postojanje rasjeda na tom području. U središtu karte karte po *EK*-markeru „Rs7“ nalazi se antiklinala koja bi trebala predstavljati

antiklinalu „Pavljani“, no ona nije pravilno prikazana zbog efekta leptirovih krila koji se nalazi u samom središtu karte između dvije naznačene sinklinale. Dvije sinklinale se nalaze u središnjem dijelu karte. Zapadnobjelovarska sinklinala je označena zelenom bojom, a Istočno-bjelovarska sinklinala je označena žutom bojom. Krosvalidacija iznosi 1161.

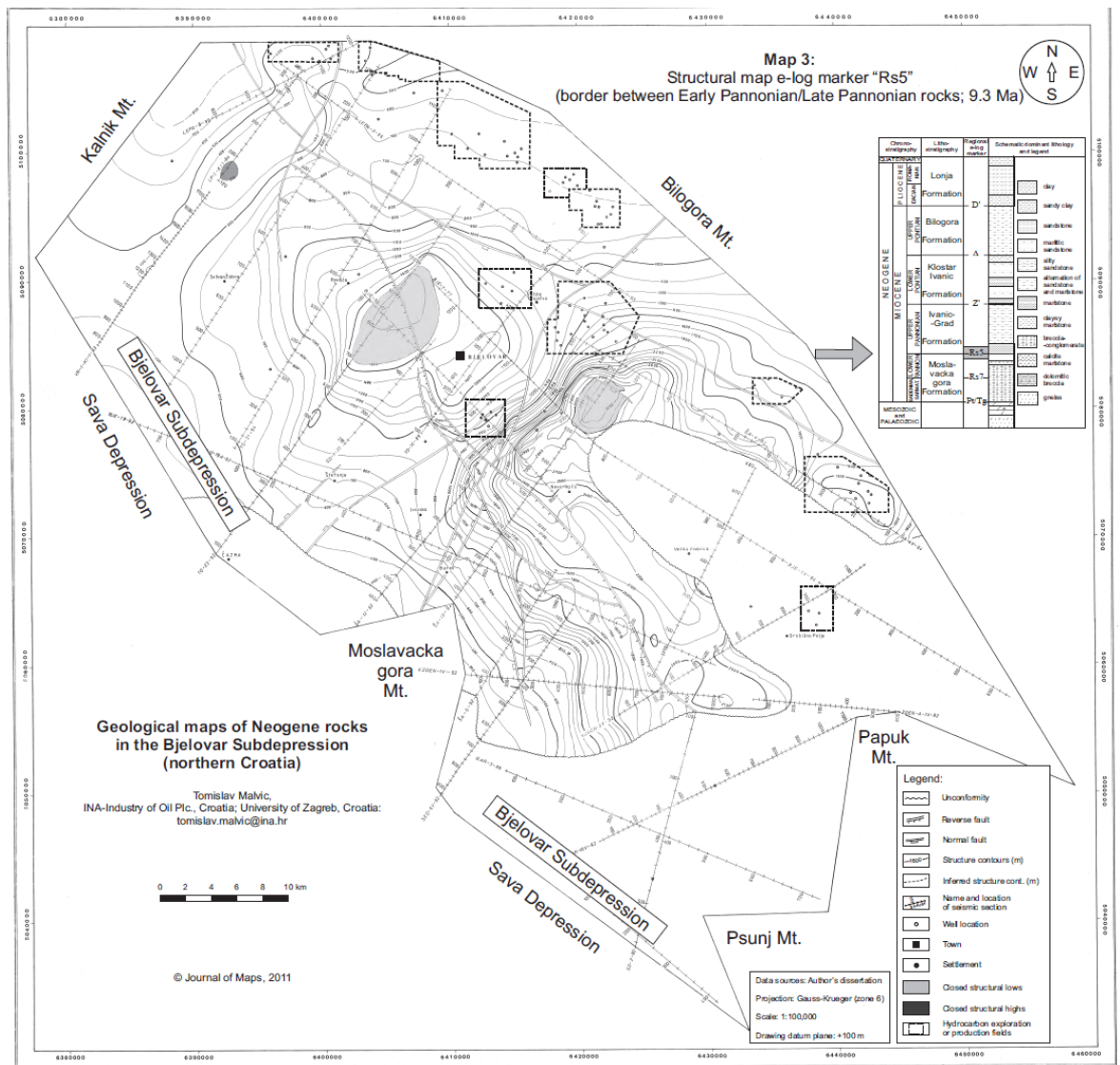


Slika 7.2. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs7“ korištenjem metode krigiranja

Isto kao i u prethodnim slučajevima, na karti po EK-markeru „Rs5“ (**slika 7.3**) način pretpostavljanja rasjeda je isti. Rasjedi se mogu pretpostaviti zgušnjavanjem i po nagloj promjeni pravca pružanja izolinija. U ovom slučaju to se može uočiti na središnjem dijelu karte oko stratoizohipse 1900. Na strukturnoj karti po EK-markeru „Rs5“ (**slika 7.4**) (**Malvić, 2011**) su uočljivi dijagonalni reverzni rasjedi koji sijeku starije poprečne normalne rasjede. Strukture koje se mogu uočiti su dvije sinklinale, Zapadno-bjelovarska sinklinala i Istočno-bjelovarska sinklinala. U istočnom dijelu subdepresije može se uočiti postojanje diskordancije, područje bijele boje koje omeđuje stratoizohipsa -1400. Na tom dijelu vrijednosti dubina iznose 0 m, što je posljedica ne taloženja ili isklinjavanja. Tijekom panona došlo je izdizanja „paleo“ Papuka i Psunja na jugoistočnom dijelu Bjelovarske subdepresije i spuštanja razine mora. Samim time nije moglo doći do taloženja pa na jugoistočnom dijelu karte *po EK-markeru „Rs5“* naslage izostaju. Iznos krosvalidacije je 1622.

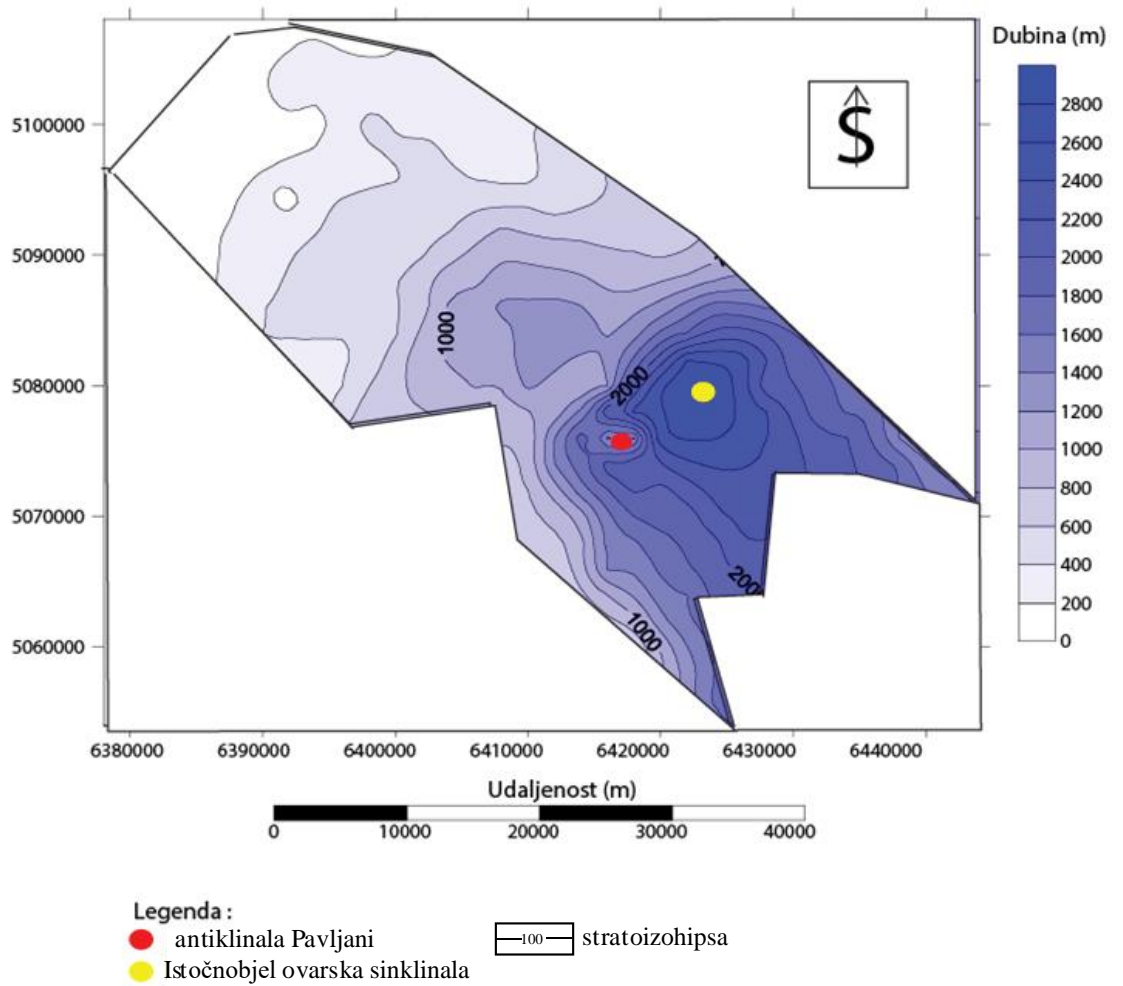


Slika 7.3. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs5“ korištenjem metode krigiranja



Slika 7.4. Strukturna karta po markeru „Rs5“, ručno interpolirana koristeći točkaste bušotinske i seizmičke podatke (Malvić, 2011)

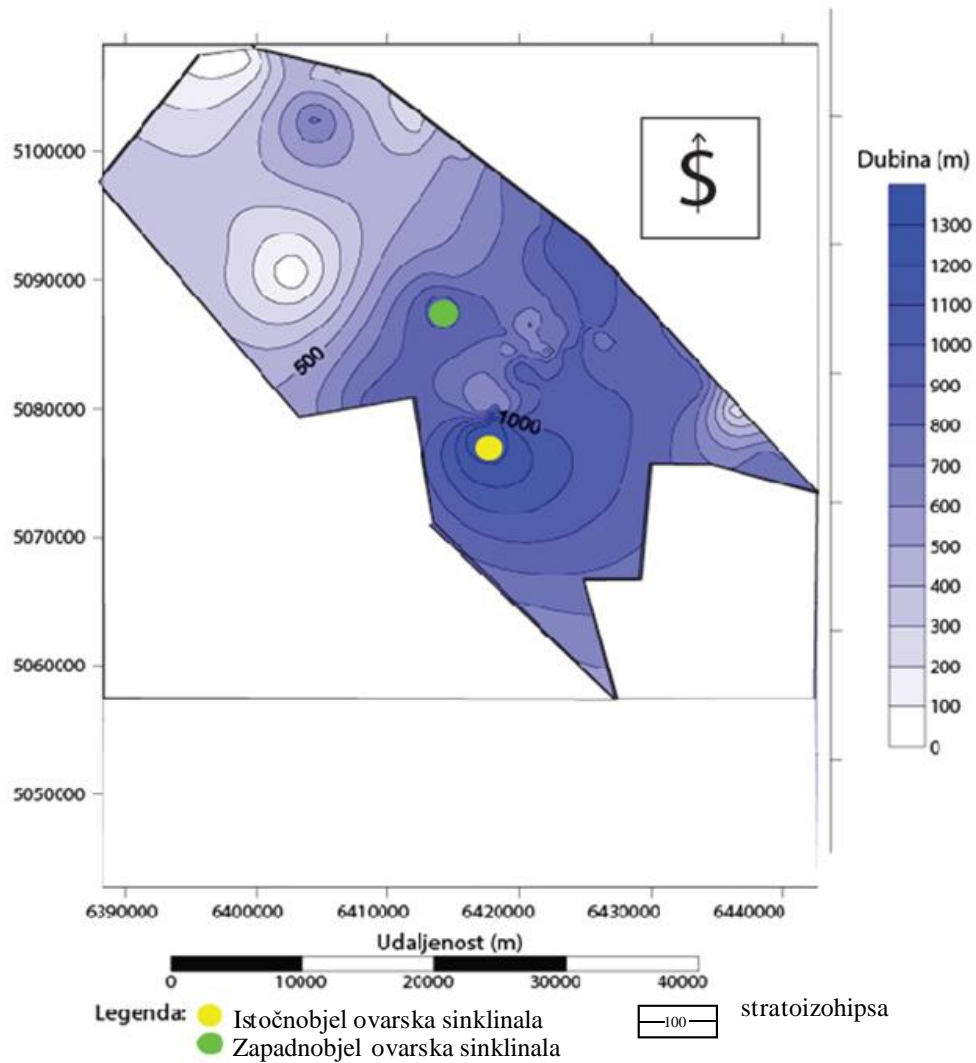
Kao i kod karata dobivenih metodom inverzne udaljenosti, rasjedi se ne vide na karti po EK-markeru „Z1“, ali se može pretpostaviti njihov položaj na već opisan način. Na karti po EK-markeru „Z1“ (Slika 7.5.) u središnjem dijelu vidi se dublja zona koja seže do 2800 m dubine. Tu se nalazi sinklinala Istočna bjelovarska. Oko Istočnobjelovarske sinklinale može se uočiti zgušnjavanje stratoizohipsi na temelju čega možemo zaključiti o postojanju rasjeda. U središtu karte nalazi se antiklinala Pavljani. Stratoizohipse se zgušnjavaju i na južnom dijelu karte što također upućuje na rasjed. Krosvalidacija iznosi 1046.



Slika 7.5. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Z“ interpolirana metode krigiranja

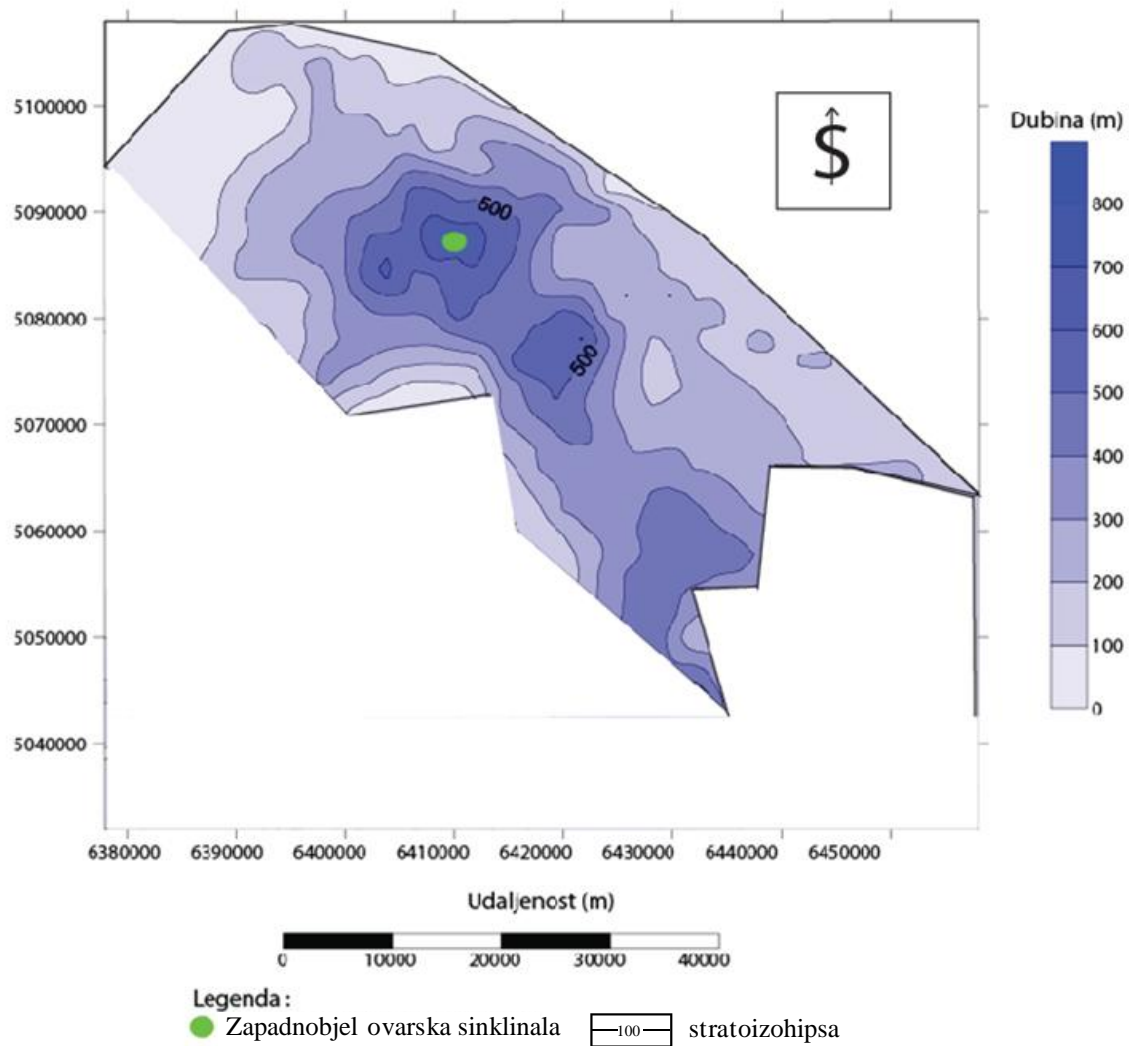
Na strukturnoj karti po EK-markeru „Δ“ (slika 7.6) od struktura se mogu uočiti dvije sinklinale. To su Zapadnobjelovarska sinklinala koja se nalazi u samom središtu karte i

označena je simbolom zelene boje, te Istočnobjelovarska sinklinala koja se nalazi jugoistočno od Zapadnobjelovarske sinklinale i označena je žutom bojom. Te dvije strukture su ujedno i najdublji dijelovi karte po EK-markeru „Δ“, dosežu dubine do 1300 m. U samom središtu karte, između dvije ranije spomenute sinklinale, postoji mogućnost opažanja antiklinale Pavljani. Ipak nju je teško naslutiti zbog pojave efekta leptirovih krila uz stratoizohipsu 1000. Takozvani efekt leptirovih krila može ukazivati na kontradikciju ulaznih podatka i prostornoga modela. Kontradikcija je rezultat „računalnog logaritma“ koji nam omogućuje da imamo dvije stratoizohipse istih vrijednosti u istoj točki. Na zapadnom dijelu karte vrijednosti dubina iznose od 0-100 m, što bi značilo da je za vrijeme pontala taložni prostor bio vrlo plitak s malo detritusa. Krosvalidacija iznosi 577.



Slika 7.6 Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Δ“ korištenjem metode krigiranja

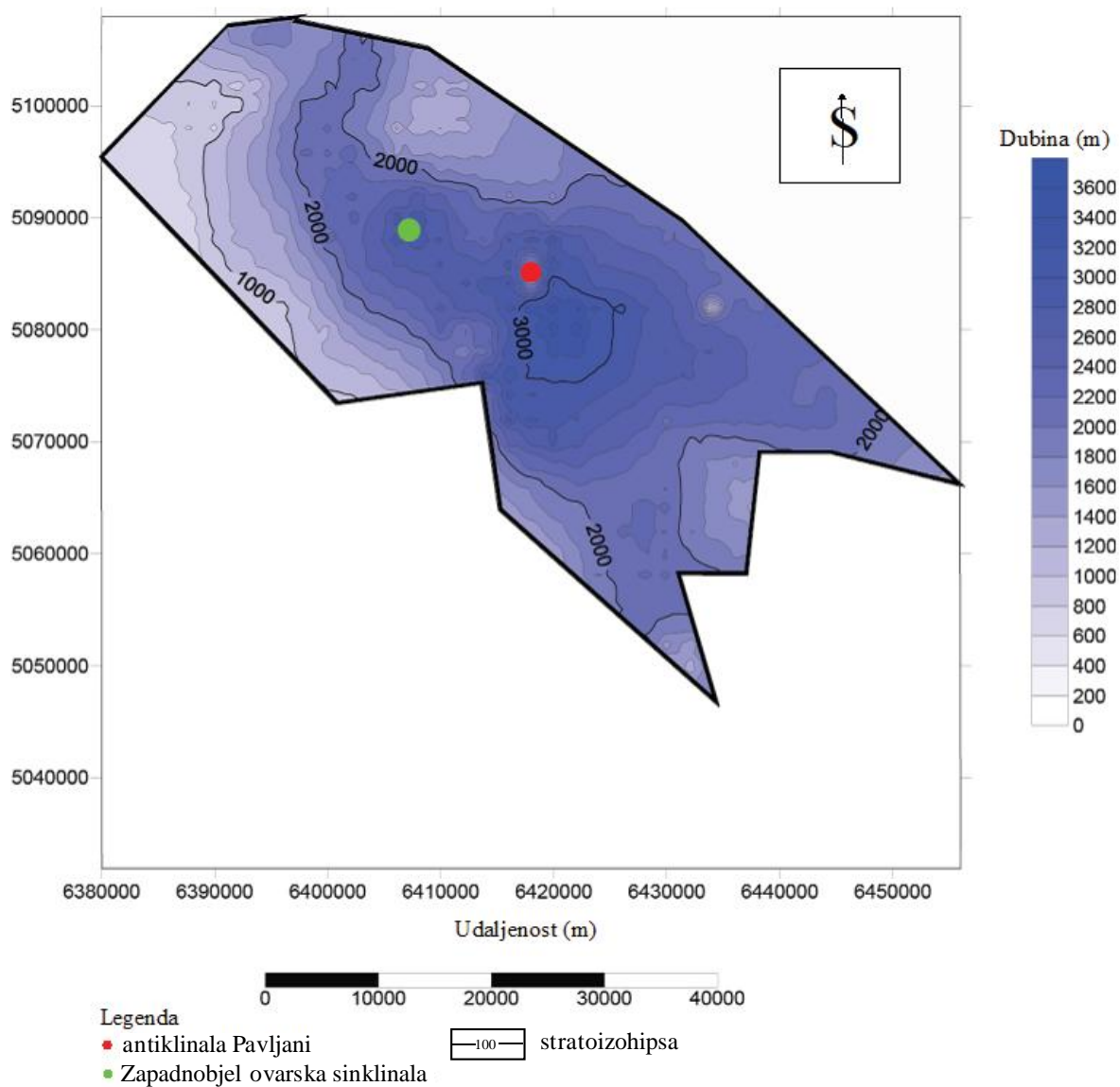
Strukturna karta po EK-markeru „D“ prikazana je na **slici 7.7**. Na karti po EK-markeru „D“ uočljive su dvije zone dubina koje sežu do 850 m dubine. Tu se nalaze dvije sinklinale, jedna južno a druga sjeverozapadno. Sinklinala na sjeverozapadnom dijelu karte odgovara Zapadnoj bjelovarskoj sinklinali. Stratoizohipse su zgusnute u blizini zona koje dosežu do 850 m što bi značilo da se tamo nalazi rasjed. Krosvalidacija iznosi 238.



Slika 7.7. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „D“ korištenjem metode krigiranja

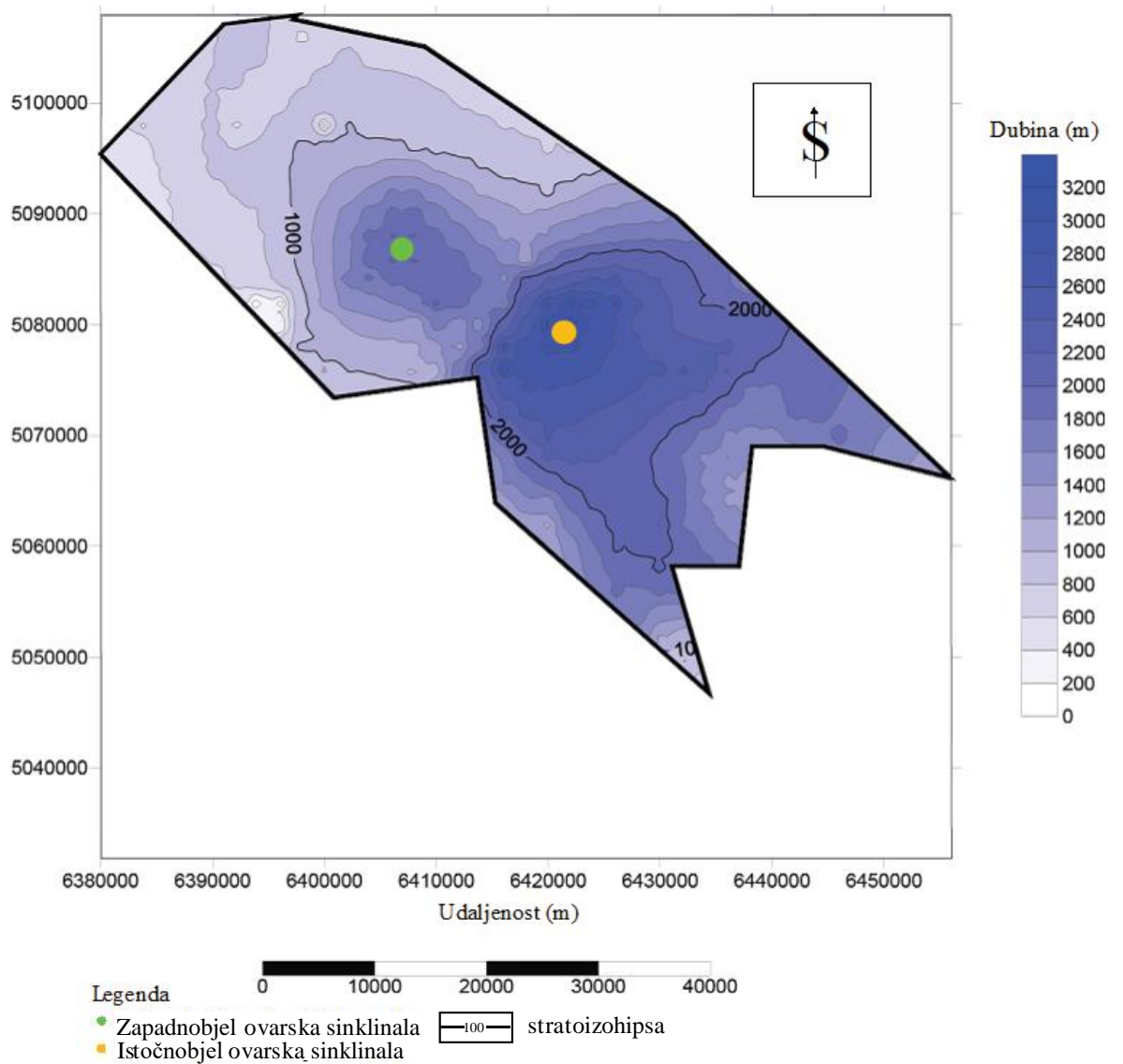
7.2. Karte dobivene metodom inverzne udaljenosti

Na karti repera „Tg/Pt“ (**slika 7.8**) u središnjem dijelu uočava se zgušnjavanje i promjena pravca izolinija koje nas upućuju na postojanje rasjeda. Na ovom području postoje dva sustava reverznih rasjeda i dva sustava normalnih rasjeda. Reverzni rasjedi pripadaju dijagonalnom sustavu rasjeda, a normalni rasjedi pripadaju poprečnom sustavu rasjeda (**Malvić, 2011**). Od ostalih struktura najbolje su vidljive dvije sinklinale i jedna antiklinala. Antiklinala „Pavljani“ nalazi se u središnjem dijelu karte. Sjeverozapadno od antiklinala „Pavljani“ nalaze se Istočno-bjelovarska i Zapadno-bjelovarska sinklinale. Najveća razlika ove i karte dobivene metodom krigiranja repera „Tg/Pt“ jest da karta repera „Tg/Pt“ dobivena inverznom udaljenošću ima slabo izražene i manje uočljivije rasjede. Krosvalidacija ove karte iznosi 1682.



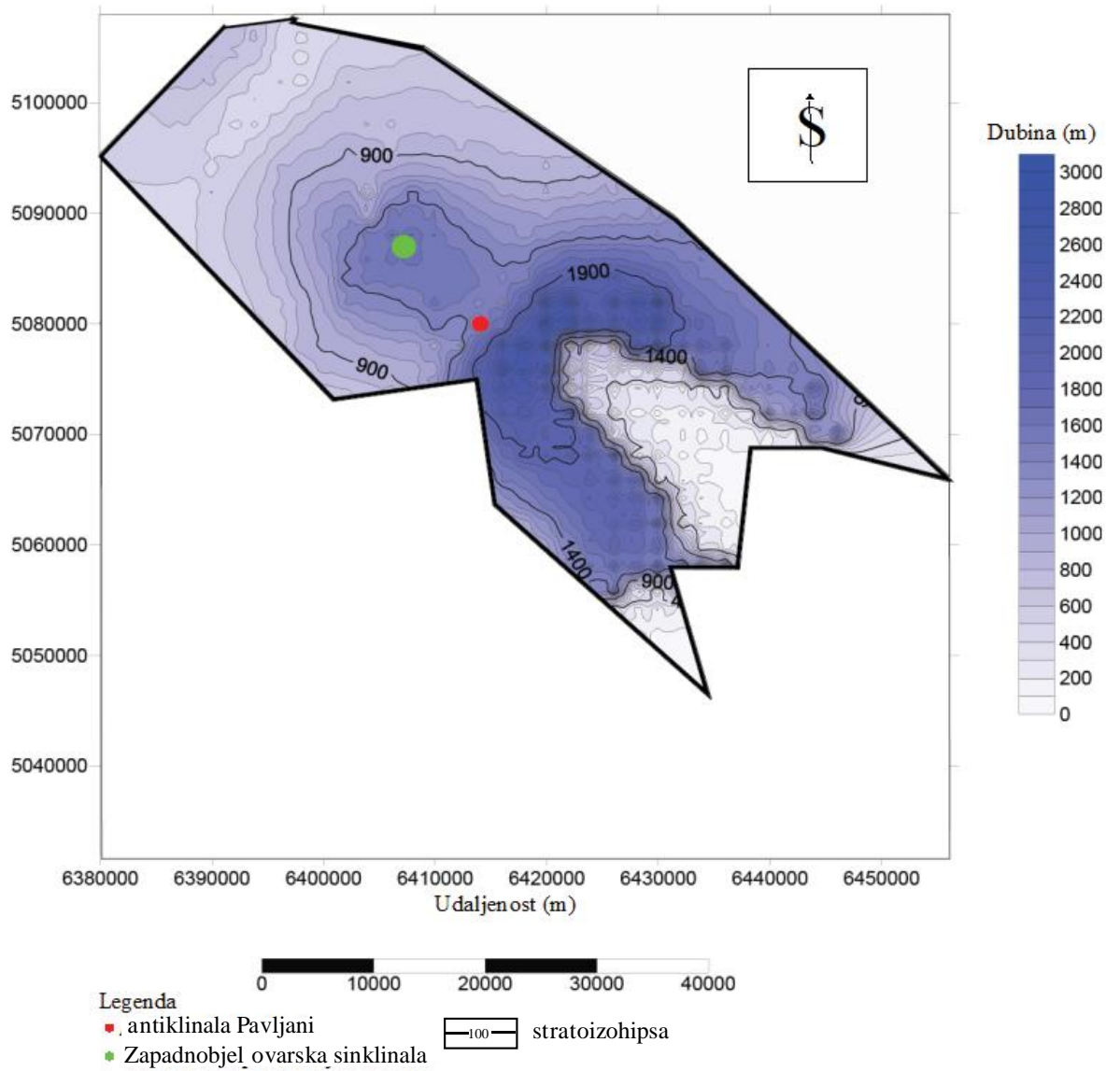
Slika 7.8. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po reperu „Tg/Pt” korištenjem metode inverzne udaljenosti

Na karti po EK – markeru „Rs7“ (slika 7.9) kao i kod prethodnih karata u središnjem dijelu nalazi se rasjed koji se uočava zbog izrazitog zgušnjavanja izolinija. Uočljive su Zapadno-bjelovarska i Istočno-bjelovarska sinklinala. Krosvalidacija je 1266.



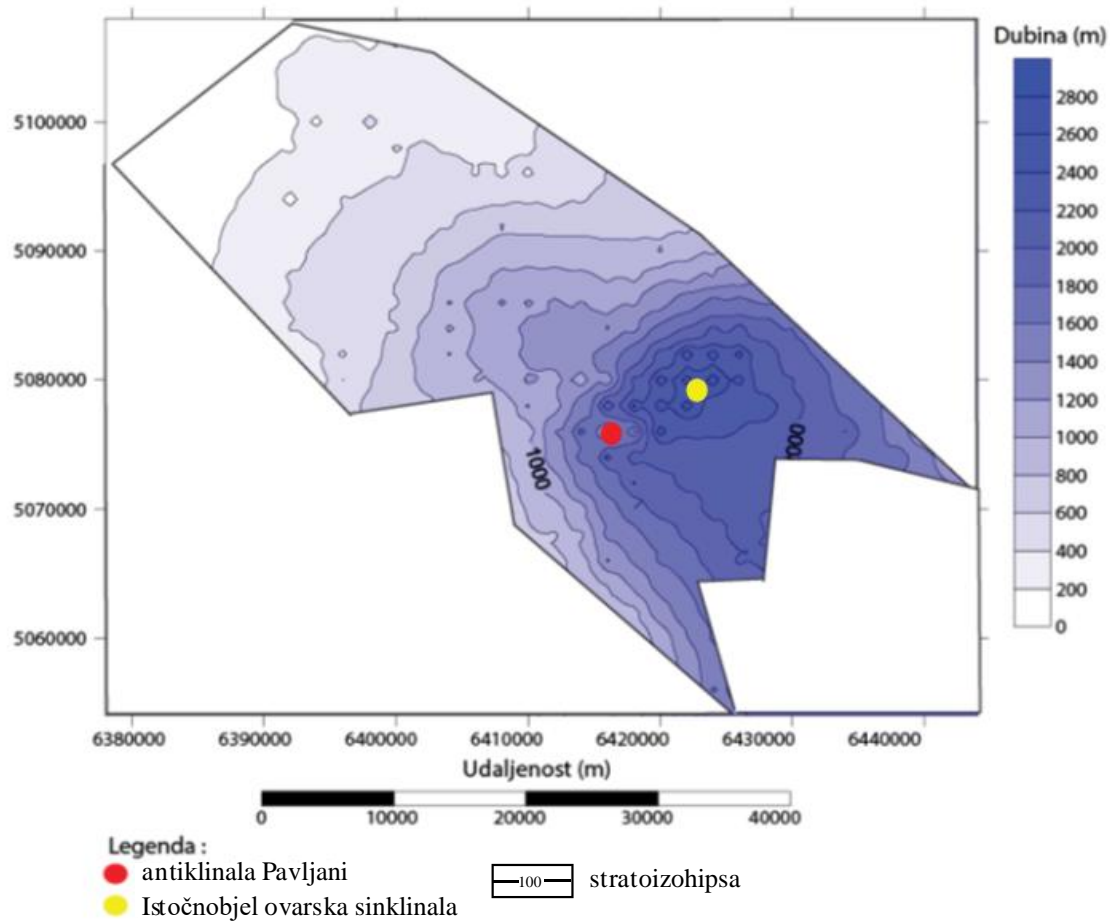
Slika 7.9. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs7” korištenjem metode inverzne udaljenosti

Na karti EK – markera „Rs5“(slika 7.10) vidljive su iste strukture i rasjedi kao i na prethodnim kartama. U središtu karte vidljiva je Zapadno-bjelovarska sinklinala. Iznos krosvalidacije za priloženu kartu je 861.



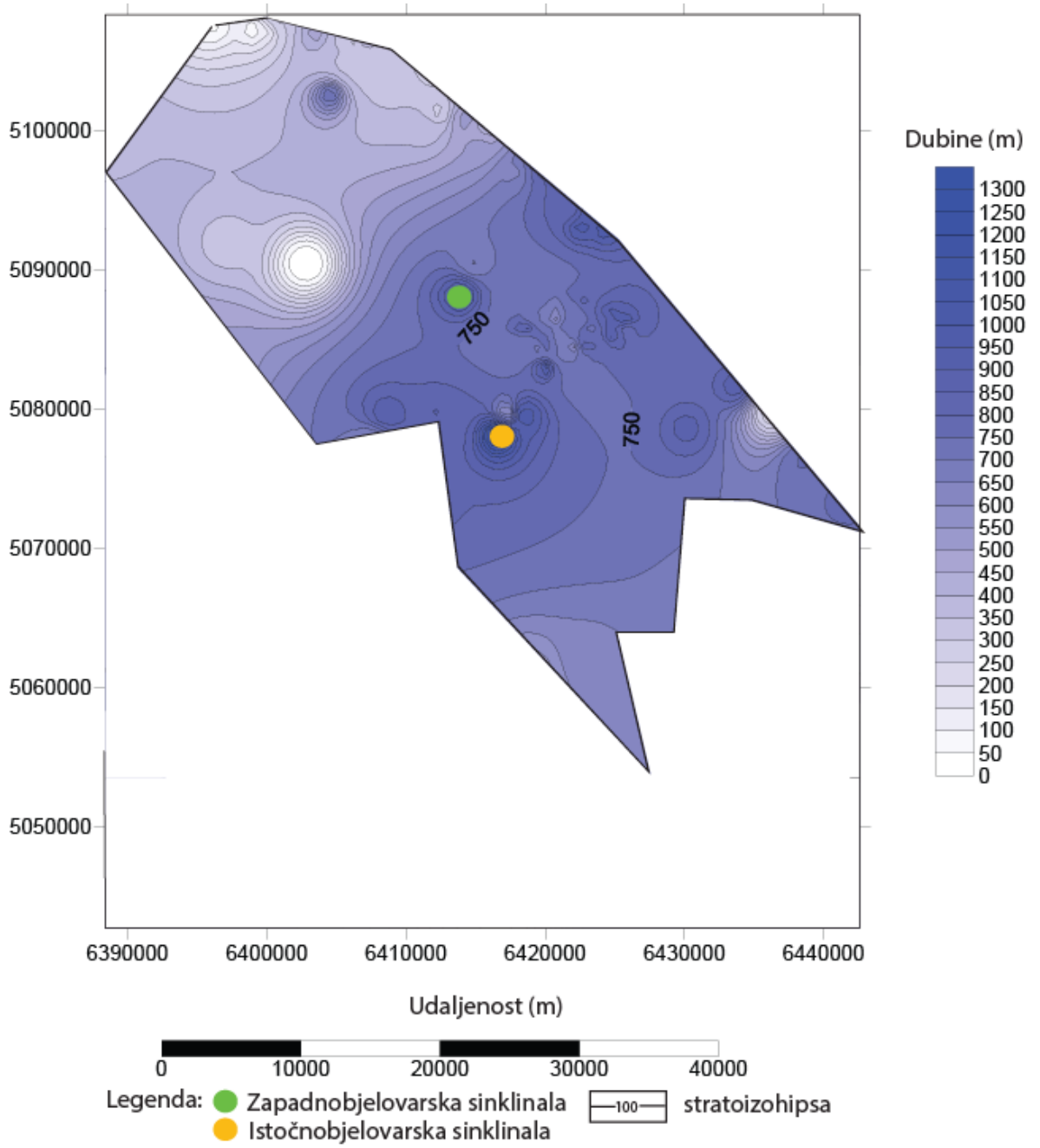
Slika 7.10. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Rs5“ korištenjem metode inverzne udaljenosti

Na strukturnoj karti po EK-markeru Z' (**slika 7.11.**) u istočnom dijelu se nalazi najveća dubina oko 2800 m. Tu je vidljiva Istočnobjelovarska sinklinala. Osim Istočnobjelovarske sinklinala, u središnjem dijelu se nalazi i antiklinala Pavljani. Položaj rasjeda može se pretpostaviti na temelju zgušnjavanja stratoizohipsi i njihove nagle promjene pravca pružanja. Takva pojava može se uočiti u središnjem dijelu u zoni najvećih dubina. Zgušnjavanje se pojavljuje i na južnom dijelu karte.



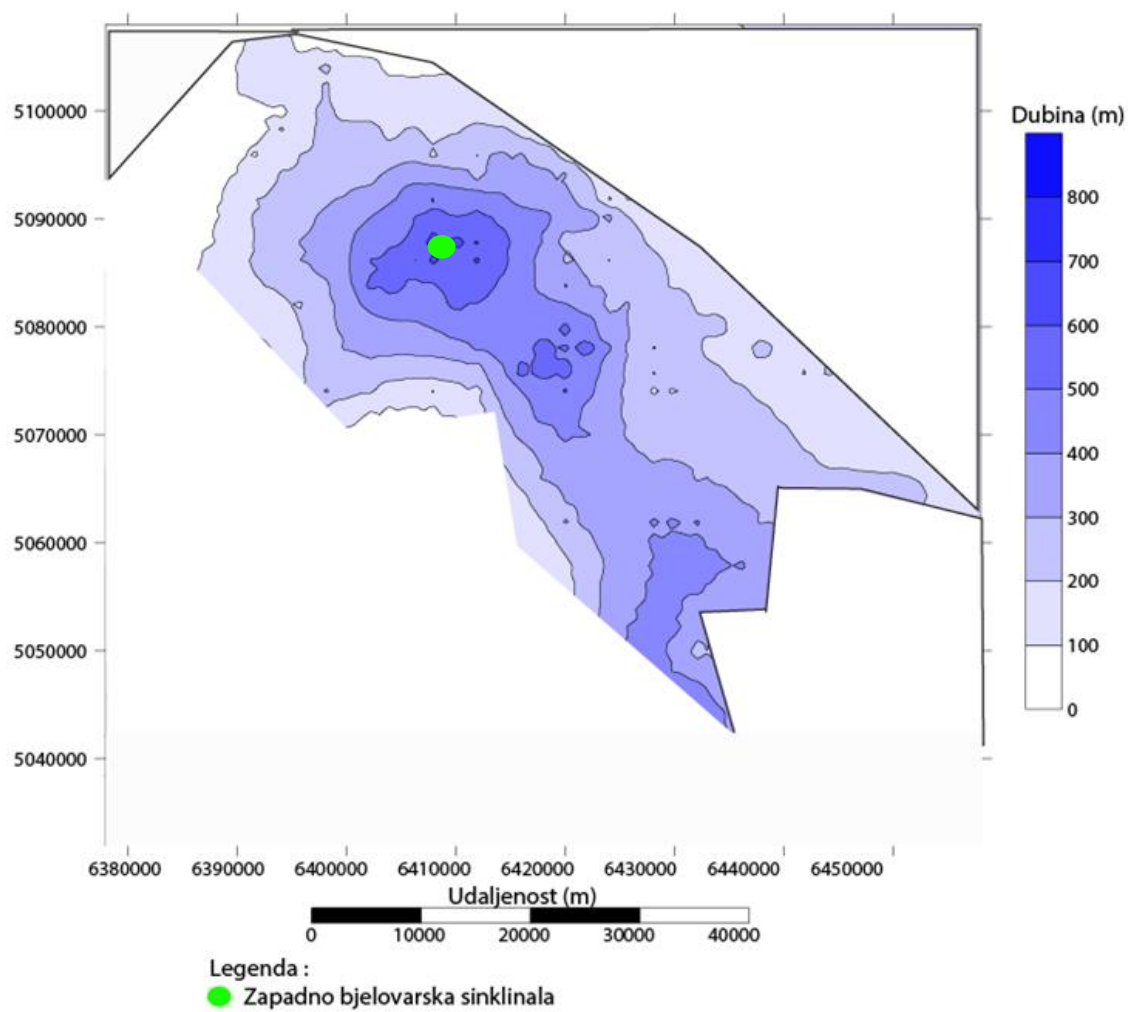
Slika 7.11. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Z“ korištenjem metode inverzne udaljenosti

Na strukturnoj karti po EK-markeru „ Δ “ (**slika 7.12**) od struktura mogu se uočiti dvije sinklinale. To su Zapadno bjelovarska sinklinala i Istočno bjelovarska sinklinala, koje ujedno predstavljaju i najdublje dijelove ove karte. Dubina Istočno bjelovarske sinklinale iznosi preko 1200 m. Na ovoj karti dolazi do pojave zgušnjavanja izolinija uz Istočnobjelovarsku sinklinalu, te se na tome dijelu može uočiti rasjed. U zapadnom dijelu karte može se uočiti postojanje strukture koja je prikazana kao antiklinala. U ovome slučaju antiklinala ne postoji, nego je njen prikaz odraz premalog eksponenta udaljenosti p . Uz Istočnobjelovarsku sinklinalu uočava se pojava koncentričnih kružnica. Krosvalidacija iznosi 638.



Slika 7.12. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „Δ“ korištenjem metode inverzne udaljenosti

Na strukturnoj karti po EK-markeru D' (**slika 7.13.**) u središnjem dijelu uočavaju se dvije zone većih dubina gdje dubine sežu do 850 m. Na tome području nalaze se dvije sinklinale. Sjeverozapadnija sinklinala odgovara Zapadno bjelovarskoj sinklinali. U središnjem dijelu kate također se može uočiti i stvaranje koncentričnih kružnica (*engl. bull-eyes* efekta). Takve koncentrične strukture mogu ukazivati na rasjede.



Slika 7.13. Strukturna karta Bjelovarske subdepresije po EK-markeru „D“ korištenjem metode inverzne udaljenosti

8. DISKUSIJA

Tijekom izrade diplomskoga rada uočene su neke nesigurnosti koje su mogle utjecati na krajnji rezultat. Prva od nesigurnosti potječe iz ulaznih podataka. Variogram, „alat“ koji smo koristili za obradu podataka, nije egzaktno zato što za rješenje daje za neku brojčanu vrijednost koja se očitava grafički. Rješenje kao grafičko ne mora biti precizno i osjetljivo je na promjene dosega te može doći do promjena na krivulji variograma. Ako se mijenjaju vrijednosti odstupanja, ponovno će se promijeniti i pouzdanost novonastalih karata. Odstupanje (C_0) najveći utjecaj ima na vrijednosti dobivene krigiranjem. Odstupanje je posljedica velike razlike u mjerenjima na maloj udaljenosti i što je ono veće to je karta nepouzdanija. Variogram ima još jednu manu. U slučaju da je svaka vrijednost unutar ulaznih podataka eksperimentalno izračunata na temelju malog broja podataka, broj parova podataka može biti manji od 10, a tada variogram nije uporabljiv.

Sljedeća nesigurnost je povezana s metodom inverzne udaljenosti. EkspONENT udaljenosti (**jednadžba 4.2.**) je pretpostavljena vrijednost. Ako vrijednost eksponenta bude premala ili prevelika tada dolazi do pojave koncentričnih kružnica („bullseye“ efekta) ili u suprotnom „zaglađivanja“ cijele karte. EkspONENT udaljenosti koji je korišten u ovome radu ima vrijednost 2. Ako je eksponent veći od 2, karta bi podsjećala na zonalno interpretiranu kartu zbog pojave puno koncentričnih kružnica. U slučaju da je eksponent manji od 2, karta bi bila jako zaglađena. Vrijednost 2 je dobivena eksperimentalno. Metoda inverzne udaljenosti pokazuje bolje rezultate za manji broj podataka u usporedbi sa krigiranjem.

Odabir bilo koje metode kojom će se obrađivati podatci nosi rizik nesigurnosti. Svaka tehnika krigiranja ima svoju matičnu jednadžbu. Odabirom krive tehnike krigiranja možemo prouzročiti krivu optimizaciju iz čega mogu proizaći loše karte. Na primjer ako karta ne prikazuje točne strukturne odnose, nema mjerilo i legendu može se nazvati lošom kartom. Za veliki broj podataka pravilnoga rasporeda kao metoda za obradu podataka se preporučuje obično krigiranje. Kao što je ranije navedeno odstupanje (C_0) utječe na karte dobivene krigiranjem. Krigiranje je metoda koja za interpolaciju koristi vrijednosti promatrane primarne varijable. Vjerojatnost da je nekoliko mjerenja iz variograma

pogrešnih postoji, s obzirom da su ulazni podatci uzeti iz već prethodno ručno interpolirane karte. Na taj se način povećava i šansa da su rezultati krigiranja pogrešni, iako sama pogreška može biti neznatna.

Što se tiče samih ulaznih podataka oni isto mogu predstavljati određene nesigurnosti. Ulazni podatci za svaku granicu i svaki od horizonata sastojali su se od velikog broja vrijednosti. Veliki broj ulaznih podataka, kao što je slučaj u ovom diplomskom radu povoljan je zbog dobivanja preciznijih krajnjih rezultata. Ulazni podatci mogu imati veliki raspon između MIN i MAX vrijednosti. Tako na primjer, ulazni podatci za reper „Tg/Pt“ imaju najveći raspon, MIN=80 m i MAX=3650. Ulazni podatci za EK-marker „D“ imaju najmanji raspon, MIN=0 m i MAX=850 m. Raspored ulaznih podataka, njihov broj, koliko ih je po jedinici površine, koliki postotak podataka dobivenih istraživanjima nedostaje, te jesu li te vrijednosti uopće točno izmjerene, sve to može utjecati na nesigurnosti u radu. Svi ulazni podatci dobiveni su iz mreže podataka. Mreže na sebi imaju čvorišta. U slučaju da vrijednosti izohipsi padaju na čvorišta lako je očitati vrijednost. U suprotnome teže je procijeniti vrijednosti izohipsi pa može doći do pogreške u očitavanju. Pojedini podatci su imali „nul“ vrijednost. Ta pojava je prisutna kod repera „Tg/Pt“ i EK-markera „Rs5“. Vrijednost 0 m se smatra zbog nedostatka naslaga za vremena mjerenja, a posljedica je ne taloženja odnosno erozije.

Zadnja nesigurnost proizlazi iz statističkih testova. F test i t test zahtijevaju najmanje dva skupa ulaznih vrijednosti. T test uspoređuje aritmetičke sredine dvaju ili više skupova. F test uspoređuje vrijednosti $F_{critical}$ i F, Pretpostavljena hipoteza prolazi ako je $F_{critical} > F$. Ako je razlika u vrijednostima F i $F_{critical}$ mala tada je vrlo teško prihvatiti ili odbiti test tijekom izvođenja u stvarnim scenarijima. Na primjer, kod provođenja F-testa „Rs7“ – „Rs5“, $F_{critical}$ je neznatno manji od F, što automatski ne zadovoljava postavljenu hipotezu. Vizualnom interpretacijom uočava se nasljednost struktura i rasjeda koji se uočavaju na reperu i EK-markerima različitih starosti.

9. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada je geostatističkim metodama izraditi preciznije karte od onih rukom izrađenih u radu (Malvić, 2011). Na taj način se mogu usporediti izvorne karte s kartama napravljenim krigiranjem i metodom inverzne udaljenosti.

Na svakoj od pojedinih karata najtamnijom plavom bojom su označeni najdublji dijelovi Bjelovarske subdepresije, svjetlije nijanse plave boje upućuju na prijelaz u pliće dijelove. Na kartama se može uočiti da je pružanje subdepresije sjeverozapad – jugoistok. U središnjim dijelovima strukturalnih karata repera „Tg/Pt“ i EK-markera „Rs5“ i „Z“ nalazi se antiklinala Pavljani, te su također uočljivi i rasjedni sustavi. Najdublji dijelovi se nalaze u središnjim dijelovima kartata, dok se plići dijelovi nalaze na rubnim dijelovima. MAX vrijednost iznosi 3600 m, što je najveća dubina na strukturalnoj karti repera „Tg/Pt“, što je naravno logično jer je ona najstarija. MIN vrijednost iznosi 0 m te je povezana erozijom, što je na primjer vidljivo na karti po EK-markeru „Rs5“.

Uspoređujući karte dobivene metodom običnog krigiranja i metodom inverzne udaljenosti vidljiva je „istovjetnost“ u strukturama. Antiklinala Pavljani, Zapadno bjelovarska sinklinala i Istočno bjelovarska sinklinala su strukture koje se uočavaju na kartama dobivenima s obje metode. Tako se primjerice antiklinala Pavljani može uočiti na strukturalnoj karti po reperu „Tg/Pt“, i strukturalnim kartama po EK-markerima „Rs5“ i „Z“. Zapadnobjelovarska sinklinala može se uočiti na strukturalnoj karti po reperu „Tg/Pt“, i na strukturalnim kartama po EK-markerima „Rs7“, „Rs5“, „Δ“ i „D“. Istočnobjelovarska sinklinala može se uočiti na strukturalnim kartama po EK-markerima „Rs7“, „Z“ i „Δ“. Ipak, karte dobivene krigiranjem prikazuju detaljnije izražene strukture, više su zaglađene i ne sadrže pojave leptirovih krila i koncentričnih krivulja. Korištenjem obje metode kartiranja na pojedinim kartama se mogu uočiti „prazna mjesta“. Ona su nastala kao posljedica emerzije ili erozije. Na tim „praznim mjestima“ vrijednostima dubina pridružene su vrijednosti 0 m. Postojao je problem kod točnog određivanja dubine na kojoj se nalazi EK-marker D'. Tako su na samom zapadu karte dubine do EK-markera D' bile određene od 10–30 m, uz neke „nul-vrijednosti“. Tako primjerice broj „nul-vrijednosti“ kod EK-markera D' iznosi 36, a kod EK-markera Z' ne pojavljuje se niti jedna „nul-vrijednost“.

Sve strukture koje su uočene tijekom pisanja ovog rada podjednako su vidljive na kartama dobivenim krigiranjem i na kartama dobivenim metodom inverzne udaljenosti. Detaljna interpretacija rasjeda nije rađena, ali se pojedini rasjedi mogu uočiti. Na novo nastalim kartama na mjestima gdje dolazi do naglog zgušnjavanja stratoizohipsi i/ili nagle promjene pravca pružanja stratoizohipsi nalaze se rasjedi. Na primjer, na jugoistočnom dijelu karte po EK-markeru 'Z' može se uočiti postojanje rasjeda, što se može potvrditi njegovim položajem na izvornoj karti (Malvić, 2011). Na kartama se mogu uočiti lokalno razvijena taložna središta i promjene dubina kartiranih EK-markera.

U slučaju manjeg broja ulaznih podataka metoda inverzne udaljenosti ima prednost pred krigiranjem, što je dokazano krosvalidacijom. Ako je broj ulaznih podataka manji od 20 tada prednost ima metoda inverzne udaljenosti. Ulazni podatci u ovom radu količinom ne zaostaju, niti jedan marker odnosno granica nije imala manje od 237 ulaznih podataka koliko je imalo EK-markeru „Δ“. Najveći broj ulaznih podataka je bio 742, kod repera „Tg/Pt“, te se metoda krigiranja ispostavila uspješnijom. Zaključno, metoda krigiranja daje bolje rezultate od metode inverzne udaljenosti. Usporedbom prvotnih karata (Malvić, 2011) i novo nastalih karata dobivenih ovim dvjema metodama, može se uočiti da karte dobivene metodom krigiranja preciznije predočuju najdublja i najplića mjesta te glavne strukture i rasjede na području Bjelovarske subdepresije. Krosvalidacijom je potvrđena tvrdnja metode krigiranja kao uspješnije metode u slučaju repera „Tg/Pt“ i EK-markera „Rs7“, „Δ“ i „D“. Kod EK-markera „Rs5“ i „Z“ manja je srednja kvadratna pogreška za metodu inverzne udaljenosti nego za krigiranje. Postotna razlika krosvalidacije za EK-marker „Rs5“ iznosi 53%, što je značajna razlika u primjeni metode kartiranja, stoga je prvi izbor metoda inverzne udaljenosti. Kod EK-markera „Z“ postotna razlika krosvalidacije iznosi gotovo 100% što bi značilo da su obje metode podjednako prihvatljive, no strukturalna karta po EK-markeru „Z“ dobivena metodom običnoga krigiranja je izgladenija i zato je u ovom slučaju metoda običnog krigiranja prvi izbor. Vrijednosti iznosa krosvalidacije za pojedine karte nalaze se u **tablici 9.1**

Tablica 9.1. Iznos krosvalidacije metode inverzne udaljenosti i krigiranja pojedinih karata

	Krigiranje	Metoda inverzne udaljenosti
Karta repera „Tg/Pt“	1625	1682
Karta EK-markera „Rs7“	1161	1266
Karta EK-markera „Rs5“	1622	861
Karta EK-markera „Z“	1046	1046
Karta EK-markera „Δ“	577	627
Karta EK-markera „D“	238	240

10. POPIS LITERATURE

Objavljeni radovi

- DADIĆ, I., BADNJAK, D., JURUM-KIPKE, J., 2007: Prometno značenje Bjelovarko-bilogorske županije. Radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad u Bjelovaru, 1, 99-109 str.
- DRNASIN A., 2017: Geološki model građe malog plinskog polja u Bjelovarskoj subdepresiji i njegov utjecaj na izračun rezervi pomoću programa Petrel™. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 46 str.
- MALVIĆ, T., 1998: Strukturni i tektonski odnosi, te značajke ugljikovodika šireg područja naftnog polja Galovac-Pavljani. Magistarski rad, RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 111 str.
- MALVIĆ, T., 2008: Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka, INA, SD Istraživanje i proizvodnja nafte i plina, Zagreb, 47-57 str.
- MALVIĆ, T., VELIĆ, J., CVETKOVIĆ, M., 2010: Variogram database updated in 2009 for petrophysical values in the Sava and Drava Depressions (SW part of the Pannonian Basin, Croatia), 14th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences, IAMG 2010; Budapest; Hungary; 29 August 2010 through 2 September 2010; Code 105722
- MALVIĆ, T., 2011: Geological maps of Neogene sediments in the Bjelovar Subdepression (northern Croatia), *Journal of Maps*, 7:1, 304-317. str.
- MALVIĆ, T., Majstorović Bušić, A., 2012: Unconventional hydrocarbon resources of the Bjelovar Subdepression (Pannonian Basin System) in Croatia – an overview, *Geologica Carpathica*, 63, 6, 481-489.
- MALVIĆ, T., CVETKOVIĆ, M., 2013: Korelacija litostratigrafskih jedinica u Dravskoj depresiji (hrvatski i mađarski dio). *Nafta*, 64, 1, 34-38.

- MALVIĆ, T., 2015: Bjelovarska subdepresija kao prostor s konvencionalnim i nekonvencionalnim ležištima ugljikovodika te geotermalnom energijom, Radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad u Bjelovaru, sv. 9, 161-186 str.
- MESIĆ KIŠ, I., 2017: Kartiranje i reinterpetacija geološke povijesti Bjelovarske subdepresije univerzalnim krigiranjem te novi opći metodološki algoritmi za kartiranje sličnih prostora, doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
- MIKULČIĆ, I., 2016: Osnove geostatistike i njena primjena, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin
- ŠAPINA, M., 2016: Kartiranje Ležišta Ugljikovodika Metodom Umjetnih Neuronskih Mreža, Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu.
- ŠIMON, J., 1968: Informativne litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleksa u profilima dubokih bušotina na području Dravske potline, Zagreb: INA- Industrija nafte d.d.
- 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 str.

Neobjavljeni radovi

- ASIĆ, L., ROGLIĆ, M., 2021: Kartiranje dubina od površine terena do EK-markera Z' do EK-markera D' na u Bjelovarskoj subdepresiji metodom inverzne udaljenosti i Krigeovom metodom. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Seminarski rad, Zagreb, 42 str.
- BORKO, K., RAK, N., TOMINAC, T., 2021: Kartiranje EK- granice Tg/Pt i EK-markera Rs7 i Rs5 u Bjelovarskoj subdepresiji. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Seminarski rad, Zagreb, 41 str.
- DRMIĆ, M., RUKAVINA, D., SLAVINIĆ, P., ZALOVIĆ, M., 2014: Kartiranje dubina od površine terena do EK-markera Z' na granici gornjeg panona i donjeg ponta te do EK-markera D' na granici gornjeg ponta i pliocena u Bjelovarskoj subdepresiji

Krigeovom metodom. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Seminarski rad, Zagreb, 40 str.

JAGAŠ, T., ORŠANIĆ B., 2018: Raspodjela debljina neogensko-kvartarnih formacija u središnjem dijelu Bjelovarske subdepresije. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Seminarski rad, Zagreb, 43 str.

PAVIČIĆ I., SARAF V., SUDAR V., ŠPELIĆ M., 2013: Kartiranje dubina do EK-granice Tg i EK markera Rs7 i Rs5 (podina neogena te granica panona) u Bjelovarskoj subdepresiji Krigeovom metodom, Seminarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 35 str.

Internatski izvori

URL 1: <https://hr.photo-555.com/1090350-excel-t.test-function> (11.5.2021.)

URL 2: <https://hr.photo-555.com/5832799-excel-f-test> (11.5.2021.)

URL 3: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Bjelovar> (10.7.2021.)



KLASA: 602-04/21-01/210
URBROJ: 251-70-14-21-2
U Zagrebu, 2.9.2021.

Tin Tominac, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/210, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 24.6.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

Primjena algoritma krigriranja u ponovnom kartiranju struktura u Bjelovarskoj subdepresiji

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. Stanko
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)