Strukturna analiza neotektonske aktivnosti u istočnom dijelu Slavonsko-srijemske depresije

Balun, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:169:654978

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

STRUKTURNA ANALIZA NEOTEKTONSKE AKTIVNOSTI U ISTOČNOM DIJELU SLAVONSKO-SRIJEMSKE DEPRESIJE

Diplomski rad

Filip Balun

G - 130

Zagreb, 2016.

Zahvaljujem se mentoru prof. Bruni Tomljenoviću i asistentu Bojanu Matošu, bez čije pomoći, savjeta i strpljenja izrada ovog diplomskog rada ne bi bila moguća.

Zahvaljujem se također i članovima komisije koji su konstruktivnim primjedbama i savjetima značajno pridonijeli kvaliteti izrađenog diplomskog rada

Kolegama Davidu Rukavini, Ivici Pavičiću i Ivoru Vuiću zahvaljujem na savjetima i razmjeni znanja.

Posebno se zahvaljujem roditeljima na njihovoj podršci u svim trenutcima.

Special thank to the Schlumberger Limited Company for the donation and permission to use Petrel Seismic to Simulation software.

Sveučilište u Zagrebu
Diplomski rad
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

STRUKTURNA ANALIZA NEOTEKTONSKE AKTIVNOSTI U ISTOČNOM DIJELU SLAVONSKO-SRIJEMSKE DEPRESIJE

FILIP BALUN

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu interpretirani su seizmički profili i bušotinski podatci na temelju kojih je određena geometrija, kinematske značajke i prostorni raspored rasjeda te pratećih deformacijskih struktura u istočnom dijelu Slavonsko-srijemske depresije. Izrađen je 3D strukturni model podzemlja temeljem kojeg su izrađene strukturne karte po podlozi neogena, podlozi panona i podlozi plio-kvartara, odnosno po stratigrafskim horizontima koji odražavaju bitne promjene u tektonskoj evoluciji Panonskog bazenskog sustava na području Hrvatske. Rekonstruirani rasjedi i deformacijske strukture prikazani su na strukturnim kartama, a njihov je postanak interpretiran za vrijeme faze otvaranja Slavonsko-srijemske depresije tijekom donjeg i srednjeg miocena i za vrijeme tektonske inverzije tijekom pliocena i kvartara. Definirano je 11 strukturnih jedinica u istraživanom području. Strukturne jedinice Vinkovci, Berak i Bapska definirane su kao tektonske grabe koje su nastale otvaranjem taložnog prostora Slavonsko-srijemske depresije u ekstenzijskoj fazi. U istoj fazi formirana je i sinklinala Nijemci te horst Đeletovci. Za vrijeme kompresijske faze u istočnom dijelu istraživanog područja nastala je antiklinala Bokšić. Na temelju interpretiranih podataka izrađen je model tektonskog razvitka istraživanog dijela Slavonsko-srijemske depresije prema kojem je ona stvorena normalnim rasjedanjem u fazi intenzivne ekstenzije tijekom donjeg i srednjeg miocena, na koju se nastavlja faza sinsedimentacijskog normalnog rasjedanja za vrijeme gornjeg miocena. U fazi inverzije i strukturne reaktivacije tijekom pliocena i kvartara dolazi do relativno blage inverzije koja je izražena u istočnom dijelu istraživanog područja u sklopu antiklinale Bokšić.

Ključne riječi: strukturne karte, Slavonsko-srijemska depresija, neogen, seizmička interpretacija, tektonska evolucija
Diplomski rad sadrži: 46 stranice, 2 tablice, 20 slika i 18 referenci.
Jezik izvornika: hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Bruno Tomljenović, redoviti profesor RGNF
Pomoć pri izradi: Dr.sc. Bojan Matoš, viši asistent

Ocjenjivači: Dr. sc. Bruno Tomljenović, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Bruno Saftić, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Davor Pavelić, redoviti professor RGNF

Datum obrane: 19. veljače 2016.

University of Zagreb
Master's Thesis
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

STRUCTURAL ANALYSIS OF NEOTECTONIC ACTIVITY IN THE EASTERN PART OF SLAVONIJA-SRIJEM DEPRESION

FILIP BALUN

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department for Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Structural interpretation of the 2D seismic reflection sections and exploration well data enabled determination of the geometry, kinematics and spatial distribution of faults and associated structures in the eastern part of Slavonija-Srijem Depression. The constructed 3D structural model consists of the structure contour maps - Base Neogene, Base Pannonian and Base Plio-Quaternary, three regional stratigraphic horizons that corelate with important changes in tectonic evolution in the Croatian part of Pannonian basin system. In this work main deformation structures were also reconstructed. Results indicate that structures in the study area were firstly created during the phase of opening of the Slavonija-srijem depression during the Lower and Middle Miocene, as a result of regional extension and then changed during tectonic inversion that occurred in Pliocene and Quaternary. Eleven structural units were defined on the structural conture maps. Structural units Vinkovci, Berak and Bapska are defined as grabens that were formed during the extensional phase in Lower and Middle Miocene. In this phase syncline Nijemci and horst Đeletovci were also formed. During the compressional phase during the Pliocene and Quaternary in the east of the research area Bokšić anticline was formed. Based on interpreted data the structural evolution of the eastern part of Slavonija-Srijem Depression is reconstructed. The depression was formed by normal faulting in phase of intensive extension during Lower and Middle Miocene, was followed by sinsedimentary normal extension in upper Miocene. In the phase of structural reactivation and tectonic inversion that commenced during Pliocene and Quaternary mild inversion occurred with reverse faulting only sporadically occurred in the east of study area as part of Bokšić anticline.

Keywords: structural maps, Slavonija-Srijem Depression, Neogene, seismic interpretation, tectonic inversion
Thesis contains: 46 pages, 2 tables, 20 figures and 18 references.
Original in: Croatian
Thesis archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Bruno Tomljenović, Full Professor
Technical support and assistance: PhD Bojan Matoš, Senior researcher

Reviewers: PhD Bruno Tomljenović, Full Professor
PhD Bruno Saftić, Assoc. Professor
PhD Davor Pavelić, Full Professor

Date of defense: February 19, 2016.

Sadržaj:

1. Uvod 1
2. Geografski položaj istraživanog područja 2
3. Tektonski i taložni razvoj Slavonsko-srijemske depresije 3
   3.1. Prvi sedimentacijski megaciklus i ekstenzijska faza razvoja Slavonsko-srijemske depresije (18,3 – 11,5 Ma) 5
   3.2. Drugi sedimentacijski megaciklus i faza termalne subsidencije na području Slavnosko-srijemske depresije (11,6 – 5,3 Ma) 6
   3.3. Treći sedimentacijski megaciklus i faza strukturne reaktivacije i tektonske inverzije na području Slavonsko-srijemske depresije (5,3 Ma – danas) 6
4. Geološke značajke istraživanog područja prema podacima Osnovne geološke karte 1:100.000 8
5. Bušotinski i geofizički podatci i metode istraživanja 10
   5.1. Strukturna interpretacija seizmičkih refleksijskih profila 10
      5.1.1. Stratigrafski horizonti 10
      5.1.2. Rasjedne plohe 15
   5.2. 3D strukturno modeliranje podzemlja 17
   5.3 Izrada kompozitnih dubinskih geoloških profila 18
6. Rezultati istraživanja 20
   6.1. Strukturna građa po podlozi neogenskih naslaga 22
   6.2. Strukturna građa po podlozi panonskih naslaga 26
   6.3. Strukturna građa po podlozi plio-kvartarnih naslaga 29
   6.4. Aktivni rasjedi i strukture u ekstenzijskoj tektonskoj fazi razvoja područja istraživanja 32
   6.5. Aktivni rasjedi u fazi strukturne reaktivacije i tektonske inverzije područja istraživanja 34
7. Zaključak 41
8. Literatura 44

Popis slika:

Slika 2-1. Geografski položaj područja istraživanja.....2

Slika 3-1. Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava.....3

Slika 3-2. Stratigrafske jedinice, litološki sastav i položaj važnijih ležišta ugljikovodika u Slavonsko-srijemskoj depresiji.....4

Slika 4-1. Geološka karta šireg područja istraživanja.....9

Slika 5-1. Isječak seizmičkog profila na kojem se vidi povezanost seizmičkog profila i bušotinskih podataka. Plavi trag odgovara podlozi plio-kvartarnih naslaga, a narančasti podlozi panonskih naslaga.....11

Slika 5-2. Neinterpretirani (lijevo) i interpretirani (desno) isječak seizmičkog refleksijskog profila u dijelu područja istraživanja na kojem su označeni kontinuirani tragovi seizmičkih refleksa koji odgovaraju podlozi neogenskih naslaga (PNg), podlozi panonskih naslaga (PPa) te podlozi plio-kvartarnih naslaga (PPlQ).....12

Slika 5-3. Neinterpretirani (lijevo) i interpretirani (desno) isječak seizmičkog refleksijskog profila u dijelu područja istraživanja na kojem su označeni tragovi seizmičkih površina koji odgovaraju horizontima podloge neogena (PNg) i podloge panona (PPa). Na ovom profilu mogu se vidjeti lokalni seizmički facijesi u obliku klinoformi.....13

Slika 5-4. 3D prikaz ploha trenda kartiranih stratigrafskih horizonta u vremenskom mjerilu (TWT): a) podloga neogenskih naslaga, b) podloga panonskih naslaga i c) podloga plio-kvartarnih naslaga.....14

Slika 5-5. Interpretirane rasjedne plohe na području istraživanja.....15

Slika 5-6. 3D prikaz „key pillars“ poligona interpretiranih rasjednih ploha koje se nalaze unutar pripadajućih strukturnih blokova.....17

Slika 5-7. Trodimenzionalni prikaz modelirajuće mreže (engl. „skeleton mesh“) i interpretiranih rasjeda.....18

Slika 5-8. Graf odnosa dubine (Z) i dvostrukog vremena putovanja seizmičkog vala (TWT) izrađen na temelju geofizičkih mjerenja u bušotinama.....19

Slika 6-1.Strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga.....25

Slika 6-2.Strukturna karta po podlozi panonskih naslaga.....28

Slika 6-3.Strukturna karta po podlozi plio-kvartarnih naslaga.....31

Slika 6-4. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) seizmički profil A-A.....36

Slika 6-5. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) seizmički profil B-B'.....37

Slika 6-6. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) seizmički profil C-C'.....38

Slika 6-7. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) seizmički profil D-D'.....39

Slika 6-8. Paleotektonski profil po trasi seizmičkog profila D-D’: a) recentni strukturni odnosi; b) strukturni odnosi krajem gornjeg miocena; c) strukturni odnosi krajem srednjeg miocena.....40

Popis tablica:

Tablica 5-1. Podatci o interpretiranim rasjedima na istraživanom području. Pomaci u vremenskom (ms) i dubinskom mjerilu (m) prikazani su za one rasjede koji se nalaze na seizmičkim profilma na temelju kojih su izrađeni geološki profili (vidi slike 6-4, 6-5, 6-6 i 6-7).....16

Tablica 6-1. Strukturne jedinice izdvojene po pojedinim stratigrafskim horizontima. Pored imena, strukturne jedinice su označene i brojem kojim su označene i na strukturnim kartama (slike 6-1, 6-2 i 6-3).....21

1. Uvod

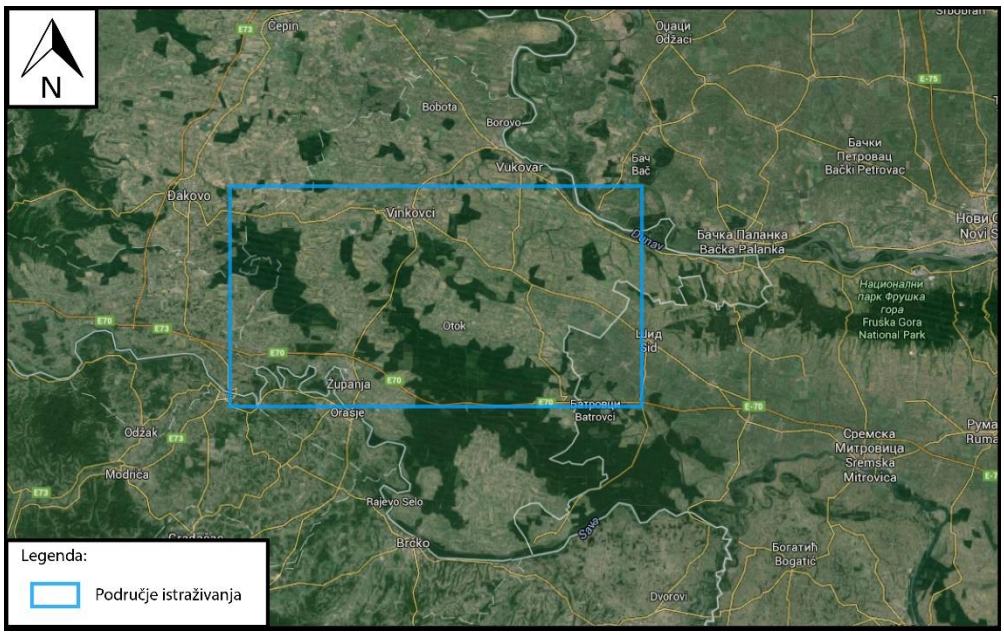
U ovom diplomskom radu analizirani su seizmički i bušotinski podatci iz istočnog dijela Slavonsko-srijemske depresije. Seizmički podatci, koji se sastoje od mreže od ukupno 32 seizmička refleksijska profila i 7 istražnih bušotina, dobiveni su u suradnji s naftnom kompanijom INA d.d.-Industrija nafte iz Zagreba. U svrhu strukturne analize i interpretacije, podatci su analizirani i interpretirani u Petrel Seismic to Simulation (2014) softverskom paketu koji je Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu donirala kompanija Schlumberger.

Cilj ovog diplomskog rada je izrada strukturnog modela podzemlja istočnog dijela Slavonsko-srijemske depresije te izrada dubinskih strukturnih karata u vremenskom mjerilu po podlozi neogenskih naslaga, panonskih naslaga i naslaga plio-kvartara. Na temelju strukturne interpretacije refleksijskih seizmičkih profila i bušotinskih podataka, uz konstruirane strukturne karte, definiran je i prostorni raspored rasjednih ploha, njihove geometrijske i kinematske značajke, veličina relativnih pomaka te vrijeme tektonske aktivnosti. Strukturni odnosi prikazani su nizom geoloških profila izrađenih konverzijom vremenskog mjerila u dubinsko mjerilo. Dobiveni razultati korišteni su u analizi i interpretaciji tektonske evolucije istočnog dijela Slavonsko-srijemske depresije.

2. Geografski položaj istraživanog područja

Područje istraživanja koje je obuhvaćeno u ovom radu nalazi se u istočnom dijelu Hrvatske, na području Vukovarsko-srijemske županije. S geološkog gledišta, to je područje u jugozapadnom dijelu Panonskoga bazena odnosno u Slavonsko-srijemskoj depresiji. Geomorfološki to je pretežito ravničarsko područje s nadmorskim visinama u prosjeku između 80 i 100 metara. Dominantne rijeke ovog podučja su Dunav na istoku i rijeka Sava na jugu, a proteže se od Starih Mikanovaca i Babine grede na zapadu, do Iloka i Ervenika na istoku. Prema sjeveru israživano područja proteže se do Nuštra i Vukovara, dok se prema jugu proteže do Županje (slika 2-1).

Prostor Vukovarsko-srijemske županije ima umjerenu kontinentalnu klimu. Ljeta su sunčana i vruća, s temperaturnim maksimumom koji dostiže do 30°, a zime su hladne i sniježne, uz srednje godišnje temperature od oko 11°C. Srednje godišnje padaline kreću se u relativno uskom rasponu. Najniže su u krajnjem istočnom dijelu gdje iznose oko 650 mm, dok idući prema zapadu vrijednosti srednjih godišnjih padalina postupno raste do 800 mm (www.vusz.hr, 2015).



Slika 2-1. Geografski položaj područja istraživanja projiciran na satelitski snimak preuzet s www.google.hr/maps

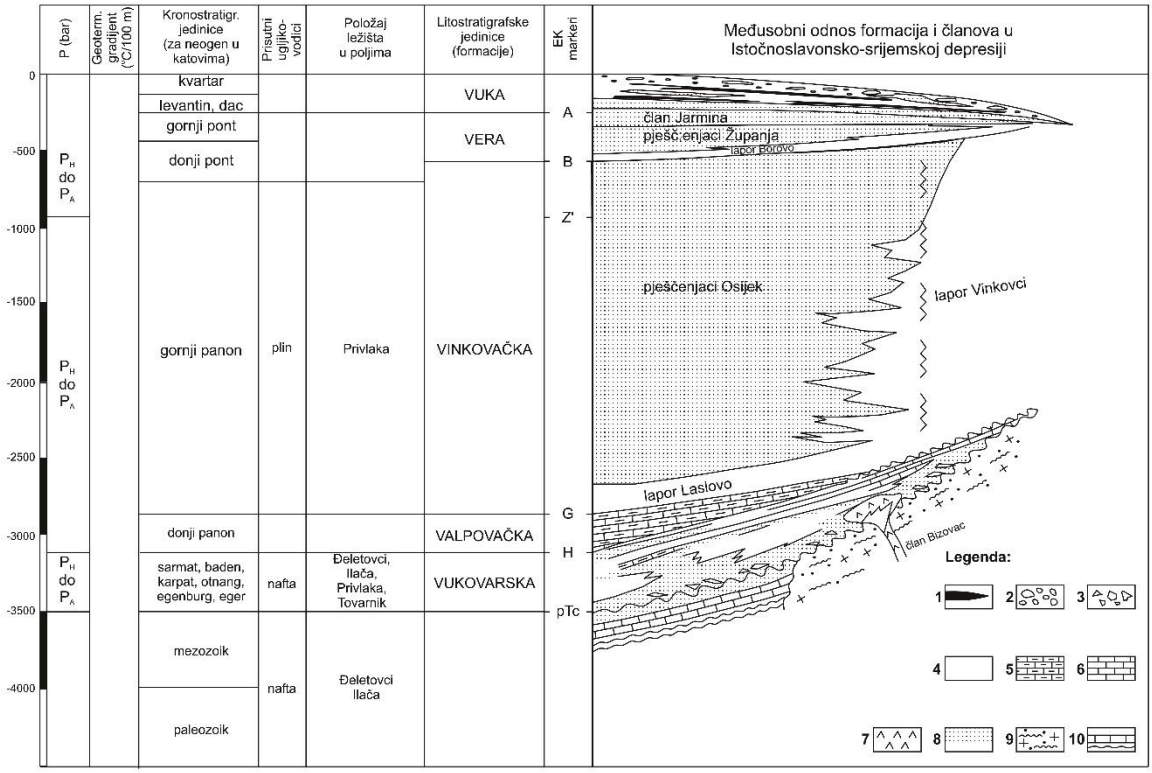
3. Tektonski i taložni razvoj Slavonsko-srijemske depresije

Istraživano područje nalazi se u istočnom dijelu Slavonsko-srijemske depresije, jednoj od četiriju neogenskih depresija na području hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava (PBS) (slika 3-1). Slavonsko-srijemska depresija smještena je uz južni rub PBS, a prostire se istočno od linije Slavonski Brod-Dilj, sve do Fruške gore u Srbiji. Na sjeveru graniči s Dravskom depresijom, a na zapadu sa Savskom depresijom. U Slavonsko-srijemskoj depresiji nalaze se naftna i plinska polja Đeletovci, Privlaka i Ilača, što je razlog relativno dobroj pokrivenosti područja bušotinskim i seizmičkim podatcima.

Slika 3-1. Depresije i uleknine u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava (iz VELIĆ, 2007; prema KRANJEC et al., 1981).

U dubinskoj građi Slavonsko-srijemske depresije razlikuju se dva bitno različita geološka kompleksa stijena, odnosno naslaga. Prvi kompleks stijena čine magmatske, metamorfne i sedimentne stijene pretežito paleozojske i mezozojske starosti, koje čine podlogu na koju su taložene neogenske i plio-kvartarne naslage (slika 3-2). U ovom radu, prema literaturnim podatcima objavljenim u VELIĆ et al. (2002) i SAFTIĆ et al. (2003), naslage neogenske i plio-kvartarne ispune depresije izdvojene su u tri sedimentacijska

megaciklusa, za sva tri megaciklusa karakteristično je da se radi o litostratigrafskim asocijacijama nastalim prvenstveno kao rezultat regionalnih tektonskih događaja tijekom neogena i kvartara, a koje su uvjetovane i lokalnim strukturnim obilježjima istraživanog područja (SAFTIĆ et al., 2003; VELIĆ, 2007). Ukupna debljina neogenskih i plio-kvartarnih naslaga na području Slavonsko-srijemske depresije u Hrvatskoj ne prelazi 4.000 m (SAFTIĆ et al., 2003).



Slika 3-2. Stratigrafske jedinice, litološki sastav i položaj važnijih ležišta ugljikovodika u Slavonsko-srijemskoj depresiji. Legenda: 1=ugljen; 2=šljunci i konglomerati; 3=breče; 4=glinovito-kalcitni lapori; 5=glinoviti vapnenci; 6=vapnenci; 7=efuzivi; 8=pijesci i pješčenjaci; 9=granit i gnajs; 10=pješčenjaci, vapnenci i škriljavci (VELIĆ, 2007).

3.1. Prvi sedimentacijski megaciklus i ekstenzijska faza razvoja Slavonsko-srijemske depresije (18,3 – 11,5 Ma)

Naslage prvog sedimentacijskog megaciklusa čine sedimenti donjomiocenske do srednjomiocenske starosti koji su pretežito taloženi tijekom sinriftne, ekstenzijske faze te dijelom i početkom postriftne faze u tektonsko-taložnoj evoluciji Panonskog bazena u Hrvatskoj (SAFTIĆ et al., 2003). Početak prvog megaciklusa započinje u razdoblju otnanga (18-17 ma). Naime, tijekom egera i egenburga taloženje se odvijalo samo u malim, prostorno ograničenim područjima koja su obuhvaćala dijelove Murske depresije, tzv. male bazene Hrvatskog zagorja te u najzapadnijim zonama Dravske depresije. Tek su u otnangu stvoreni uvjeti koji su rezultirali formiranjem sedimenata rasprostranjenih na gotovo cijelom području Panonskog bazenskog sustava u Hrvatskoj (VELIĆ, 2007). Taloženje započinje u kopnenim okolišima aluvijalnih lepeza i u jezerskim okolišima taloženja (PAVELIĆ, 1998). Na području istraživanja, sredinom miocena (16-11.6 ma) dolazi do transgresije uz regionalno, marinsko poplavljivanje što je dovelo do taloženja biogenih vapnenca i konglomerata u dominantno priobalnom pojasu, ali i na podvodnim hrptovima ili grebenima i oko otočnih gora. Nešto dalje od obale taloženi su karbonatni i pjeskoviti sedimenti, a u dubljim dijelovima depresija i glinovito-laporoviti sedimenti (HERNITZ, 1983). Tijekom srednjeg miocena sedimentacija na području jugozapadnog dijela Panonskog bazena je popraćena i značajnom vulkanskom aktivnosću, koja je dokumentirana naslagama tufova i vulkanskih stijena na okolnim Slavonskim gorama i Motajici (PAVELIĆ, 2001; SAFTIĆ et al., 2003). Vulkanska aktivnost je za vrijeme srednjeg miocena bila usko povezana s regionalnom ekstenzijskom fazom uz dominantno formiranje normalnih rasjeda, a koja je zahvaćala gotovo čitav Panononski bazen (JAMIČIĆ, 1995). Na području hrvatskog i sjevernobosanskog dijela Panonskog bazena kao rezultat regionalne ekstenzije formiran je niz polugraba koje su bile omeđene nizom normalnih rasjeda (PAVELIĆ, 1998; 2001). Sedimenti prvog megaciklusa rasprostiru se na gotovo cijelom području Slavonsko-srijemske depresije, osim na području Vukovara, jugoistočno od Vinkovaca i Tovarnika, gdje su u to vrijeme egzistirali kopneni uvjeti ili bili erodirani naknadno (HERNITZ, 1983). Najmanje debljine naslaga prvog megaciklusa, manje od 100 m, zabilježene su na Đakovačko-vinkovačkoj uzvisini i sjeverno od Brčkog (HERNITZ, 1983). Nasuprot tome, južno od Vinkovaca u području izraženijeg spuštanja, naslage srednjeg miocena su izuzetno velikih debljina (>1200 m) (HERNITZ, 1983). Uz

značajne razlike u debljinama, naslage prvog megaciklusa odlikuju se i heterogenim litološkim sastavom, s pojavom vulkanskih naslaga, breča, gromadastih biogenih vapnenca kao i uslojenih pješčenjaka i lapora (HERNITZ, 1983). Slijed taloženih naslaga prvog megaciklusa na području Slavonsko-srijemske depresije prema radu VELIĆ (2007) pripada Vukovarskoj formaciji (slika 3-2).

3.2. Drugi sedimentacijski megaciklus i faza termalne subsidencije na području Slavonsko-srijemske depresije (11,6 – 5,3 Ma)

Naslage drugog megaciklusa taložene su za vrijeme gornjeg miocena, odnosno tijekom panona i ponta (VELIĆ, 2007). Debljina naslaga gornjeg miocena u Slavonsko-srijemskoj depresiji najveća je u zapadnom i sjevernom dijelu depresije, gdje dosežu 1500 m (SAFTIĆ et al., 2003). U južnom dijelu hrvatskog dijela Panonskog bazena tektonski razvoj taložnih bazena je u gornjem miocenu obilježen manjom tektonskom aktivnošću uz produbljavanje taložnog prostora uz postojeće normalne rasjede kao rezultat termalne subsidencije, odnosno hlađenja litosfere (PRELOGOVIĆ et al., 1995; PAVELIĆ, 2001). Početkom panona južni dio Panonskog bazena obilježavaju brakični jezerski uvjeti taloženja, u kojima se uglavnom talože karbonatne naslage. Produbljavanje taložnog prostora uvjetuje taloženje dubokovodnih sedimenata, među kojima dominiraju lapori koji su proslojeni sa siliciklastičnim materijalom. Tijekom ponta dolazi do postupnog zapunjavanja taložnog prostora, što je dovelo do oplićavanja i porasta udjela terigenog materijala (PAVELIĆ, 2001). Delte i prodelte predstavljaju dominantne okoliše taloženja, dok krajem ponta formiranje naslaga je vezano uz progradirajuća pješčana tijela riječnih okoliša (PAVELIĆ, 2001). Prema radu VELIĆ (2007) slijed gornjomiocenskih naslaga Slavonsko-srijemske depresije pripada Valpovačkoj i Vinkovačkoj formaciji (slika 3-2).

3.3. Treći sedimentacijski megaciklus i faza strukturne reaktivacije i tektonske inverzije na području Slavonsko-srijemske depresije (5,3 -0 Ma)

Naslage završnog, trećeg sedimentacijskog megaciklusa čine sedimenti plio-kvartarne starosti (VELIĆ, 2007). Debljina ovih naslaga u Slavonsko-srijemskoj depresiji je u

rasponu od 500 do 1000 m (SAFTIĆ et al., 2003). Za treći sedimentacijski megaciklus karakteristična je dominantno močvarna, jezerska i riječna sedimentacija koja se odvijala u najnižim dijelovima depresija. Ovaj završni megaciklus litološki se razlikuje od prethodnih, jer je izgrađen od izmjene sivih, slabo vezanih pijesaka i sivozelenih ili plavičastih mekanih glina koje sadrže rijetke slojeve lignita. Završava šljuncima, praporima i rastresitim površinskim pokrivačem (VELIĆ, 2007). Prema radu VELIĆ (2007) slijed plio-kvartarnih naslaga Slavonsko-srijemske depresije pripada formacijama Vuka i Vera (slika 3-2).

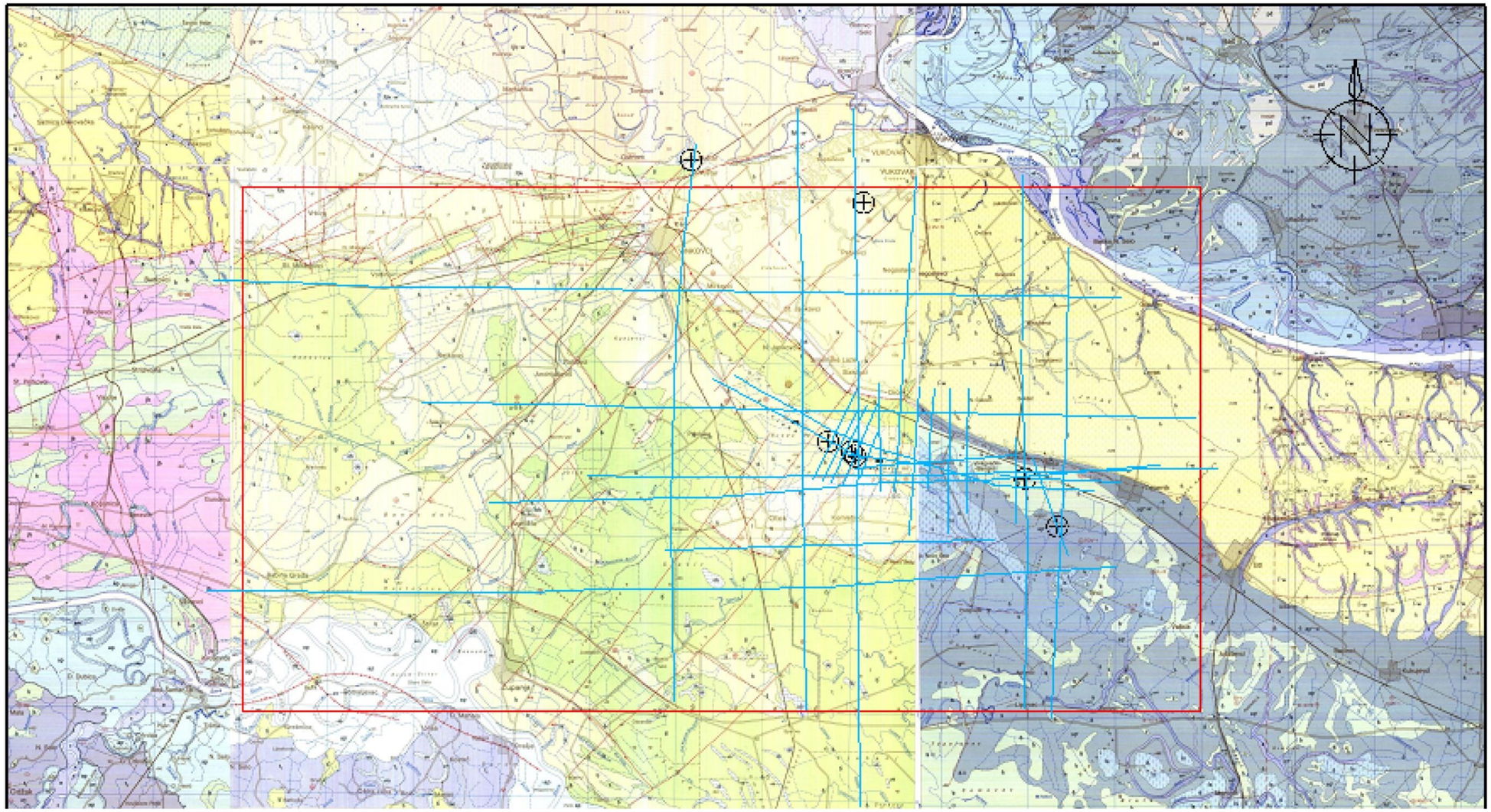
Razdoblje pliocena i kvartara u hrvatskom dijelu Panonskog bazena obilježava i tektonska inverzija i strukturna reaktivacija ranije stvorenih rasjednih struktura. Novouspostavljeni režim naprezanja u tom području, koji u današnje vrijeme obilježava orijentacija glavne kompresijske osi pružanja S-J, odnosno SI-JZ (npr. HERAK et al., 2009), doveo je do reaktiviranja i inverzije starijih normalnih u reversne rasjede pružanja SZ-JI (npr. TOMLJENOVIĆ i CSONTOS, 2001). Prema radu HERNITZ (1983) za cijelo područje istočne Slavonije, uključujući i Slavonsko-srijemsku depresiju, karakteristični su rasjedi s pravcem pružanja I-Z, ZSZ-IJI.

4. Geološke značajke istraživanog područja prema podatcima Osnovne geološke karte 1:100.000

Površinske geološke značajke istraživanog područja prikazane su na Osnovnoj geološkoj karti (OGK) u mjerilu 1:100.000, na listovima Vinkovci (BRKIĆ et al., 1989) i Bačka Palanka (ČIČULIĆ-TRIFUNOVIĆ & GALOVIĆ, 1985) (slika 4-1). Istraživano područje pretežito izgrađuju kvartarne naslage, pretežito aluvijalno-barski sedimenti holocena te pleistocenske lesne naslage (BRKIĆ et al., 1989). Pleistocenske sedimente čine les, odnosno barsko-kopneni les te sedimenti poplavne ravnice. Les (prapor) izgrađuje lesni ravnjak Đakovo-Vinkovci i Vukovar. Osim spomenutog ravnjaka les izgrađuje manjeuzdignute morfološke oblike na širem području Otoka i Komletinca. Les leži diskordantno na starijim naslagama u području Vukovara i konkordantno na ostalom dijelu ravnjaka, gdje zasipavanjem vodenih sredina kontinuirano prelazi u kopneni les (BRKIĆ et al., 1989).

Na području istraživanja, najmlađe, holocenske naslage izgrađuju aluvijalni sedimenti rijeke rijeke Save te manjih riječnih tokova. Izdvojeni su sedimenti poplavnog područja, aluvija i mrtvaja Save, a između rijeke Save i lesnog ravnjaka nalaze se barski i organogeno barski sedimenti s većim ili manjim površinama (BRKIĆ et al., 1989). Mlađi barski sedimenti nalaze se južno od lesnog ravnjaka, a nastavak su sedimentacije tijekom srednjeg i gornjeg holocena. Močvarno područje koje dijelom i danas egzistira povremeno je preplavljeno te se proces taloženja sedimenata odvijao do danas (BRKIĆ et al., 1989).

Slika 4-1. Geološka karta šireg područja istraživanja



Legenda kartiranih jedinica:

1
a — Sedimenti korita–plaža: šljunak, pijesak, silt

2
am — Sedimenti mrtvaja: šljunak–pijesak, silt–glina

3
ap — Sedimenti poplavnih područja: glinoviti silt, pijesak, leće šljunka

4
ob — Organogeno–barski sedimenti: glinoviti silt s organskim tvarima

5
b' — Mladi barski sedimenti: glinoviti silt–glina

6
b — Stariji barski sedimenti: siltozni pijesak, silt, glinoviti silt

7
t_1 — Sedimenti I naplavne terase: glinoviti silt, pojave pijeska i šljunka

8
l — Kopneni les–silt

9
lbk — Barsko–kopneni les: pjeskovito–glinoviti silt

10
Q — Kvartar općenito (samo na profilu)

0 2500 5000 7500 10000 12500m

1:366211

Legenda standardnih oznaka:

- Normalna granica: pokrivena ili aproksimativno utvrđena, na stupu i profilu
- Horizontalan sloj
- Rasjed bez oznake karaktera: pokriven, pretpostavljen, fotogeološki osmatran
- Dubinski rasjed, geofizički utvrđen
- Relativno spušten blok
- Mikroflora
- Mikrofauna
- Slatkovodna makrofauna
- Ostaci sisavaca
- Glinište
- Ležište ciglarske ilovače
- Ležište pijeska
- Ležište šljunka
- Priviaka (n) Ležište nafte u eksploataciji; pojave plina (p)
- Duboka bušotina: pojedinačna, termalna, na profilu
- Terasni odsjek

- Područje istraživanja
- Seizmički profil
- Bušotina

5. Bušotinski i geofizički podatci i metode istraživanja

Za strukturnu analizu istočnog dijela Slavonsko-srijemske depresije korištena su 32 seizmička refleksijska profila i podatci iz 7 bušotina (slika 4-1). Osim koordinata lokacija, podatci o istražnim bušotinama sadržavali su i dubine na kojim su nabušeni određeni stratigrafski horizonti te podatke izvedenih geofizičkih mjerenja u bušotinama iz kojih je određena ovisnost brzine širenja seizmičkih valova o dubini. Bušotine koje su korištene u ovom radu su: ĐT-1Z, ĐT-48, ĐT-21, ĐT-25, TOV-3, VU-4 i NŠ-1. Raspored seizmičkih profila je prikazan na slici 4-1. Bušotinski i seizmički podatci su organizirani u bazu podataka u Petrel™ Seismic to Simulation programskom paketu, koji je kompanija Schlumberger ustupila na korištenje Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu i koji je korišten za strukturnu analizu podataka, konstrukciju strukturnih karata i konstrukciju 3D modela podzemlja istraživanog područja.

5.1. Strukturna interpretacija seizmičkih refleksijskih profila

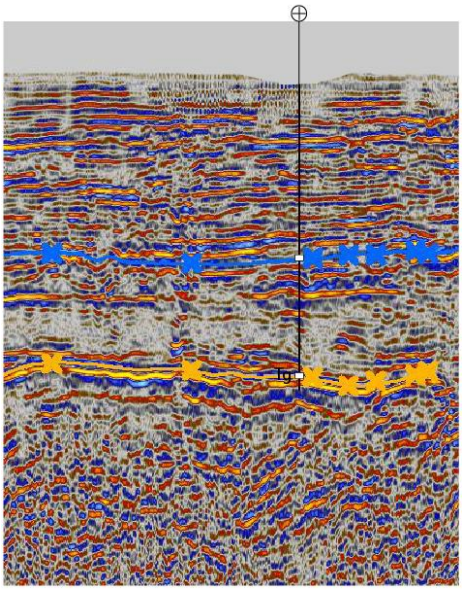
5.1.1. Stratigrafski horizonti

Interpretacija i analiza 2D seizmičkih refleksijskih profila temeljila se na interpretaciji triju regionalnih stratigrafskih horizonata koji odražavaju bitne promjene u taložno-tektonskoj evoluciji hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava, odnosno čine granice triju sedimentacijskih megaciklusa (VELIĆ et al, 2007).

Ti stratigrafski horizonti odgovaraju a) podlozi neogenskih naslaga (PNg) koja u analiziranim bušotinama nosi oznaku „temeljno gorje“,Tg), b) podlozi panonskih naslaga (PPa) koja u bušotinama nosi oznaku repernog sloja Rs7, i c) podlozi plio-kvartarnih naslaga (PPlQ) koja u bušotinama nosi oznaku repernog sloja α'.

Pri strukturnoj interpretaciji stratigrafskih horizonata na raspoloživim refleksijskim profilima bilo je važno odabrati odgovarajuće seizmičke reflekse koji najbolje odgovaraju bušotinskim podatcima o dubinama nabušenih kontakata, odnosno repernih slojeva. U inicijalnoj fazi, strukturna interpretacija temeljena je na seizmičkim profilima koji prolaze

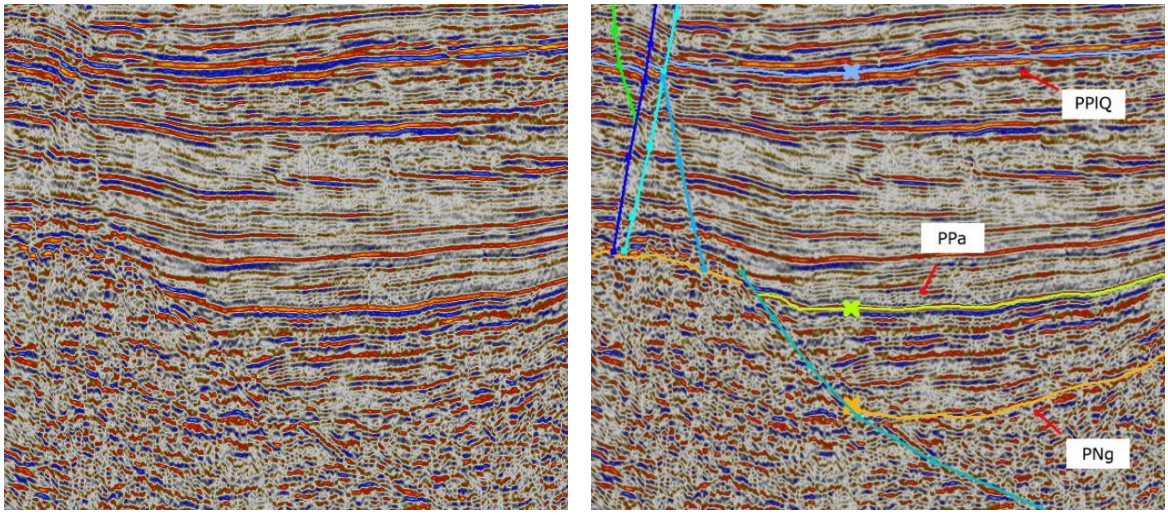
direktno preko bušotina (slika 5-1). U narednoj fazi strukturne analize, ovako interpretirani podatci poslužili su za daljnju interpretaciju stratigrafskih horizonata na preostalim refleksijskim profilima koji se s njima presijecaju, a za koje ne postoje direktni bušotinski podatci.



Slika 5-1. Isječak seizmičkog profila na kojem se vidi povezanost seizmičkog profila i bušotinskih podataka. Plavi trag odgovara podlozi plio-kvartarnih naslaga, a narančasti podlozi panonskih naslaga.

Podloga neogenskih naslaga (PNg)

Stratigrafski horizont podloge neogenskih naslaga (PNg) predstavlja tektonsko-erozijsku diskordanciju u bazi neogenske ispune Slavonsko-srijemske depresije. Podinu ovog horizonta čine pretežito magmatske i metamorfne stijene paleozojske do oligocenske starosti te sedimentni kompleks stijena mezozojske starosti (MALVIĆ & SAFTIĆ, 2008). U interpretaciji i odabiru seizmičkog refleksa koji odgovara stratigrafskom horizontu podloge neogenskih naslaga (PNg) uzeta je u obzir ova činjenica pa se stoga taj horizont definirao i korelirao s nizom lateralno isprekidanih refleksa izraženih amplituda, koji odjeljuju nekontinuirane seizmičke reflekse malih amplituda od kontinuiranih refleksa jasnih amplituda u njegovoj podini i krovini (slike 5-2 i 5-3).



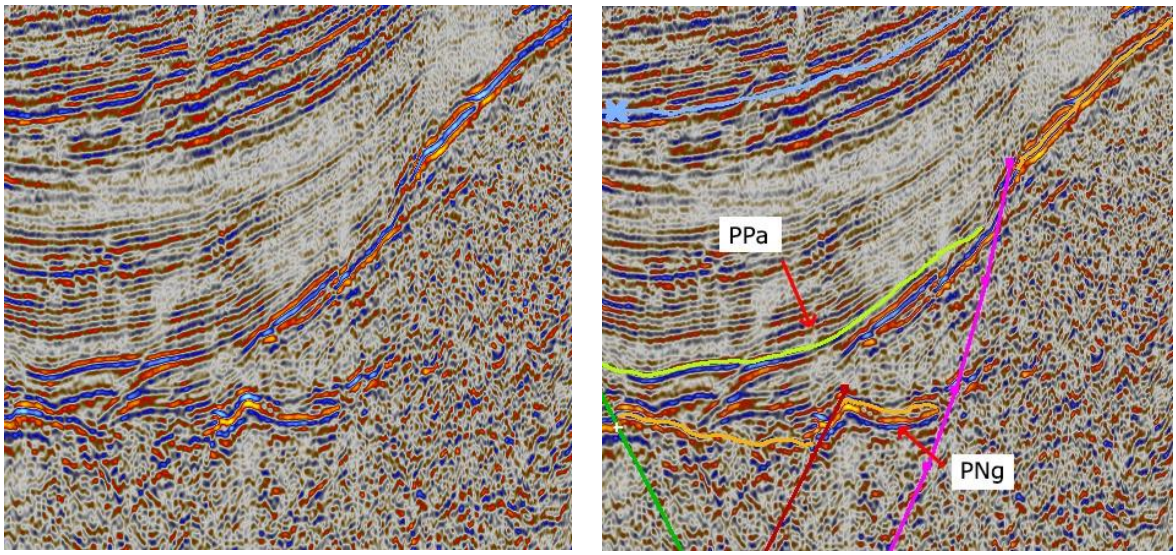
Slika 5-2. Neinterpretirani (lijevo) i interpretirani (desno) isječak seizmičkog refleksijskog profila u dijelu područja istraživanja na kojem su označeni kontinuirani tragovi seizmičkih refleksa, koji odgovaraju podlozi neogenskih naslaga (PNg), podlozi panonskih naslaga (PPa) te podlozi plio-kvartarnih naslaga (PPlQ).

Podloga panonskih naslaga (PPa)

Podloga panonskih naslaga (PPa) predstavlja bazu panonskih naslaga u čijoj se podini nalaze donjomiocenske i srednjomiocenske naslage, ali moguće i starije predneogenske naslage. Podloga panonskih naslaga kao stratigrafski horizont definira završetak ekstenzijske faze u JZ dijelu Panonskog bazenskog sustava i prijelaz iz dominantno marinskih u brakične i kaspibrakične okoliše taloženja. Lokalno se prepoznaje kao erozijska granica, odnosno tektonsko-erozijska diskordancija (TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001; SAFTIĆ et al., 2003).

Seizmički horizont koji odgovara podlozi panonskih naslaga (PPa) prepoznavao se kao dobro izražen seizmički refleks na granici između seizmičkog facijesa u krovini koji obilježava slijed kontinuiranih refleksa manjih amplituda i viših frekvencija, u odnosu na seizmički facijes u podini koji obilježava niz nekontinuiranih refleksa većih amplituda i nižih frekvencija (slika 5-2). Nadalje, u podini ovog seizmičkog refleksa lokalno su uočene i serije nagnutih refleksa koji predstavljaju seizmičke facijese klinoformnog oblika, za koje

je predpostavljeno da odgovaraju taložnim tijelima izgrađenim od breča i konglomerata, a na kojima su slijedili kontinuirani i subhorizontalni refleksi (slika 5-3).



Slika 5-3. Neinterpretirani (lijevo) i interpretirani (desno) isječak seizmičkog refleksijskog profila u dijelu područja istraživanja na kojem su označeni tragovi seizmičkih površina koji odgovaraju horizontima podloge neogena (PNg) i podloge panona (PPa). Na ovom profilu mogu se vidjeti lokalni seizmički facijesi u obliku klinoformi.

Podloga plio-kvartarnih naslaga (PPlQ)

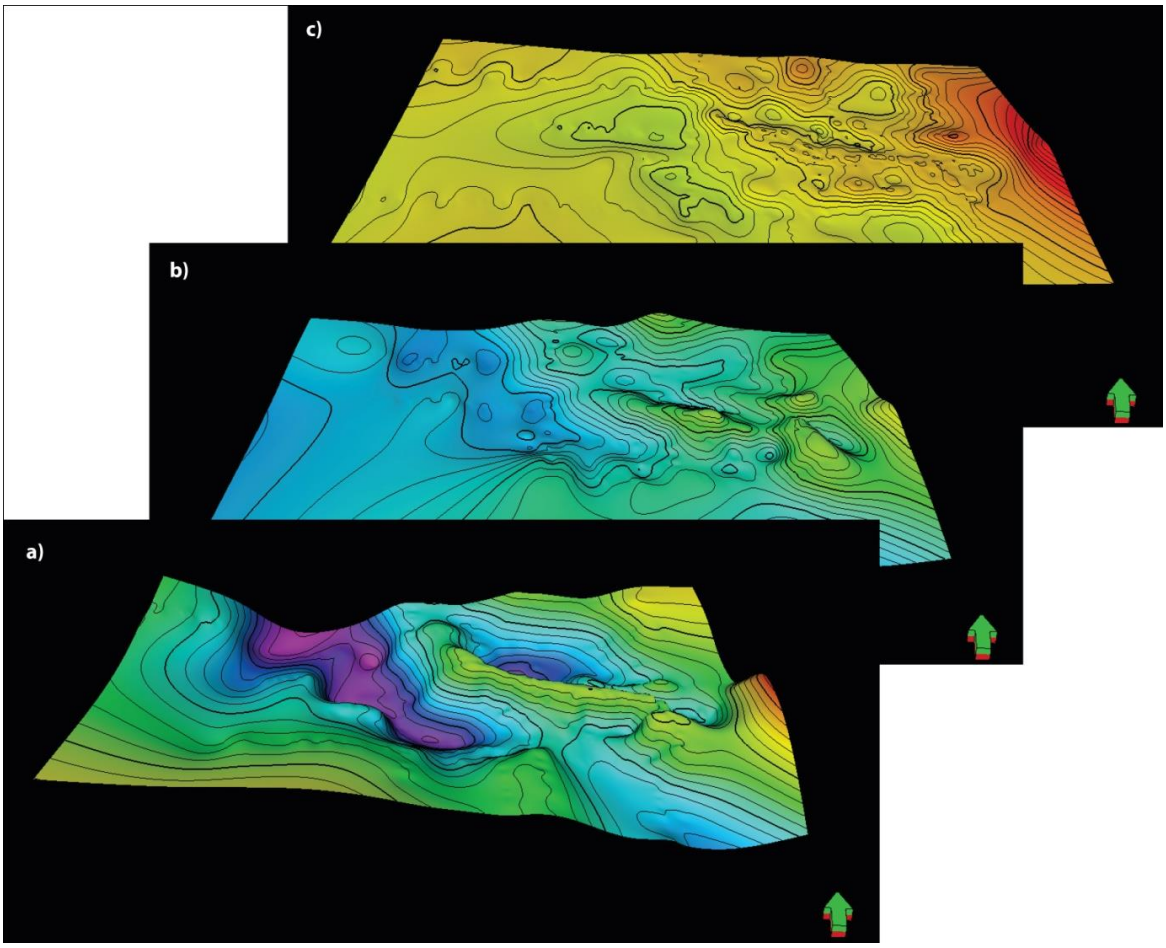
Podloga plio-kvartarnih naslaga (PPlQ) je diskordancija u bazi pliokvartarnih naslaga, koja približno označava završetak termalne subsidencije u Panonskom bazenskom sustavu i početak strukturne rekativacije ranije stvorenih rasjeda pa i formiranje novih rasjeda i struktura nastalih tijekom tektonske inverzije koja je uvjetovana djelovanjem novonastalog regionalnog kompresijskog režima naprezanja krajem ponta (npr. TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001). Taj je kompresijski režim naprezanja u hrvatskom dijelu Panonskog bazena doveo do formiranja desnih i lijevih rasjeda, uz pojavu lokalne transpresije i transtenzije (SAFTIĆ et al, 2003).

Strukturna interpretacija seizmičkog horizonta koji odgovara podlozi plio-kvartarnih naslaga (PPlQ) bazirala se na izraženom seizmičkom refleksu koji odvaja kontinuirane reflekse gornjo-miocenskih, odnosno pontskih naslaga u podini, u odnosu na seriju

seizmičkih refleksa koji slijede diskordantno preko njih i po bušotinskim podacima odgovaraju pliocenskim i kvartarnim naslagama u krovini (slika 5-2).

Konstrukcija ploha trenda kartiranih stratigrafskih horizonata

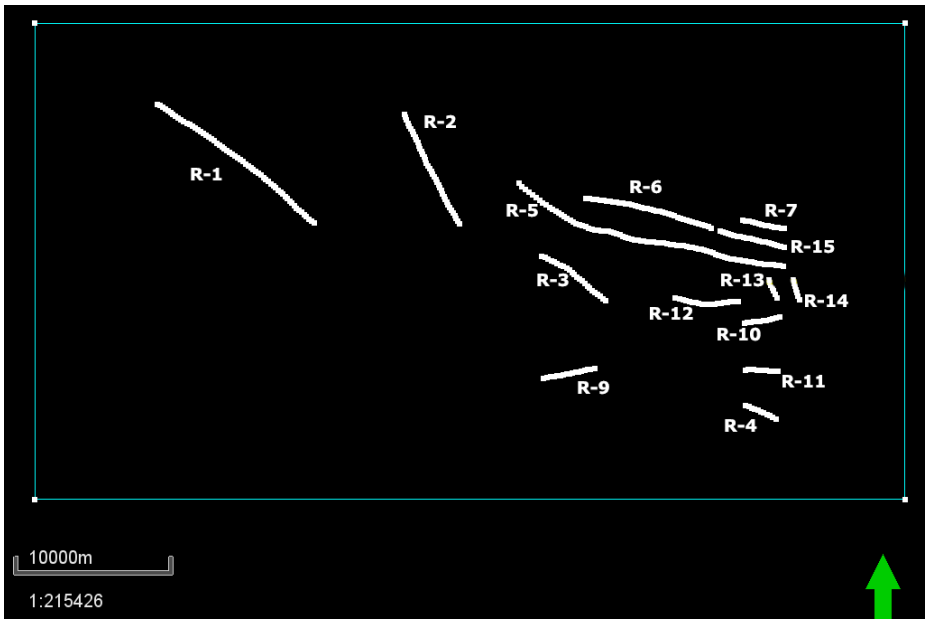
Na temelju opisanog postupka interpretacije i analize seizmičkih podataka, izrađene su plohe trenda kartiranih stratigrafskih horizonta u vremenskom mjerilu (TWT) po trima kartiranim stratigrafskim horizontima (slika 5-4). Kao izvor podataka za konstrukciju ploha korištene su interpretacije horizonata na seizmičkim refleksijskim profilima. Uz pomoć tih podataka plohe trenda su dobivene automatskom obradom u softverskom paketu *Petrel*. Te plohe trenda su poslužile kao ulazni podatci za izradu strukturnog modela podzemlja.



Slika 5-4. 3D prikaz ploha trenda kartiranih stratigrafskih horizonta u vremenskom mjerilu (TWT): a) podloga neogenskih naslaga, b) podloga panonskih naslaga i c) podloga plio-kvartarnih naslaga.

5.1.2. Rasjedne plohe

Uz strukturnu interpretaciju stratigrafskih horizonata, u okviru ovog rada interpretirani su rasjedi aktivni tijekom miocena i plio-kvartara. Za ukupno 24 interpretirana rasjeda definirane su njihove kinematske značajke, vrijeme tektonske aktivnosti te veličine relativnih pomaka izraženih u milisekundama i u metrima za one rasjede koji su interpretirani na geološkim profilima A-A', B-B', C-C' i D-D' (slika 5-5 i tablica 5-1). Od ukupno 24 interpretiranih rasjeda 22 su normalna rasjeda, od kojih je sedam s pružanjem SZ-JI (R-1, R-2, R-3, R-4, R-6, R-7 i R-8; slika 5-5), četiri s pružanjem I-Z (R-9, R-10, R-11 i R-12; slika 5-5), dva s pružanjem S-J (R-13 i R-14; slika 5-5) i devet normalnih rasjeda za koje nije bilo moguće odrediti pružanje budući da su interpretirani na samo jednom seizmičkom profilu (R-16, R-17, R-18, R-19, R-20, R-21, R-22, R-23 i R-24). Interpretirana su i dva reversna rasjeda: jedan normalan i reversno reaktiviran rasjed R-5 s pružanjem SZ-JI (slika 5-5) i jedan reversni rasjed R-15 istog pružanja (slika 5-5). Veličine relativnih pomaka po rasjedima su u rasponu od 15 do 880 ms, s time da su najveće vrijednosti pomaka izmjerene na normalnim rasjedima označenim s R-1, R-2 i R-20 (tablica 5-1).



Slika 5-5. Interpretirane rasjedne plohe na području istraživanja (pogled odozgo).

Tablica 5-1. Podatci o interpretiranim rasjedima na istraživanom području. Pomaci u vremenskom (ms) i dubinskom mjerilu (m) prikazani su za one rasjede koji se nalaze na seizmičkim profilma na temelju kojih su izrađeni geološki profili (vidi slike 6-4, 6-5, 6-6 i 6-7 u narednom poglavlju).

Broj rasjeda	Naziv rasjeda	Karakter rasjeda	Vertikalni pomak po horizontima					
			PNg (ms)	PNg (m)	PPa (ms)	PPa (m)	PPlQ (ms)	PPlQ (m)
1	Retkovci	Normalni	700	1430	40		-	-
2	Privlaka	Normalni	880	1780	-	-	-	-
3	Otok sjever	Normalni	260-430	360-750	-	-	-	-
4	Apševci	Normalni	290	590	-	-	-	-
5	Privlaka-Ivanci	Reaktivirani	275-490	520-700	50		-	-
6	Đeletovci	Normalni	240		-	-	-	-
7	Šidski-Banovci	Normalni	180	270	-	-	-	-
8	Vranjevo	Normalni	460	1120	-	-	-	-
9	Otok jug	Normalni	300	450	-	-	-	-
10	Ilinci sjever	Normalni	280	400	-	-	-	-
11	Ilinci jug	Normalni	150	200	-	-	-	-
12	Nijemci	Normalni	400		-	-	-	-
13	Ivanci zapad	Normalni	150	270	-	-	-	-
14	Ivanci istok	Normalni	260	410	140	260	-	-
15	Ilača	Reversni	45	60	-	-	-	-
16	Komletinci Istok	Normalni	40	50	-	-	-	-
17	Komletinci zapad	Normalni	90	230	40	40	-	-
18	Grabik	Normalni	220	470	120	160	-	-
19	Tovarnik zapad	Normalni	110	235	-	-	-	-
20	Tovarnik istok	Normalni	630	770	140	150	-	-
21	Jelje 1	Normalni	-	-	-	-	27	40
22	Jelje 2	Normalni	-	-	-	-	35	50
23	Jelje 3	Normalni	-	-	-	-	15	30
24	Jelje 4	Normalni	-	-	-	-	28	40

Karakter pomaka po kartiranom horizontu

Normalni pomak

Reversni pomak

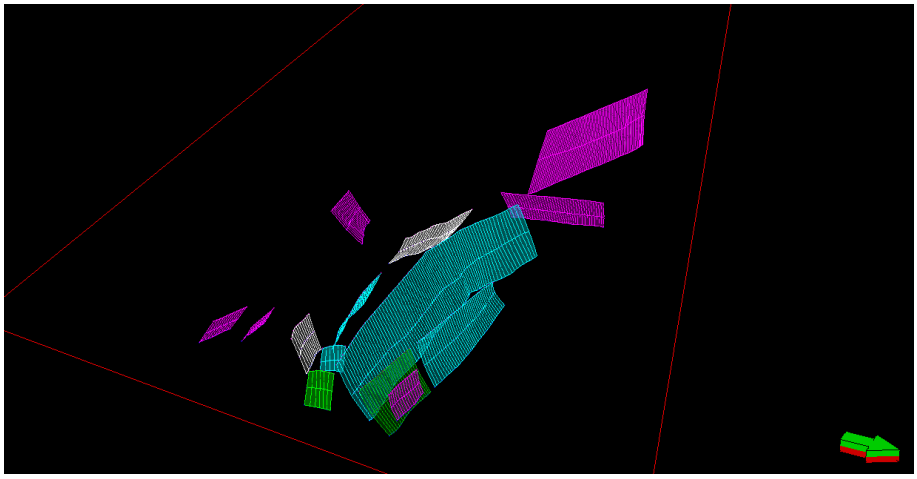
Reversno reaktivirani pomak

Rasjed se ne nalazi na prikazanim profilima (slike 6-4, 6-5, 6-6, i 6-7)

\- Nema pomaka

5.2. 3D strukturno modeliranje podzemlja

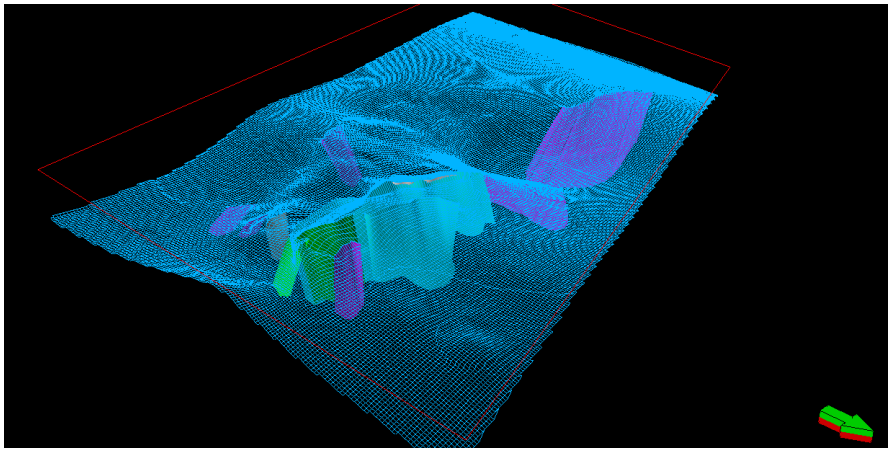
Za izradu 3D strukturnog modela podzemlja korišteni ulazni podaci činili su konstruirane plohe trenda stratigrafskih horizonata i interpretirane rasjedne plohe na seizmičkim profilima. Strukturni model izrađen je uz pomoć modula *Structural Framework i Corner point gridding* u programskom paketu Petrel Seismic to Simultation. Za izradu strukturnog modela podzemlja bilo je potrebno definirati prostorni okvir područja modeliranja (Geometry definition u Petrel Processes funkcijama). S obzirom da korišteni programski paket preferira izometrični oblik granica strukturnog modela, područje modeliranja je definirano kao strukturni blok čija je površina u obliku pravokutnika. U strukturnom modelu su za definirani strukturni blok definirani okvirni modeli rasjednih ploha te modeli ploha interpretiranih stratigrafskih horizonata primjenom modula *Fault framework modeling* i *Horizon modeling*. Sljedeći postupak u izradi strukturnog modela podzemlja je korištenje modula *Corner point griding* kojime je detaljno definiran oblik rasjeda izradom „*key pillars*“ poligona (slika 5-6).



Slika 5-6. Trodimenzionalni prikaz „*key pillars*“ poligona interpretiranih rasjednih ploha.

Postupkom *„Pillar griding*“ izrađena je prostorna 3D modelirajuća mreža koja objedinjuje informacije o karakteru pomaka kao i geometrijska obilježja interpretiranih rasjeda. Tim postupcima je strukturni blok u modelu podzemlja podjeljen na manje segmente radi točnijeg definiranja strukturnih odnosa (slika 5-7). U daljnjem slijedu koristeći modul *Make horizons* konstruirane su strukturne plohe interpretiranih stratigrafskih horizonata. Ovim modulom primijenjene su i odgovarajuće geološke zakonitosti i odnosi između

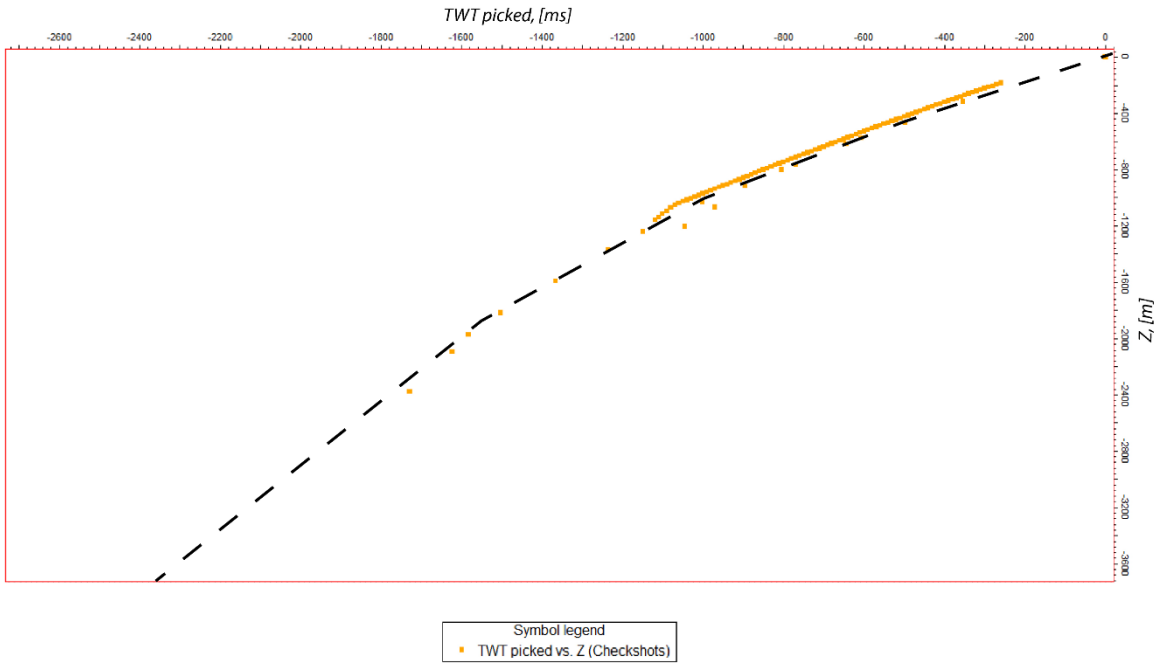
interpretiranih stratigrafskih horizonata te vremensko trajanje tektonske aktivnosti/neaktivnosti interpretiranih rasjednih ploha. Konačni rezultat ovog postupka su konstruirane strukturne plohe po interpretiranim stratigrafskim horizontima koje prikazuju dubinske odnose u domeni dvostrukog vremena putovanja seizmičkog vala (TWT) s vrijednostima relativnih pomaka duž interpretiranih rasjednih ploha.



Slika 5-7. 3D prikaz modelirajuće mreže i interpretiranih rasjeda.

5.3 Izrada kompozitnih dubinskih geoloških profila

Pregled i rekonstrukcija glavnih faza u tektonskoj evoluciji područja istraživanja kao i određivanje veličine relativnih vertikalnih pomaka po rasjedima u metrima, ostvareni su izradom dubinskih geoloških profila temeljem vremensko-dubinske konverzije izdvojenih seizmičkih refleksijskih profila. Konverzija iz vremenskog u dubinsko mjerilo provedena je koristeći odnose dvostrukog vremena putovanja seizmičkog vala (TWT) i stvarnih dubina (slika 5-8), koji su dobiveni geofizičkim mjerenjima brzine seizmičkog vala u bušotinama. Treba istaknuti da na izrađenim dubinskim profilima (slike 6-4, 6-5 i 6-6) može doći do odstupanja prikazanih struktura u dubljim dijelovima, s obzirom na nedostatak geofizičkih mjerenja i podataka na većim dubinama te nagibu ekstrapoliranog trenda odnosa TWT-dubina na dubinama većim od 2400 m. Nadalje, s obzirom da su za vremensko-dubinsku konverziju ovdje korišteni podatci sa svih raspoloživih bušotina, možemo smatrati da korišteni trend i zakon brzina predstavlja više regionalnu zakonitost, dok bi točnost vremensko-dubinskih odnosa na lokalnoj razini trebala biti razmatrana s oprezom zbog lokalnih specifičnosti podzemlja odnosno strukturnih i litoloških odnosa.



Slika 5-8. Graf odnosa dubine (Z) i dvostrukog vremena putovanja seizmičkog vala (TWT) izrađen na temelju geofizičkih mjerenja u bušotinama.

6. Rezultati istraživanja

U ovom poglavlju su prikazani rezultati strukturne analize 32 seizmička refleksijska profila, na temelju kojih je interpretiran tektonski razvoj istraživanog područja tijekom neogena i kvartara. Budući da seizmički profili nisu ravnomjerno raspoređeni po cijelom istraživanom području (slika 4-1), rekonstruirana i u ovom poglavlju opisana strukturna građa podzemlja na krajnjem zapadnom i jugozapadnom dijelu istraživanog područja nije pouzdano utvrđena.

Dubinska strukturna građa istraživanog područja prikazana je na strukturnim kartama izrađenim po trima stratigrafskim horizontima te na dva uzdužna i dva poprečna profila, prvi s pružanjem I-Z i drugi s pružanjem S-J. Položaj ovih profila prikazan je na strukturnim kartama (slike 6-1, 6-2 i 6-3). S obzirom da profili prikazani na slikama 6-4, 6-5, 6-6 i 6-7 imaju različito horizontalno i vertikalno mjerilo, potrebno je naglasiti da ne prikazuju realnu građu podzemlja. To je naročito bitno kad se promatra oblik rasjednih ploha i njihov kut nagiba, koji je u stvarnosti blaži, što se vidi iz profila D-D' koji je na slici 6-8-a konstruiran s jednakim vertikalnim i horizontalnim mjerilom. Taj profil korišten je za palinspastičku rekonstrukciju za vrijeme neogena i kvartara, iz koje je moguće rekonstruirati aktivnost i kinematske značajke rasjeda značajnih za tektonski razvoj istočnog dijela Slavonsko-srijemske depresije. Rekonstrukcija je izrađena metodom poravnanja stratigrafskog horizonta po podlozi panona (slika 6-8c) i podlozi plio-kvartara (slika 6-8b).

Analizom izrađenih strukturnih karata i interpretacijom seizmičkih profila definirane su strukturne jedinice za svaki kartirani stratigrafski horizont (tablica 6-1). Na strukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga (slika 6-1) izdvojeno je jedanaest strukturnih jedinica (tablica 6-1). Na strukturnoj karti po podlozi panonskih naslaga također je određeno 11 strukturnih jedinica (slika 6-2; tablica 6-1). Po podlozi plio-kvartarnih naslaga definirano je ukupno sedam strukturnih jedinica (slika 6-3; tablica 6-1).

Tablica 6-1. Strukturne jedinice izdvojene po pojedinim stratigrafskim horizontima. Pored imena, strukturne jedinice su označene i brojem kojim su označene i na strukturnim kartama (slike 6-1, 6-2 i 6-3).

Strukture po plohi PNg			**Strukture po plohi PPa**			**Strukture po plohi PPlQ**		
Oznaka na karti (slika 6-7)	Naziv strukture	Tip strukture	Oznaka na karti (slika 6-8)	Naziv strukture	Tip strukture	Oznaka na karti (slika 6-9)	Naziv strukture	Tip strukture
1	Vinkovci	Tekt. graba	1	Vinkovci	Tekt. graba	1	Vinkovci	Sinklinala
2	Berak	Tekt. graba	2	Berak	Tekt. graba	2	Berak	Sinklinala
3	Bapska	Tekt. graba	3	Bapska	Tekt. graba			
4	Nijemci	Sinklinala	4	Nijemci	Sinklinala	4	Nijemci	Sinklinala
5	Đeletovci	Horst	5	Đeletovci	Horst	5	Đeletovci	Antiklinala
6	Privlaka	Horst	6	Privlaka	Horst			
7	Vukovar	Homoklina	7	Vukovar	Homoklina	7	Vukovar	Sinklinala
8	Bokšić	Antiklinala	8	Bokšić	Antiklinala	8	Bokšić	Antiklinala
9	Vašica	Homoklina	9	Vašica	Homoklina	9	Vašica	Homoklina
10	Tovarnik	Horst	10	Tovarnik	Horst			
11	Gradina	Strukt. prag	11	Gradina	Strukt. prag			

6.1. Strukturna građa po podlozi neogenskih naslaga

Strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga izrađena u dvostrukom vremenskom mjerilu putovanja seizmičkog vala (TWT) prikazana je na slici 6-1. Vrijednosti izokrona dvostrukog vremena kreću se od 900 do 2400 ms, a na temelju njihovih vrijednosti, geometrije i prostornog rasporeda izdvojeno je 11 strukturnih jedinica. Potrebno je napomenuti da krajnji zapadni i jugozapadni dio strukturne karte neće biti razmatran zbog nedostatka geofizičkih i bušotinskih podataka u tom području (slika 4-1), pa je stoga i rekonstrukcija strukturne građe toga dijela podzemlja upitna.

Najveća strukturna jedinica na strukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga približno je duljine 30 km po pružanju i širine 8 km okomito na pružanje, a nalazi se u sjeverno-zapadnom dijelu područja istraživanja. S obzirom na geometriju izokrona i raspored normalnih rasjeda označenih s R-1, R-2, R-3, R-8 i R-9 (slika 6-1), te prema interpretaciji seizmičkih profila u tom području (slike 6-4, 6-5 i 6-6), ova jedinica je definirana kao tektonska graba pružanja SZ-JI. Budući da se ova strukturna jedinica nalazi u blizini Vinkovaca, u ovom je radu nazvana tektonskom grabom Vinkovci (označena brojem 1 na slici 6-1 i u tablici 6-1). Tektonska graba Vinkovici je na istoku omeđena je normalnim rasjedom R-2 koji je ujedno i zapadni rubni rasjed horsta Privlaka (označen brojem 6 na slici 6-1 i u tablici 6-1) te rasjedom R-3, koji je ujedno i jugozapadni rubni rasjed horsta Đeletovci (označen brojem 5 na slici 6-1 i u tablici 6-1). Tektonska graba Vinkovci je na zapadu i jugozapadu omeđena normalnim rasjedima R-1 i R-8, dok je na jugu omeđena je normalnim rasjedom R-9. Svi rubni normalni rasjedi pružaju se paralelno s pružanjem tektonske grabe Vinkovci (SZ-JI) osim rasjeda R9 čije je pružanje ISI-ZJZ, dijagonalno na dominantno pružanje ove tektonske grabe (slika 6-1). Opisani normalni rasjedi omogućili su inicijalno otvaranje tektonske grabe Vinkovci tijekom donjeg i srednjeg miocena, a u isto vrijeme ona predstavlja i najveći taložni prostor na istraživanom području. Stratigrafski horizont po podlozi neogenskih naslaga u tektonskoj grabi Vinkovci najdublji je u njenom središnjem dijelu gdje doseže do dubine od 2800 ms. U tom dijelu graba je omeđena normalnim protusmjernim rasjedima (R1 i R2) po kojim je ostvaren i najveći vertikalni pomak od 700 i 880 ms. Iz najdubljeg, središnjeg dijela tektonske grabe podloga neogenskih naslaga postupno oplićava prema sjeverozapadu i jugoistoku. Sjeverozapadni završetak ove strukturne jedinice nije pouzdano određen zbog nedostatka geofizičkih i

bušotinskih podataka u tom dijelu istraživanog područja. Na jugoistočnom završetku ove strukturne jedinice stratigrafski horizont po podlozi neogena postupno oplićava do dubine od 1500 ms gdje je omeđena strukturnim uzvišenjem, odnosno strukturnim pragom Gradina (označen brojem 11 na slici 6-1 i u tablici 6-1) čije je pružanje SI-JZ, odnosno poprečno na pružanje tektonske grabe Vinkovci. Prema istoku ova tektonska graba je omeđena horstom Đeletovci i horstom Privlaka (označeni brojevima 5 i 6 na slici 6-1 i u tablici 6-1) na kojim je stratigrafski horizont po podlozi neogena na dubini od 1000, odnosno 1500 ms.

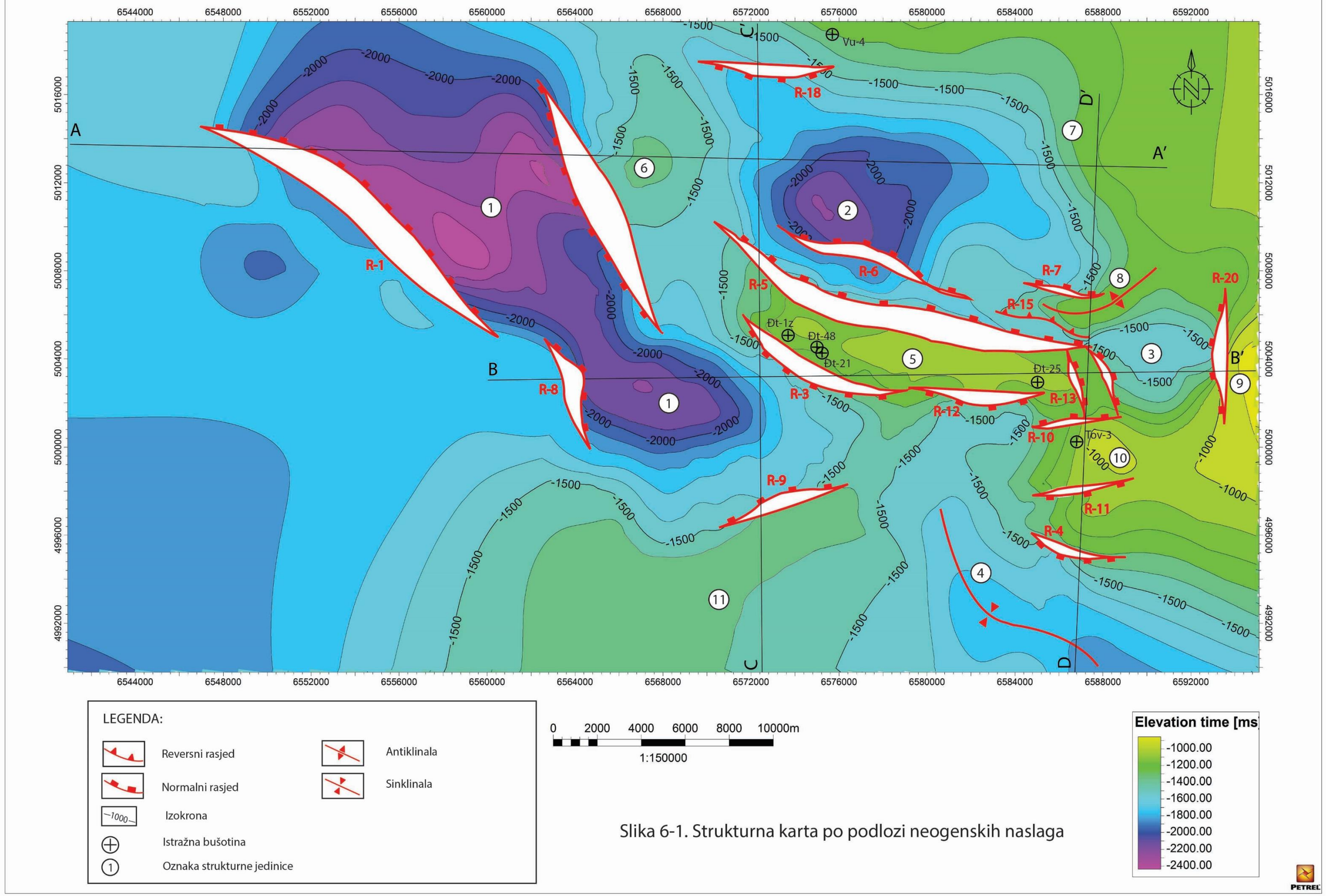
Oko 15 km istočno od središnjeg dijela tektonske grabe Vinkovci definirana je tektonska graba Berak (označena brojem 2 na slici 6-1 i u Tablici 6-1). Na zapadu i jugu omeđena je horstovima Privlaka (6) i Đeletovci (5), na sjeveru rasjedom R-18, dok prema istoku i sjeveroistoku postupno prelazi u homoklinu Vukovar (označena brojem 7 na slici 6-1 i u tablici 6-1). Potrebno je napomenuti da je homoklina Vukovar prema kartama iz rada HERNITZ (1983) zapravo južno krilo antiklinale koja se nalazi izvan područja istraživanja. Glavni, rubni rasjedi tektonske grabe Berak su normalni rasjedi R-5 i R-18 na njenom južnom i sjevernom rubu, pretežitog pružanja I-Z. Uz glavni južni rubni rasjed ove tektonske grabe (rasjed R-5) interpretirani su i normalni rasjedi R-6 i R-7 koji su istosmjerni u odnosu na taj glavni rubni rasjed. Svi opisani rasjedi omogučili su otvaranje tektonske grabe Berak (2) okomito na pružanje rasjeda, odnosno otvaranje u smjeru sjevera i juga. Maksimalna dubina koju doseže stratigrafski horizont po podlozi neogena u ovoj tektonskog grabi je 2400 ms.

Na udaljenosti za narednih 15 km jugoistočno od tektonske grabe Berak definirana je tektonska graba Bapska (označena brojem 3 na slici 6-1 i u tablici 6-1) koja se po geometriji izokrona ocrtava na strukturnoj karti kao strukturno udubljenje pružanja I-Z (slika 6-1). Približna duljina grabe Berak po njenom pružanju je 15 km, a okomito na pružanje 9.6 km. Na sjeveru je omeđena antiklinalom Bokšić (označena brojem 8 na slici 6-1 i u tablici 6-1) i njenim rubnim reversnim rasjedom R-15. Prema istoku i zapadu ova je tektonska graba omeđena rubnim normalnim rasjedima R-14 i R-20: prvi ju prema zapadu odvaja od horsta Đeletovci (5), a drugi ju prema istoku odvaja od strukturog uzvišenja koje se dalje u istom smjeru nastavlja prema antiklinalnoj strukturi Fruške Gore u Srbiji (MATENCO & RADIVOJEVIĆ, 2012). Na južnom dijelu tektonska graba Bapska (3)

omeđena je horstom Tovarnik (10) koji se na strukturnoj karti ocrtava kao strukturno uzvišenje na kojem je startigrafski horizont po plohi podloge neogena na dubini od 1000 ms. U odnosu na prethodno opisane tektonske grabe, tektonska graba Bapska ima manju površinu, a podloga neogena doseže i manju dubinu do maksimalno 1500 ms) (slika 6-1). Graba Bapska po svome pružanju dugačka je 5.8 km, a okomito na pružanje 5.3 km.

Četvrta strukturna jedinica Nijemci (označena brojem 4 na slici 6-1 i u tablici 6-1) nalazi se u jugoistočnom dijelu istraživanog područja, a na strukturnoj karti podloge neogenskih naslaga ocrtava se kao sinklinala pružanja SZ-JI, čije se sjeverno krilo jasno odražava i na krajnjem južnom dijelu profila D-D' prikazanog na slici 6-7. Ova je sinklinala na zapadu omeđena strukturnim uzvišenjem Gradina (11). Na sjeveru i sjeveroistoku sinklinala Nijemci omeđena je horstovima Đeletovci (5) i Tovarnik (10) i njihovim južnim rubnim normalnim rasjedima R-12 i R-4 U ovoj sinklinali stratigrafski horizont po podlozi neogenskih naslaga doseže do dubine od 1800 ms (slika 6-1).

U središnjem i istočnom dijelu istraživanog područja nalazi se horst Đeletovci (5) koji se na strukturnoj karti podloge neogenskih naslaga ocrtava kao strukturno uzvišenje s pružanjem IJI-ZSZ (slika 6-1). Prema sjeverozapadu taj se horst nastavlja u horst Privlaka, te zajedno odvajaju tektonske grabe Berak i Vinkovci. U vršnom dijelu horsta Đeletovci stratigrafski horizont po podlozi neogenskih naslaga doseže do dubine od 1100 ms. Horst je omeđen na sjeveru s normalnim rasjedom R-5 i tektonskom grabom Berak (2), na istoku s normalnim rasjedima R-13 i R-14 te tektonskom grabom Bapska (3). Na jugu ova strukturna jedinica omeđena je sa sinklinalom Nijemci (4) i tektonskom grabom Otok (7).



Slika 6-1. Strukturna karta po podlozi neogenskih naslaga

6.4. Strukturna građa po podlozi panonskih naslaga

Na slici 6-2 prikazana je strukturna karta po podlozi panonskih naslaga. Oblik i prostorni raspored pojedinih strukturnih jedinica na ovoj karti su slični s onim prikazanim na prethodno opisanoj karti po podlozi neogenskih naslaga (slika 6-1). Raspon vrijednosti dubina u dvostrukom vremenu putovanja seizmičkog vala na strukturnoj karti podloge panonskih naslaga je između 900 i 1800 ms. Kao i na prethodnoj karti krajnji zapadni i jugozapadni dio neće biti razmatran zbog male gustoće podataka i nesigurnosti interpretacije.

Tektonska graba Vinkovci se pruža po pravcu SZ-JI kao i na prethodno opisanoj strukturnoj karti. Omeđena je istim strukturnim jedinicama i rasjedima kao i na karti po podlozi neogenskih naslaga. Na sjeverozapadu i na jugoistoku može se primjetiti da horizont koji predstavlja podlogu naslaga panona postupno oplićava. U najdubljem, središnjem dijelu tektonske grabe Vinkovci stratigrafski horizont po podlozi panonskih naslaga nalazi se na dubini od 1800 ms (slika 6-2).

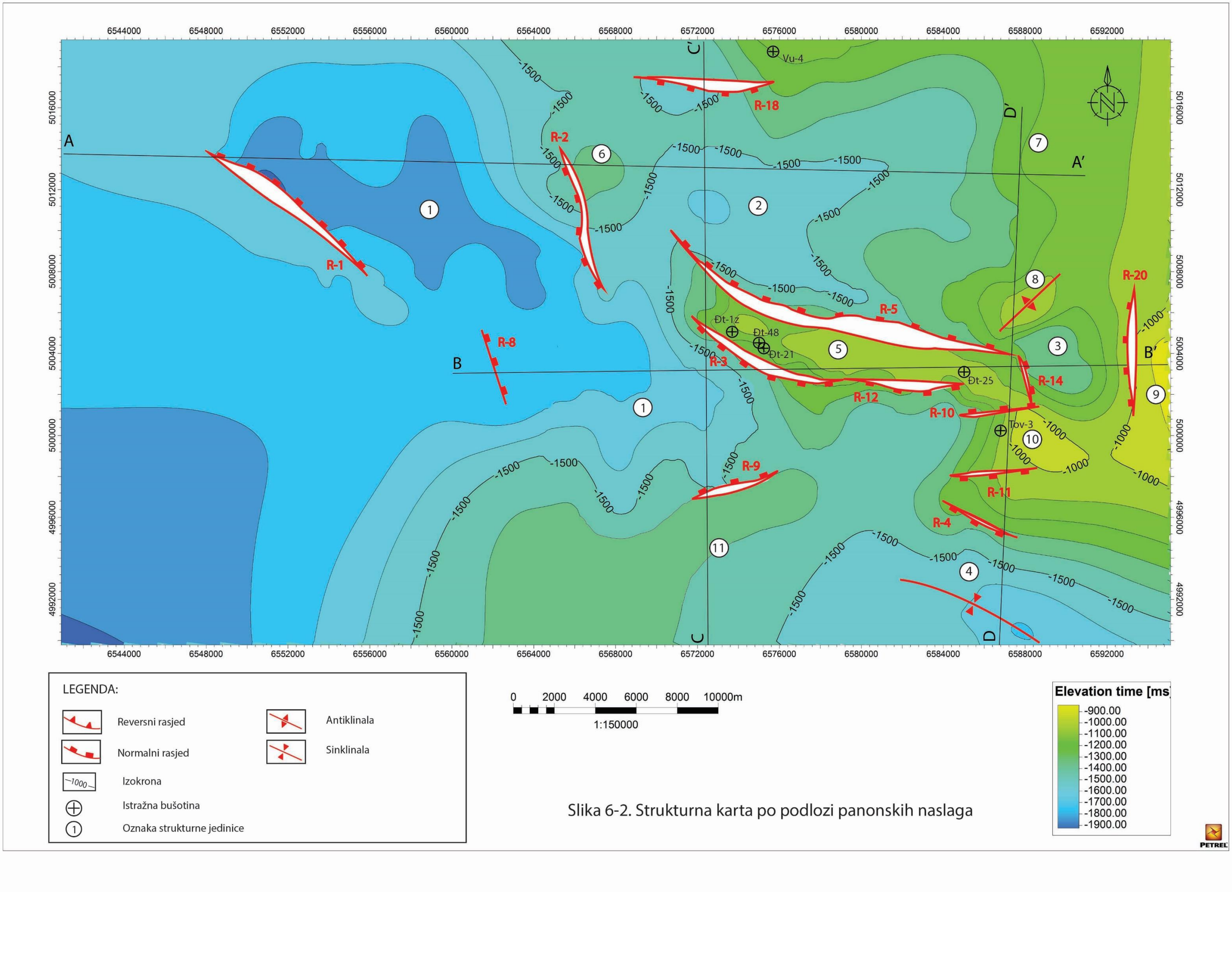
Istočno od tektonske grabe Vinkovci nalazi se tektonska graba Berak (2) (slika 6-2) koja se kao i na strukturnoj karti po podlozi neogena ocrtava kao strukturno udubljenje blago izduženo po pružanju IJI-ZSZ. I ova tektonska graba je omeđena istim jedinicama kao i na strukturnoj karti po podlozi neogena. U ovom dijelu istraživanog područja dolazi do isklinjavanja donjomiocenskih naslaga koje ispunjavaju tektonske grabe Berak i Vinkovci, a nedostaju na horstovima Privlaka (6) i Đeletovci (5). Razlog tome je što su te strukturne jedinice za vrijeme donjeg miocena postojale vjerojatno kao otoci ili su naslage naknadno erodirane (HERNITZ, 1983).

Treća strukturna jedinica Bapska (3) nalazi se u istočnom dijelu istraživanog područja, a na strukturnoj karti po podlozi panonskih naslaga se ocrtava kao strukturno udubljenje s pružanjem SZ-JI (slika 6-2), što se donekle razlikuje od pružanja I-Z koje ova tekonska graba prikazuje na strukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga (slika 6-1). Strukturna jedinica Bapska također je omeđena istim jedinicama kao i na srukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga, a to su strukturna jedinica Bokšić (8) (u sklopu koje više nije vidljiv reversni rasjed R-15), homoklina Vašica (9) te horstovi Đeletovci (5) i Tovarnik (10). Na

području ove jedinice donjomiocenske naslage isklinjavaju prema jugu, istoku i zapadu, na područjima gdje su smještene uzdignute strukture Đeletovci (5), Vašica (9) i Tovarnik (10) (slike 6-2 i 6-5). Stratigrafski horizont u najdubljem dijelu ove strukturne jedinice doseže dubinu od 1300 ms.

U jugoistočnom dijelu istraživanog područja nalazi se sinklinala Nijemci (4) pružanja SZ-JI (slika 6-2), koje se ne razlikuje u odnosu na SZ-JI pružanje te sinklinale na strukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga (slika 6-1). Ova strukturna jedinica ograničena je istim strukturama kao i na karti po polozi neogenskih naslaga. Naslage donjeg miocena koje pripadaju strukturnoj jedinici Nijemci (4) isklinjavaju prema sjeveru gdje se nalaze uzdignute strukture Đeletovci (5) i Tovarnik (11) (slika 6-2 i 6-7).

Peta strukturna jedinica Đeletovci (5) nalazi se u središtu istraživanog područja, omeđena istim strukturnim jedinicama kao i na strukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga. Naslage donjeg miocena na njoj nisu taložene s obzirom da je za vrijeme donjeg miocena postojala kao uzdignuta struktura ili su naslage naknadno erodirane (HERNITZ, 1983).



Slika 6-2. Strukturna karta po podlozi panonskih naslaga

6.5. Strukturna građa po podlozi plio-kvartarnih naslaga

Na slici 6-3 prikazana je strukturna karta po podlozi pliokvartarnih naslaga istraživanog područja na kojoj je ovaj stratigrafski horizont u rasponom vrijednosti dvostrukog vremena putovanja seizmičkog vala između 200 do 900 ms. Na karti je interpretirano sedam strukturnih jedinica te one odgovaraju strukturnim jedinicama na kartama PNg i PPa (slike 6-1 i 6-2). Kao i na kartama PNg i PPa krajnji zapadni i jugozapadni dio neće biti razmatrani zbog male gustoće podataka i nesigurne interpretacije i rekonstrukcije u tom dijelu.

U sjeverozapadnom dijelu područja istraživanja gdje se na dubljim stratigrafskim horizontima po podlozi panonskih i neogenskih naslaga jasno ocrtavala geometrija tektonske grabe Vinkovci (slike 6-1 i 6-2) bočno omeđena normalnim rasjedima, na strukturnoj karti po podlozi pliokvartarnih naslaga ocrtavaju se dva strukturna minimuma u čijem središtu stratigrafski horizont po podlozi pliokvartarnih naslaga doseže do dubine od 1000 ms (slika 6-3). Ovi se strukturni minimumi prostorno podudaraju s onim koji se ocrtavaju na strukturnim kartama dubljih stratigrafskih horizonata također unutar iste tektonske grabe. Međutim, za razliku od strukturih karata po dubljim stratigrafskim horizonima na kojima je tektonska graba Vinkovci prostorno jasno omeđena rubnim normalnim rasjedima (slike 6-1 i 6-2), na strukturnoj karti po podlozi pliokvartanih naslaga ovi rasjedi nedostaju. Na taj način može se pretpostaviti da su strukturni minimumi koji se ocrtavaju po podlozi pliokvartarnih naslaga posljedica mladog, kvartarnog boranja ovih naslaga, pa je stoga tektonska graba Vinkovci koja je bila aktivna tijekom miocena, u vrijeme plio-kvartara deformirana u obliku vrlo blagog sinklinorija s dva lokalna strukturna minimuma koji se odražavaju po plohi podine pliokvartarnih naslaga. Taj sinklinorij prema istoku prelazi u antiklinalu Đeletovci (5) koja se jasno ocrtava u geometriji i rasporedu izokrona na istoj strukturnoj karti.

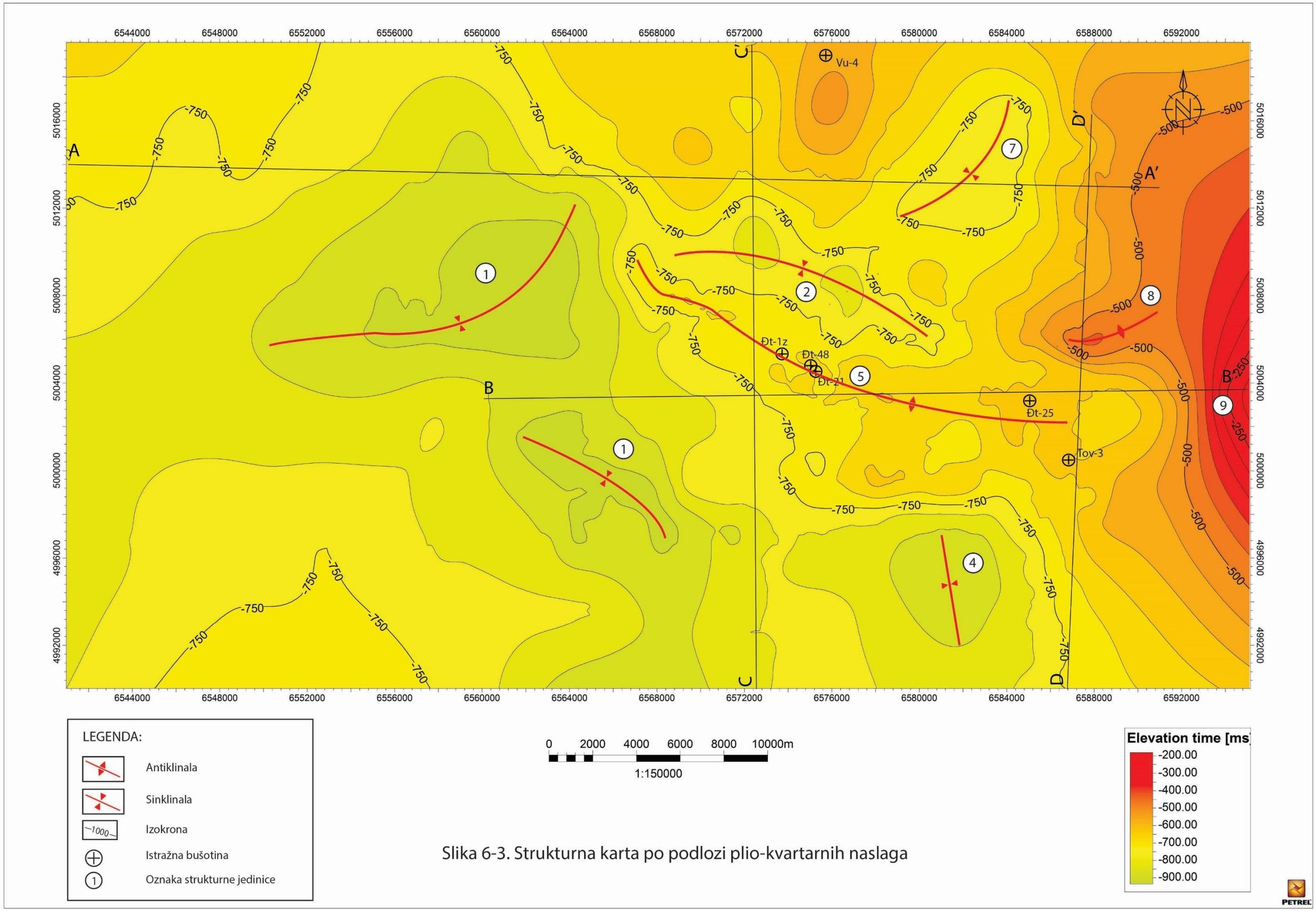
Slično vrijedi i za strukturnu jedinicu Berak (2) koja se na ovoj strukturnoj karti ocrtava kao sinklinala (slika 6-3), a svojim svojim se prostornim položajem poklapa s tektonskom grabom definiranom na strukrurnim kartama po podlozi panonskih i neogenskih naslaga (slike 6-2 i 6-1). Pružanje sinklinale Berak (2) je podudrano s generalnim pružanjem ranije

aktivne tektonske grabe po pravcu IJI-ZSZ, a također je i paralelna s pružanjem antiklinale Đeletovci (5) koja se prostorno nalazi iznad horsta aktivnog tijekom miocena.

Sjeveroistočno od prethodno opisane strukturne jedinice na strukturnoj karti po podlozi pliokvartarnih naslaga ocrtava se i strukturna jedinica Vukovar (7) koja s obzirom na geometriju izkrona odgovara sinklinali pružanja SI-JZ, a koja se ne ocrtava na strukturnim kartama dubljih stratigrafskih horizonata.

Oko 15 km istočno od strukturne jedinice Berak (2) nalazi se antiklinala Bokšić (8) koja se svojim smještajem, duljinom i pružanjem poklapa s antiklinalnom strukturom definiranom na strukturnim kartama po podlozi panonskih i neogenskih naslaga (slike 6-2 i 6-1). Prema istoku ova se antiklinala nastavlja u prostraniju homoklinu Vašica (9) gdje stratigrafski horizont po podlozi pliokvartarnih naslaga strmo izlazo prema površini i doseđe do dubine od 250 ms (slika 6-3).

U središnjem dijelu strukturne karte po podlozi pliokvartarnih naslaga jasno se ocrtava antiklinala Đeletovci (5) pružanja SZ-JI u duljini od oko 20 km (slika 6-3). Ta antiklinala prostorno odgovara horstu Đeletovci (5) na strukturnim kartama po podlozi panonskih i neogenskih naslaga (slike 6-2 i 6-1). Antiklinala Đeletovci (5) prema jugu postupno prelazi u sinklinalu Nijemci (4), koja za razliku od pružanja SZ-JI na strukturnim kartama dvaju dubljih stratigrafskih horizonata (slike 6-1 i 6-2), na karti podloge pliokvartarnih naslaga ima pružanje SSZ-JJI. I ova sinklinala prema istoku postupno prelazi u prostranu homoklinu Vašica (9), u kojoj stratigrafski horizont po podlozi pliokvartarnih naslaga oplićava do dubine od 250 ms.



Slika 6-3. Strukturna karta po podlozi plio-kvartarnih naslaga

6.4. Aktivni rasjedi i strukture u ekstenzijskoj fazi tektonskog razvoja područja istraživanja

Rasjedi aktivni u ekstenzijskoj fazi otvaranja istočnog dijela Slavonsko-srijemske depresije su normalni rasjedi pružanja SZ-JI, I-Z i S-J (slika 6-1). Ovim su rasjedima na području istraživanja stvoreni horstovi i tektonske grabe koje su istovremeno predstavljale glavne taložne centre tijekom donjeg i srednjeg, a dijelom i tijekom gornjeg miocena (slike 6-4, 6-5 i 6-6; rasjedi R-1, R-6, R-3, R-8, R-16*, R-17*, R-13, R-14, R-19* i R-20) (oznaka * označava da rasjed nije definiran u strukturnom modelu već samo interpretiran na profilu). Pomak po navedim rasjedima jasno je vidljiv i upućuje na aktivnost rasjeda za vrijeme ekstenzijske, sinriftne faze, ali i faze produbljavanja uslijed hlađenja litosfere u ovom dijelu PBS-a.

Tektonska aktivnost u sjevernom dijelu područja istraživanja se očituje na normalnim rasjedima R-1 i R-2 koji se pružaju u pravcu SZ-JI, a prikazani su na profilu A-A' (slika 6-4). Ovi rasjedi, koji predstavljaju rubne normalne rasjede tektonske grabe Vinkovci, omogučili su njeno otvaranje i produbljivanje tijekom donjeg i srednjeg miocena, a vjerojatno dijelom i početkom gornjeg miocena (slike 6-1, 6-2 i 6-4; tablica 5-1). Na profilu A-A' (slika 6-4) vidljivo je da su rasjedi R-1 i R-2 bili aktivni za vrijeme ekstenzijske faze, ali također i u ranoj fazi termalne subsidencije, na što ukazuju povijeni seizmički refleksi gornjomiocenskih naslaga u blizini rasjeda. U središnjem dijelu ovog profila nalazi se struktura Privlaka koja ima oblik horsta omeđenog samo sa zapadne strane normlanim rasjedom R-2, a koji odvaja ovu grabu od grabe Berak dalje prema istoku. Na ovom profilu ta je tektonska graba interpertirana kao strukturno udubljenje bez rubnih normalnih rasjeda. Otvaranje ove tektonkse grabe interpretirano je glavnim rubnim normalnim rasjedima R-5, R-6 i R-18 pružanja IJI-ZSZ koji su prikazani na strukturnim kartama po podlozi neogenskih i panonskih naslaga (slike 6-1 i 6-2) te dijelom i na profilu C-C' (slika 6-6), čija je aktivnost interpretirana tijekom donjeg i srednjeg, a dijelom i za vrijeme gornjeg miocena, odnosno za vrijeme glavne ekstenzijske faze, a dijelom i u početnoj fazi termalne subsidencije što je vidljivo na profilu C-C' (slika 6-6).

U središnjem dijelu područja istraživanja smješten je horst Đeletovci kojeg poprečno presjeca profil C-C' i uzdužno profil B-B' (slika 6-1). Poprečni profil C-C' presjeca ovaj

horst u njegovom zapadnom dijelu, gdje je omeđen normalnim, protusmjernim rasjedima R-3 i R-5 pružanja IJI-ZSZ. Konstrukcijom strukturnog modela i strukturnih karata po podlozi neogenskih i panonskih naslaga ovi su rasjedi definirani kao rubni, normalni rasjedi horsta Đeletovci, aktivni tijekom donjeg i srednjeg, a dijelom i za vrijeme gornjeg miocena, odnosno za vrijeme glavne ekstenzijske faze, a dijelom i u početnoj fazi termalne subsidencije u ovom dijelu PBS-a. Na uzdužnom profilu B-B' preko horsta Đeletovci (slika 6-5), interpretiran je set normalnih rasjeda prividno nagnutih prema zapadu (R-3, R-16* i R-17*) koji zajedno čine rubne, normalne rasjede ovog horsta, ali na njegovoj južnoj strani (slike 6-1 i 6-2). Ovi rasjedi su također bili aktivni za vrijeme ekstenzijske faze i početkom faze termalne subsidencije u ovom dijelu PBS-a. Na zapadnom završetku profila B-B' jasno se iskazuje geometrija tektonske grabe Vinkovci, koja je na ovom profilu omeđena sa zapadne strane listričkim, normalnim rasjedom R-8, u čijem je krovinskom krilu otvorena ova graba, ali s izrazitom geometrijom tektonske polu-grabe. Na nasuprotnom, istočnom dijelu profila B-B' ocrtava se geometrija tektonske grabe Bapska koja je omeđena normalnim protusmjernim rasjedima R-20, R-19*, R-14 i R-13 pružanja S-J (slike 6-1 i 6-2). Aktivnost ovih normalnih rasjeda, osim rasjeda R-19*, interpretirana je tijekom donjeg i srednjeg, a dijelom i početkom gornjeg miocena, odnosno za vrijeme glavne ekstenzijske faze i početkom faze termalne subsidencije u ovom dijelu PBS-a.

Na profilu D-D' (slika 6-7) vidljiva je izrazito nepravilna geometrija seizmičke površine koja odgovara stratigrafskom horizontu po podlozi neogenskih naslaga, a koja je interpretirana kao posljedica pomaka po normalnim rasjedima R-4, R-11, R-10, R-5, R-15 i R-7, također aktivnim tijekom donjeg i srednjeg, a dijelom i početkom gornjeg miocena, odnosnoza vrijeme glavne ekstenzijske gaze i početkom faze termalne subsidencije u istraživanom području. Na južnom završetku profila D-D' jasno se ocrtava i sjeverno krilo sinklinale Nijemci koje je u ovom dijelu omeđeno normalnim rasjedom R-4. U sjevernom dijelu ovog profila jasno se ocrtava tektonska graba Berak i njen južni, rubni normalni rasjed R-5 po kojem je došlo do naknadne tektonske inverzije istočnog dijela ove grabe tijekom pliokvartara i formiranja antiklinale Bokšić (vidi u narednom poglavlju).

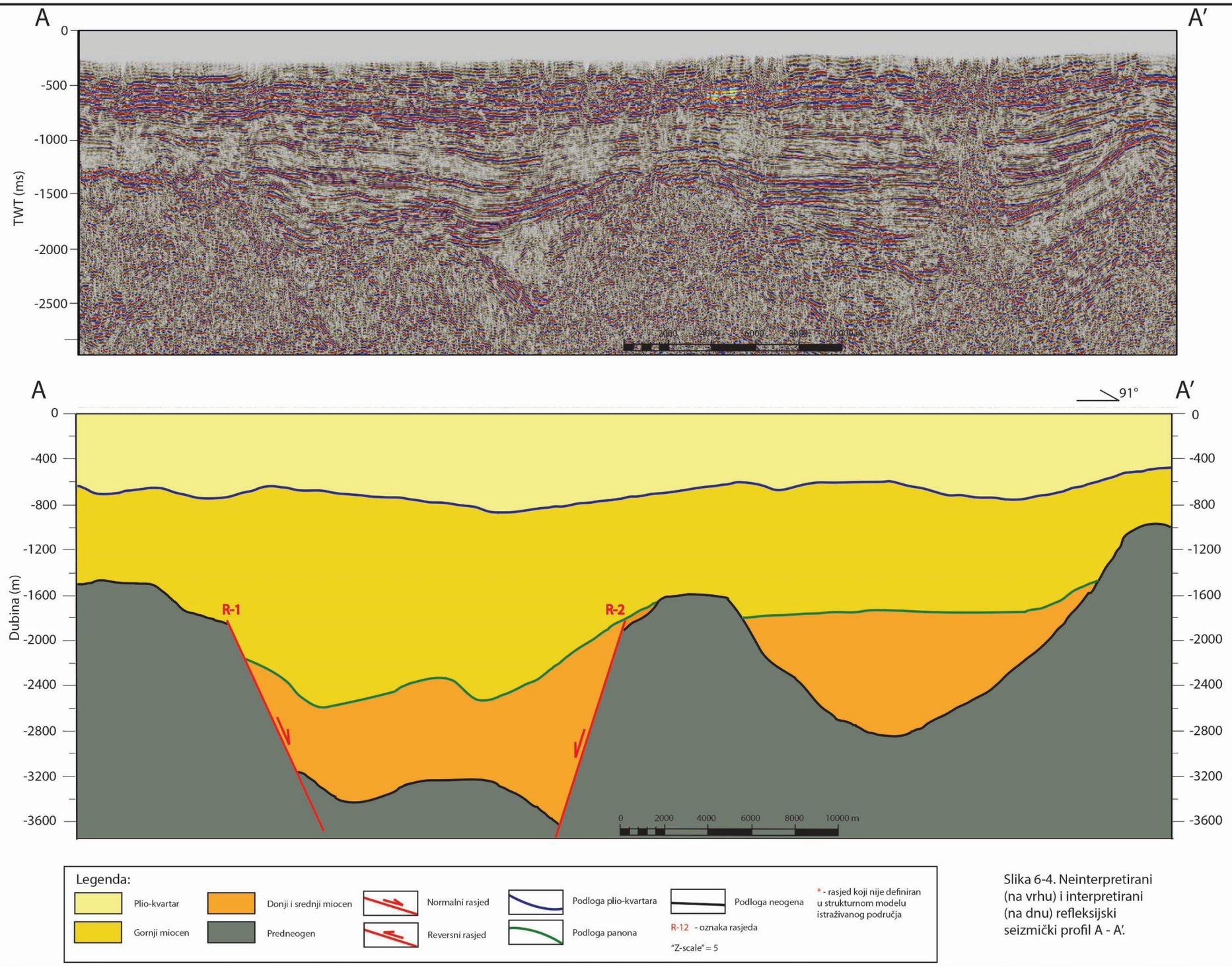
6.5. Aktivni rasjedi u fazi strukturne reaktivacije i tektonske inverzije područja istraživanja

Strukturna reaktivacija i tektonska inverzija koje su zabilježene u različitim dijelovima PBS-a krajem ponta i u pliokvartaru (npr. TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001; FODOR et al., 2005; MATENCO & RADIVOJEVIĆ, 2012; MATOŠ, 2014) uočene su u istočnom dijelu područja istraživanja gdje se izravno očituju u formiranju antiklinale Bokšić kojom su borane pliokvartarne naslage i njihova neogenska i predneogenska podloga (slike 6-7 i 6-8). Radi preciznijeg definiranja strukturnih odnosa tijekom formiranja antiklinale Bokšić, načinjena je palinspastička rekonstrukcija profila D-D' prikazana na slici 6-8 tijekom triju vremenskih odsječaka: krajem donjo i srednjomiocenske ekstenzije, krajem srednjomiocenske faze termalne subsidencije i tijekom pliokvartarne inverzije. Ta je rekonstrukcija načinjena postupnim izravnavanjem stratigrafskih horizonta idući od mlađih prema starijim, najprije po selektivno odabranom horizontu unutar pliokvartarnih naslaga (slika 6-8a), potom po podlozi plio-kvartarnih naslaga (slika 6-8b),te zatim i po podlozi panonskih naslaga (slika 6-5c). Iz ove rekonstrukcije je vidljivo da je antiklinala Bokšić formirana u krovinskom krilu normalnog lističkog rasjeda R-5, koji je, kao i susjedni, istosmjerni rasjed R-7, najprije omogućio otvaranje tektonske grabe Berak (moguće i Bapska) tijekom donjeg i srednjeg miocena (slika 6-8c). Spuštanje krovinskog krila rasjeda R-5 dijelom je nastavljeno i početkom srednjeg miocena, što se očituje većom debljinom srednjomiocenskih naslaga u krovinskom, u odnosu na debljinu istovremenih naslaga podinskog krila ovog rasjeda. Inverzija iz prethodno normalnog u reversni pomak po rasjedu R-5 uslijedila je početkom pliokvartara, kada je u krovinskom krilu ovog rasjeda formiran i reversni, istosmjerni rasjed R-15, u čijem je krovinskom krilu formirana antiklinala Bokšić.

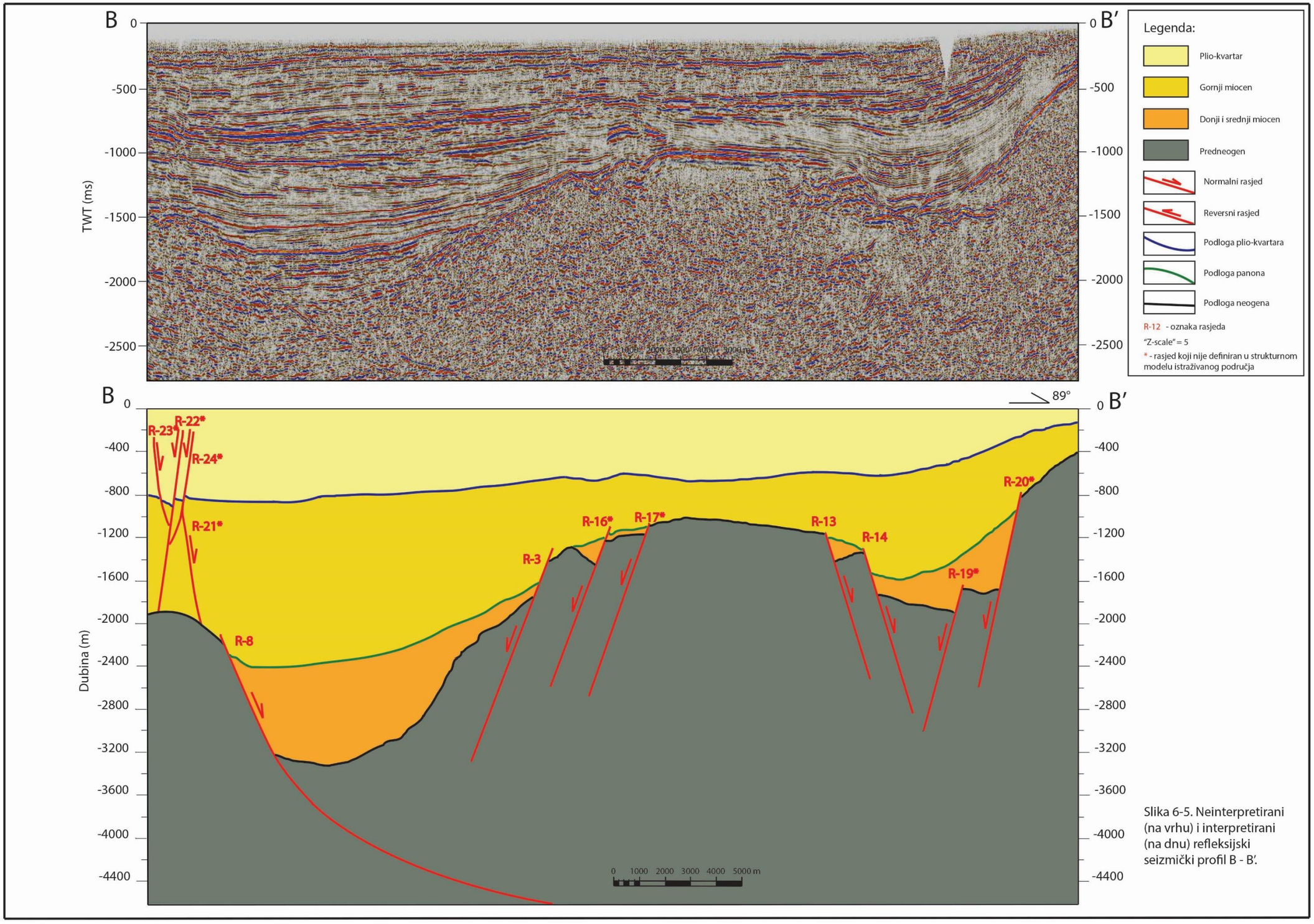
Tektonska inverzija se tijekom pliokvartara zapaža se i na profilu B-B' prikazanom na slici 6-5. Na istočnom završetku ovog profila jasno se zapaža serija seizmičkih refleksa iznad i ispod podloge pliokvartarnih naslaga koji su izrazito borani i nagnuti prema zapadu, u istom smjeru prema kojem je i nagib vrlo izraženih refleksa koji odgovaraju podlozi neogenskih naslaga. Ovakva geometrija refleksa ukazuje na izdizanje predneogenske podloge i istovremeno boranje miocenskih i pliokvarternih naslaga u njihovoj krovini, što također dokazuje tektonsku inverziju u ovom dijelu PBS-a tijekom pliokvartara. Istovjetne

i istovremene kompersijske i transpresijske strukture interpretirali su i opisali MATENCO & RADIVOJEVIĆ (2012) u susjednom području zapadne Vojvodine na refleksijskim seizmičkim profilima uz zapadni rub Fruške Gore.

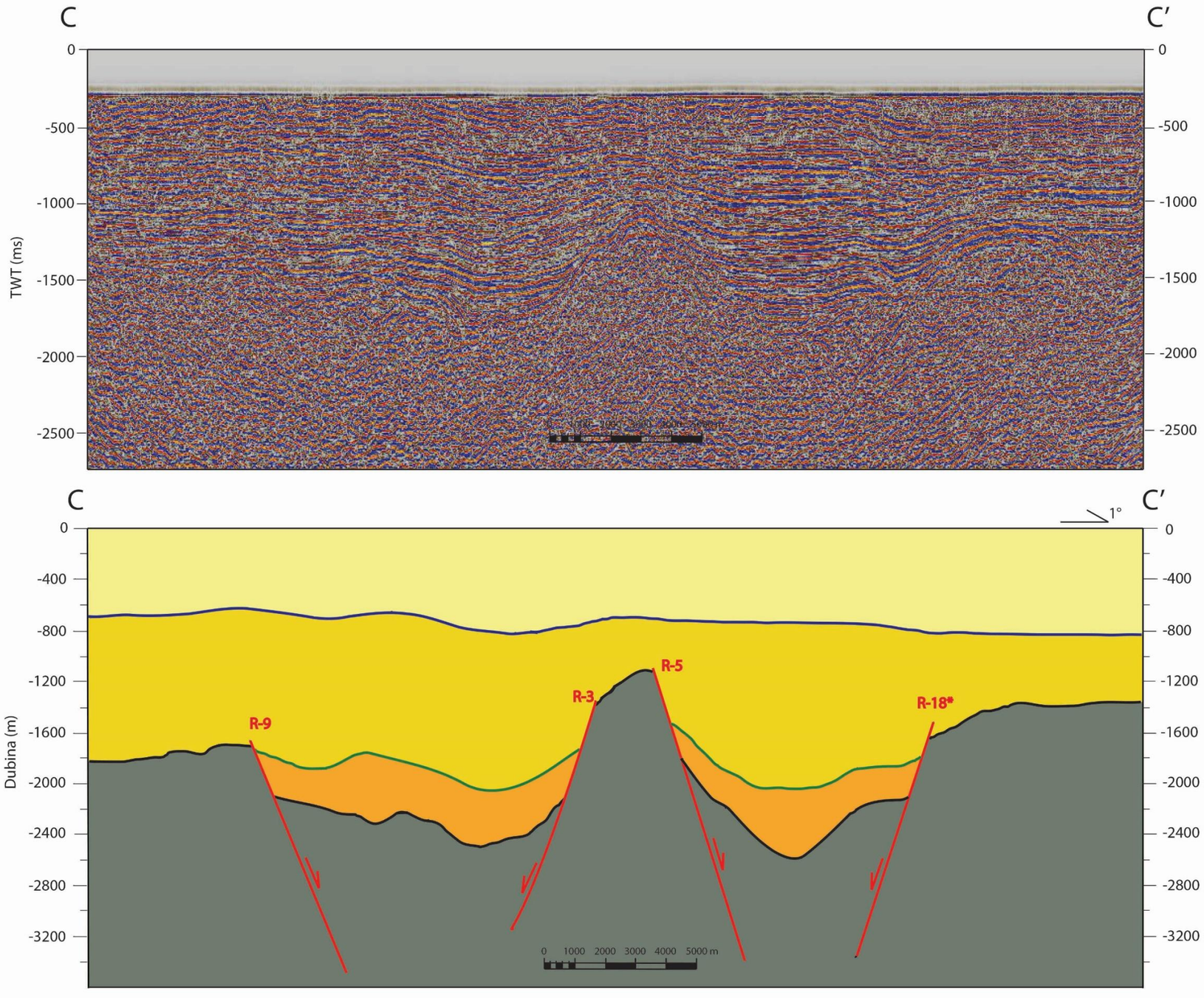
Na zapadnom završetku profila B-B' (slika 6-5) interpretirani su rasjedi R-21, R-22, R-23 i R-24 koji presjecaju stratigrafski horizont podloge plio-kvartarnih naslaga, pa i niz refleksa u njegovoj krovini. Na ovim rasjedima, koji su izrazito strmog nagiba te prostorno koncentrirani uz jugozapadni rub tektonske grabe Vinkovci zabilježen je normalan karakter pomaka pa je vjerojatno da su nastali kao posljedica razlike u diferencijalnoj kompakciji između miocenskih naslaga koje su istaložene u znatno većoj debljini unutar tektonske grabe Vinkovci, u odnosu na znatno manju debljinu istovremenih naslaga istaloženih na njenom jugozapadnom rubu, odnosno iznad podinskog krila rasjeda R-8, koji u tom dijelu ove tektonske grabe čini njen rubni, normalni rasjed (slike 6-1 i 6-5).



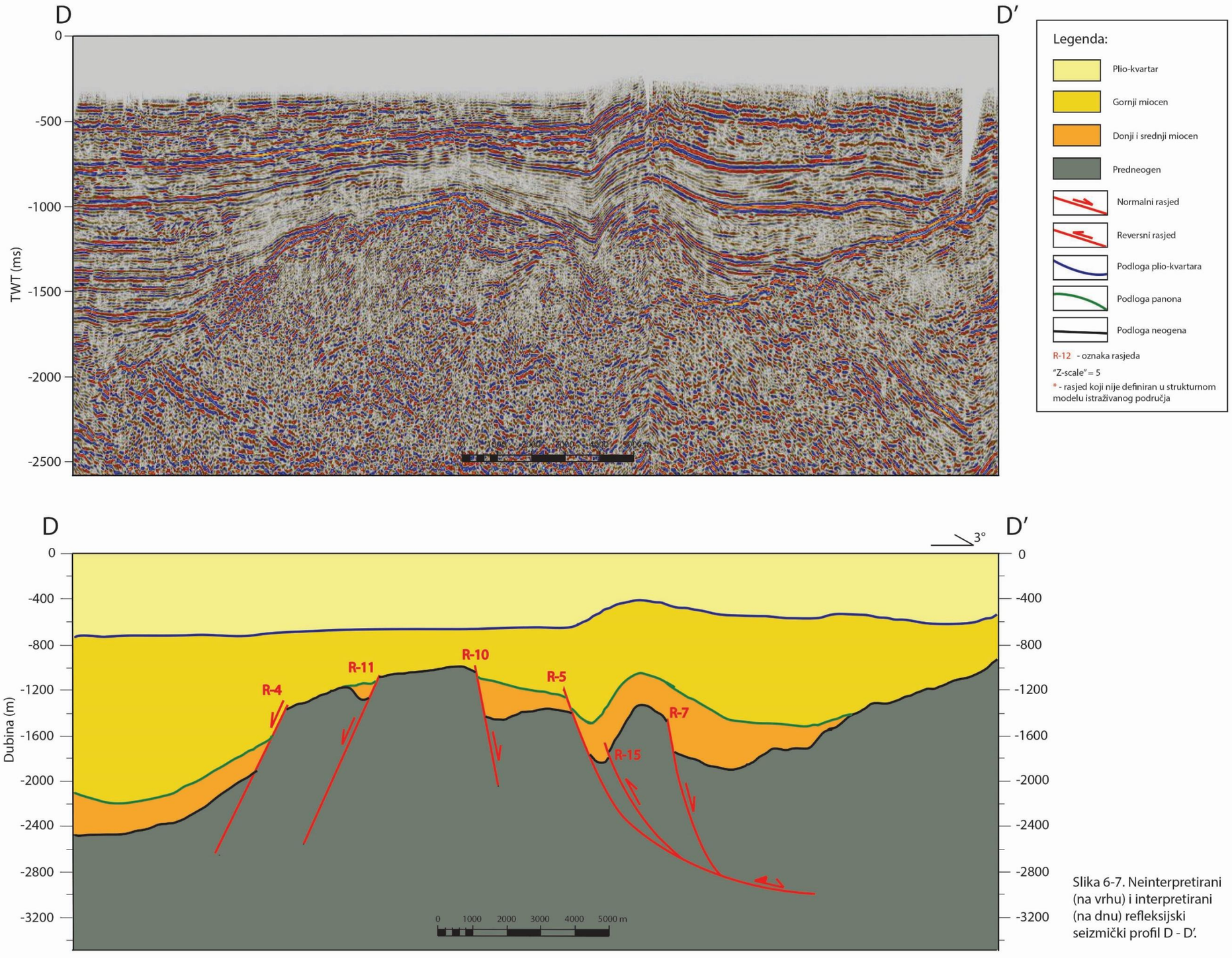
Slika 6-4. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) refleksijski seizmički profil A - A'.



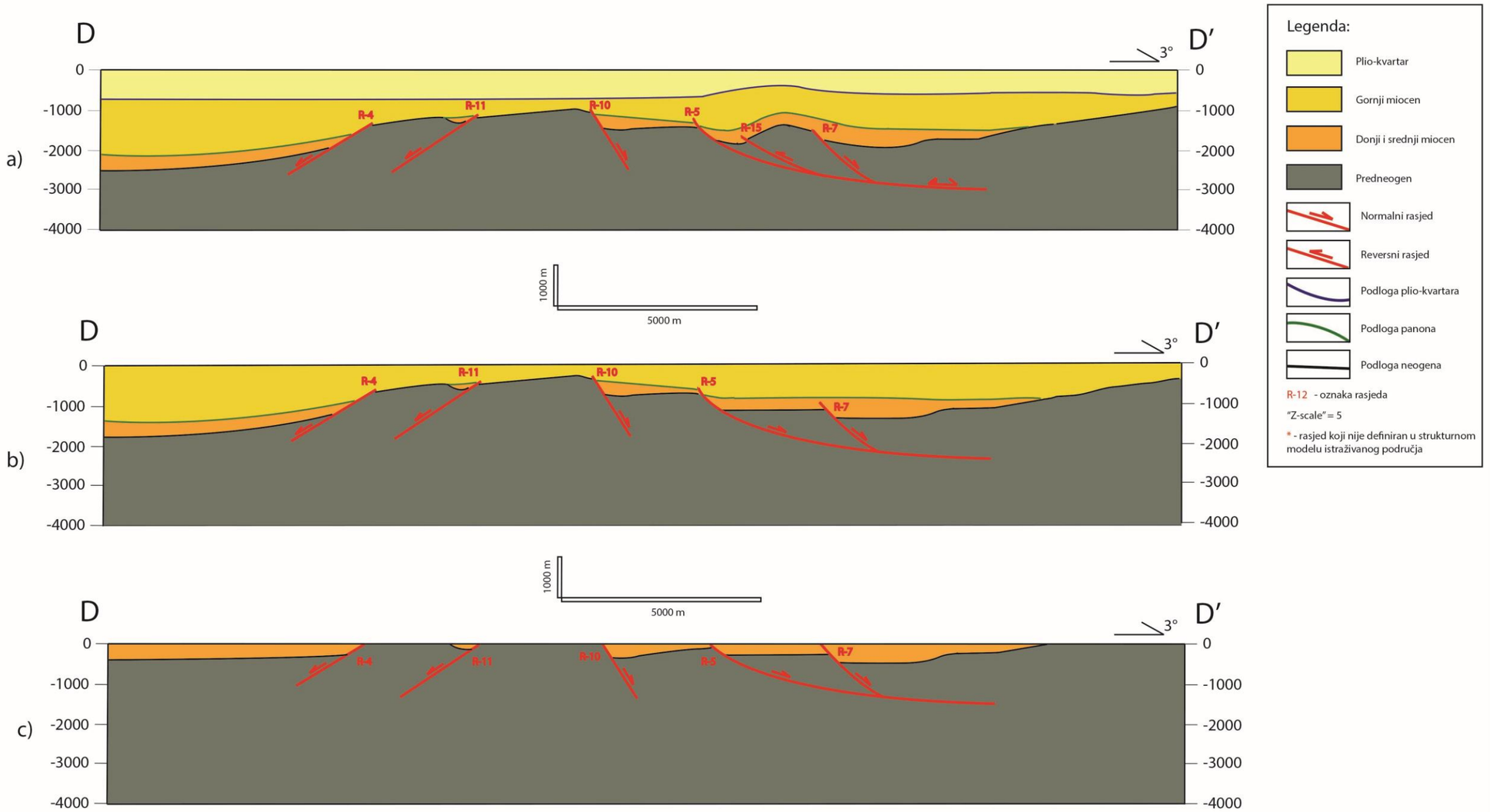
Slika 6-5. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) refleksijski seizmički profil B - B'.



Slika 6-6. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) refleksijski seizmički profil C - C′.



Slika 6-7. Neinterpretirani (na vrhu) i interpretirani (na dnu) refleksijski seizmički profil D - D'.



Slika 6-8. Paleotektonski profil po trasi seizmičkog profila D-D′ : a) recentni strukturni odnosi; b) strukturni odnosi krajem gornjeg miocena; c) strukturni odnosi krajem srednjeg miocena.

7. Zaključak

Na temelju seizmičkih i bušotinskih podataka izrađene su tri strukturne karte u vremenskom mjerilu po podlozi neogenskih, po podlozi panonskih i po podlozi plio-kvartarnih naslaga. 3D strukturnim modeliranjem određeni su glavni rasjedi i prateće strukture, njihov prostorni smještaj i kinematske značajke tijekom miocena i pliokvartara.

Ukupno su interpretirana 24 rasjeda od kojih su 22 normalna rasjeda, 7 s pružanjem po pravcu SZ-JI (R-1, R-2, R-3, R-4, R-6, R-7 i R-8; slika 5-1), 4 s pružanjem I-Z (R-9, R-10, R-11 i R-12; slika 5-1), 2 s pružanjem S-J (R-13 i R-14; slika 5-1) i 9 normalnih rasjeda za koje nije bilo moguće odrediti pružanje budući da su interpretirani na samo jednom seizmičkom profilu (R-16, R-17, R-18, R-19, R-20, R-21, R-22, R-23 i R-24; slika 5-1). Interpretirani su i jedan reversno reaktivirani rasjed R-5 s pružanjem SZ-JI i jedan reversni rasjed R-15 s istim pružanjem (tablica 5-1). Od 24 interpretirana rasjeda modelirano je 15 rasjednih ploha (R-1, R-2, R-3, R-4, R-6, R-7, R-8, R-9, R-10, R-11, R-12, R-13, R-14 i R-15). Veličine relativnih vertikalnih pomaka po rasjedima su u rasponu od 15 do 880 ms, s time da su najveće vrijednosti pomaka izmjerene na normalnim rasjedima označenim s R-1, R-2 i R-20 (tablica 5-1).

Na kartama po podlozi neogenskih i panonskih izdvojeno je 11 strukturnih jedinica, te 7 na karti po podlozi plio-kvartarnih naslaga. Te strukturne jedinice se prostorno poklapaju i zbog toga imaju jednake nazive na kartama. Četiri pripadaju strukturnim udubljenjima, a sedam strukturnim uzvišenjima.

Najveća strukturna jedinica na strukturnoj karti po podlozi neogenskih naslaga nalazi se u sjeverno-zapadnom dijelu područja istraživanja. S obzirom na geometriju izokrona i raspored normalnih rasjeda, te prema interpretaciji seizmičkih profila u tom području (slike 6-1, 6-4, 6-5 i 6-6), ova jedinica je definirana kao tektonska graba pružanja SZ-JI. Na kartama po podlozi neogena i panona struktura je prikazana kao strukturno udubljenje s pružanjem SZ-JI koje je omeđeno normalnim rasjedima R-1, R-2, R-3, R-8 i R-9 (slike 6-1 i 6-2). Na strukturnoj karti po podlozi pliokvartarnih naslaga ocrtavaju se dva strukturna minimuma (slika 6-3). Ovi se strukturni minimumi prostorno podudaraju s onim koji se ocrtavaju na strukturnim kartama dubljih stratigrafskih horizonata također unutar iste

tektonske grabe. Dno sinklinale na karti podloge neogena nalazi se na oko 2400 ms (slika 6-1), na karti podloge panona na oko 1800 ms (slika 6-2) i na karti podloge plio-kvartara na oko 1000 ms (slika 6-3).

Na sjeveru istraživanog područja nalazi se strukturno udubljenje Berak koje je na temelju geometrije izokrona i rasporeda normalnih rasjeda definirano kao tektonska graba (slika 6-1). Na kartama po podlozi neogena, panona i plio-kvartara struktura je prikazana kao strukturno udubljnje s pružanjem IJI-ZSZ (slika 6-1, 6-2 i 6-3). Dno sinklinale na karti podloge neogena nalazi se na oko 2200 ms (slika 6-1), na karti podloge panona na oko 1600 ms (slika 6-2) i na karti podloge plio-kvartara na oko 850 ms (slika 6-3).

Na krajnjem istoku područja istraživanja nalazi strukturno udubljenje odnosno tektonska graba Bapska (slika 6-1). Na strukturnoj karti po podlozi neogena prikazana je kao strukturno udubljenje s pružanjem približno SZ-JI, što se razlikuje od karte po podlozi panona gdje je pružanja I-Z (slike 6-1 i 6-2). Na karti po podlozi pliokvartara struktura nije vidljiva jer u tom području dolazi do opličavanja horizonta po podlozi pliokvartara (slika 6-3) kao što je vidljivo i na krajnje desnom dijelu profila B-B' (slika 6-5).

U jugoistočnom dijelu istraživanog područja nalazi se sinklinala Nijemci pružanja SZ-JI (slika 6-2), na strukturnim kartama po podlozi neogenskih i panonskih naslaga (slika 6-1 i slika 6-2). Na karti po podlozi pliokvartara pružanje sinklinale se mijenja u smjer SSZ-JJI (slika 6-3). Dno sinklinale na karti podloge neogena nalazi se na oko 1800 ms (slika 6-1), na karti podloge panona na oko 1700 ms (slika 6-2) i na karti podloge plio-kvartara na oko 850 ms (slika 6-3).

Dominantno strukturno uzvišenje Đeletovci nalazi se u središnjem dijelu istraživanog prostora. S obzirom na geometriju izokrona i raspored normalnih rasjeda, te prema interpretaciji seizmičkih profila u tom području (slike 6-1, 6-5 i 6-6), ova jedinica je definirana kao horst. Na karti po podlozi neogena i karti po podlozi panona ova struktura prikazana je kao strukturno uzvišenje omeđeno rasjedima R-3, R-5, R-12, R-13 i R-14 te se njen vršni dio nalazi na dubini od 1100 ms (slika 6-1 i 6-2). Budući da je horst Đeletovci za vrijeme donjeg miocena postojao vjerojatno kao otok, te naslage nisu

taložene, ili su bile naknadno erodirane. Struktura Đeletovci se može vidjeti na karti po podlozi pliokvartara gdje interpretirana kao antiklinala pružanja približno SZ-JI (slika 6-3).

Na temelju podataka s poprečnih profila i strukturnih karata može se zaključiti kako najveće debljine imaju naslage gornjeg miocena, a najmanje donjeg miocena, s izuzetkom za područja najdubljih dijelova tektonskih graba gdje naslage donjeg miocena dosežu maksimalnu debljinu (slike 6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-6, 6-7 i 6-8).

Na temelju rekonstrukcije tektonskih odnosa za vrijeme kraja gornjeg miocena, poravnavanjem horizonta podloge plio-kvartarnih naslaga (slika 6-8b), i za vrijeme kraja srednjeg miocena, poravnavanjem horizonta podloge panonskih naslaga (6-8c), zajedno s analizom interpretiranih podataka opisan je strukturni razvoj istočnog dijela Slavonsko-srijemske depresije. Prva faza odgovara ekstenzijskoj fazi koja je trajala za vrijeme donjeg i srednjeg miocena, kada dolazi do normalnog rasjedanja i otvaranja tektonskih graba odnosno glavnih depocentara na području istraživanja (slika 6-8c). Sljedeća faza odgovara fazi termalne subsidencije tijekom gornjeg miocena, kada je tektonska aktivnost bila slabija, no normalni rasjedi koji su se nalazili na rubovima tektonskih graba bili su aktivni, barem u ranijem stadiju ove faze (slika 6-8b). Zadnju fazu predstavlja tektonska inverzija za vrijeme plio-kvartara, kada dolazi do relativno slabog reversnog rasjedanja na istoku područja istraživanja u sklopu antiklinale Bokšić (slika 6-8a).

8. Literatura

BRKIĆ, M., GALOVIĆ, I., BUZALJKO, R. (1989): Osnovna geološka karta i Tumač za list Vinkovci 1:100 000. Savezni geološki zavod, Beograd.

ČULIĆ-TRIFUNOVIĆ, M., GALOVIĆ, I. (1985): Osnovna geološka karta i Tumač za list Bačka palanka 1:100 000. Savezni geološki zavod, Beograd.

FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVATH, E., RUSZKICZAY-RUDIGER, Z., PALOTAS, K., SIKHEGYI, F., TIMAR, G., CLOETINGH, S., HORVATH, F. (2005): An outline of neotectonic structures and morphotectonics of thewestern and central Pannonian Basin, Tectonophysics 410, str. 15-41.

HERAK, M., HERAK, D., TOMLJENOVIĆ, B. (2009): Seismicity and earthquake focal mechanisms in North-Western Croatia, Tectonophysics 465, str. 212-220.

HERNITZ, Z., 1983. Dubinski strukturno – tektonski odnosi u području istočne Slavonije, Nafta, 221 str., Zagreb

JAMIČIĆ, D. (1995): The Role of Sinistral Strike-Slipe Faults in the Formation of the Structural Fabric of the Slavonian Mts. (Eastern Croatia), Geol. Croat. 48/2, str. 155– 160, Zagreb.

KRANJEC, V., HERNITZ, Z. & VELIĆ, J. (1981): Neke značajke naftnoplinonosnosti naslaga i moguća daljnja nalazišta ugljikovodika u predjelima Vanjskih Dinarida i Jadranskog područja. Pomorski zbornik, 19, 385 – 412, Rijeka.

MALVIĆ, T. & SAFTIĆ, B. (2008): Dubinsko kartiranje, fakultetska skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 139.

MATENCO, L. & RADIVOJEVIĆ, D. (2012): On the formation and evolution of the Pannonian Basin: Constraints derived from the structure of the junction area between Carpathians and Dinarides, Tectonics, 31, TV 6007, doi:10.1029/2012TC003206.

PAVELIĆ, D. (1998): Taložna evolucija sloatkovodnog donjeg i srednjeg miocena sjeverne Hrvatske na temelju analize facijesa. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

PAVELIĆ, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian Sector of the Miocene Pannonian Basin System. Basin Research, 12, 359 –376

PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D.,ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena. 1. Hrvatski geološki kongres, 481 – 486, Zagreb

SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHASZ, G. & IVKOVIĆ, Ž. (2003): Tertiary subsurface facies, source rocks and hydocarbon reservoirs in the SW part of the Panonian Basin (northern Croatia and south-western Hungary). Geologica Croatica, 65/1, 101-122, Zagreb.

TOMLJENOVIĆ, B. & CONTOS, L. (2001): Neogene – Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia). Int. J.Earth Sci. 90, str.560 – 578.

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 Panonian Basin. Nafta 53/6-7, 239 –249, Zagreb.

VELIĆ, J. (2007): Geologija ležišta nafte i plina. Sveučilište u Zagrebu, 342, Zagreb.

Web izvori

Službene stranice Vukovarsko-srijemske županije:
URL: http://www.vusz.hr/info/osnovni-podaci

Google karte:
URL: https://www.google.hr/maps