Interpretacija rasjeda analizom seizmičkih atributa u programskom paketu Petrelu na primjeru polja Stružec

Antolić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:169:634553

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

STUDIJ GEOLOGIJE

INTERPRETACIJA RASJEDA ANALIZOM SEIZMIČKIH ATRIBUTA U PROGRAMSKOM PAKETU PETRELU NA PRIMJERU POLJA STRUŽEC

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Antolić

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu Diplomski rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

ANALIZA SEIZMIČKIH ATRIBUTA NA NAFTNOM POLJU STRUŽEC U PROGRAMSKOM PAKETU PETREL

TOMISLAV ANTOLIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Diplomski rad je izrađen u programskom paketu Petel™ 2014, a cilj mu je primjena i usporedba seizmičkih atributa koji omogućavaju pouzdaniju interpretaciju rasjeda. U tu svrhu korišteni su 3D seizmički podaci koji obuhvaćaju naftno-plinsko polje Stružec, u Savskoj depresiji. U izradi rada interpretiran je horizont koji predstavlja krovinu ležišta serije A i 11 rasjeda (devet reversnih i dva normalna). Izračunato je deset seizmičkih atributa koji ističu diskontinuitete i naglašavaju prekide refleksa: kaos, varijanca, strukturno izglađivanje, odstupanje kuta nagiba, lokalni strukturni kut nagiba, maksimalna zakrivljenost, minimalna zakrivljenost, najveća pozitivna zakrivljenost, najveća negativna zakrivljenost, praćenje tragova. Svi atributi su opisani i uspoređeni kako bi se odredili oni koji najbolje ukazuju na rasjede. Nakon analize utvrđeno je kao su najbolje rezultate dali atributi kaos i varijanca gledano na seizmičkim profilima, dok je atribut praćenja tragova dao najbolje rezultate u prikazu vremenskog presjeka. Atribut odstupanje kuta nagiba dao je dobar ali vrlo neprecizan prikaz, dok s druge strane niti jedan atribut iz skupine atributa zakrivljenosti nije dao jasan prikaz. Najlošiji rezultati dobiveni su atributom lokalni strukturni kut nagiba.

Ključne riječi: 3D-seizmički podaci, rasjedi, seizmički atributi, Petrel

Diplomski rad sadrži: 46 stranica, 29 slika, 30 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Dr. Sc. Jasna Orešković, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. Sc. Jasna Orešković, izvanredni profesor RGNF

Dr. Sc. Franjo Šumanovac, redoviti profesor u trajnom zvanju, RGNF

Dr. Sc. Marko Cvetković, docent, RGNF

Datum obrane: 18.10.2019.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master Thesis

ANALYSIS OF SEISMIC ATRIBUTES USED FOR FAULT INTERPRETATION IN PETREL SOFTWARE ON THE EXAMPLE OF STRUŽEC FIELD

TOMISLAV ANTOLIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of geophysical exploration and mine engineering,

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This master's thesis was made using the Petrel™ 2014 computer program. The goal of the thesis was to analyze the application of seismic attributes on structural-tectonic interpretation of 3D seismic data at the Stružec field. Also, the top A1 horizon and 11 faults (9 reverse and 2 normal) have been interpreted. Ten seismic attributes were calculated: chaos, variance, structural smoothing, dip deviation, local structural dip, maximum curvature, minimum curvature, most positive curvature, most negative curvature and ant tracking. All of the attributes are described and compared to determine the attributes that better indicate faults. On the seismic profile the best results were given by attributes chaos and variance, while on the time-slice views the best results were given by ant tracking attribute. Dip deviation gave result which was very imprecise. All attributes from the group of curvature attributes gave results that were unclear. The poorest quality of results were achived by atribute local structural dip attribute.

Keywords: 3D-seismic data, faults, seismic attributes, Petrel.

Thesis contains: 46 pages, 29 figures, 30 references.

Original in: Croatian

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

Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Jasna Orešković, associate professor, RGNF

Reviewers: PhD Jasna Orešković, associate professor, RGNF

PhD Franjo Šumanovac, full professor, RGNF

PhD Marko Cvetković, assistant professor, RGNF

Date of defense: October 18th , 2019

Popis slika:

Slika 5. 1 Položaj interpretiranih profila u prostoru 13
Slika 5. 2 Interpretirani uzdužni profil L210 14
Slika 5. 3 Interpretirani uzdužni profil L330 15
Slika 5. 4 Interpretirani poprečni profil L3630 16
Slika 5. 5 Interpretirani poprečni profil L3630 17
Slika 5. 6 Interpretirani vremenski presjek -1600 ms 18
Slika 5. 7 Atribut kaosa na uzdužnom profilu L330 20
Slika 5. 8 Atribut kaos na poprečnom profilu L3870 21
Slika 5. 9 Atribut kaos na vremenskom presjeku -1600 s interpretiranim rasjedima na donjoj slici 22
Slika 5. 10 Atribut varijance na uzdužnom profilu L210 24
Slika 5. 11 Atribut varijance na poprečnom profilu L3870 25
Slika 5. 12 Atribut varijance na vremenskom presjeku -1600 ms s interpretiranim rasjedima na donjoj slici 26
Slika 5. 13 Uzdužni profil L330 na kojem je primijenjeno strukturno izglađivanje 27
Slika 5. 14 Atribut odstupanje kuta nagiba na poprečnom profilu L3870 29
Slika 5. 15 Atribut lokalnog strukturnog kuta nagiba na uzdužnom profilu L210 30
Slika 5. 16 Atribut lokalni strukturni kut nagiba na poprečnom profilu L3870 31
Slika 5. 17 Atribut lokalni strukturni kut nagiba na poprečnom profilu L3870 33
Slika 5. 18 Atribut minimalne zakrivljenosti na uzdužnom profilu L330 34
Slika 5. 19 Atribut minimalne zakrivljenosti na poprečnom profilu L3870 35
Slika 5. 20 Atribut najveća pozitivna zakrivljenost na poprečnom profilu L3870 36
Slika 5. 21 Atribut najveća negativna zakrivljenost na poprečnom profilu L3870 37
Slika 5. 22 Atribut praćenje tragova na uzdužnom profilu L330 39
Slika 5. 23 Atribut praćenja tragova na poprečnom profilu L3870 40
Slika 5. 24 Atribut praćenja tragova na vremenskom presjeku -1600 ms s interpretiranim rasjedima na donjoj slici 41
Slika 5. 25 Usporedan prikaz atributa ‚(a) kaosa, (b) varijance, (c) maksimalne zakrivljenosti i (d) praćenja tragova na vremenskom presjeku -1600 ms 42

Sadržaj

1. Uvod ... 1
2. Geografski i geološki prikaz područja naftno-plinskog polja Stružec ... 2
2.1. Geografski smještaj naftno-plinskog polja Stružec ... 2
2.2. Geološka građa užeg i šireg područja ... 3
2.2.1. Panonski bazenski sustav ... 3
2.2.2. Savska depresija ... 4
2.2.3. Stratigrafski odnosi polja Stružec ... 6
2.2.4. Tektonski odnosi polja Stružec ... 9
3. 3D-seizmička mjerenja ... 10
4. Seizmički atributi ... 11
5. Interpretacija seizmičkih podataka i seizmičkih atributa na polju Stružec ... 13
5.1. Kaos ... 19
5.2. Varijanca ... 23
5.3. Strukturno izglađivanje ... 27
5.4. Odstupanje kuta nagiba ... 28
5.5. Lokalni strukturni kut nagiba ... 30
5.6. Atributi zakrivljenosti ... 32
5.6.1. Maksimalna zakrivljenost ... 32
5.6.2. Minimalna zakrivljenost ... 34
5.6.3. Najveća pozitivna zakrivljenost ... 35
5.6.4. Najveća negativna zakrivljenost ... 37
5.7. Atribut praćenja tragova ... 38
6. Zaključak ... 43
7. Literatura ... 44

1. Uvod

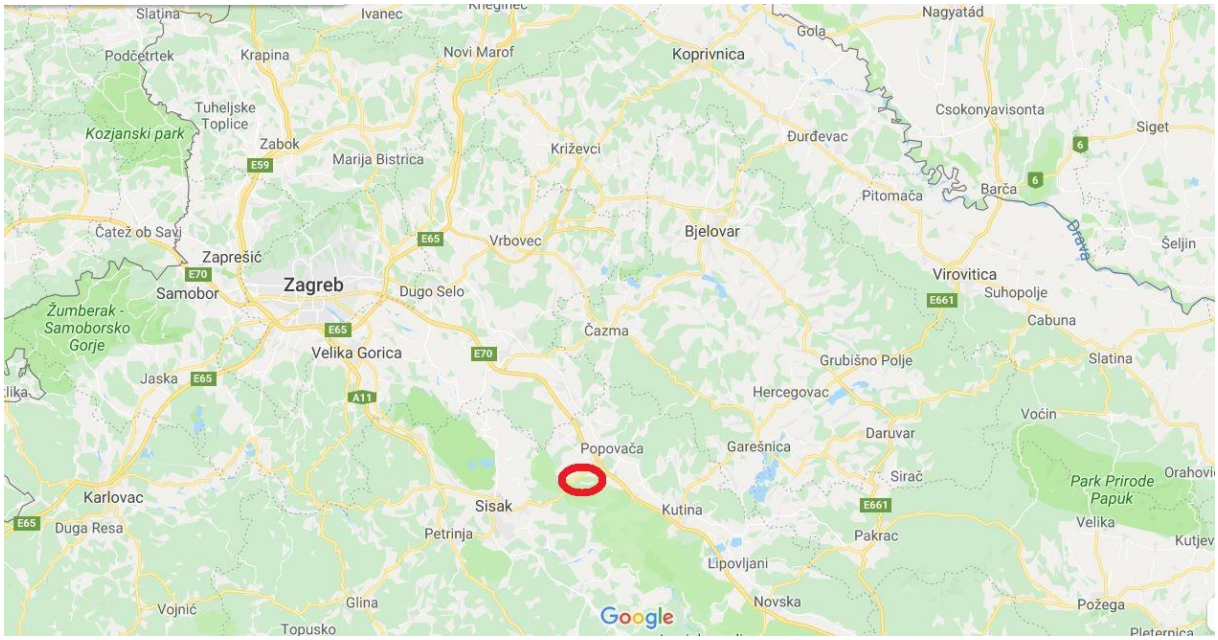
Diplomski rad vlastita je interpretacija seizmičkih podataka na naftnom polju Stružec u programskom paketu Petrel™ 2014. Naftno-plinsko polje Stružec nalazi se unutar Savske depresije, a glavna ležišta ugljikovodika nalaze se u neogenskim sedimentima. Glavna struktura polja Stružec je izdužena rasjednuta antiklinala koja je ispresijecana s više reversnih i normalnih rasjeda (Dević et al., 1976). Zadatak ovog diplomskog rada bio je interpretirati seizmičke i bušotinske podatke na temelju čega je interpretiran horizont koji odgovara krovini serije ležišta A. Prilikom strukturne interpretacije, osobito interpretacije rasjeda testiran je niz seizmičkih atributa koji su trebali omogućiti pouzdaniju interpretaciju rasjeda. Seizmički atributi su matematička transformacija klasičnih seizmičkih prikaza u drugi oblik čime se omogućuje drugačiji pogled na interpretirane seizmičke profile. Rasjedi su ručno interpretirani na temelju prekida kontinuiteta refleksa, a pomoću seizmičkih atributa poboljšava se prikaz te se prekidi mogu jasnije uočiti.

U radu je korišteno deset volumenskih seizmičkih atributa, te su izdvojeni karakteristični profili i vremenski presjeci. Korišteni su atributi: kaos, varijanca, strukturno zaravnavanje, odstupanje kuta nagiba, lokalni strukturni kut nagiba, maksimalna zakrivljenost, minimalna zakrivljenost, najveća pozitivna zakrivljenost, najveća negativna zakrivljenost i praćenje tragova.

2. Geografski i geološki prikaz područja naftno-plinskog polja Stružec

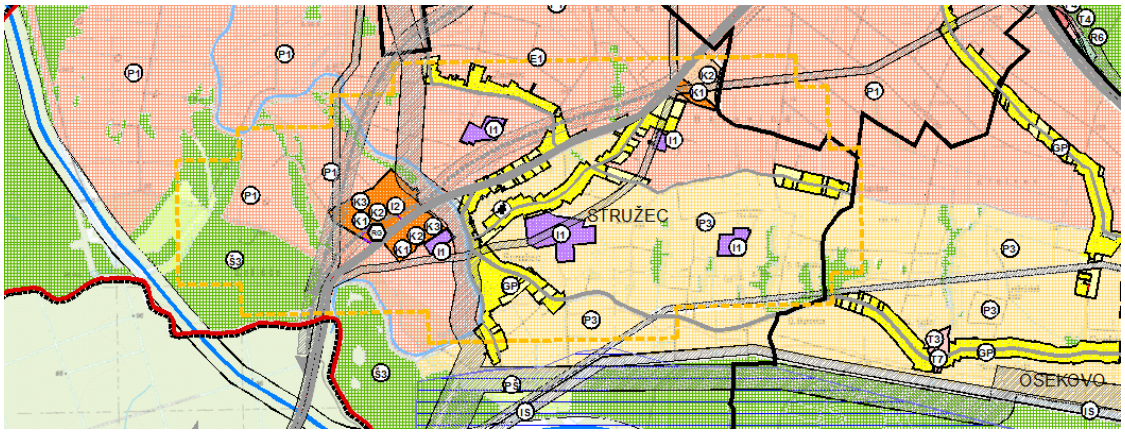
2.1. Geografski smještaj naftno-plinskog polja Stružec

Naftno-plinsko polje Stružec nalazi se u neposrednoj blizini sela Stružec i grada Popavače u Sisačko-moslavačkoj županiji (slika 2.1 i slika 2.2), a zauzima površinu od 10 km^2. Naftno-plinsko polje nalazi se 7 km jugozapadno od Popovače odnosno 55 km jugoistočno od Zagreba. Polje Stružec ima pogodan geografski položaj s obzirom na autocestu A3 (Bregana-Lipovac) od koje je udaljeno približno 4 km te na željezničku prugu Zagreb-Vinkovci-Tovarnik od koje je udaljeno približno 5 km. Naftno-plinsko polje nalazi se blizu magistralnog naftovoda.



Slika 2. 1 Geografski položaj naftno-plinskog polja Stružec

Pojedini dijelovi polja morfološki vrlo su različiti. Tako se na istočnom djelu nalazi uzvišeni brežuljkasti teren s nadmorskim visinama između 134 i 138 m, dok se na istočnom djelu nalazi ravnica s nadmorskom visinom oko 96 m. Istočni dio polja je pod utjecajem rijeke Lonje te potoka Obžev koji utječe u Lonju. Potok proteče zapadnim djelom polja, a sama rijeka Lonja teče južno od polja.



Slika 2. 2 Eksploatacijsko polje Stružec (Prostorni plan grada Popovače, 2002)

2.2. Geološka građa užeg i šireg područja

Polje Stružec nalazi se unutar strukture Osekovo koja pripada sjeverozapadnom djelu Savske depresije, Panonskog bazenskog sustava, a ograničena je masivima Zrinske Gore, Vukomeričkih Gorica, Samoborske i Moslavačke gore te Medvednice (slika 2.1). Gore koje okružuju polje različitog su sastava i starosti izgrađene od magmatskih, metamorfnih i sedimentnih stijena. Između gora na pred-neogensku podlogu transgresivno naliježu neogenski sedimenti, u kojima se nalaze glavna ležišta ugljikovodika, čija debljina iznosi preko 1000 m (Dević et al., 1976). Glavna ležišta nalaze se unutar formacija Kloštar Ivanić i Ivanić Grad, a manja ležišta nalaze se unutar formacije Široko Polje (slika 2.7).

2.2.1. Panonski bazenski sustav

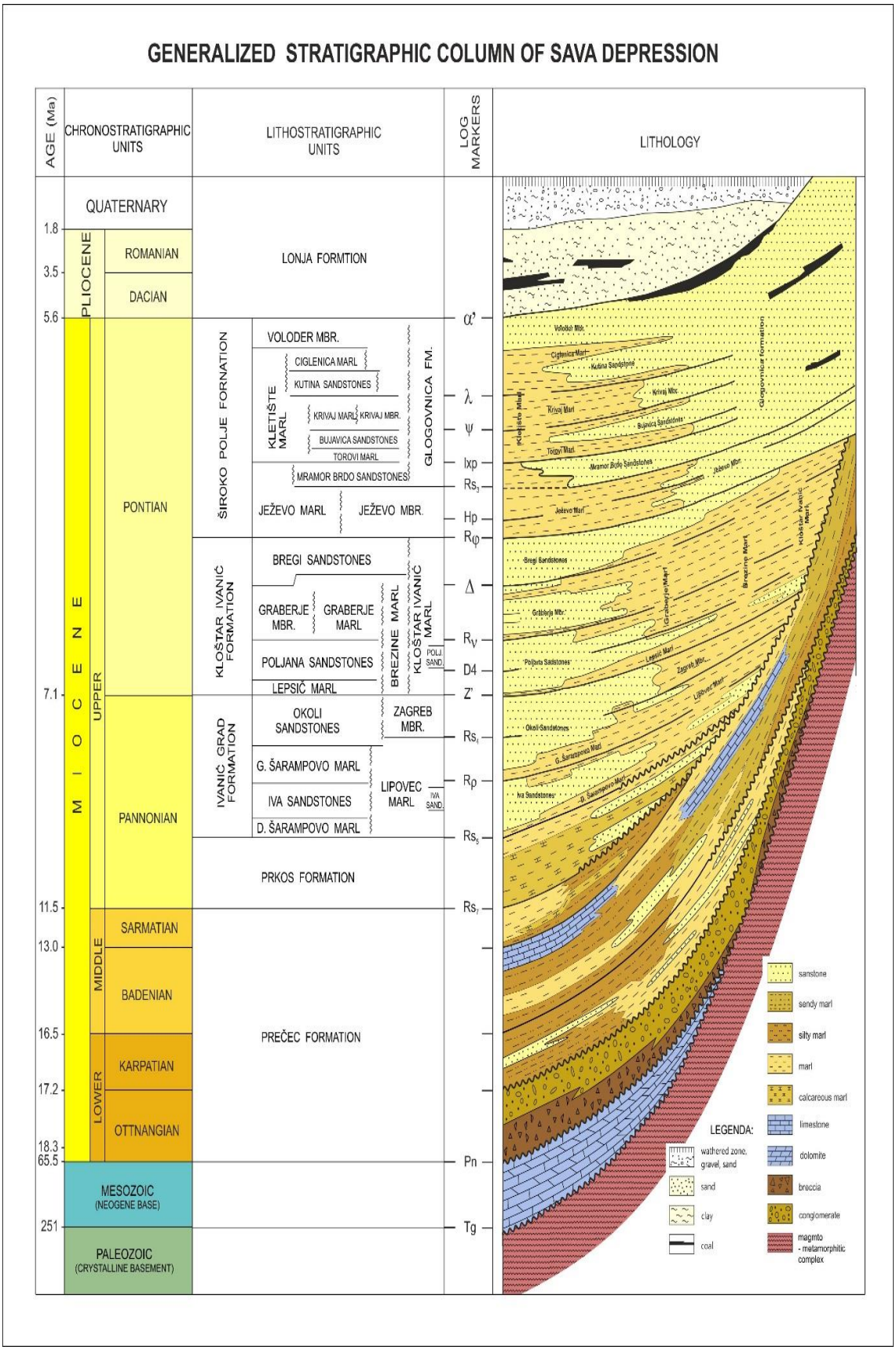
Panonski bazenski sustav predstavlja područje između stare Europske ploče sa sjeverne strane, Mezijske ploče na istoku, Alpa sa zapadne strane te Dinarida sa južne. Panonski bazenski sustav spada u skupinu zalučnih bazena (eng. back-arc basins), čije je stvaranje započelo u otnangu podvlačenjem Euroazijske ploče pod Afričku ploču (Velić, 2007). Republici Hrvatskoj pripada dio bazenskog sustava koji je omeđen rijekama Savom, Dravom i Kupom, a sastoji se od četiri veće potoline Savske, Dravske, Murske i Slavonsko-Srijemske, čiji je postanak vezan uz alpsku orogenezu te podvlačenje Apulijske ploče pod Dinaride (Velić, 2007).

Podloga Panonskog bazena sačinjena od magmatsko-metamorfnih kompleksa paleozojske starosti te od sedimentnih kompleksa mezozojske starosti. Ispunu bazena čine neogenske te plio-kvartarne naslage a lokalno utvrđene su i neogenske vulkanske i metamorfne stijene (Velić, 2007). Panonski bazen nastao je sinsedimetnacijskim riftovanjem. Početkom miocena započinje ekstenzijska faza u kojoj dolazi do izdizanja gornjeg plašta pri čemu se stanjuje kontinentalna kora te ona se ona počinje širiti pucati i rasjedati u pripovršinskom dijelu (Horvath, 1993). Sedimentacija u neogenu odvijala se sukcesivno u tri taložna „magaciklusa" kao posljedica tektonskih promjena evoluciji Panonskog bazena, odnosno ekstenzije a potom i kompresije te promjena lokalnog karaktera kao promjena sedimentacije, spuštanja bazenskog dna i klimatskih promjena (Velić et al., 2002; Saftić et al., 2003).

2.2.2. Savska depresija

U donjem miocenu započelo je oblikovanje Savske depresije (Saftić et al., 2003), a marinski razvoj depresije u srednjem miocenu (baden) (Čorić et al., 2009). U prvom „megaciklusu", u otnangu i karpatu, u Savskoj depresiji sporadično su se taložili jezerski sedimenti, a potom se u badenu nastavlja marinsko taloženje u Parathetysu. Tijekom sarmata prekida se veza između Parathetysa i Thetysa. Nakon tog događaja raste salinitet mora, te se povećava utjecaj kopna da bi u kasnom panonu, pliocenu i kvartaru zbog dotoka slatkovodnih tekućica nastalo slatkovodno jezero, odnosno Panonsko jezero, koje je reducirano tijekom pleistocena i holocena. U drugom „megaciklusu" talože se formacije Ivanić Grad, Kloštar Ivanić i Široko polje. U trećem „megaciklusu" talože se naslage Lonja formacije (slika 2.6).

U području Savske depresije prisutan izrazit utjecaj tektonike a, prevladava radijalna tektonika (Velić, 1980). Najčešće se javljaju strukture poput horst-antiklinale, graba-antiklinale, strukturnih noseva, terasa i strukturnih sedla. Rasjedi su najčešće normalni s vrlo strmim paraklazama, a mogu se grupirati u tri skupine, ovisno o pružanju rasjeda: uzdužni (SZ-JI), poprečni (JZ-SI), na pružanje depresije te rasjedi pružanja sjever-jug (Velić, 1980).

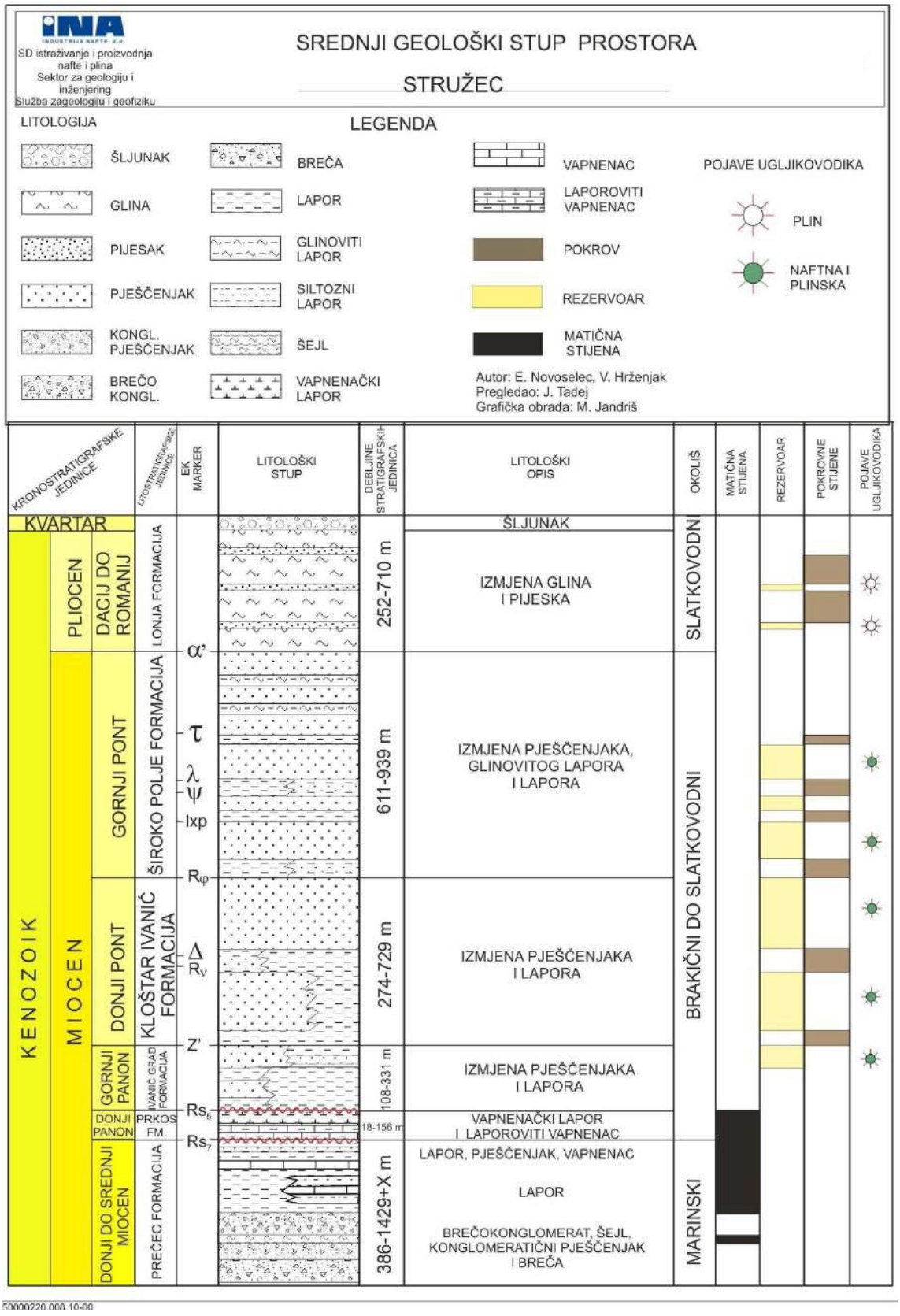


Slika 2. 3 Generalized Stratigraphic column of Sava depression (prema Šimon, 1980)

2.2.3. Stratigrafski odnosi polja Stružec

Na području naftnog polja Stružec određeno je šest formacija: Prečec, Prkos, Ivanić Grad, Kloštar Ivanić, Široko Polje i Lonja (slika 2.7). Slijed naslaga kronostratigrafskog raspona od donjeg do srednjeg miocena odgovara formaciji Prečec. U donjem djelu formacije prevladavaju krupnozrnati sedimenti, poglavito polimiktne čvrsto vezane breče i konglomerati. Uz krupnozrnate sedimente nalaze se proslojci lapora i šejlova. U gornjem djelu formacije dominiraju sitnozrnati sedimenti poput lapora obogaćenih vapnenačkom komponentom. Na osnovu presjeka sitnih planktonskih foraminifera određena je badenska starost sedimenata taloženih u dubljem djelu bazena (Pikija et al., 1992). Diskordantno na naslage formacije Prečec naliježu naslage formacije Prkos (donji panon), a odijeljene su elektrokarotažnim markerom Rs_7. Naslage karakterizira izmjena laporovitih vapnenaca i vapnenačkih lapora kojima generalno pada udio kalcitne komponente idući od starijih prema mlađim naslagama, a taložene su u slatkovodno-brakičnoj sredini. U južnom dijelu polja ove naslage isklinjavaju. Elektorkarotažnim markerom Rs_5 formacija Prkos odijeljena je od formacije Ivanić Grad. U formaciju Ivanić Grad spadaju gornjopanonske naslage lapora i pjeskovitih lapora koji su izdvojeni pod nazivom Lipovec lapori. U višim dijelovima formacije izdvojeni su pješčenjaci pod nazivom Okoli pješčenjaci. Sedimentacija se odvijala u slatkovodno-brakičnoj sredini, na rubu sedimentacijskog bazena. Elektrokarotažnim markerom Z' od formacije Ivanić Grad odijeljene su naslage donjeg ponta koje pripadaju formaciji Kloštar Ivanić, a koja je u svom donjem dijelu karakterizirana izmjenom lapora, pjeskovitih lapora, laporovitih pješčenjaka i pješčenjaka koji čine litostratigrafske jedinice Lepsički lapori, Poljana pješčenjaci i Graberski lapori. U gornjim dijelovima formacije izdvojeni su pješčenjaci pod nazivom Bregi pješčenjaci. Formacija Široko Polje koja obuhvaća sedimente gornjeg ponta odijeljena je elektrokarotažnim markerom $R\phi$ od formacije Kloštar Ivanić. U donjem djelu formacije prevladavaju lapori s proslojcima pješčenjaka koji su izdvojeni u jedinicu Ježevo član. U krovini lapora nalaze se pješčenjaci s proslojcima lapora i lapori koji su izdvojeni u jedinice Mramor brdo pješčenjaci i Torovi pješčenjaci. U srednjem dijelu formacije nalaze se pješčenjaci koji su prepoznati kao Bujavica pješčenjaci i lapori s proslojcima pješčenjaka koji se u bušotinama izdvajaju kao Krivaj član. U gornjem dijelu formacije prisutni su lapori sa sniženom karbonatnom komponentom, pa se uz lapore pojavljuju i glinoviti lapori. Uz lapore u ovom djelu formacije pojavljuju se i pješčenjaci i pijesci te zajedno čine litostratigrafsku jedinicu Kutinski

pješčenjaci, Ciglenički lapor i Voloder član. Sedimenti ove formacije taloženi su u slatkovodno-brakičnoj sredini. Elektorkarotažnim markerom α' od formacije Široko polje odijeljena je formacija Lonja. Ona obuhvaća naslage približne pliocensko-pleistocensko-holocenske starosti, odnosno između elektrokarotažnog markera α' i površine terena. Unutar ove formacije najznačajniji litološki članovi su raznobojne, plastične gline unutar kojih se nalaze leće i slojevi pijeska, šljunka te pješčenjaci, isto tako primijećene su i pojave ugljena. Sedimenti ove formacije taloženi su u slatkovodnim uvjetima (Dević et al.,1976).



Slika 2. 4 Generalizirani geološki stup naftnog polja Stružec (Krklec et al., 2013)

2.2.4. Tektonski odnosi polja Stružec

Strukturu Osekovo čini antiklinala čija je dulja os, pružanja istok–zapad, duljine 6 km, a poprečna os duljine 1,5 km. Antiklinala je presječena s nekoliko uzdužnih reversnih te nekoliko poprečnih normalnih rasjeda u 11 tektonskih blokova, od kojih svaki blok čini zasebnu hidrodinamsku cjelinu (Dević et al., 1976). Pretpostavlja se kao je antiklinala oblikovana djelovanjem kompresije u pliocenu i kvartaru istovremeno sa stvaranjem gornjih paludinskih naslaga. Te je postala pogodna strukturna zamka za ugljikovodike. Kolektore čine pijesci i pješčenjaci, odnosno sitnozrnati do srednjezrnati pješčenjaci sastavljeni uglavnom od kvarca i tinjčastih minerala s primjesama silta i gline. Ugljikovodici su se akumulirali u ležištu prije nego što je antiklinala rasjednuta, a pretpostavlja se kako se tektonska aktivnost odvijala u pleistocenu (Dević et al., 1978). U središnjem te na zapadnom dijelu polja tektonika je manje aktivna te su ta područja relativno mirna, a normalni rasjedi ističu se skokovima do 110 m (na zapadnom dijelu) i skokovima do 130 m (u središnjem dijelu). S druge strane istočni dio polja karakteriziran je aktivnom tektonikom te je brojnim rasjedima ispresijecan i razlomljen u manje strukturne blokove. Istraživanjima je potvrđeno kako rasjedi predstavljaju barijere između strukturnih blokova (Dević et al., 1978).

Prema Brodu ležišta serije A i b spadaju u grupu slojevitih nadsvođenih ležišta koja su ekranizirana tektonski dok su ležišta p_2-p_9 ekranizirana tektonsko-litološki. Prema Levorsenu pripadaju kombiniranim, strukturno-stratigrafskim zamkama sa rubnim kontaktom nafta-voda.

S obzirom na višebrojnost ležišta nafte i plina njihova razrada i pridobivanje podijeljeno je u tri eksploatacijska objekta. Prvi objekt čine ležišta p_9-p_2 (p_9, p_8, p_7, p_{6d}, p_5, p_5', p_4, p_{3a}, p_{3x}, p_2), drugi eksploatacijski objekt čine ležišta p_1, P_1, P_2, i A_1-A_7 (Dević et al., 1976). Treći eksploatacijski objekt sačinjen je od slijeda ležišta a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 i a_6' iz središnjeg dijela a serije te ležišta b_1, b_2, b_3, b_4, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12} u b seriji (Dević et al., 1978). Najveći dio rezervi nafte na polju nalazi se u ležištima p_1, P_1 i P_2 te u ležištima A serije (A_1-A_7).

Na polju Stružec postignut je prosječni iscrpak od 43%. Nafta je lagana, parafinskog sastava i gustoće 820 do 830 kg/m^3 (Velić, 2007).

3. 3D-seizmička mjerenja

Temeljna geofizička metoda u istraživanjima ugljikovodika već duže vrijeme je refleksijska seizmika, i to zbog svoje visoke razlučivosti koju je moguće postići i na dubinama od nekoliko tisuća metara. Refleksijska seizmika se najčešće koristi u naftnoj geologiji za otkrivanje struktura povoljnih za nakupljanje nafte i plina na dubinama od nekoliko stotina do nekoliko tisuća metara. Seizmička mjerenja mogu se izvesti kao 2D ili 3D mjerenja. 2D mjerenja se vrše linijski tako da su izvor i prijemnici poredani u liniji po profilu, dok se kod 3D mjerenja linija s prijemnicima postavlja okomito na liniju s izvorom energije.

Refleksijska mjerenja već se dulje vrijeme izvode metodom višestrukog pokrivanja, metodom zajedničke dubinske točke čiji se podaci moraju dodatno korigirati. Najbitnije korekcije su statička i dinamička korekcija, a uz njih se prilikom obrade izvode i druge korekcije no one su većinom vezane uz dinamičku korekciju (Šumanovac, 2012). Statička korekcija u prvom redu namijenjena je otklanjanju utjecaja neravnog terena na kojem su postavljeni geofoni.

Dinamička korekcija za razliku od statičke ovisi o vremenu putovanja za svaki pojedinačni refleks. Naziva se još i NMO (eng. Normal Move Out), a predstavlja povećanje vremena putovanja s udaljenosti od točke paljenja. NMO je hiperbolična funkcija, a što je reflektor dublje to će krivulja biti blaže zakrivljena. Dinamička korekcija osim za prigušenije šuma može se koristiti također za smanjenje djelovanja višestrukih refleksa koji nastaju višestrukim odbijanjem između reflektora. Višestruki refleks može imati vrijeme putovanja koje odgovara vremenu putovanja „običnog“ refleksa, ali im se brzine značajno razlikuju pa se nakon dinamičke korekcije njihove amplitude prigušuju (Šumanovac, 2012).

3D-seizmički podaci na polju Stružec snimljeni su krajem 1989. godine, a snimila ih je mađarska tvrtka GES. Mjerenja su izvedena kao produžetak na 3D-seizmiku snimljenu u sjeverozapadnom dijelu Savske depresije kod ranijih istraživanja. Seizmički podaci snimljeni su s preklopom od 25 km^2, na lokaciji otprilike 20 km sjeverno od Siska i 40 km istočno od Zagreba. Za izvor energije korišteni su vibrator i dinamit u omjeru 89% prema 11%. Kvaliteta podataka prilično je loša, poglavito u Moslavina bloku gdje je zbog malog broja tragova postignuto slabo prekrivanje ionako tektonski vrlo poremećenog područja. (Krklec et al., 2013)

4. Seizmički atributi

Seizmički atributi koriste se za transformaciju klasičnih seizmičkih prikaza iz jednog oblika u drugi kako bi se omogućila analiza podataka na novim prikazima što najčešće rezultira zapažanjem geoloških značajki koje se nisu mogle prepoznati na klasičnim seizmičkim prikazima (Taner et al., 1979). Seizmički atributi omogućavaju jednostavnije i pouzdanije praćenje i interpretaciju rasjeda te pomaka po njima. Osim za interpretaciju rasjeda seizmički atributi koriste se također za definiranje regionalnih odnosa i odnosa između taložnih jedinica, a u razradi ležišta koriste se za definiranje ležišnih karakteristika poput zasićenja, promjena u kvaliteti ležišta i utvrđivanja bočnih granica ležišta (Šumanovac, 2012). Razvoj seizmičkih atributa započeo je sedamdesetih godina definiranjem trenutne amplitude i trenutne faze na cijelom 3D-volumenu podataka.

Seizmički atributi temelje se na matematičkom izražavanju seizmičkih tragova kao kompleksne funkcije koja sadrži realnu i imaginarnu komponentu. Realna komponenta je snimljeni seizmički trag, a imaginarna komponenta se izračunava iz realne pomoću Hilbertove transformacije (Orešković, 2006). Razdvajanjem seizmičkog traga na njegove sastavne komponente (amplituda, faza) dobivaju se dodatni podaci koji pomažu u interpretaciji. Izračun seizmičkih atributa temelji se na teoriji digitalnog signala (Schlumberger, 2007).

Seizmički atributi najčešće se dijele u dvije skupine (Taner et al.,1994):

- fizički atributi,
- geometrijski atributi ili konfiguracija refleksa.

Pri izradi ovog diplomskog rada korišten programski paket Petrel^{TM} 2014 u kojem je podjela seizmičkih atributa sljedeća (Schlumberger, 2007):

- atributi kompleksnog seizmičkog traga,
- strukturni atributi,
- stratigrafski atributi,
- površinski atributi.

U skupinu atributa kompleksnog seizmičkog traga spadaju atribut trenutne amplitude, trenutne frekvencije, trenutne faze, kosinus trenutne faze i dr. Ovi atributi najčešće se koriste za interpretaciju litoloških i rezervoarskih značajki (Schlumberger, 2007).

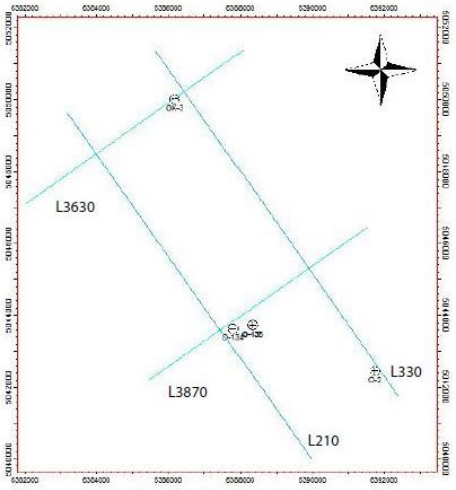
U skupinu strukturnih atributa spadaju varijanca, atribut prekida tragova, lokalni strukturni kut nagiba, odstupanje kuta nagiba, strukturno zaravnavanje i dr. Atributi iz ove skupine daju dobre prikaze kanala, grebena i diskontinuiteta (Schlumberger, 2007).

U skupinu stratigrafskih atributa spadaju kaos, relativna akustična impedancija, a koriste se za interpretaciju rasjeda i diskontinuiteta te kanalnih ispuna i grebenskih struktura (Schlumberger, 2007).

Skupina površinskih atributa dijeli se na podskupine amplitudnih atributa, statističkih atributa, atributa oblika signala, atributa mjerljivog intervala. Izračunavaju se unutar određenog intervala koji mora biti uz pojedinačni horizont ili između dva horizonta ili u proizvoljnom vremenskom prozoru (Schlumberger, 2007).

5. Interpretacija seizmičkih podataka i seizmičkih atributa na polju Stružec

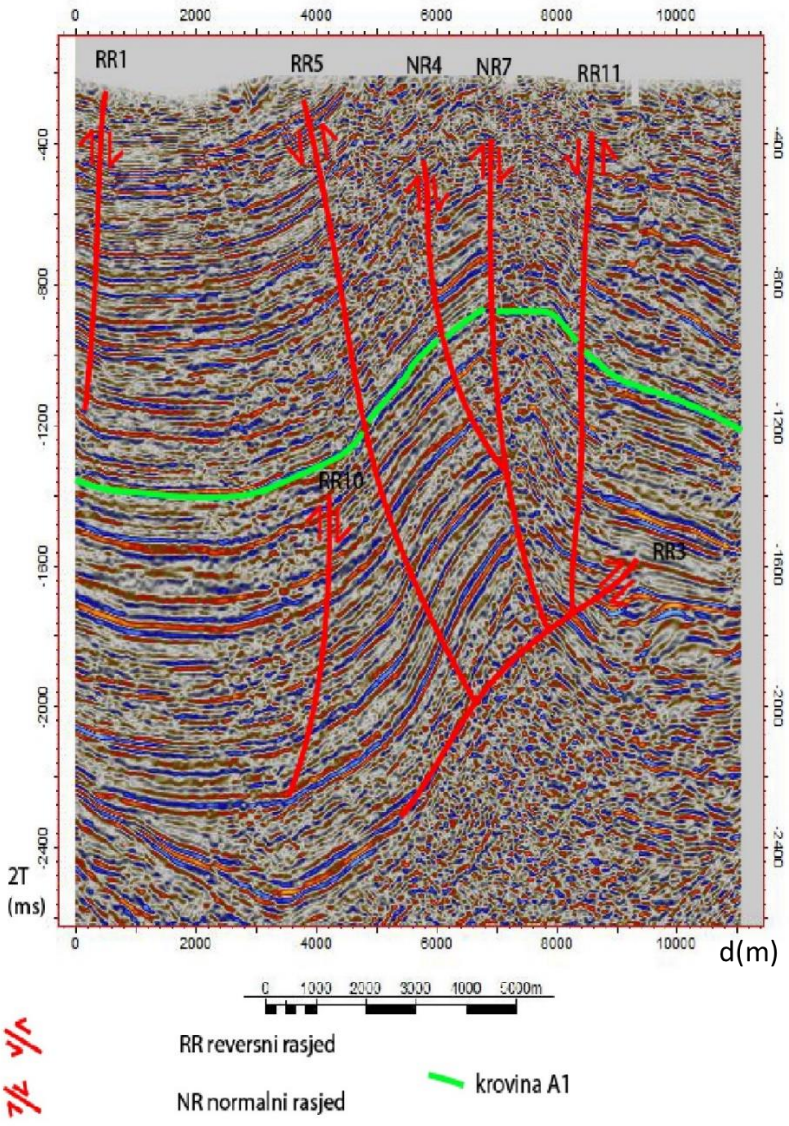
Prilikom izrade ovog rada napravljena je interpretacija 3D seizmičkih podataka u programskom paketu Petrel ™ 2014. Interpretiran je svaki 10-i uzdužni (eng. Inline) i svaki 10-i poprečni profil (eng. Xline). Uzdužni (eng. Inline) profili postavljeni su u smjeru geofonskih linija, a poprečni (eng. Xline) profili postavljeni su okomito na gofonsku liniju, takav način postavljanja može, ali i ne mora biti uvjetovan položajem struktura. Interpretacijom je utvrđeno 11 rasjeda od čega 9 reversnih i 2 normalna. Također na temelju podataka dobivenih iz bušotina interpretiran je horizont koji odgovara krovini ležišta A1, kako bi se dobila predodžba o pružanju strukture. Za prikaz atributa u ovom radu izabrani su karakteristični uzdužni profili L210 i L330 te poprečni profili L3630 i L3870 (slika 5.1) atributi su prikazivani na po jednom uzdužnom i poprečnom profilu ovisno o tome na kojem se bolje mogu uočiti opisivana svojstva atributa, te na horizontalnim vremenskim presjecima. (eng. Time-slice).



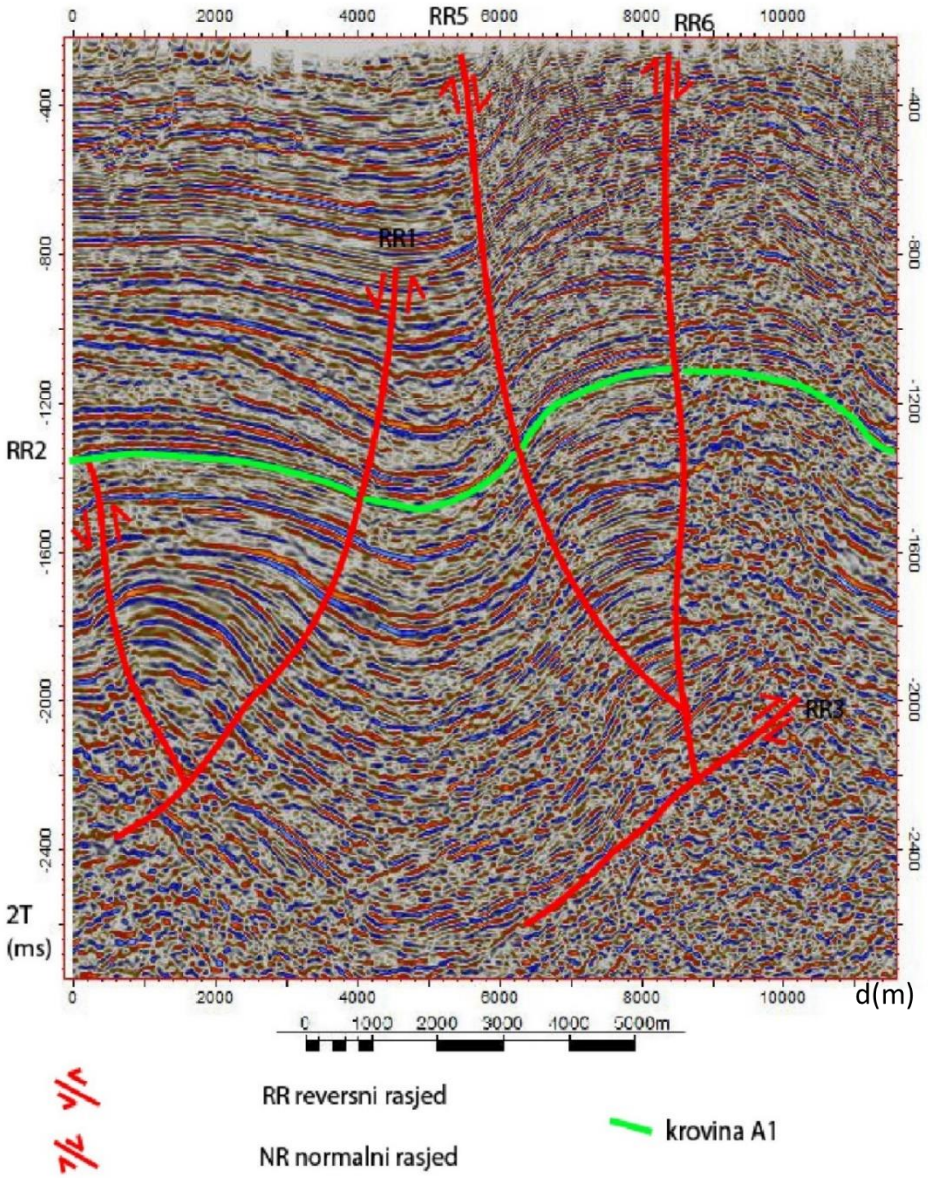
Slika 5. 1 Položaj interpretiranih profila u prostoru

Rasjedi su interpretirani ručno, na temelju prekida seizmičkih tragova, jer se na taj način dobivao bolji, precizniji rezultat u odnosu na automatsko praćenje rasjeda. U prvoj fazi interpretacije korišten je klasični prikaz, bez uporabe seizmičkih atributa. Horizont koji je interpretiran odabran je na temelju podataka iz bušotine, a predstavlja krovinu po ležištu A1. Kolektor A1 čine slojevi naizmjenično uslojenog sitno do srednjezrnatog pješčenjaka, lapora i prijelaznih varijeteta pješčenjak-lapor, debljine 15 metara (Dević et al., 1976).

Na slikama 5.2 i 5.3 prikazana su dva uzdužna seizmička profila. Na uzdužnom profilu označenom s L210 uočena su četiri reversna i dva normalna rasjeda, također vidljiva je antiklinala koja je ispresijecana rasjedima, skokovi rasjeda iznose oko 20 ms kod normalnih rasjeda te oko 30 ms kod reversnih rasjeda. Na uzdužnom profilu L330 uočava se pet interpretiranih reversnih rasjeda koji također imaju slične skokove. Može se primijetiti kako antiklinala, čija je dulja os pružanja istok-zapad, odnosno poprečno na pružanje profila, tone gledajući od profila L210 prema profilu L330, a njezina krila postaju sve blaža. S druge strane, na sjeverozapadnom dijelu polja Stružec interpretirana su dva reversna rasjeda. Seizmički horizont koji odgovara krovini ležišta A1 ispresijecan je s devet rasjeda, u dubinskom intervalu (2T) od -1445 ms do -875 ms.



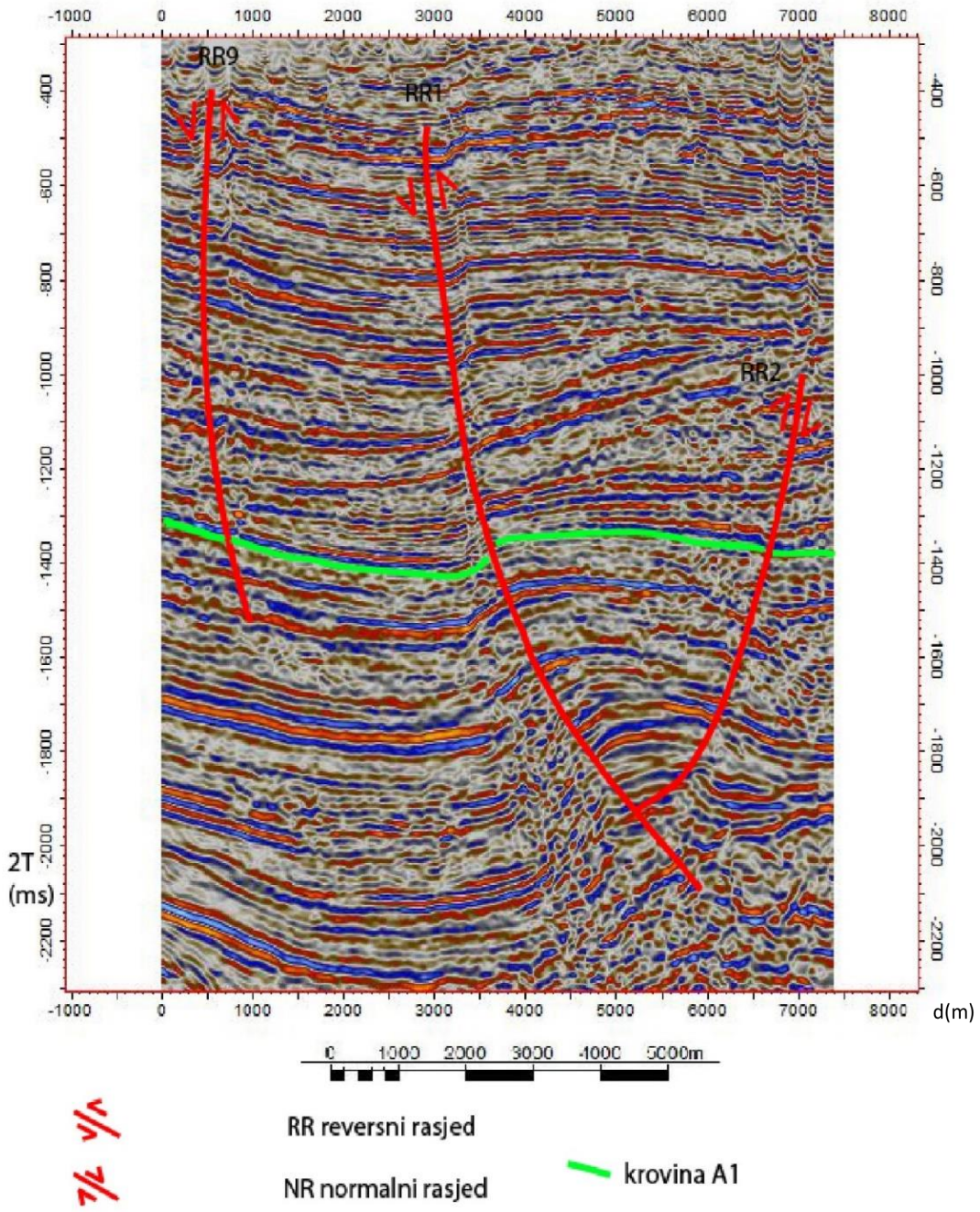
Slika 5. 2 Interpretirani uzdužni profil L210



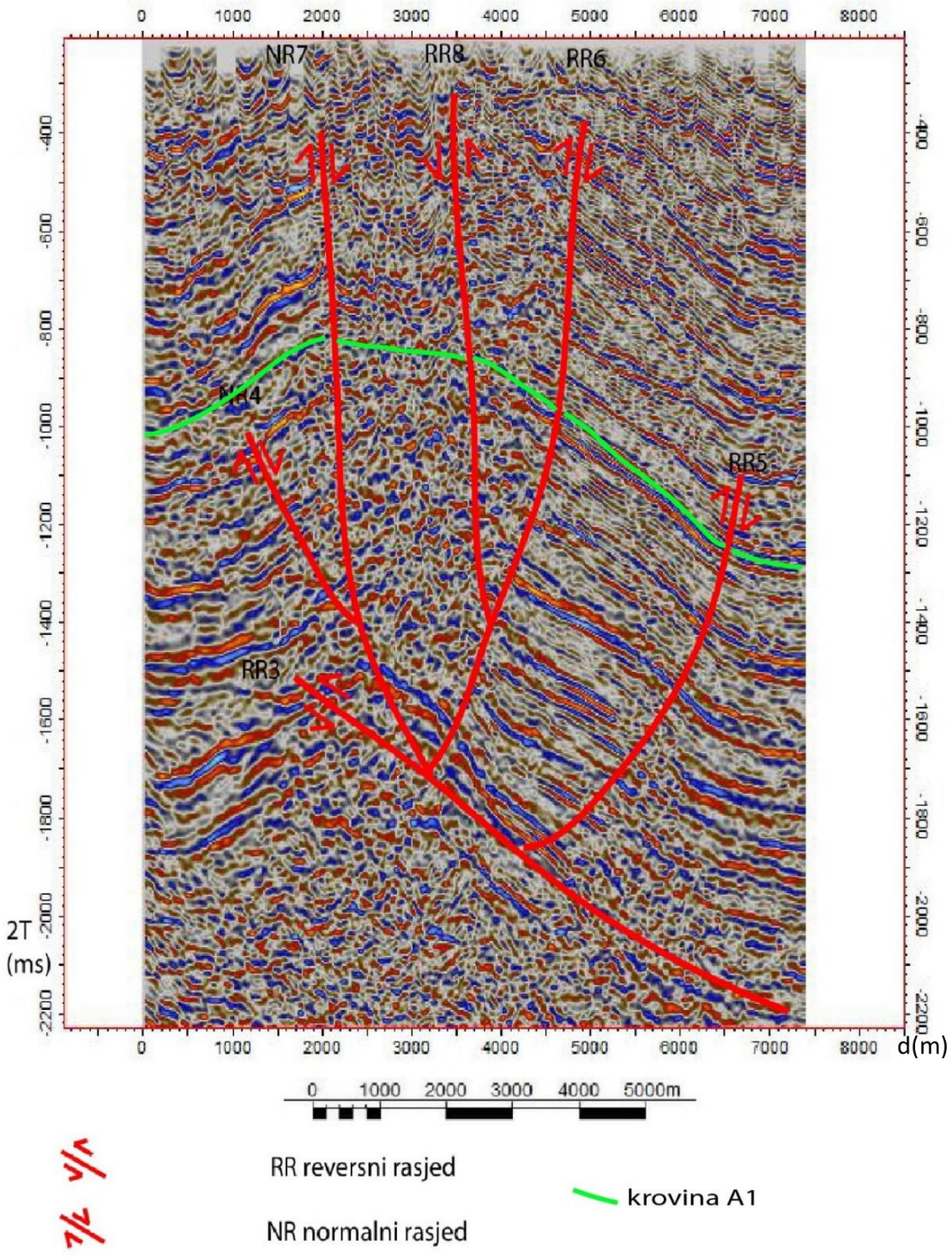
Slika 5. 3 Interpretirani uzdužni profil L330

Na slikama 5.4 i 5.5 prikazana su dva poprečna profila L3630 i L3870 pružanja jugozapad-sjeveroistok, na profilu L3630 uočena su 3 reversna rasjeda, a na profilu L3870 uočeno je 5 reversnih i 1 normalan rasjed. Tjeme antiklinale ispresijecano je rasjedima. Tektonska poremećenost je izraženija na profilu L3870, na kojem se uočavaju glavni rasjedi označeni s RR1 i RR2. Može se primijetiti kako antiklinala postaje sve blaža idući od profila L3630 prema profilu L3870. Na slici 5.6 prikazan je vremenski presjek za dvostruko vrijeme

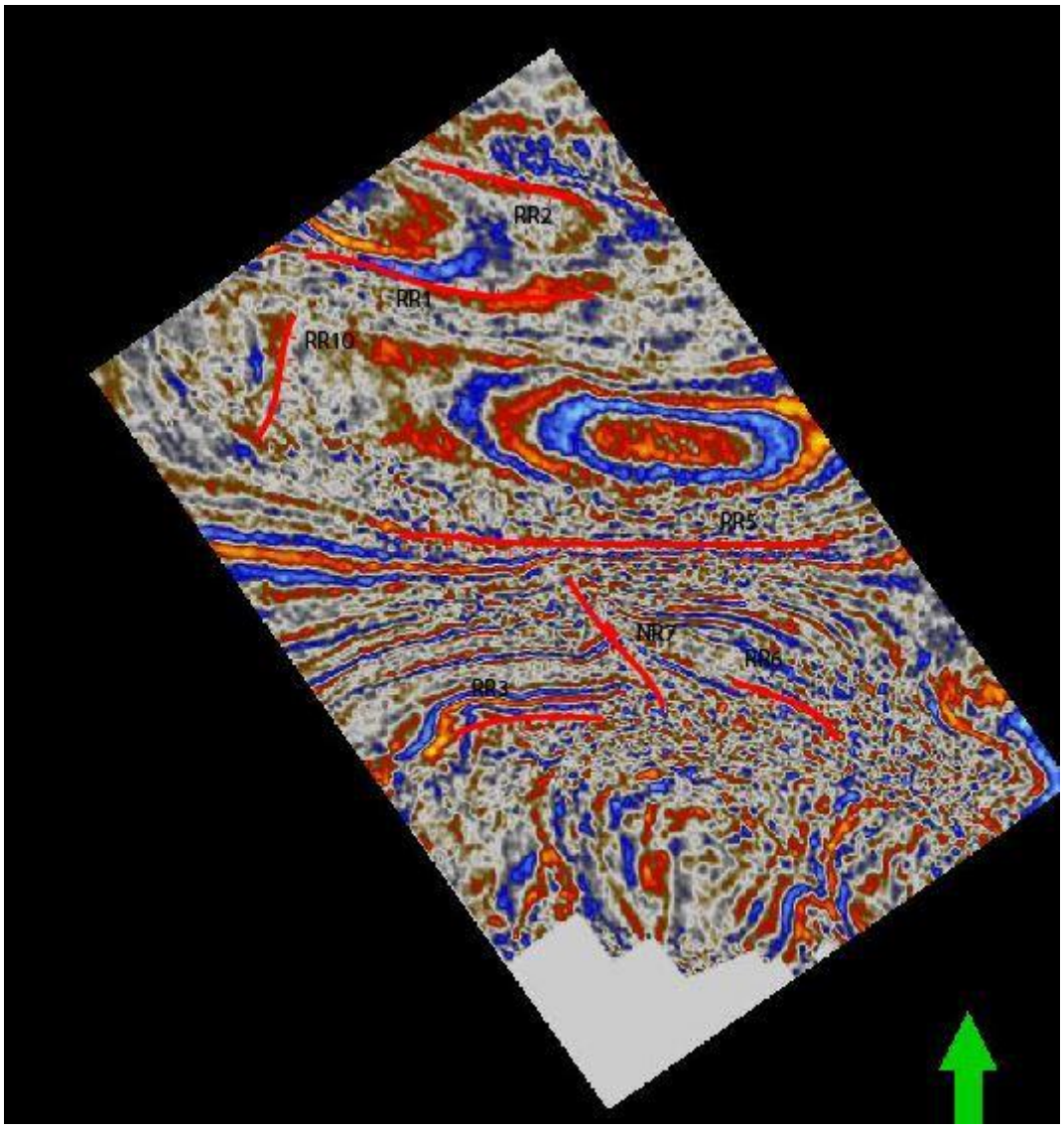
putovanja vala od 1600 ms, na kojem se također mogu jasno prepoznati dva glavna rasjeda RR1 i RR2 te rasjedi RR3, RR5, RR6, NR7, RR10 kao i antiklinala.



Slika 5. 4 Interpretirani poprečni profil L3630



Slika 5. 5 Interpretirani poprečni profil L3630

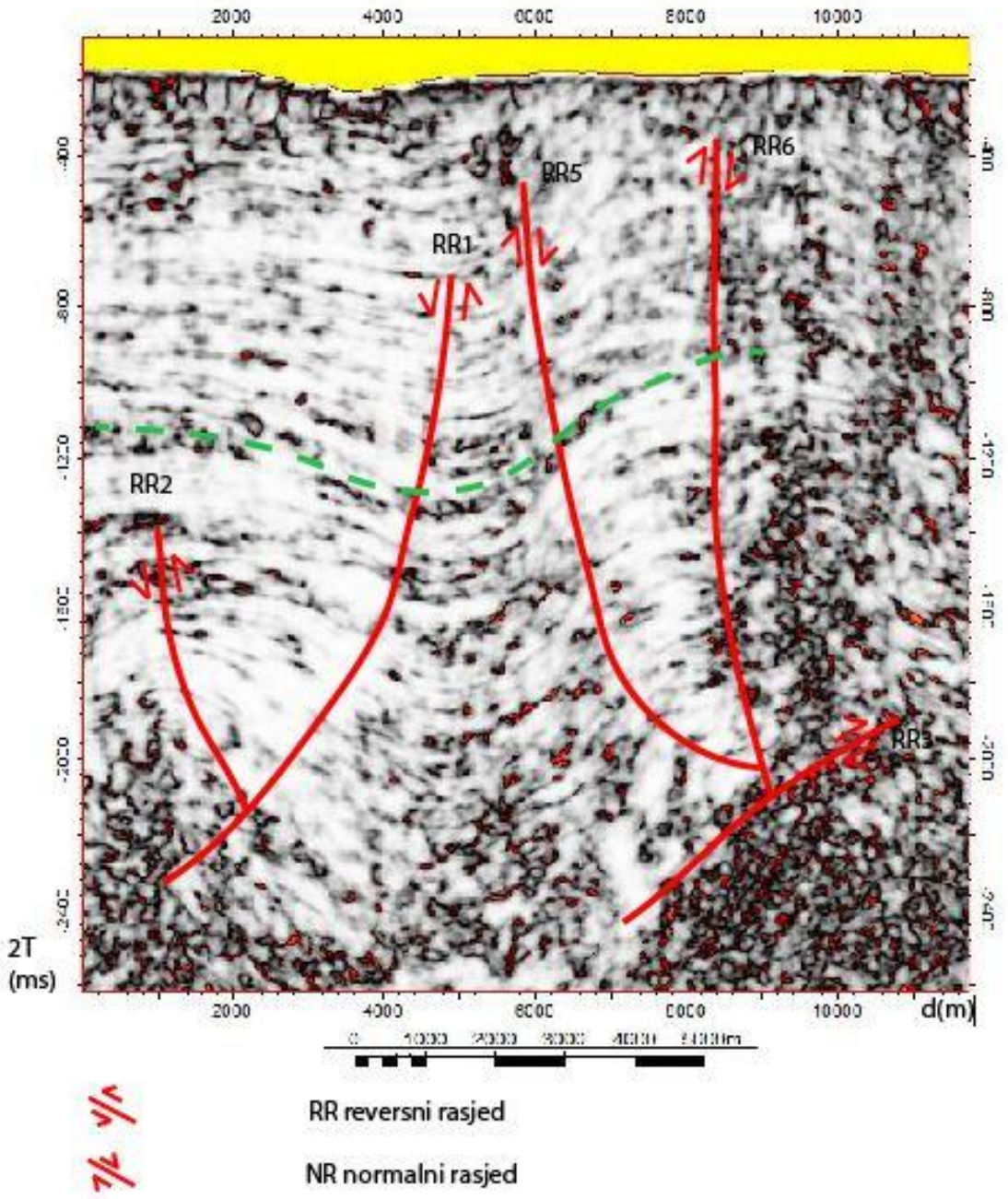


Slika 5. 6 Interpretirani vremenski presjek -1600 ms

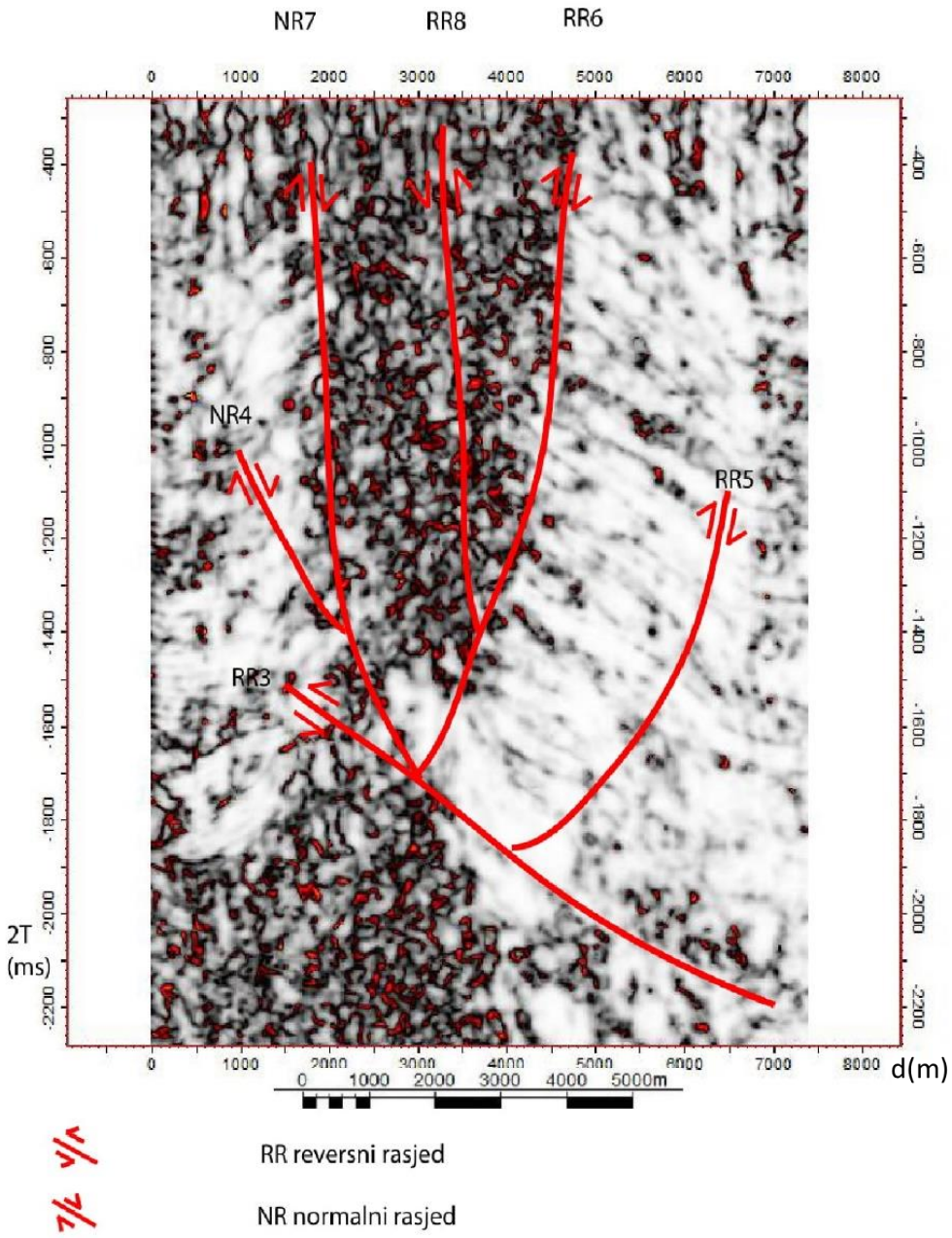
5.1. Kaos

Atribut kaos spada u grupu stratigrafskih atributa, a njime se prikazuje kaotičnost lokalnog seizmičkog signala unutar 3D-prozora. Često se područja na kojima se uočava kaotični signal mogu povezati s pojavama poput diskontinuiteta, grebenskih struktura, ispuna kanala i dr. Ova metoda pogodna je za kaotične strukture jer područja s niskom konzistentnošću odgovaraju područjima s kaotičnom strukturom (Schlumberger, 2007).

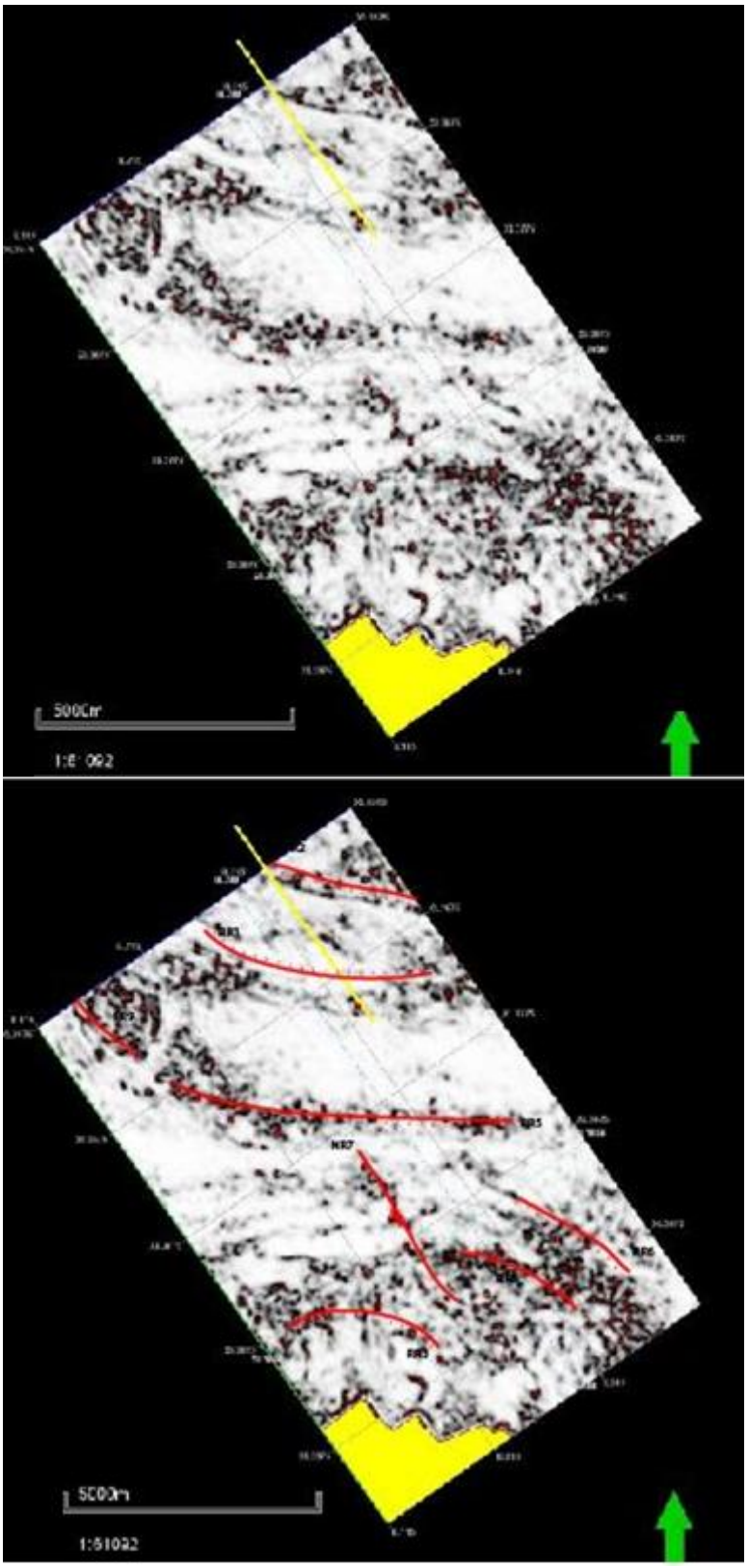
Na slikama 5.7 i 5.8 prikazan je seizmički atribut kaosa na uzdužnom profilima L330 i poprečnom profilu L3870, a na slici 5.9 na horizontalnom vremenskom presjeku. Crvenom bojom označena su područja povećane kaotičnosti, te se na temelju toga lakše mogu prepoznati rasjedi. Atribut omogućuje praćenje boranja slojeva te je pomoću njega moguće locirati antiklinalu, što je na slici 5.7 prikazano isprekidanom crtom. Na slici 5.8 koja prikazuje atribut kaosa na poprečnom profilu L3870 mogu se jasno primijetiti rubni rasjedi NR7 i RR6, dok je rasjed RR8 teže točno locirati te je on pretpostavljen na temelju interpretacije na klasičnom prikazu bez atributa. U vremenskom presjeku pomoću kaosa mogu se prepoznati svi atributi , čak bi se mogli u ovom prikazu prepoznati neki rasjedi koji nisu bili vidljivi u ostalim prikazima te su oni ovdje označeni crtkanom linijom.



Slika 5. 7 Atribut kaosa na uzdužnom profilu L330



Slika 5. 8 Atribut kaos na poprečnom profilu L3870

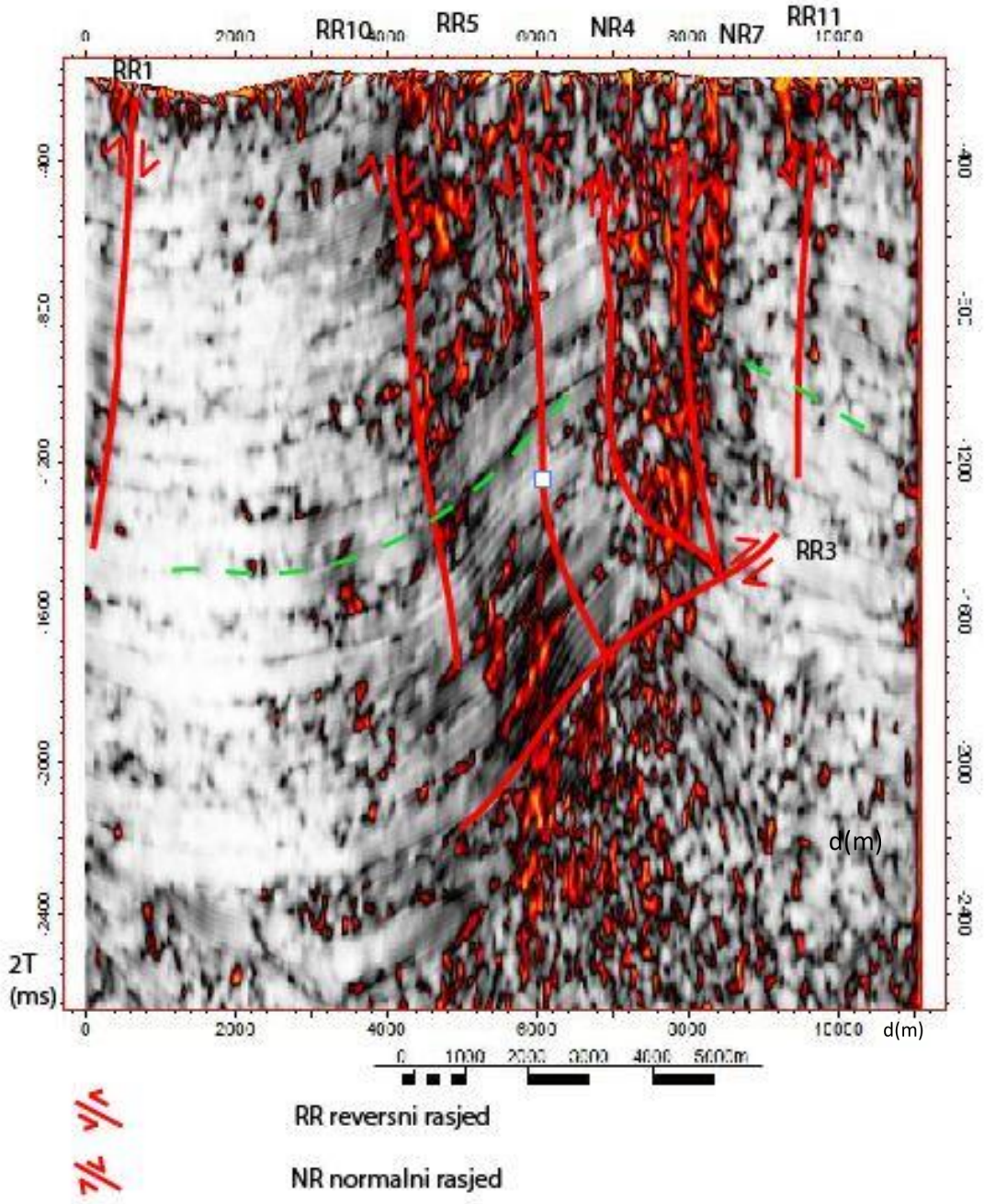


Slika 5. 9 Atribut kaos na vremenskom presjeku -1600 s interpretiranim rasjedima na donjoj slici

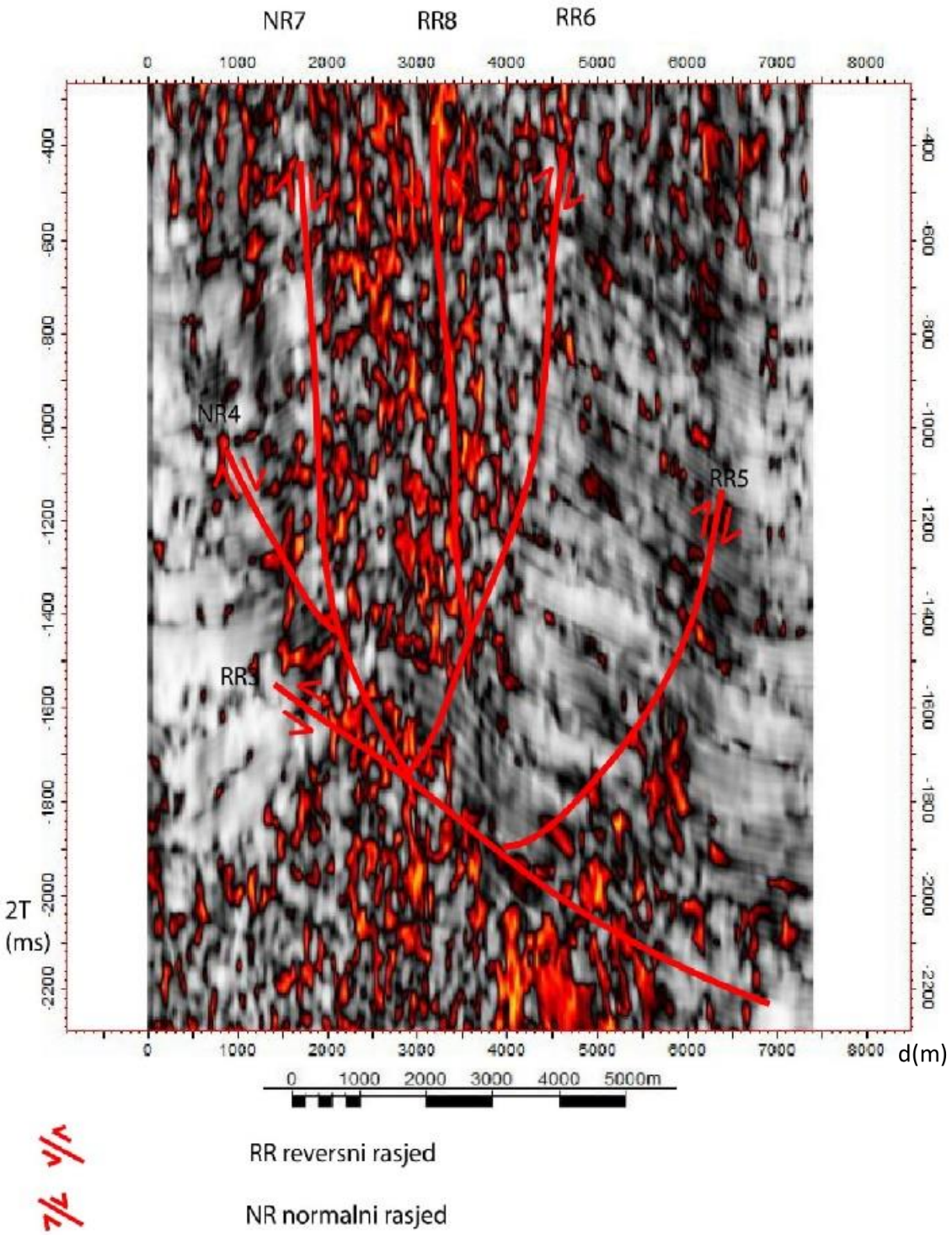
5.2. Varijanca

Varijanca je seizmički atribut namijenjen u prvom redu za prikazivanje diskontinuiteta. Prema Bahorich i Farmer (1996) rasjedne površine predstavljaju numeričke i grafičke seizmičke podatke koji se razlikuju od susjednih podataka. Van Bemmel et al. (2000) patentirali su atribut seizmičke varijance koji se koristi za izdvajanje rubnih elemenata odnosno diskontinuiteta iz ulazne grupe podataka. Rubni elementi predstavljaju horizontalne prekide u kontinuitetu amplitude. Atribut varijance određen je pomoću tri parametra. Za praćenje broja tragova koji su uključeni u račun koriste se raspon uzdužnih i poprečnih profila. Treći parametar koji se koristi je vertikalno izglađivanje, on se koristi za smanjivanje rezidualne horizontalne strukture i poboljšava kontinuiranost vertikalnih struktura. Ovisno o kutu nagiba rasjeda parametar se mijenja, pa je tako za rasjede s manjim kutom nagiba parametar manji, a za rasjede s većim kutom nagiba parametar je veći čime se postiže izglađenija slika (Schlumberger, 2007).

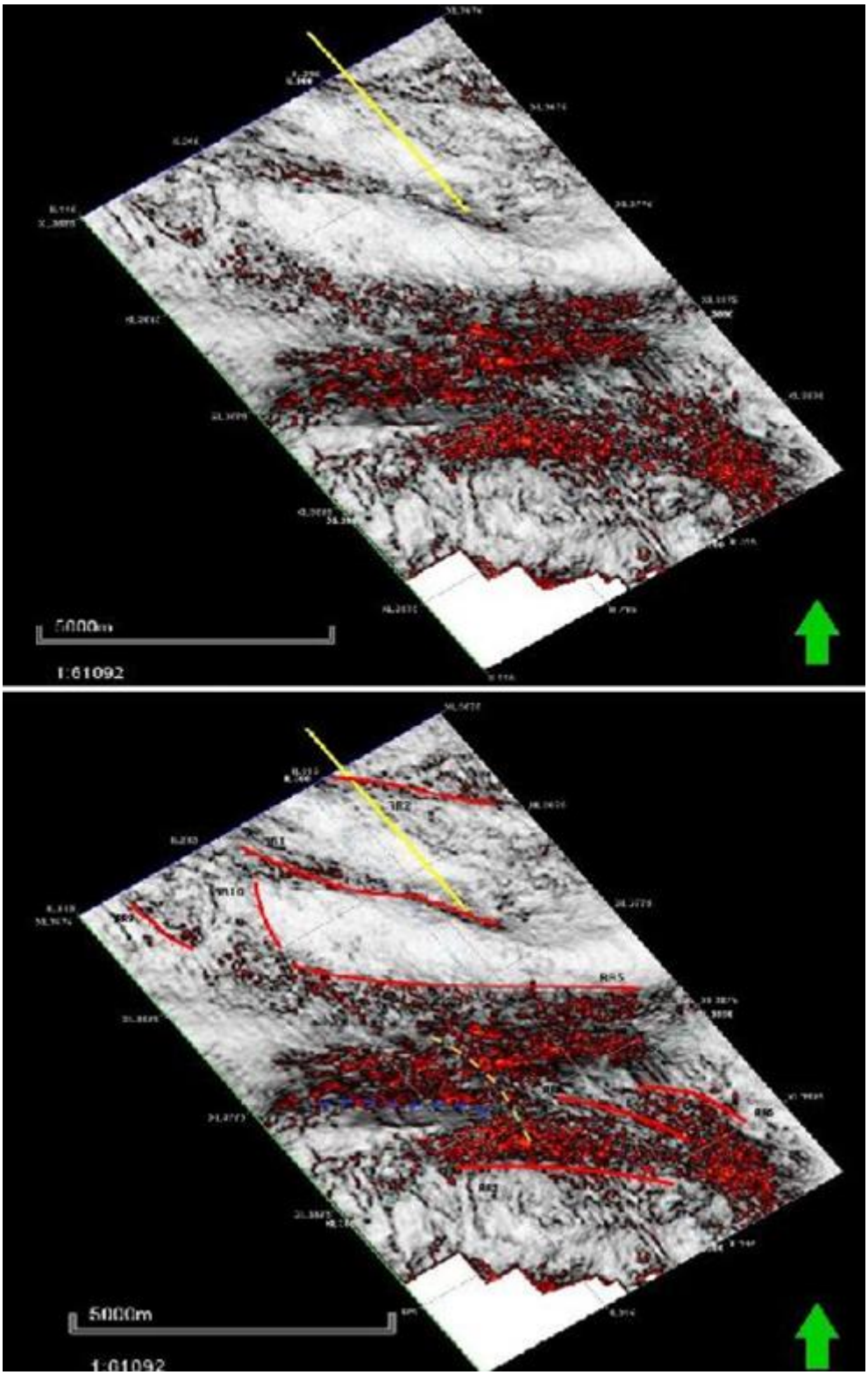
U izradi ovog rada atribut varijance pokazao se kao iznimno koristan, pogotovo u horizontalnom vremenskom presjeku. Područja diskontinuiteta mogu se lako prepoznati zbog naglog prijelaza iz sive boje koja označava područja manjeg stresa u crvenu boju koja se odnosi na poremećene dijelove (slike 5.10-5.12). Uz zoran prikaz diskontinuiteta, varijanca omogućava i praćenje povijanja struktura odnosno antiklinale što je na slici 5.10 prikazano zelenom isprekidanom crtom. U vremenskom presjeku mogu se prepoznati svi rasjedi osim rasjeda NR7, koji je na slici 5.12 prikazan žutom iscrtanom linijom. Rasjed NR7 prolazi kroz tektonski poremećen dio, a na slici je pretpostavljen na temelju interpretacije u klasičnom seizmičkom prikazu. S druge strane atribut varijanca omogućio je prepoznavanje rasjeda NR4 koji na klasičnom seizmičkom prikazu nije interpretiran na ovoj dubini, već je on temeljem prekida refleksa interpretiran samo u plićim dijelovima, na slici 5.12 NR4 je prikazan plavom isprekidanom crtom.



Slika 5. 10 Atribut varijance na uzdužnom profilu L210



Slika 5. 11 Atribut varijance na poprečnom profilu L3870

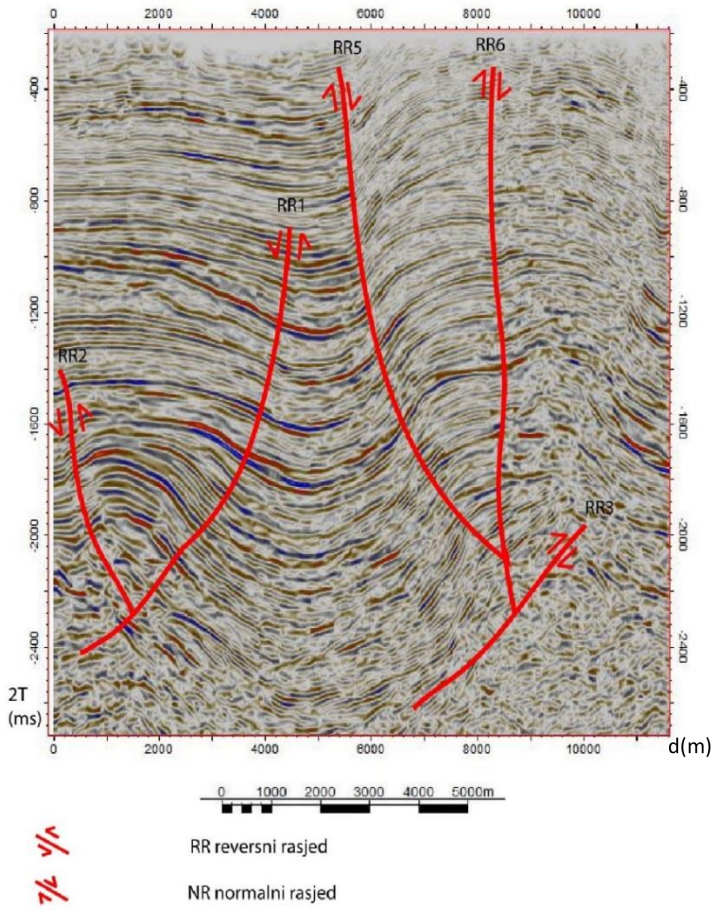


Slika 5. 12 Atribut varijance na vremenskom presjeku -1600 ms s interpretiranim rasjedima na donjoj slici

5.3. Strukturno izglađivanje

Strukturno izglađivanje (eng. structural smoothing) postaje osnovni alat za brzu i naprednu obradu volumetrijskog signala na seizmičkim podatcima. Fehmers i Hocker (2003) u svojim radovima o brzoj strukturnoj interpretaciji sa strukturnim filtriranjem argumentiraju da podaci koji su filtrirani prije automatske obrade daju potpuniju pokrivenost. Ovom metodom smanjuje se šum a da se pritom ne narušava vidljivost rasjeda time ova metoda postiže bolje rezultate od 3D- izglađivanja (Schlumberger, 2007).

Pri izradi ovog rada atribut strukturno izglađivanje dao je vrlo dobar prikaz na kojem se vide diskontinuiteti, slika je čišća od originala te se lakše prate refleksi (slika 5.13). Ovaj atribut dao je najbolje rezultate vezane uz nagibe slojeva i lociranje struktura poput antiklinale. Atribut strukturno izglađivanje u ovom radu korišten je kao ulazna vrijednost pri računanju ostalih atributa.

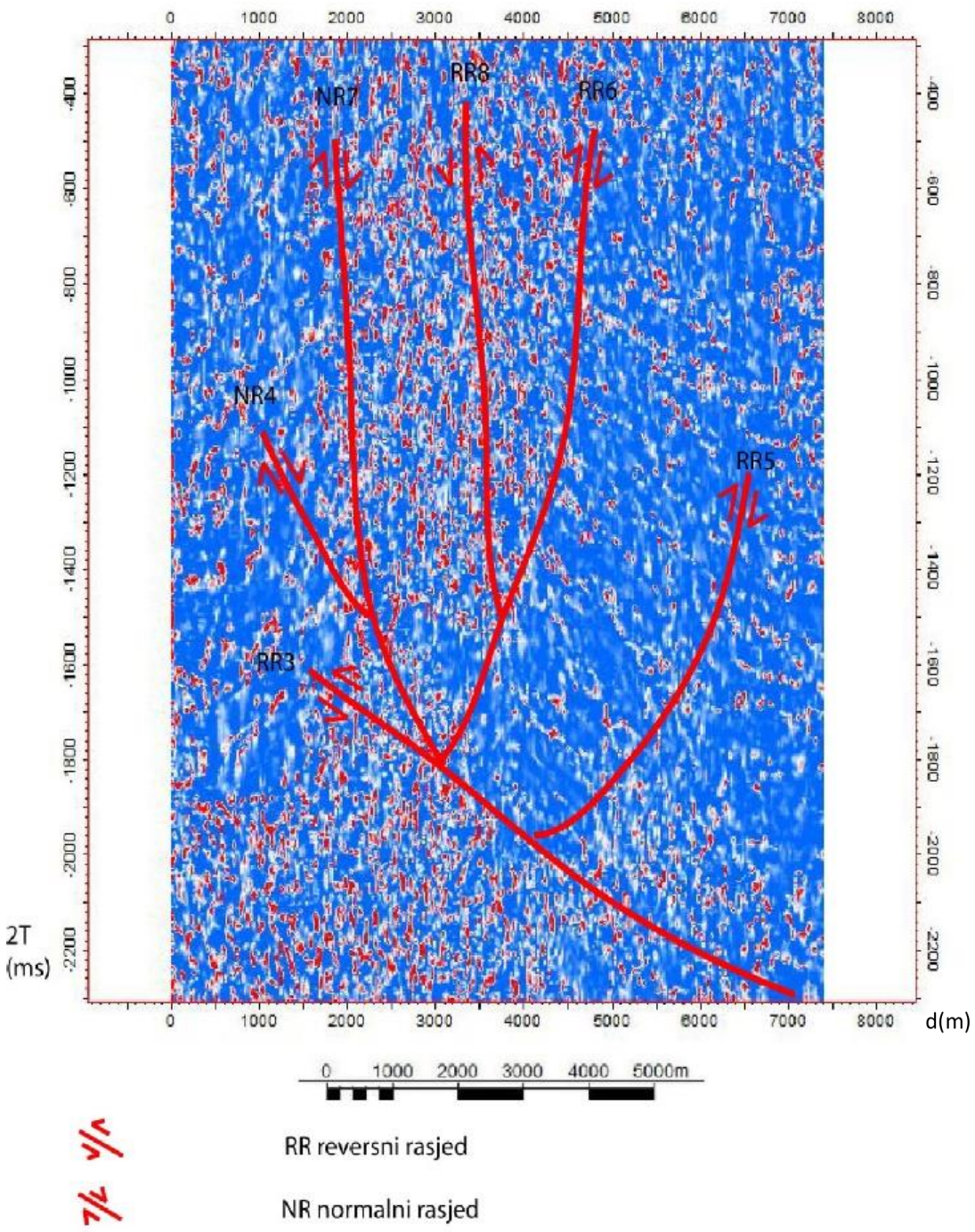


Slika 5. 13 Uzdužni profil L330 na kojem je primijenjeno strukturno izglađivanje

5.4. Odstupanje kuta nagiba

Seizmički atribut odstupanje kuta nagiba (eng. dip deviation) metoda je koja omogućava otkrivanje naglih promjena u orijentaciji seizmičkih refleksa, poput pukotina ili kanala. Atribut se može učinkovito primijeniti također za mekše, odnosno slabije vezane stijene na pasivnim rubovima gdje spušteno rasjedno krilo pokazuje značajan skok (Schlumberger, 2007).

Prilikom izrade ovog rada seizmički atribut pokazao je određene razlike između stijena koje su tektonski poremećene i onih koje nisu. Iako se uočava razlika na temelju ovog atributa ne može se sa sigurnošću odrediti točan položaj rasjeda. Na slici 5.14 i mogu se uočiti krila antiklinale no dobiveni prikaz daje samo okvirnu sliku položaja i debljine slojeva. Kao na svim prikazima do sada na poprečnom profilu dobro se uočavaju rubni rasjedi NR7 i RR6, dok se ostali rasjedi nešto teže primjećuju (slika 5.14). Može se zaključiti kako atribut odstupanje kuta nagiba daje djelomično nepotpune rezultate.

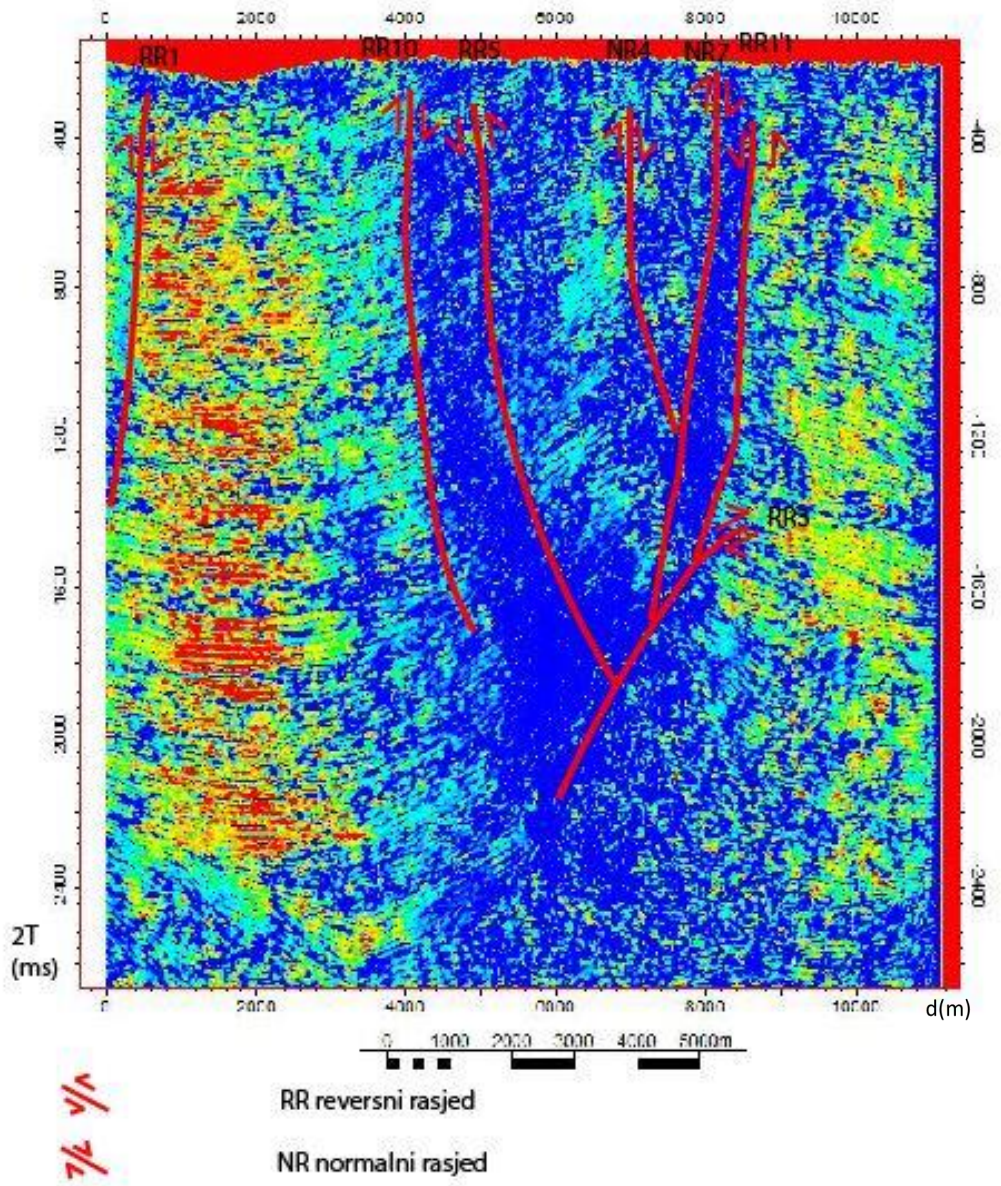


Slika 5. 14 Atribut odstupanje kuta nagiba na poprečnom profilu L3870

5.5. Lokalni strukturni kut nagiba

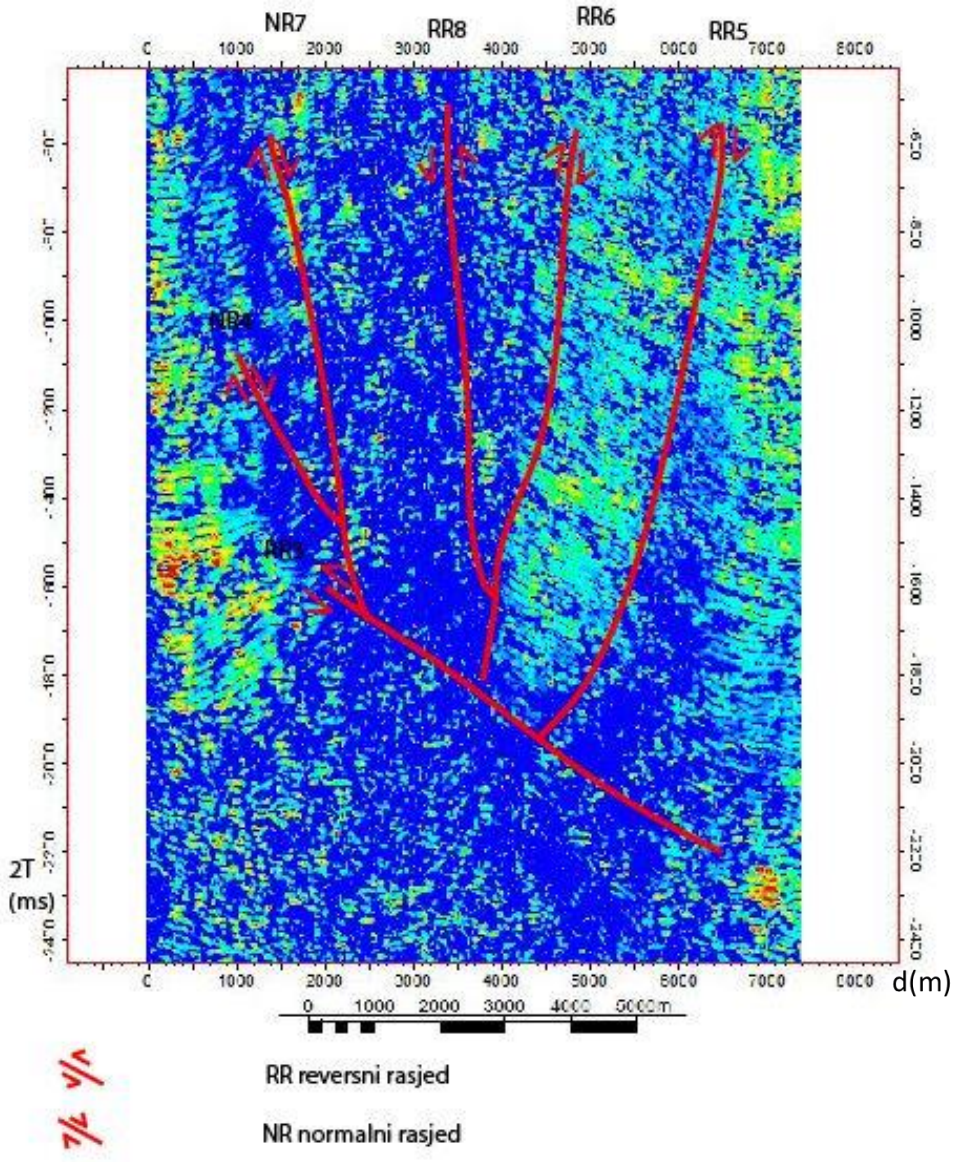
Seizmički atribut lokalni strukturni kut nagiba (eng. local structural dip) predstavlja kut inklinacije seizmičkog refleksa mjerenog od vodoravne ravnine. (Schlumebreger, 2007).

Pri izradi ovog rada atribut lokalnog strukturnog kuta nagiba pokazao se djelomično učinkovitim alatom za prikazivanje položaja rasjeda, atribut se nije pokazao učinkovit u povijanja strukture (slike 5.15 i 5.16).



Slika 5. 15 Atribut lokalnog strukturnog kuta nagiba na uzdužnom profilu L210

Prijelaz iz dijelova koji su obojani crvenom, žutom i tirkiznom bojom, odnosno tektonski neporemećenih dijelova u dijelove obojane plavom bojom, odnosno poremećene dijelove vrlo je nejasan, pa je s toga teško odrediti sam položaj rasjeda. To se posebno primjećuje na slici 5.15 na primjeru rasjeda NR4 i RR5 čiji je položaj teško precizno procijeniti. Na slici 5.16 niti jedan položaj rasjeda nije moguće točno i precizno odrediti. Rasjedi RR5 i RR6 mogu se približno odrediti, no ostali rasjedi interpretirani su pomoću ostalih prikaza prvenstveno kaosa i varijance. Za razliku od atributa kaosa, varijanca, odstupanje kuta nagiba kao i klasičnog seizmičkog prikaza atribut lokalni strukturni kut nagiba prepoznaje rasjed RR5 i u plićim slojevima. Može se zaključiti kako je dobiveni prikaz dobar.



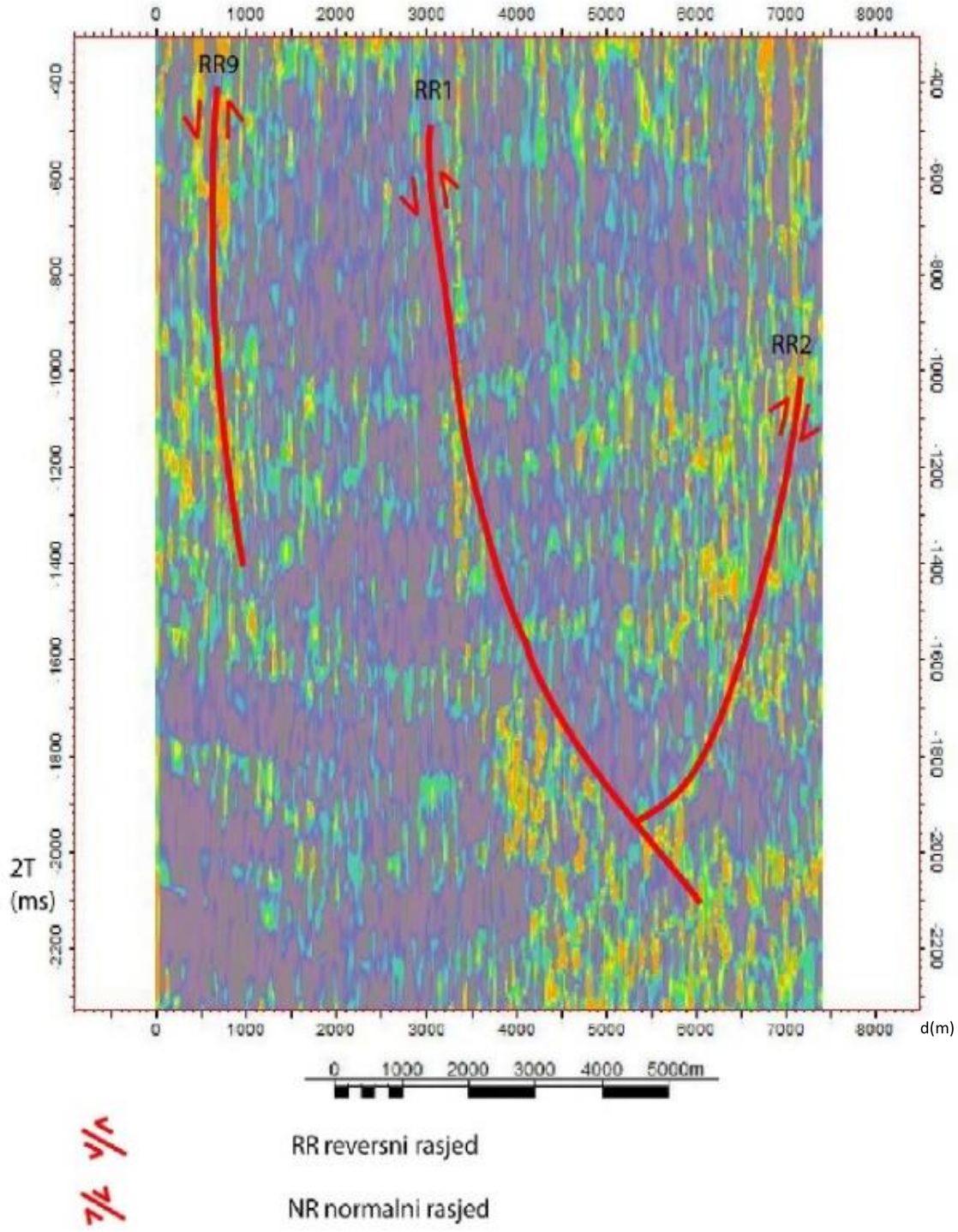
Slika 5. 16 Atribut lokalni strukturni kut nagiba na poprečnom profilu L3870

5.6. Atributi zakrivljenosti

Atributi zakrivljenosti daju važne informacije, a često i više od ostalih, uobičajenijih atributa. S obzirom da su ovi atributi izvedeni kao druga derivacija površinskih mjerenja osjetljiviji su na šumove od drugih atributa, no taj problem može se riješiti iterativnim postupkom filtriranja. Za volumne atribute zadovoljavajuće je provesti strukturno filtriranje. Pomoću atributa zakrivljenosti mogu se dobiti podatci i informacije o gustoći i orijentaciji pukotina, odnosno rasjeda u zonama gdje se seizmički horizonti ne mogu pratiti (Chopra i Marfurt., 2007). Općenito, to je moguće zato što je zakrivljenost mjera deformacije površine u nekoj točki. Što je deformacija veća, veća je i mjera zakrivljenosti. Od atributa zakrivljenosti obrađeni su maksimalna zakrivljenost, minimalna zakrivljenost, najveća pozitivna zakrivljenost, najveća negativna zakrivljenost. Rubovi rasjeda, grebeni ili udoline mogu se prepoznati na temelju svih mogućih normalnih vrijednosti zakrivljenosti bilo da se radi o pozitivnim ili negativnim vrijednostima zakrivljenosti. Atributi najveća pozitivna zakrivljenost i najveća negativna zakrivljenost osjetljivi su na krte deformacije pa su stoga vrijednosti zakrivljenosti direktno proporcionalne krtim deformacijama (Santosh et al, 2013).

5.6.1. Maksimalna zakrivljenost

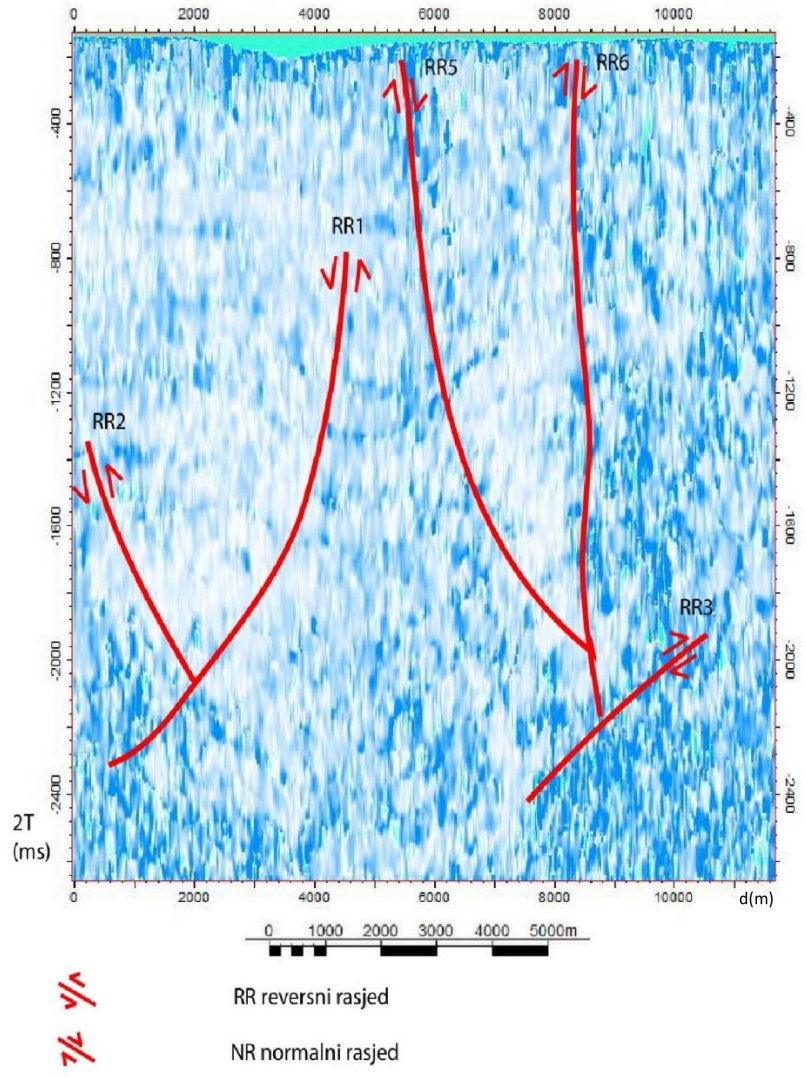
Na slici 5.17 prikazan je seizmički atributi maksimalne zakrivljenosti (eng. maximum curvature) korišteni u izradi ovog rada. Može se primijetiti kako je atribut dao poprilično nejasnu sliku. U nekim dijelovima mogu se prepoznati područja koja su tektonski poremećena ali rasjedi se ne mogu odrediti. Moguće je pretpostaviti, iako neprecizno, položaje rasjeda kao što su RR1 i RR9 na slici 5.17. Atribut se nije pokazao kao dobar alat za praćenje nagiba slojeva i lociranje struktura poput antiklinala i sinklinala.



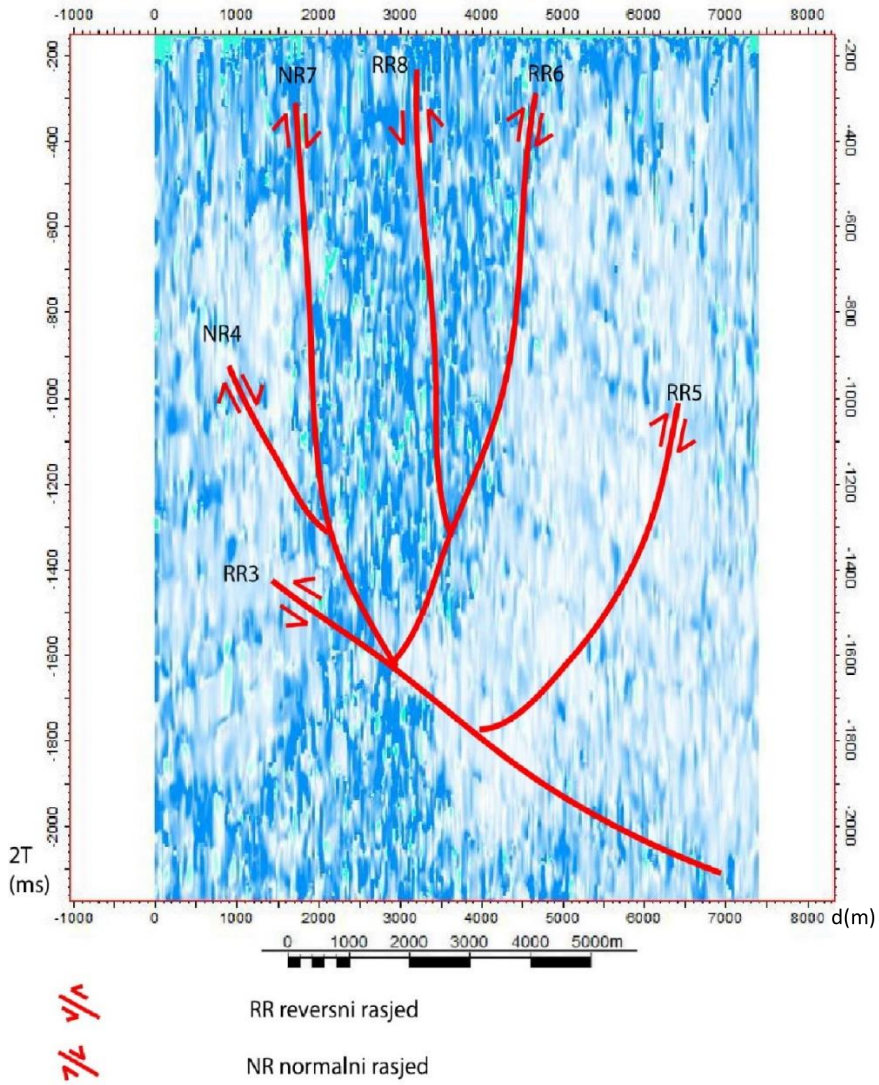
Slika 5. 17 Atribut lokalni strukturni kut nagiba na poprečnom profilu L3870

5.6.2. Minimalna zakrivljenost

Na slikama 5.18 i 5.19 prikazan je atribut minimalne zakrivljenosti (eng. minimum curvature) korišten pri izradi ovog rada. Atribut je dao rezultate koji su bolji od rezultata dobivenih atributom maksimalne zakrivljenosti. Na uzdužnom profilu L330 (slika 5.18) rezultati su lošiji nego na poprečnom (slika 5.19) jer je vrlo teško odrediti položaje rasjeda. Na slici 5.19 koja prikazuje poprečni profil L3870 mogu se pretpostaviti rasjedi RR6 i NR7 te rasjed RR3 jer su područja omeđena tim rasjedima znatno tamnije boje od okolnih područja, što pokazuje da su ti dijelovi više tektonski poremećeni. Ovaj atribut dao je bolje rezultate u vidu praćenja povijanja struktura od atributa maksimalne zakrivljenosti no to i dalje nije dovoljno da bi se sa sigurnošću mogao odrediti položaj antiklinale.



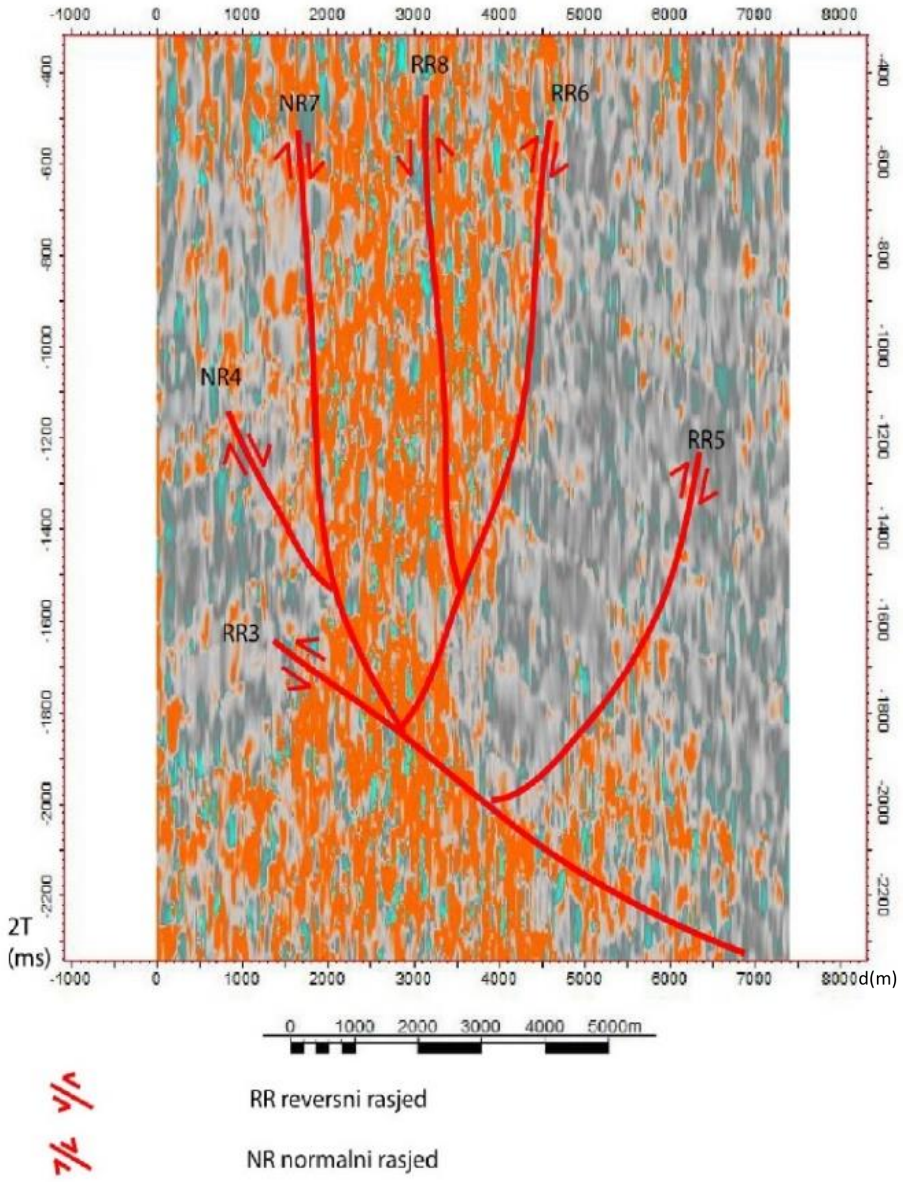
Slika 5. 18 Atribut minimalne zakrivljenosti na uzdužnom profilu L330



Slika 5. 19 Atribut minimalne zakrivljenosti na poprečnom profilu L3870

5.6.3. Najveća pozitivna zakrivljenost

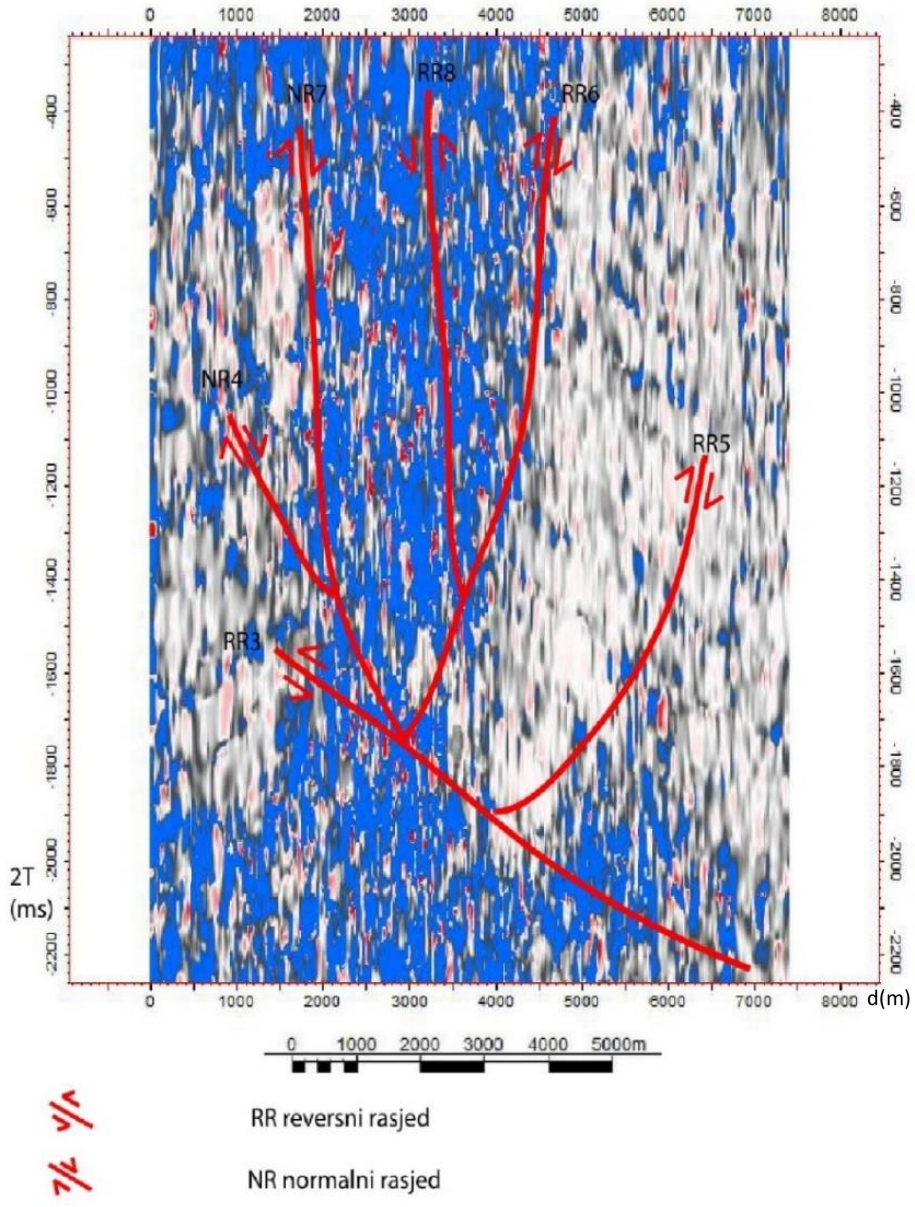
Na slici 5.20 je prikazan atribut najveća pozitivna zakrivljenost (eng. most positive curvature). Atribut se pokazao kao djelomično koristan alat za prepoznavanje rasjeda. Prema narančastoj boji može se pretpostaviti položaj rasjeda NR4 i RR5. Dobiveni prikaz je znatno bolji od ostalih prikaza dobivenih atributima zakrivljenosti, položaji rasjeda se mogu odrediti ali se povijanje slojeva uopće ne vidi pa je nemoguće locirati antiklinalu. Može se zaključiti kako je među atributima zakrivljenosti atribut minimalna zakrivljenost dao najbolje prikaze.



Slika 5. 20 Atribut najveća pozitivna zakrivljenost na poprečnom profilu L3870

5.6.4. Najveća negativna zakrivljenost

Atribut najveća negativna zakrivljenost (eng. most negative curvature) prikazan je na slici 5.21. Vidljiva su mjesta deformacija te se mogu predvidjeti lokacije na kojima se nalaze rasjedi. Na slici 5.21 svi rasjedi, osim rasjeda NR4, se mogu lako odrediti. Isto kao i ostali atributi iz ove skupine dobiveni prikaz ne omogućuje određivanje položaja struktura.

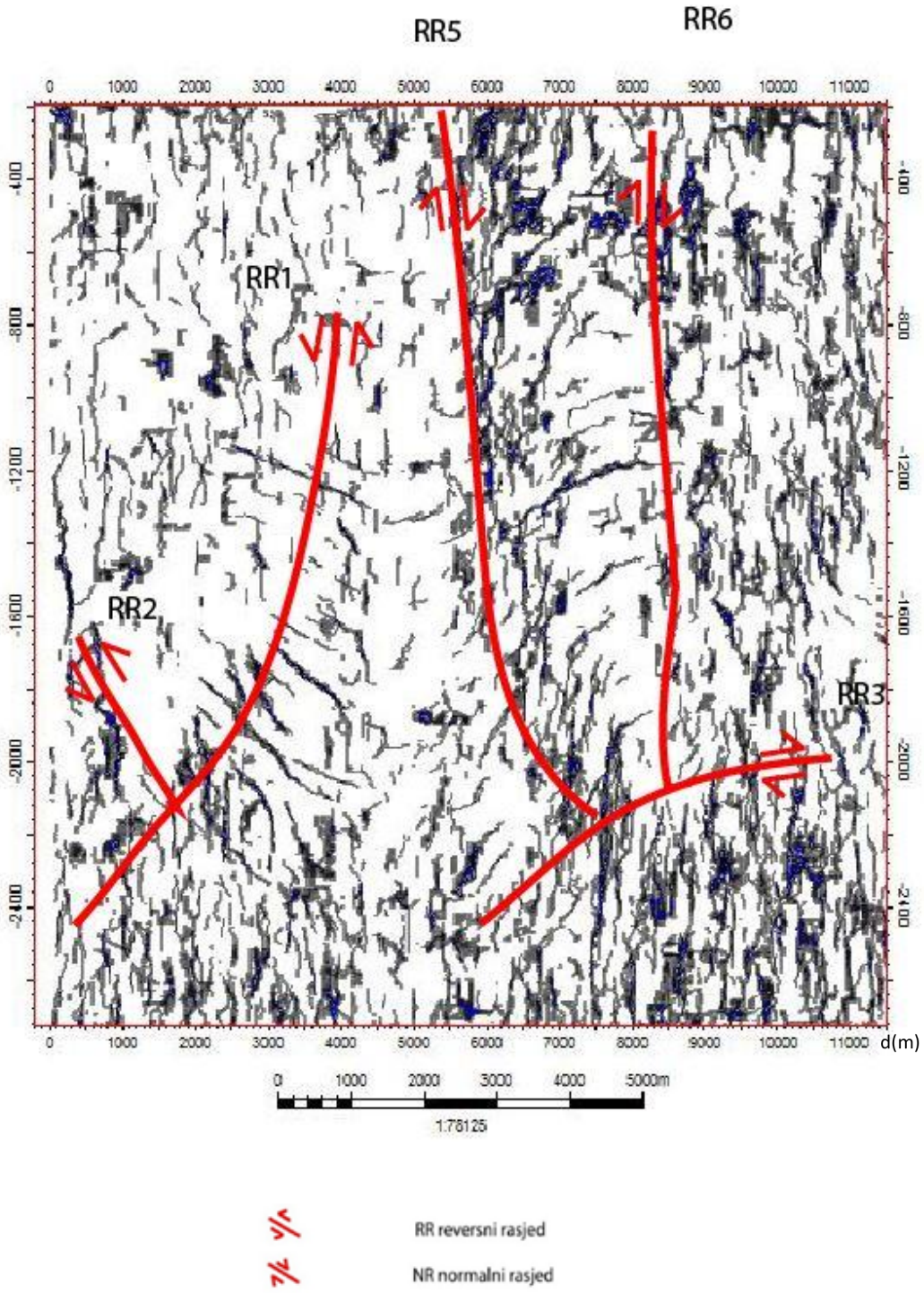


Slika 5. 21 Atribut najveća negativna zakrivljenost na poprečnom profilu L3870

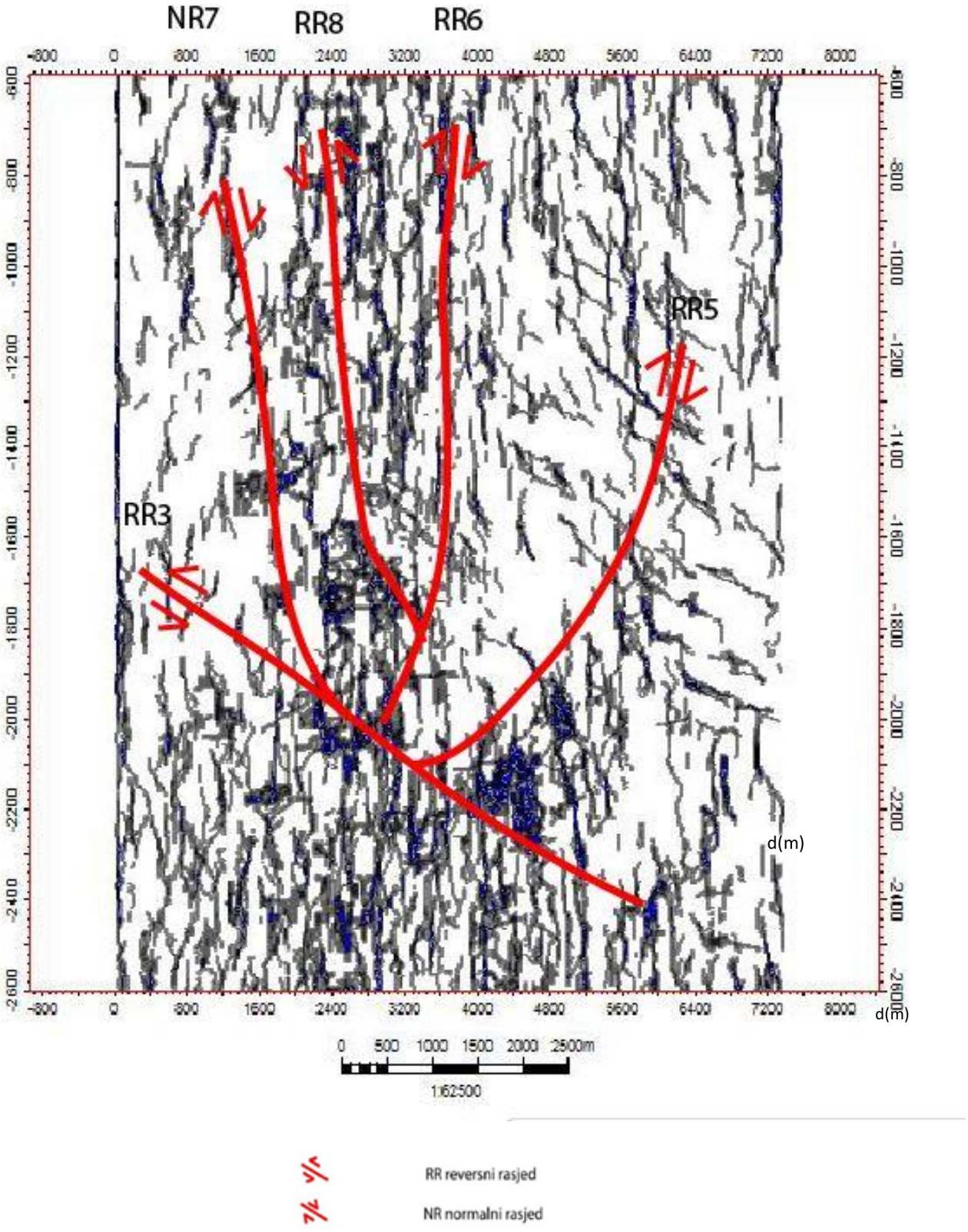
5.7. Atribut praćenja tragova

Atribut praćenja tragova (eng. ant-tracking) svojim proračunom podsjeća na princip rada „mravlje kolonije“. Inteligentni agenti (mravi) prate i izvlače rubove u strukturnim atributima kao što su kaos ili varijanca. Ovom se tehnikom ističu rubovi u volumenima strukturnih atributa jer se ističu samo kontinuirane značajke koje su najvjerojatnije rasjedi. S obzirom da šumovi imaju kaotičnu unutarnju strukturu koja nije kontinuirana, mala je vjerojatnost da će je algoritam atributa praćenja tragova detektirati. Tijek izračuna atributa sastoji se od četiri koraka 1) seizmičko uvjetovanje koje poboljšava omjer signal-šum; 2) detekcija rubova pomoću atributa varijance ili kaosa; 3) isticanje rubova; 4) primjena filtera praćenja tragova (Schlumberger, 2007).

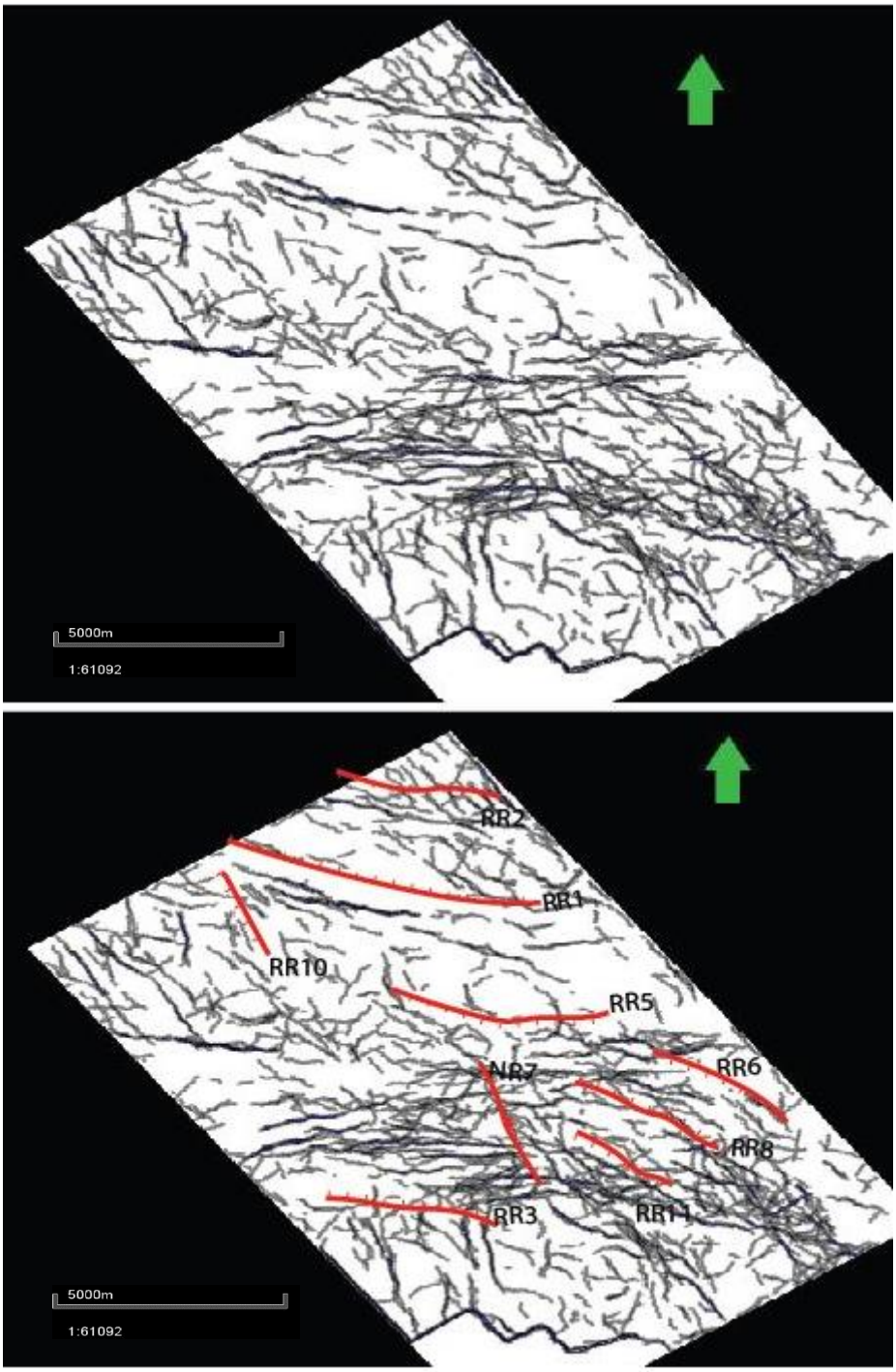
U ovom radu atribut praćenje tragova korišten je uz atribut varijance, a prikazan je na slikama 5.22 i 5.23. Ovaj atribut nije se pokazao osobito koristan na seizmičkim profilima. Vrlo je teško prepoznati položaj rasjeda, a isto tako nije moguće prepoznati nagib slojeva i definirati određene strukture poput antiklinale. S druge strane atribut se pokazao kao vrlo koristan na prikazu vremenskog presjeka (slika 5.24), na kojem je zahvaljujući ovom atributu moguće pratiti položaje rasjeda čime ovaj atribut ima značajnu prednost pred drugima.



Slika 5. 22 Atribut praćenje tragova na uzdužnom profilu L330

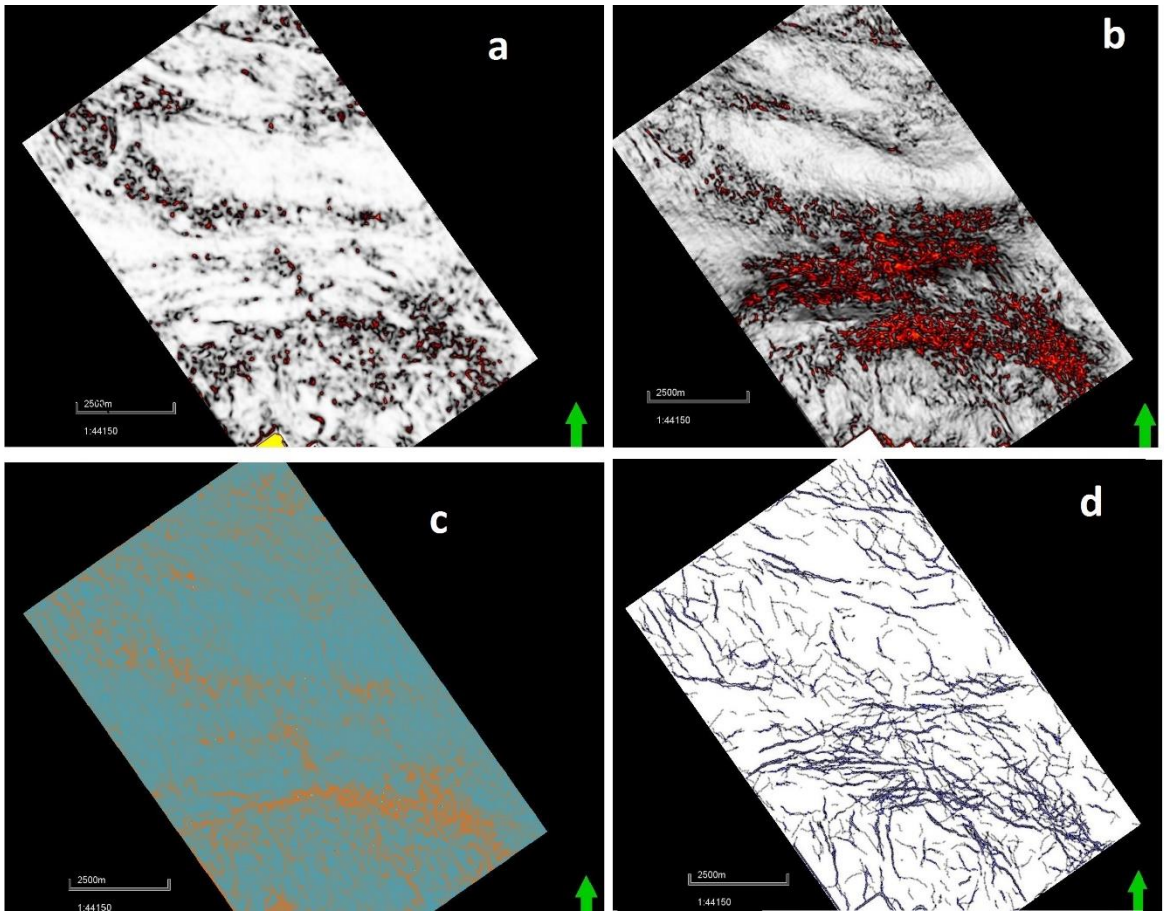


Slika 5. 23 Atribut praćenja tragova na poprečnom profilu L3870



Slika 5. 24 Atribut praćenja tragova na vremenskom presjeku -1600 ms s interpretiranim rasjedima na donjoj slici

Na slici 5.25 usporedno su prikazana četiri vremenska presjeka za atribute: kaos, varijanca, maksimalna zakrivljenost i praćenje tragova. Može se zaključiti kako najbolje rezultate u vremenskom presjeku daje atribut varijance, atributi kaosa i praćenja tragova također daju vrlo dobre rezultate, a atribut maksimalne zakrivljenosti daje najlošije rezultate.



Slika 5. 25 Usporedan prikaz atributa ,(a) kaosa, (b) varijance, (c) maksimalne zakrivljenosti i (d) praćenja tragova na vremenskom presjeku -1600 ms

6. Zaključak

Cilj ovog rada bio je analizirati seizmičke atribute koji omogućavaju bolje uočavanje diskontinuiteta pa time lakše i preciznije definiranje rasjeda. Na primjeru 3D seizmičkih podataka snimljenih na području polja Stružec u programskom paketu Petrel™ 2014 analizirano je deset seizmičkih atributa te je napravljena analiza za svaki atribut. Polje Stružec izabrano je zbog svoje izrazite tektonske poremećenosti.

U prvoj fazi rasjedi su interpretirani na klasičnim seizmičkim podacima, a od jedanaest rasjeda devet je reversnih i dva su normalna. Također je interpretiran i seizmički horizont krovine ležišta A1. Zatim su za cijeli volumen 3D seizmičkih podataka izračunati seizmički atributi koji pripadaju grupi strukturnih atributa: kaos, varijanca, strukturno izglađivanje, odstupanje kuta nagiba, lokalni strukturni kut nagiba i praćenje tragova, te atributi zakrivljenosti: maksimalna zakrivljenost, minimalna zakrivljenost, najveća pozitivna zakrivljenost i najveća negativna zakrivljenost. Seizmički atributi daju dobar vizualni prikaz koji pomaže pri interpretiranju raznih struktura u podzemlju. Vrlo je bitno kod atributa prilagoditi boju i osvjetljenje prema svojstvima određenog atributa čime se poboljšava dobiveni prikaz.

Na temelju dobivenih prikaza može se zaključiti da su najbolje rezultate u isticanju diskontinuiteta i naglašavanju rasjeda dali kaos, varijanca, odstupanje kuta i najveća pozitivna zakrivljenost. Ovi atributi omogućili su jasno prepoznavanje rasjeda na seizmičkim profilima. Atribut prekida traga nije se pokazao korisnim na seizmičkim profilima, ali je dao jako dobre rezultate na horizontalnom vremenskom presjeku zbog čega je služio kao primjer pri interpretaciji rasjeda na ostalim vremenskim presjecima. Atribut strukturnog izglađivanja dao je dobre rezultate, no njegova primarna namjena bila je dobiti izglađene podatke koji će se poslije služiti kao ulazni podaci za izračunavanje ostalih atributa. Atributi lokalni strukturni kut, minimalna zakrivljenost i najveća negativna zakrivljenost dali su djelomično dobre rezultate, na njihovim prikazima dio rasjeda se može odrediti precizno ali neki rasjedi se na temelju ovih atributa nisu mogli prepoznati. Najlošiji rezultati postignuti su atributom najveća zakrivljenost, ovaj atribut dao je prilično nejasnu sliku na kojoj je bilo teško uopće odrediti postojanje rasjeda.

7. Literatura

Bahorich, M., and Farmer, S., 1996. Method of seismic signal processing and exploration, U.S. Patent Number 5,563,949

Chopra S. i Marfurt K. J. 2007. Volumetric curvature attributes add value to 3D seismic data interpretation. *The Leading Edge*, 26/7, 856-867

Ćorić, S., Pavelić, D., Rögl, F., Mandic, O., Vrbanac, S., Avanić, R., Jerković, L., Vranjković, A. 2009. Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of North Croatian Basins (Pannonian Basin System, Central Paratethys), Geologica Croatica 62/1, Zagreb

Dević, T., Sečen, J., Thaller, J. 1976. Stružec ležišta nafte p1, P1, P2 I A, Zagreb, Elaborat o rezervama nafte i plina, Fond stručne dokumentacije INA d.d, Zagreb

Dević, P., Perić, M., Bauk, A., Thaller, J., 1978. Polje Stružec (ležišta serije „a“ i „b“). Elaborat o rezervama nafte i plina. Fond struč. dok. INA-Naftaplina, Zagreb

Fehmers, G., Höcker C., 2003. Fast structural interpretation with structure-oriented filtering, *Geophysics* 68/4, DOI:10.1190/1.1598121

Horvath, F., 1993. Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin, *Tectonophysics*, 225, 333–358

Krklec N., Novoselec E., Ivčić K., Brnada S., Nagl B., Hrženjak V., Jeras Z. 2013. Interpretacija 3-D seizmike naftno-plinskog polja Stružec, INA-Industrija nafte.

Malivić, T., Saftić, B. 2008. *Dubinsko kartiranje*. Fakultetska skripta. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 46 str., Zagreb

Orešković, J. 2006. Procjena ležišnih značajki korištenjem seizmičkih atributa i seizmičkog modeliranja na primjeru polja Stari Gradac. Zagreb: Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb

Pavelić, D., Miknić, M., Sarkotić Šlat, M. 1998. Early to Middle Miocene facies succession in lacustrine and marine environments on the southwestern margin of the Pannonian basin system. *Geol. Carpathica*, 49, 433-443

Pavelić, D., 2001. Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. *Basin Research*,13, 359-376

Pikija, M. 1987. Osnovna geološka karta RH M 1:100.000, list Sisak - karta i tumač, Zagreb.

Prelogović, E., Saftić, B., Kuk, V., Velić, J., Dragaš, M. i Lučić, D., 1998. Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. *Tectonophysics*, 297, 283–293

Prostorni plan uređenja Grada Popovače („Službene novine Općine Popovača“ 6/02, 7/03, 7/04, 8/06, 6/09 i 5/12)

Saftić, B., Velić, J., Sztano, O., Juhas, G. i Ivković, Ž., 2003. Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (northern Croatia and south-western Hungary). *Geologia Croatica*, 56, 101-122

Santosh, D., Aditi, B., Poonam, K., Priyanka, S., Rao, P. H., Hasan, S. Z., Harinarayana T., 2013. An Integrated approach for faults and fractures delineation with dip and curvature attributes, 10th Biennial International Conference and Exposition, Kochi

Schlumberger 2007. Interpreter's guide to seismis atributes

Šimon, J., 1966. Shematski litostratigrafski presjek. Litostratigrafske jedinice tercijara Područja Savske potoline, istočnog dijela Dravske potoline istočne Slavonije, INA-Naftaplin. Fond dokumentacije, Služba istraživanja, Zagreb

Šimon, J., 1980. Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske, Disertacija, RGN fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Šumanovac, F. 2007. *Geofizička istraživanja podzemnih voda*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Šumanovac, F. 2012. *Osnove geofizičkih istraživanja.* Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Taner, M. T., Koehler, F., Sheriff, R. E. 1979. Complex seismic trace analysis. *Geophysics,* 44, 1041-1063

Taner, M., T., Schuelke, J., S., O'doherty, R. i Baysal, E. 1994. Seismic attributes revisited. 64th Annual International Meeting (pp. 1104-1106). Society of Exploration Geophysics, Expanded Abstracts

Tomljenović, B. i Csontos, L. 2001. Neogene-Quarternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia). *Int J Earth Science (Geol Rundsch)*, 90, 560-578.

van Bemmel, P. i Pepper, R.E.F., 2000. Seismic signal processing methoh and apparatus forgenerating a cube of variance values, U.S. Patent Number 6,151,555

Velić, J. 1980. Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije. Disertacija, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 1-136, Zagreb

Velić, J., Weisser, M., Saftić, B., Vrbanac, B., Iivković, Ž., 2002. Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacycles in the Croatian part of the Pannonian basin. *Nafta*, 53/6–7, 239–249

Velić, J., 2007. *Geologija ležišta nafte i plina*. Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb