

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

ZAVOD ZA GEOLOGIJU I GEOLOŠKO INŽENJERSTVO

ANDREA GRUIĆ JUKIĆ, univ. bacc. ing. geol.

IVICA PAVIČIĆ, univ. bacc. ing. geol.

TEKTONSKA EVOLUCIJA PANONSKOG BAZENA U ZAPADNOM DIJELU SAVSKE
DEPRESIJE

Zagreb, 2013

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
ZAVOD ZA GEOLOGIJU I GEOLOŠKO INŽENJERSTVO

ANDREA GRUIĆ JUKIĆ, univ. bacc. ing. geol.

IVICA PAVIČIĆ, univ. bacc. ing. geol.

TEKTONSKA EVOLUCIJA PANONSKOG BAZENA U ZAPADNOM DIJELU SAVSKE
DEPRESIJE

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom dr. sc. Brune Tomljenovića, izvanrednog profesora, te je predan na natječaj za dodjelu rektorove nagrade u akademskoj godini 2012./2013.

Zagreb, 2013

SAŽETAK: Ovaj rad sadrži strukturnu interpretaciju seizmičkih podataka iz zapadnog dijela Savske depresije na području površine 410 km². Strukturna interpretacija je realizirana pomoću raspoloživih geofizičkih i bušotinskih podataka dobivenih od tvrtke INA Industrija nafte d.d. Zagreb. Njihova obrada i interpretacija provedene su pomoću računalnog programa PETRELTM 2010 doniranog RGN-fakultetu od tvrtke Schlumberger. Cilj ovog rada je interpretacija tektonskog razvoja Panonskog bazena u zapadnom dijelu Savske depresije, koja je postignuta izradom vremenskih strukturnih karata po podlozi neogenskih, panonskih i pliokvartarnih naslaga i po stratigrafskoj granici donji-gornji pont te kartiranjem seizmičkih horizonata koji geološki predstavljaju diskordancije u podlogama ovih naslaga. Također, u postupku izrade ovih karata načinjena je i korelacija bušotinskih i seizmičkih podataka, kartiranje rasjeda te izrada 3D strukturnog modela. Završna faza rada obuhvaćala je palinspastičku rekonstrukciju pomoću izravnavanja kartiranih seizmičkih horizonata u inicijalni horizontalni položaj i interpretaciju načinjenih strukturnih karata.

KLJUČNE RIJEČI: Savska depresija, seizmička interpretacija, PetrelTM, strukturna karta, 3D strukturni model, palinspastička rekonstrukcija

ABSTRACT: This work includes structural interpretation of seismic data from the western part of the Sava depression in the surface area of 410 km². Structural interpretation is implemented using available geophysical data and data obtained from oil wells, obtained from company INA Industrija nafte d.d. Zagreb. Processing and interpretation was performed by a computer program PETRELTM 2010, donated to RGN-faculty by Schlumberger company. The aim of this work was to describe the tectonic development of the Pannonian Basin in the western part of the Sava Depression, which is achieved by constructing structural maps of base Neogene, base Pannonian, base Plio-Quaternary strata and of Lower-Upper Pontian stratigraphic boundary. These maps were constructed in the time scale by mapping of seismic horizons that correspond with unconformities underlying these strata. Also, in the process of construction of these structural maps, a correlation of borehole and seismic data, as well as fault mapping and construction of 3D structural model have been made. The final phase of the work included "flattening" of mapped seismic horizons that was used for palinspastic reconstruction and interpretation of tectonic evolution of this part of Pannonian basin.

KEY WORDS: Sava depression, seismic interpretation, PetrelTM, structure contour map, 3D structural model, palinspastic reconstruction.

Sadržaj:

1. Uvod	1
2. Cilj istraživanja.....	2
3. Geografski položaj istraživnog područja	3
4. Geološke značajke istraživnog terena.....	4
4. Reperni slojevi.....	7
5. Taložni i tektonski razvoj Panonskog bazena u Hrvatskoj.....	9
6. Metode istraživanja	13
6.1.PC Windows aplikacija Petrel™2010	13
6.2. Interpretacija 2D seizmičkih sekcija	14
6.2.1. Interpretacija korelacijskih seizmičkih horizonata na 2D seizmičkim sekcijama	16
6.2.2. Interpretacija rasjeda na 2D seizmičkim sekcijama	19
6.3. 3D Strukturno modeliranje.....	20
6.3.1 3D Strukturni okvir.....	20
6.3.2. Pillar Gridding.....	22
6.4. 3D Strukturni model.....	26
7. Rezultati istraživanja	28
7.1 Interpretacija i opis seizmičkih sekcija.....	30
7.2. Vremenska strukturna karta po podlozi pliokvartarnih naslaga	34
7.3. Vremenska strukturna karta po stratigrafskoj granici donji – gornji pont.....	34
7.4. Vremenska strukturna karta po podlozi panonskih naslaga	35
7.5 Vremenska strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga.....	35
8. ZAKLJUČAK	36
9. Literatura	37
10. Zahvale	39

Popis slika:

Slika 1. Geografski položaj istraživanog područja (zeleni pravokutnik prikazuje površinu 3D seizmičkog volumena korištenog u ovom radu).....	3
Slika 2. Geološka građa istraživanog područja prema OGK 1:100.000, list Ivanić-Grad (BASCH, 1980).....	5
Slika 3. Shematski prikaz litostratigrafskih jedinica u Savskoj depresiji (iz SAFTIĆ et al., 2003).....	8
Slika 4. Geološki profil na području Zagorja na kojem je prikazano normalno rasjedanje, tipično za prvu fazu tektonskog razvoja Panonskog bazenskog sustava. (Preuzeto iz Tomljenović & Csontos, 2001).....	10
Slika 5. Druga faza tektonskog razvoja Panonskog bazenskog sustava za koju je karakteristična termalna subsidencija (preuzeto sa www.pg.geoscienceworld.org).....	11
Slika 6. Tektonska inverzija (preuzeto sa www.geodinamics.no).....	12
Slika 7. Sučelje aplikacije Petrel™ 2010	13
Slika 8. Trodimenzionalni prikaz interpretiranih seizmičkih sekcija (Petrel™)	14
Slika 9. Seizmička sekcija i bušotina Ru-2 s interpretiranim rasjedima i seizmičkim korelacijskim horizontima koji odgovaraju prikazim stratigrafskim granicama.....	16
Slika 10. 3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju EK-markeru α po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija	17
Slika 11. 3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju EK-markeru δ po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija	17
Slika 12. 3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju EK-markeru RS_7 po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija	18
Slika 13. 3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju repnom sloju Tg po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija	18
Slika 14. 2D seizmička sekcija s interpretiranim seizmičkim horizontom po podlozi panonskih naslaga (zelena boja) i interpretiranim rasjedima.....	19
Slika 15. Trodimenzionalni prikaz interpretiranih rasjednih ploha	20
Slika 16. Preliminarni modeli horizonta s modelima rasjeda koji ih presjecaju iz čega se vidi njihov međusobni odnos	21
Slika 17. <i>Pillar</i> sa svojim sastavnim dijelovima (preuzeto iz Structural Modeling, Schlumberger, 2011).....	22
Slika 18. Kartirani rasjedi konvertirani u „ <i>pillare</i> “	22

Slika 19. Prikaz međusobnog odnosa glavnog (sivi) i sporednog (ljubičasti) rasjeda.	23
Slika 20. Prikaz rasjeda u tlocrtu s definiranim međusobnim odnosima te prikazom srednje mreže(<i>eng „skeleton“</i>) strukturnog modela.....	23
Slika 21. I (zeleno), J (crveno) i arbitrarni (bijelo) smjerovi te trendovi (zeleno s strelicom) rasjeda koji su u međusobnom odnosu.	24
Slika 22. Nepravilnosti koje treba popravljati pri izradi mreže; izobličene ćelije, preklapanja te „ <i>peekovi</i> “	24
Slika 23. Prikaz gornje, srednje i donje mreže (<i>eng. „skeleton“</i>) strukturnog modela.....	25
Slika 24. Model horizonta podloge neogena (Tg) s pripadajućim rasjedima	26
Slika 25. Model horizonta podloge panona (Rs7) s pripadajućim rasjedima	26
Slika 26. Model horizonta granice donjeg i gornjeg ponta (δ) s pripadajućim rasjedima	27
Slika 27. Model horizonta podloge pliokvadratnih naslaga (α) s pripadajućim rasjedima	27
Slika 28. a) Neinterpretirana i b) interpretirana seizmička sekcija 2190 s označenim rasjedima i stratigrafskim jedinicama	30
Slika 29. a) Interpretirana seizmička sekcija 2420 i b) palinspastička rekonstrukcija po stratigrafskoj granici donji-gornji pont s označenim rasjedima i stratigrafskim jedinicama.....	32
Slika 30. a) Interpretirana seizmička sekcija 2490 i b) palinspastička rekonstrukcija po stratigrafskoj granici donji-gornji pont s označenim rasjedima i stratigrafskim jedinicama.....	33

Popis tablica:

Tablica 1. Popis kartiranih rasjeda s karakterom i iznosom pomaka 29

Popis priloga:

Prilog 1. Vremenska strukturna karta po podlozi pliokvartarnih naslaga

Prilog 2. Vremenska strukturna karta po stratigrafskoj granici donji-gornji pont

Prilog 3. Vremenska strukturna karta po podlozi panonskih naslaga

Prilog 4. Vremenska strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga

1. Uvod

Na području Panonskog bazena u Hrvatskoj, od sredine prošlog stoljeća pa do danas, tvrtka INA Naftaplin Zagreb (kasnije INA Industrija nafte d.d, Zagreb) je načinila brojna geofizička mjerenja i geološka istraživanja u cilju pronalaska novih i razrade postojećih ležišta ugljikovodika u tom dijelu Hrvatske. Kroz to vrijeme u ovom je području snimljena vrlo gusta mreža refleksijskih seizmičkih sekcija, praćenih istražnim i razradnim bušotinama na temelju kojih se nastojala rekonstruirati dubinska geološka građa ovog dijela Panonskog bazena, a time i pronaći lokacije potencijalnih, novih ležišta. Unatoč tome što je na taj način prikupljena vrlo obimna geofizička i geološka dokumentacija, podaci o dubinskoj geološkoj građi u pravilu su objavljeni u ograničenom opsegu i sporadično, djelomice kroz doktorske disertacije, diplomske i magistarske radove na studijima geologije Sveučilišta u Zagrebu, a djelomice i kroz znanstvene radove koji su pretežito objavljeni u domaćim znanstvenim i stručnim publikacijama. Također, većina dosad objavljenih znanstvenih radova uglavnom je tematski ograničena na proučavanje litostratigrafskog razvitka, za razliku od radova koji se bave opisom strukturne građe i interpretacijom tektonske evolucije na području Panonskog bazena u Hrvatskoj kojih je vrlo malo i koji su u pravilu prostorno ograničeni na pojedina lokalna područja (npr. PLETIKAPIĆ, 1960, 1969, KRANJEC 1972, PRELOGOVIĆ, 1975, VELIĆ 1980). U nastojanju da se doprinese novim spoznajama o tektonskoj evoluciji Panonskog bazena u Hrvatskoj, ovaj rad ima za cilj opisati glavne strukturne značajke u geološkoj građi podzemlja u zapadnom dijelu Savske depresije, na temelju kojih je načinjena rekonstrukcija tektonske evolucije ovog područja od početka neogena (pred oko 23 Ma) pa do danas. Rad se temelji na analizi i interpretaciji raspoloživih geofizičkih i bušotinskih podataka dobivenih od tvrtke INA Industrija nafte d.d. Zagreb, koji obuhvaćaju područje istočnog dijela Zagrebačke županije, jugoistočno od Medvednice i sjeverozapadno od Moslavačke gore. Geofizički podaci korišteni u ovom radu predstavljaju niz seizmičkih sekcija ekstrahiranih iz seizmičkog volumena, a čija baza pokriva područje površine 410 km². Obrada i interpretacija podataka provedene su na RGN fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo pomoću računalnog programa PETRELTM 2010 doniranog fakultetu od tvrtke Schlumberger.

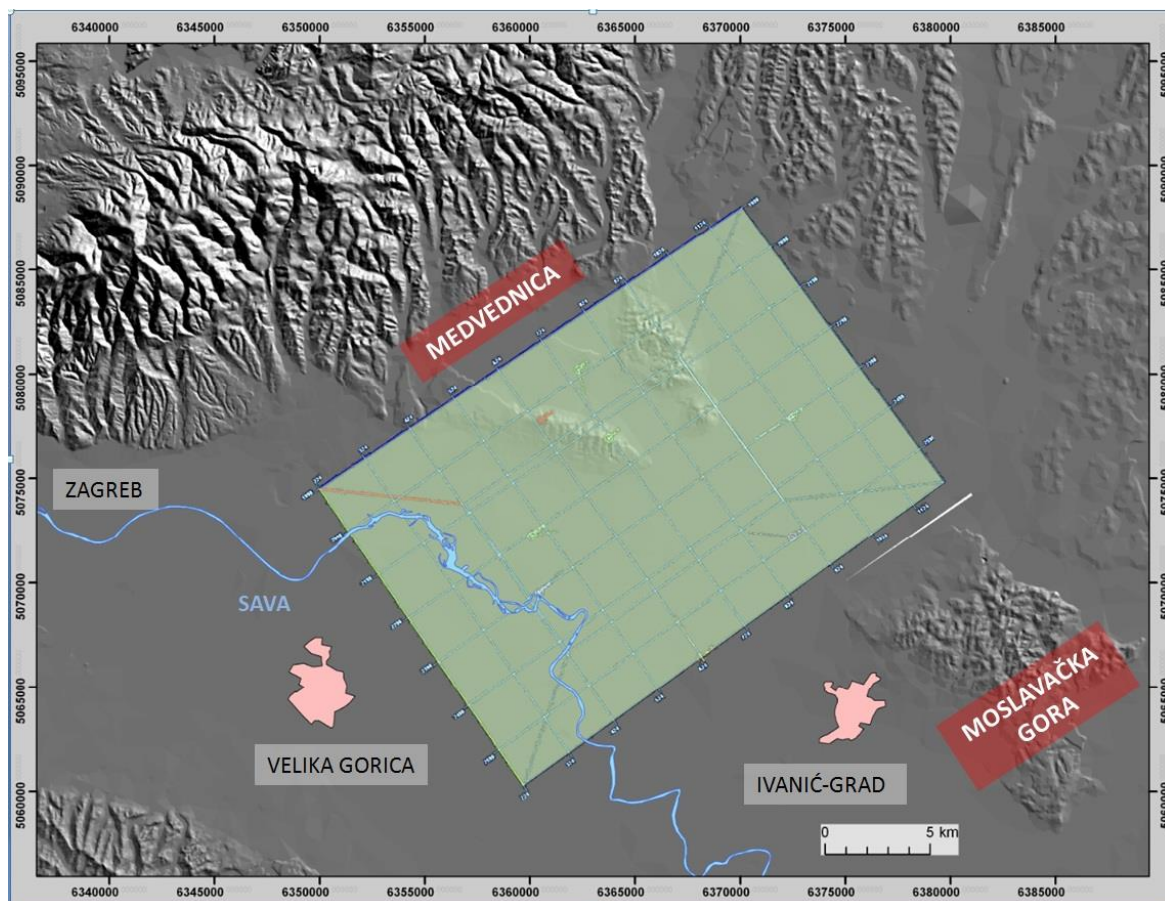
2. Cilj istraživanja

Cilj ovog rada je bio prikazati tektonsku evoluciju zapadnog dijela Savske depresije. Taj cilj postignut je izradom vremenskih strukturnih karata po podlozi neogenskih, panonskih i pliokvartarnih naslaga i stratigrafskoj granici donji-gornji pont, kartiranjem seizmičkih horizonata koji geološki predstavljaju diskordancije u podlogama ovih naslaga. Također, u postupku izrade ovih karata načinjena je i korelacija bušotinskih i seizmičkih podataka, kartiranje rasjeda te izrada 3D strukturnog modela. Za korelaciju bušotina sa seizmičkim podacima korišteno je osam bušotina: Rugvica-2 (Ru-2), Cerje-1 (Ce-1), Cerje-2 (Ce-2), Ježevo-2 duboka (Je-2D), Lupoglav-3 (Lup-3), Kopčevac-1 (Kop-1), Vrbovec-1 (Vr-1), Glavinčica-3 (Gl-3). Ova korelacija u najvećoj je mjeri utemeljena na podacima iz bušotine Ru-2 radi bolje kvalitete njenih bušotinskih podataka i njenog optimalnog strukturnog položaja u središtu istraživog područja. Završna faza rada obuhvaćala je izradu 3D strukturnog modela te „izravnavanje“ kartiranih seizmičkih horizonata u inicijalni položaj. Pojedine faze tektonske evolucije istraživog područja opisane su u tekstu i dodatno objašnjene interpretacijom na reprezentativnim seizmičkim sekcijama. Kako se radi o izrazito tektonski kompliciranom području, odgovarajuće deformacijske strukture povezane s pojedinim, naročito starijim fazama u tektonskom razvoju je u pravilu teško prepoznati.

3. Geografski položaj istraživanog područja

Istraživano područje se nalazi u središnjem dijelu sjeverozapadne Hrvatske, u istočnom dijelu Zagrebačke županije, jugoistočno od grada Zagreba. Površine je 410 km², a prostire se na području između 45° 54' 41,17" i 45° 40' 46,53" s.g.š. te 16° 5' 4.76" i 16° 25' 7,23" i.g.d., između gorskih masiva Medvednice na sjeverozapadu i Moslavačke gore na jugoistoku (Slika 1). Jugozapadnim i zapadnim dijelom područja protječe rijeka Sava.

Uz grad Zagreb koji se nalazi na sjeverozapadnom rubu područja istraživanja, najveća naselja u rubnim dijelovima istraživanog područja su Ivanić-Grad na jugoistoku, Velika Gorica na zapadu te Dugo Selo, Sesevski Kraljevec i Ivanja Reka koja se nalaze u istraživanom području.



Slika 1. Geografski položaj istraživanog područja (zeleni pravokutnik prikazuje površinu 3D seizmičkog volumena korištenog u ovom radu).

4. Geološke značajke istraživanog terena

Površinska geološka građa područja istraživanja i njegove okolice prikazana je Osnovnom geološkom kartom SFRJ (OGK) M 1:100.000, listom Ivanić-Grad (BASCH, 1980). Isječak ove karte prikazan je na slici 2.

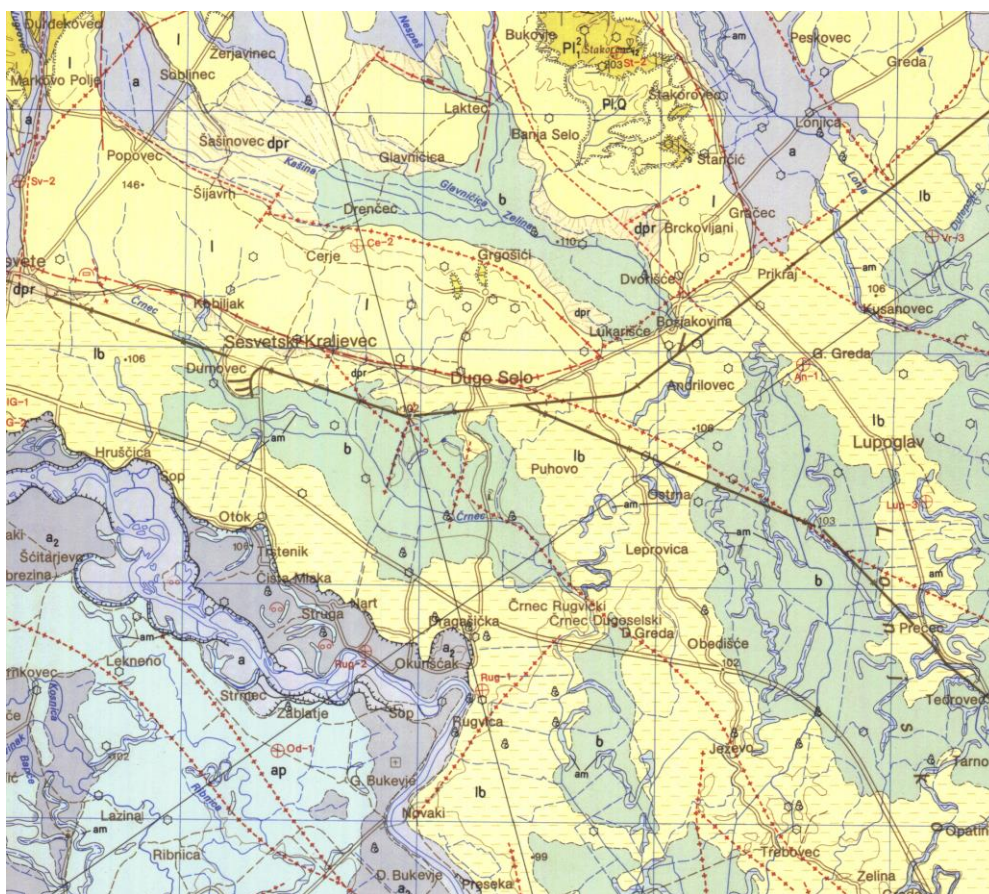
Prema podacima OGK lista Ivanić-Grad (BASCH, 1980) najstarije na površini otkrivene stijene istraživanog područja su sedimenti gornjeg ponta (M^7) koje čine pijesci, lapori i gline koje se na površini nalaze u okolnom području Štakorovca.

Prema podacima OGK lista Ivanić-Grad (BASCH, 1980) najstarije na površini otkrivene stijene istraživanog područja su sedimenti gornjeg ponta (M^7) koje čine pijesci, lapori i gline koje se na površini nalaze u okolnom području Štakorovca. Holocen je predstavljen deluvijem proluvijem (dpr) i aluvijem prve i druge savske terase (a1, a2), sedimentima poplava (ap), aluvijem mrtvaja (am), aluvijem recentnih tokova (a) i barskim sedimentima (b). Geneza močvarnog prapora (lb) vezana je uz taloženje čestica u močvarnim i plitkim jezerima. Sedimenti kopnenog prapora (l) diskordantno su taloženi na erodiranu podlogu. Čestice su sitnih dimenzija i taložene su eolskim procesima na tadašnjim kopnenim površinama.

Litološki sastav deluvijalo-proluvijalnih sedimenata (dpr) usko je vezan sa sastavom stijena koje leže u njihovom neposrednom zaleđu. Zbog izrazito kratkog transporta i višestrukog ponavljanja procesa erozije i sedimentacije, naslage su najčešće loše sortirane. Najvećim dijelom ih čine klasti sitnozrnatih nevezanih stijena, nastali pretaloživanjem kopnenog prapora i pliocenskih sedimenata.

Sedimente prve i druge savske terase (a1, a2) čine šljunci i pijesci te manjim dijelom pjeskovite i siltozne gline. Šljunci su različitog petrografskog sastava, uz dominaciju valutica vapnenaca, dolomita, pješčenjaka, kvarcita i rožnjaka (VELIĆ & DURN, 1993). U ovim naslagama mjestimično se nazire slojevitost u vidu vertikalne promjene granulometrijskog sastava sedimenata, no većinom su neuslojene.

Sedimenti poplava (ap) nastali su taloženjem sitnozrnatog materijala zaostalog na područjima poplavnih ravnica nakon povratka riječnog toka u matično korito. Čine ih pjeskovito-glinoviti siltovi koji mjestimično prelaze u siltozne gline.



Legenda kartiranih jedinica

	Barski sedimenti: gline, glinoviti siltovi
	Aluvij recentnih tokova: šljunci, pijesci, siltovi, gline
	Facies mrtvaja: pijesci, glinoviti siltovi, gline, muljevi
	Facies poplava: glinoviti pijesci, glinoviti siltovi
	Aluvij prve savske teras: šljunci i pijesci
	Aluvij druge savske terase: gline, pijesci i siltozne gline
	Deluvij-proluvij: siltozne gline, pijesci, šljunci
	Bezkarbonatni kopneni prapor: glinoviti siltovi
	Močvarni prapor: gline, siltovi, pijesci, šljunci, treset i lignit
	Šljunci, pijesci, gline (donji pleistocen)
	Pijesci, lapori, gline (gornji pont)

Legenda standardnih oznaka

	Rasjed bez oznake karaktera: pokriven i pretpostavljen
	Rasjed prema geomorfološkim pokazateljima: prekriven i pretpostavljen
	Duboke bušotine, pojedinačno; skup dubokih bušotina (preko 50 kom.)
	Makrofauna: marinska, braktična i slatkovodna
	Mikrofauna; mikroflora

Slika 2. Geološka građa istraživanog područja prema OGK 1:100.000, list Ivanić-Grad (BASCH, 1980)

Aluvij mrtvaja (am) su stara napuštena korita vodotokova koji leže na područjima za koje su karakteristični sedimenti močvarnog prapora. Izgrađeni su od sitnozrnatih zaglinjenih pijesaka, glinovitih siltova, siltoznih glina sa značajnim udjelom neraspadnute organske materije.

Aluvijalni sedimenti recentnih tokova (a) heterogenog su petrografskog sastava. Mogu se podijeliti prema granulometrijskom sastavu na sedimente građene od sitnozrnatih i krupnozrnatih fragmenata.

Barski sedimenti (b) taloženi su na području recentnih močvarišta. Sedimenti su izrazito malih debljina koje rijetko prelaze 0,7 m.

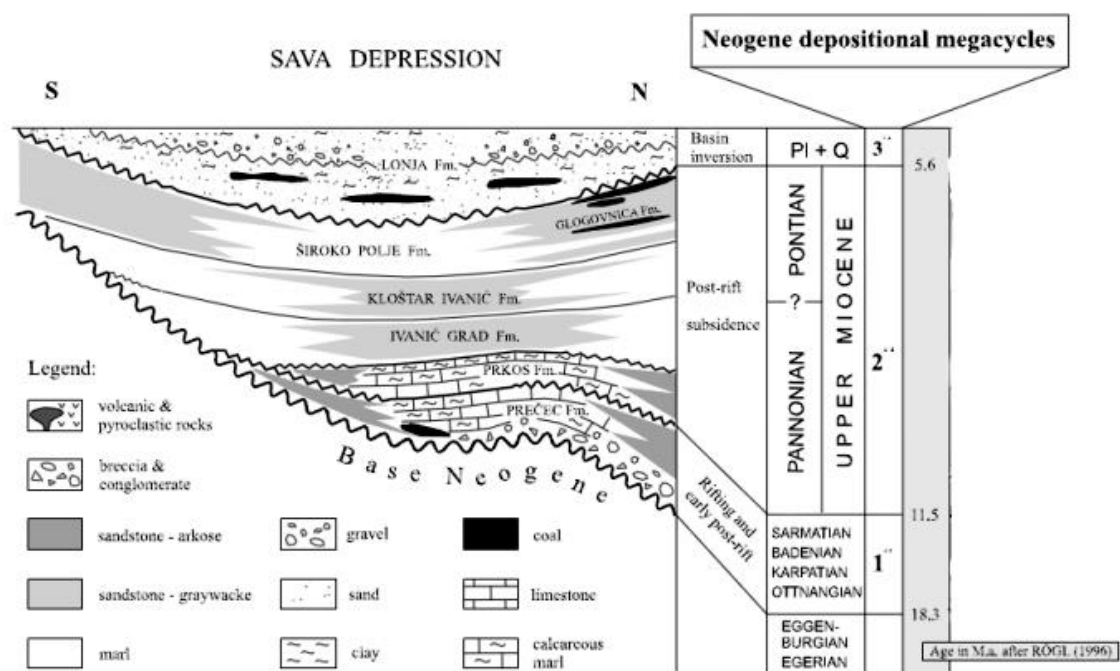
4. Reperni slojevi

Dubinska geološka građa istraživanog područja je također opisana i u znanstvenim radovima u drugoj polovici 20. Stoljeća u kojima su izdvojene litostratigrafske jedinice i EK-markeri karakteristični za područje Savske depresije (npr. SAFTIĆ et al., 2003 i reference u tom radu). Litostratigrafske jedinice ovog područja u pravilu su omeđene diskordancijama i odgovarajućim repnim slojevima (Slika 3).

Prema MALVIĆ & SAFTIĆ (2008) repni slojevi su karakterizirani jasnom prepoznatljivošću i lakim praćenjem svojstava na nekom određenom području. Ta svojstva ih istovremeno razlikuju i odvajaju od podinskih i krovinskih naslaga. Njihova korelativna svojstva počivaju na činjenici da su iznimno male debljine, ali velikog bočnog rasprostiranja.

Za područje Savske depresije definirani su sljedeći repni slojevi:

- Tg-diskordancija između tercijarnih sedimenata i starijih stijena u podlozi (u slučaju kad su u podlozi magmatske i metamorfne stijene paleozojske starosti)
- P_{Tc} ili P_t-diskordancija između tercijarnih sedimenata i starijih stijena u podlozi (u slučaju kad su stijene u podlozi sedimenti paleozojske i mezozojske starosti)
- R_{s7}-elektrokarotažni marker koji dijeli naslage sarmata i panona, predstavlja diskordanciju po podlozi panonskih naslaga, dijeli formacije Prečec i Prkos
- R_{s5}-elektrokarotažni marker koji dijeli naslage donjeg i gornjeg panona, dijeli formacije Prkos i Ivanić-Grad
- Z'-elektrokarotažni marker koji dijeli naslage gornjeg panona i donjeg pontaa, dijeli formacije Ivanić-Grad i Kloštar-Ivanić
- δ-elektrokarotažni marker koji dijeli naslage donjeg i gornjeg pontaa, dijeli formacije Kloštar-Ivanić i Široko Polje
- α'-elektrokarotažni marker koji dijeli naslage gornjeg pontaa od naslaga dacija, romanija, i kvartara; predstavlja diskordanciju po podlozi pliocenskih i kvartarnih naslaga-dijeli formacije Široko Polje i Lonja.



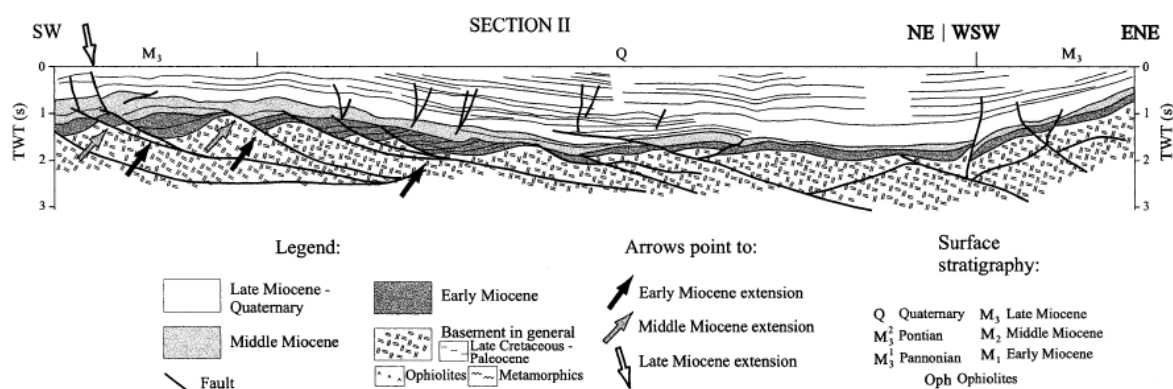
Slika 3. Shematski prikaz litostratigrafskih jedinica u Savskoj depresiji (iz SAFTIĆ et al., 2003)

5. Taložni i tektonski razvoj Panonskog bazena u Hrvatskoj

Republici Hrvatskoj pripada dio Panonskog bazena omeđen rijekama Savom, Dravom i Kupom. Panonski bazen je neogenski bazen smješten u jugoistočnom dijelu srednje Europe, okružen orogenskim pojasevima Alpa, Karpata i Dinarida. Sastoji se od većeg broja manjih pod-bazena pa stoga predstavlja bazenski sustav kompleksne geološke građe.

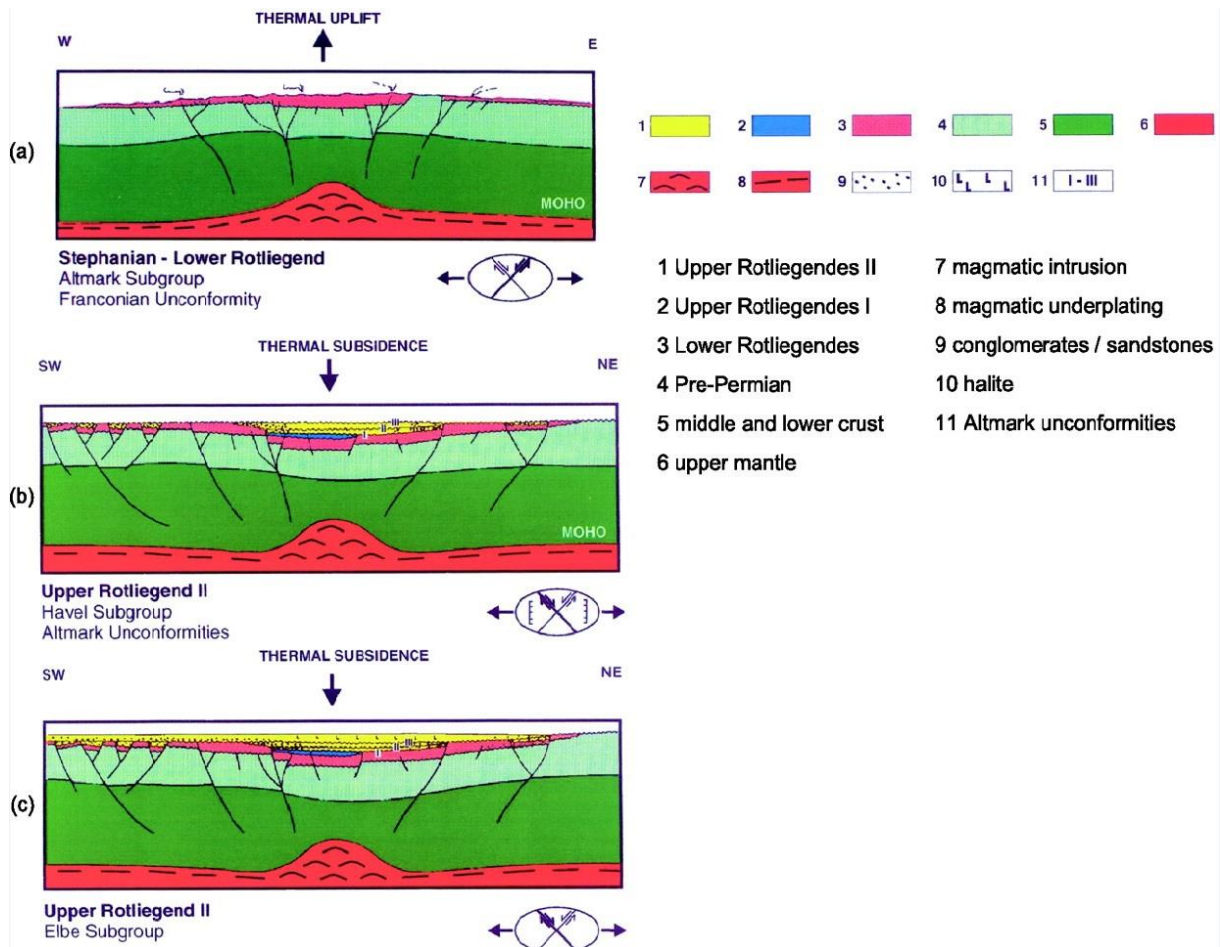
Prema VELIĆ et al. (2002) i SAFTIĆ et al. (2003) u hrvatskom dijelu Panonskog bazena sedimentacija u neogenu odvijala se sukcesivno u tri taložna "megaciklusa" koji su posljedica značajnih promjena u tektonskoj evoluciji Panonskog bazenskog sustava (VELIĆ et al., 2002).

Prvi megaciklus započinje u otnangu (18,3 - 17,2 Ma), traje oko 6,8 milijuna godina, a obilježava ga taloženje u tektonskim grabama i polu-grabama nastalim u krovinskim krilima normalnih rasjeda aktivnih u to vrijeme (slika 4). Za otnang su karakteristične slatkovodne naslage koje pretežito čine krupnozrnati klastiti uz podređene pješčenjake i siltite (PAVELIĆ, 2001). Paralelno s prvim megaciklusom povezuje se i prva sin-ekstenzijska tektonska faza u ovom dijelu Panonskog bazena, s glavnom osi tenzijskog naprezanja pružanja ISI-ZJZ (TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001). Marinska transgresija započinje u karpata uz dominantno taloženje lapora i siltova, sporadično i lokalno sa krupnozrnatim klastitima taloženim putem gravitacijskih tokova te lokalno i vulkanskim stijenama (PAVELIĆ et al., 1998). Najznačajnija marinska transgresija nastupila je u badenu uz taloženje litološki vrlo raznolikih naslaga: šljunaka, kalkarenita, vapnenaca i lapora, s postupnim oplićavanjem prostora krajem badena. Prvi megaciklus završava u sarmatu, za kojeg su karakteristične naslage taložene u brakičnom okolišu (PAVELIĆ, 2001).



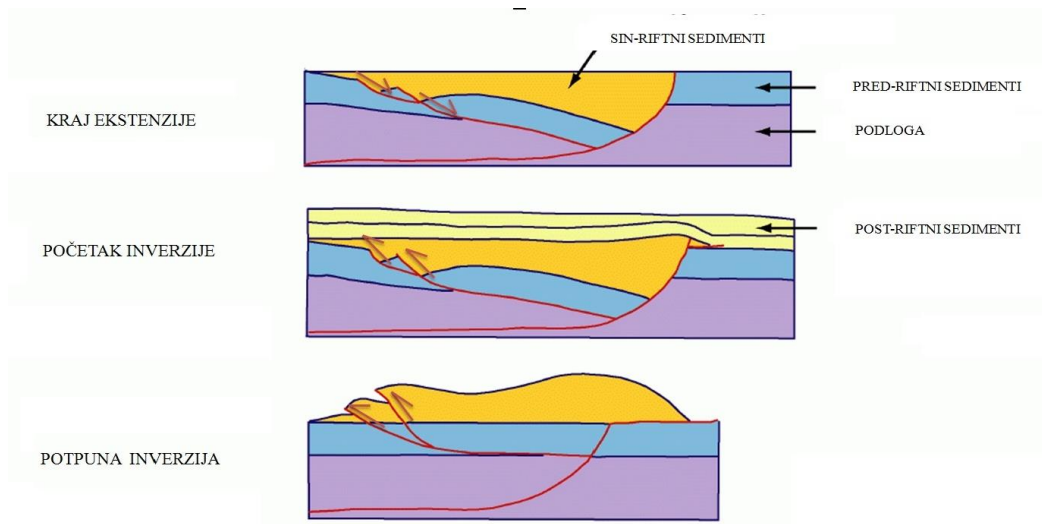
Slika 4. Geološki profil na području Zagorja na kojem je prikazano normalno rasjedanje, tipično za prvu fazu tektonskog razvoja Panonskog bazenskog sustava. (Preuzeto iz Tomljenović & Csontos, 2001)

Drugi se magaciklus odvijao u panonu i pontu a trajao je oko 5,9 milijuna godina (SAFTIĆ et al, 2003). Za ovaj ciklus značajna je faza termalne subsidencije (Slika 5). Termalna subsidencija podloge bazena uslijed hlađenja donjeg dijela litosfere postaje glavni uzročnik regionalne dinamike prostora Panonskog bazenskog sustava, što je dovelo do kontinuiranog taloženja gornjomiocenskih sedimenata vrlo velike debljine. Na taj način, utjecaj tektonske aktivnosti tijekom drugog megaciklusa je slabije izražen, a mjestimično se javlja i vulkanizam alkalnog tipa. Tijekom ovog ciklusa, naslage su taložene u brakičkim jezerskim okolišima (SAFTIĆ et al, 2003; PAVELIĆ, 2001). Taložni prostor i posebno izvorišta materijala se pomiču na rubove bazenskog sustava, pa na taj način glavno izvorište klastičnog materijala za hrvatski dio Panonskog bazena postaju Istočne Alpe (MALVIĆ & SAFTIĆ, 2008).



Slika 5. Druga faza tektonskog razvoja Panonskog bazenskog sustava za koju je karakteristična termalna subsidencija (preuzeto sa www.pg.geoscienceworld.org)

Treći megaciklus odvijao se za vrijeme pliocena i kvartara s trajanjem od 5,6 Ma te predstavlja završnu fazu tektonskog razvitka u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava. Za ovaj ciklus je karakteristična močvarna, riječna i jezerska sedimentacija, koja se odvijala samo u zaostalim depresijama između najuzdignutijih dijelova bazena. U odnosu na prijašnje megacikluse, lokalna središta taloženja sedimenata pomaknuta su prema jugu ili JI, uz dominaciju fluvijalnih i močvarnih sedimenata (SAFTIĆ et al., 2003). Također, za ovaj ciklus značajna je faza tektonske inverzije bazena (Slika 6) koja je djelomice ostvarena reaktiviranjem ranijih normalnih rasjeda djelom i formiranjem novih reversnih rasjeda, stvorenim u polju regionalnog naprezanja s orijentacijom glavne kompresijske osi pružanja S-J do SSZ-JJI (TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001), odnosno SI-JZ u dijelu Panonskog bazena na granici Hrvatske i Mađarske (BADA et al., 2007)



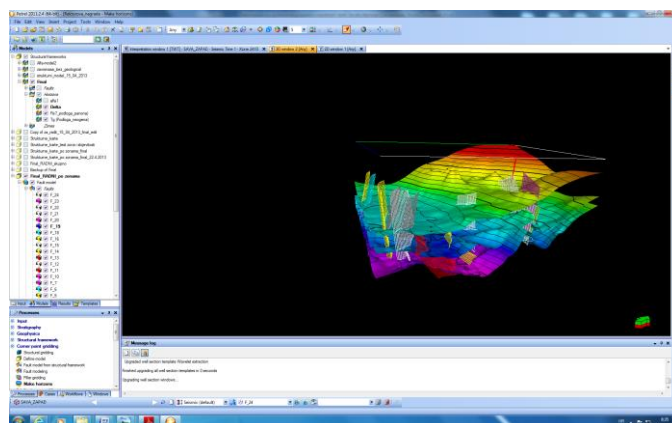
Slika 6. Tektonska inverzija (preuzeto sa www.geodinamics.no)

6. Metode istraživanja

Strukturna interpretacija je realizirana pomoću geofizičkih i bušotinskih podataka. Seizmički podaci su dobiveni od tvrtke INA Industrija nafte d.d. Zagreb, a njihova obrada i interpretacija provedene su pomoću računalnog programa PETREL™ 2010 koji je doniran RGN fakultetu od tvrtke Schlumberger.

6.1. PC Windows aplikacija Petrel™ 2010

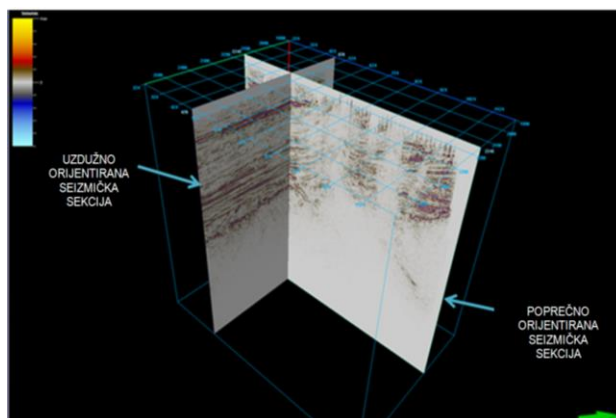
Pri izradi ovog rada korištena je Schlumbergerova licencirana aplikacija za Windows, Petrel™ 2010. Ova višenamjenska aplikacija pogodna je za obradu i interpretaciju seizmičkih podataka i bušotinsku korelaciju, koristi se pri istraživanju i razradi ležišta ugljikovodika (Slika 7). Pomoću različitih alata i funkcija koje aplikacija podržava moguće je izraditi različite vrste karata, modela i simulacija ležišta. Softver Petrel™ 2010 objedinjuje mnoge specijalizirane alate koji se koriste u različitim ograncima geoznanosti.



Slika 7. Sučelje aplikacije Petrel™ 2010

6.2. Interpretacija 2D seizmičkih sekcija

Podaci kojima se raspolagalo pri izradi ovog rada nalaze se u obliku seizmičkog 3D volumena čija površina iznosi 410 km². Seizmički 3D volumen čini kontinuirani niz uzdužnih i poprečnih seizmičkih sekcija. Pri interpretaciji je fokus bio na seizmičkim sekcijama pružanja SI-JZ, s obzirom na to da je njihovo pružanje poprečno na pružanje glavnih rasjeda i drugih struktura (Slika 8). Tek kada su se interpretacije kartiranog horizonta i rasjednih ploha na različito orijentiranim sekcijama u potpunosti podudarale, bilo je moguće pristupiti izradi preliminarnog modela interpretiranih ploha korelacijskih horizontata i 3D strukturnog modela istraživanog područja s pripadajućim strukturnim kartama interpretiranih korelacijskih horizontata.



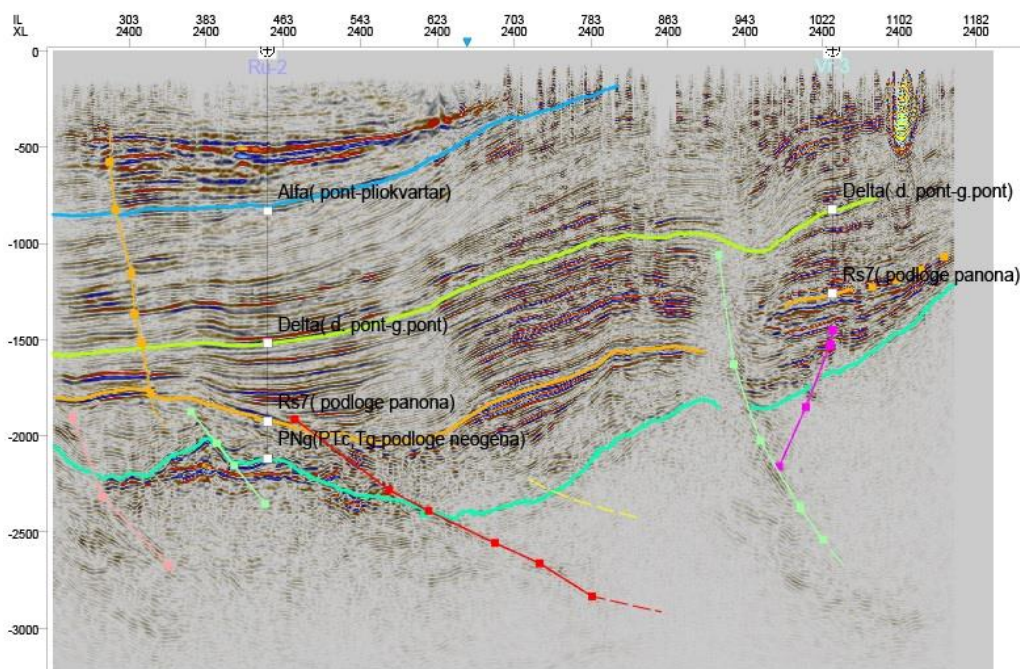
Slika 8. Trodimenzionalni prikaz interpretiranih seizmičkih sekcija (Petrel™)

Seizmički podaci na obrađenim seizmičkim sekcijama su slika valnog polja izazvanog emitiranjem zvučnog mehaničkog vala na površini ili blizu nje koju je potrebno pretvoriti u geološku sliku podzemlja. Glavni cilj interpretacije seizmičkih podataka je pretvorba fizikalne slike prostornog rasporeda valnih fronti umjetno izazvanih zvučnih valova u podzemlju u prikaz strukturnih i litoloških odnosa (PRSKALO, 2005).

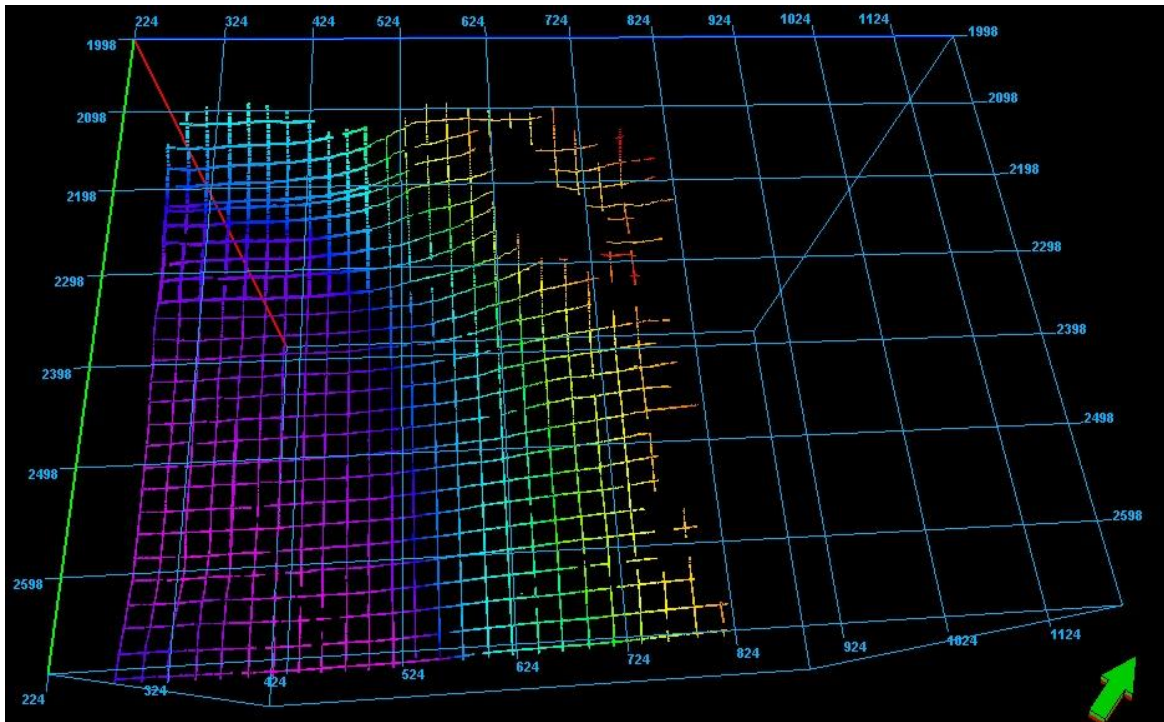
6.2.1. Interpretacija korelacijskih seizmičkih horizonata na 2D seizmičkim sekcijama

Prvi korak interpretacije podrazumijevao je definiranje seizmičkih korelacijskih horizonata. Za korelaciju bušotina sa seizmičkim podacima korišteno je osam bušotina: Rugvica-2 (Ru-2), Cerje-1 (Ce-1), Cerje-2 (Ce-2), Ježevo-2 duboka (Je-2D), Lupoglav-3 (Lup-3), Kopčevac-1 (Kop-1), Vrbovec-1 (Vr-1), Glavinčica-3 (Gl-3). Ova korelacija u najvećoj je mjeri utemeljena na podacima bušotine Ru-2 radi najpotpunijih bušotinskih podataka i njenog optimalnog strukturnog položaja. Nabušeni kontakti EK markera Tg, Rs₇, δ te α u bušotini RU-2 korišteni su kao ishodišna točka interpretacije seizmičkih korelacijskih horizonata te njihovog povezivanja s izraženim seizmičkim refleksima (Slika 9).

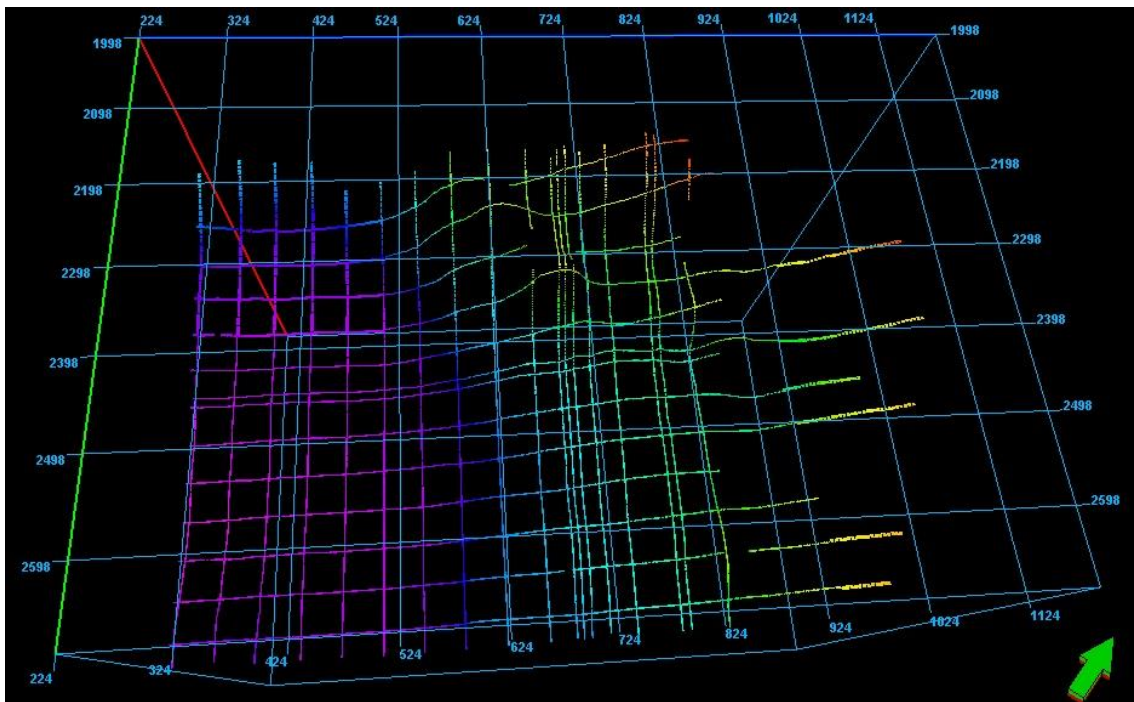
U slučaju nepoklapanja interpretiranog horizonta na poprečnim i uzdužnim profilima, interpretacija je korigirana, a to je moguće manualno ili softverski. Problem nepodudarnosti refleksa koji odgovara kartiranom horizontu javlja se kod pojave rasjeda, kada je interpretacija otežana nejasnim tj. slabim refleksima. Slike od 10 do 13 prikazuju interpretacije svih četiriju kartiranih seizmičkih horizonata.



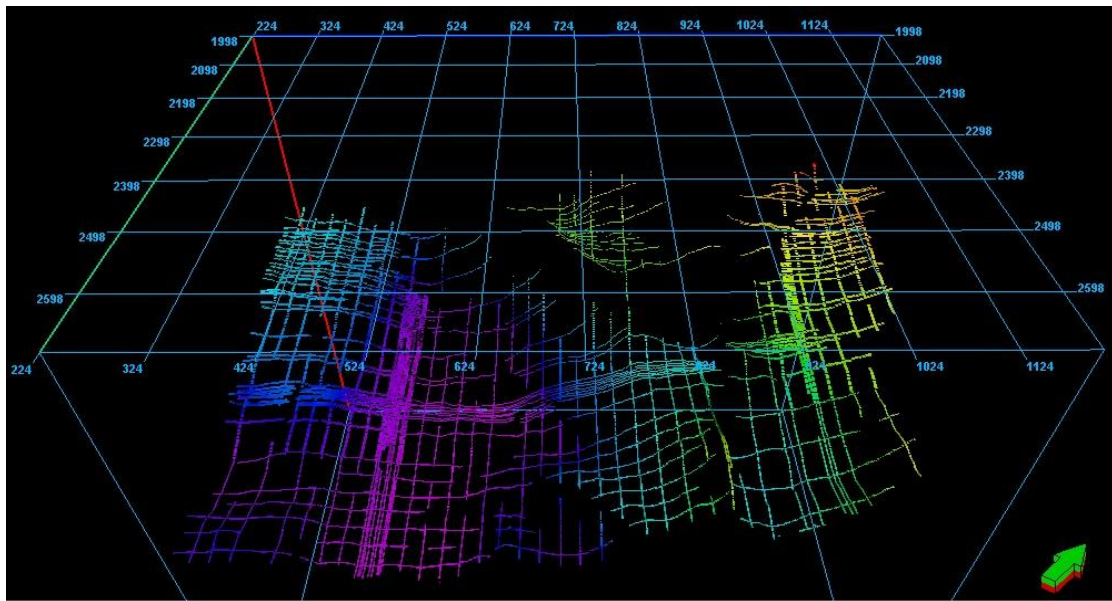
Slika 9. Seizmička sekcija i bušotina Ru-2 s interpretiranim rasjedima i seizmičkim korelacijskim horizontima koji odgovaraju prikazanim stratigrafskim granicama



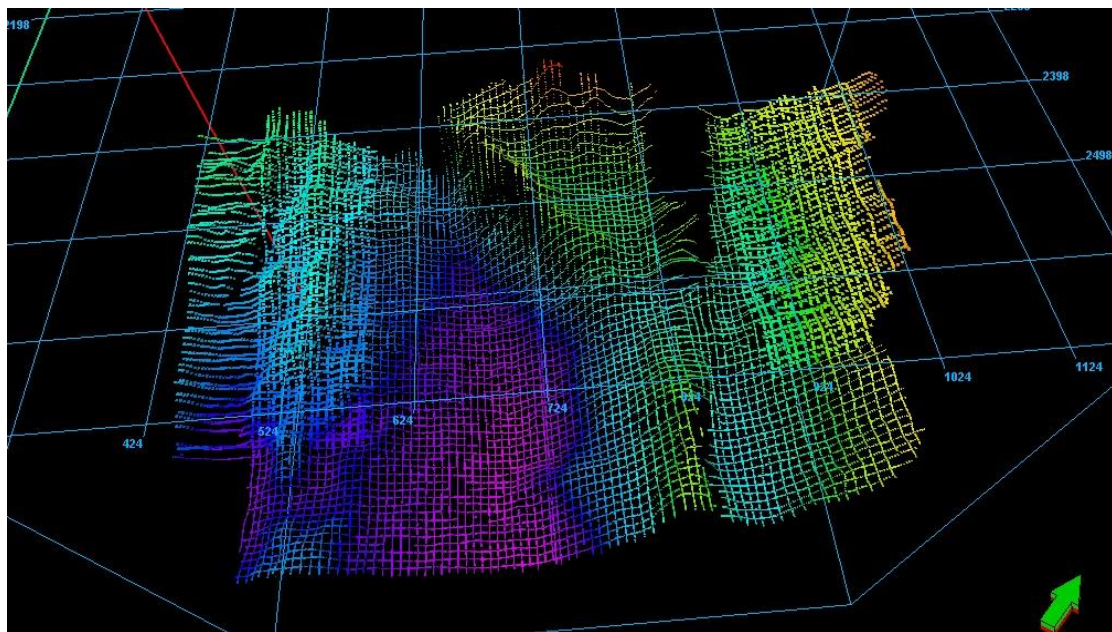
Slika 10.3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju EK-markeru α po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija



Slika 11. 3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju EK-markeru δ po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija.



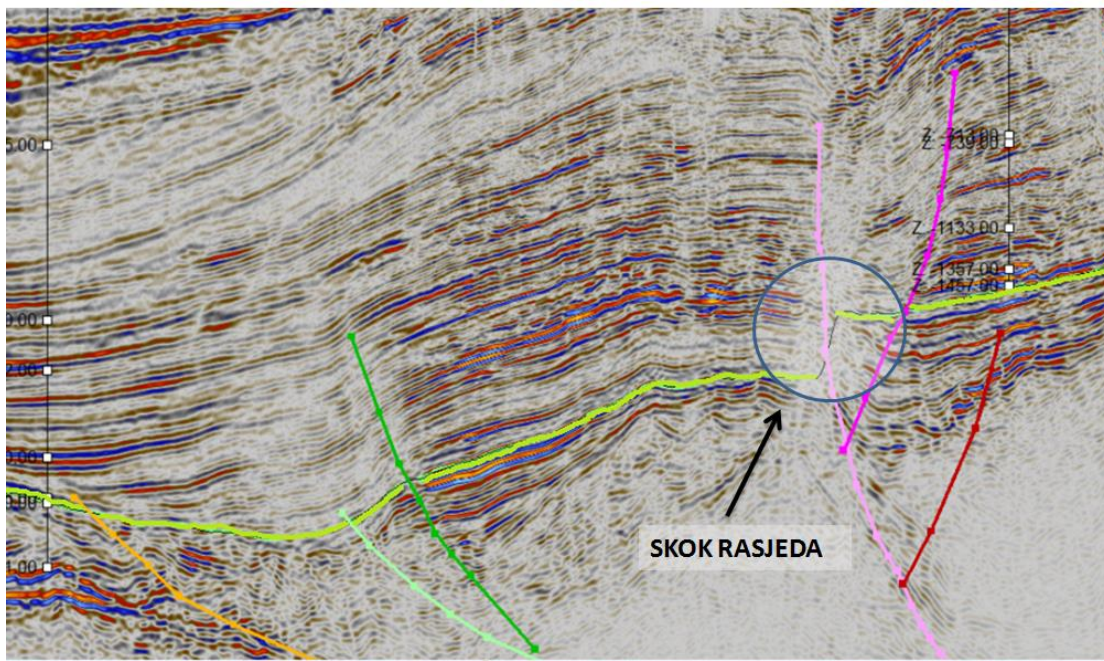
Slika 12. 3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju EK-markeriu R_{S7} po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija



Slika 13. 3D prikaz interpretiranih horizonta koji odgovaraju repnom sloju T_g po tragovima poprečnih i uzdužnih seizmičkih sekcija.

6.2.2. Interpretacija rasjeda na 2D seizmičkim sekcijama

Drugi dio interpretacije podrazumijevao je kartiranje rasjeda koji presijecaju seizmičke horizonte koji odgovaraju repnom sloju Tg i EK-markerima Rs7, δ i α . Rasjedi se prepoznaju po prekidu refleksa (u ovom slučaju kartiranog seizmičkog horizonta). Od krucijalne je važnosti korelirati reflekse dvaju rasjednih krila, jer ukoliko dođe do pogreške, krivo je interpretiran seizmički horizont i dobije se kriva predodžba o karakteru pomaka po rasjedu i samoj veličini pomaka (slika 14).



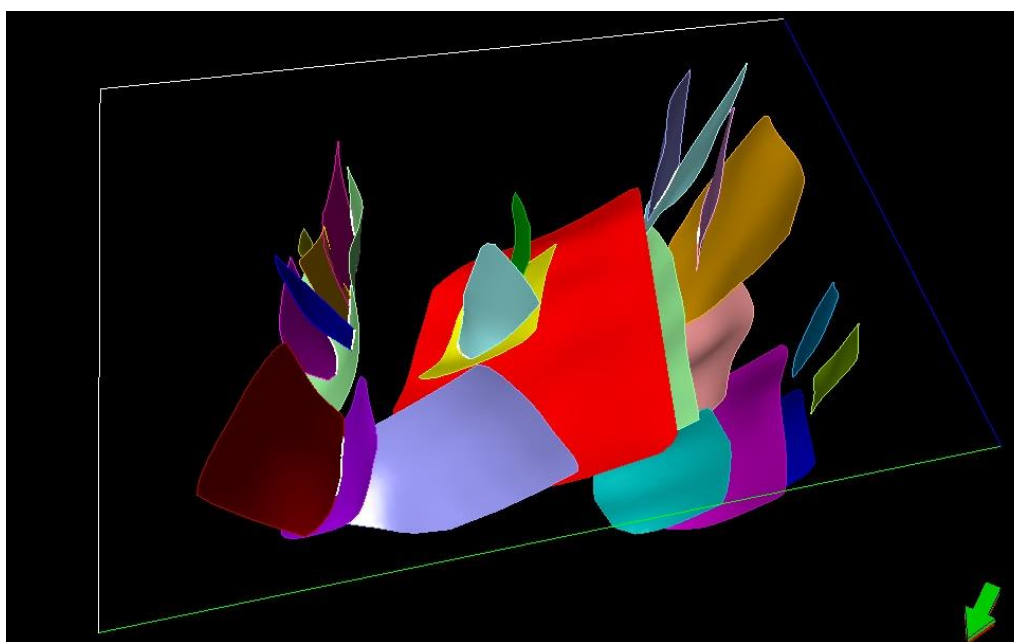
Slika 14. 2D seizmička sekcija s interpretiranim seizmičkim horizontom po podlozi panonskih naslaga (zelena boja) i interpretiranim rasjedima

6.3. 3D Strukturno modeliranje

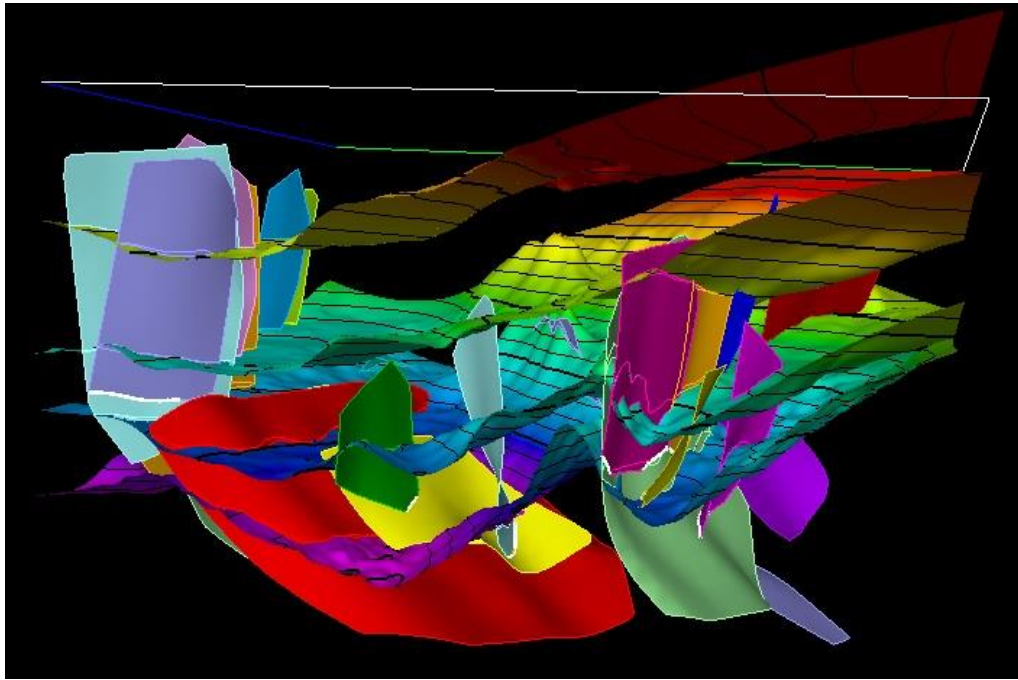
6.3.1 3D Strukturni okvir

Kada je interpretacija rasjeda i horizonata završena potrebno je izraditi strukturni okvir (eng. „*Structural framework*“) koji predstavlja ulazni podatak za izradu finalnog strukturnog modela. Izrada strukturnog okvira podrazumijeva definiranje geometrije te granica strukturnog modela, iz interpretiranih i povezanih rasjeda načiniti preliminarne rasjedne plohe te načiniti preliminarne modele horizonata.

Interpretacije rasjeda su korištenjem strukturnog okvira (eng. „*Structural framework* „) pretvorene u rasjedne plohe te su izdvojeni glavni i sporedni rasjedi (Slika 15 prikazuje 24 izrađene rasjedne plohe u 3D okruženju, a slika 16 modelirane plohe korelacijskih horizonata te rasjede pri čemu se vidi i njihov međusobni odnos).



Slika 15. Trodimenzionalni prikaz interpretiranih rasjednih ploha.

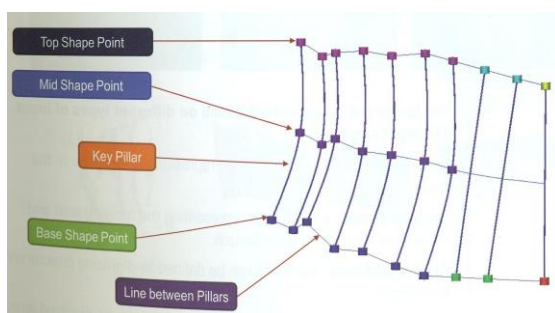


Slika 16. Preliminarni modeli horizonta s modelima rasjeda koji ih presjecaju iz čega se vidi njihov međusobni odnos.

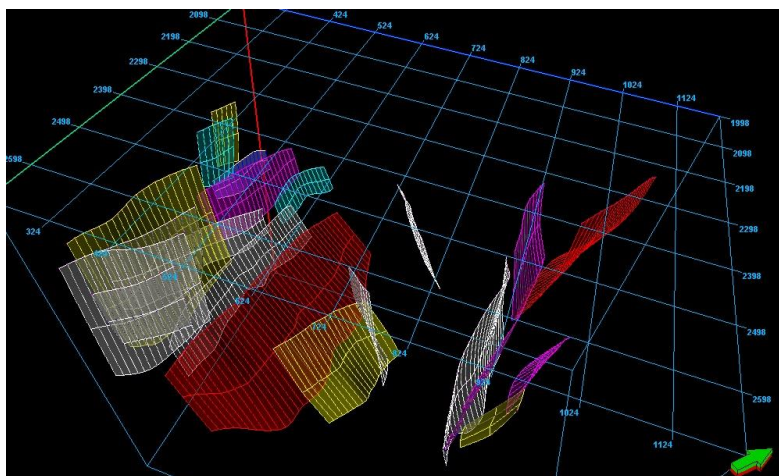
6.3.2. Pillar Gridding

Rasjedne plohe bilo je potrebno konvertirati u nizove stupova (eng. „*pillars*“) čineći ishodišni izvor podataka pri izradi završnog 3D strukturnog modela te strukturnih karta. Ukoliko je pri interpretaciji horizonta ili rasjeda napravljena pogreška, ona će se odraziti na strukturnom modelu površine tog horizonta i umanjit će kvalitativnu vrijednost kasnije izrađene strukturne karte. Te pogreške se mogu ispraviti manualno, popravljanjem diskutabilnih interpretacija na seizmičkim sekcijama, ili se softverski mogu ukloniti.

Svrha ovog postupka je izrada modela rasjeda kako bi definirali izgled te oblik rasjednih ploha. Postupak se provodi definiranjem ključnih „*pillara*“ u okviru *Corner point gridding* modula. Modeliranjem rasjeda dobivamo poligon načinjen od „*pillara*“ kojim nam je cilj što preciznije aproksimirati interpretirane rasjedne plohe (Slika 17). Rasjedi u obliku poligona *pillara* prikazani su na slici 18.

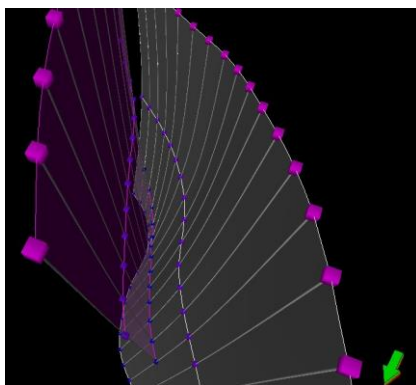


Slika 17. *Pillar* sa svojim sastavnim dijelovima (preuzeto iz Structural Modeling, Schlumberger, 2011)



Slika 18. Kartirani rasjedi konvertirani u „*pillare*“

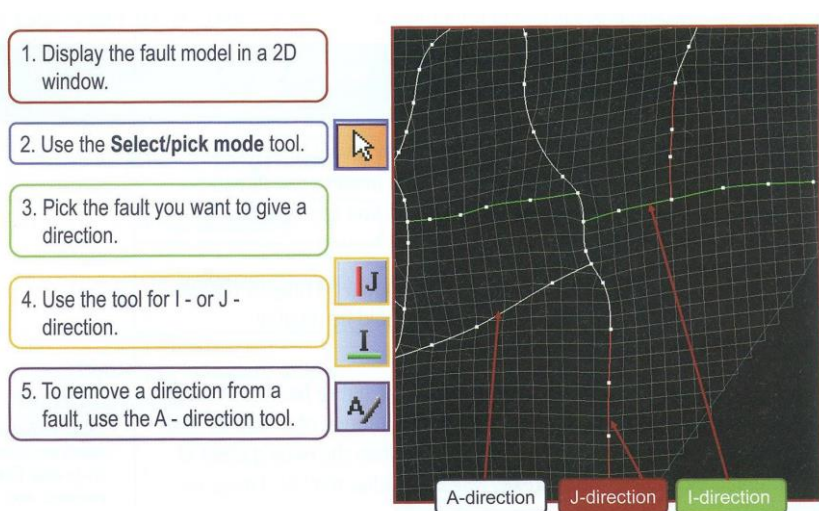
U okviru ovog postupka potrebno je i definirati međusobne odnose rasjeda u kontaktu te koji je glavni a koji sporedni u njihovom međusobnom kontaktu tako da se dio sporednog rasjeda može „skratiti“ ispod presjecišta s glavnim (Slika 19).



Slika 19. Prikaz međusobnog odnosa glavnog (sivi) i sporednog (ljubičasti) rasjeda.

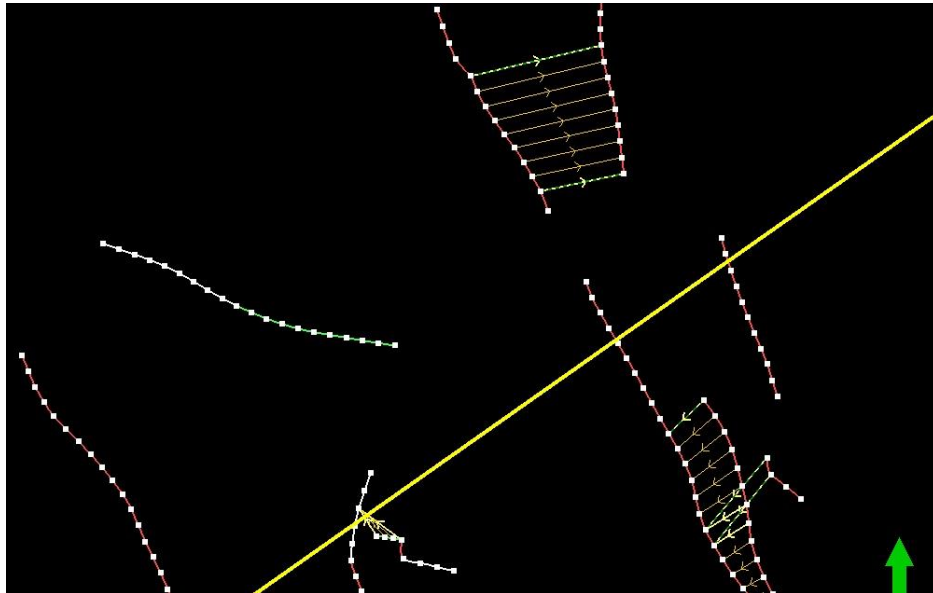
Izrađeni poligon rasjednih ploha predstavlja podlogu za sljedeći postupak *Pillar gridding*.

Pillar Gridding je proces izrade *skeleton framework-a* koji se sastoji od gornje srednje te donje mreže koje su ekvivalentne nizu stupova (eng. „*pillara*“) u modeliranju rasjeda. Cilj ovog postupka je definiranje „kostura“ koji predstavlja ulazni podatak za 3D model podzemlja. Kvaliteta ove mreže pa i kasnije izrađenog strukturnog modela ovisi o kvaliteti interpretiranih te modeliranih rasjeda u prethodnim postupcima. *Pillar gridding* se provodi definiranjem rasjeda u 2D prostoru. (Slika 20) .

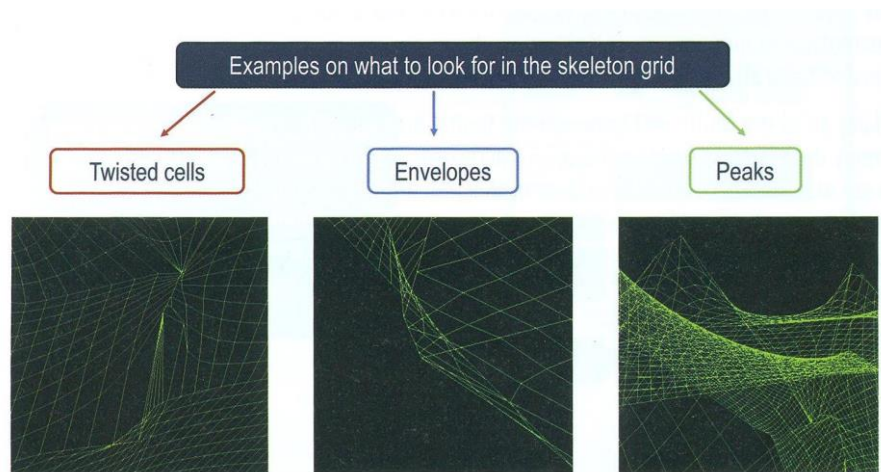


Slika 20. Prikaz rasjeda u tlocrtu s definiranim međusobnim odnosima te prikazom srednje mreže(eng „*skeleton*“) strukturnog modela

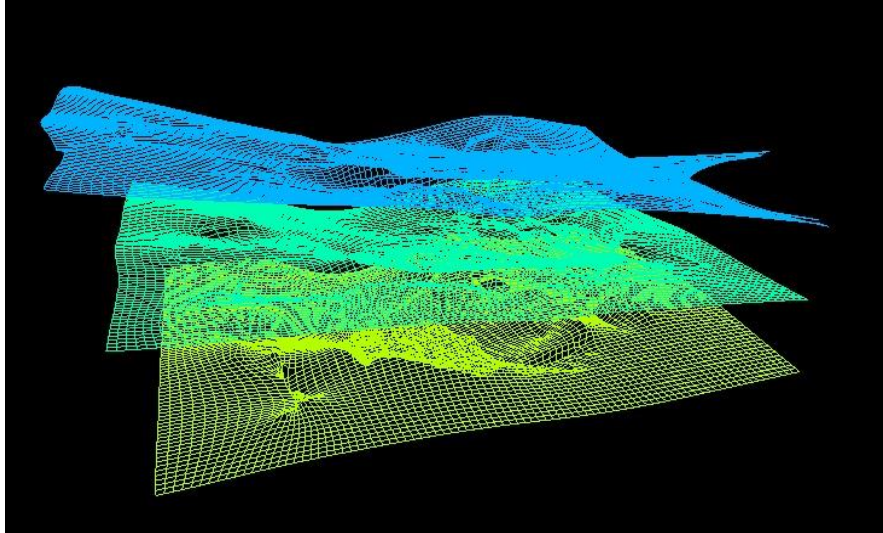
Rasjedima je potrebno definirati pružanje (eng. „*Direction*“); I, J ili arbitrarno pružanje te trend ukoliko su rasjedi u međusobnom odnosu (Slika 21). Na taj način se kontrolira orijentacija ćelija u mreži na temelju čega generiramo *skeleton framework* čija kvaliteta ovisi o tome dali smo dobro definirali pružanja te trendove rasjedima. Ukoliko je došlo do pogreške u mreži, u *skeleton framework-u* ćemo dobiti anomalije (Slika 22).



Slika 21. I (zeleno), J (crveno) i arbitrarni (bijelo) smjerovi te trendovi (zeleno s strelicom) rasjeda koji su u međusobnom odnosu.



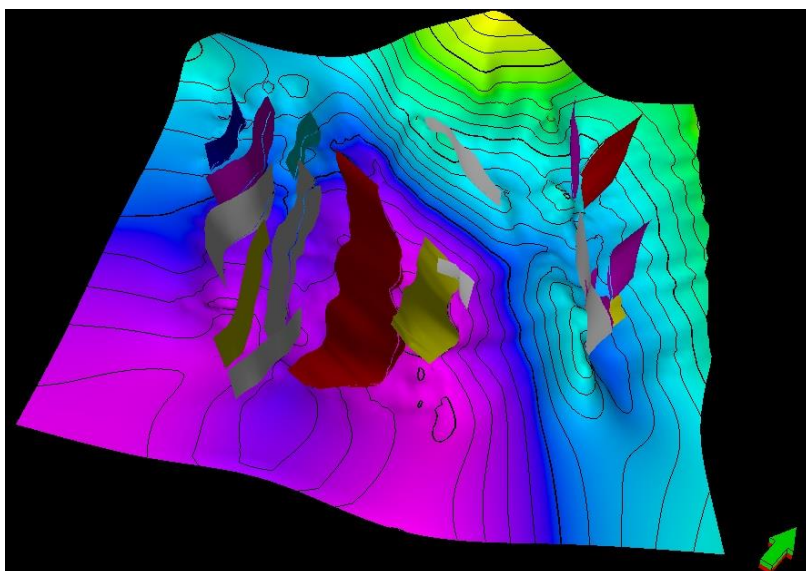
Slika 22. Nepravilnosti koje treba popravljati pri izradi mreže; izobličene ćelije, preklapanja te „peakovi“. Na temelju ovako definiranih rasjeda u 2D prostoru generira se *skeleton framework* (Slika 23)



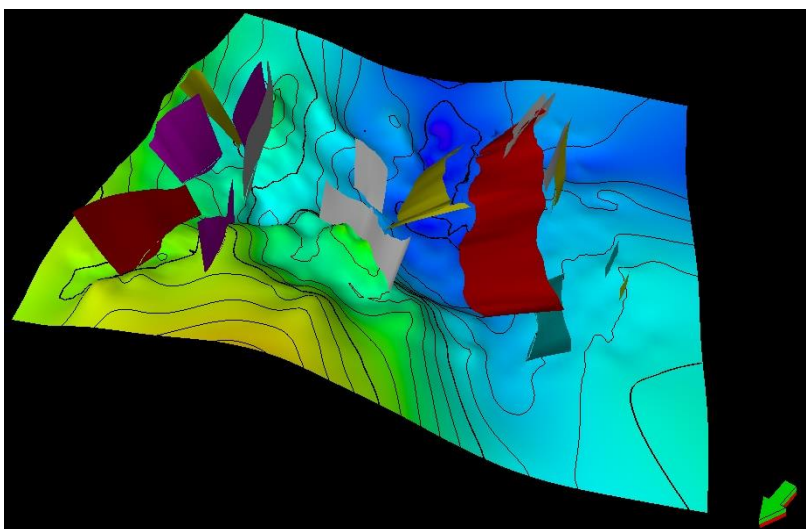
Slika 23. Prikaz gornje, srednje i donje mreže (eng. „*skeleton*“) strukturnog modela

6.4. 3D Strukturni model

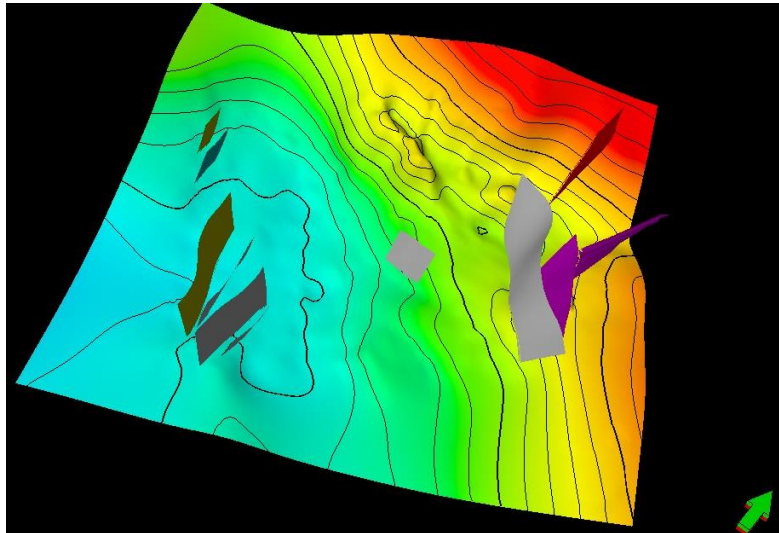
Izrada modela horizontata sljedeći je korak u postupku strukturnog modeliranja. Izvodi se alatom *Horizon modeling* u okviru kojeg se prvo definiraju ulazni podaci tj. modeli ploha, pripadajući model rasjeda te parametri kao što su definiranje aktivnih rasjeda za svaku granicu, izgladivanje rasjednih ploha i samih horizontata udaljenost do rasjeda. Rezultat ovog postupka je model horizontata na temelju kojeg se izrađuju strukturne karte. Slike od 24 do 27 prikazuju rezultirajuće modele ploha s pripadajućim rasjedima.



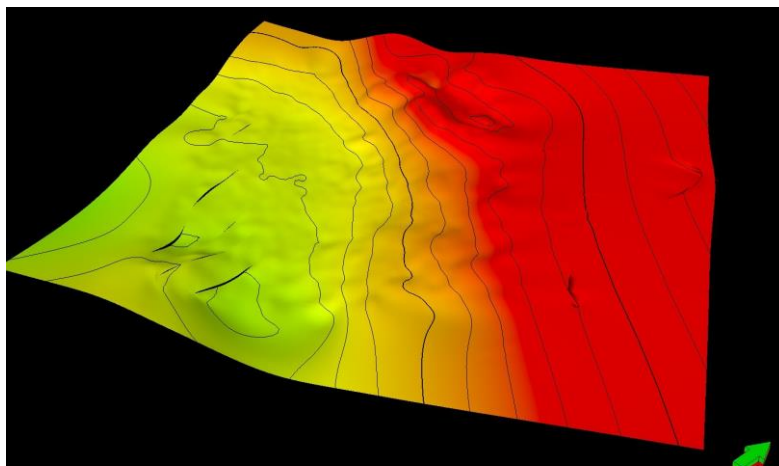
Slika 24. Model horizonta podloge neogena (Tg) s pripadajućim rasjedima



Slika 25. Model horizonta podloge panona (Rs7) s pripadajućim rasjedima



Slika 26. Model horizonta granice donjeg i gornjeg ponta (δ) s pripadajućim rasjedima



Slika 27. Model horizonta podloge pliokvratarnih naslaga (α) s pripadajućim rasjedima

7. Rezultati istraživanja

Rezultati seizmičke interpretacije, izrada modela rasjednih ploha i seizmičkih horizonata te strukturnog modeliranja su 3D strukturni model podzemlja te strukturne karte koje prikazuju kartirane stratigrafske granice te rasjede koji ih presijecaju i pomiču.

Interpretacija seizmičkih sekcija započeta je odabirom triju reprezentativnih sekcija na kojima su kartirani horizonti i rasjedi. Neinterpretirane i interpretirane seizmičke sekcije i palinspastička rekonstrukcija prikazani su na slikama 28-30.

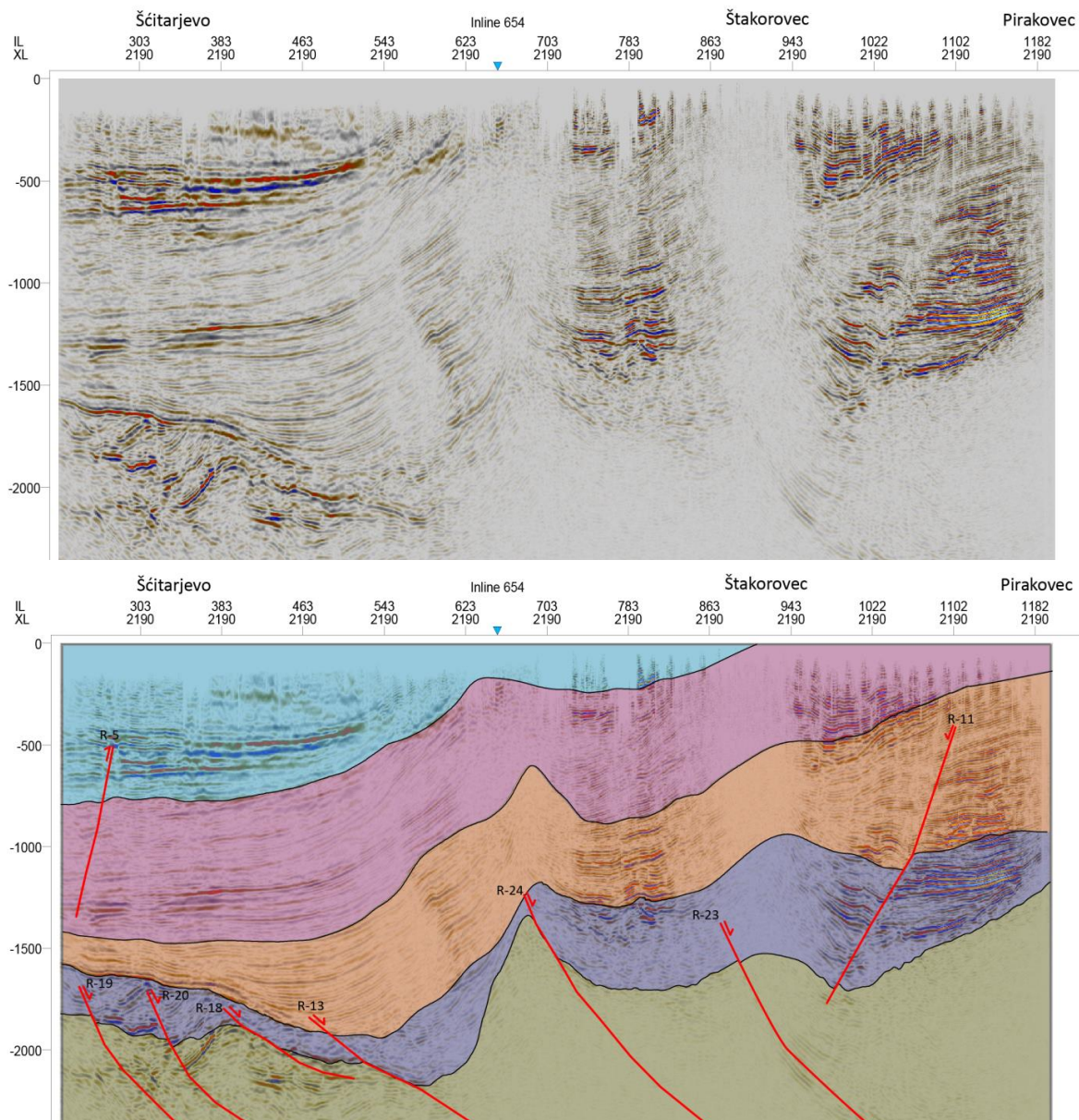
Na temelju vremenskih strukturnih karata pojedinih stratigrafskih granica procijenjen je skok po rasjedima, a s obzirom na nagib rasjednih ploha koji je utvrđen u 3D strukturnom modelu aplikacije PetrelTM, rasjedima je određen i karakter pomaka. Skokovi po kartiranim rasjedima prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Popis kartiranih rasjeda s karakterom i iznosom pomaka (N-normalni rasjed, R-reversni rasjed)

RASJED	POMAK [ms]	KARAKTER POMAKA
R-1	10	N
R-2	5	R
R-3	5	N
R-4	15	N
R-5	5	N
R-6	5	R
R-7	25	R
R-8	10	N
R-9	20	N
R-10	15	N
R-11	20	R
R-12	40	R
R-13	20	N
R-14	35	N
R-15	20	N/R
R-16	5	N
R-17	15	N
R-18	10	N
R-19	5	N
R-20	40	N
R-21	5	N
R-22	80	N
R-23	10	N
R-24	85	N

7.1 Interpretacija i opis seizmičkih sekcija

U zapadnom i središnjem dijelu interpretiran je niz sin-riftnih normalnih rasjeda (R-19, R-20, R-18, R-13, R-24 te R-23) generalnog pružanja SZ-JI koji presijecaju i pomiču podlogu neogena i jedan sin-sedimentacijski normalni rasjed (R-11) pružanja SI-JZ (Slika 28). Uočene su tri polu grabe koje predstavljaju glavne taložne centre s najvećom debljinom naslaga 1600 ms i tri manje u zapadnom dijelu profila. Rasjedi koji su uzrokovali formiranje tih manjih polu graba čine tzv. „domino strukturu“, tipičnu za ekstenzijsku fazu razvoja Panonskog bazenskog sustava.

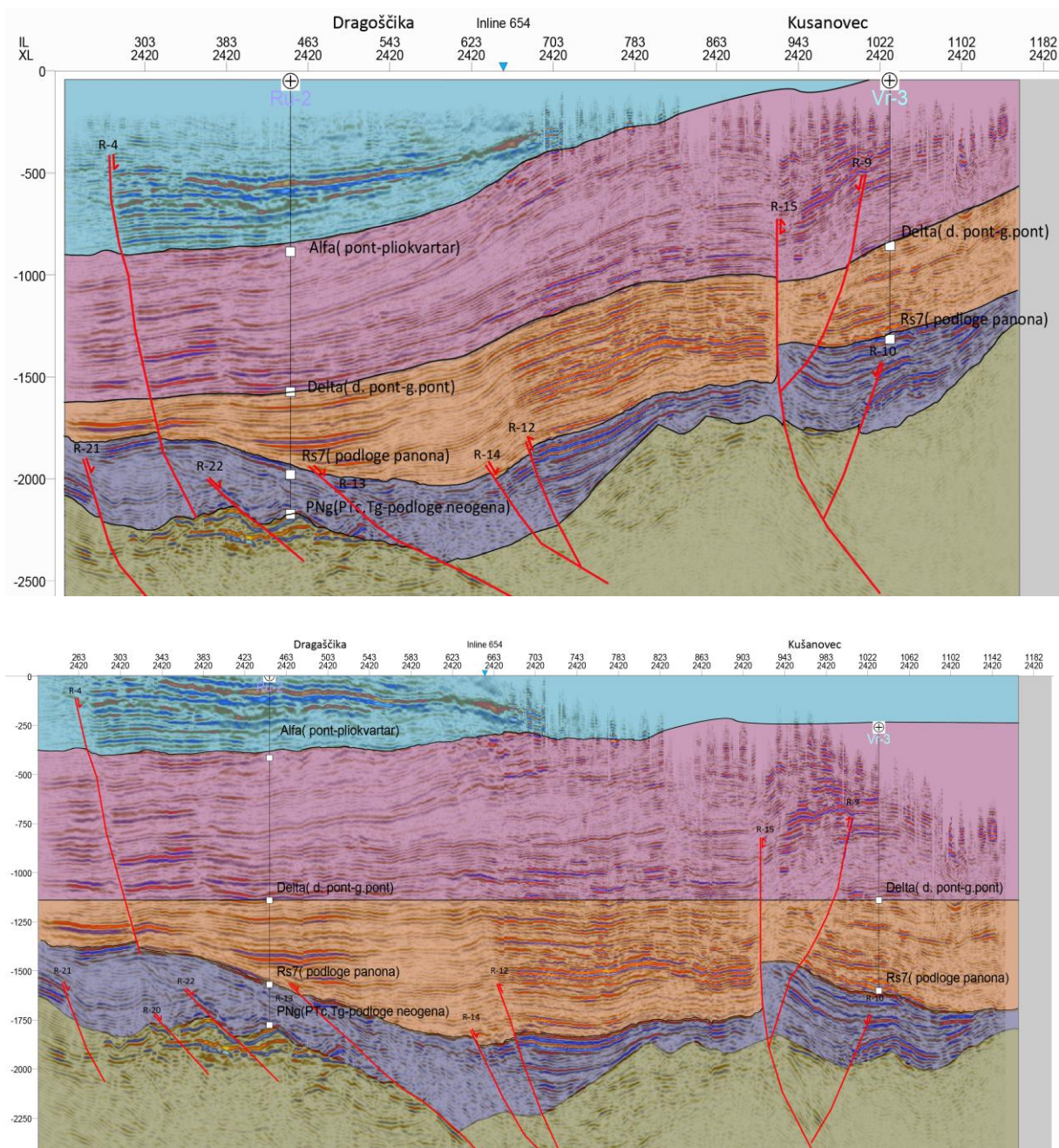


Slika 28. a) Neinterpretirana i b) interpretirana seizmička sekcija 2190 s označenim rasjedima (crveni tragovi) i stratigrafskim jedinicama: podloga neogena (zeleno), naslage prvog taložnog ciklusa od otnanga do kraja sarmata (tamno plavo), naslage drugog taložnog ciklusa od panona do sredine ponta (narančasto), od sredine do kraja ponta (ružičasto) i naslage trećeg taložnog ciklusa od početka pliocena do danas (svijetlo plavo).

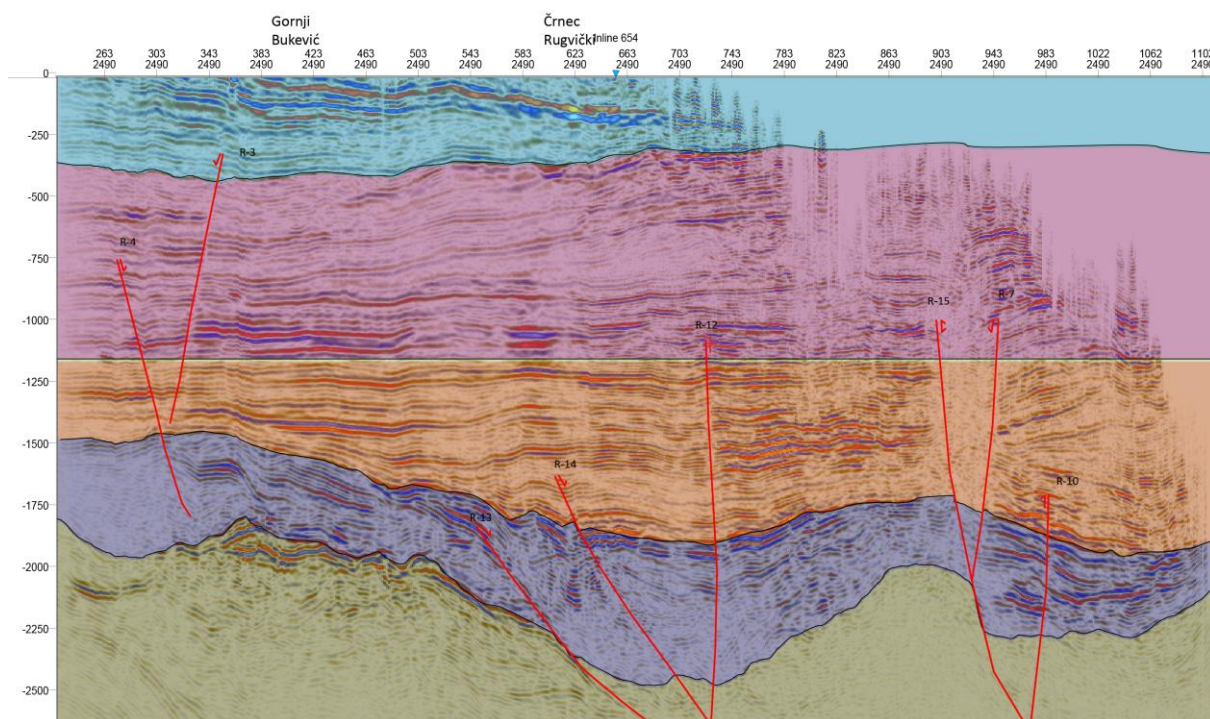
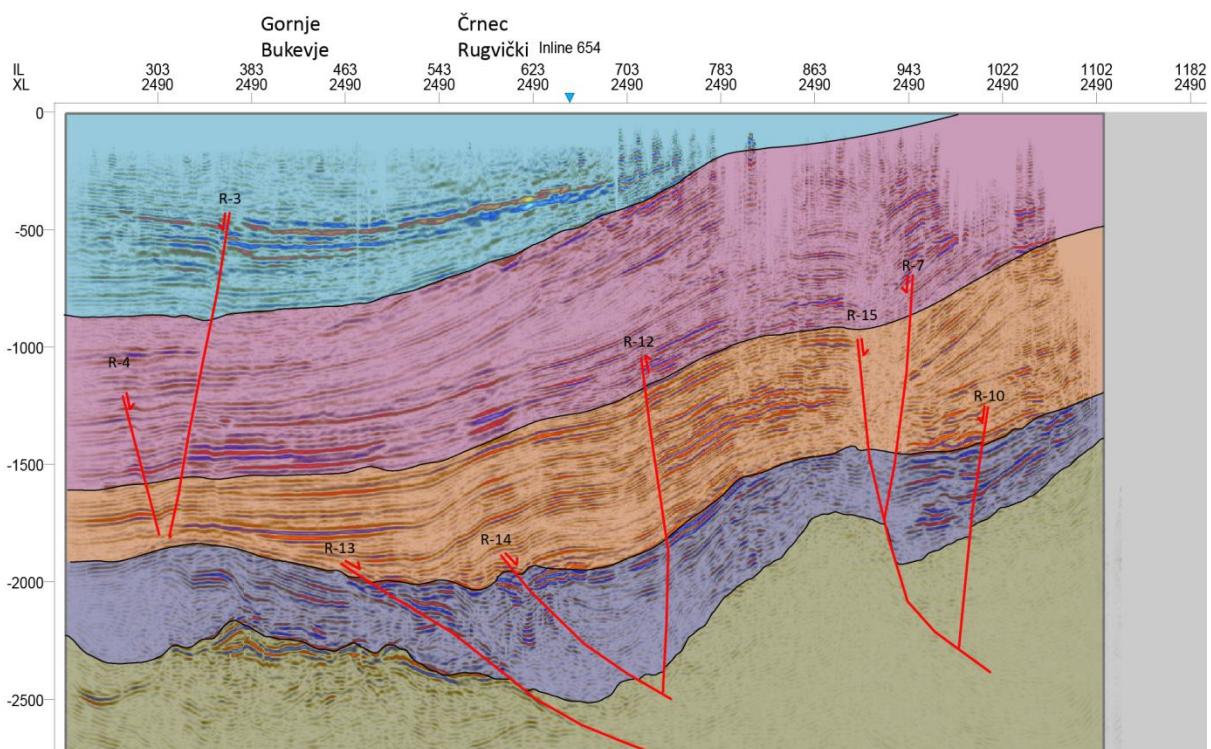
Starost svih rasjeda osim R-5 i R-11 je predpanonska. Središnjim dijelom seizmičke sekcije uočava se antiklinala pružanja SZ-JI čiji je nastanaka vezan uz pomak po rasjedu R-24. Antiklinala u istočnom dijelu sekcije (ispod Štakorovca), između rasjeda R-23 i R-11 vezana je uz kompresijski režim naprezanja u inverzijskoj fazi nastanka Panonskog bazenskog sustava. U zapadnom dijelu profila u naslagama panonske i pontske starosti (na profilu označeno narančastom i ružičastom bojom) dolazi do zadebljanja naslaga u odnosu na podinske panonske naslage. To višestruko zadebljanje vjerojatno je posljedica termalne subsidencije bazena s obzirom da te naslage nisu taložene u tektonskim grabama ili polugrabama koje bi bile omeđene aktivnim normalnim rasjedima. Rasjed R-11 je sinsedimentacijski rasjed za vrijeme taloženja panonskih i donjopontskih naslaga koje u krovinskom krilu toga rasjeda pokazuju veću debljinu u odnosu na iste naslage u podinskom krilu toga rasjeda.

U zapadnom dijelu sekcije interpretirane su domino strukture koje čine strukturni blokovi omeđeni normalnim rasjedima R-21, R-22, R-13, R-14, R-12. (Slika 29.) Pružanje ovih rasjeda je SZ-JI. Glavni taložni centar čini polugraba omeđena normalnim rasjedima R13 i R14 u kojoj je debljina naslaga prvog taložnog ciklusa najveća (pomak po rasjedu R-13 je 250 ms). U istočnom dijelu sekcije uočava se pozitivna cvjetna struktura (ispod mjesta Kusanovec) koju sačinjavaju rasjedi R15 R9 i R10. Rasjed R15 dvojnog je karaktera tj rasjed je invertiran iz normalnog u reversni, što je karakteristično za inverznu fazu razvoja Panonskog bazenskog sustava. Zadebljanje panonskih i pontskih naslaga ispod bušotine RU-2 predstavlja termalnu subsidenciju kao drugu tektonsku fazu razvoja Panonskog bazena.

Po rasjedu R-13 uočavamo pomak od svega 30 ms (Slika 30). Prateći pomak po tom rasjedu na ostalim sekcijama, vidimo kako on varira idući prema JI. U istočnom dijelu sekcije ponovno uočavamo istu pozitivnu cvjetnu strukturu koja uvjetuje formaciju blage antiklinale pružanja S-J te je karakteristična za već spomenutu inverznu fazu. Zadebljanje panonskih i pontskih naslaga predstavlja fazu termalne subsidencije. Zadebljanje je prikazanoj seizmičkoj sekciji najveće ispod mjesta Črnc Rugvički te istočno od njega. Opisano zadebljanje se jako dobro vidi na (c) slici koja predstavlja palispastičku rekonstrukciju po stratigrafskoj granici donji-gornji pont. U glavnom depozicijskom centru debljina panonskih i pontskih naslaga je 1500 ms.



Slika 29. a) Interpretirana seizmička sekcija 2420 i b) palinspastička rekonstrukcija po stratigrafskoj granici donji-gornji pont s označenim rasjedima (crveni tragovi) i stratigrafskim jedinicama: podloga neogena (zeleno), naslage prvog taložnog ciklusa od otnanga do kraja sarmata (tamno plavo), naslage drugog taložnog ciklusa od panona do sredine pontu (narančasto), od sredine do kraja pontu (ružičasto) i naslage trećeg taložnog ciklusa od početka pliocena do danas (svijetlo plavo).



Slika 30. a) Interpretirana seizmička sekcija 2490 i b) palinspastička rekonstrukcija po stratigrafskoj granici donji-gornji pont s označenim rasjedima (crveni tragovi) i stratigrafskim jedinicama: podloga neogena (zeleno), naslage prvog taložnog ciklusa od otnanga do kraja sarmata (tamno plavo), naslage drugog taložnog ciklusa od panona do sredine pontu (narančasto), od sredine do kraja pontu (ružičasto) i naslage trećeg taložnog ciklusa od početka pliocena do danas (svijetlo plavo).

7.2. Vremenska strukturalna karta po podlozi pliokvartalnih naslaga

U okviru ovog istraživanja načinjena je strukturalna karta po podlozi plio-kvartalnih naslaga, odnosno po seizmičkom horizontu koji u korištenim bušotinama odgovara EK-markeru α' . Karta je izrađena u vremenskom dubinskom mjerilu, dvostrukog vremena putovanja seizmičkog vala (TWT – Two way traveltime) u milisekundama (ms). Izrađena karta je s ekvidistancijom izokrona $e=10$ ms, u horizontalnom mjerilu 1:120 000.

Na strukturalnoj karti (Prilog 1) podloga pliokvartalnih naslaga najplića je u sjevernom dijelu istraživanog područja (sjeverno od Sesevetskog Kraljevca, Dugog Sela, Puhovog, Leprovice i Obedišća), gdje čini strukturalnu zaravan na prosječnoj dubini od 100 ms. Sjeverno od područja prikazanog u prilogu 1 podloga pliokvartalnih naslaga izlazi na površinu. Idući prema jugu, najprije naglo tone do dubine od 700 ms, a potom doseže dubinu od 900 ms. U tom najdubljem dijelu (u području G. Bukovja, D. Bukovja, Novaka i Leknenog) ova je ploha lokalno presječena i pomaknuta po nizu ešalonirano raspoređenih rasjeda pružanja S-J, s reversnim, normalnim i lijevim pomakom. Ovi rasjedi čine rasjednu zonu pružanja SZ – JI.

7.3. Vremenska strukturalna karta po stratigrafskoj granici donji – gornji pont

Na ovoj strukturalnoj karti (Prilog 2) granica donji-gornji pont je najplića na sjeveroistočnom rubu istraživanog područja gdje se nalazi se na dubini od 100 ms. Idući prema jugozapadu ova granica tone do dubine od 750 ms, nakon čega je lokalno deformirana u formi antiklinale pružanja SZ-JI u duljini od oko 5 km, čija se ortogonalna projekcija na površini nalazi južno od sela Grgošić. U tjemenu antiklinale ova je granica na dubini od 740 ms, a potom tone prema jugu do dubine od 1500 ms, gdje tvori strukturalnu zaravan. Promatrano na cijelom području istraživanja, ova granica je presječena i pomaknuta na 13 rasjeda.

Potrebno je istaknuti da je na ovoj karti rasjedu R-15 s reversnim karakterom pomaka, za razliku od normalnog pomaka po istom rasjedu na strukturalnim kartama po podlozi panona i neogena. To ukazuje na tektonsku inverziju i reaktivaciju ovog rasjeda iz ranijeg normalnog u reversni rasjed.

7.4. Vremenska strukturna karta po podlozi panonskih naslaga

Iz načinjene strukturne karte u vremenskom mjerilu (Prilog 3) se može zaključiti da je seizmički horizont koji označava diskordanciju po podlozi panonskih naslaga najbliži na sjevernom dijelu istraživanog područja (ispod mjesta Štakorovec, Staričić, Brckovljani, te Gračec) gdje je na dubini oko 700 ms te postupno tone idući prema jugozapadu, gdje je na maksimalnoj dubini oko 1760 ms (južno od Rugvice i Novaka). Na istraživanom je području kartirano 13 rasjeda. Pomak po rasjedu R-24 izazvao je nastajanje antiklinale koja je uočljiva na krovinskim naslagama.

7.5 Vremenska strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga

Na izrađenoj strukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga u vremenskom mjerilu podloga neogena je najbliža u sjevernom dijelu istraživanog područja (ispod mjesta Štakorovec, Staričić, Brckovljani, te Gračec) gdje se nalazi na dubini od 930 ms. Generalno podloga neogena oplicava idući prema jugu te je najbliža u centralnom i južnom te jugozapadnom području gdje joj je dubina 2500 ms. Te depresije čine i najveće depozicijske centre na istraživanom području. Podlogu neogena presijeca i pomiče 13 rasjeda od kojih su R-11 te R-12 reversnog a ostali normalnog karaktera pomaka. U najbližem području podloge neogena nalaze se dvije antiklinale (jedna ispod mjesta Brckovljani te druga između Brckovljana i Štakorovca) te normalni rasjed R-24 čija je aktivnost uzrokovala nastajanje antiklinale uočljive na krovinskim naslagama. Istočnim djelom prolaze dvije sinklinale te jedna antiklinala. U centralnom dijelu koji predstavlja najbliži dio podloge neogena prolazi sinklinala.

8. ZAKLJUČAK

Tektonski razvoj zapadnog dijela Savske depresije odvijao se u 3 odvojene faze koje vremenski odgovaraju trima taložnim megaciklusima opisanim u literaturi (VELIĆ, et. al, 2002). Na temelju konstruiranog 3D strukturnog modela, interpretiranih seizmičkih sekcija i vremenskih strukturnih karata po četiri stratigrafske granice izdvojene su ekstenzijska tektonska faza, faza termalne subsidencije i faza tektonske inverzije. Ekstenzijsku fazu obilježava sustav normalnih, sin-riftnih rasjeda koji su najučestaliji u jugozapadnom i južnom dijelu istraživanog područja. Između ovih rasjeda formiran je niz graba i polu-graba u kojima su taložene naslage prvog taložnog megaciklusa. Također, u JZ dijelu istraživanog područja ovi rasjedi čine niz domino struktura hektometarskih i kilometarskih veličina. Fazu termalne subsidencije obilježava višestruko zadebljanje panonskih i pontskih naslaga koje je najveće u središnjem dijelu područja istraživanja. Faza tektonske inverzije najbolje je izražena u sjeveroistočnom i istočnom rubnom dijelu istraživanog područja. Ova je faza dijelom obilježena promjenom karaktera pomaka po prethodno aktivnim normalnim rasjedima koji su reaktivirani kao reversni rasjedi. Također, dijelom je obilježena i novo stvorenim reversnim rasjedima i rasjedima s horizontalnim pomakom. To se vidi na interpretiranim sekcijama na slikama 28 do 30 te na strukturnim kartama gdje rasjed R-15 na strukturnim kartama po podlogama neogena i panona ima normalni karakter pomaka a na karti stratigrafske granice donji – gornji pont ima reversni karakter pomaka.

Svaka od opisanih tektonskih faza imala je utjecaj na razvoj neogenskog naftnogeološkog sustava u ovom dijelu Savske depresije. Na taj način rezultati ovog rada mogu se koristiti za naredna naftnogeološka istraživanja ovog područja.

9. Literatura

BADA, G., HORVATH, F., DOVENYI, P., SZAFIAN, P., WINDHOFFER, G. & CLOETINGH, S. (2007): Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. *Global and Planetary Change* 58, 16, 165-180

BASCH, O., (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 list Ivanić-Grad (L33-96). Savezni geološki zavod, Beograd.

BUCKOVIĆ, D. (2006): Historijska geologija 2 (Mezozoik i Kenozoik). Sveučilište u Zagrebu, 117 str.

MALVIĆ, T. & SAFTIĆ, B. (2008): Dubinsko kartiranje. Fakultetska skripta. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 46 str.

MALVIĆ, T. & VELIĆ, J. (2008): Geologija ležišta fluida. Fakultetska skripta, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 139 str.

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

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.

PRSKALO, S. (2005): Istraživanje ugljikovodika seizmičkim metodama, I. dio. *Naftaplin*, 212 str.

SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZATANO, O., JUHASZ, G. & IVKOVIĆ, Ž. (2003): Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary). *Geologia Croatica*, 56/1, 101-122.

TOMLJENOVIĆ, B. & CSONTOS, L. (2001): Neogene-Quaternary 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.

VELIĆ, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 342 str

VELIĆ, J. & DURN, G. (1993): Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases During Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia.- *Geologia Croatica*, 46/1, 71-90.

VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B. & IVKOVIĆ, Ž. (2002): Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacycles in the Croatian part of the Panonian basin. *Nafta*, 53/6-7, 239-249, Zagreb

PRIRUČNICI:

PETREL INTRODUCTION C&C COURSE: Petrel 2010, Schlumberger, 621 str.

PETREL FULL MANUAL, 2010, Schlumberger, 3471 str.

STRUCTURAL MODELING, 2011, Schlumberger, 300 str.

INTERNET IZVORI:

<http://www.slb.com/services/software/geo/petrel/>

<http://preglednik.arkod.hr>

http://www.zagrebacka-zupanija.hr/zagrebacka_zupanija_danas

http://crometeo.net/site/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=8&MMN_position=8:8

<http://www.geodynamics.no>

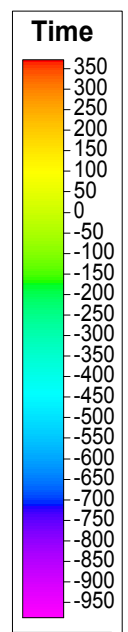
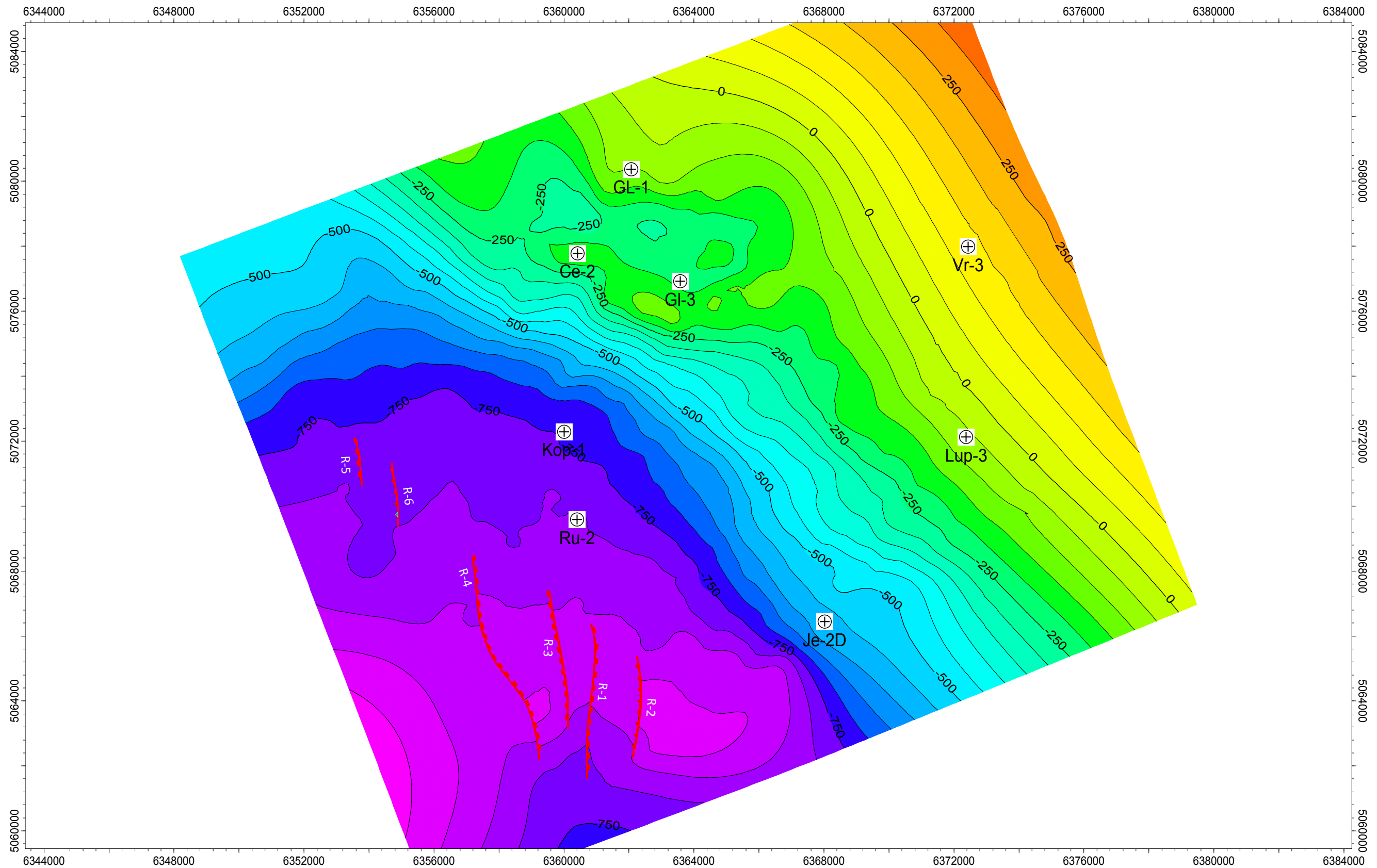
<http://www.pg.geoscienceworld.org>

10. Zahvale

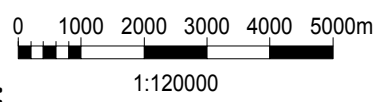
Zahvaljujemo se kompaniji INA Industrija nafte d.d. Zagreb što je omogućila korištenje podataka potrebnih za izradu ovog rada.

Zahvaljujemo se asistentu Bojanu Matošu na korisnim savjetima pri izradi ovog rada.

Posebno se zahvaljujemo svom mentoru prof. dr. sc. Bruni Tomljenoviću, dipl.ing. geologije, na ukazanom strpljenju, konstruktivnim kritikama i savjetima tijekom izrade ovog rada.



Vremenska strukturalna karta po podlozi pliokvartarnih naslaga	
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	Mjerilo: 1:120000
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET	Pierottijeva 6, Zagreb
Mentor: Bruno Tomljenović	Izradili: Andrea Gruić Jukić i Ivica Pavičić
Ekvidistanca: 50 ms	Datum: 04/29/2013
Naziv horizonta: alfa1	Prilog broj: 1

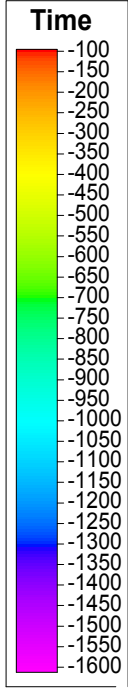
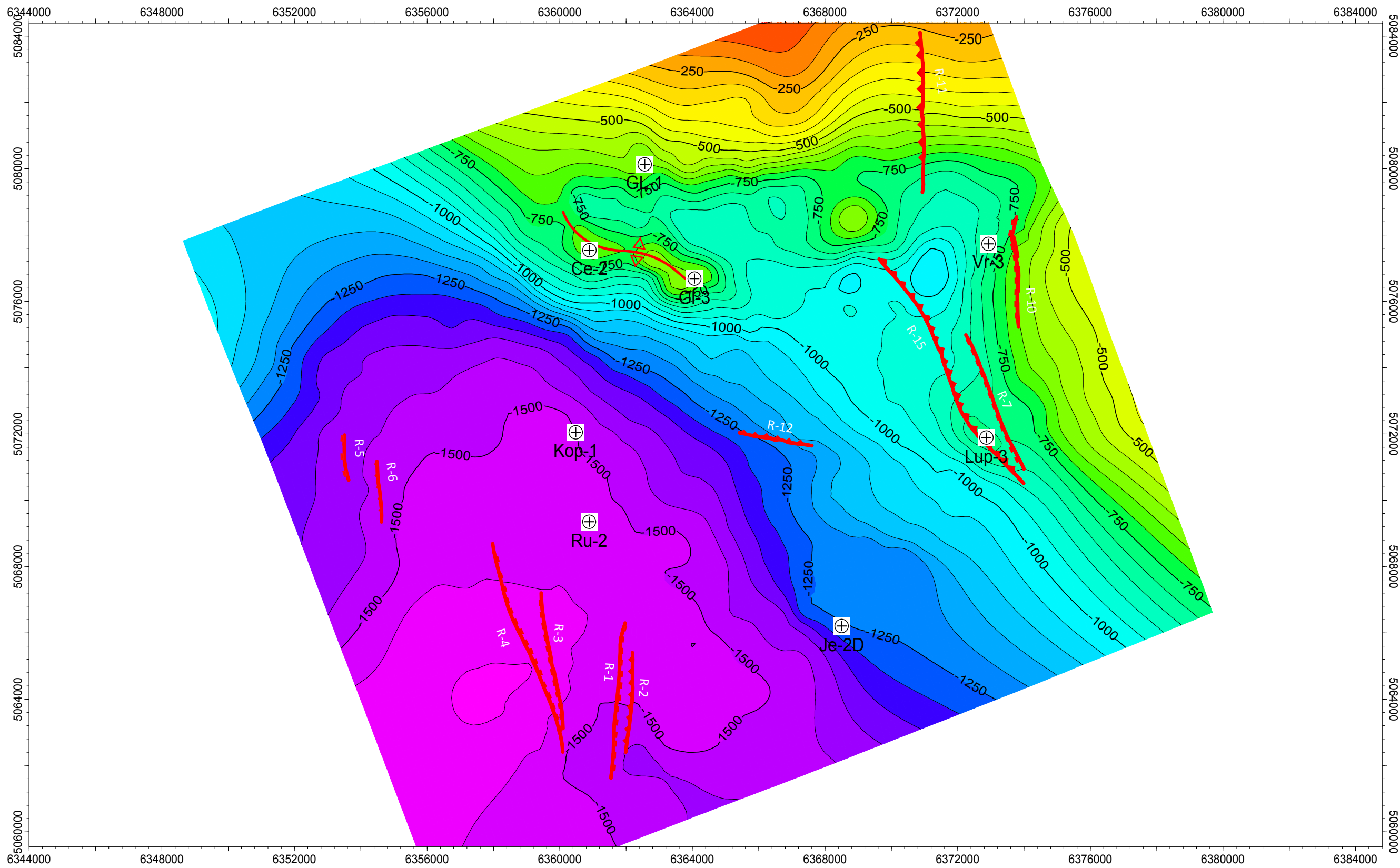


Legenda:

- Normalni rasjed (Pravokutnici u krovinskom krilu):
- Reversni rasjed (Trokuti u krovinskom krilu):
- Bušotina:

- Antiklinala:
- Sinklinala:
- Oznaka rasjeda: R-13
- Izokrona: -1750





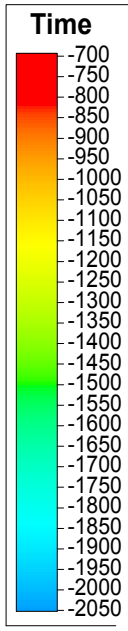
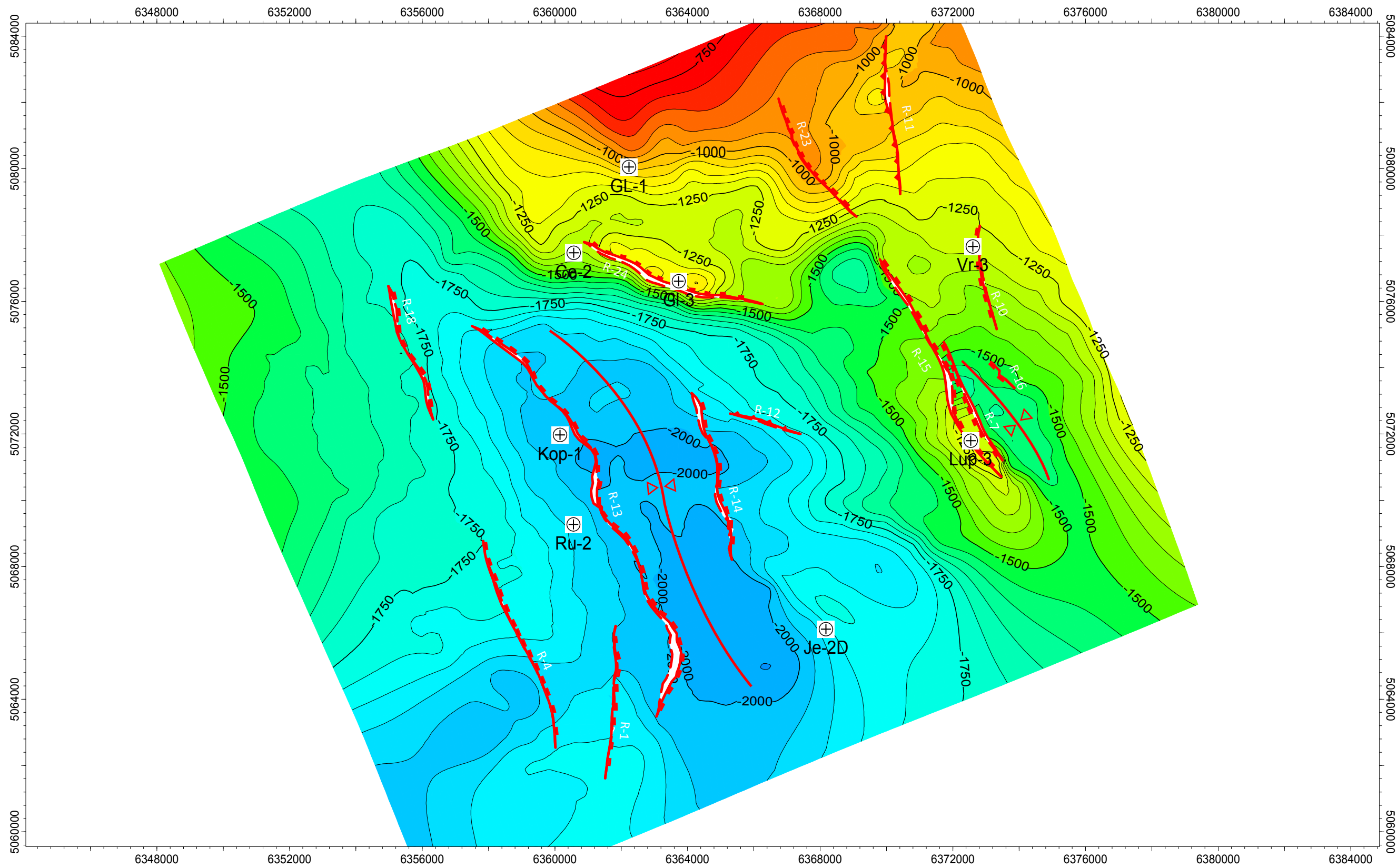
Vremenska strukturalna karta po stratigrafskoj granici donji-gornji pont	
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	Mjerilo: 1:120000
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET	Pierottijeva 6, Zagreb
Mentor: Bruno Tomljenović	Izradili: Andrea Gruić-Jukić i Ivica Pavičić
Ekvidistanca: 10 ms	Datum: 04/29/2013
Naziv seizmičkog korelacijskog horizonta: Delta	Prilog broj: 2

Legenda:

- Normalni rasjed (Pravokutnici u krovinskom krilu):
- Reversni rasjed (Trokuti u krovinskom krilu):
- Bušotina: ⊕

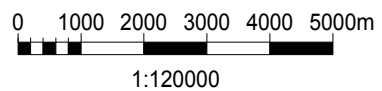
- Antiklinala:
- Sinklinala:
- Oznaka rasjeda: R-13
- Izokrona: ~-1750





Vremenska strukturalna karta po podlozi panonskih naslaga

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	
Mjerilo: 1:120000	
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET Pierottijeva 6, Zagreb	
Mentor: Bruno Tomljenović	Izradili: Andrea Gruić Jukić i Ivica Pavičić
Ekvidistanca: 50 ms	Datum: 04/29/2013
Naziv horizonta: Rs7 podloga panona)	Prilog broj: 3

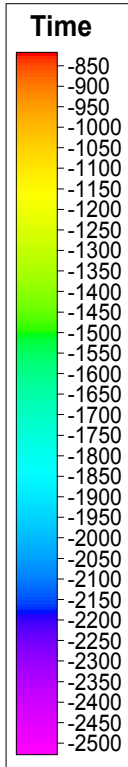
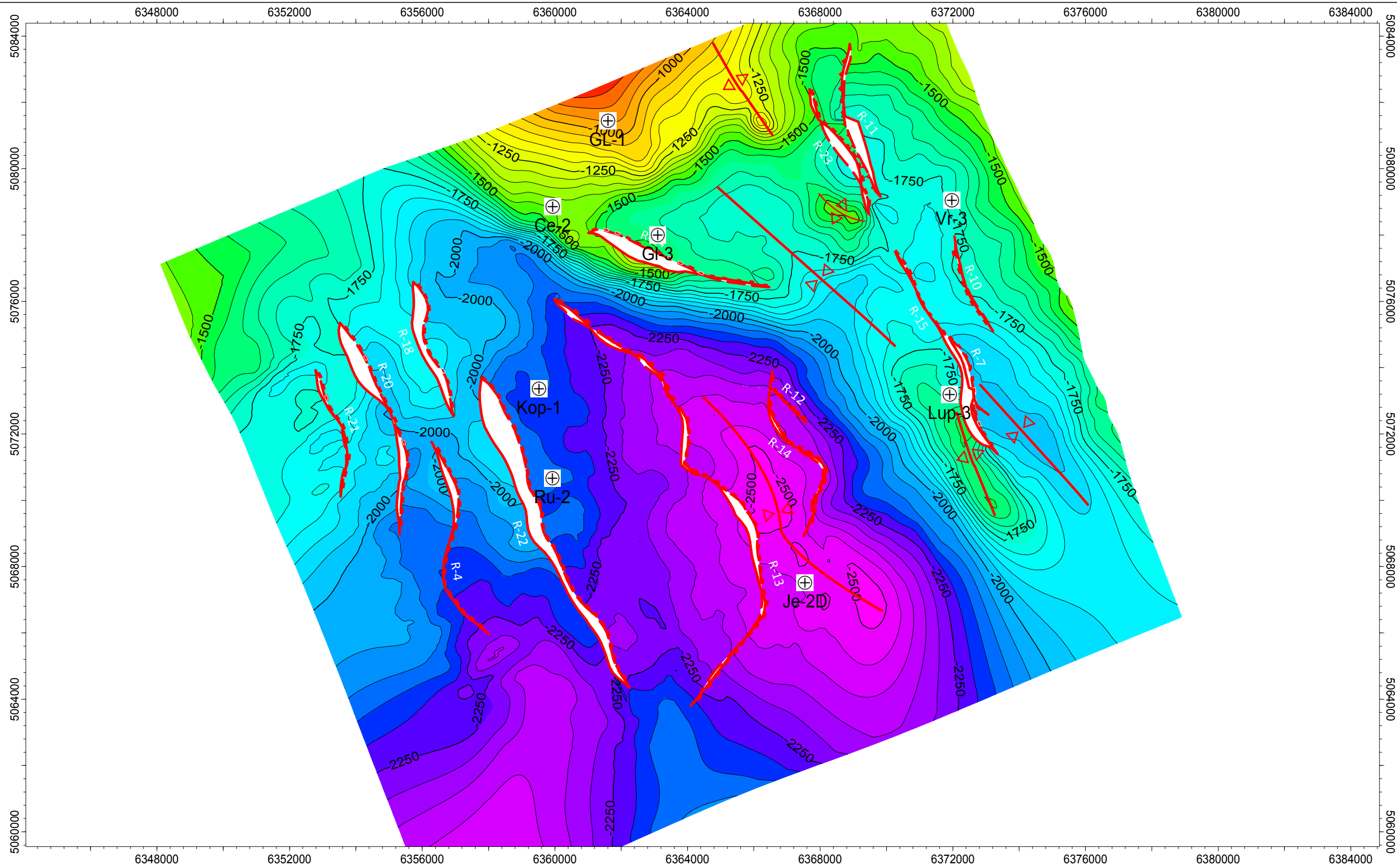


Legenda:

- Normalni rasjed (Pravokutnici u krovinskom krilu):
- Reversni rasjed (Trokuti u krovinskom krilu):
- Bušotina:

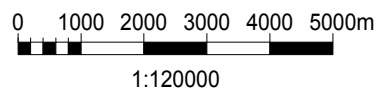
- Antiklinala:
- Sinklinala:
- Oznaka rasjeda: R-13
- Izokrona:





Vremenska strukturalna karta po podlozi neogenskih naslaga

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	
Mjerilo: 1:120000	
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET Pierottijeva 6, Zagreb	
Mentor: Bruno Tomljenović	Izradili: Andrea Gruić Jukić i Ivica Pavičić
Ekvidistanca: 50 ms	Date 04/29/2013
Naziv horizonta: Tg (Podloga neogena)	Prilog broj: 4



Legenda:

- Normalni rasjed (Pravokutnici u krovinskom krilu):
- Reversni rasjed (Trokuti u krovinskom krilu):
- Bušotina:

- Antiklinala:
- Sinklinala:
- Oznaka rasjeda: R-13
- Izokrona:

