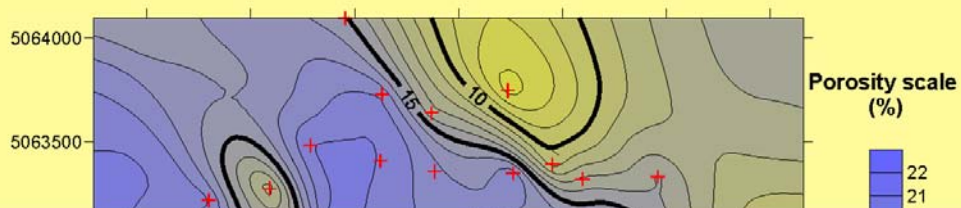
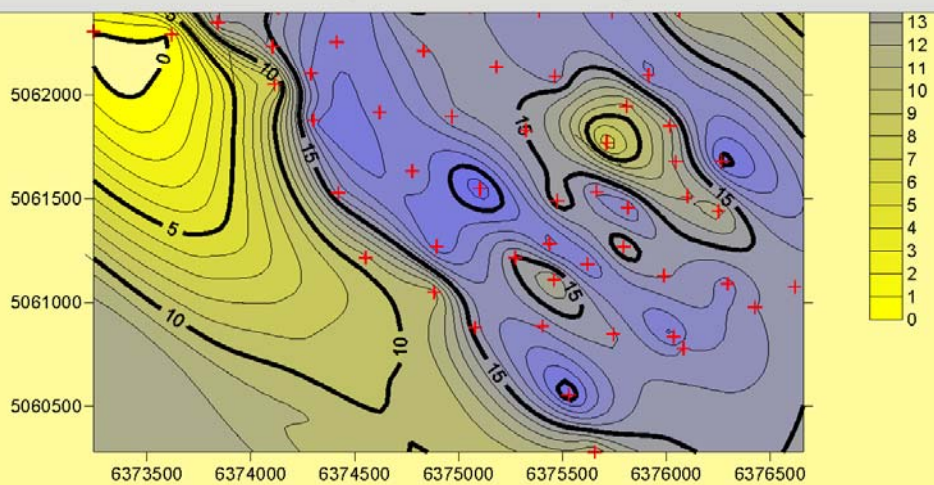


**Tomislav Malvić  
Bruno Saftić**



**DUBINSKO KARTIRANJE  
(VJEŽBE)**



Zagreb, 2008.

Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

# **DUBINSKO KARTIRANJE**

## **(v j e ž b e)**

Autori:

**Dr. sc. Tomislav Malvić, dipl. ing. geologije**  
**(predavač na vježbama)**

**Prof. dr. sc. Bruno Saftić, dipl. ing. geologije**  
**(nositelj kolegija)**

**Fakultetska skripta**

Zagreb, 2008.

*Izdano na:*  
Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu  
Sveučilišta u Zagrebu

*Za vježbe iz kolegija:*  
**„Dubinsko kartiranje“**  
na dodiplomskom studiju Geologije / Geološkog inženjerstva

(odlukom donesenoj na 5. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća  
Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta od 7. ožujka 2008. godine kao nastavnik iz vježbi kolegija Dubinsko kartiranje  
u akademskoj godini 2007./2008. imenovan je dr. sc. Tomislav Malvić, a nositelj kolegija je prof. dr. sc. Bruno Saftić)

*Naslovnica:*  
Autor: dr. sc. Tomislav Malvić  
(Karta poroznosti pješčenjačkog ležišta u Savskoj depresiji dobivena metodom kriginga)

# P R E D G O V O R

*Poštovani studenti!*

*Dubinsko kartiranje jedan je od temeljnih kolegija za sve studente koji se odluče usavršiti u geologiji ležišta nafte i plina. Naravno, time važnost toga predmeta nije ograničena isključivo na prikaz ležišta ugljikovodika u podzemlju, jer se na istovrsni način, s istim znanjima i metodama, mogu prikazati dubinski odnosi bilo koje geološke strukture u podzemlju.*

*Samo kartiranje iznimno je važno u mnogim inženjerskim disciplinama, te znanje stečeno na ovome kolegiju može biti nadopunjeno i uspoređeno sa znanjem o kartografiji primijenjenoj u geografiji, geodeziji, građevinarstvu, geometriji i drugdje. Temeljna namjena ovih skripata kao priručnika je da studente osposobi za čitanje i izradu dubinskih geoloških karata, zatim za razumijevanje i interpretaciju oblika koji su prikazani na tim kartama, vrste prikaza i izolinija koje se upotrebljavaju, odnosno parametara koje je smisljeno kartirati. Kao krunu učenja, studenti bi trebali svladati samostalnu izradu jednostavnijih karata, kako ručnim crtanjem, tako i upoznavanjem s 2-3 najpoznatije interpolacijske metode koje se danas koriste na računalima.*

*Autorima bi bilo drago da svi sudionici vježbi iz ovoga kolegija imaju na umu izreku kako "slika govori više od tisuću riječi". U geologiji dobra i ispravna karta može zamijeniti i nekoliko stranica tekstualnog opisa, a dobra vizualizacija podataka preduvjet je za pravilnu interpretaciju.*

*Želimo vam uspješno i zanimljivo učenje te stjecanje znanja!*

*Autori*

# SADRŽAJ

1. UVOD U DUBINSKO KARTIRANJE.....	6
2. REGIONALNE GEOLOŠKE JEDINICE HRVATSKOG DIJELA PANONSKOG BAZENA.....	8
2.1. STRUKTURNE DEPRESIJE UNUTAR HRVATSKOG DIJELA PANONSKOG BAZENA.....	9
2.2. KRATAK STRATIGRAFSKI PRIKAZ NASLAGA TERCIJARA I KVARTARA.....	11
2.3. LITOSTRATIGRAFSKA NOMENKLATURA.....	13
2.4. LITOSTRATIGRAFSKI STUPOVI.....	15
3. REPERNI SLOJEVI.....	17
4. STRUKTURE.....	18
4.1. RASJEDI.....	18
4.2. STRUKTURE U UŽEM SMISLU RIJEČI.....	21
5. DUBINSKE GEOLOŠKE KARTE.....	24
5.1. VRSTE LINIJA NA DUBINSKOGEOLOŠKIM KARTAMA.....	25
5.2. STRUKTURNE KARTE.....	26
5.3. PALEOSTRUKTURNE KARTE.....	27
6. UKRATKO O ČETIRI ČESTE INTERPOLACIJSKE METODE.....	29
6.1. METODA INVERZNE UDALJENOSTI.....	29
6.2. METODA NAJBLIŽEG SUSJEDSTVA.....	30
6.3. METODA LOKALNE SREDINE.....	30
6.4. METODA KRIGINGA.....	30
7. DETALJNIJE O VARIOGRAMIMA I KRIGINGU.....	31
7.1. VARIOGRAM.....	31
7.1.1. Osnovni parametri variograma.....	31
7.1.2. Variogramski modeli.....	33
7.2. KRIGING.....	34
7.2.1. Svojstva kriginga.....	34
7.2.2. Matematičke osnove kriginga.....	35
7.2.3. Matrične jednadžbe kriginga.....	36
7.3. Kros-validacija.....	37
8. ZADATCI.....	38
8.1. ZADATAK BROJ 1 – IZRADA LITOFACIJESNIH KARATA.....	39
8.2. ZADATAK BROJ 2 – IZRADA STRUKTURNIH KARATA.....	41
8.3. ZADATAK BROJ 3 – IZRADA MREŽE ULAZNIH PODATAKA OČITANJEM S PALEOSTRUKTURNE KARTE.....	43
8.4. ZADATAK BROJ 4 – INTERPOLACIJA RAČUNALOM.....	44
9. LITERATURA.....	45
9.1. OBJAVLJENI RADOVI.....	45
9.2. NEOBJAVLJENI RADOVI – POPIS DODATNIH PRIMJERA IZ PRAKSE.....	46

# 1. UVOD U DUBINSKO KARTIRANJE

Kartiranje je općenito postupak izrade različite vrste karata. Izučavanjem karata bavi se kartografija (lat. "charta" – karta, te grč. "γραφειν" ili "grafein" – crtati, pisati), znanstvena disciplina o metodama izradbe karata. Karta je umanjena, uopćena, objašnjena i po matematički izraženim uvjetima deformirani grafički prikaz na ravnini stvarnog stanja (BORČIĆ & FRANČULA, 1979). Kartografski prikaz je karakterističan po svojem načinu prikazivanja (grafički) i sredstvima prikazivanja (kartografski znaci). Zbog obimnosti i raznolikosti sadržaja kartografija obuhvaća matematičku kartografiju ili kartografske projekcije, opću kartografiju, praktičnu kartografiju, tematsku kartografiju i metakartografiju.

*Praktična kartografija* bavi se primjenom teoretskih principa u sastavljanju i oblikovanju sadržaja karata, počevši od prikupljanja izvornih materijala do umnožavanja karata (BORČIĆ & FRANČULA, 1979). Karte se izrađuju složenim postupcima, u kojima se više različitih operacija mora uskladiti u jednu cjelinu. Iako je izradba svake karte specifična, ipak ima dosta sličnosti i podudarnosti u tim procesima. Oni se donekle razlikuju ne samo prema vrsti karata nego i prema materijalu i tehničkoj opremi kojima se raspolaže. Izrada geoloških karata pripada u područje praktične kartografije. Takve karte mogu se izrađivati u različitim mjerilima (najčešće 1:100.000 te 1:25.000), ručno ili upotrebom različitih matematičkih algoritama koji se onda primjenjuju na računalu, u specijalističkim programima za kartiranje.

Stoga se i raznovrsno geološko kartiranje temelji se na jednakim principima kao kartiranje u drugim strukama. Unutar geološkog kartiranja postoje različite podskupine izrade karata za pojedine geološke discipline. Tako se mogu izrađivati osnovne geološke karte, geokemijske karte, geomagnetske karte, hidrogeološke karte, karte koncentracija mineralnih sirovina, strukturne i paleostrukturne karte, karte debljina slojeva ili ležišta ugljikovodika, karte poroznosti i druge, namjenske karte u kojima se npr. mogu objediniti geološki i geofizički podaci. Očito je broj vrsta različitih geoloških karata vrlo veliki, pa se gotovo može ustvrditi kako svaki geološki parametar može biti kartiran.

Nadalje, većina geoloških karata koje se izrađuju u geologiji ležišta ugljikovodika nazivaju se i **dubinskogeološkim kartama**. Na njima se opisuju različiti strukturni odnosi tih ležišta, njihove debljine, dubine, litološki sastav i petrofizikalni parametri koji obilježavaju ta ležišta (poroznost i propusnost). Ima i drugih vrsta karata. Kao najčešće vrste dubinskogeoloških karata mogu se izdvojiti:

- Strukturne karte,
- Paleostrukturne karte ili karte debljina slojeva (karte izohora),
- Karte pravih debljina (ležišta) - karte izopaha,
- Litofaciesne karte (npr. dvokomponentne I. k.: k. ukupne debljine ležišne serije "H", k. ukupne debljine propusnih slojeva "h<sub>e</sub>", k. broja propusnih slojeva "n" te k. odnosa debljina propusnih i nepropusnih slojeva "ss/sh").

Prilikom izrade svake dubinske karte vrlo je važan izvor podataka te njihov broj i vrsta. Dva najčešća izvora su seizmička mjerenja te bušotinski podatci kojima su utvrđene dubine, debljine i litološki sastav jedinica.

Kartiranje može biti usmjereno na regionalne naftnogeološke odnose (engl. "play") ili na lokalne (engl. "prospect"). Pri tom se pod regionalnim naftnogeološkim odnosima smatra sustav postojećih ležišta ugljikovodika poznate starosti i litološkog sastave, a koji uključuje definirane zamke, izolatorske i matične stijene. *Prospekt* je uočena zamka unutar koje se mogu očekivati ležišta, no koja još nije potvrđena bušenjem. Bez obzira koja se geološka jedinica kartira, dubinskogeološkim kartama želi se odrediti oblik strukture i veličina zamke, migracijski putovi te općenito opisati strukturni sklop i značajke litološkog sastava analiziranog područja.

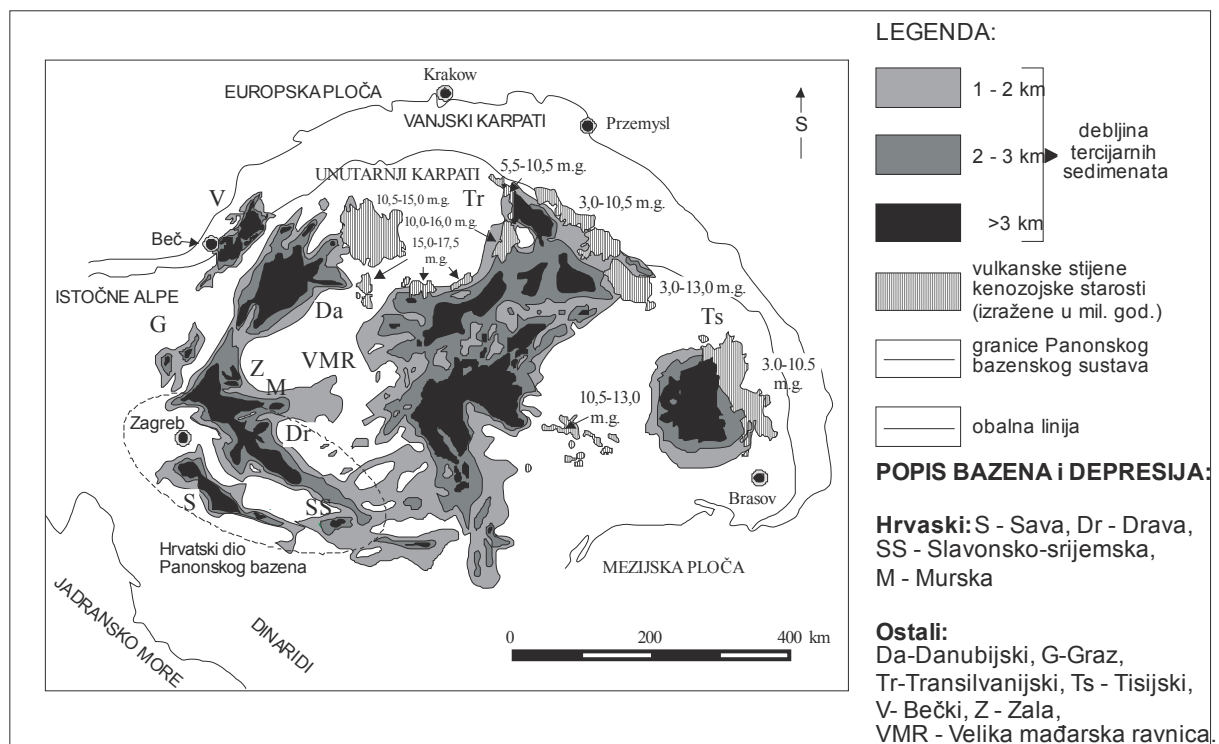
Karte se mogu razlikovati u detaljima i načinu prikaza, tj. u bojama, mjerilu, rasponu kartirane vrijednosti, upotrebljenoj ekvidistanci te odabranoj širini zone ekstrapolacije. No, znatno je važnija pouzdanost dobivenih karata. Ponekad se pouzdanost može procijeniti na temelju oblika iscrtanih izolacija (ocrt), ponekad je presudno iskustvo inženjera koji je kartu izradio, dok kod karata konstruiranih pomoću određenih matematičkih metoda interpolacije postoji numerička veličina koja ukazuje na mjeru točnosti karte (ili na odnos kvaliteta karata istoga područja, a koje su načinjene različitim interpolacijskim metodama).

Pouzdanost karte najlakše je kvalitativno odrediti na temelju vrste i brojnosti ulaznih podataka. Pri tomu se mora imati na umu kako su svi ulazni podatci uvijek točkasti, te na taj način prekrivaju područje koje želimo kartirati. Smatra se kako su najpouzdaniji točkasti "ulazi" bušotinski podatci. Vrlo često se, za odabranu geološku jedinicu ili ležište, na intervalu omeđenom krovinskom i podinskom granicom te jedinice očitavaju debljina, broj propusnih slojeva, srednja poroznost ili neka druga veličina, a zatim se ta vrijednost nanosi na podlogu buduće karte. Kod najvećeg broja takvih podataka (dubine, debljine pa i poroznosti) vrlo pouzdan izvor predstavljaju i seizmička mjerenja. Ta mjerenja izvode se na seizmičkim profilima, a na takvom (linijskom) profilu nije teško očitati niz točaka s nabrojanim podacima. Na taj način, broj ulaznih vrijednosti znatno je povećan, no pouzdanost istih je manja nego kod bušotinskih mjerenja. Glede strukturnih informacija (dubina, debljina) pouzdanost je i dalje zadovoljavajuća, no kod izračuna poroznosti pouzdanost je znatno manja nego li za poroznost izračunatu iz bušotinskih podataka (tj. karotažnih krivulja ili jezgara). Ostali izvori podataka, poput gravimetrije, magnetometrije te površinskih struktura čiji se ocrtni prenos u dubinu, manje su pouzdani te se mogu upotrijebiti isključivo za izradu regionalnih strukturnih karata, na kojima su opisane strukture (deka)kilometarskih dimenzija.

Kako bi se razumjelo područje i sredina u kojem se izrađuju dubinskogeološke karte treba upoznati regionalne tektonske i stratigrafske osnove toga prostora. Skripta koja je pred vama koncipirana je na primjerima i geoloških zakonitostima koje vrijede u prostoru hrvatskog dijela Panonskog bazena. Taj prostor već je znatno naftnogeološki istražen, stratigrafski objašnjen i stijene su podijeljene u niz neformalnih litostratigrafskih jedinica, te je već izrađeno mnoštvo različitih dubinskogeoloških karata.

## 2. REGIONALNE GEOLOŠKE JEDINICE HRVATSKOG DIJELA PANONSKOG BAZENA

Hrvatski dio Panonskoga bazena smješten je na jugozapadu tektonske jedinice najvećega reda nazvane Panonski bazenski sustav. Taj prostor smješten je između stare Europske ploče na sjeveru, Alpi na zapadu, Jadranske ploče na jugu te Mezijske ploče na istoku (**slika 2.1**).



**Slika 2.1:** Regionalne tektonske jedinice unutar Panonskog bazenskog sustava (modificirano prema: ROYDEN, 1988)

Panonski bazenski sustav pripada skupini pozadinskih bazena (engl. “*back-arc basins*”). Njegovo stvaranje započelo je u otnangu subdukcijom i konvergencijom *Apulijske ploče* pod *Dinaride*. Tada je započelo i stvaranje njegove južne granice (*perijadransko-vargarskog lineamenta*) i sjeverne granice (*Vanjski Karpati*). U prostoru između njih otvorene su brojne ekstenzijske strukturne depresije uz desne i lijeve transkurentne rasjedne sustave (engl. “*dextral and sinistral strike-slips*”), a posljedica je nastanak bazena, potonina i uleknina (**slika 2.1**). Danas prostor PBS-a najvećim dijelom prekriva južni rub Europske ploče, a manjim dijelom dio Unutrašnjih Dinarida.

Tektonska aktivnost toga prostora (ROYDEN, 1988), odnosno prva ekstenzija započela je u otnangu (18,3-17,2 m.g.; RÖGL, 1996, 1998), a bila je praćena početkom marinske transgresije. No ta prva transgresija nije prekrila cijeli prostor, a posebno ne u isto vrijeme. Tako su donjomiocenski sedimenti na području cijeloga PBS-a tek mjestimično istaloženi, a prvi miocenski sedimenti na različitim područjima su različite starosti. Ekstenzija je osnažila u karpatu (17,2-16,4 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) kada su se na području



između Apusena, Mezijske ploče, Karpata i Podolojskog masiva te na rubu Alpi i Češkog masiva taložili uglavnom jezersko-riječni sedimenti (STEININGER et al., 1978). Na sjeveroistoku Mađarske na rubu tadašnjeg Paratetisa istaloženi su evaporiti, a morski prostor normalnog saliniteta obuhvaćao je zapadni dio središnjeg Paratetisa (dijelovi Poljske, Mađarske, Slovenije, Hrvatske). Veza sa susjednim velikim morskim prostorima je postojala, s Mediteranom sigurna, a Indopacifikom vjerojatna. U sjevernoj Hrvatskoj marinska sedimentacija je egzistirala u najvećem dijelu prostora, u sjeverozapadnom dijelu, oko Medvednice, u dijelovima Savske depresije i Slavonije (VRBANAC, 1996). Ekstenzija se nastavila u badenu (16,4-13,0 m.g.; RÖGL, 1996, 1998) i sarmatu (13,0-11,5 m.g.; RÖGL, 1996, 1998). Do srednjeg badena velika transgresija prekrila je prostore od Austrije do Rumunjske (Transilvanije) te okolicu Karpata (STEININGER et al., 1978), a Karpati i Apuseni su bili veliki otoci. U to vrijeme sva tri velika prostora, Mediteran, Središnji Paratetis (Panonski bazen) i Indopacifik, bila su povezana što je dokazano postojanjem brojnih zajedničkih fosilnih vrsta.

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

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

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

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

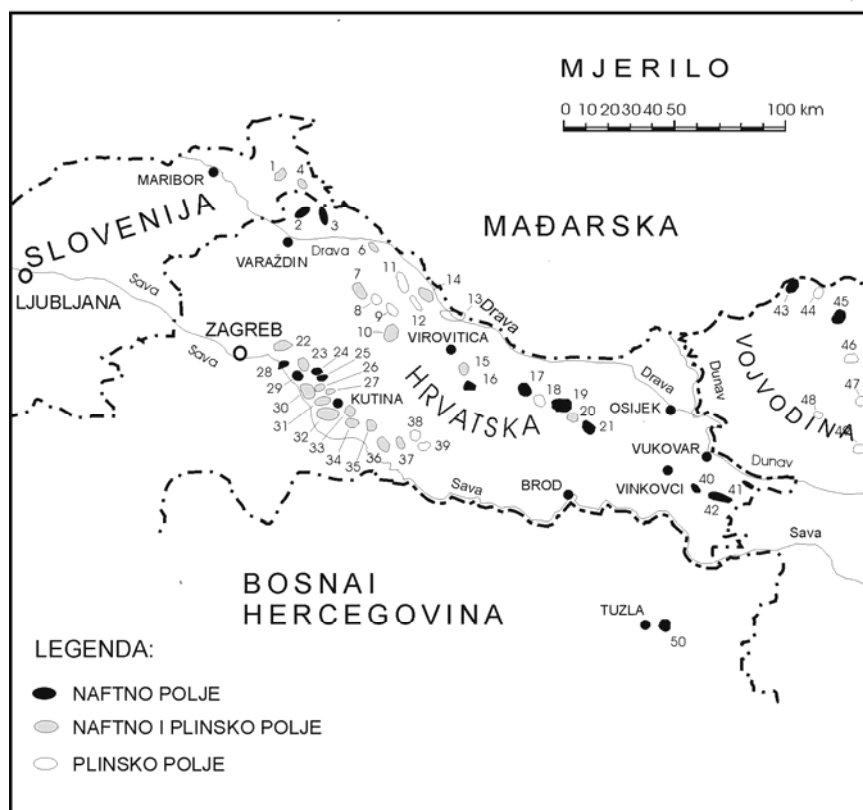
## **2.1. STRUKTURNE DEPRESIJE UNUTAR HRVATSKOG DIJELA PANONSKOG BAZENA**

Hrvatski dio Panonskog bazena, zahvaljujući svojem rubnom položaju odlikuje se nešto manjim ukupnim debljinama neogenskih taložina. Ipak, maksimalne debljine u zapadnom dijelu Dravske depresije ponegdje prelaze 7 km. Cijeli taj prostor, smješten u Sjevernoj Hrvatskoj, obuhvaća četiri depresije i to od sjeverozapada prema jugoistoku Mursku, Dravsku, Savsku te Slavonsko-srijemsku (**slika 2.2**).



**Slika 2.2:** Depresije smještene unutar hrvatskog dijela Panonskog bazena

Unutar tih depresija smješteno je nekoliko desetaka naftnih, naftno-plinskih te plinskih polja (**slika 2.3, tablica 2.1**). Iskorištavanje nafte najprije je počelo u području Ludbrega i Selnice u Murskoj depresiji, nastavilo se u Savskoj depresiji (polje Gojlo), a do danas je proizvodnja zabilježena na 40 lokaliteta.



**Slika 2.3:** Naftna i/ili plinska polja u Hrvatskoj te graničnim područjima Slovenije i Vojvodine

NAFTNA I PLINSKA POLJA				
SLOVENIJA	1. Filovci	4. Petišovci	5. Dolina	
HRVATSKA	2. Selnica 3. Peklenica 6. Legrad 7. Jagnjedovac 8. Mosti 9. Čepelovac 10. Šandrovac 11. Molve 12. Kalinovac 13. Stari Gradac	14. Ferdinandovac 15. Pepelana 16. Cabuna 17. Crnac 18. Bokšić 19. Beničanci 20. Obod 21. Števkovica 22. Dugo Selo 23. Ivanić Kloštar	24. Šumečani 25. Bunjani 26. Hrastilnica 27. Vežišće 28. Ježevo 29. Ivanić Grad 30. Žutica 31. Okoli 32. Stružec 33. Voloder	34. Mramor Brdo 35. Gojlo 36. Lipovljani 37. Jamarica 38. Janja Lipa 39. Bujavica 40. Privlaka 41. Ilača 42. Đeletovci
VOJVODINA	43. Kelebija 44. Palić	45. Velebit 46. Ada	47. Bečej 48. Srbobran	49. Gospođinci
BOSNA I HERCEGOVINA	50. Požarnica			

**Tablica 2.1:** Popis polja na slici 2.3

## 2.2. KRATAK STRATIGRAFSKI PRIKAZ NASLAGA TERCIJARA I KVARTARA

**STIJENE U PODLOZI TERCIJARNOG SUSTAVA (Mz i Pz):** sve stijene starije od tercijara predstavljaju temeljno gorje u širem smislu. Temeljno gorje u užem smislu (Tg) čine magmatske i metamorfne stijene, najčešće paleozojske starosti, dok se formacije mezozojskih sedimenata u bušotinama zajednički označavaju kao "Podloga tercijara" (Pt, P.T. ili PTc). Ako su te stijene bile izložene trošenju na površini kroz duže geološko razdoblje i/ili kataklazirane mogla su razviti značajna sekundarna poroznost. Zato se i u njima mogu nalaziti ležišta ugljikovodika. Na krivulji otpora često se prilikom ulaska u te stijene opaža naglo

povišenje izmjerenog otpora. Suprotno, na krivulji SP vrijednosti često padnu ispod osnovne linije nepropusnog, tj. pomaknu se na "pozitivnu" stranu.

**DONJI I SREDNJI MIOCEN** ( $M_{1,2}$ ): u čitavom Panonskom bazenu predstavlja izrazito transgresivan član. Ti uglavnom krupnoklastični sedimenti naliježu na mezozojske ili paleozojske sedimentne, magmatske i metamorfne stijene u podlozi tercijarnog sustava. U pravilu je litološki sastav sljedeći: u starijem dijelu breče, konglomerati, brečokonglomerati, a u mlađem dijelu lapori i laporoviti vapnenci. Najčešće je starost tih transgresivnih sedimenata badenska, dok su starije stijene identificirane na manjem području.

**TRIPOLI-NASLAGE** ( $M_3^1$  - donji sarmat): tankolističavi kalcitni lapori. Česti su proslojci (<1 mm) čistog vapnenca i primarnog bitumena (primarno bitumenske stijene). Sarmatske taložine smatraju se matičnim stijenama i nekad su istraživači mislili da su one "odgovorne" za postanak većine nafte u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. No, te naslage nemaju veliku debljinu, prosječno 30-50 m, pa se postavlja pitanja koliko su količinu ugljikovodika one mogle proizvesti. Recentna istraživanja ukazuju da su najveće količine ugljikovodika generirane iz srednjomiocenskih ili iz podinskog dijela gornjomiocenskih sedimenata, dakle iz stijena u podini i krovini ove jedinice.

**CROATICA-NASLAGE** ( ${}_1M_3^2$  - donji panon): tvrdi, čvrsti, "bijeli" lapori. U staroj literaturi nazivaju se i prevalencijenezijske naslage.

**BANATICA-NASLAGE** ( ${}_2M_3^2$  - gornji panon): žučkasti lapori u izmjeni s pješčenjacima koji mogu biti kolektori za CH.

**ABICHI-NASLAGE** ( $PI_1^1$  - donji pont): lapori, u starijim dijelovima u izmjeni sa slojevima pješčenjaka koji mogu biti ležišne stijene za ugljikovodike.

**RHOMBOIDEA-NASLAGE** ( $PI_1^2$  - gornji pont): pijesci, laporoviti pijesci, pjeskoviti lapori, glinoviti lapori.

**PALUDINSKE NASLAGE** ( $PI_{2,3}$  - romanij, dacij): pjeskoviti i glinoviti sedimenti.

**KVARTAR** ( $Q_{1,2}$  - pleistocen, holocen): sedimenti riječnih nanosa i terasa (šljunci, gline i dr.). Sedimenti lesa ili prapora. Obrončani nanosi od gline, pijeska i šljunka. Debljina do 100 m.

Podjela tercijarnih i kvartarnih naslaga na manje jedinice (katove), njihove kronostratigrafske slovnobrojčane oznake te biostratigrafske jedinice prikazane su u **tablici 2.2**.

Q <sub>2</sub>			HOLOCEN	KVARTAR	KENOZOIK
Q <sub>1</sub>			PLEISTOCEN		
PI <sub>3</sub> <sup>2</sup>	mlađe paludinske naslage	GORNJI PLIOCEN	PLIOCEN	TERCIJAR	
PI <sub>3</sub> <sup>1</sup>	srednje paludinske naslage				
PI <sub>2</sub>	starije paludinske naslage				
PI <sub>1</sub> <sup>2</sup>	“Rhomboida-nasl.” “Abichi-naslage”	GORNJI PONT	DONJI PLIOCEN		
PI <sub>1</sub> <sup>1</sup>		DONJI PONT			
<sub>2</sub> M <sub>3</sub> <sup>2</sup>	“Banatica-naslage” “Croatica-naslage” (ili “bijeli lapori”)	PANON	GORNJI MIOCEN (prije MIO-PLIOCEN MPI <sub>1,2</sub> )	MIOCEN	
<sub>1</sub> M <sub>3</sub> <sup>2</sup>					
M <sub>3</sub> <sup>1</sup>		DONJI SARMAT			
M <sub>2</sub> <sup>2</sup>		BADEN	SREDNJI MIOCEN (II. MEDITERAN)		
M <sub>2</sub> <sup>1</sup>		OTNANG, KARPAT			
M <sub>1</sub> <sup>2</sup>		EGENBURG	DONJI MIOCEN (I. MEDITERAN)		
M <sub>1</sub> <sup>1</sup>		EGER			
OIM			OLIGO-MIOCEN		
OI			OLIGOCEN		
Mz					MEZOZOIK
Pz					PALEOZOIK

*Tablica 2.2: Kronostratigrafske slovno-brojčane oznake*

### 2.3. LITOSTRATIGRAFSKA NOMENKLATURA

Litostatigrafska razradba u hrvatskom dijelu Panonskoga bazena obuhvaća dvije različite skupine stijena. Prva, mlađa obuhvaća neogensko-kvartarne sedimente koji su opisani i litostatigrafski, a drugoj skupini pripadaju stijene u podini tercijarnog sistema. Osim po starosti te skupine su litoški vrlo različite. Neogensko-kvartarne naslage su klastične, dok stijene njihove podine izgrađuju mezozojski karbonati (PTc) ili paleozojski magmatiti i metamorfiti (Tg).

Litostatigrafska podjela obuhvaća formalne i neformalne jedinice. Formalne jedinice su one koje su prepoznate kao službeni nazivi geoloških jedinica u nekoj državi, a i međunarodno. Mogu se koristiti u znanstvenom i stručnom publiciranju bilo gdje u svijetu. Neformalne litostatigrafske jedinice su one koje su prepoznate samo na jednom manjem lokalitetu unutar jedne države, te se vode u geološkim opisima vezanim uz to područje. Na primjer, kod nas su najčešće neformalne jedinice imena proizvodnih slojeva na

ležištima nafte i plina. Ta ležišta se pod tim imenom vode samo na jednome polju, a njihovi nazivi su jasni isključivo naftnim geolozima koji su radili ili rade na tome lokalitetu. Takva imena ne mogu se koristiti izvan stručnih studija ili internih bilješki, jer nisu prepoznata unutar cijele geološke zajednice.

Formalne litostratigrafske jedinice dijele se (od najveće prema najmanjoj) na:

- Supergrupe
- Grupe
- Formacije
- Članove
- Slojeve.

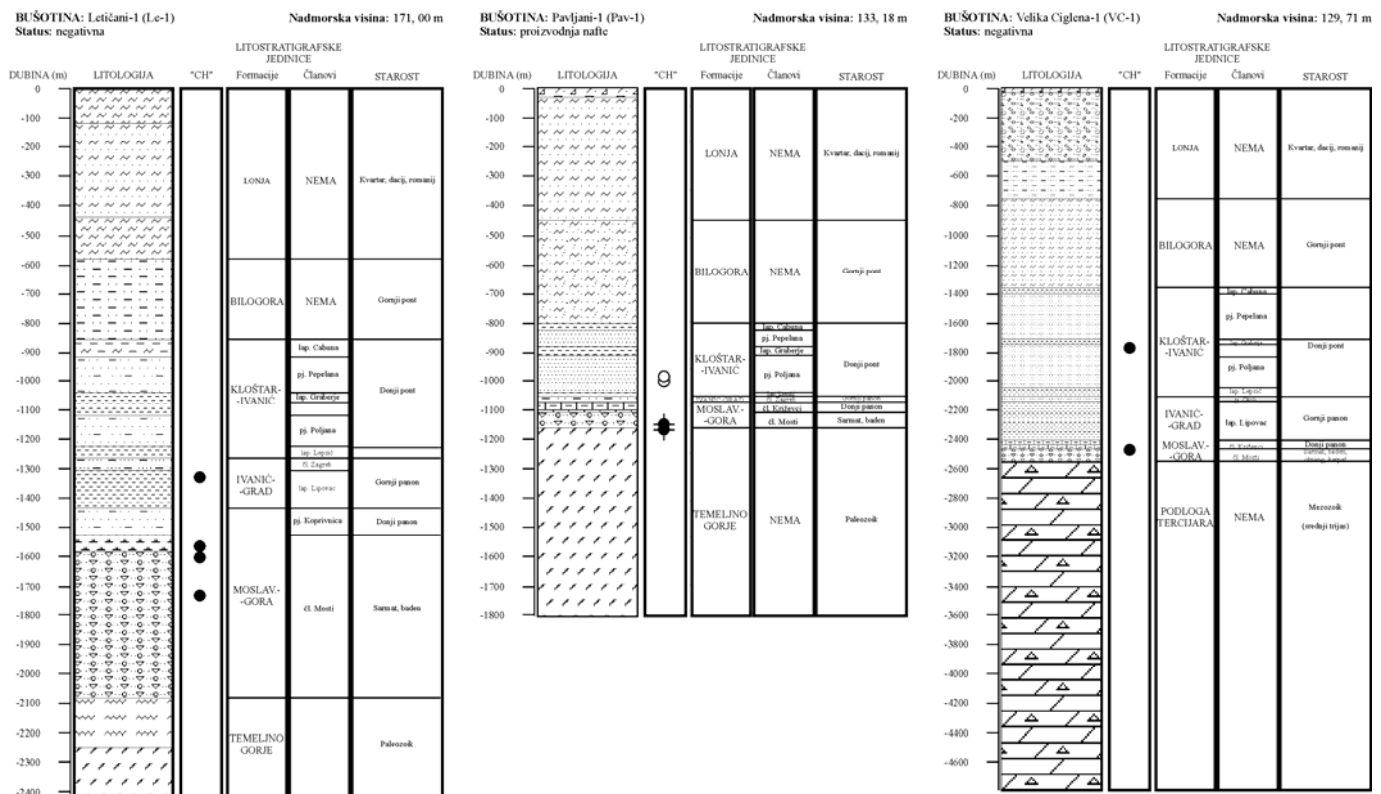
Kao primjer litostratigrafske nomenklature važeće u području Dravske depresije prikazan je shematski stup na slici 2.4.

STAROST	LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE DRAVSKE POTONINE		Regionalni EK markeri	
K E N O Z O I K	K V A R T A R	P L I O C E N		
		ROMANI		
	T E R C I J A R	FORMACIJA LONJA		D'
		FORMACIJA BILOGORA		
		FORMACIJA KLOŠTAR-IVANIĆ	cabunski član      cabunski lapor	Δ D <sub>1</sub>
	N E O G E N	FORMACIJA KLOŠTAR-IVANIĆ	brezinski lapor	D <sub>2</sub>
			pepelanski pješčenjaci	D <sub>3</sub>
			graberski čl.      graberski lap.	R <sub>n</sub>
			poljanski pješčenjaci	D <sub>4</sub>
	M I O C E N	FORMACIJA IVANIĆ-GRAD	lepsičko-graberski lapor	Z'
lepsički lapor				
D O B R I T P O I N T	FORMACIJA IVANIĆ-GRAD	zagrebački član	Rs4	
		okolski pješčenjaci		
		lipovački lapor	D <sub>5</sub>	
O O B I T P A N O N	FORMACIJA IVANIĆ-GRAD		Rs5	
D. PANON	FORMACIJA MOSLAVAČKA GORA	koprivnički pješčenjaci	Rs7	
		križevački član		
M E Z O Z O I K I P A L E O Z O I K	S T I J E N E U P O D L O Ž I T E R C I J A R N O G S I S T E M A	član Mosti		
		čeralijski član	Pt/Tg	

Slika 2.4: Litostratigrafska nomenklatura u Dravskoj depresiji

## 2.4. LITOSTRATIGRAFSKI STUPOVI

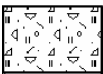
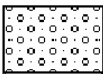


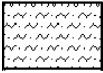

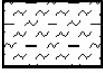
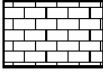
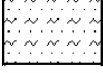
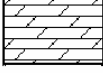

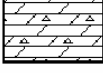
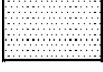
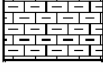
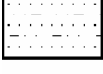
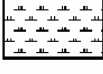
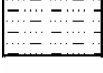

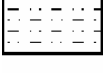

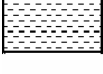
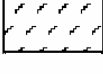
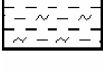
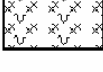
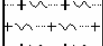
Litostatigrafski stupovi prikazuju raspon i vrstu naslaga u određenim područjima. Najčešće se izrađuju za karakteristične bušotine u pojedinim naftnogeološkim zonama ili depresijama. Tri takva stupa prikazana su na **slici 2.5** a legenda je dana na **slici 2.6**. Ovi stupovi karakteristični su za središnji dio Bjelovarske subdepresije (bušotine Letičani-1, Pavljani-1 te Velika Ciglena-1) i prikazano je (shematizirano) karakteristični litološki sastav, litostatigrafske jedinice reda formacije i člana, kronostatigrafska pripadnost te eventualno zasićenje ugljikovodicima.



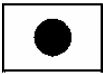
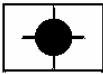

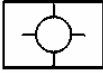


**Slika 2.5:** Litostatigrafski stupovi bušotina Le-1, Pav-1, VC-1 u središnjem dijelu Bjelovarske subdepresije

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

**LITOLOŠKA LEGENDA:**

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

**VRSTA FLUIDA:**

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

**Slika 2.6:** Litološka legenda i opis vrste fluida vezano uz sliku 2.5



### 3. REPERNI SLOJEVI

Reperni slojevi (još se nazivaju markerima ili ključnim slojevima) imaju jasno prepoznatljiva i lako pratljiva svojstva na nekome području, a koja ih odvajaju od stijena u krovini i podini. Služe za korelaciju, jer su obilježeni su malom debljinom, no velikim bočnim rasprostiranjem. Uži pojam su elektrokarotažni markeri (EK-markeri, engl. "E-log markers") kojima je glavna karakteristika jednak i lako prepoznatljiv ocrta na karotažnim dijagramima (oblik krivulje), a posebno na krivuljama otpora. Korelacijski se horizonti u pravilu postavljaju unutar sitnozrnatih sedimenata, pa su tako i kod nas su na dubinskim intervalima laporovitih članova unutar neogenskih taložina. Kod korelacije je preporučljivo praćenje dva reperna sloja, jednog u krovini, a drugog u podini korelirane jedinice. U hrvatskom dijelu Panonskog bazena najstariji uvjetni reporni horizont predstavlja diskordancije između tercijarnih (neogensko-kvartarnih) sedimenata i starijih stijena u njihovoj podlozi. Ako su u podlozi tercijarnog sustava magmatske i metamorfne stijene paleozoika taj uvjetni reporni horizont označava se "Tg", a ako su u podlozi sedimenti paleozoika i mezozoika taj horizont označava se Pt ili PTc. Upotrebljava se naziv uvjetni reporni horizont jer se ne radi o pravom sloju već o kontaktu dviju litološki bitno različitih stijenskih masa, sa vrlo različitim elektrofizikalnim svojstvima.

Ostali važniji reporni slojevi izdvojeni kod nas dijele pojedine formacije u našim depresijama. Tako su u **Savskoj depresiji** izdvojeni sljedeći reporni slojevi najvećeg ranga:

- $Rs_7$  : koji dijeli formacije Prečec i Prkos, tj. naslage sarmata i panona.
- $Rs_5$  : dijeli formacije Prkos i Ivanić-grad (donji i gornji panon). Interval  $Rs_5$ - $Rs_7$  obuhvaća "Croatica-naslage" ("bijeli lapori").
- $Z'$  : dijeli formacije Ivanić-grad i Kloštar-Ivanić (gornji panon i donji pont). Interval  $Rs_5$  -  $Z'$  obuhvaća "Banatica-naslage".
- $R_\phi$  : dijeli formacije Kloštar-Ivanić i Široko Polje (donji i gornji pont). Interval  $Z'$ - $R_\phi$  obuhvaća "Abichi-naslage".
- $\alpha'$  : dijeli formacije Široko Polje i Lonja (gornji pont i dacij, romanij, kvartar). Interval  $R_\phi$ - $\alpha'$  obuhvaća "Rhomboida-naslage".
- Interval  $\alpha'$ -rec. (površina terena) obuhvaća paludinske naslage.

U **Dravskoj depresiji** slična nomenklatura glasi (starosti i biostratigrafske jedinice su iste):

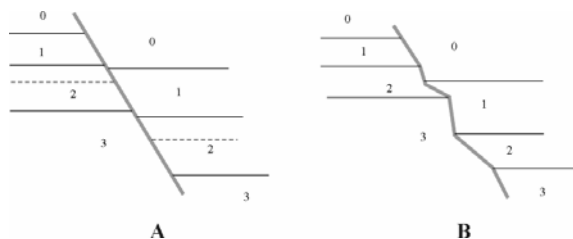
- $Rs_7$  : dijeli članove Mosti i Križevci unutar formacije Moslavačka gora.
- $Rs_5$  : dijeli formacije Moslavačka gora i Ivanić-grad.
- $Z'$  : dijeli formacije Ivanić-grad i Kloštar-Ivanić.
- $\Delta$  : približno dijeli formacije Kloštar-Ivanić i Bilogora.
- $\alpha'$  : dijeli formacije Bilogora i Lonja.

## 4. STRUKTURE

Strukture su u naftnoj geologiji svi oblici i pomaci u podzemlju. Mogu se podijeliti na rasjede i strukture u užem smislu riječi poput antiklinale, sinklinale, strukturnog nosa, strukturnog sedla, homokline ili monokline.

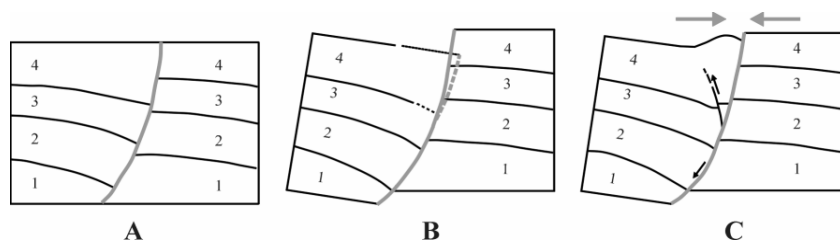
### 4.1. RASJEDI

**Normalni rasjedi** mogu sadržavati i horizontalni pomak. Paraklaze većih rasjeda su često zakrivljene, odnosno radi se o listričkim rasjedima. Neki od tih rasjeda presijecaju i stijene predneogenske podloge. Zakrivljenost paraklaza je posljedica različite kompakcije sedimenata na suprotnim stranama rasjeda (**slika 4.1**).



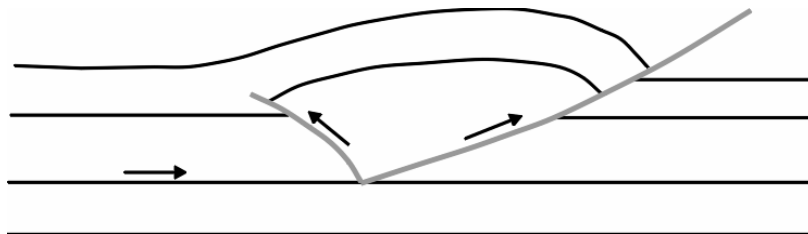
**Slika 4.1:** Zakrivljenost paraklaze kao posljedica kompakcije sedimenata

Kod rasjeda s horizontalnim pomakom došlo je i do rotacije krovinskog u odnosu na podinsko krilo, što je rezultiralo laganom deformacijom na nekim dijelovima trase rasjeda, pa čak i djelomičnog navlačenja najmlađih sedimenata. Takav mehanizam je shematski prikazan na **slici 4.2**.



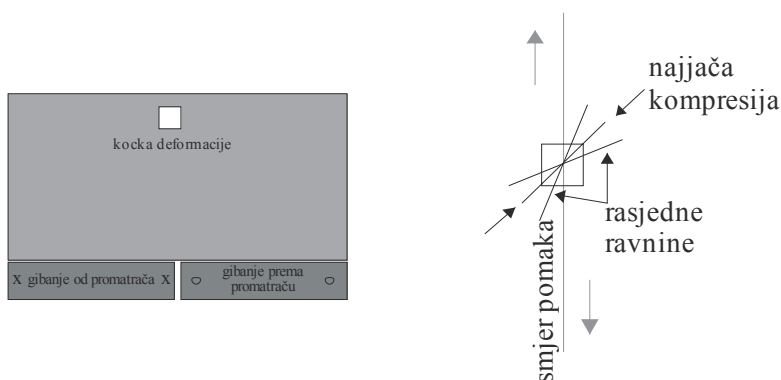
**Slika 4.2:** Rotacija krovinskog krila u odnosu na podinsko

**Reverzni rasjedi** pojavljuju se na mjestima najveće kompresije, a ponekad dolaze u parovima suprotno nagnutih rasjednih ploha. Takvi rasjedi često imaju i zajedničku konvergentnu točku, što je indikator promjene smjera stresa (**slika 4.3**).

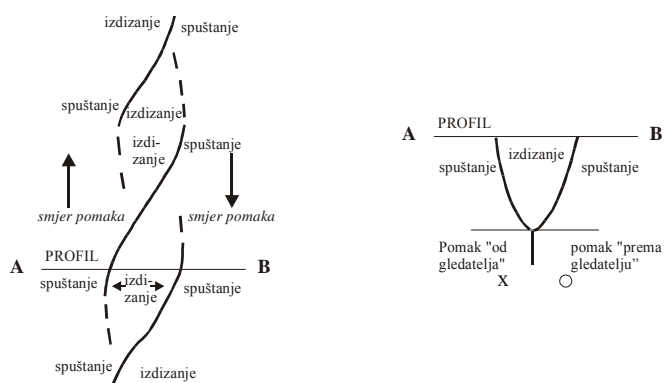


**Slika 4.3:** Skica postanka glavnoga i pozadinskoga (engl. “backthrust”) reverznog rasjeda

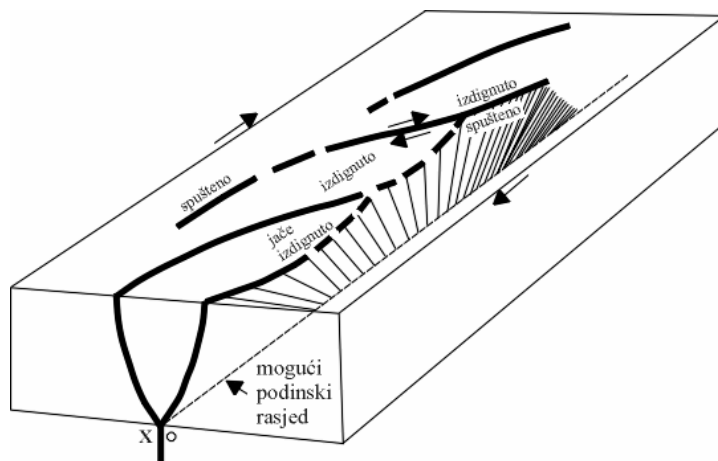
Rasjedi s izraženom horizontalnom komponentom pomaka mogu po karakteru vertikalnog pomaka biti normalni ili reverzni. Uz neke rasjede zabilježena su utonula (engl. “pull-apart”) ili izdignuta (engl. “pop-up”) područja čiji nastanak je posljedica horizontalne komponente stresa koja se javlja uzduž zakrivljene trase njihova pružanja. To je shematski prikazano na slikama 4.4 i 4.5. Ako je horizontalni pomak nekoliko puta veći od vertikalnog to je rasjed s dominantno horizontalnim pomakom odnosno pružni rasjed (engl. “strike-slip fault”). Ako je horizontalni pomak približno sličnog reda veličine kao i vertikalni radi se o rasjedima s kosim pomakom (engl. “oblique-slip faults”).



**Slika 4.4:** Deformacije uzrokovane horizontalnim stresom I



**Slika 4.5:** Deformacije uzrokovane horizontalnim stresom II



**Slika 4.6:** Prostorni prikaz prostora zahvaćenog jakim horizontalnom tektonikom

Na **slici 4.4** vidljivo je kako će se rasjedna ploha stvoriti pod kutom od  $22,5^\circ$  u odnosu na smjer najjače kompresije. Ako je horizontalna komponenta vrlo jaka nastat će izdignute ili spuštene strukture, koje se još nazivaju pozitivnim ili negativnim cvjetnim strukturama (engl. "flower or inverse flower structures"). Trodimenzionalni prikaz opisanih deformacija prikazan je na **slici 4.6**, gdje se najbolje uočava kako vertikalni pomaci na suprotnim krajevima istoga krila rasjeda imaju suprotni karakter, što je posljedica zakrivljenosti paraklaze u horizontalnoj ravnini te položaja susjednih rasjeda.

Primjer jednoga karakterističnog erozijskog kontakta na Medvednici prikazan je na **slici 4.7**, gdje su u dodiru u podini trijaski dolomiti, a u krovini badenske, pretaložene karbonatne breče. U brečama se nazire nekoliko rasjednih ploha.



**Slika 4.7:** Prikaz erozijskog kontakta u Gornjem Vrapču (Medvednica)

## 4.2. STRUKTURE U UŽEM SMISLU RIJEČI

Strukturama se često smatraju samo oblici trodimenzionalnih tijela. Rasjedi, također imaju takvu geometriju, no kod njih su izražito naglašeno pružanje i paraklaza, kao dominantne plohe na kojima su određeni pomaci krila. Rasjedna zona, koja predstavlja treću dimenziju, često se zbog svoje male širine u odnosu na dvije ranije spomenute komponente, na kartama aproksimira s linijom.

Zbog toga se u užem smislu riječi strukturama, koje se pojavljuju na geološkim kartama, smatraju **sinklinala, antiklinala, strukturni nos, strukturno sedlo, homoklina i monoklina**. Te strukture mogu dodatno biti rasjednute. Sve spomenute strukture mogu se interpretirati na dubinskim seizmičkim, gravimetrijskim i magnetometrijskim podacima, samo je pitanje mjerila na kojima će se iste moći vidjeti. Regionalne strukture pružanja nekoliko kilometara uočiti će se već na gravimetrijskim i magnetometrijskim kartama. One manje, veličine nekoliko stotina ili desetaka metara, moći će se kartirati na temelju seizmičkih profila. Također, dovoljan broj bušotinskih podataka dopušta da se na nekom lokalitetu (ili polju) ocrtaju glavna ili nekoliko sporednih struktura.

Sve strukture koje se kartiraju u dubini mogu se usporediti sa sličnim oblicima koje susrećemo i na površini. Uostalom, površinski oblici (poput antiklinale i sinklinale) često imaju istovrsni odraz u dubini (nasljedne strukture). U biti površinsko i dubinsko geološko kartiranje predstavljaju potpuno isti zadatak, a često nam otkriveni izdanci mogu pomoći da lakše predstavimo dubinske odnose metodom usporedbe.

Nadalje, sve geološke strukture, kada se promatraju u okvirima geologije ležišta ugljikovodika, opisuju se kao "zatvorene" i "otvorene". Pri tomu se misli njihove oblike koji omogućavaju ili spriječavaju migraciju lakših fluida iz tih struktura. Kako su stijene u podzemlju primarno zasićene slojnom vodom (najčešće slanom), zbog gravitacijske separacije će nafta i plin najčešće migrirati u vršne dijelove propusnih slojeva. Ako je sloj boran migracija će se kretati u vrh takve strukture, te tamo završiti ako je propusni sloj prekriven nepropusnom, izolatorskom stijenom. Prema smjeru migracije lakšega fluida strukture se dijele na otvorene ili zatvorene, odnosno na djelomično otvorene i zatvorene strukture. Na primjer, sva četiri krila antiklinale spajaju se u njezinom tjemenu, te je takva struktura u potpunosti zatvorena za migraciju. Zato antiklinala i predstavlja najbolju strukturnu zamku za ležišta nafte i plina. S druge strane, sinklinala je otvorena u sva četiri smjera i gotovo nikada neće sadržavati ležišta ugljikovodika (osim u nekim iznimnim slučajevima). Sve ostale strukture nalaze se negdje između ta dva krajnja slučaja.

**Sinklinala** je geološka struktura "otvorena" sa sve četiri strane. Pojam "otvorena" znači da lakši fluid, odnosno nafta ili plin, će u podzemlju migrirati izvan nje. Tako sinklinala ne može predstavljati zamku za ugljikovodike, osim u kada dođe do stvaranja zamke stratigrafskog tipa.

**Antiklinala** je geološka struktura zatvorena sa sve četiri strane. Predstavlja izdignuti dio bore, odnosno najčešću vrstu zamki za ugljikovodike. Bora koja sadrži antiklinalu i sinklinalu prikazana je na **slici 4.8**.



**Slika 4.8:** Bora s antiklinalom i sinklinalom (izvor: engleska Wikipedia, arhiva USGS-a)

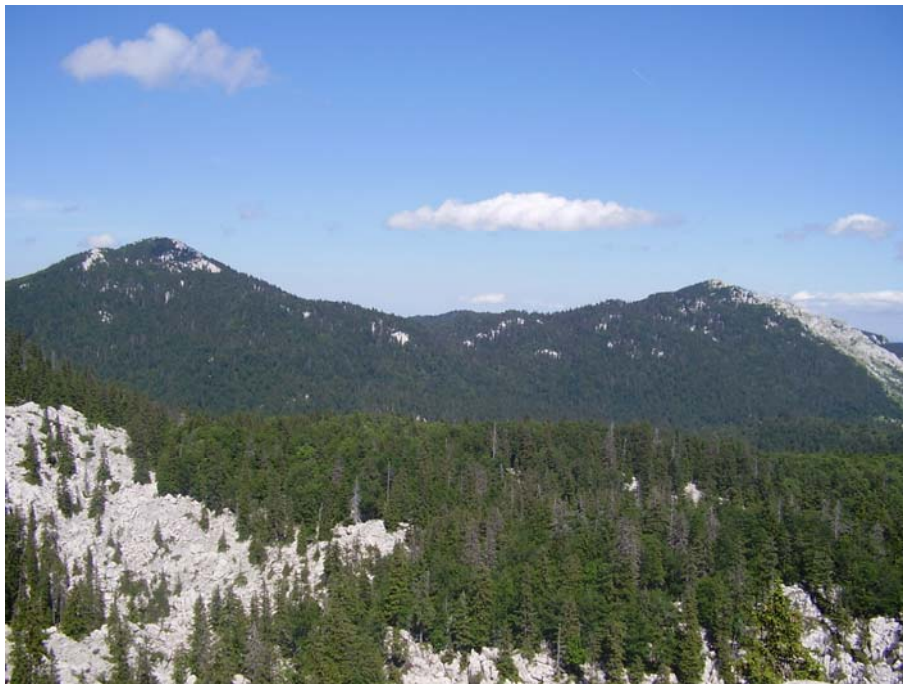
**Monoklina** je geološka struktura otvorena za migraciju fluida lakših od vode s tri strane. Karakterizira ju kontinuirani nagib jedne plohe, koja tone u dubinu (**slika 4.9**). Ako je taj nagib jednak cijelim krilom monokline struktura se naziva **homoklinom**.



**Slika 4.9:** Monoklina na Medvednici (Gornje Vrapče)

**Strukturni nos** je struktura zatvorena s tri strane, odnosno nalikuje antiklinali čije se jedno krilo pruža u strukturno pliće. Na tom krilu može biti zatvorena rasjedom ili bočnom promjenom facijesa.

**Strukturno sedlo** je, kako mu samo ime govori, prijevoj između dvije antiklinale. Stoga predstavlja strukturu otvorenu prema tim antiklinalama, a zatvorenu u smjerovima prema sinklinalama (**slika 4.10**).



**Slika 4.10:** Strukturno sedlo između Malog (lijevo) i Velikog (desno) Rajinca na Sjevernom Velebitu

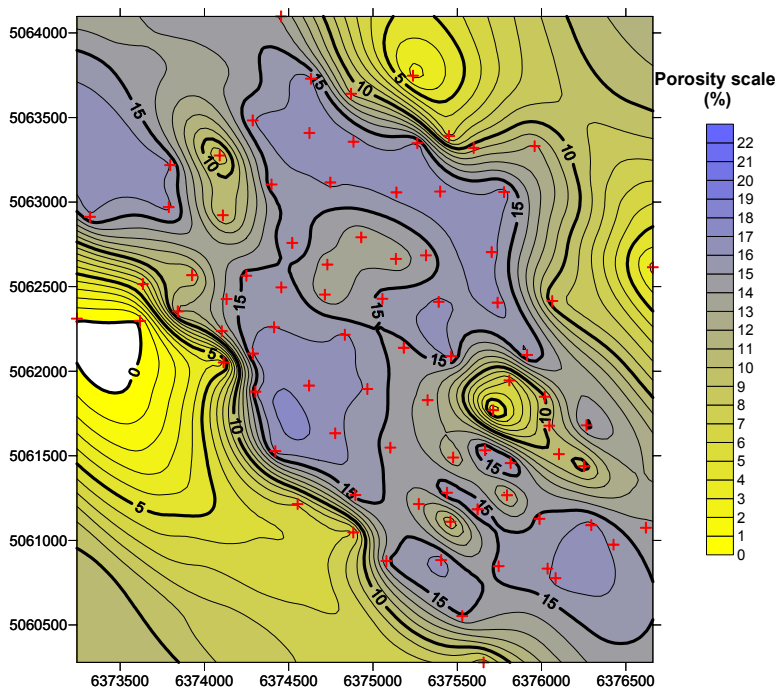
## 5. DUBINSKE GEOLOŠKE KARTE

Dubinske geološke karte mogu prikazivati različite oblike i parametre. Najčešće se izrađuju strukturne, paleostrukturne, karte debljina te karte poroznosti. Linije na kartama povezuju sve točke s jednakom vrijednosti kartiranog parametra i konstruiraju se postupkom interpolacije ili ekstrapolacije.

**Interpolacija** je postupak crtanja odgovarajućih linija jednakih vrijednosti na karti, a kojima se dodjeljuju odgovarajuće vrijednosti unutar međubušotinskog prostora. Te vrijednosti su pretpostavljene na temelju postojećih točkastih podataka (bušotinskih, seizmičkih i drugih).

**Ekstrapolacija** je postupak crtanja odgovarajućih linija jednakih vrijednosti na karti, a kojime se dodjeljuju odgovarajuće vrijednosti izvan međubušotinskog prostora pa do ruba karte. Zbog nepreciznosti, te vrijednosti su pretpostavljene oslanjajući se na manji broj točkastih podataka u prostoru izolacija, te zato postoje ograničenja kolika može biti širina zone ekstrapolacije. Ograničenja su propisana pravilnicima, na primjer kod ekstrapolacije načinjene na kartama kojima su opisane rezerve ugljikovodika kategorije A dopuštena je ekstrapolacija u prostoru do 15 %.

**Načini interpolacije i ekstrapolacije** su različiti. U prošlosti su se karte crtale ručno, provlačeći odgovarajuće linije prema odabranoj ekvidistanci između dviju susjednih točaka. Pri tomu, kako je napisano i u uvodu, linije jednakih vrijednosti nisu se smjele sijeći, nisu smjele presijecati linije veće i manje vrijednosti te se spajati recimo u oblik "leptira" (**slika 5.1**). Između susjednih linija uvijek su trebale prolaziti sve ostale očekivane vrijednosti.



**Slika 5.1:** Oblik "leptira" opažen na liniji izoporoznosti "15 %" u središtu karte



**Ekvidistanca** je odabrana razlika u vrijednosti kartiranog parametra između jedne i druge izolinije. Na primjer, često su ekvidistance na kartama dubina i debljina 10, 25, 50 ili 100 metara. S druge strane, na nekim kartama postoje zadane vrijednosti ekvidistanca koje ne rastu proporcionalno. Tako su na litofacijsnoj karti broja pješćanih slojeva (karta "n") po konvenciji dopuštene ekvidistance 1, 2, 5, 10 i 20. Nadalje, na karti odnosa debljina propusnih i nepropusnih slojeva (karta "ss/sh") dopuštene linije su

$$\frac{1}{128}, \frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}, \frac{2}{1}, \frac{4}{1}, \frac{8}{1}, \frac{16}{1}, \frac{32}{1}, \frac{64}{1}, \frac{128}{1}$$

## 5.1. VRSTE LINIJA NA DUBINSKOGEOLOŠKIM KARTAMA

Vrsta linija kojima se prikazuju dubinskogeoološke karte različite su i imenovane prema karti na kojoj su izvučene. Tako se često upotrebljavaju:

**Izostrate (stratoizohipse)** – su linije jednakih pravih (apsolutnih) dubina slojne plohe ili repnog horizonta.

**Izobate** – su linije jednakih relativnih dubina slojne plohe ili repnog horizonta. Kada se primjenjuju kod slojeva mogu zamijeniti izostrate na kartama, posebno u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Razlog je taj što se kod nas u u praksi u Panonskom bazenu gotovo sve karte izrađuju obzirom na ravninu crtanja postavljenu na +100 metara, pa je time na kartama predstavljena relativna dubina. Nadalje, često se na kartama toga područja kartira podina neogena, odnosno vršna ploha te stijenske mase čija podina nije probušena. U tom slučaju ne kartira se sloj već jedna diskordancija, te se ponovno dubina te plohe (a ne sloja) prikazuje izobatama.

**Izohore** – su linije jednakih probušenih debljina ležišta ili sloja.

**Izopahе** – su linije pravih debljina ležišta ili sloja. Često se zamjenjuju izohorama iz razloga što je kod nagiba sloja manjeg od  $20^\circ$ , a kod svođenja probušene na pravu debljinu (odnosno na liniju okomitu na slojnu plohu) koje se radi pomoću trigonometrijske funkcije *kosinusa*, vrijednost  $\cos(<20^\circ) > 0,9$ . To znači da izračun pravih iz probušenih debljina za slojeve manjih debljina neće donijeti značajna poboljšanja. Kako se nekada ne mogu točno odrediti devijacije kanala bušotine, taj postupak se primjenjuje tek za vrlo kose slojeve ( $>20^\circ$ ).

**Izoporoznosti (linije jednake poroznosti)** – upotrebljavaju se na kartama kako bi se prikazale jednake vrijednosti poroznosti u sloju, stijeni ili ležištu.



U širem smislu, strukturne karte mogu se pribrojiti skupini paleostrukturalnih karata, jer su i one karte debljina. Na primjer, karta prikazana na **slici 5.1** je ujedno i karta dubina EK markera Rs7, ali i karta debljina od EK markera Rs7 do površine terena (odnosno ravnine postavljene na +100 metara).

### 5.3. PALEOSTRUKTURNE KARTE

Paleostrukturalne karte su karte debljina između dva odabrana repna sloja. Najčešće su to EK markeri karakteristični za hrvatski dio Panonskog bazena. Ukupan broj paleostrukturalnih karata koje je moguće

načiniti za neki skup kartiranih površina je  $N = \frac{(n^2 + n)}{2}$  (HERNITZ & JURAK, 1973). Vrijednost  $N$  je ukupni

broj karata,  $n$  broj kartiranih površina. Na području hrvatskih depresija obično se kartira po 5 EK markera (D', Δ, Z', Rs5, Rs7) na granicama formacija te jedna diskordancija (označena kao Pt/Tg). To znači da je ukupno moguće načiniti 21 paleostrukturalnu kartu, odnosno 21 kartu debljina i strukturnu kartu. Prostorno gledano, strukturne karte (uključujući i kartu paleoreljeva – po Pt/Tg) također predstavljaju karte debljina i to od kartiranog horizonta do površine terena (ili ravnine crtanja koja se obično postavlja na +100 m). Ukupan broj karata koji je bilo moguće načiniti iz pet spomenutih repera prikazan je tzv. “trokutom izopaha” na **slici 5.2**.

					D' – +100
				Δ - D'	Δ - +100
			Z' - Δ	Z' - D'	Z' - +100
		Rs5 - Z'	Rs5 - Δ	Rs5 - D'	Rs5 - +100
	Rs7 - Rs5	Rs7 - Z'	Rs7 - Δ	Rs7 - D'	Rs7 - +100
Tg/Pt - Rs7	Tg/Pt - Rs5	Tg/Pt - Z'	Tg/Pt - Δ	Tg/Pt - D'	Tg/Pt - 100

**Slika 5.2:** Ukupan broj mogućih strukturalnih (sivo) i paleostrukturalnih karata u slučaju izdvajanja 5 EK markera

Primjer paleostrukturalne karte, odnosno karte debljina između EK markera Z' i Δ (karta debljina formacije Kloštar-Ivanić) za područje Bjelovarske sundepresije prikazana je na **slici 5.3**.



## 6. UKRATKO O ČETIRI ČESTE INTERPOLACIJSKE METODE

Procjenu, odnosno interpolaciju moguće je načiniti u jednoj, dvije ili tri dimenzije. Ona predstavlja pokušaj određivanja vrijednosti odabrane veličine na mjestima na kojima ta veličina nije mjerena. Procjena se može načiniti na temelju poznatih vrijednosti promatrane primarne varijable (autokorelacija) ili uz pomoć vrijednosti jedne ili više drugih sekundarnih varijabli na istom prostoru. Uvjet je da su sekundarne varijable u jakoj korelaciji s primarnom varijablom.

Postoje razne metode procjene, odnosno razne interpolacijske tehnike. Program Surfer 8.0 omogućava upotrebu dvanaest interpolacijskih metoda. U ovom radu uspoređene su sljedeće četiri: metoda inverzne udaljenosti (engl. „Inverse Distance Weighting“), metoda najbližeg susjedstva (engl. „Nearest Neighbourhood“), metoda lokalne sredine (engl. „Moving Average“) i kriging (engl. „Kriging“).

### 6.1. METODA INVERZNE UDALJENOSTI

Metodom inverzne udaljenosti procjenjuju se vrijednosti na temelju relativno jednostavnog matematičkog izraza (**jedn. 6.1**). Utjecaj svake točke obrnuto je proporcionalan njezinoj udaljenosti od lokacije na kojoj se procjenjuje vrijednost. Broj točaka uključenih u procjenu ( $z_1 \dots z_n$ ) određen je radijusom kružnice postavljene oko spomenute lokacije. Rezultat metode snažno ovisi o vrijednosti *eksponenta udaljenosti* ( $p$ ). Najčešće ta vrijednost iznosi 2 (kao i u ovoj analizi), jer je tada i račun najjednostavniji. Vrijednost može biti i drugačija, a tada takav odabir treba provjeriti usporedbom nekoliko dobivenih rješenja. Ovdje je prikazan inverzan odnos vrijednosti koeficijenta varijacije i eksponenta udaljenosti.

$$z_{IU} = \frac{\frac{z_1}{d_1^p} + \frac{z_2}{d_2^p} + \dots + \frac{z_n}{d_n^p}}{\frac{1}{d_1^p} + \frac{1}{d_2^p} + \dots + \frac{1}{d_n^p}} \quad (6.1)$$

gdje su:

- $z_{IU}$  - procijenjena vrijednost
- $d_1 \dots d_n$  - udaljenosti lokacija 1...n od mjesta procjene  $z_{IU}$
- $p$  - eksponent udaljenosti
- $z_1 \dots z_n$  - stvarne vrijednosti na lokacijama 1...n

## 6.2. METODA NAJBLIŽEG SUSJEDSTVA

Metoda najbližeg susjedstva dodjeljuje vrijednost najbliže točke svakom čvoru mreže. Ova metoda je korisna u slučaju kada postoji praznina u podacima, a želi se načiniti pregledna karta zona. U tom slučaju, ako nedostaje nekoliko podataka, moguće je ovom metodom „nadopuniti“ praznine na relativno djelotvoran način. Ukoliko postoje područja na kojima ne postoji dovoljan broj podataka da bi dobivena mreža mogla biti relevantna, ona se mogu izuzeti iz proračuna.

## 6.3. METODA LOKALNE SREDINE

Metoda lokalne sredine dodjeljuje vrijednosti točkama mreže tako da određuje srednju vrijednost podataka koji se nalaze unutar određenog područja čvora mreže. Također mora biti definiran i najmanji broj podataka koji se uzima u obzir. Točka mora biti smještena u središte područja u kojem se računa srednja vrijednost. Podatak, odnosno njegova vrijednost koja se dobije za svaki čvor jednaka je aritmetičkoj sredini podataka koji se nalaze unutar definiranog područja s mjerenim vrijednostima. Ukoliko je broj podataka unutar definiranog područja manji od graničnog broja podataka, vrijednost u točki neće se izračunati.

## 6.4. METODA KRIGINGA

**Metoda kriginga** predstavlja geostatistički postupak. Prethodi joj određivanje prostorne zavisnosti, odnosno variogramska analiza. Teorija variogramske analize objašnjena je u više knjiga. Variogramske analize načinjene su na nekoliko polja u hrvatskom dijelu Panonskoga bazenskog sustava, odnosno na podacima iz Savske depresije, Bjelovarske subdepresije te zapadnog dijela Dravske depresije (HERNITZ et. al., 2001.; MALVIĆ, 2003a,b; 2005a; MALVIĆ & ĐUREKOVIĆ, 2003)

## 7. DETALJNIJE O VARIOGRAMIMA I KRIGINGU

Variogram je osnovni geostatistički alat. Služi za određivanje prostorne zavisnosti i time bolje definiranje međusobne povezanosti točkastih podataka koji se žele zajednički kartirati. Rezultat izrade variograma je eksperimentalni variogram, koji se nadalje aproksimira teoretskim modelom. Takav model ulaz je za metodu kriginga kojom se interpoliraju, smatra se, u prosjeku najbolje karte.

### 7.1. VARIOGRAM

Variogram je određen sa nekoliko parametara koji odražavaju njegovu kvalitetu i prostornu vezu između podataka.

#### 7.1.1. Osnovni parametri variograma

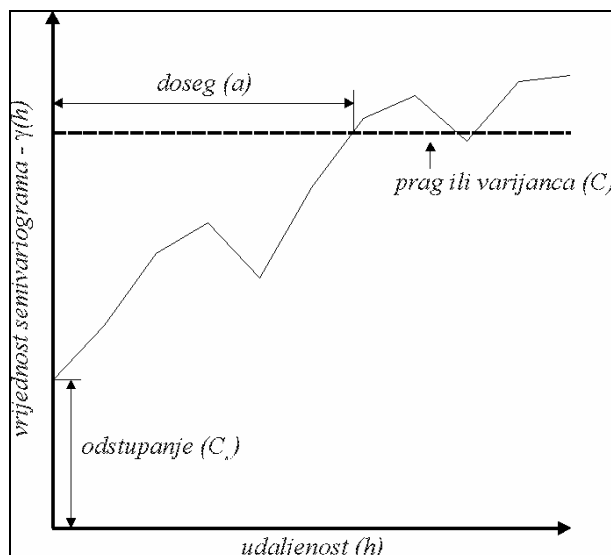
Terminološki, pojmovi variogram i semivariogram (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978, HOHN, 1988; JENSEN et al., 1997; MALVIĆ, 2003a,b) identični su jer je variogramsku jednadžbu moguće pojednostaviti tako da se jednadžba pomnoži s brojem 2 te se dobivena funkcija  $2\gamma$  naziva semivariogramom, koji glasi:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \times \sum_{n=1}^{N(h)} [z(u_n) - z(u_n + h)]^2 \quad (7.1)$$

gdje su:

- $N(h)$  - broj parova podataka uspoređenih na udaljenosti 'h'
- $z(u_n)$  - vrijednost na lokaciji  $u_n$
- $z(u_n+h)$  - vrijednost na lokaciji  $u_n+h$ .

Eksperimentalna variogramska krivulja prikazana je na **sluci 7.1**. Na takvoj krivulji može se očitati sljedećih pet veličina: (1) odstupanje (engl. „nugget“), (2) prag ili varijanca (engl. „sill“), (3) doseg (engl. „range“), (4) udaljenost ili korak (engl. „distance“) i (5) odmak (engl. „lag“).



**Slika 7.1:** Parametri semivariograma (iz: MALVIĆ, 2003a)

**Odstupanje ( $C_0$ )** predstavlja slučajnu komponentu regionalizirane varijable odnosno pojavu kada krivulja siječe os Y u nekoj pozitivnoj vrijednosti ( $C_0$ ). To je obilježje gotovo svih variograma, a upućuje na razliku u vrijednostima vrlo bliskih uzoraka koji se u praksi smatraju uzorcima s jedinstvene lokacije. Odstranjuje se smanjenjem površine ili povećanjem broja uzoraka, no u praksi se ono vrlo često ne može eliminirati.

**Prag ( $c$ )** je razlika pojedinačnih vrijednosti i srednje vrijednosti skupova podataka, što je ujedno definicija varijance. Nakon dosezanja praga (ako ga posjeduje) krivulja semivariograma često će prestati pravilno rasti te će nastaviti oscilirati oko njega.

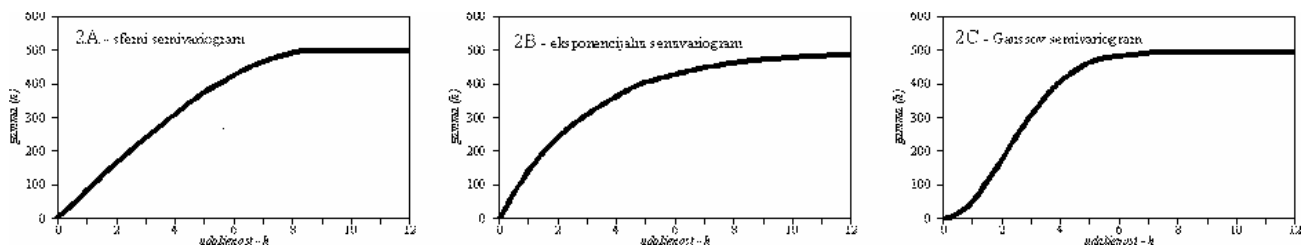
**Doseg ( $a$ )** je vrijednost na kojoj semivariogram prvi put presijeca prag, a nakon toga ne postoji prostorna korelacija ili ovisnost podataka( $c$ ).

**Udaljenost ( $h$ )** je vrijednost na kojoj se međusobno uspoređuju podatci. Svaka udaljenost čini jednu klasu. Toj se vrijednosti može dodijeliti tolerancija nazvana odmak (engl. „lag“). To znači da granicama klase dodajemo vrijednost odmaka šireći tako klasu. Time se povećava broj parova i dobiva se bolji rezultat.



## 7.1.2. Variogramski modeli

Gotovo se svi eksperimentalni (semi)variogrami mogu matematički aproksimirati s pet teoretskih modela: sfernim, eksponencijalnim, Gausovim, linearnim i logaritamskim (deWysovim) (HOHN, 1988). Razlikuju se prema tome sadržavaju li prag te po načinu ponašanja krivulje u blizini ishodišta. Prva tri modela (sferni, eksponencijalni, Gaussov) najčešće se upotrebljavaju kod interpretacije geoloških varijabli (**slika 7.2**).



**Slika 7.2:** Teoretski modeli – sferni (2A), eksponencijalni (2B), Gaussov (2C) (iz: Malvić, 2003a)

Formule po kojima se definira ponašanje varijable određene odabranim teoretskim modelom su sljedeće (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989):

$$\gamma(h) = C \left[ \left( \frac{3h}{2a} \right) - \left( \frac{h^3}{2a^3} \right) \right], \quad h \leq a$$

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

sferni model (7.2)

$$\gamma(h) = C \left[ 1 - \exp\left( \frac{-h}{a} \right) \right]$$

eksponencijalni model (7.3)

$$\gamma(h) = C \left[ 1 - \exp\left( \frac{-h^2}{a^2} \right) \right]$$

Gaussov model (7.4)

gdje su:

$\gamma(h)$  - vrijednost variograma na udaljenosti "h"

C - konstanta

h - udaljenost

a - doseg

Eksperimentalnu krivulju moguće je aproksimirati složenim modelom koji predstavlja zbroj dvaju ili više osnovnih teoretskih modela različitih dosega i pragova (7.5).

$$\gamma(h) = \gamma_1(h) + \gamma_2(h) + \gamma_3(h) + \dots \quad (7.5)$$

## 7.2. KRIGING

Postupak kriginga smatra se naprednom metodom za procjenu vrijednosti regionalizirane varijable u točkama odabrane mreže. Pojam mreže češće se u praksi zamjenjuje izrazom *grid* koji će biti upotrijebljen u daljnjem tekstu. Pod pojmom *regionalizirane varijable* podrazumijeva se vrijednost distribuirana u prostoru poput debljine sedimenata, šupljikavosti, tlaka u ležištu itd. Regionalizirana varijabla često je i *slučajna varijabla*, barem u geologiji. Pod pojmom "slučajna" misli se da su vrijednosti te varijable dobivene prema nekoj funkciji razdiobe poput normalne ili uniformne razdiobe.

Kriging kao statistička metoda procjene prvi put je upotrijebljena i opisana prilikom procjene sadržaja rude u ležištima zlata (KRIGE, 1951). S vremenom je uslijedio daljnji teoretski razvoj metode, najvećim dijelom od strane francuskih znanstvenika (MATHERON, 1965), te je metoda detaljno opisana u brojnim knjigama (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978, HOHN, 1988; JENSEN et al., 1997). Detaljno je geostatističke metode u analizi ležišta ugljikovodika u Hrvatskoj upotrijebio MALVIĆ (2003a,b, 2005a).

Procjena načinjena krigingom podrazumijeva da su zadovoljeni određeni kriteriji. Prema njima procjena mora biti nepristrana te načinjena tako da je varijanca razlike između stvarnih i procjenjenih vrijednosti u odabranim točkama najmanja moguća. To se naziva još i varijanca kriginga. Nakon završetka procjene na odabranom području algoritam kriginga također računa predviđenu i stvarnu pogrešku procjene. Te vrijednosti se mogu usporediti s mjerenom vrijednošću na kontrolnoj točki koja je upotrijebljena kao ulazni podatak. Na taj način se određuje pouzdanost procjene te kvaliteta odabranog prostornog modela.

### 7.2.1. Svojstva kriginga

Prilikom procjene krigingom svakome podatku uključenom u postupak dodijeljen je određeni težinski koeficijent ( $\lambda$ ) kojim je procijenjen njegov utjecaj na ukupni račun. Odnosi između postojećih vrijednosti i točke u kojoj se ona procjenjuje izražavaju se vrijednostima kovarijance ili variograma. Na taj način su određene zavisnosti i utjecaji pojedine lokacije s obzirom na njezinu udaljenost od točke čija se vrijednost procjenjuje. Osnovna pravila kojima su definirane jednadžbe kriginga su sljedeća: (MALVIĆ, 2005b)

Veličina i oblik područja (broj točaka „grida“) za koje se radi procjena vrijednosti određeni su izrazom  $C(Z_k, Z_k)$ , odnosno kovarijancom vrijednosti dobivene krigingom sa samom sobom. Udaljenost između točke koja se procjenjuje ("k") te kontrolne točke "i" određena je kovarijancom  $C(Z_k, Z_i)$ . Raspored i međusobna udaljenost dviju kontrolnih točaka "i" i "j" predstavljena je vrijednošću kovarijance  $C(Z_i, Z_j)$ .

Kvaliteta procjene težinskih koeficijenata ovisi o načinjenom variogramskom modelu. U pravilu model s većim brojem kontrolnih točaka, većim dosegom, manjim odstupanjem i bez anizotropije imat će puno veću pouzdanost kod procjene težinskih koeficijenata.

U svakom slučaju kriging je svrstan među statističke tehnike označene "BLUE". Prevedeno s engleskoga to bi značilo *najbolji linearni nepristrani procjenitelj* (engl. "Best Linear Unbiased Estimators").

### 7.2.2. Matematičke osnove kriginga

Princip rada kriginga najjednostavnije je prikazati nizom jednažbi kojima je definiran. Krigingom se procjenjuje vrijednosti regionalizirane varijable na odabranoj lokaciji ( $Z_k$ ), a na temelju postojećih okolnih vrijednosti ( $Z_i$ ). Svako od tih postojećih vrijednosti pridružen je odgovarajući težinski koeficijent ( $\lambda_i$ ), a način njihova proračuna je najzahtjevniji dio algoritma kriginga.

Vrijednost regionalizirane i slučajne geološke varijable može se definirati kao:

$$Z_i = Z(x_i) \quad (7.6)$$

gdje je  $x_i$  točka u kojoj je očitana vrijednost.

Vrijednost varijable procijenjene krigingom na temelju „n“ okolnih kontrolnih točaka je:

$$Z_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z_i \quad (7.7)$$

gdje su:

- $\lambda_i$  - težinski koeficijenti („weights“) za svaku lokaciju „i“
- $Z_i$  - okolne poznate vrijednosti, tzv. kontrolne točke („control points“)
- $Z_k$  - vrijednost procijenjena krigingom

Daljnji postupak kriginga usmjeren je na procjenu odgovarajućih težinskih koeficijenata te na kraju na procjenu same vrijednosti  $Z_k$ . Do tih vrijednosti se dolazi rješavanjem *sustava linearnih jednažbi kriginga*.

### 7.2.3. Matrične jednadžbe kriginga

Rezultat matematičkih jednadžbi i izvoda kriginga moguće je napisati u obliku matričnih jednadžbi. Unutar dviju od tih matrica vrijednosti su izražene vrijednošću variograma ili kovarijance, odnosno ovise o udaljenosti uspoređenih lokacija. Treća matrica sadrži težinske koeficijente koji se na kraju procjenjuju iz prve dvije spomenute matrice.

Simbolički se spomenuta matrična jednadžba piše u obliku:

$$[W] \times [\lambda] = [B] \quad (7.8)$$

Kriging kao metoda sadrži više podvarijanti. To su jednostavni kriging (engl. „Simple Kriging”), obični kriging (engl. „Ordinary Kriging”), indikatorski kriging (engl. “Indicator Kriging”), univerzalni kriging (engl. „Universal Kriging”) i disjunktivni kriging (engl. „Disjunctive Kriging”). Prve dvije metode opisane su ovdje nešto opširnije.

Kod jednostavnog kriginga, kao najjednostavnije podvarijante, matrična jednadžba napisana u punome obliku glasi:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_n) \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \dots \\ \gamma(x_n - x) \end{bmatrix} \quad (7.9)$$

Sve ostale podmetode kriginga imaju dodane neki „faktor ograničenja” unutar sebe (engl. „constraint”). Time je u potpunosti zadovoljen uvjet opisan ranije izrazom BLUE. Drugim riječima kod jednostavnog kriginga nije ispunjen uvjet da je procjena *nepristrana* (engl. „unbiased”), dok je kod ostalih podmetoda taj uvjet zadovoljen.

Dodani faktor pomaže kod uključivanja nekoga vanjskoga ograničenja koje prati ulazni skup podataka. Tako je u podmetodi običnoga kriginga dodan *Lagrangeov faktor* ( $\mu$ ) kojim se minimizira iznos varijance kriginga. Time dolazi do promjene matrične jednadžbe:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_n) & 1 \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \dots \\ \gamma(x_n - x) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7.10)$$

Modifikacija kriginga nije ograničena samo na dodavanje *linearnih faktora* poput *Lagrangea*. Moguće je istovremeno dodati više *ograničavajućih faktora* koji mogu biti i *nelinearnog tipa* (engl. „non-linear constraints”).

### 7.3. KROS-VALIDACIJA

Kros-validacija (engl. “cross-validation”) je numerički relativno jednostavna i široko korištena tehnika za provjeru kvalitete procjene. Temelji se na “uklanjanju” vrijednosti izmjerene na odabranoj lokaciji i ponovnoj novoj procjeni na istom mjestu, a iz preostalih vrijednosti (7.11). Postupak se ponavlja za sve bušotine te se na kraju računa vrijednost *srednje pogreške procjene* (engl. “Mean Square Error – MSE”). Nedostatak metode je djelomična neosjetljivost na broj tako analiziranih bušotina. Jedan od vrlo poznatih članaka na temu “cross-validation” metode objavio je DAVIS (1987).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (real\ value - estimated\ val.)_i^2 \quad (7.11)$$

gdje su:

<i>MSE</i>	- rezultat uporabe “cross-validation” tehnike, također nazvan srednja pogreška procjene
<i>real value</i>	- vrijednost izmjerena na lokaciji «i»
<i>estimated val.</i>	- vrijednost procijenjena na lokaciji «i»

## 8. ZADATCI

Zadatci su odabrani tako da svojim brojem i sadržajem pruže studentima uvid u što raznovrsnije tehnike dubinskogeološkog kartiranja. Također, niti jedan zadatak samostalno ne zahtijeva kompleksan rad, a koji bi započeo prikupljanjem podataka te završio interpretacijom rezultata kartiranja. Radije je kroz niz manjih problema studentski rad usmjeren na rješavanje litofacijskih, strukturnih i računalnih problema s manjih brojem podataka, a koji odgovaraju stvarnim zadacima koji se mogu pred njima pojaviti kada kartama žele opisati geološke odnose u dubini ili, još konkretnije, u ležištima nafte i plina.

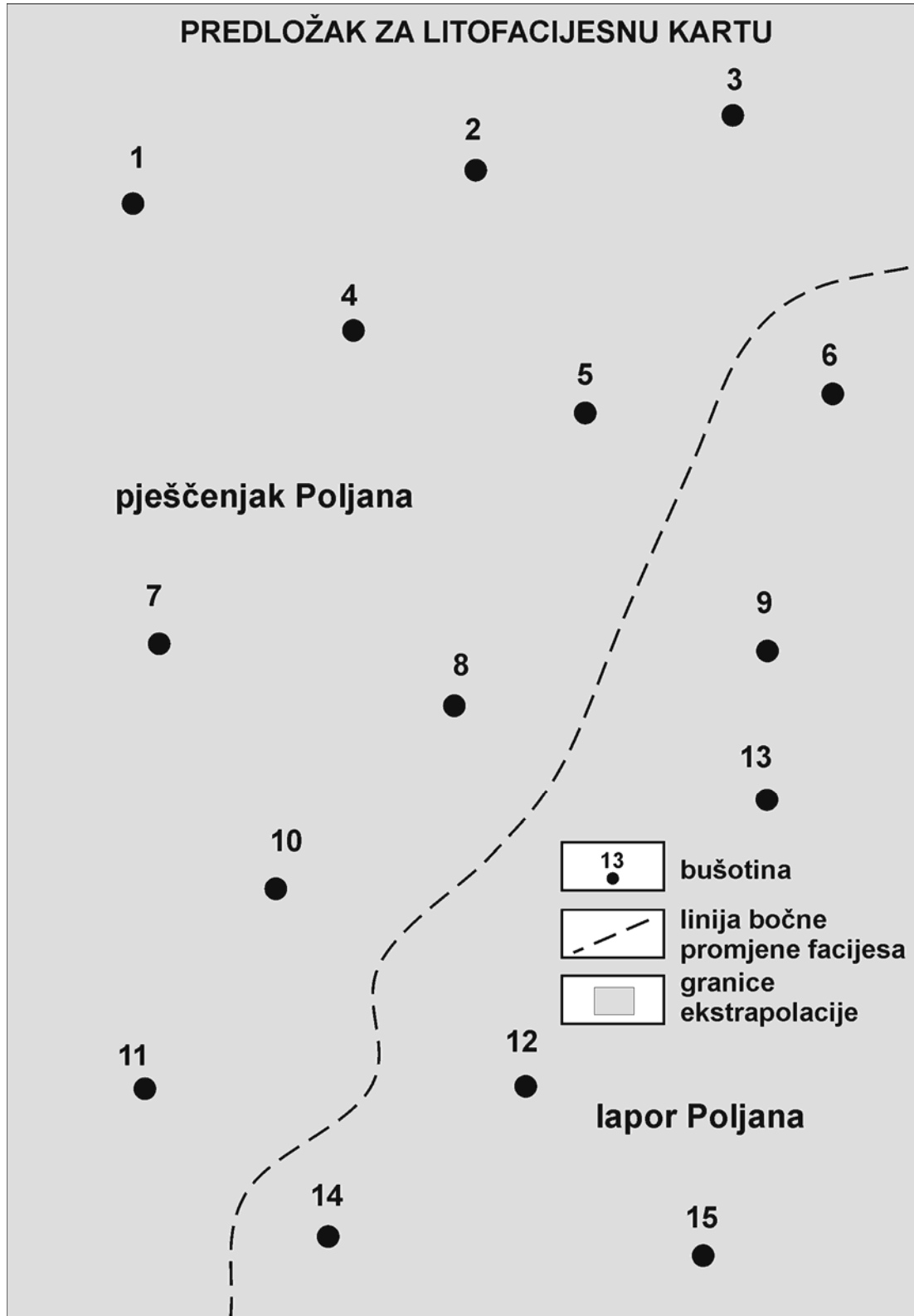
Svaki zadatak predstavlja samostalnu cjelinu, no moguće je i poželjno promatrati ih zajednički. Često se rješenja jednoga zadatka nadopunjavaju i daju znatno jasniju sliku kada se usporede s rezultatima drugog zadatka. Naravno, pri tomu treba imati na umu da je svaki problem geografski smješten na drugome području, odnosno sadrži drugačiji raspored bušotina, a zadatak broj 3 također obuhvaća seizmičke profile. No, svakako je zanimljivo usporediti značenje linije bočne promjene facijesa iz 1. zadatka, s oblikom karte debljina ležišta (izopaha) koju je potrebno konstruirati u 2. zadatku. Nadalje, usporedbom karata zadataka 2 i 3 moguće je jasno uočiti razliku između oblika i uloge karte debljina kada se ista konstruira za ležište te za cijeli kartirani litostratigrafski član.

Treći zadatak zanimljiv je jer pred studenta postavlja „inverzan“ problem. U stvari, cilj nije konstrukcija karte već suprotno, iz postojeće karte očitati ulazne vrijednosti koje su dovele do takve karte. Na taj način, bit će znatno jasnije koliko količinu ulaznih podataka može karta sadržavati, te koliko je obiman posao kada se svi ti podatci očitavaju i priređuju na kartografskoj podlozi. U današnje vrijeme taj posao često rade računala, no bez obzira na to inženjer mora biti svjestan kako iz „mora“ ulaznih digitalnih podataka (seizmičkih profila, karotažnih krivulja) računalo osrednjava i polaže na mrežu vrijednosti koje se zatim interpoliraju.

Četvrti zadatak dopušta najveću slobodu rješavanja. Zadan je jedan relativno mali tekstualni zapis koji sadrži koordinate, vrijednosti poroznosti i nazive za 40 bušotina. Upotrebom bilo kojega računalnog programa za interpolaciju moguće je dobiti različite vrste karata poroznosti po zamišljenom ležištu. No, studenti su zamoljeni da po mogućnosti koriste program Surfer 8.0<sup>TM</sup> ili sličan, odnosno program koji omogućava geostatističku interpolaciju. Na temelju ulaznih podataka trebaju konstruirati variogramski model te što prihvatljiviju kartu poroznosti metodom kriginga.

## 8.1. ZADATAK BROJ 1 – IZRADA LITOFACIJESNIH KARATA

Potrebno je na sljedećem predlošku načiniti 4 litofacijske karte



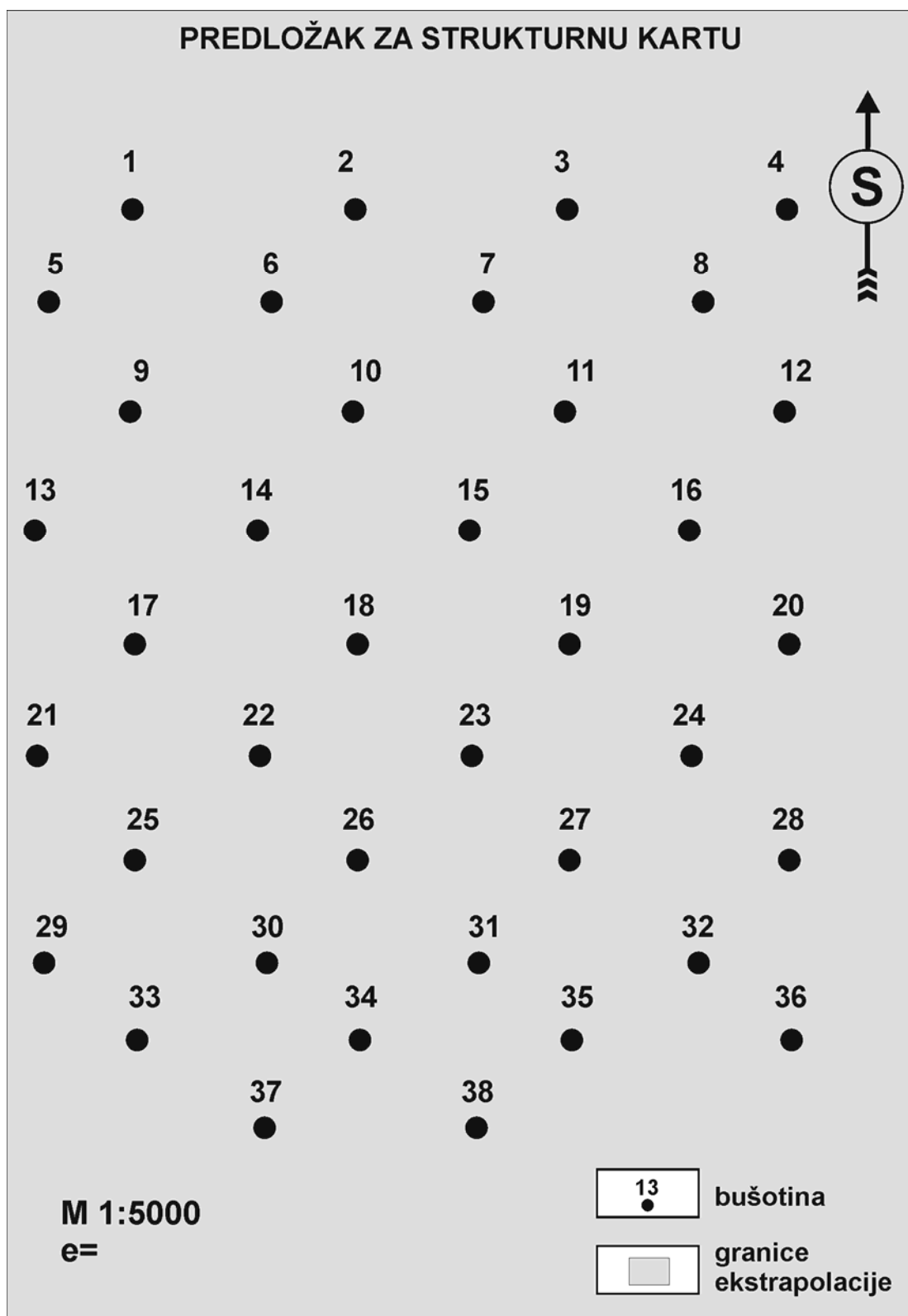
Tablica uz zadatak 1

Bušotina	Ukupna debljina ("H" u metrima)	Debljina propusnih slojeva ("he" u metrima)	Broj pješčanih slojeva ("n")	Odnos propusnih i nepropusnih slojeva ("ss/sh")
1	150	83	23	Izračunati kao kvocijent "he/H-he"
2	120	73	15	
3	115	44	5	
4	107	69	13	
5	93	32	4	
6	102	0	-	
7	91	71	14	
8	85	15	2	
9	107	0	-	
10	80	19	7	
11	75	7	3	
12	82	0	-	
13	91	0	-	
14	74	0	-	
15	97	0	-	



## 8.2. ZADATAK BROJ 2 – IZRADA STRUKTURNIH KARATA

Potrebno je na sljedećem predlošku načiniti 2 strukturne karte



Broj bušotine	Krovinska ploha produktivnog sloja (apsolutna dubina u m)	Probušeni propusni interval (m)
1	-720	8,5
2	-702	8,8
3	-698	9,0
4	-717	9,0
5	-691	9,1
6	-720	9,5
7	-719	9,1
8	-702	9,8
9	-720	15,0
10	-587	10,5
11	-701	14,5
12	-691	13,5
13	-596	11,0
14	-707	19,0
15	-646	12,0
16	-663	14,6
17	-702	9,6
18	-722	9,1
19	-697	9,2
20	-696	9,0
21	-721	9,5
22	-703	10,0
23	-702	8,8
24	-746	7,5
25	-727	8,1
26	-744	5,8
27	-745	7,4
28	-737	6,2
29	-741	5,8
30	-744	5,7
31	-747	6,6
32	-741	5,9
33	-748	4,0
34	-741	11,1
35	-746	7,4
36	-745	7,1
37	-743	5,4
38	-739	5,3

**Mjerilo karte:** 1:5000

**Zadane ekvidistance:** karta stratoizohipsâ: 20 m ; karta izopaha: 10 m.

**Kontakt nafta-voda:** nalazi se na apsolutnoj dubini -670 m.

**Treba izraditi:**

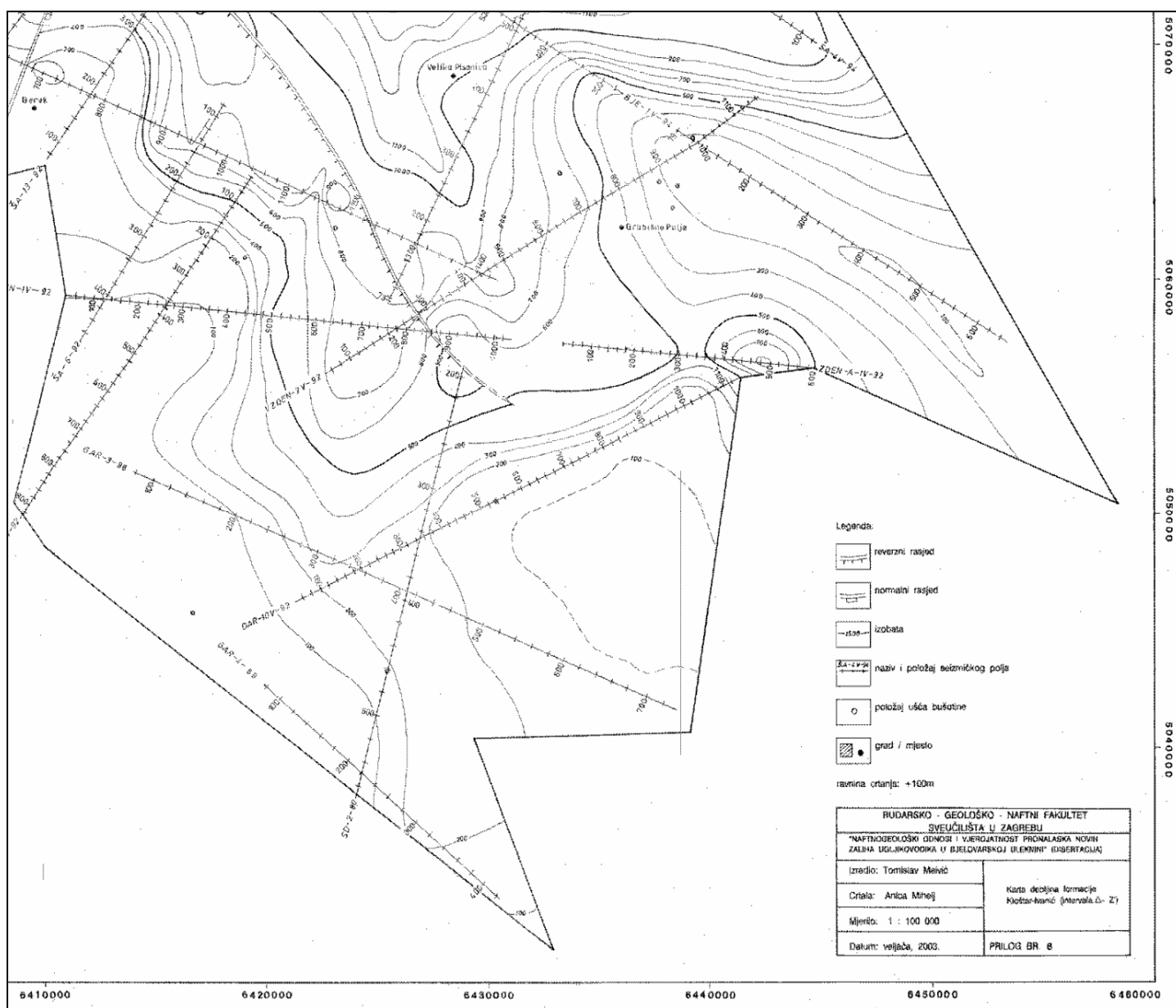
- a) strukturnu kartu krovinske plohe sloja
- b) kartu debljina ležišta nafte
- c) jedan karakterističan profil (pravca pružanja S-J ili I-Z).

### 8.3. ZADATAK BROJ 3 – IZRADA MREŽE ULAZNIH PODATAKA OČITANJEM S PALEOSTRUKTURNE KARTE

Potrebno je sa sljedeće paleostrukturalne karte očitati debljine i nanijeti ih na prazan predložak.

Očitavanje dubina treba načiniti na svakoj desetoj točki seizmičkog profila (označenoj crticom) ta na mjestima bušotina označenim crnim točkicama).

Prazan predložak konstruirati student u mjerilu 1:1 ili 1:2 (tada na papiru formata A3) te na njemu nanositi granice karte (s Gauss-Krügerovim koordinatama), granice Bjelovarske subdepresije (granice poligona), položaje seizmičkih profila te bušotina.



#### 8.4. ZADATAK BROJ 4 – INTERPOLACIJA RAČUNALOM

Upotrebom programa za interpolaciju (preporučeni je Surfer™ od tvrtke Golden software) za navedene podatke treba izračunati variogramski model te napraviti kartu metodom kriginga.

Bušotina	X	Y	Poroznost (%)
B-1	6373321,10	5062912,88	18,99
B-2	6374884,39	5063356,48	17,24
B-3	6375055,81	5062428,47	15,91
B-4	6376046,14	5061678,33	13,44
B-5	6375816,38	5061456,91	18,14
B-6	6375475,81	5061489,80	14,09
B-7	6375271,62	5061214,76	14,74
B-8	6375988,06	5061127,63	15,87
B-9	6375182,98	5062138,44	15,47
B-10	6375463,82	5062088,64	16,88
B-11	6374622,84	5063408,82	18,96
B-12	6375713,16	5061769,68	6,90
B-13	6374420,93	5061527,31	16,38
B-14	6374747,23	5063115,80	18,35
B-15	6375139,29	5063057,31	16,62
B-16	6374930,33	5062791,74	14,79
B-17	6375314,34	5062685,02	15,31
B-18	6375704,19	5062704,35	16,65
B-19	6374714,76	5062452,91	14,78
B-20	6375389,74	5062410,11	16,33
B-21	6375739,35	5062405,23	17,72
B-22	6374454,75	5064097,71	15,12
B-23	6374832,91	5062215,67	16,29
B-24	6374966,68	5061894,87	16,18
B-25	6375323,92	5061829,05	14,91
B-26	6375103,07	5061548,24	21,91
B-27	6375404,57	5060883,55	16,84
B-28	6376083,11	5060776,57	16,84
B-29	6375529,73	5060552,56	21,05
B-30	6376063,61	5062415,04	12,32
B-31	6376295,07	5061090,18	17,41
B-32	6374248,83	5062564,92	15,88
B-33	6375620,68	5061183,71	19,14
B-34	6374109,25	5062922,30	12,65
B-35	6375398,62	5063062,62	16,43
B-36	6376619,46	5061074,77	15,33
B-37	6375656,30	5060278,50	11,01
B-38	6375777,71	5063059,49	16,58
B-39	6374520,92	5062758,87	16,18
B-40	6374398,12	5063104,23	19,85

## 9. LITERATURA

### 9.1. OBJAVLJENI RADOVI

1. BORČIĆ, B. & FRANČULA, N. (1979): *Kartografija*. Tehnička enciklopedija (G-Ka), svezak 6, p. 670-708, Zagreb.
2. DAVIS, B. (1987): *Uses and Abuses of Cross Validation in Geostatistics*. *Mathematical Geology*, v.19, no.3, 241-248, Dordrecht.
3. HERNITZ, Z. & JURAK, V. (1973): *Primjena paleostrukturalne i statističke analize naslaga mlađega tercijara u području Ivanić-Grada (Sjeverna Hrvatska)*. *Nafta*, 24/7-8, p. 343-367, Zagreb.
4. HERNITZ, Z., BOKOR, N., MALVIĆ, T. (2001): *Geostatistical modeling of petrophysical data of oil fields in the Northern Croatia*. EAGE, 63<sup>rd</sup> Conference & Technical Exhibition, June 11-15 2001, PGII, Amsterdam.
5. HOHN, M.E. (1988): *Geostatistics and Petroleum Geology*. New York: Van Nostrand Reinhold.
6. ISAAKS, E., SRIVASTAVA, R. (1989): *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press.
7. JENSEN, J. L., LAKE, L. W., CORBETT, P. W. M. & GOGGIN, D. J. (1997): *Statistics for Petroleum Engineers and Geoscientists*. Prentice-Hall, New Jersey.
8. JOURNAL, A.G., HUIJBREGTS, C.J. (1978): *Mining Geostatistics*. London: Academic Press.
9. KRIGE, D.G. (1951): *A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand*. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52, 119-139.
10. MALVIĆ, T. (2003a): *Naftogeološki odnosi te vjerojatnost pronalaska novih zaliha ugljikovodika u Bjelovarskoj uleknini (Oil-geological relations and probability of discovering new hydrocarbon reserves in the Bjelovar Sag)*. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 123 p.
11. MALVIĆ, T. (2003b): *One-dimensional variogram and statistical analysis in reservoir units of the Bjelovar sag, Croatia*. *Nafta*, 54.
12. MALVIĆ, T. (2005a): *Rezultati geostatističkog kartiranja poroznosti polja zapadnog dijela Dravske depresije (Molve, Kalinovac, Stari Gradac)*. *Nafta*, 56.
13. MALVIĆ, T. (2005b): *Kriging-geostatistička interpolacijska metoda*. Priručnik u vlastitom izdanju. [www.mapconsult.net](http://www.mapconsult.net)
14. MALVIĆ, T., DJUREKOVIĆ, M. (2003): *Application of methods: Inverse distance weighting, ordinary kriging and collocated cokriging in porosity evaluation, and comparison of results of the Beničanci and Stari Gradac fields in Croatia*. *Nafta*. 54
15. MATHERON, G. (1965): *Les Variables Régionalisées et leur Estimation*. Paris: Masson & Cie.

16. PAVELIĆ, D. (2001): *Tectonostratigraphic Model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System*. Blackwell Science, Basin Research, 13, p. 359-376.
17. ROYDEN, L., H. (1988): *Late Cenozoic Tectonics of the Pannonian Basin System*. AAPG Memoir 45 (Chap. 3) - The Pannonian Basin (eds. Royden, L., H. & Horváth, F.), p. 27-48, AAPG, Tulsa.
18. RÖGL, F. (1996): *Stratigraphic Correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene*. Mitteilungen Ges. Geol. Bergbaustudenten Österreich, 41, p. 65-73, 1 tab., Wien.
19. RÖGL, F. (1998): *Palaeographic Consideration for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene)*. Ann. Naturhist. Mus. Wien, 99A, p. 279-310, Wien.
20. STEININGER, F., RÖGL, F. & MÜLLER, C. (1978): *Geodynamik und paläogeographische Entwicklung des Badenien*. Chronostratigraphie und Neostatotypen Miozän der Zentralen. Bd. VI, Verlag der Slowak. Akad. der Wissenschaften, p. 110-127, Bratislava.
21. VRBANAC, B. (1996): *Paleostrukturalne i sedimentološke analize gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić grad u savskoj depresiji*. Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Sveučilište u Zagrebu, p. 303, Zagreb.

## 9.2. NEOBJAVLJENI RADOVI – POPIS DODATNIH PRIMJERA IZ PRAKSE

1. KRANJEC, V., HERNITZ, Z., PRELOGOVIĆ, E. & BLAŠKOVIĆ, I. (1967a): *Lokalne litofacijelne karte litostratigrafskih jedinica u Savskoj potolini: Dugo Selo, Kloštar, Šumečani, Bunjani, Ivanić Grad, Žutica, Okoli, Stružec, Mramor Brdo, Gojlo, Janja Lipa i Lipovljani*. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
2. KRANJEC, V., HERNITZ, Z., PRELOGOVIĆ, E. & BLAŠKOVIĆ, I. (1967b): *Regionalne litofacijelne karte litostratigrafskih jedinica u Savskoj potolini*. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
3. PLETIKAPIĆ, Ž. & ŠIMON, J. (1964): *Litostratigrafske jedinice Ivaničke zone*. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
4. PRELOGOVIĆ, E., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & KRANJEC, V. (1995): *Strukturalna dinamika prostora sjeverne Hrvatske*. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
5. ŠIMON, J. (1963): *Litostratigrafske jedinice polja Ivanić Grad*. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
6. ŠIMON, J. (1964): *Litostratigrafske jedinice polja Kloštar Ivanić*. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
7. ŠIMON, J. (1969a): *Litostratigrafske jedinice polja Ivanić Grad*. II. izd. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
8. ŠIMON, J. (1969b): *Litostratigrafske jedinice tercijarnog kompleksa na području Ivaničke zone*. II. izd. Fond struč. dokum. INA-Naftaplin, Zagreb.
9. Atlas proizvodnih naftnih polja u Republici Hrvatskoj, INA-Naftaplin, Istraživanje i proizvodnja nafte i plina, Sektor za razradu, svibanj 2005.