

Analiza tektonske evolucije Dinarida posredstvom analognih modela

Poleto, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:508423>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Mario Poletto

ANALIZA TEKTONSKE EVOLUCIJE DINARIDA
POSREDSTVOM ANALOGNIH MODELA

Diplomski rad
predložen Geološkom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog stupnja
magistra geologije

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Tihomir Marjanac

Zagreb, 2018

Zahvale

Prije svega želim se zahvaliti svom mentoru, izv. prof. dr. sc. Tihomiru Marjancu na pomoći i mentorstvu, ne samo prilikom izrade rada, već i tokom moje zadnje četiri godine studija, kao i dr. sc. Ljerki Marjanac.

Također, želim se posebno zahvaliti dr. sc. Borni Lužar-Oberiteru, v. pred. na pomoći pri izradi rada i znanju koje mi je prenio u zadnje tri godine.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Josipu Halamiću na ustupljenoj literaturi i pomoći u mom učenju.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Bruni Tomljenoviću na savjetima tokom izrade rada.

Veliko hvala dr. sc. Ivanu Lukačeviću na pomoći pri obradi teksta.

Neizostavno, zahvaljujem se svojim roditeljima, Darku i Sanji, što su me podržavali tokom mog školovanja, kao i svojoj sestri Ani.

Na posljetku, zahvaljujem se Beri i dr. sc. Igoru Felji na ugodnom društvu u pauzama pri izradi rada.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

ANALIZA TEKTONSKE EVOLUCIJE DINARIDA POSREDSTVOM ANALOGNIH MODELA

Mario Poletto

Rad je izrađen: Geološko-paleontološki zavod, Geološko odsjek, PMF, Zagreb,
Horvatovac 102a

Sažetak:

U radu je opisana izrada i modifikacija aparature za analogno modeliranje rasjeda. Aparatura je korištena kako bi se provelo pet pokusa kompresijske tektonike s različitim početnom postavom. Strukture nastale u pokusima opisane su i prikazane sukcesijski, te detaljno interpretirane i uspoređene sa strukturama iz Dinarida. U raspravi su dane mogućnosti primjene ovakvih pokusa u interpretaciji geoloških struktura i geološkom kartiranju. Pokusi analognog modeliranja geoloških struktura dali su vrijedan uvid u kinematiku njihovog nastanka.

Ključne riječi: analogno modeliranje, model kompresijske tektonike, geološko kartiranje

Rad sadrži: 100+VI stranica, 43 slike, 22 tablice, 45 literaturnih navoda

Jezik izvornika: Hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

Mentor: izv. prof. dr. sc. Tihomir Marjanac

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Tihomir Marjanac
dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, v. pred.
izv. prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Datum završnog ispita: 23. veljače, 2018

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Master Thesis

ANALYSIS OF TECTONIC EVOLUTION OF DINARIDES BY ANALOG MODELING

Mario Poletto

Thesis completed in: Division of Geology and Paleontology, Department of Geology,
Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a

Abstract:

The Thesis describes the creation and modification of apparatus for analog fault modeling. The apparatus is used to implement five experiments with different initial setup. The structures created by these experiments are described and shown in succession, thoroughly interpreted and compared with structures in Dinarides. In discussion are given the possibilities of application of these experiments in interpretation of geological structures and geological mapping. Analog modelling of geological structures provides valuable insight into the kinematics of their origin.

Keywords: analog modelling, collision tectonics model, geological mapping

Thesis contains: 100+VI pages, 43 figures, 22 tables, 45 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological Library, Geological Department, Faculty of Science

Supervisor: assoc. prof. Dr. Tihomir Marjanac

Reviewers: assoc. prof. Dr. Tihomir Marjanac
Dr. Borna Lužar-Oberiter, Senior lecturer
assoc. prof. Dr. Marijan Kovačić

Date of the final exam: February 23., 2018

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Opći i specifični ciljevi rada..... | 3 |
| 3. Povijest istraživanja tektonike Dinarida..... | 4 |
| 4. Geotektonske jedinice Dinarida | 13 |
| 4.1 Nedeformirani dio AdCP | 13 |
| 4.2 Vanjski Dinaridi | 13 |
| 4.2.1 Dalmacija zona..... | 13 |
| 4.2.2 Budva-Cukali zona..... | 14 |
| 4.2.3 Jedinica Visoki Krš | 15 |
| 4.3 Granična zona: jedinice Pred-Krš i Bosanski fliš..... | 15 |
| 4.4 Unutrašnji Dinaridi | 16 |
| 4.4.1 Durmitor navlaka..... | 16 |
| 4.4.2 Drina-Ivanjica navlaka | 17 |
| 4.4.3 Jadar-Kopaonik navlaka | 17 |
| 4.4.4 Jedinica Zapadni Vardar..... | 18 |
| 4.5 Sava zona: sutura Dinarida i Tisije-Dacije | 19 |
| 5. Geotektonska povijest vanjskih Dinarida i Jadranske karbonatne platforme (AdCP) | 21 |
| 6. Nastanak Dinarida | 23 |
| 7. Metoda i materijal | 28 |
| 7.1 Analogno modeliranje u geologiji | 28 |
| 7.2 Konstrukcija aparature..... | 30 |
| 7.3 Modifikacija aparature..... | 33 |
| 7.4 Materijali korišteni u pokusima | 34 |
| 7.5 Postavljanje i provedba pokusa | 36 |
| 7.5.1 Postavljanje prvog pokusa kompresijske tektonike (P1)..... | 37 |
| 7.5.2 Postavljanje drugog pokusa kompresijske tektonike (P2)..... | 37 |
| 7.5.3 Postavljanje trećeg pokusa kompresijske tektonike (P3) | 38 |
| 7.5.4 Postavljanje četvrtog pokusa kompresijske tektonike (P4)..... | 39 |
| 7.5.5 Postavljanje petog pokusa kompresijske tektonike (P5) | 39 |
| 7.6 Obrada rezultata..... | 40 |
| 8. Rezultati | 41 |
| 8.1 Prvi pokus kompresijske tektonike P1..... | 43 |
| 8.2 Drugi pokus kompresijske tektonike P2 | 47 |
| 8.3 Treći pokus kompresijske tektonike P3 | 53 |
| 8.4 Četvrti pokus kompresijske tektonike P4 | 57 |
| 8.5 Peti pokus kompresijske tektonike P5 | 63 |
| 9. Diskusija..... | 68 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 9.1 | Prvi pokus kompresijske tektonike (P1) | 68 |
| 9.2 | Drugi pokus kompresijske tektonike (P2) | 74 |
| 9.3 | Treći pokus kompresijske tektonike P3 | 79 |
| 9.4 | Četvrti pokus kompresijske tektonike P4 | 87 |
| 9.5 | Peti pokus kompresijske tektonike P5 | 90 |
| 10. | Zaključak | 92 |
| 11. | Literatura | 95 |
| 12. | Popis slika u tekstu | 98 |
| 13. | Popis tablica u tekstu | 101 |

1. Uvod

Razni autori već cijelo stoljeće proučavaju geologiju Dinarida kako bi na temelju geoloških metoda upoznali povijest stvaranja naših prostora. Dinaridi su relativno dobro istraženi te su do današnjih vremena na temelju poznavanja litologije, geoloških odnosa, datiranja i drugih metoda iznesene mnoge ideje i viđenja o njihovom nastanku. Analogno modeliranje jedna je od metoda koja do sada nije bila korištena u interpretaciji tektonike u Hrvatskoj, ali je zato u svijetu često korištena za izradu analognih modela koji simuliraju ponašanje Zemljine kore tijekom djelovanja deformacijskih sila.

Analogno modeliranje geoloških struktura, posebno rasjeda, daje vrijedan uvid u geometriju i kinematiku njihovog stvaranja, a točna rekonstrukcija stvarnih geoloških struktura može pružiti ispravna shvaćanja o njihovom nastanku i biti primijenjena u proučavanju tektonike Dinarida. Također, upotrebom analognih modela moguće je u laboratoriju u kratkom vremenu promatrati kolizijske procese koji su u Dinaridima trajali od gornje krede do miocena.

Ovakvi analogni pokusi prvenstveno se razlikuju po materijalu korištenom za modeliranje (glina, gips, pijesak, itd.) te po stanju materijala (mokar, suh). Model u kojem se koristi suhi pijesak, a takvi su modeli rađeni u ovom radu, dobro predstavlja ponašanje prvih 10 km zemljine kore pod lateralnim stresom (Crook, 2006). No, treba uzeti u obzir da su rezultati više kvalitativni nego kvantitativni zbog različitosti svojstava modela i stvarnih struktura.

Svojstva su slijedeća: značajan učinak razmjera između veličine laboratorijskih modela i stvarnih struktura na terenu, varijacije u konstituciji materijala, promjenjivi porni tlak i temperaturna polja, ne-jedinstvenost tumačenja kinematičke povijesti i slično (Crook, 2006).

Pokus se sastoji od dvije faze: (1) postavljanje pokusa, što uključuje sijanje pijeska različitih boja, brašna i kave u slojeve, te (2) izvođenje pokusa primjenom sile na pijesak. Suština samog pokusa je imati jasno razlučive slojeve u materijalu, te nakon i tokom primjene sile bilježiti uočene promijene. Tokom 2014, 2015, 2016 i 2017 napravljeno je tridesetak pokusa. U ovom radu prikazujem pet pokusa kompresijske tektonike s različito postavljenim materijalom te opisujem nastale strukture i njihov razvoj kroz pokus. Provedeni pokusi prikazani su u poglavlju 7.5 i 8. Nastale strukture u pokusima uspoređene su sa geološkim profilima Dinarida te je dana mogućnost primjene ovakvih modela u tektonskoj interpretaciji. Pri različitom postavljanju pokusa stvarat će se različite strukture.

2. Opći i specifični ciljevi rada

Svrha ovog rada bila je proučavanje geometrije i kinematike struktura koje nastaju tokom provedbe pokusa analognog modeliranja, a s ciljem ispitivanja primjenjivosti ovakvih pokusa na interpretaciju tektonskih procesa u Dinaridima.

U ovom radu prikazano je pet pokusa kompresijske tektonike te su opisane nastale strukture i njihov razvoj tijekom izvođenja pokusa. Opća hipoteza je da će se pri različitom postavljanju pokusa stvarati različite strukture. Prvenstveno se htjelo uvidjeti kakav utjecaj na strukture ima različitost granulacije postavljenog materijala te drugačiji omjer postavljenih materijala različite granulacije.

Na posljetku, svim nastalim strukturama u svim pokusima pokušat će se pronaći odgovarajuće strukture u Dinaridima i samim time ispitati primjena ovakvih modela na interpretaciju geološke povijesti Dinarida.

Ovaj rad nastavak je prijašnjih istraživanja iz 2014., 2015. i 2016. godine.

3. Povijest istraživanja tektonike Dinarida

Proučavanje tektonike Dinarida započelo je početkom 20. stoljeća prvim Cvijićevim (1901) tektonskim podjelama. Od tada mnogi domaći i strani istraživači proučavaju tektoniku Dinarida, sistematski nadopunjujući fond znanja, te danas možemo sa sigurnošću govoriti o karakteru pojedinih tektonskih jedinica, njihovom rasprostiranju i međusobnim odnosima. U ostatku poglavlja navedeni su autori za koje smatram da su najviše pridoneli današnjem shvaćanju tektonske evolucije Dinarida. M. Anđelković (1982) u svojoj knjizi *Geologija Jugoslavije* povijesni razvoj misli o tektonici Dinarida dijeli na tri perioda: (1) prvi period od 1900. do 1950. godine u kojem su dane prve tektonske podjele Dinarida i u kojem je na početku prevladavalo mišljenje o prisustvu značajnih horizontalnih pokreta, a kasnije se smatralo kako su horizontalna kretanja prisutna ali u znatno manjim razmjerima; (2) drugi period od 1950. do 1970. godine obilježavaju dvije koncepcije: (a) koncepcija o navlačnoj građi Dinarida čiji zagovaratelji unapređuju mišljenje iz prethodnog perioda i (b) koncepcija o autohtoniji po kojoj se strukture nalaze na mjestu njihovog nastanka, uz prevladavanje vertikalnih kretanja nad horizontalnim. Konfrontacijom zagovaratelja ova dva shvaćanja dolazi do provjere stanja na terenu, što dovodi do novih informacija i boljeg upoznavanja tektonske slike Dinarida, te na kraju ovog razdoblja prevladava prva koncepcija (a); (3) treći period od 1970. do 1980. godine također označuju dvije različite koncepcije: (a) prva koncepcija po kojoj je na osnovama evolucijske tektonike opisan razvoj Dinarida, s prostranim alohtonim strukturama – navlakama i (b) druga koncepcija u kojoj se na principu tektonike ploča rekonstruira tektonski razvoj Dinarida.

Danas je moguće dodati i (4) četvrti period razvoja koncepcija o tektonskoj evoluciji Dinarida koji započinje 1980. god. od kada se intenzivno radi na objašnjenju tektonike Dinarida teorijom tektonike ploča. U ovom je periodu zaključeno kako su

Dinaridi prošli kroz dvije tektonske faze koje se razlikuju stilom i smjerom kretanja, te su podijeljeni na unutarnje i vanjske.

J. Cvijić (1901, 1924) na Balkanskom poluotoku izdvaja Dinaride, koje dijeli na Dinarski i Šarsko-Pindski sistem. Iznosi kako je stvaranje Dinarida teklo postepeno, da su prve strukture nastale tokom karbona, da su značajni pokreti bili prije gornje krede, a glavno navlačenje da se dogodilo u oligocenu. Nastale strukture zadobile su dinarsko pružanje SZ-JI, sa borama poleglim ka zapadu i jugozapadu navlačenjem jednih preko drugih stvarajući "crijepastu" strukturu. Navodi kako su značajni i uzdužni rasjedi pružanja SZ-JI koji su reaktivirani u kasnijim fazama. Posebno izdvaja da su tektonski procesi sve mlađi idući prema Jadranskom moru.

Tektonsku podjelu Dinarida početkom 20. st. dao je i F. Kosmat (1924), koji je u Dinaridima izdvojio: (a) Vardarsku zonu kao krajnje istočnu jedinicu Dinarida, koju karakteriziraju intenzivno tektonizirane paleozojske i mezozojske stijene s ljuskavom građom i navlakama; (b) Pelagonski masiv građen od škriljavaca i granitskih intruzija s paleozojskom podlogom, a nalazi se između Vardarske zone i paleozojskih stijena zapadne Makedonije; (c) zonu mezozojskih ofiolitskih eruptiva, dijabaz-rožnječke serije, te transgresivnih i fliških facijesa gornje krede kojima povezuje ofiolite Bosne, JZ Srbije i Albanije u jedinstvenu cjelinu; (d) Bosansko - unutrašnje Albansku zonu vapnenaca i škriljavaca, pri čemu posebno izdvaja paleozojske pješčenjake i škriljavce od serije mezozojskih vapnenaca koja se pruža od Slovenije, preko Hrvatske i Bosne i Hercegovine do Crne Gore; (e) zapadnocrnogorsko-hrvatsku zonu visokog krša, koju izdvaja i kao crnogorsko-sjevernoalbansku navlaku; (f) zonu Pindos-Cukali koja zahvaća krajnji jugozapad tadašnje Jugoslavije i preko koje je navučena crnogorsko-sjevernoalbanska navlaka i (g) dalmatinsko-istarsku obalnu zonu. Unutrašnja tektonska građa pojedinih jedinica je različita, a sve strukture imaju dinarsko pružanje SZ-JI ili pružanje SSZ-JJI.

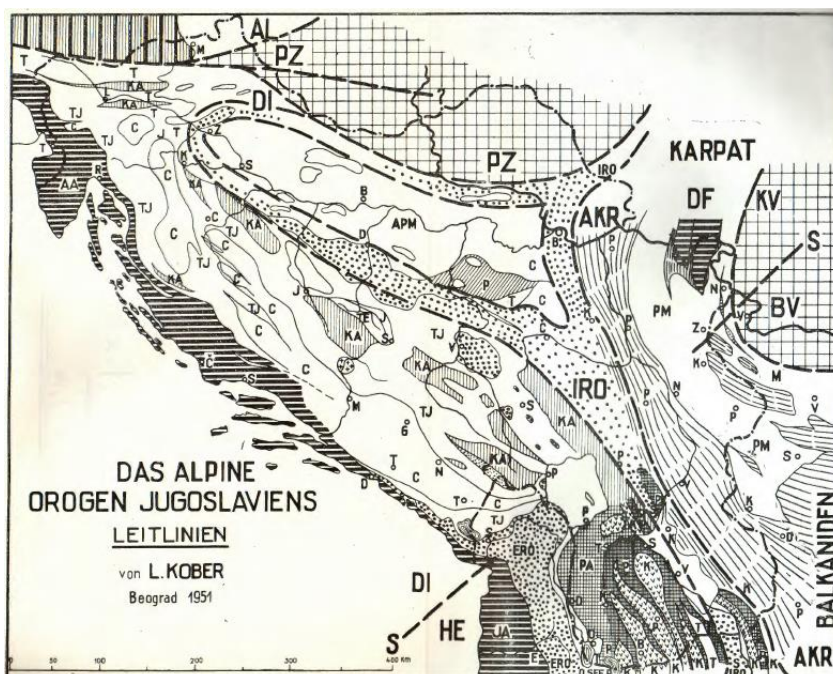
Navodi također kako su prisutna značajna horizontalna kretanja – navlake.

V. Petković na osnovi tektonske građe u Dinaridima izdvaja nekoliko pojaseva: (a) vanjski dalmatinsko-istarski pojas izgrađen od boranih vapnenaca gornje krede i paleogena, te trijaskih stijena; (b) srednjedinarski krški pojas kojega izgrađuje krš Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Crne Gore i predstavlja jednu veliku navlaku, navučenu preko vanjskog pojasa, izgrađenu od paleozojskih škriljavaca, mezozojskih vapnenačkih stijena i transgresivnih paleogenskih sedimenata; (c) pojas paleozojskih škriljavaca i mezozojskih vapnenaca koji se proteže od Slovenije, preko Like i Bosne do Metohijske kotline, izgrađen od karbonskih i permskih stijena, te debele serije trijaskih dolomita i jurskih vapnenaca; (d) pojas rožnjačkih i zelenih eruptivnih stijena koji se pruža od Zagreba, pa s prekidima preko Bosne do Z i JZ Srbije i prelazi pored Metohijske kotline u Albaniju. Građen je od trijaskih rožnjaka, paleozojskih škriljavih pješčenjaka i vapnenaca, te transgresivnih vapnenaca i pješčenjaka gornje krede kao i ogromne mase “zelenih stijena”; (e) unutrašnji Dinarski škriljavi pojas koji započinje u Karlovcu i s prekidima se proteže do Prespanskog jezera u Makedoniji, a građen je karbonskih terigenih stijena s proslojcima vapnenaca, zatim permskih pješčenjaka i konglomerata prekrivenih mezozojskim vapnencima, te se pojavljuju i metamorfne stijene starije od karbona. Petković napominje kako svi pojasevi imaju dinarsko pružanje SZ-JI, a slojevi da su tektonizirani te da postoje brojne bore i velike navlake sa jugozapadnom vergencijom.

D. Gorjanović-Kramberger razmatrao je tektoniku Medvednice i pri tome podržavao mišljenje M. Kišpatića da se bosanska serpentinitna zona nastavlja do Medvednice koja predstavlja granicu orijentalnog kopna (Anđelković, 1982).

L. Kober (1952) pedesetih godina 20. stoljeća iznosi značajno izmijenjenu teoriju u odnosu na svoje prvobitno tumačenje tektonike Dinarida s početka stoljeća. Prema Koberu Dinaridi se pružaju od Slovenije (gdje u području Pohorja opisuje suturu odnosno tektonski

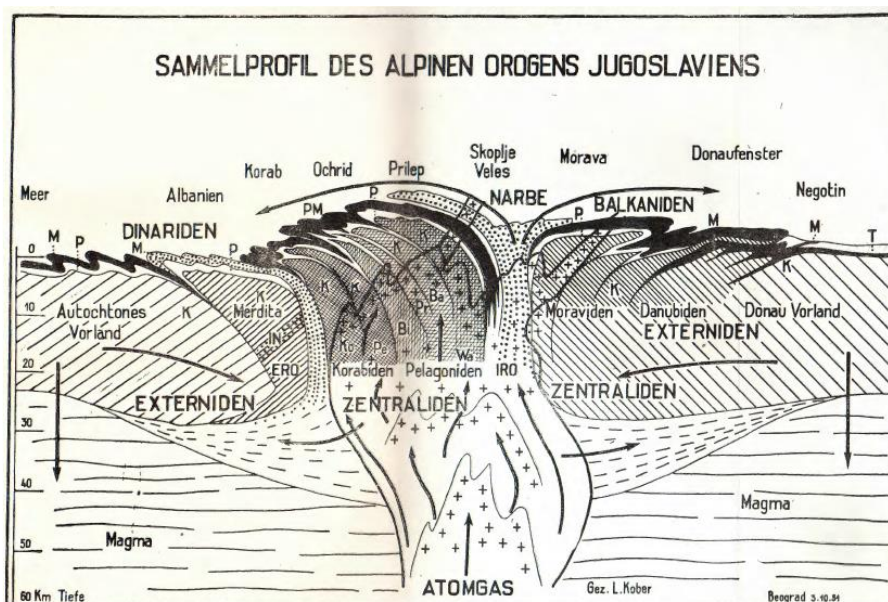
„ožiljak“ Dinarida i Alpa) do Pečke udoline koja predstavlja granicu “tip rajnske linije“ između Dinarida i Helenida i gdje su Helenidi navučeni na Dinaride, a na sjeveru se Dinaridi protežu sve do Panonskog bazena. Dinaridi se po Koberu sastoje od vanjske i centralne zone, a svaka od njih obuhvaća po dvije jedinice (slika 1). Vanjska zona sastoji se od: (a) Jadransko-Jonske zone koja se proteže od Trsta do Kreta i (b) zone vanjskih radiolarita koja se proteže od Dubrovnika do Atene. Ova zona obuhvaća Cukali navlaku u tadašnjoj Jugoslaviji i Mirdita navlaku u Albaniji koje nije moguće jasno izdvojiti pa ih objedinjuje u Cukali-Mirdita navlaku.



Slika 1: Koberova (1952) tektonska podjela Dinarida. DI: Dinaridi; HI: Helenidi; IRO: unutarjna radiolaritska zona; AKR: “stari kristalin”; PZ: Vanjska Panonska masa; APM: Unutarjna Panonska masa; ERO: vanjska zona; C: navlaka Visokog krša; KA: škriljavo-rožnjačka navlaka; AL: Alpe

Granicu vanjskih i centralnih Dinarida Kober povlači linijom Idrija-Skadar te tvrdi kako su glavna navlačenja u tektonskoj evoluciji Dinarida bila u srednjem oligocenu, a zatim u srednjem pliocenu. Centralne Dinaride dijeli na dvije zasebne navlake: (c) navlaku Visokog krša, koja nastaje u batijalnom okolišu i (d) škriljavo-rožnjačku navlaku koja nastaje u abisalnom okolišu. Navlaka Visokog krša navučena je preko vanjske zone i Cukali-Mirdita navlake, te tvrdi kako se dokazi ovakvih odnosa mogu vidjeti na području

Velebita, Knina i Dubrovnika. Liniju navlačenja između zone Visokog krša i škriljavo-rožnjačke zone pruža se od Vrbasa, preko Vareša na zapadnu Moravu te dalje od Karadaga do Vardara prema Đevđeliji pri čemu Kopaonik predstavlja zonu korijena velike unutrašnje Dinarske navlake, a Zlatibor predstavlja čelo radiolaritske navlake. Radiolaritsku navlaku izdvaja kao posebnu jedinicu (IRO zona na slici 1) koju naziva bosnidi ili unutrašnji radiolariti, a proteže se od Zagreba, preko Bosne, Z i JZ Srbije i dalje preko grčke u Malu Aziju, te predstavlja granicu, odnosno suturu Dinarida i Karpatobalkanida. Kober također ilustrira poprečni profil Dinarida (slika 2).



Slika 2: Koberov (1952) profil Dinarida.

M. Roksandić (1966) navodi da u tektonskim jedinicama Dinarida dominiraju antiklinoriji i sinklinoriji razlomljeni rasjedima i drugim sporednim strukturama kao što su ljske, lokalne navlake, horstovi i slično. Izdvaja slijedeće jedinice: (a) Jadranska zona koja obuhvaća: područje Crnogorskog primorja i Konavala, područje Dubrovnik-Split, područje Split-Rijeka i područje Istre; (b) centralnodinarski antiklinorij koji se pruža od Karlovca do Metohije i najupečatljivija je strukturalna jedinica Dinarida, u kojoj razlikuje lokalne antiklinorije i sinklinorije; (c) između Jadranske zone i centralnodinarskog antiklinorija izdvaja posebne manje strukturalne jedinice poput primjerice Budvansko-

Barske navlake, složenu boru Svilaje ili Velebitski antiklinorij; (d) SI od centralnog antiklinorija izdvaja posebne jedinice: Zlatiborski antiklinorij, antiklinorij Jelove gore i Srebrenice, Sarajevsko-Banjalučki sinklinorij, Golijski antiklinorij, Konjiško-Uzlomski antiklinorij, Poveljsko-Maljenski sinklinorij, Jadranski antiklinorij i sjevernobosanski sinklinorij. Osim navedenih jedinica Roksandić izdvaja dubinske rasjede poput rasjeda Zlatibor-Konjuh, uz koje postoje poprečni i dijagonalni rasjedi koji izazivaju nagle promjene u tektonskom sklopu.

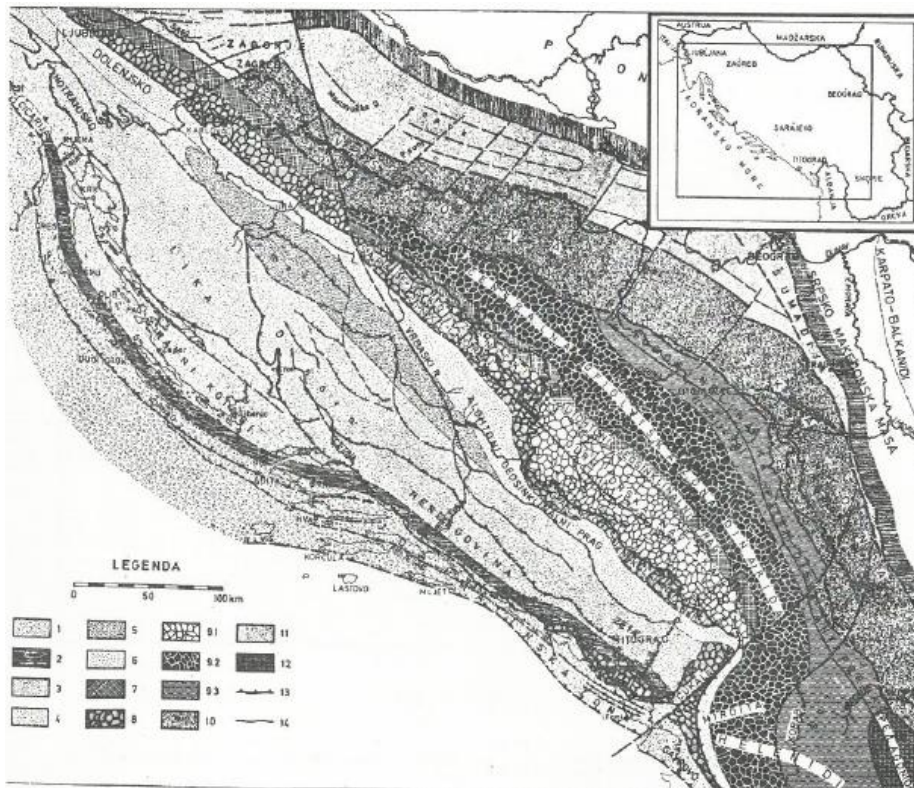
B. Sikošek i W. Medwensch (1969) razlikuju slijedeće jedinice (slika 3): (a) eksternide, (b) metamorfide i (c) centralide koje grade: (1) subdinarikum, koji je u vanjskom obodu Dinarida poznat i kao Budva-Cukali zona; (2) centralana ofiolitska zona; (3) Visoki Dinarikum ili navlaka Visokog krša; (4) unutrašnji Dinarikum ili centralnodinarske navlake, među kojima spominje i Durmitor navlaku; (5) Unutrašnji Dinarikum zastupljen je zonom šava Dinarida i Karpato-Balkanida, koja predstavlja zonu korijena za Dinaridske navlake. Autori posebno ističu kako se fliške serije postepeno pomiču od SI ka JZ te kako intenzivni tektonski pokreti počinju u juri. Naglašavaju prisustvo horizontalnog kretanja masa i zaključuju da je u Dinaridima došlo do tektonskog skraćivanja prostora od Adrije do Durmitora u omjeru 1:3, a navlačenja su vršena od SI prema JZ.

P. Miljuš (1971, 1972a, 1972b) Dinaride dijeli na miogeosinklinalu i eugeosinklinalu (slika 4) te navodi kako je miogeosinklinala ograničena kristalinskom podlogom dubine 6-10 km, a srednji dijelovi dubine i do 15 km. Po njemu Dinaridi su navučeni preko predgorja Jadrana za 30 – 50 km od SI ka JZ, a u jugoistočnim Dinaridima kretanja se povećavaju na 60 – 100 km, dok u Helenidima iznose 120 – 150 km.

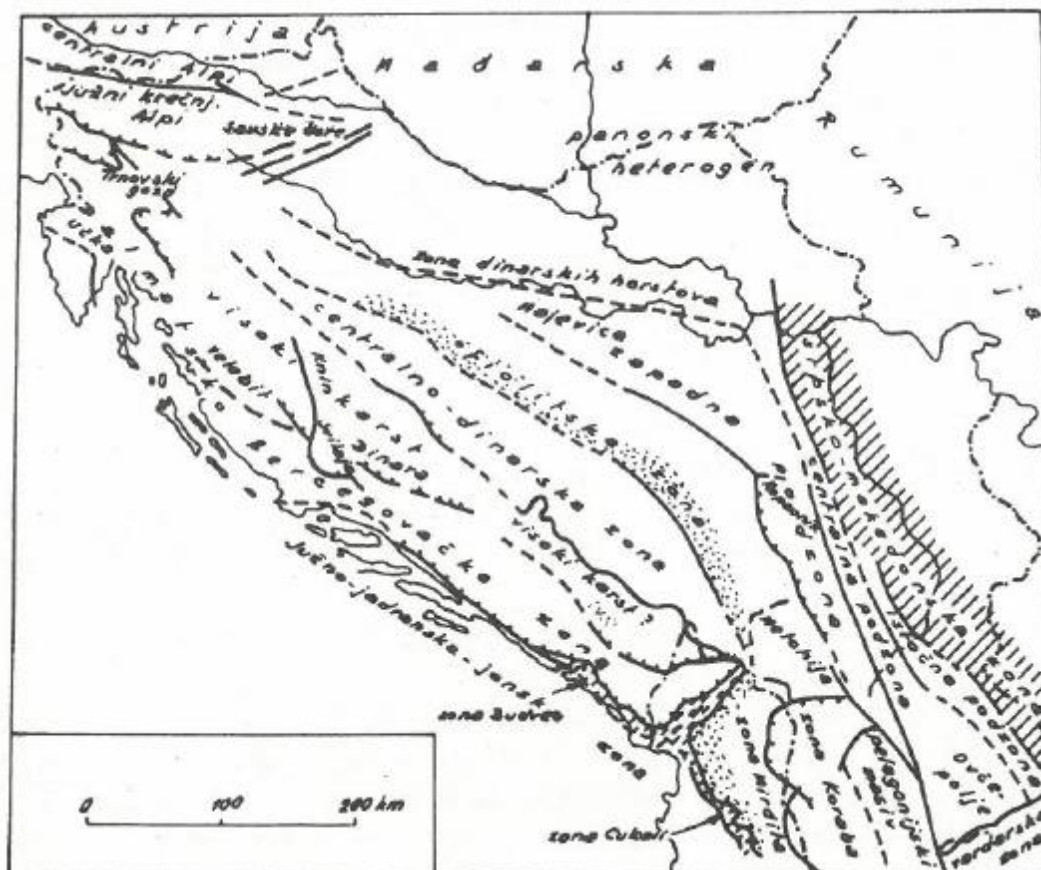
A. Grubnić (1975) iznosi svoju tektonsku podjelu Dinarida (slika 5) u kojoj između ostalog spominje foreland Jadrana i Vardarsku zonu.



Slika 3: Tektonska skica Jugoslavije (Sikošek i Medwenisch, 1969)



Slika 4: Tektonska karta Dinarida (Miljuš, 1973). 1: Autohton istre; 2: Obodna zona geosinklinalne Dinarida; 3: Ravno-Kotarski sinklinorium i navlaka Čičarije; 4: Zona Visokog krša; 5: Prijelazna zona; 6: alohtoni geosinklinalni prag Dinarida; 7: autohtoni geosinklinalni prag Dinarida; 8: Karlovačka zona; 9.1: Durmitorska navlaka; 9.2: Centralna ofiolitska zona Dinarida; 9.3: Eugeosinklinala paleozojska; 10: Savsko-Vardarska zona; 11: Zagorsko-Šumadijska zona; 12: Pelagonidi; 13: Reversni rasjedi; 14: Rasjedi.



Slika 5: Tektonska skica Dinarida (Grubnić, 1975).

M. Dimitrijević (1974) interpretira tektoniku Dinarida u duhu tektonike ploča. Između ostalog navodi kako ofiolitski pojas u Dinaridima predstavlja dio oceanskog elementa koji je od srednjeg trijasa do gornje jure odvajao Dinaride od Europe i čiju je prvobitnu duljinu procijenio na 200 do 500 km.

J. Chorowicz (1977) prikazuje tektonsku kartu prostora Alpe-Karpati-Dinaridi (Slika 6) i veliki broj lokalnih profila temeljenih na terenskim istraživanjima.

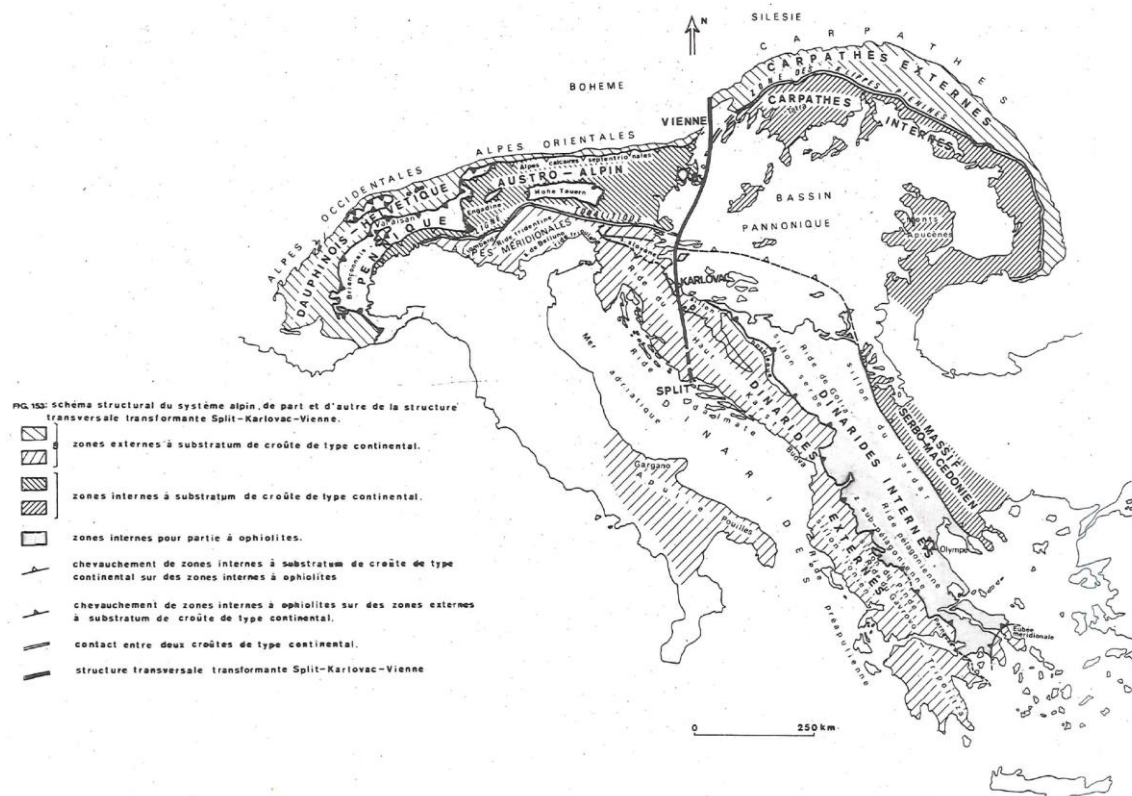
V. Labaš sa suradnicima (1982) na temelju analize svojstava stijena na regionalnom gravimetrijskom profilu Italija-Jugoslavija-Mađarska ističe kako tadašnju granicu Dinarida i Panonskog bazena na rijeci Savi treba postaviti 30-40 km južnije te kako između Dinarida i Panonskog bazena postoji "pregibna zona".

D. Matičec (1994) navodi kako je područje Istre, za koje se ranije smatralo da je regija blagog tektonskog poremećaja, ipak vrlo tektonizirano, te kako je utjecaj tektonskih

faza u zapadnoj Istri moguće promatrati od krede do danas. Također naglašava kako je do formacije Dinarida došlo u oligocenu i vjerojatno miocenu.

Pamić et al. (2000) početkom 21. st. ukratko opisuju sve tektonske jedinice Dinarida i južne Tisije, te zaključuju kako su deformacije vezane za koliziju započele u krajem luteta (prije 50 – 45 mil. god.), a praćene su prestankom subdukcijskih procesa na području granice današnjih Dinarida i Europskog kontinenta, zatvaranjem pripadajućeg dijela Thetysa i izdizanjem Dinarida.

I. Vlahović sa suradnicima (2005) na temelju sedimentoloških karakteristika stijena u Dinaridima opisuje cijelu geološku povijest Jadranske karbonatne platforme (JKP). Zaključuje kako kraj taloženja stijena koje pripadaju JKP označen regionalnom emerzijom između gornje krede i paleogena, a taloženje na JKP tokom paleogena bilo je kontrolirano intenzivnom sinsedimentacijskom tektonikom. Također ističe kako je konačno izdizanje Dinarida bilo tokom oligocena/miocena te da je potrebno postaviti terminologiju koja bi vjerno razlučivala JKP od produkata njene dezintegracije.



Slika 6: Tektonska karta Alpe-Karpati-Dinaridi (Chorowicz, 1977).

4. Geotektonske jedinice Dinarida

Geotektonsku podjelu Dinarida temeljito prvenstveno na radu Schmidt et al. (2008), a zatim na radovima B. Tomljenovića (2000, 2002), I. Vlahovića et al. (2005), i T. Korbara (2009). Pregledna karta jedinica prikazana je na slici 7 (Schmid et al., 2008).

Geotektonske jedinice Dinarida gotovo je nemoguće promatrati nezavisno od geotektonskih jedinica koje ih okružuju, upravo zato što je interakcija između svih geotektonskih jedinica dovela do današnjeg geološkog i geomorfološkog izgleda JE Europe, odnosno prostora koji danas nazivamo Alpe-Karpati-Dinaridi. No, naspram navedenog, u ovom poglavlju bit će opisane samo jedinice koje grade današnje Dinaride, odnosno jedinice čije je porijeklo Adria mikroploča i pripadajući oceanski prostor Neotethys-a.

4.1 Nedeformirani dio AdCP

Nedeformirane jedinice mezozojske Adriatičko-Dinaridske karbonatne platforme (AdCP) na području Republike Hrvatske izdanjuju na Istarskom poluotoku. Pod nedeformirano misli se na nedostatak reverznih rasjeda i navlaka kao u ostatku Dinarida. Istarska antiklinala nastaje u kasnoj fazi orogeneze Dinarida i vjerojatno odražava blagu rotaciju suprotno od kazaljke na satu ili transpresiju Adrije (Schmid et. al., 2008).

4.2 Vanjski Dinaridi

4.2.1 Dalmacija zona

Dalmacija zona odvojena je od nedeformiranog dijela platforme reversnim rasjedom dinarskog pružanja. Ova zona karakterizirana je, u odnosu na ostale jedinice,

prvenstveno debljim i gotovo potpunim karbonatnim slijedom od gornje krede do paleogena, čiji je predstavnik Sumartin formacija (Korbar, 2009). Zona obuhvaća zaleđe Dubrovnika, Pelješac, Mljet, Lastovo, Korčulu, Vis, Hvar, Brač te zaleđe Splita nakon čega se nastavlja sjevernije u Jadransko more, te na koncu isklinjava u Kvarnerskoj rasjednoj zoni, nedaleko od Cresa (Schmid et al., 2008) (slika 7). U centralnom Jadranu, približno 20 km jugoistočno od Dugog Otoka, naslage koje pripadaju Dalmacija zoni nabušene su u bušotini Kate-1 (Tari-Kovačić et al., 1998). Dakle, u svom sjevernom dijelu Dalmacija zona predstavlja podinu navlake Visoki krš, dok je u svom južnom dijelu Dalmacija zona od jedinice Visoki krš odvojena Budva-Cukali zonom. Dalmacija zona vjerojatno je posljednja u nizu navlaka razvijenih tokom orogeneze Dinarida.

4.2.2 Budva-Cukali zona

Sedimentni zapis Budva-Cukali zone započinje s dubokovodnim naslagama trijaskе starosti, a završava s flišem kenozojske starosti, te predstavlja graničnu zonu između Dalmacija zone i jedinice Visoki krš (Schmid et al., 2008). Ova zona izdanjuje uz Jadransku obalu Crne Gore i u unutrašnjosti Albanije (Slika 7). Mlađi padinski karbonatni sedimenti ove zone, starosnog raspona od mastrihta do paleocena, izdanjuju uz obale Jadrana u centralnoj i južnoj Dalmaciji, na Kozjaku, Tilovici na Mosoru, Košni na Biokovu, te predstavljaju sjeverni nastavak Budva-Cukali zone (Korbar, 2009). Sedimenti ove zone označuju postojanje unutarplatformnog korita (NEAT na slici 11) na AdCP tokom mezozoika te se postavlja mogućnost postojanja dvije plitkomorske platformske domene (Dalmacija zona i Visoki Krš) odijeljene dubokomorskim koritom na koje je u kasnijoj, orogenetskoj fazi navučena jedinica Visoki Krš (Korbar, 2009). Sjevernije od Kozjaka ovi sedimenti ne izdanjuju, niti su nabušeni u istražnim bušotinama pa se

postavlja pitanje sjevernog nastavka navedenog korita te postojanje dvije platformske domene uopće.

4.2.3 Jedinica Visoki Krš

Jedinica Visoki Krš proteže se uz čitavu obalu Jadrana, od Alpa do ofiolita u Albaniji (Slika 7). Predstavlja navlaku u čijoj je podini Dalmacija zona, odnosno Budva-Cukali zona na jugu i nedeformirani dio Adrije na sjeveru. U krovini ove jedinice nalazi se Pred-Krš i jedinica Bosanski fliš. Ovu jedinicu predstavljaju stijene visokog raspona starosti, od karbona pa sve do neogena, odnosno kvartara.

Korbar (2009) dijeli ovu zonu na dvije zone, jugozapadni Visoki Krš i sjeveroistočni Unutarnji Krš, odvojene sjeveroistočno Jadranskom transpresijskom rasjednom zonom ili, jednostavnije, rasjedom Split-Karlovac. Ova rasjedna zona vjerojatno je naslijeđena od starijih tektonskih deformacija i reaktivirana tokom današnje transpresijske tektonike.

4.3 Granična zona: jedinice Pred-Krš i Bosanski fliš

Pod pojmom Pred-Krš smatralo se paleogeografsko područje za koje se mislilo da je prijelazno između stijena karbonatne platforme (jedinice Visoki Krš) i više unutarnje tekto-stratigrafske jedinice Bosanski fliš, predstavljene gornjejurskim i krednim flišem. No, prema Schmid et al. (2008) Bosanski fliš ne predstavlja drukčiju tektonsku cjelinu, nego ju smatra jednom cjelinom zajedno s jedinicom Pred-Krš. Ova jedinica predstavlja navlaku dinarskog pružanja, koja se proteže od područje zapadno od Zagreba pa sve do Albanije i Kosova (slika 7). Podina ove navlake je cijelim pružanjem jedinica Visoki Krš, dok je krovina u sjevernom dijelu ofiolitska jedinica Zapadni Vardar, a u centralnom i južnom dijelu Durmitor navlaka.

U zapadnoj Bosni, veliki dijelovi Bosanskog fliša građeni su od jurskih i mlađih sedimentnih sekvencija jedinice Pred-Krš. Paleozojska jedinica Pred-Krš, koja pokazuje hercinski metamorfizam niskog stupnja ili nikakav, izdanjuje u Bosanskim škriljavim planinama, Sana-Una paleozoiku te Banovini u RH. Radijometriska datiranja pokazuju kredni i kenozojski metamorfizam niskog stupnja (Schmid et al., 2008). Vanjski dijelovi (JZ) jedinice Pred-Krš predstavljeni su jursko-krednim stijenama taloženim u prijelaznim platforma-padina okolišima. Od srednje jure talože se breče s uklopcima paleogeografske jedinice Visoki Krš. U unutarnjim (SI) dijelovima jedinice već tokom rane jure dolazi do pelagičke sedimentacije, prije taloženja Bosanskog fliša (Schmid et al., 2008). Bosanski fliš sastavljen je od gornjejurskih i kenozojskih flišolikih naslaga koje variraju u starosti, paleotektonskom okolišu i izvorišnom području kako duž tako i okomito na pružanje jedinice.

4.4 Unutrašnji Dinaridi

Unutrašnji Dinaridi sastoje se od 4 jedinice; od kojih su navlake jedinice Durmitor, Drina-Ivanjica i Jadar-Kopaonik, a jedinica Zapadni Vardar je ofiolitska. Gotovo svi prijašnji autori koji su proučavali ovo područje smatraju da postoje dva različita ofiolitska pojasa, odnosno paleogeografska oceanska prostora, a da su kontinentalni blokovi među njima paleogeografski terrani (npr. Karamata, 2006). Prema Schmid et al. (2008) postoji samo jedan navučeni ofiolitski pojas, odnosno jedan paleogeografski oceanski prostor, a kontinentalni blokovi među njima su jednostavno tektonska okna u podinu navlake.

4.4.1 Durmitor navlaka

Durmitor navlaka je na svojem jugozapadnom rubu u tektonskom kontaktu s jedinicom Bosanski fliš, a u podini je jedinica Bosanski fliš (slika 7), što je vidljivo i iz

tektonskog okna u jugoistočnom dijelu navlake. U krovini Durmitor navlake nalazi se Drina-Ivanjica navlaka, odnosno navlaka Zapadni Vardar. Jedinica Durmitor navlaka u svom sjeverozapadnom dijelu isklinjava u tektonskom kontaktu s jedinicama Bosanski fliš i Zapadni Vardar. Durmitor navlaka sadrži distalne dijelove ruba Adria mikroploče. Donji dijelovi ove jedinice sastoje se od paleozojskih do donje jurskih stijena karbonatne platforme, na kojima su srednje jurski radiolariti. Na radiolarite je u gornjoj juri, tokom obdukcije jedinice Zapadni Vardar, navučen ofiolitski tektonski mélange (Schmid et al., 2008). Srednjetrijski riftni vulkanizam široko je rasprostranjen u jedinici.

4.4.2 Drina-Ivanjica navlaka

Drina-Ivanjica navlaka nalazi se u jugoistočnom dijelu Dinarida (slika 7). Predstavlja krovinu Durmitor navlake i podinu Jadar-Kopaonik navlake, odnosno podinu ofiolita Zapadnog Vardara. U današnji položaj, kao krovina Durmitor navlake, dospijeva vjerojatno u ranoj do srednjoj kredi. Slično kao i Durmitor navlaka, tokom rasjedanja pasivno prenosi već obducirane ofiolite jedinice Zapadni Vardar (Schmid et al., 2008).

Drina-Ivanjica navlaka sadrži još distalnije dijelove pasivnog ruba Adrija platforme od Durmitor navlake. Sjeveroistočno od Sarajeva, trijaske do srednjejurske stijene čine čelo ove navlake, dok se unutarnji dijelovi navlake ponajviše sastoje od niskometamornih paleozojskih stijena, u čijoj su krovini mezozojske stijene. Pojave crvenih nodularnih anizičkih vapnenaca i silciklastičnih karničkih vapnenaca pokazuju kako su se ovi sedimenti taložili na relativno distalnom dijelu pasivnog ruba Adrije, na što također upućuju debele sekvencije jurskih radiolarita (Schmid et al., 2008).

4.4.3 Jadar-Kopaonik navlaka

Jadar-Kopaonik navlaka nalazi se u sjeveroistočnom dijelu unutrašnjih Dinarida, uz granicu sa Sava zonom (slika 7). Medvednica kod Zagreba pripada ovoj navlaci

(Tomljenović, 2000), a Bükk planina u Mađarskoj predstavlja daleko putujući segment ove navlake. U podini ove navlake nalazi se Drina-Ivanjica navlaka, dok su krovina ofioliti jedinice Zapadni Vardar. Današnji tektonski kontakt između Drina-Ivanjica navlake i navlake Jadar-Kopaonik naslijeđen je od doba distalnog pasivnog ruba Adrije, te je velikog kuta nagiba i ima vrlo snažan desni strike-slip pomak (Schmid et al., 2008).

Jadar-Kopaonik navlaka predstavlja prvu u nizu navlaka (od ukupno tri) aktiviranu poslije kasno jurske obdukcije ofiolita jedinice Zapadni Vardar. Stijene ove navlake pripadaju najdistalnijem rubu Adrije. Takozvani Jadar blok sastoji se od nemetamorfozirane paleozojske podine pokrivena permskim Bellerophonskim vapnencima, na koje se taloži trijaska sukcesija vrlo slična onoj u Drina-Ivanjica navlaci. Kopaonik, kao i zapadnija Studenica, predstavljaju tektonska okna kroz jedinicu ofiolita, a otkrivaju niskometamorfozirane paleozojske, te mezozojske stijene distalnog ruba Adrije. Kopaonik tektonsko okno je antiforma koja je u kasnoj fazi nastajanja borala krovinske, ranije obducirane ofiolite jedinice Zapadni Vardar, te u oligocenu bila intrudirana granodioritom (Schmid et al., 2008). Na istočnoj strani antiforme izdanjuje senonski fliš. Senonski fliš s pripadajućim istočno nagnutim rasjedom označava tektonski kontakt Dinarida s Karpato-Balkanidima i početak granične Sava zone (slika 7).

4.4.4 Jedinica Zapadni Vardar

Jedinica Zapadni Vardar izdanjuje cijelim pružanjem sjeveroistočnih Dinarida (slika 7) te graniči sa svim jedinicama unutrašnjih Dinarida kao i jedinicom Pred-Krš i Bosanski fliš. Na svom sjeveroistoku graniči s jedinicom Sava Zona. Kako su ofioliti koji grade jedinicu Zapadni Vardar obducirani na rub Adrije u gornjoj juri, tj. prije krednog/kenozojskog rasjedanja Adrije, ona pristavlja krovinu svih navlaka unutarnjih

Dinarida (Schmid et al., 2008). Schmid et al. (2008) u ovu jedinicu, osim samih ofiolita ubraja i ofiolitski mélange nastao obduciranjem jedinice na rub Adrije.

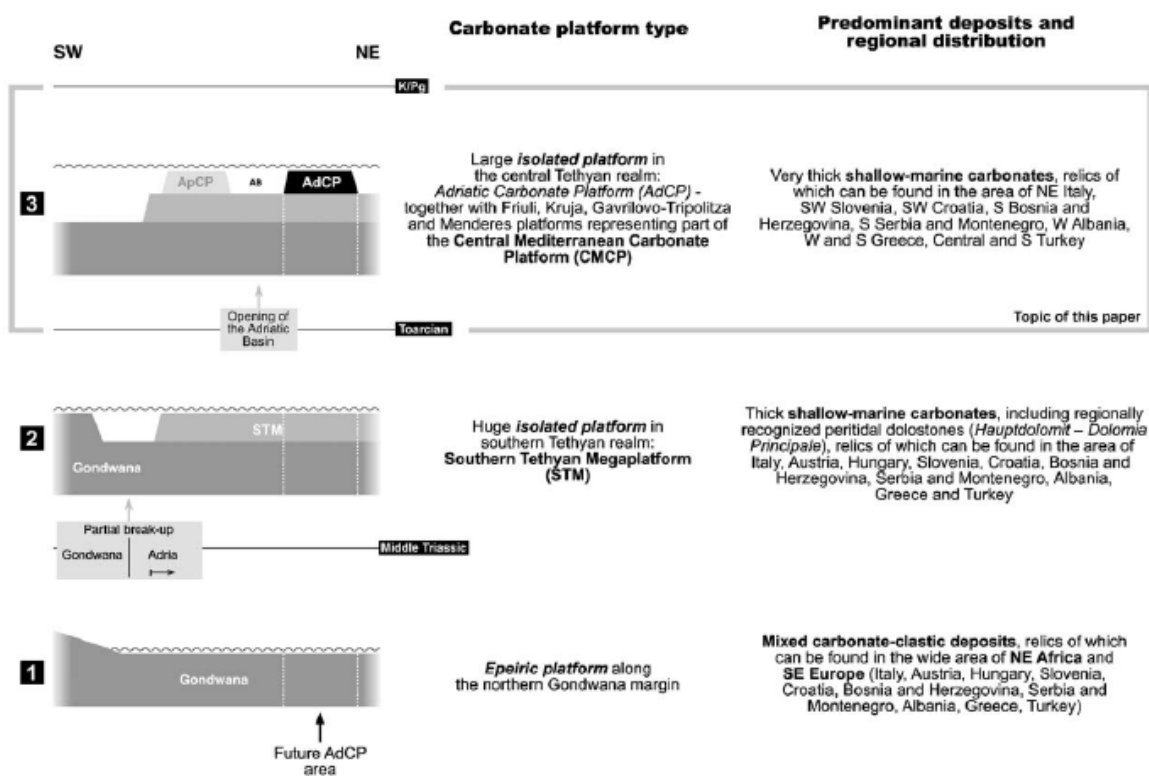
U području unutrašnjih Dinarida moguće je razlikovati dva pojasa ofiolita koji se međusobno razlikuju tipom stijena, a tektonski su odvojeni. Jugozapadnim pojasom dominiraju lherzoliti, iako se pojavljuju i harzburgiti. Pojave ekstruzivnih stijena su relativno rijetke. Sjeverozapadnim pojasom pak dominiraju harzburgiti, te su vrlo česte pojave ekstruzivnih stijena sa suprasubdukcijskim geokemijskim potpisom. Većina autora zaključuje kako zapadnim pojasom dominira MORB tip ofiolita, a istočnim ofioliti suprasubdukcijske zalučne zone vulkanskog luka. Schmid et al. (2008) stoga navodi kako većina autora zagovara tezu o postojanju dva različita oceanska prostora, a jedinice Durmitor, Drina-Ivanjica i Jadar-Kopaonik opisuje kao terrane među njima. No, kako se u Albaniji oba pojasa sjedinjuju u jednu navlaku, postavlja se teza o postojanju jednog jedinstvenog oceanskog prostora Neothetysa, a razlika između dva pojasa jednostavno se objašnjava njihovim različitim položajem u oceanskom bazenu. Točnije: sjeveroistočni pojas odgovara subdukcijskoj zoni oceana, dok onaj jugozapadni označava distalniji, odnosno dubljemorski prostor. Starost ultrabazičnih i bazičnih stijena oba pojasa radiometrijski je datirana na srednju do ranu gornju juru (Ustaszewski et al., 2008).

4.5 Sava zona: sutura Dinarida i Tisije-Dacije

Sava zona označava poziciju suture između Dinarida i mega-jedinica Euroazijske pripadnosti: Tisije i Dacije (slika 7). Ovu jedinicu grade ofiolitske, magmatske i metamorfne stijene. Interpretirana je kao gornjekredni do paleocenski zalučni bazen koji je ostao otvoren sve do srednjeeocenske kolizije Dinarida i Tisije. Magmačke stijene ovog pojasa rezultat su subdukcijskih, a ne ekstenzijskih procesa (Schmid et al., 2008) (h, Sava Island arc na slici 10).

5. Geotektonska povijest vanjskih Dinarida i Jadranske karbonatne platforme (AdCP)

Najstarije naslage vanjskih Dinarida su karbonske starosti, a nakon srednjeg perma postoji gotovo kontinuirana sedimentacija, barem na nekom dijelu platforme, sve do kenozoika. Tokom navedenog perioda ove stijene bile su podložene mnogim fazama emerzije (lokalno i globalno), te nekoliko faza riftinga i kompresije, kao i, ponajviše u mlađe doba, transpresije.



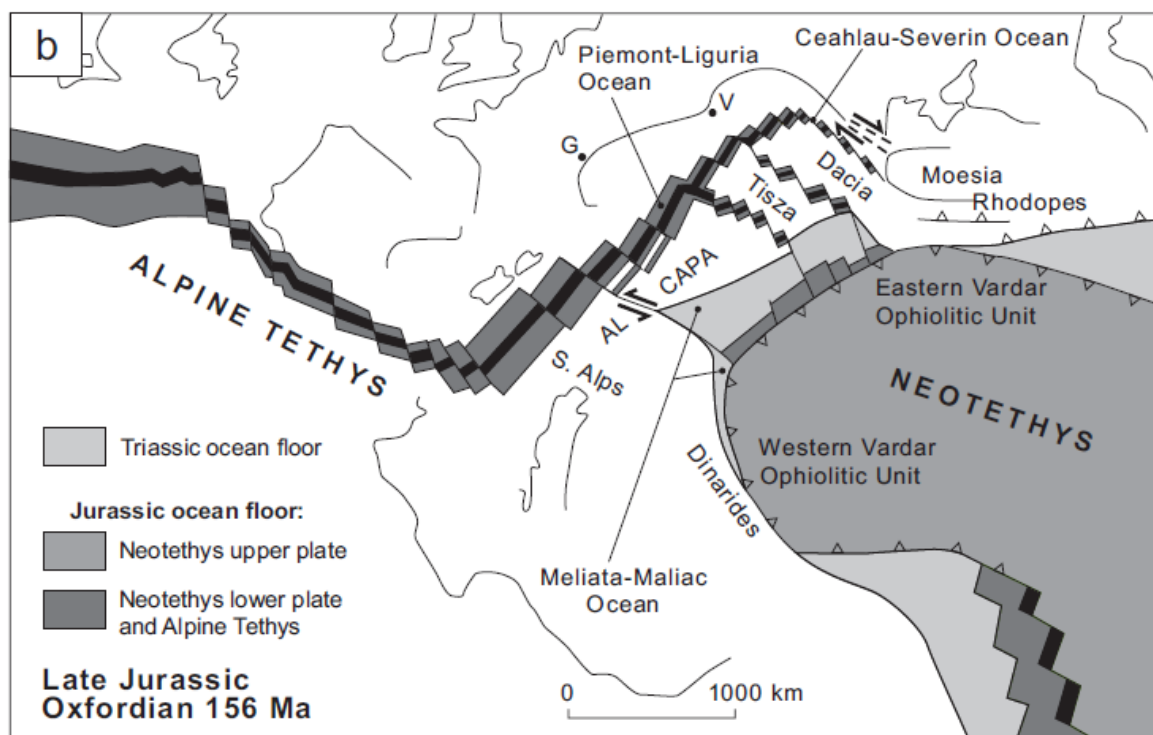
Slika 8: Ilustracija koja pokazuje glavne događaje u geološkoj povijesti AdCP. (Vlahović et al., 2005).

Stijene karbonske te donje i srednje permske starosti predstavljaju Hercinsku podinu, a karakterizirane su miješanom klastično-karbonatnom sedimentacijom (Vlahović et al., 2005). Od srednjeg perma do srednjeg trijasa stijene koje danas grade vanjske Dinaride nastaju na epikontinentalnoj platformi na sjevernom rubu Gondwane (1 na slici 8), a karakteriziraju ih karbonatna, a zatim miješana karbonatno-klastična sedimentacija.

Granica između srednjeg i gornjeg trijasa karakterizirana je relativno dugom fazom emerzije epikontinentalne platforme i obilježena je mnogim pojavama boksita na području južne Slovenije, sjeveroistočnog Velebita i Crne Gore (Vlahović et al., 2005). U srednjem trijasu dolazi do vulkanizma unutar empiričke platforme na rubu Gondwane, te kontinentalnog riftinga i odvajanja Adrije od Gondwane (Pamić et al., 1998) i stvaranja izolirane karbonatne platforme unutar Neothetysa (2 na slici 8). Vlahović et al. (2005) ovu platformu naziva "Southern Tethyan" Megaplatfrom (STM na slici 8). Odvajanje Adrije od Gondwane rezultiralo je ekstenzijskom tektonikom koja je zahvatila cijelo područje Adrije te stvorila normalne rasjede, odnosno duboko ukorijenjene lineamente koji su kasnije reaktivirani i u kompresijskoj tektonici imali važnu ulogu. Raspadanje Adrije dogodilo se krajem donje jure, odnosno u toraciju, formiranjem dubokomorskog korita čime su stvorene dvije karbonatne platforme: AdCP - Jadranska karbonatna platforma ("*Adriatic Carbonate Platform*") te ApCP – Apulijska karbonatna platforma ("*Apulian carbonate platform*") (3 na slici 8). Na ovaj način je nastao Adria bazen, preteča današnjeg Jadranskog mora. Ovaj događaj definira donju stratigrafsku granicu AdCP (Vlahović et al., 2005). Tokom jure i početkom krede postupna subsidencija platforme omogućuje taloženje nekoliko kilometara debelog slijeda marinskih karbonata, uglavnom plitkomorskih. Kolizija Adrije s Euroazijom započinje krajem krede kada, a kao posljedica kolizijskih procesa dolazi do diferencijacije taložnih prostora na području AdCP. Na samom kraju krede zabilježena je značajnija emerzija te je paleogenska transgresija započela na većini dijelova AdCP u eocenu. Ova transgresija označava gornju stratigrafsku granicu AdCP. Kolizijski procesi dolaze do svoga vrhunca u oligocenu-miocenu, čemu je rezultat izdizanje planinskog pojasa Dinarida, čiji su gradivni elementi, osim navučenog oceanskog prostora Neothetysa, svi dijelovi AdCP, kao i njezina podina Adrija te njezina podina rub Gondwane. Dakle, stratigrafski raspon AdCP je od donje jure do granice krede-paleogen.

6. Nastanak Dinarida

Prije svega potrebno je naglasiti kako jedinica Tisija, kao i sedimenti Panonskog bazena koji je danas prekrivaju, pripada Euroaziji. Megajedinica Tisija sastoji se od sekvencije navlaka koje grade podina i mezozojski pokrov. Ova jedinica okružena je mobilnim zonama od kojih vjerojatno sve predstavljaju oceanske suture. Tokom jure Tisija se riftingom i stvaranjem manjeg oceanskog prostora odvaja od Europe i biva podložena rotaciji (slika 9). Do kraja krede se zatvara oceanski prostor koji odvaja Tisiju od Europe, te Tisija ponovno postaje dio Europe. Dakle današnji Panonski bazen, paleogeografski i tektonski, nikako ne spada u Dinaride.



Slika 9: Paleogeografska rekonstrukcija promatranog područja tokom gornje jure (Schmid et al., 2008).

Početak jure Adria mikroploča još je cjelovita i odijeljena od Tisije, odnosno Euroazije, Neotethys oceanom (b na slici 10, Dinarides na slici 9). Nagovještaj kolizije Adrije s Euroazijom započinje u srednjoj juri subdukcijom oceanske kore i zatvaranjem

Neotethys oceana (c na slici 10). Kao posljedica subdukcije nastaje jedinica Zapadni Vardar.

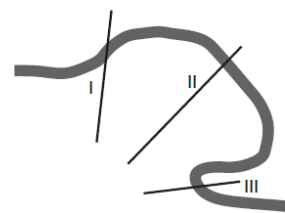
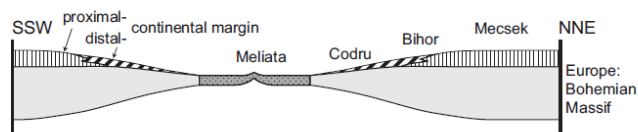
Konzumacijom oceanske kore Neothetysa krajem jure dolazi do obdukcije ofiolita današnje jedinice Zapadni Vardar na pasivni rub Adrije i stvaranjem ofiolitskog mélangea u njenoj podini (d na slici 10). Početak subdukcije i konzumacija oceanske kore Neothetysa potpomognuta je otvaranjem Alpskog Thetysa, koji i sam biva konzumiran i zatvoren već do kraja donje krede napredovanjem Dacije (nešto raniji paleogeografski položaj Alpskog Thetysa i Dacije vidljiv je na slici 9).

Napredovanjem kolizije Adrije s Euroazijom krajem donje krede dolazi do rasjedanja rubnog dijela Adrije na koji je ranije navučen ofiolitni pojas (f na slici 10) te tako do kraja krede redom nastaju navlake Jadar-Kopaonik i Drina-Ivanjica. Do kraja krede Adrija ploča je i dalje odvojena od Euroazije manjim Sava oceanskim prostorom čija subdukcija izaziva magmatizam i stvaranje Sava Zone (h na slici 10).

Nastavkom kompresije u paleogenu nastaje Durmitor navlaka te se jedinice Pred-Krš i Bosanski fliš navlače na jedinicu Visoki Krš. Konačnom kolizijom Adrija ploče s Euroazijom sredinom eocena Sava bazen biva zatvoren, a njegove stijene obducirane na rub Adrije gdje danas čine granicu Dinarida i Panonskog bazena. Vrhunac kolizije događa se krajem oligocena i u miocenu kada se jedinica Visoki Krš navlači na jedinicu Dalmacija krš, stiskajući Budva-Cukali zonu između, te kada nastaju Dinaridi i njihove kompleksne tektonske strukture. Krajem neogena dolazi do promjene stresa te se neke naslijeđene strukture reaktiviraju u transpresijskom režimu (npr. rasjed Split-Karlovac, reverzni rasjedi u zoni suture Dinarida s Europom).

Triassic - Jurassic boundary

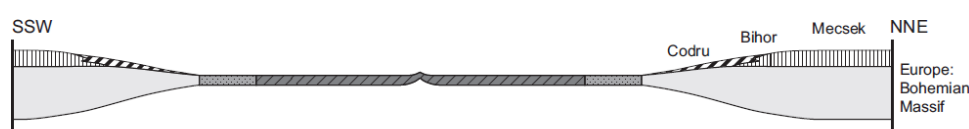
a) NW Dinarides - Tisza - Bohemian massif (I)



approximate orientations of the schematic section sketches in respect to the present-day Carpathian embayment

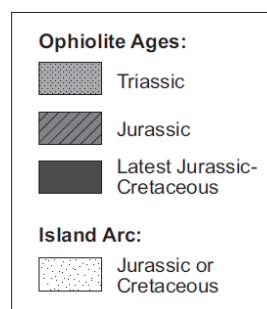
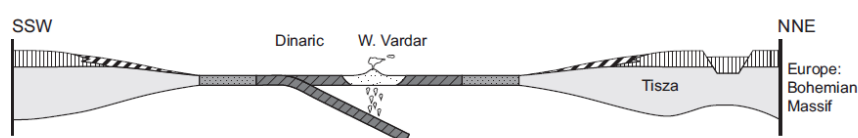
Early Jurassic

b) NW Dinarides - Tisza - Bohemian massif (I)



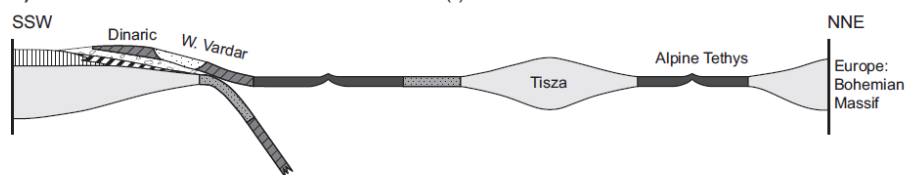
early Middle Jurassic

c) NW Dinarides - Tisza - Bohemian massif (I)

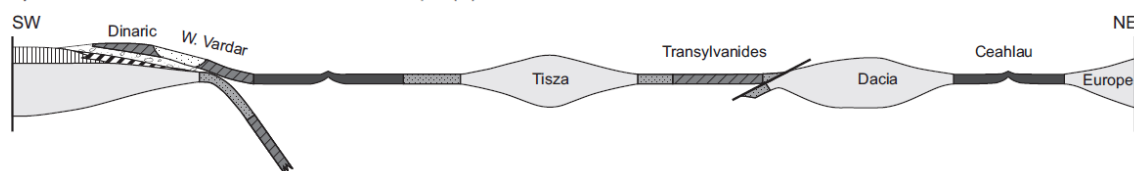


latest Jurassic

d) NW Dinarides - Tisza - Bohemian massif (I)

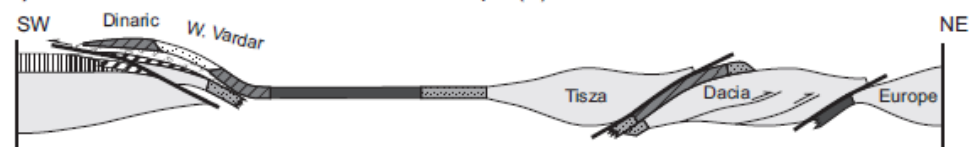


e) central Dinarides - Tisza - Dacia - Europe (II)



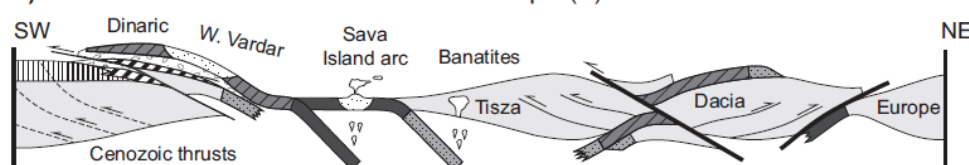
late Early Cretaceous

f) central Dinarides - Tisza - Dacia - Europe (II)



Late Cretaceous

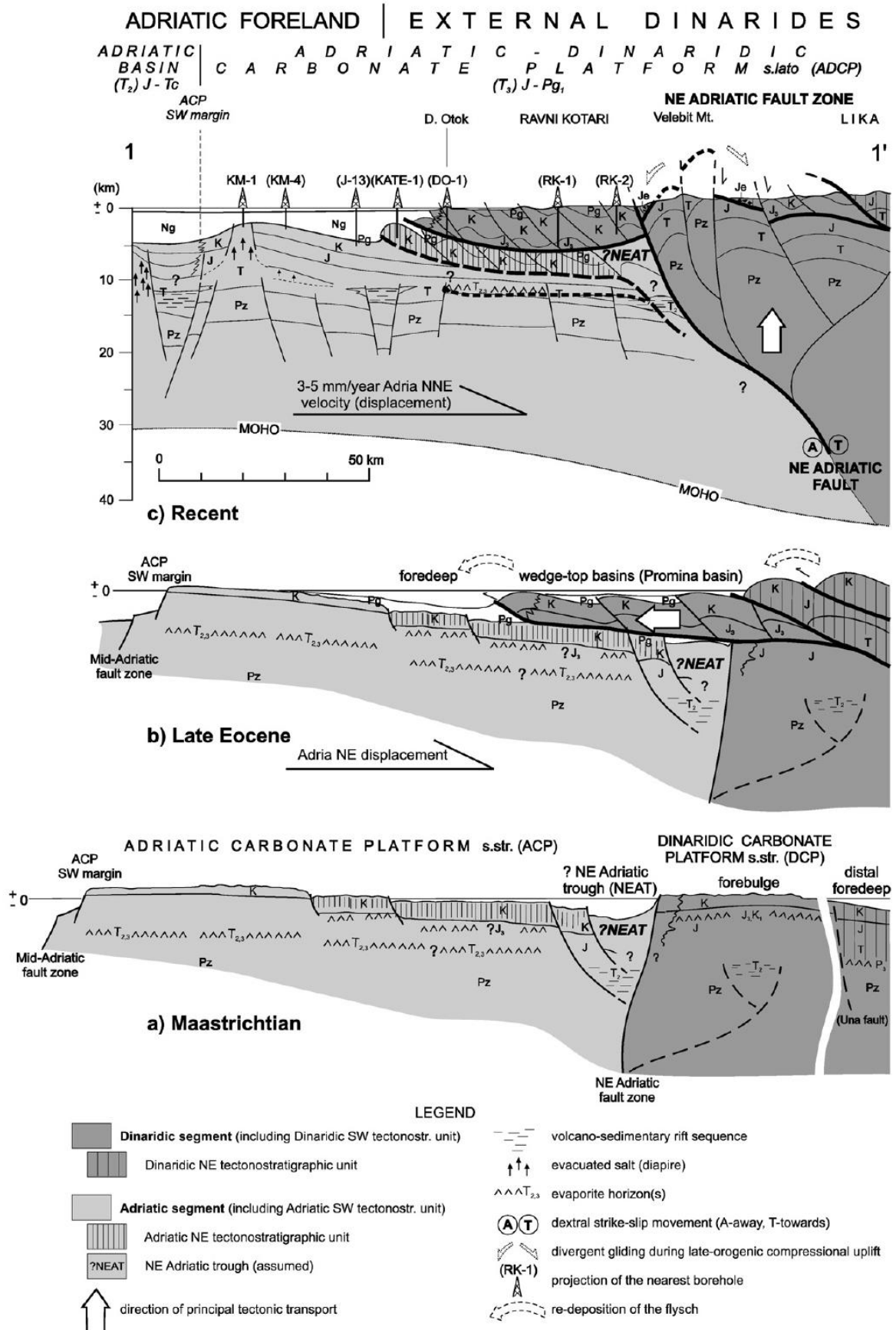
h) central Dinarides - Tisza - Dacia - Europe (II)



Slika 10: Shematski prikaz tektonskih ploča koji pokazuje evoluciju Alpe-Karpati-Dinaridi sistema prije kenozoika (Schmid et al., 2008).

Sedimentni zapis stijena koje danas nalazimo u Dinaridima odražava tektonske događaje koje su prošle. Tako je tokom mezozoika zabilježeno više faza emerzije i transgresije na AdCP što je, osim eustatskih promjena razine mora u nekim slučajevima, odraz tektonike.

Taloženje fliških i prominskih naslaga koje danas nalazimo u području Ravnih Kotara također je odraz tektonske aktivnosti. Obduciranjem ofiolitne Vardar Zone, kao i rasjedanjem i obduciranjem jedinica ruba Adrije jedne na drugu dolazi do zadebljanja kore, a samim time i povećanja njene težine. To dovodi do subsidencije navučenog područja, a samim time i subsidencije područja neposredno ispred navlake i stvaranja taložnog bazena u kojem se taloži fliš (*foredeep* na slici 11). Subsidencija ispred samog čela navlake nadoknađena je emerzijom distalnog dijela područja ispred navlake, tj. stvaranjem izdignuća (*forebalge*, slika 11). Progradacijom navlake područje ispred nje biva izdignuto pa zatim potopljeno, pa još distalnije područje biva izdignuto pa potopljeno i tako dalje. Ovaj proces jedan je od razloga transgresije i regresije platforme tokom krede i kenozoika. Na slici 11 također je vidljivo zatvaranje unutarplatformnog korita Budva-Cukali zone (NEAT na slici) navlačenjem jedinice Visoki Krš.



Slika 11: Shematski prikaz orogenetske evolucije Dinarida (Korbar, 2009).

7. Metoda i materijal

7.1 Analogno modeliranje u geologiji

Prvi dokumentirani pokus analognog modeliranja 1812. godine izvodi Sir James Hall te ga predstavlja Royal Society-u Edinburgh-a, a prve publicirane radove modeliranih geoloških struktura nastalih tokom kompresije objavljuju Cadell 1890. god. i Willis 1893. god (Koyi, 1997). Oni su izradili aparaturu za čisto smicanje kako bi proučavali bore i rasjede (slika 12), a njihovi pokusi koje izvode prije više od stoljeća ilustriraju mogućnosti koje pruža analogno modeliranje za razumijevanje geoloških struktura. Američki geolog M. King Hubert postavlja 1937 godine glavne principe analognog modeliranja u geologiji definirajući tri tipa sličnosti modela i stvarnog svijeta: geometrijsku, kinematičku i dinamičku. Kako bi bili geometrijski slični, dužine u modelu i prirodnom primjeru moraju biti proporcionalne i kutovi jednaki. Kako bi bili kinematički slični, moraju biti geometrijski slični, a vrijeme potrebno za razvoj događaja mora biti proporcionalno. Dinamička sličnost zahtjeva da sile koje djeluju na točku u modelu budu proporcionalne onima u odgovarajućoj točki u prirodi (Koyi, 1997).



Slika 12: Cadell (1888) demonstrira svoju aparaturu za čisto smicanje, u kojoj je deformirao slojeve gline kako bi proučavao kompresijske strukture (Koyi, 1997).

Withjack i suradnici u modelima od gline proučavaju efekte oblika rasjeda i njihove distribucije u krovinskom krilu glavnog normalnog rasjeda. Njihov eksperimentalni rad pokazuje kako oblik glavnog rasjeda utječe na stil sekundarnog rasjedanja i boranja (Withjack et al., 1995).

Storti i McClay (1995) analognim modelima ispituju utjecaj sintektonske sedimentacije na rast Coulombovih rasjednih klinova. Njihovi rezultati pokazuju kako povećanje sintektonske sedimentacije dramatično utječe na oblik Coulombovih rasjednih klinova, smanjuje broj rasjednih ljuski, unutarnje skraćivanje i kritično suženje klinova (Storti & McClay, 1995).

Crook et al., (2006) koriste analogne i kompjuterske modele kako bi točno rekonstruirali današnje geološke strukture, od njihove sedimentacije i deformacijske povijesti do današnjeg stanja, i time došli do dodatnih spoznaja o utjecaju njihove povijesti na današnje geomehaničko i hidrogeološko stanje potencijalnih rezervoarskih formacija.

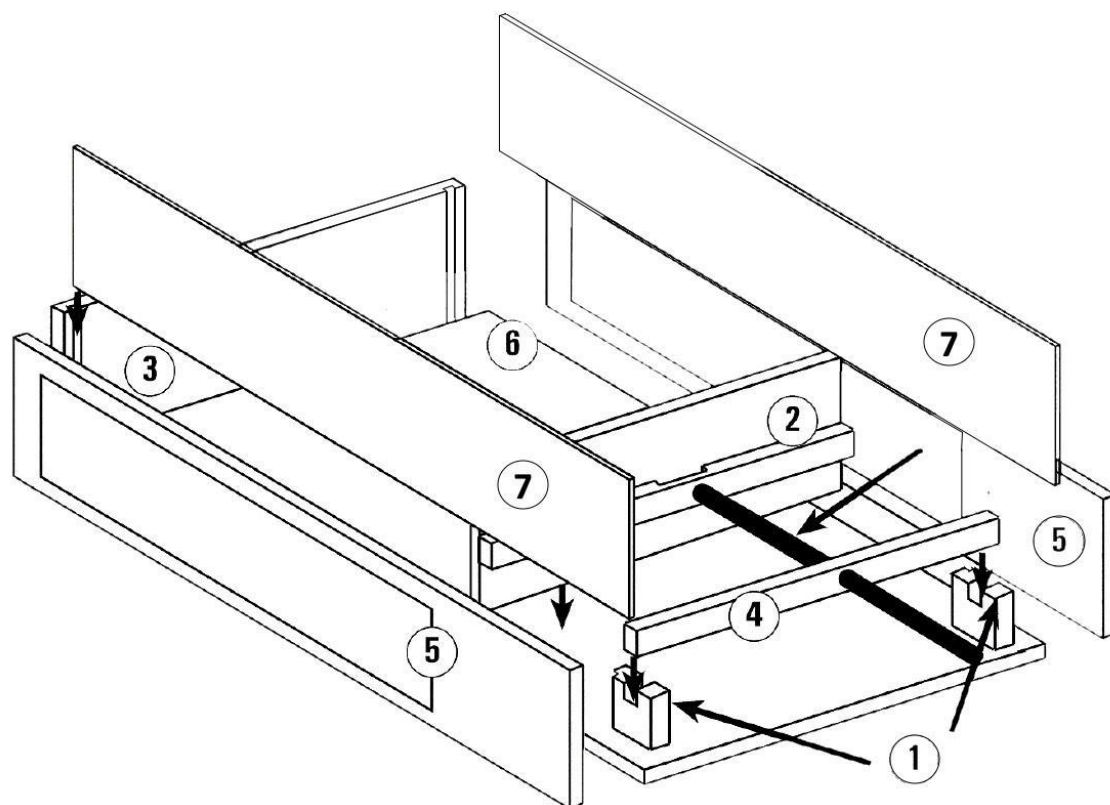
Blašковиć i Aljinović (1981) koriste ilustrativan uzorak s mikrotektonskim elementima iz krovinskog krila reversno-navlačne strukture Ćićarije kako bi prikazali njegovu podudarnost s rasporedom i nastankom makrotektonskih elemenata u širem području, što je također primjer analogne interpretacije deformacijskih struktura.

McClay i White (1995) koriste aparaturu za analogno modeliranje kako bi istražili mehanizam paralelnog i kosog riftinga te detaljno opisali kakve strukture nastaju pod kojim režimom ekstenzije.

Fossen i Gabrielsen (1996) analiziraju tri različita gipsana analogna modela koja pokazuju kako se ekstenzijske strukture veoma slične onima u prirodno deformiranim stijenama mogu reproducirati u laboratoriju na sličnoj skali.

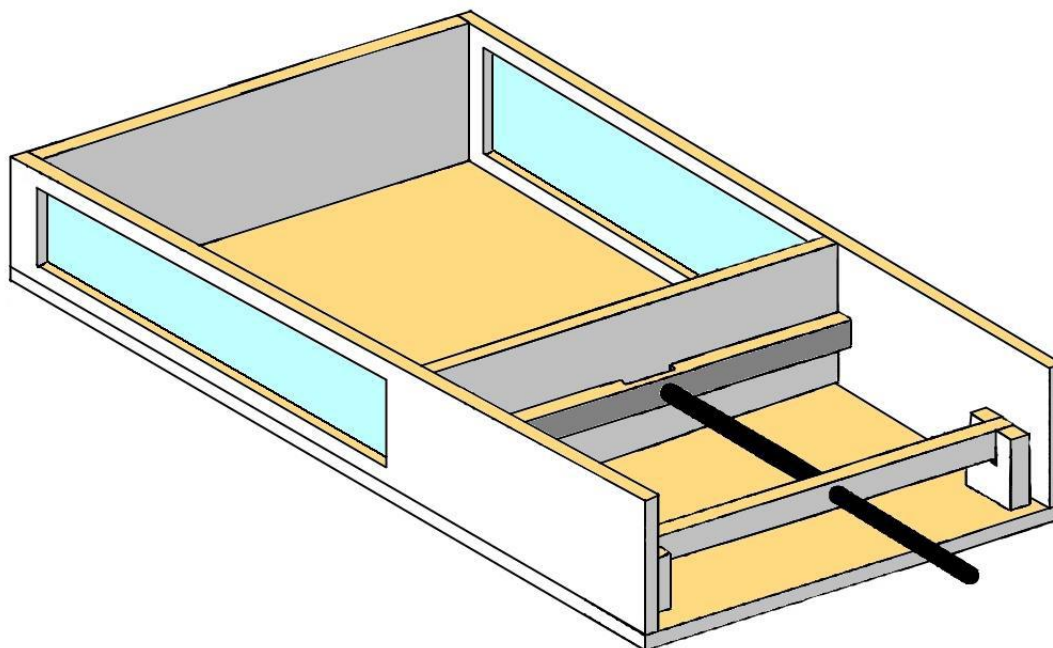
7.2 Konstrukcija aparature

Korištena aparatura, uz manje prilagodbe, izrađena je prema nacrtima koje su dizajnirali Mario del Castello i John Sweeney [1], a izradili su je Borna Lužar-Oberiter i Željko Kastmüller 2013 godine (slika 13).



Slika 13: Konstrukcijski nacrt aparature. Dijelovi: (1) nosači potporne grede navoja, (2) pomični zid, (3) fiksni zid, (4) potporna greda navoja, (5) bočne stranice aparature s prozorom, (6) bazna ploča, (7) bočne stranice od pleksiglasa [1].

Dimenzije nemodificirane aparature iznose: dužina: 90 cm, širina: 49.6 cm, visina: 30 cm. Svi osim pokretnih dijelova spojeni su pod pravim kutovima vijcima kako bi se dobio čvrst i siguran spoj.



Slika 14: Shematski prikaz sastavljene aparature u nemodificiranoj verziji.

Aparatura je dizajnirana tako da se sila, preko navoja i pomičnog zida, prenosi na pijesak položen u raznobojnim slojevima u prostor između pomičnog i fiksnog zida. Aparatura se pokreće ručno okretanjem ručice montirane na navoju. Navoj je preko potporne grede, u kojoj se nalazi vijak, spojen na pomični zid slobodnim spojem kako bi se omogućilo okretanje, te namješten u vodoravan položaj s baznom pločom. Potporna greda montirana je na nosače iste, učvršćene na bočne stranice aparature u kojima je izrezan prozor te montiran pleksiglas kako bi se omogućilo promatranje struktura nastalih u aparaturi tokom pokusa.

Pleksiglas je u aparaturi potrošni dio, te će ga nakon nekog vremena biti potrebno zamijeniti zbog smanjene providnosti kojoj su uzrok ogrebotine nastale mehaničkim djelovanjem zrnaca pijeska usred njihova pomicanja tokom izvođenja pokusa. Pomični dijelovi aparature trebaju biti podmazani kako bi im se omogućilo što lakše gibanje. Na slici 14 prikazana je shema nemodificirane aparature.

U dizajnu izvorne aparature uočeni su nedostaci koji su otežavali izvođenje pokusa te interpretaciju dobivenih rezultata. Te nedostatke bilo je potrebno ukloniti kako bi se pokusi izveli što jednostavnije, te kako bi se dobiveni rezultati mogli precizno interpretirati.

Glavni nedostatak izvorne aparature bio je naginjanje pomičnog zida tokom provođenja pokusa što je dovelo do asimetrične raspodjele sile na pijesak i većeg trenja pomičnog zida sa baznom pločom i stranicama aparature (slika 15).

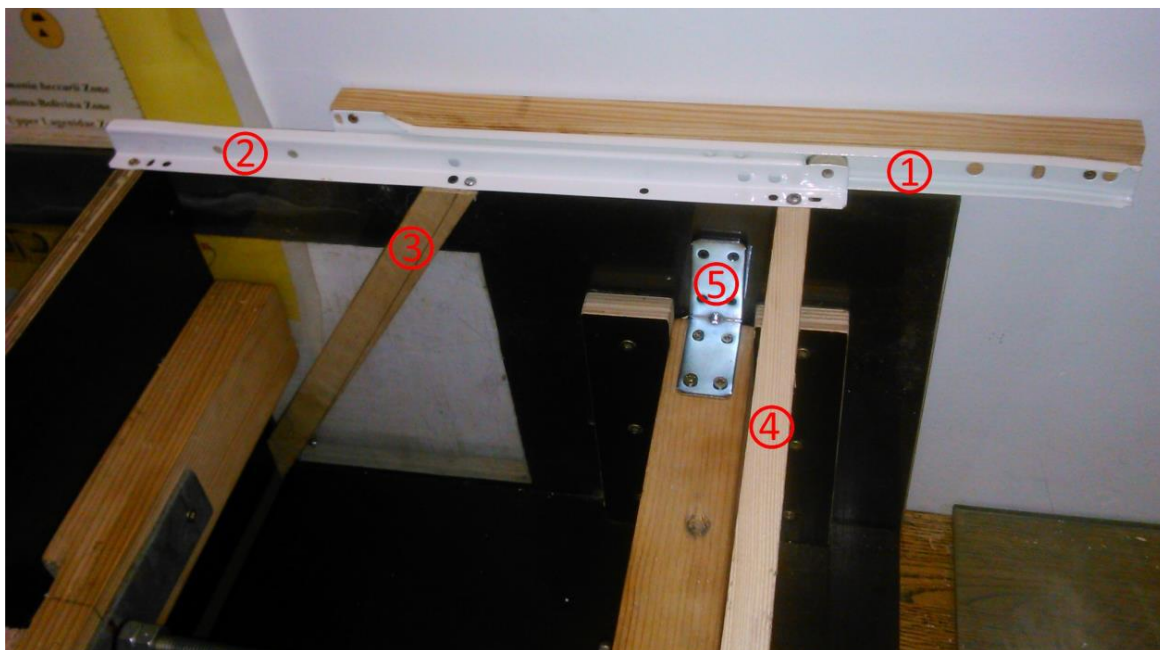


Slika 15: Jedan od pokusa iz 2015. Uočljivo je naginjanje pomičnog zida kao nedostatak izvornog dizajna aparature.

Povećano trenje uzrokovalo je vibracije cijele aparature što je onemogućavalo jasno snimanje tijekom izvođenja pokusa.

7.3 Modifikacija aparature

Nedostatci uočeni u radu nemodificirane aparature uklonjeni su ugradnjom sustava vodilica, koji se sastoji od fiksne i pomične vodilice, pričvršćene na stranice aparature i gornji dio pomičnog zida čime se postiglo pravocrtno kretanje pomičnog zida bez trenja s baznom pločom. Radi dodatne stabilnosti pomičnih vodilica i sprečavanja njihovog savijanja pod pritiskom, između njih i pomičnog zida ugrađeni su kutni oslonci koji rasterećuju pomične vodilice i silu prenose na pomični zid. Također, između dvije pomične vodilice ugrađena je traverza koja sprečava iskakanje pomičnih vodilica iz onih fiksnih i osigurava njihovo pravocrtno gibanje (slika 16).



Slika 16: Modifikacije aparature: (1) fiksna vodilica, (2) pomična vodilica, (3) kutni oslonac, (4) traverza, (5) dodatni spoj potporne grede navoja sa stranicom aparature.

Nedovoljno čvrst spoj potporne grede navoja sa stranicama originalne aparature dovodio je klimanja stranica, a samim time i do neželjenih vibracija tokom provođenja pokusa. Kako bi se riješio ovaj problem ugrađen je željezni kutnik koji je učvrstio spoj potporne grede navoja i stranica aparature i otklonio klimanje stranica. Problem istjecanja pijeska iza stranica pomičnog zida smanjen je zadebljanjem njegovih stranica ubacivanjem

sloja tanke meke spužve, no nije u potpunosti uklonjen.

Za izvedbu pokusa s maksimalnom kompresijom u centru postavljenog materijala bilo je potrebno dodatno modificirati aparaturu kako bi se postigli želeni efekti. Aparatura je dodatno modificirana izradom seta limova koji su omogućili najveću kompresiju u centru postavljenog materijala, a ne samo uz pomični zid. Set limova sastoji se od dva dijela (slika 17), a korišteni su u trećem (P3), četvrtom (P4) i petom (P5) pokusu. Limovi su konstruirani tako da se nalaze ispod cijele površine postavljenog materijala i montirani tako da je jedan pričvršćen na fiksni zid, a drugi, koji zalazi pod prvi, za pomični zid.



Slika 17: Set limova postavljen u aparaturu kako bi se dobio efekt maksimalne kompresije u centru postavljenog materijala, a ne samo ispred pomičnog zida.

7.4 Materijali korišteni u pokusima

U pokusima su korišteni slijedeći materijali: kvarcni pijesak, brašno i kava. U prvom pokusu kompresije (P1) za simulaciju stijena korišten je kvarcni pijesak iste veličine zrna obojen u različite boje kako bi se mogle promatrati nastale strukture. U drugom pokusu kompresije (P2) na dno materijala postavljen je sloj pijeska na kojem dalje

slijede slojevi brašna i kave u cikličkoj izmjeni. U trećem pokusu kompresije (P3) korišten je kvarcni pijesak iste veličine zrna u raznim bojama te jedan reporni sloj kave u sredini postavljenog materijala. U četvrtom pokusu kompresije (P4) korišteni su brašno i kava u cikličkoj izmjeni te je na vrh postavljen vrlo tanki sloj pijeska kako bi proučavanje površinskih struktura bilo jednostavnije. U petom pokusu kompresije (P5) u cikličkoj izmjeni postavljeni su slojevi kave te slojevi koji se sastoje od pijeska na lijevoj strani i brašna na desnoj. Slojevi su ovako postavljeni s ciljem simuliranja transgresije i regresije mora gdje se u fazi transgresije cijelom dužinom postavljenog materijala talože jednaki slojevi (u ovom slučaju kave), a u vrijeme regresije na jednoj strani talože se marinski sedimenti (pijesak), a na drugoj kopneni (brašno).

Pijesak korišten u pokusima je kvarcni pijesak kupljen u trgovini građevinskim materijalom, izvorno svijetlo smeđe do žućkaste boje, obojan je u plavo i crveno građevinskim pigmentom za akrilne boje za unutarnje uređenje uz posredstvo vode, te osušen u peći. Brašno korišteno u pokusima je meko brašno kupljeno u trgovini prehrambenih proizvoda, kao i kava. Radna pretpostavka bila je da će se pri različitom postavljanju pokusa kroz njegov tijek stvarati različite strukture, zbog čega su, osim dodavanja limova, korišteni i različiti materijali.

Veličina zrna svih korištenih materijala prikazana je u tablici 1.

Tablica 1: Granulacija materijala korištenog u pokusima

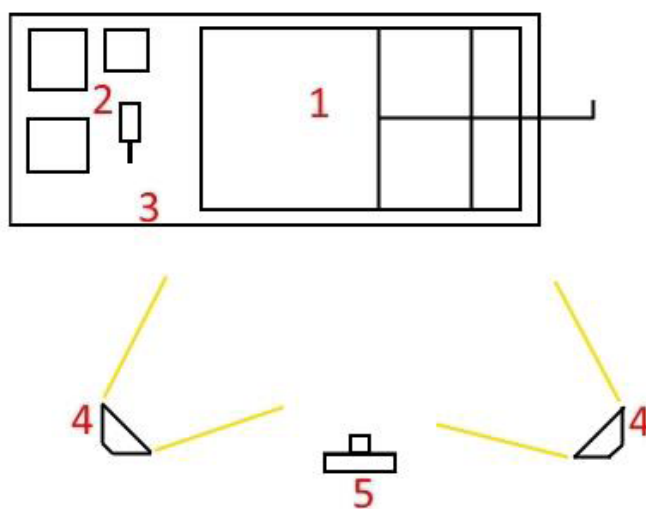
| Promjer zrna | Materijal | | |
|--------------|-------------|------------|----------|
| | Pijesak [%] | Brašno [%] | Kava [%] |
| 0,930 | - | 0,07 | 0,11 |
| 0,466 | 0,715 | 0,45 | 43,14 |
| 0,466 | 33,68 | 4,04 | 48,95 |
| 0,122 | 54,12 | 71,13 | 7,5 |
| 0,063 | 10,26 | 23,2 | 0,3 |
| < 0,063 | 1,225 | 1,11 | - |

7.5 Postavljanje i provedba pokusa

Postavljanje pokusa prvi je korak u njegovom izvođenju, a isto tako je i najutjecajniji na krajnji ishod pokusa. Pri izvođenju pokusa korišten je prosijani kvarcni pijesak, kava i brašno kako bi su sustav uvela asimetrija granulacije i pokušalo simulirati različite vrste stijena u zemljinoj litosferi.

Aparatura je postavljena na stol i fiksirana kako bi se izbjegle vibracije tokom provođenja pokusa, a samim time i osigurala bolja kvaliteta snimke pokusa. Tijekom postavljanja pokusa pijesak, kava i brašno sijani su ručno te poravnani pomagalima kako bi se dobili što ravniji slojevi. Nastojalo se da slojevi budu što tanji i raznolikiji kako bi nastale strukture bile bolje uočljive. Problem pri postavljanju pokusa činilo je vrlo brzo slijeganje brašna i kave te je dobivanje potpuno ravnih slojeva bilo vrlo teško, a u nekim pokusima nije ni postignuto. Izvođenje svih pokusa trajalo je dvije minute kako bi mogući utjecaj vremena na ishode pokusa bio jednak za sve izvedene.

Pokusi su snimani fotoaparatom fiksno postavljenim pred aparaturom tako da snima prozor na bočnoj stranici aparature. Aparatura je dodatno osvijetljena s dva reflektora kako bi se osigurala kvalitetnija snimka, a reflektori su postavljeni tako da nema odsjaja od prozora aparature. Tlocrt postava aparature vidljiv je na slici 18.

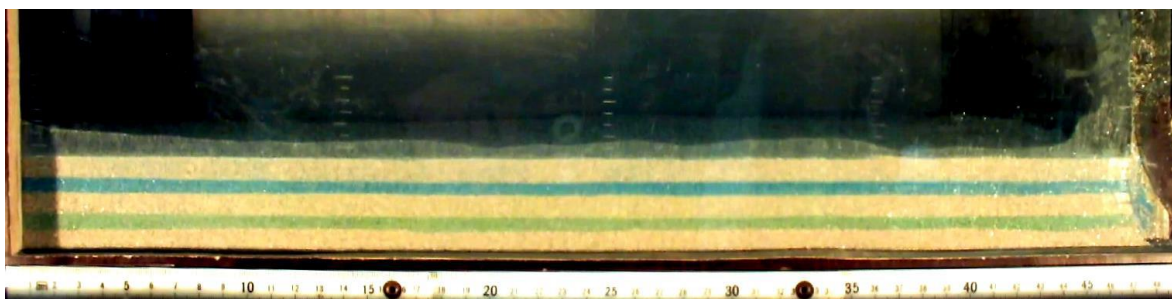


Slika 18: Tlocrt postava aparature za izvođenje pokusa. (1) aparatura, (2) materijal, (3) stol na kojem je postavljena aparatura, (4) reflektori, (5) fotoaparat.

7.5.1 Postavljanje prvog pokusa kompresijske tektonike (P1)

Pri postavljanju P1 korišten je isključivo pijesak jednake granulacije, i to smeđe-sive, zelene i plave boje. Postavljeno je ukupno pet slojeva, i to idući od najnižeg prema najvišem: sloj smeđe-sivog pijeska, sloj zelenog pijeska, sloj smeđe-sivog pijeska, sloj plavog pijeska te sloj smeđe-sivog pijeska. Slojevi smeđe-sivog pijeska su prosječne debljine 10 mm, dok su slojevi zelenog i plavog pijeska prosječne debljine 5 mm.

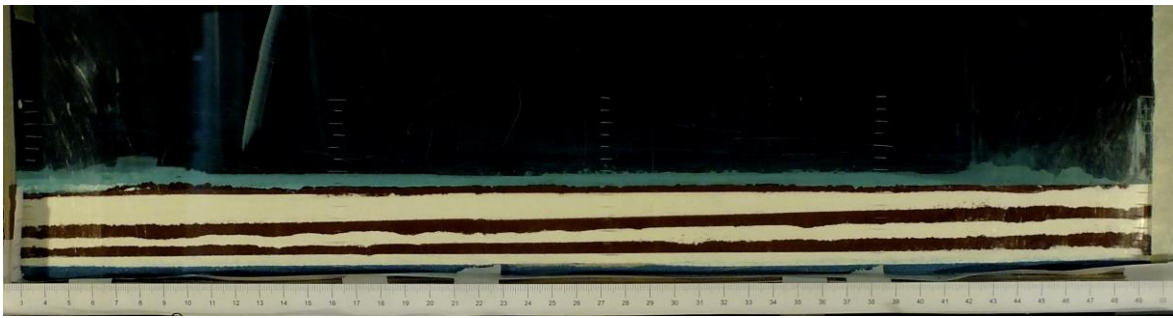
Ukupna visina postavljenog materijala iznosila je prosječno 40 mm, dok je njegova dužina iznosila 480 mm. Izgled početne postave pokusa prikazan je na slici 19.



Slika 19: Postava prvog pokusa kompresijske tektonike (P1).

7.5.2 Postavljanje drugog pokusa kompresijske tektonika (P2)

Pri postavljanju P2 korišteni su pijesak, brašno i kava. Postavljeno je ukupno sedam slojeva. Na samo dno materijala postavljen je sloj plavog pijeska prosječne debljine 3,5 mm kako bi se ispitala mogućnost razvoja dekolmanskog sloja u tom materijalu. Nakon prvog sloja pijeska u cikličkoj izmjeni je postavljeno tri sloja brašna i tri sloja kave. Prva dva sloja kave su prosječne debljine 5 mm, a najviši sloj kave prosječne je debljine 3 mm. Prva dva sloja brašna prosječne su debljina 6,3 mm, a najgornji sloj brašna varira debljinom od 5 mm do 12 mm. Vrlo brzo slijeganje slojeva brašna i kave onemogućilo je postavljanje potpuno ravnih slojeva. Ukupna visina postavljenog materijala prosječno iznosi 35 mm, dok je njegova dužina iznosila 500 mm. Izgled početne postave pokusa vidljiv je na slici 20.

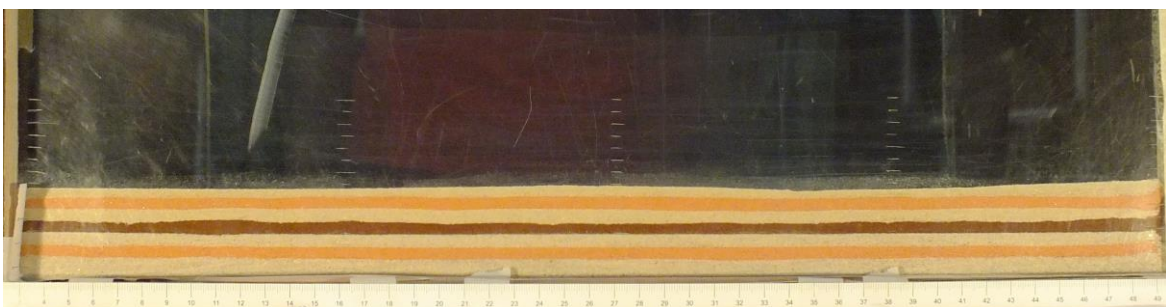


Slika 20: Postava drugog pokusa kompresijske tektonike (P2).

7.5.3 Postavljanje trećeg pokusa kompresijske tektonike (P3)

Pri postavljanju trećeg pokusa kompresijske tektonike (P3) korišteni su pijesak i kava, te je također postavljen set limova kako bi se simulirala maksimalna kompresija u centru materijala te pokušale dobiti strukture kompresije na rasjednoj rampi. Korišten je pijesak jednake granulacije svijetlo-sive i crvene boje. Slojevi svijetlo-sivog pijeska su prosječne debljine 5 do 6 mm, a prosječna debljina slojeva crvenog pijeska iznosi 4 mm. U sredini postavljenog materijala prosijan je reporni sloj kave prosječne debljine 4 mm kako bi nastale strukture bile lakše uočljive. Smatra se kako sloj kave ima premali postotni udio u materijalu te neće utjecati na razvoj struktura.

Ukupna visina postavljenog materijala iznosi 35 mm, a njegova dužina 495 mm. Izgled početne postave pokusa prikazan je na slici 21.

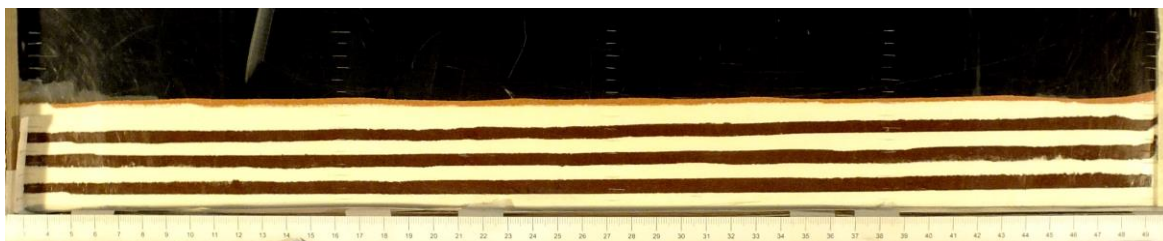


Slika 21: Postava trećeg pokusa kompresijske tektonike (P3).

7.5.4 Postavljanje četvrtog pokusa kompresijske tektonike (P4)

Početna postava četvrtog pokusa kompresijske tektonike P4 vrlo je slična početnoj postavi pokusa P3. Također su postavljeni limovi za simulaciju maksimalne kompresije u centru materijala, no ovaj puta korišteno je brašno i kava kako bi se uvidjelo hoće li različiti materijali utjecati na ishod pokusa. U cikličkoj izmjeni postavljeni su slojevi brašna i kave te je na sam vrh materijala postavljen tanki sloj pijeska kako bi se pojačao kontrast između materijala da bi promatranje površinskih struktura bilo jednostavnije. Slojevi brašna prosječne su debljine 6 mm, dok su slojevi kave prosječne debljine 5 mm. Površinski sloj pijeska prosječne je debljine 3 mm. Uzevši u obzir iskustvo iz ranijih pokusa vezano za slijeganje brašna i kave materijal je postavljen nešto viši u odnosu na P3, računajući da će se njegova visina slijeganjem smanjiti te da nerazmjer visina u pokusima neće utjecati na njihovu usporedbu.

Ukupna visina postavljenog materijala iznosi 45 mm, a njegova dužina 495 mm. Izgled početne postave pokusa prikazan je na slici 22.



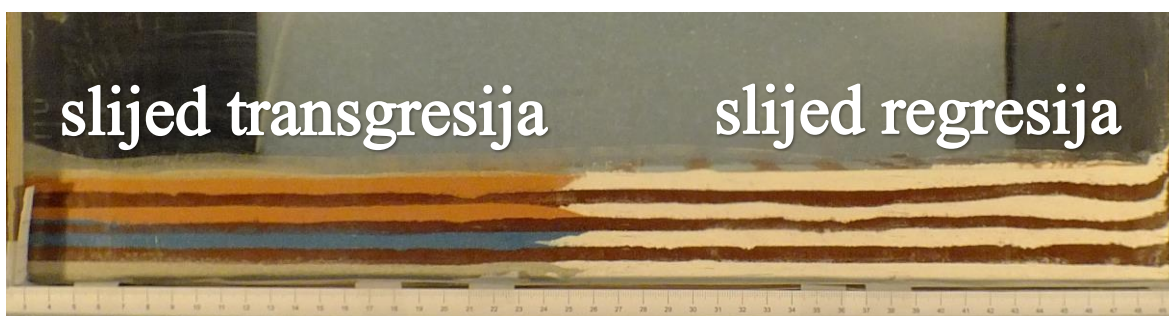
Slika 22: Postava četvrtog pokusa kompresijske tektonike (P4).

7.5.5 Postavljanje petog pokusa kompresijske tektonike (P5)

Pokus P5 zamišljen je tako da simulira kompresiju stijena koje sadrže granicu dvaju facijesa, odnosno granicu dvaju različitih bazena. S obzirom na to, u cikličkoj izmjeni postavljeni su sloj pijeska i brašna, na kojem leži sloj kave. Materijal je postavljen tako da simulira regresije i transgresije mora. Slojevi regresije mora sastoje se od pijeska i brašna, gdje je na lijevu stranu materijala postavljen pijesak, a na desnu stranu brašno. Dio sloja

regresije koji se sastoji od pijeska predstavlja marinske sedimente, dok dio koji se sastoji od brašna predstavlja kopnene sedimente, odnosno evaporite. Radi lakše interpretacije, desni dio postavljenog materijala nazvan je slijed regresije, a lijevi dio slijed transgresije (slika 23). Slojevi regresije prosječne su debljine 6 mm. Na sloju regresije leži sloj transgresije koji se sastoji isključivo od kave i predstavlja jednoliku sedimentaciju tokom povećanja razine mora. Slojevi transgresije prosječne su debljine 5 mm. Pri postavi pokusa korišteni su limovi za simulaciju maksimalne kompresije u centru materijala, a granica “facijesa“ postavljena je u blizini granice fiksnog i pomičnog lima.

Ukupna visina postavljenog materijala iznosi 35 mm, a njegova dužina 500 mm. Izgled početne postave pokusa prikazan je na slici 23.



Slika 23: Postava petog pokusa kompresijske tektonike (P5).

7.6 Obrada rezultata

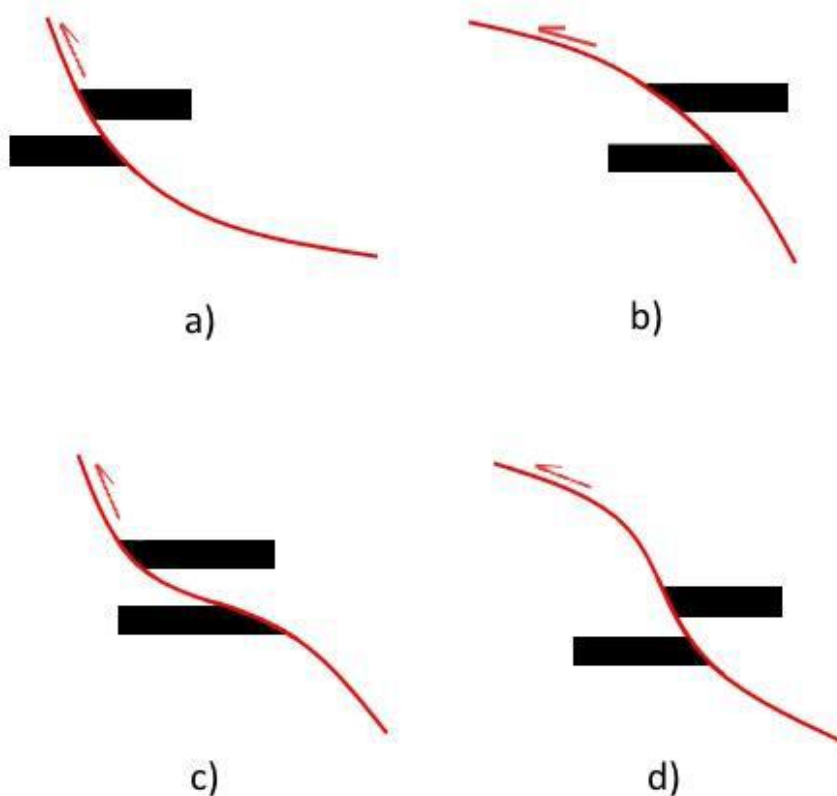
Tijekom provedbe pokusa snimane su fotografije svakih 5mm pomaka pomičnog zida, fotoaparatom fiksno postavljenim tako da snima prozor aparature. Kasnije su odabrane fotografije određenih faza pokusa te interpretirane na računalu. U starijim pokusima sniman je video što se pokazalo loše zbog male kvalitete slike koja se dobije iz snimka. Obrada fotografija rađena je u programu paint.net, a navedeni kutovi nagiba rasjeda su oni koje je program odredio kao prosječan kut linije koja označava rasjed. Nisu posebno naznačavani kutovi nastanka rasjeda jer su vrlo bliski kutovima koji su im pridodani u odabranim opisanim fazama pokusa. Rasjedi su u svim pokusima numerirani po redosljedu njihovog nastanka, dakle rasjed broj 1 je nastao je prvi i nadalje.

8. Rezultati

U ovom poglavlju prikazane su interpretirane slike izvedenih pokusa te su dani kinematički opisi nastalih struktura. Rasjedi su numerirani po redoslijedu nastanka. Nekim rasjedima bilo je vrlo teško odrediti točan redoslijed nastanka jer su se razvijali u gotovo istom trenutku, pa je takvim rasjedima uz brojčanu oznaku bliskog rasjeda dana i slovna oznaka. Slike su snimane svakih 5 mm kompresije tijekom pokusa, a interpretirane su slike svakih 50 mm kompresije.

Svaki pokus prikazan je u sukcesiji na jednoj stranici kako bi razvoj nastanka struktura bio što pregledniji. Uz slike su dani podaci o postotku kompresije.

U tablicama su dani detaljni podaci o nastalim rasjedima. Kut rasjeda je prosječni kut koji je program odredio iscrtanoj liniji koja predstavlja rasjed.

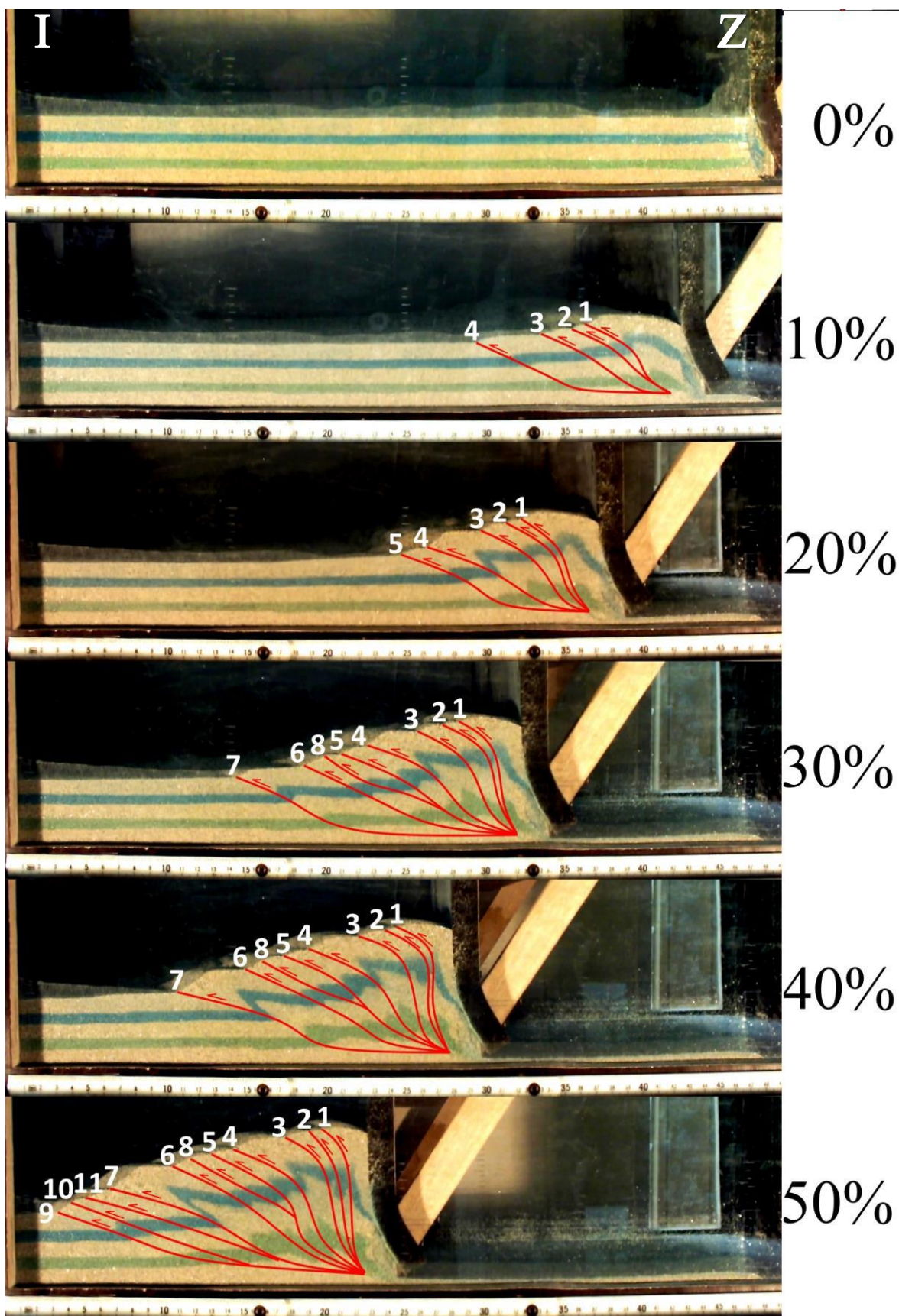


Slika 24: Skice različitih geometrija reversnih rasjeda. a) Listrički rasjed; b) Antilistrički rasjed; c) *Ramp-flat-ramp* rasjed; d) *Flat-ramp-flat* rasjed.

Iako su u tablicama dani samo prosječni kutovi nagiba paraklaza oni su mjereni na više mjesta kako bi se rasjedi što točnije geometrijski opisali. Prema tome, listrički rasjed je onaj čiji se kut nagiba smanjuje idući od površine prema njegovom korijenu, dok je antilistrički rasjed onaj rasjed kojem se kut nagiba povećava idući od površine prema njegovom korijenu (Fossen, 2010). *Ramp-flat-ramp* je onaj rasjed čiji je kut nagiba veći pri površini, zatim se smanjuje i ponovno povećava pred krojenom rasjeda (Fossen, 2010). *Flat-ramp-flat* je tip geometrije rasjeda kod kojeg je kut nagiba pri površini manji, zatim se povećava te ponovno smanjuje pri korijenu. Na slici 24 prikazane su skice rasjeda navedenih geometrija. U tablicama su također dani smjerovi nagiba rasjeda, pri čemu lijeva strana slike predstavlja zapad, a desna istok.

Pretpostavlja se da aktivnost rasjeda odražava promjena njegove dužine. Svi pokusi traju dvije minute pa se smatra da nema utjecaja trajanja pokusa na nastale strukture.

8.1 Prvi pokus kompresijske tektonike P1



Slika 25: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama za P1.

U prvom pokusu kompresijske tektonike (P1) nastaje ukupno 11 rasjeda. Rasjedi nastaju u setovima po prosječno tri rasjeda, a svi nastali rasjedi imaju zajednički korijen. Rasjedi 1, 2 i 3 nastaju blisko jedan drugome i pod sličnim kutom nastanka. Geometrijski, ovi rasjedi su pri nastanku listrički, no njihova geometrija se mijenja vrlo brzo u *flat-ramp-flat*.

Rasjedi 4, 5 i 6 nastaju distalnije od prvog seta rasjeda, također pod sličnim kutom nastanka. Rasjedi u ovom setu su pri nastanku listrički, a njihova se geometrija u daljnjem tijeku pokusa mijenja u *flat-ramp-flat*.

Rasjed 8 nastaje između rasjeda 5 i 6, na otprilike polovici njihove međusobne udaljenosti, pod nešto većim kutom nastanka, te se spaja sa rasjedom 5 pri njegovoj polovici. Geometrija ovog rasjeda pri nastanku je *ramp-flat-ramp* i ne mijenja se tijekom pokusa.

Rasjedi 7 i 9 nastaju kao listrički pod sličnim kutom nastanka, te distalnije od prethodnog seta rasjeda. Geometrija rasjeda 7 napredovanjem kompresije prelazi u *flat-ramp-flat*, dok se geometrija rasjeda 9 ne mijenja do kraja pokusa.

Rasjed 10 nastaje istočno od rasjeda 9, s kojim se spaja, kao listrički.

Rasjed 11 spaja se sa rasjedom 7 od kojeg nastaje zapadno kao antilistrički. Kutovi nastanka rasjeda 10 i 11 veći su od kutova nastanka rasjeda s kojima se spajaju. U zadnjoj fazi kompresije, kutovi nagiba rasjeda 7, 9, 10 i 11 su u gornjem dijelu vrlo bliski, te se navedeni rasjedi međusobno nalaze na približno jednakim udaljenostima.

Svi nastali rasjedi imaju nagib prema istoku, a kut nagiba se povećava povećanjem kompresije. Kutovi nastanka rasjeda se smanjuju kod povećanja postotka kompresije. Gledajući na relativnu dužinu rasjeda, svi nastali rasjedi, osim rasjeda 8, mogu se nazvati glavnima. Rasjed 8 u tom bi slučaju bio sintetički. U pokusu ne nastaju antitetički rasjedi. Detaljni opisi nastalih struktura dani su u tablicama 2, 3, 4, 5 i 6. Visina postavljenog

materijala nakon izvedbe pokusa iznosi 87 mm, odnosno 218% početne visine.

Tablica 2: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 10% za P1.

| P1 | KOMPRESIJA: 10% | | | |
|------------|-----------------|---------|--------------|--------------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Smjer nagiba | Geometrija rasjeda |
| 1 | 68,82 | 38,09 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 2 | 71,76 | 32,06 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 3 | 88,00 | 23,83 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 4 | 124,12 | 14,07 | Istok | Listrički |

Tablica 3: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 20% za P1.

| P1 | KOMPRESIJA: 20% | | | |
|------------|-----------------|---------|--------------|--------------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Smjer nagiba | Geometrija rasjeda |
| 1 | 70,82 | 52,72 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 2 | 74,82 | 45,99 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 3 | 84,12 | 35,93 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 4 | 106,94 | 21,08 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 5 | 122,00 | 16,34 | Istok | Flat-ramp-flat |

Tablica 4: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 30% za P1.

| P1 | KOMPRESIJA: 30% | | | |
|------------|-----------------|---------|--------------|--------------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Smjer nagiba | Geometrija rasjeda |
| 1 | 79,29 | 62,19 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 2 | 82,94 | 55,28 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 3 | 89,29 | 45,23 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 4 | 107,29 | 30,34 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 5 | 118,47 | 24,22 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 6 | 137,41 | 17,57 | Istok | Listrički |
| 7 | 178,24 | 11,33 | Istok | Listrički |
| 8 | 81,29 | 23,81 | Istok | Ramp-flat-ramp |

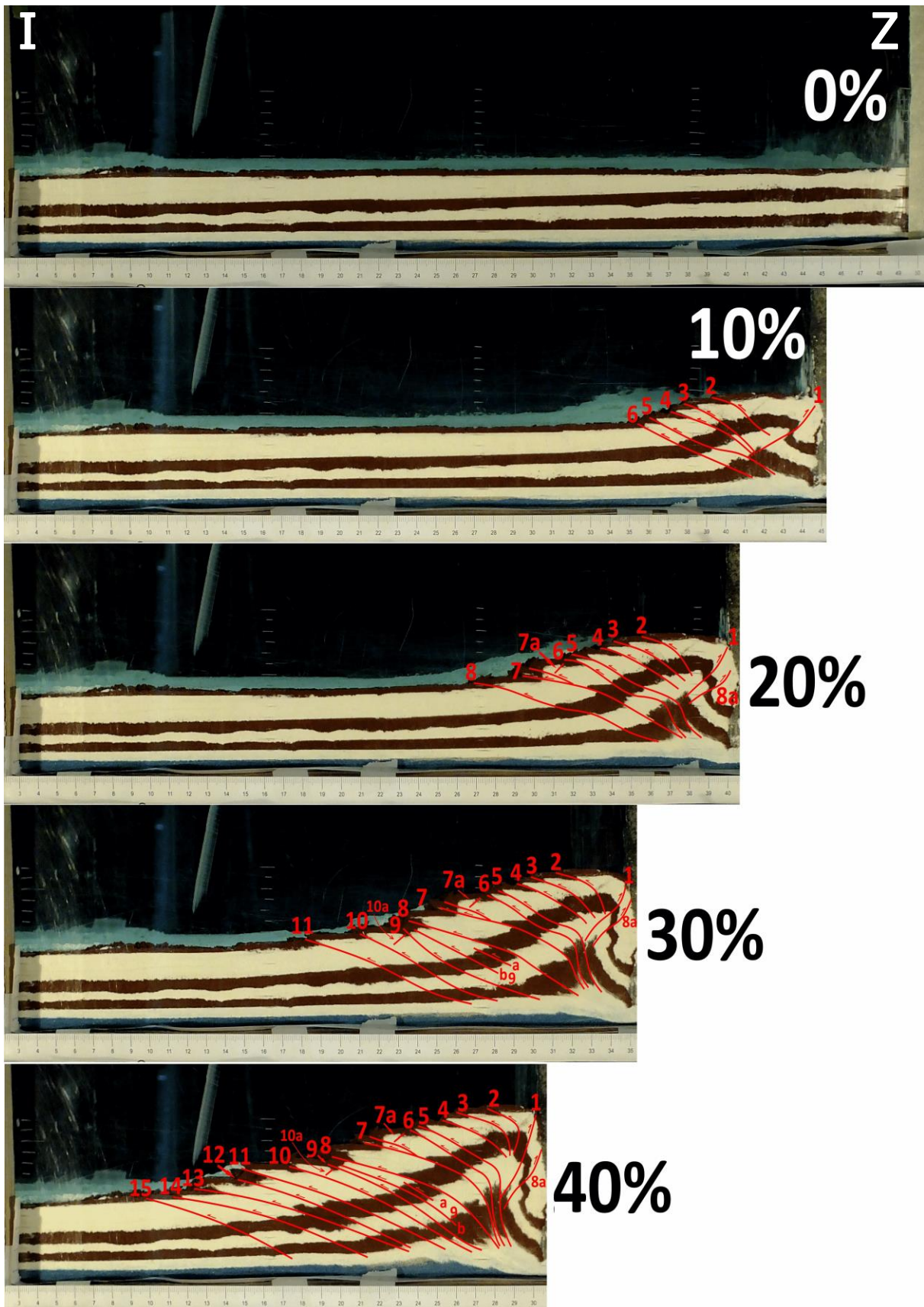
Tablica 5: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 40% za P1.

| P1 | KOMPRESIJA: 40% | | | |
|------------|-----------------|---------|--------------|--------------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Smjer nagiba | Geometrija rasjeda |
| 1 | 88,55 | 67,16 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 2 | 90,36 | 61,98 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 3 | 98,92 | 50,91 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 4 | 111,45 | 35,58 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 5 | 120,84 | 29,56 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 6 | 138,92 | 21,59 | Istok | Listrički |
| 7 | 176,51 | 12,19 | Istok | Ramp-flat-ramp |
| 8 | 72,29 | 23,85 | Istok | Ramp-flat-ramp |

Tablica 6: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 50% za P1.

| P1 | KOMPRESIJA: 50% | | | |
|-----------|-----------------|---------|--------------|--------------------|
| Rasjed br | Dužina [mm] | Kut [°] | Smjer nagiba | Geometrija rasjeda |
| 1 | 92,05 | 72,65 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 2 | 92,05 | 67,75 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 3 | 98,92 | 58,12 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 4 | 114,70 | 41,77 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 5 | 123,61 | 36,53 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 6 | 136,87 | 27,93 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 7 | 168,31 | 17,56 | Istok | Flat-ramp-flat |
| 8 | 74,82 | 28,01 | Istok | Ramp-flat-ramp |
| 9 | 195,66 | 17,83 | Istok | Listrički |
| 11 | 117,47 | 18,28 | Istok | Listrički |
| 12 | 126,27 | 17,13 | Istok | Antilistrički |

8.2 Drugi pokus kompresijske tektonike P2



Slika 26: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P2.

U drugom pokusu kompresijske tektonike (P2) nastaje ukupno 21 rasjed. Glavni rasjedi nastali su odvojeno na otprilike jednakim međusobnim udaljenostima. Geometrije nekih rasjeda su tijekom izvedbe pokusa vrlo komplicirane, pa su u daljnjem tekstu pojednostavljene radi lakšeg opisa.

Rasjed 1 nastaje pod kutom od 35° s nagibom prema zapadu, a napredovanjem kompresije povećava svoj kut nagiba i svoju ukupnu dužinu. Geometrijski gledano nastaje kao *ramp-flat-ramp* rasjed, te generalno gledano ne mijenja geometriju tokom pokusa.

Rasjed 2 nastaje pod kutom od $29,38^\circ$ s nagibom prema istoku. Pri 20% kompresije mijenja geometriju iz početne *ramp-flat-ramp* u antilistričku. Njegova dužina se smanjuje napredovanjem kompresije.

Rasjed 3 nastaje pod kutom od $30,71^\circ$ sa nagibom prema istoku te kroz cijelo trajanje kompresije ostaje antilistrički. Njegova dužina se smanjuje napredovanjem kompresije. Kut nagiba mu se u početku smanjuje, a na kraju kompresije njegov kut nagiba je veći nego početni.

Rasjed 4 nastaje pod kutom od $24,31^\circ$, ali se kut nagiba pri povećanju kompresije povećava za nekoliko stupnjeva. Njegova paraklaza nagnuta je prema istoku, a početna antilistrička geometrija se zadržava tijekom kompresije. Njegova dužina se napredovanjem kompresije smanjuje.

Rasjed 5 nastaje pod kutom od $21,51^\circ$ i napredovanjem kompresije se ustrmljuje do $48,36^\circ$. Nagnut je prema istoku, a geometrija se napredovanjem kompresije mijenja iz *ramp-flat-ramp* u *flat-ramp-flat* i obrnuto. Njegova dužina varira tijekom izvedbe pokusa, no krajnja dužina je veća nego početna.

Rasjed 6 nastaje nagnut prema istoku s kutom nastanka od $22,10^\circ$, ali se tokom kompresije ustrmljuje. Nastaje kao ravan rasjed te već pri kompresiji od 20% njegova geometrija postaje *ramp-flat-ramp* i kroz daljnji tijek pokusa je vrlo komplicirana.

Krajnja dužina rasjeda 6 veća je nego početna.

Rasjed 7 nastaje pri 20% kompresije pod kutom od $18,69^\circ$ s paraklazom nagnutom prema istoku. Vrlo brzo nakon nastanka glavnog rasjeda u njegovom vršnom djelu razvija se sintetička grana rasjeda 7. I glavni rasjed i njegova grana kroz cijeli tijek pokusa imaju antilistričku geometriju. Rasjed 7 tokom cijelog pokusa povećava svoju duljinu. Rasjed 7a nastaje između rasjeda 6 i 7 suprotne orijentacije nagiba od navedenih. Nastaje kao ravan i takav ostaje tijekom pokusa ne mijenjajući puno svoj kut nagiba, dok se njegova ukupna duljina povećava napredovanjem kompresije.

Rasjed 8 nastaje pod kutom od $15,39^\circ$ s paraklazom nagnutom prema istoku. Povećanjem kompresije ustrmljuje se za desetak stupnjeva, a njegova geometrija iz početne *ramp-flat-ramp* prelazi u antilistričku. Napredovanjem kompresije povećava svoju ukupnu duljinu. Rasjed 8a nastaje kao par rasjedu 1, nagnut prema zapadu i pod kutom nastanka od $46,76^\circ$. Napredovanjem kompresije ustrmljuje svoj kut, povećava duljinu, a početnu *ramp-flat-ramp* geometriju ne mijenja.

Rasjed 9 nastaje nagnut prema istoku s početnim kutom nagiba $24,33^\circ$ koji se neznatno ustrmljuje pri kraju pokusa. Njegova početna *ramp-flat-ramp* geometrija ostaje ista, a dužina mu se povećava. Rasjedi 9a i 9b nastaju gotovo istovremeno, između rasjeda 8 i 9, sa smjerom nagiba prema istoku. Oba nastaju kao ravni, a jedino rasjed 9b mijenja svoju geometriju u antilistričku. Kut oba rasjeda se kroz tijek pokusa povećava.

Rasjed 10 nastaje pod kutom od $22,93^\circ$ i gotovo da ne mijenja kut nagiba tokom pokusa. Nastaje orijentiran prema istoku i povećava dužinu napredovanjem kompresije. Rasjed 10a nastaje između rasjeda 9 i 10 njima suprotno orijentiran, te kroz tijek pokusa ne mijenja geometriju.

Rasjed 11 nastaje pod kutom od $18,65^\circ$ i neznatno se ustrmljuje tokom pokusa, a njegova ukupna duljina se povećava. Nastaje nagnut prema istoku, a njegova početna

antilistrička geometrija ostaje ista kroz cijeli pokus.

Rasjedi 12, 13, 14, i 15 nastaju u zadnjoj fazi kompresije nagnuti prema istoku kao antilistrički.

Rasjedi 1 i 8a, nagnuti prema zapadu, izlaze na površinu te se smatraju glavnim rasjedima i mogu se nazvati *back-thrust* rasjedima. Rasjedi 7a i 10a mogu se nazvati antitetičkim, a rasjedi 9a i 9b sintetičkim jer ni jedan od navedenih ne izlazi na površinu. Visina materijala na kraju izvedbe pokusa u njegovoj najvišoj točki iznosi 88 mm, odnosno 251% početne visine. Detaljni opisi nastalih struktura dani su u tablicama 7, 8, 9, 10.

Tablica 7: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 10%.

| P2 | Kompresija 10% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 3,61 | 35,00 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 2 | 3,53 | 29,38 | istok | flat-ramp-flat |
| 3 | 4,35 | 30,71 | istok | antilistrički |
| 4 | 4,69 | 24,31 | istok | antilistrički |
| 5 | 7,04 | 21,51 | istok | ramp-flat-ramp |
| 6 | 6,41 | 22,10 | istok | ravan |

Tablica 8: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 20%.

| P2 | Kompresija 20% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 31,29 | 45,90 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 2 | 32,49 | 34,20 | istok | antilistrički |
| 3 | 41,06 | 25,75 | istok | antilistrički |
| 4 | 44,24 | 24,27 | istok | antilistrički |
| 5 | 80,41 | 30,80 | istok | flat-ramp-flat |
| 6 | 74,61 | 30,94 | istok | ramp-flat-ramp |
| 7 | 86,96 | 18,69 | istok | antilistrički |
| grana 7 | 23,59 | 17,30 | istok | antilistrički |
| 7a | 6,27 | 42,58 | zapad | ravan |
| 8 | 98,39 | 15,39 | istok | ramp-flat-ramp |
| 8a | 27,00 | 34,85 | zapad | ramp-flat-ramp |

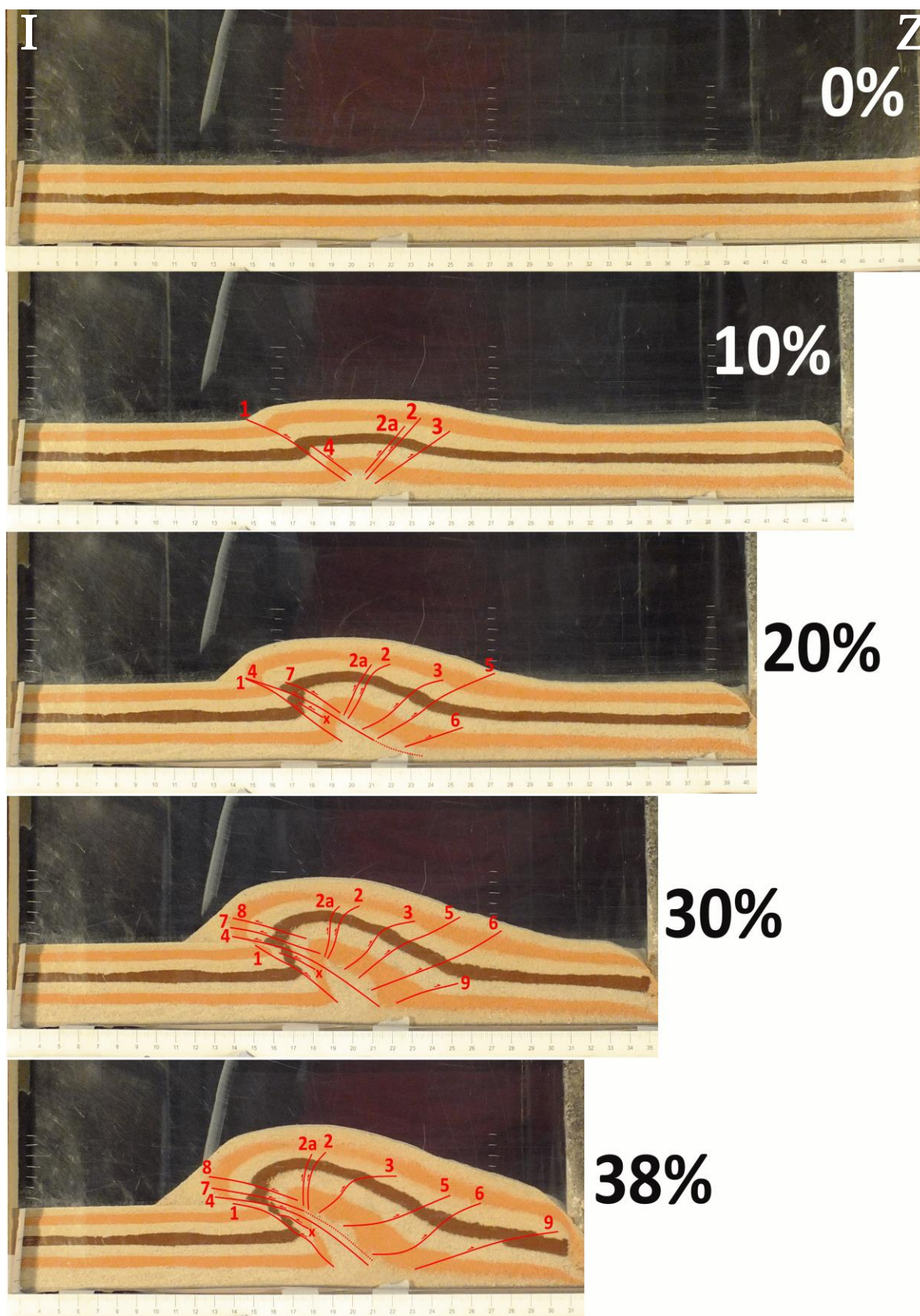
Tablica 9: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 30%.

| P2 | Kompresija 30% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 32,92 | 49,12 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 2 | 34,02 | 36,09 | istok | antilistrički |
| 3 | 38,90 | 29,00 | istok | antilistrički |
| 4 | 40,46 | 26,40 | istok | antilistrički |
| 5 | 75,80 | 41,30 | istok | ramp-flat-ramp |
| 6 | 71,92 | 41,62 | istok | ramp-flat-ramp |
| 7 | 86,99 | 31,62 | istok | antilistrički |
| grana 7 | 25,39 | 19,31 | istok | antilistrički |
| 7a | 7,08 | 37,07 | zapad | ravan |
| 8 | 96,21 | 20,25 | istok | antilistrički |
| 8a | 29,86 | 46,76 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 9 | 78,22 | 24,33 | istok | listrički |
| 9a | 20,91 | 22,31 | istok | ravan |
| 9b | 47,67 | 24,32 | istok | ravan |
| 10 | 77,53 | 22,93 | istok | listrički |
| 10a | 7,63 | 36,30 | zapad | ravan |
| 11 | 91,05 | 18,65 | istok | antilistrički |

Tablica 10: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 40%.

| P2 | Kompresija 40% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 42,71 | 63,64 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 2 | 31,54 | 56,34 | istok | antilistrički |
| 3 | 38,55 | 35,23 | istok | antilistrički |
| 4 | 38,64 | 26,66 | istok | antilistrički |
| 5 | 79,25 | 48,36 | istok | flat-ramp-flat |
| 6 | 79,63 | 47,86 | istok | flat-ramp-flat |
| 7 | 93,83 | 38,28 | istok | antilistrički |
| grana 7 | 36,68 | 19,99 | istok | antilistrički |
| 7a | 6,73 | 36,43 | zapad | ravan |
| 8 | 100,70 | 25,58 | istok | antilistrički |
| 8a | 34,44 | 54,03 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 9 | 90,79 | 25,85 | istok | antilistrički |
| 9a | 17,76 | 28,22 | istok | ravan |
| 9b | 67,38 | 24,49 | istok | antilistrički |
| 10 | 104,67 | 22,14 | istok | antilistrički |
| 10a | 4,77 | 34,94 | zapad | ravan |
| 11 | 114,25 | 19,02 | istok | antilistrički |
| 12 | 96,82 | 18,87 | istok | antilistrički |
| 13 | 117,43 | 14,24 | istok | antilistrički |
| 14 | 106,73 | 16,06 | istok | antilistrički |
| 15 | 82,29 | 19,76 | istok | antilistrički |

8.3 Treći pokus kompresijske tektonike P3



Slika 27: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P3. Zbog konstrukcijskih razloga kompresija je moguća do 38%.

U trećem pokusu kompresijske tektonike (P3) korišten je set limova za simulaciju kompresije u centru postavljenog materijala. Postavljeni materijal sastojao se od pijeska, s jednim tankim repnim slojem kave. Nastaje ukupno 11 rasjeda. Svi rasjedi nastaju zasebno, bez zajedničkog korijena.

Rasjed 1 nastaje kao jedan od glavnih navlačnih rasjeda, pod kutom od $29,47^\circ$ kao antilistrički s nagibom prema istoku, ali tokom napredovanja kompresije povećava kut nagiba. Pri 30% kompresije na kratko smanjuje dužinu i geometriju mijenja u *flat-ramp-flat*, te nastavkom kompresije ponovno povećava dužinu, a geometriju vraća u antilistričku.

Rasjed 2 nastaje pod kutom od $45,5^\circ$ kojeg povećava s povećanjem kompresije, a dužina mu se smanjuje. Nastaje sa nagibom prema zapadu kao ravan, a tokom kompresije u svakoj od opisanih faza mijenja geometriju. Rasjed 2a nastaje vremenski i geometrijski vrlo blisko rasjedu 2 te se tokom kompresije ponašaju jednako. Oba rasjeda mogu se nazvati *back-thrust* rasjedima.

Rasjed 3 nastaje pod kutom od $32,45^\circ$ koji se smanjuje napredovanjem kompresije. Nastaje nagnut prema zapadu kao *back-thrust* rasjed, a njegova dužina tokom kompresije varira, ali se ne mijenja puno. Nakon početne ravne geometrije već nakon 20% kompresije mijenja geometriju u *flat-ramp-flat* i takav ostaje do kraja pokusa.

Rasjed 4 nastaje pod kutom od $33,85^\circ$ s nagibom prema istoku koji se smanjuje tokom kompresije. Početna ravna geometrija nakon 20% kompresije prelazi u antilistričku i ostaje takva do kraja pokusa. Nastaje kao jedan od glavnih navlačnih rasjeda.

Rasjed x nastaje između rasjeda 1 i 4 kao sintetički, ali ne izlazi na površinu i vjerojatno nastaje kao rezultat međusobnog djelovanja dva susjedna rasjeda. Orijentiran je prema istoku pod kutom od $28,77^\circ$, a tokom napredovanja tektonike smanjuje nagib i povećava dužinu. Početnu ravnu geometriju mijenja u antilistričku.

Rasjed 5 nastaje pod kutom od $26,84^\circ$ kojeg ublažava tokom napredovanja kompresije i smanjuje dužinu. Geometrija rasjeda 5 tokom provedbe pokusa je promjenjiva, a opisan je kao *back-thrust* rasjed.

Rasjed 6 nastaje nagnut prema zapadu pod kutom od $16,94^\circ$ kojeg povećava porastom kompresije. Početna ravna geometrija se mijenja u svakoj fazi pokusa, a dužinu povećava. Opisan je kao *back-thrust* rasjed, kao i rasjed 9.

Rasjed 9 nastaje pod kutom od $16,18^\circ$ u predzadnjoj fazi kompresije, a nagib smanjuje do kraja pokusa. Nastaje kao antilistrički i ne mijenja geometriju, a nagnut je na zapad. Rasjedi 7 i 8 nastaju kao antilistrički i smanjuju svoj kut nagiba tokom kompresije, a svoju dužinu povećavaju. Oba su okarakterizirani kao glavni navlačni rasjedi a njihov nagib je orijentiran prema istoku.

U P3 nastaje asimetrična struktura gdje se smanjenje prostora kao posljedica kompresije nadoknađuje navlačenjem preko glavnih rasjeda (1, 4, 7 i 8), čiji je kut nagiba orijentiran suprotno smjeru kompresije, te boranjem i *back-thrust* rasjedanjem u krovinskom krilu strukture. Ovakav tip strukture može se opisati kao *fault-propagation folding*. Visina materijala na kraju izvedbe pokusa u njegovoj najvišoj točki iznosi 75,3 mm, odnosno 215,1% početne visine. Detaljni opisi nastalih struktura dani su u tablicama 11, 12, 13, 14.

Tablica 11: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 10%.

| P3 | Kompresija 10% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|---------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 57,68 | 29,47 | istok | antilistrički |
| 2 | 39,55 | 45,5 | zapad | ravan |
| 2a | 29,33 | 47,01 | zapad | ravan |
| 3 | 44,87 | 32,45 | zapad | ravan |
| 4 | 24,82 | 33,85 | istok | ravan |

Tablica 12: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 20%.

| P3 | Kompresija 20% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 56,74 | 30,62 | istok | antilistrički |
| 2 | 34,29 | 49,4 | zapad | antilistrički |
| 2a | 27,37 | 58,99 | zapad | antilistrički |
| 3 | 47,59 | 28,85 | zapad | flat-ramp-flat |
| 4 | 71,34 | 23,77 | istok | antilistrički |
| x | 14,15 | 28,77 | istok | ravan |
| 5 | 66,61 | 26,84 | zapad | antilistrički |
| 6 | 30,76 | 16,94 | zapad | ravan |
| 7 | 31,29 | 27,06 | istok | antilistrički |

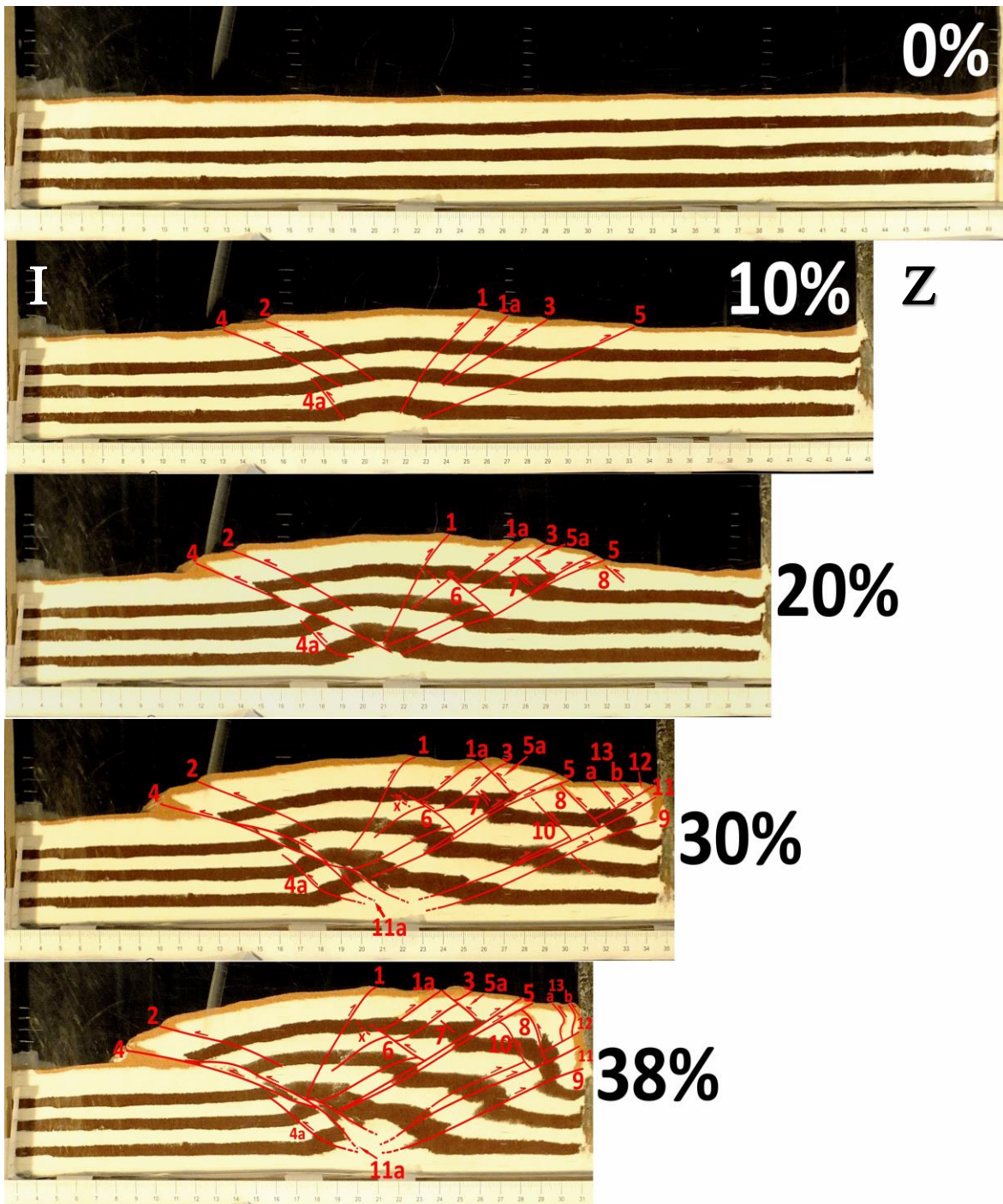
Tablica 13: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 30%.

| P3 | Kompresija 30% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 49,55 | 32,29 | istok | ramp-flat-ramp |
| 2 | 30,80 | 56,44 | zapad | flat-ramp |
| 2a | 25,27 | 71,94 | zapad | flat-ramp |
| 3 | 43,75 | 31,81 | zapad | flat-ramp-flat |
| 4 | 82,05 | 23,47 | istok | antilistrički |
| x | 19,91 | 22,55 | istok | antilistrički |
| 5 | 58,66 | 28,66 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 6 | 71,43 | 22,54 | zapad | listrički |
| 7 | 47,23 | 14,73 | istok | antilistrički |
| 8 | 38,44 | 14,16 | istok | antilistrički |
| 9 | 32,59 | 16,18 | zapad | antilistrički |

Tablica 14: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 38%.

| P3 | Kompresija 38% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 60,31 | 31,82 | istok | Antilistrički |
| 2 | 29,11 | 71,58 | zapad | Antilistrički |
| 2a | 24,55 | 79,75 | zapad | Antilistrički |
| 3 | 44,91 | 23,21 | zapad | flat-ramp-flat |
| 4 | 85,36 | 22,09 | istok | Antilistrički |
| x | 16,88 | 21,84 | istok | Antilistrički |
| 5 | 56,29 | 14,55 | zapad | listrički |
| 6 | 61,29 | 23,15 | zapad | flat-ramp-flat |
| 7 | 47,81 | 12,71 | istok | Antilistrički |
| 8 | 46,25 | 13,7 | istok | Antilistrički |
| 9 | 74,51 | 13,46 | zapad | Antilistrički |

8.4 Četvrti pokus kompresijske tektonike P4



Slika 28: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P4. Zbog konstrukcijskih razloga kompresija je moguća do 38%.

U četvrtom pokusu kompresijske tektonike (P4) korišten je set limova za simulaciju kompresije u centru postavljenog materijala. Postavljeni materijal sastojao se od cikličke izmjene slojeva brašna i kave. Nastaje ukupno 21 rasjed. Svi rasjedi nastaju zasebno, bez zajedničkog korijena.

Rasjed 1 nastaje pod kutom od $48,77^\circ$ s nagibom prema zapadu koji se povećava napredovanjem kompresije. Njegova dužina se tokom pokusa smanjuje i povećava, no na kraju pokusa vrlo je bliska početnoj. Geometrija mu je kroz tijek pokusa uglavnom antilistrička, a samo pri fazi od 30% kompresije ima *flat-ramp-flat* geometriju. Rasjed 1a nastaje pod kutom od $41,28^\circ$ s nagibom prema zapadu, a napredovanjem kompresije njegov kut nagiba se smanjuje, a dužina povećava. Nastaje kao ravan, a nakon kompresije od 30% mijenja geometriju u antilistričku.

Rasjed 2 nastaje pod kutom od $25,77^\circ$ s nagibom prema istoku, koji se tokom kompresije smanjuje, a dužina mu se neznatno povećava. Geometrija mu je kroz cijeli tijek pokusa antilistrička.

Rasjed 3 nastaje pod kutom od $29,04^\circ$ s nagibom prema zapadu, ali se do kraja kompresije kut nagiba smanjuje. Dužina mu se značajno povećava do kraja pokusa. Nastaje kao ravan, a pri 30% kompresije mijenja svoju geometriju u antilistričku pa zatim u *ramp-flat-ramp*.

Rasjed 4 nastaje pod kutom od $22,72^\circ$, a tokom kompresije razvoj njegove geometrije i kuta nagiba vrlo je kompliciran za interpretirati zbog kompleksne interakcije sa susjednim rasjedima, poglavito rasjedom 4a i rasjedom 11a s kojim se spaja u krajnjim fazama kompresije. Ipak, moguće je reći da je geometrija rasjeda 4 generalno antilistrička, kao i rasjeda 11a, a rasjeda 4a listrička.

Rasjed 5 nastaje pod kutom od $20,90^\circ$ s nagibom prema zapadu. S povećanjem kompresije povećava kut nagiba, za razliku od dužine koju smanjuje. Rasjed 5 nastaje kao

ravan, no njegova se geometrija kroz tijek pokusa mijenja u svakoj fazi, što je vjerojatno rezultat djelovanja susjednih rasjeda, prvenstveno rasjeda 6. Nakon 10% kompresije rasjed 5 se grana, te njegova grana preuzima djelovanje tog rasjeda. Grana rasjeda 5 ne povećava značajno svoj prvobitni kut nastanka. Zaključeno je da je njegova grana aktivna zbog drastičnog povećanja dužine tijekom kompresije. Geometrija grane rasjeda 5 je pri nastanku antilistrička, a tek u zadnjoj fazi pokusa prelazi u listričku, također vjerojatno zbog djelovanja rasjeda 6.

Rasjed 6 nastaje pod kutom od $35,35^\circ$ sa smjerom nagiba ka istoku. Svoj kut nagiba, kao i ukupnu dužinu smanjuje kroz napredovanje kompresije. Geometrija rasjeda 6 mijenja se iz početne ravne u antilistričku, te pred kraj pokusa ponovno prelazi u ravnu. Navedeni rasjed ne izlazi na površinu te ga se može smatrati antitetičkim slijepim rasjedom.

Rasjed 7 također je antitetički, te svoj početni kut ni dužinu ne mijenja značajno tijekom kompresije, a geometrija se mijenja iz početne ravne u antilistričku, pa ponovno u ravnu, vjerojatno uvjetovana međudjelovanjem rasjeda 3 i grane rasjeda 5.

Rasjedi 8, 10, te 13a i 13b nastaju s nagibom prema istoku te se smatraju antitetičkim rasjedima. Aktivni su u fazama kompresije od 20% i 30% nakon čega prestaju sa aktivnošću i značajno ustrmljuju svoj kut nagiba. Između rasjeda 8 i 13a vjerojatno postoji sintetički rasjed s nagibom prema zapadu, no kako je između navedenih rasjeda samo jedan sloj brašna u njemu ga nije moguće vidjeti, no zaključeno je da postoji zbog nagle promjene geometrije rasjeda 13a iz ravne u *flat-ramp-flat*.

Rasjed 9 nastaje pod kutom od $19,35^\circ$ s nagibom prema zapadu, kojeg do kraja pokusa neznatno povećava, a smanjuje dužinu. Geometrija rasjeda 9 je pri nastanku *flat-ramp-flat* i ne mijenja se.

Rasjed 11 nastaje s nagibom prema zapadu pod kutom $21,25^\circ$ te se njegov kut do kraja provedbe pokusa neznatno povećava. Nastaje kao listrički i vrlo brzo mijenja geometriju u *ramp-flat-ramp*. Vrlo brzo nakon nastanka rasjeda 11 nastaje i njegova grana, koja bi se mogla nastavljati u rasjed 12, no zbog djelovanja antitetičkih rasjeda 10 i 8 nije ih moguće sa sigurnošću povezati.

Rasjed 12 nastaje pod sličnim kutom kao i rasjed 11 i njegova grana, te ravnu geometriju ne mijenja.

Rasjed x vrlo je teško promatrati zbog njegove veličine, odnosno mjerila koje pruža aparatura u kojoj su izvođeni pokusi, no ipak je naveden i opisan u tablicama.

U P4 nastaje simetrična struktura, gdje se tektonsko smanjenje prostora nadoknađuje rasjedanjem, i gdje glavni rasjedi nagnuti suprotno od smjera kompresije (rasjedi 2, 4, 4a i 11a) nose većinu navlačnog pomaka u smjeru kompresije, a u krovinskom krilu strukture nastaju *back-thrust* rasjedi (rasjedi 1, 1a, 3, 5, 11, 9) sa pripadajućim antitetičkim rasjedima (rasjedi 5a, 6, 7, 8, 10, 13a i 13b). Kinematski bi nastanak ove strukture mogao biti opisan kao *fault bending*, no krajnje dobivena struktura vrlo je komplicirana, a između rasjeda 2 i *back-thrust* rasjeda 1 dolazi do boranja. Visina materijala na kraju izvedbe pokusa u njegovoj najvišoj točki iznosi 79,7 mm, odnosno 177,1% početne visine. Detaljni opisi nastalih struktura dani su u tablicama 15, 16, 17, 18.

Tablica 15: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 10%.

| P4 Rasjed br. | Kompresija 10% | | | |
|------------------|----------------|---------|--------------|---------------|
| | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 59,46 | 48,77 | zapad | antilistrički |
| 1a | 43,87 | 41,28 | zapad | ravan |
| 2 | 58,87 | 25,77 | istok | antilistrički |
| 3 | 58,15 | 29,04 | zapad | ravan |
| 4 | 62,93 | 22,72 | istok | antilistrički |
| 4a | 24,14 | 47,06 | istok | ravan |
| 5 | 111,04 | 20,90 | zapad | ravan |

Tablica 16: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 20%.

| P4 | Kompresija 20% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|---------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 57,61 | 55,51 | zapad | antilistrički |
| 1a | 56,80 | 33,68 | zapad | ravan |
| 2 | 64,46 | 23,53 | istok | antilistrički |
| 3 | 92,84 | 24,64 | zapad | ravan |
| 4 | 102,66 | 21,75 | istok | antilistrički |
| 4a | 31,40 | 30,46 | istok | listrički |
| 5 | 110,95 | 21,76 | zapad | antilistrički |
| grana 5 | 37,39 | 27,17 | zapad | antilistrički |
| 5a | 15,95 | 33,86 | istok | ravan |
| 6 | 29,91 | 35,35 | istok | ravan |
| 7 | 9,95 | 37,44 | istok | ravan |
| 8 | 11,85 | 37,82 | istok | ravan |

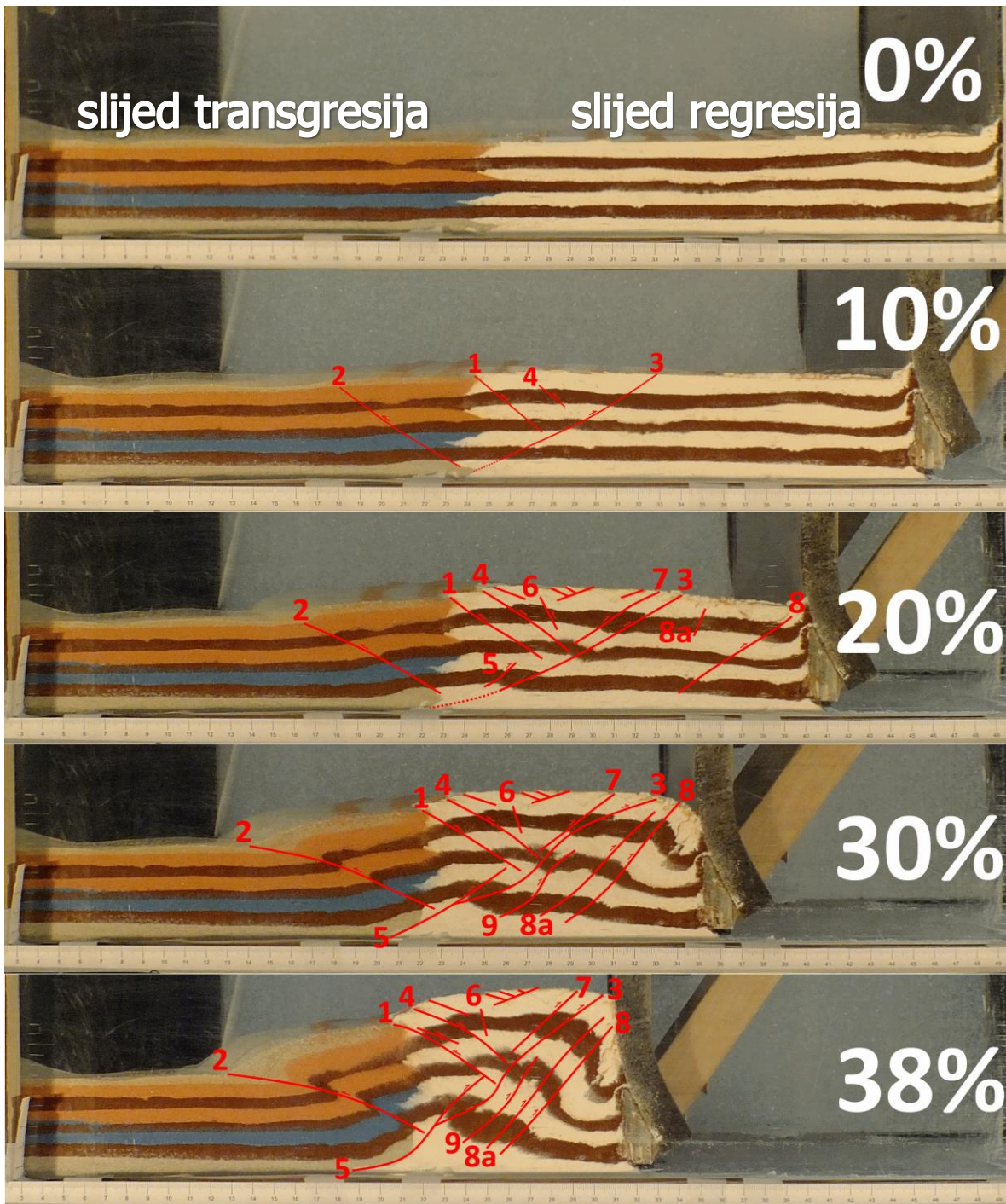
Tablica 17: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 30%.

| P4 | Kompresija 30% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 53,60 | 50,98 | zapad | flat-ramp-flat |
| 1a | 62,30 | 28,9 | zapad | antilistrički |
| 2 | 62,66 | 20,57 | istok | antilistrički |
| 3 | 94,82 | 25,1 | zapad | antilistrički |
| 4 | 123,87 | 20,38 | istok | antilistrički |
| 4a | 44,41 | 29,74 | istok | listrički |
| 5 | 105,50 | 23,46 | zapad | flat-ramp-flat |
| grana 5 | 74,32 | 27,52 | zapad | antilistrički |
| 5a | 23,15 | 41,61 | istok | ravan |
| 6 | 26,71 | 34,67 | istok | antilistrički |
| 7 | 8,60 | 38,24 | istok | antilistrički |
| 8 | 26,85 | 43,91 | istok | ravan |
| 9 | 112,39 | 19,35 | zapad | flat-ramp-flat |
| 10 | 28,92 | 43,4 | istok | ravan |
| 11 | 117,88 | 21,25 | zapad | listrički |
| 11 grana | 30,95 | 24,12 | zapad | ravan |
| 11a | 23,74 | 36,52 | istok | listrički |
| 12 | 33,11 | 26,42 | zapad | ravan |
| 13a | 15,50 | 44,88 | istok | ravan |
| 13b | 9,23 | 42,94 | istok | ravan |
| x | 10,36 | 28,39 | istok | ravan |

Tablica 18: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 38%.

| P4 | Kompresija 38% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 58,87 | 54,36 | zapad | antilistrički |
| 1a | 65,50 | 28,83 | zapad | antilistrički |
| 2 | 62,30 | 16,11 | istok | antilistrički |
| 3 | 96,89 | 23,7 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 4 | 127,70 | 18,46 | istok | antilistrički |
| 4a | 22,16 | 30,7 | istok | listrički |
| 5 | 106,62 | 26,06 | zapad | listrički |
| grana 5 | 101,08 | 28,45 | zapad | listrički |
| 5a | 23,42 | 39,28 | istok | antilistrički |
| 6 | 27,21 | 30,11 | istok | ravan |
| 7 | 8,38 | 37,21 | istok | ravan |
| 8 | 26,26 | 60,07 | istok | flat-ramp-flat |
| 9 | 94,64 | 21,21 | zapad | flat-ramp-flat |
| 10 | 25,95 | 51,94 | istok | flat-ramp-flat |
| 11 | 96,49 | 23,27 | zapad | ramp-flat-ramp |
| 11 grana | 57,79 | 22,99 | zapad | antilistrički |
| 11a | 89,46 | 20,67 | istok | antilistrički |
| 12 | 19,82 | 25,62 | zapad | ravan |
| 13a | 19,23 | 72,49 | istok | flat-ramp-flat |
| 13b | 14,95 | 81,98 | istok | flat-ramp-flat |
| x | 8,65 | 42 | istok | listrički |

8.5 Peti pokus kompresijske tektonike P5



Slika 29: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P5. Zbog konstrukcijskih razloga kompresija je moguća do 38%.

U petom pokusu kompresijske tektonike (P5) korišten je set limova za simulaciju kompresije u centru postavljenog materijala. Također, materijal je postavljen tako da simulira kompresiju stijena koje sadrže granicu dvaju facijesa, odnosno granicu dvaju različitih bazena, na način opisan u poglavlju 7.5.5. Svi rasjedi nastaju zasebno, bez zajedničkog korijena. Tijekom izvedbe pokusa P5 nastaje ukupno deset rasjeda.

Rasjed 1 nastaje pod kutom od $40,07^\circ$ s nagibom prema istoku koji se tijekom kompresije smanjuje, a dužina mu se povećava. Rasjed nastaje kao ravan, a svoju geometriju mijenja u antilistričku tek u zadnjoj fazi kompresije od većoj od 30%.

Rasjed 2 nastaje pod kutom od $33,61^\circ$ s nagibom prema istoku, koji se smanjuje tijekom napredovanja kompresije, a dužina se povećava. Nastaje kao blago listrički, a svoju geometriju mijenja u antilistričku već u početnim fazama pokusa, između 10% i 20% kompresije. Rasjed 2 smatra se glavnim navlačnim rasjedom u smjeru kompresije.

Rasjed 3 nastaje pod kutom od $38,85^\circ$ s nagibom prema zapadu i povećava nagib tijekom pokusa. Dužina rasjeda 3 povećava se s povećanjem postotka kompresije. Nastaje kao listrički, ali u fazi kompresije između 20% i 30% mijenja geometriju u *flat-ramp-flat*, vjerojatno zbog interakcije s okolnim rasjedima, prvenstveno rasjedima 1 i 4.

Rasjed 4 nastaje pod kutom od $39,58^\circ$ s nagibom prema istoku, ali se tijekom pokusa ublažava i drastično povećava svoju dužinu. Nastaje kao ravan, a prelazi u antilistrički već u početnim fazama kompresije. Uz rasjed 1 smatra se glavnim navlačnim rasjedom u smjeru kompresije u dijelu materijala koji predstavlja izmjenu kopnenih i marinskih sedimenata.

Rasjed 5 nastaje pod kutom od $38,21^\circ$ kojeg smanjuje tijekom pokusa, ali za samo nekoliko stupnjeva. Nastaje s nagibom prema zapadu, a tijekom kompresije drastično povećava dužinu. Pri nastanku je listrički i takav ostaje do kraja pokusa. Rasjed 5 u fazi

kompresije između 20% i 30% spaja se s rasjedom 3, a rast završava na rasjedu 1. Rasjed 5 vrlo je bitan jer je moguće da on vrši navlačenje slijeda transgresije na slijed regresije u smjeru suprotnom od smjera kompresije.

Rasjed 6 nastaje pod kutom od $63,19^\circ$ s nagibom prema istoku, kojega tijekom pokusa povećava. Dužina rasjeda se smanjuje, no kako se proteže kroz samo 3 sloja, rezolucija pokusa ne omogućuje točno mjerenje njegove dužine. Nastaje kao ravan i ne mijenja geometriju tijekom pokusa.

Rasjed 7 nastaje nagibom prema zapadu pod kutom od $32,24^\circ$ koji se povećava tijekom pokusa, a dužina se neznatno smanjuje. Nastaje kao *flat-ramp-flat* rasjed, ali se ubrzo nakon nastanka mijenja u ravni i takav ostaje do kraja pokusa.

Rasjed 8 nastaje pod kutom od $35,23^\circ$ kojeg povećava napredovanjem kompresije. Nastaje s nagibom prema zapadu. Dužina mu se tokom kompresije neznatno smanjuje. Nastaje kao ravan, ali vrlo brzo nakon nastanka postaje listrički i takav ostaje do kraja pokusa. Evolucija rasjeda 8a vrlo je slična evoluciji rasjeda 8.

Rasjed 9 nastaje pod kutom od $43,04^\circ$ s nagibom prema zapadu. Nastaje u zadnjim fazama kompresije s *flat-ramp-flat* geometrijom i s porastom kompresije povećava kut nagiba i dužinu.

U pokusu P5 važno je uočiti kako nema rasjedanja i seljenja granice “facijesa“, već dolazi samo do njene translacije. Smanjenje prostora uzrokovano kompresijom nadoknađuje se u velikoj većini rasjedanjem u oba “facijesa“. Mikro rasjedanja na granici “facijesa“ nije moguće učiti zbog rezolucije koju dopušta eksperimentalna aparatura. Visina materijala na kraju izvedbe pokusa u njegovoj najvišoj točki iznosi 87 mm, odnosno 248,5% početne visine. Detaljni opisi nastalih struktura dani su u tablicama 19, 20, 21, 22.

Tablica 19: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 10%.

| P5 | Kompresija 10% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 42,38 | 40,07 | istok | ravan |
| 2 | 69,56 | 33,61 | istok | listrički |
| 3 | 85,94 | 28,85 | zapad | listrički |
| 4 | 16,25 | 39,58 | istok | ravan |

Tablica 20: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 20%.

| P5 | Kompresija 20% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 52,06 | 34,83 | istok | ravan |
| 2 | 71,94 | 28,10 | istok | antilistrički |
| 3 | 95,81 | 28,60 | zapad | listrički |
| 4 | 49,44 | 36,31 | istok | antilistrički |
| 5 | 19,13 | 38,21 | zapad | listrički |
| 6 | 17,75 | 63,19 | istok | ravan |
| 7 | 46,63 | 32,24 | zapad | flat-ramp-flat |
| 8 | 64,50 | 35,23 | zapad | ravan |
| 8a | 14,25 | 67,95 | zapad | ravan |

Tablica 21: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 30%.

| P5 | Kompresija 30% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 53,81 | 32,96 | istok | ravan |
| 2 | 87,25 | 20,23 | istok | antilistrički |
| 3 | 107,31 | 28,73 | zapad | flat-ramp-flat |
| 4 | 50,44 | 34,29 | istok | antilistrički |
| 5 | 63,00 | 32,41 | zapad | listrički |
| 6 | 13,81 | 73,10 | istok | ravan |
| 7 | 44,06 | 38,83 | zapad | ravan |
| 8 | 78,81 | 48,03 | zapad | listrički |
| 8a | 73,13 | 43,80 | zapad | listrički |
| 9 | 48,56 | 43,04 | zapad | flat-ramp-flat |

Tablica 22: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 38%.

| P5 | Kompresija 38% | | | |
|------------|----------------|---------|--------------|----------------|
| Rasjed br. | Dužina [mm] | Kut [°] | Orijentacija | Geometrija |
| 1 | 56,94 | 30,34 | istok | antilistrički |
| 2 | 98,94 | 16,86 | istok | antilistrički |
| 3 | 103,38 | 38,17 | zapad | flat-ramp-flat |
| 4 | 52,25 | 30,50 | istok | antilistrički |
| 5 | 80,38 | 35,94 | zapad | listrički |
| 6 | 13,50 | 77,86 | istok | ravan |
| 7 | 43,13 | 43,28 | zapad | ravan |
| 8 | 82,00 | 49,05 | zapad | listrički |
| 8a | 84,63 | 48,41 | zapad | flat-ramp-flat |
| 9 | 55,19 | 49,33 | zapad | flat-ramp-flat |

9. Diskusija

Prije svega, treba uzeti u obzir pogrešivost metode kojom su određivani kutovi i dužine u pokusima, ponajprije zbog nelinearnosti rasjeda, no smatram da je pogreška unutar nekoliko stupnjeva. Također, u pokusima nije uziman u obzir mogući utjecaj omjera dužine i visine postavljenog materijala na ishod pokusa, kao ni utjecaj nepomičnog zida na oblik struktura. Kako su svi pokusi provedeni u istom trajanju, mogući utjecaj vremena u kojem je pokus proveden također nije uziman u obzir. Postojanje mikro rasjeda unutar pojedinih slojeva je moguć, no rezolucija koju pruža eksperimentalna aparatura ne omogućuje njihovo promatranje. Apsolutna usporedba rezultata pokusa s Dinaridima nije moguća jer aparatura ne omogućuje izvođenje pokusa s više od jedne tektonske faze, a poznato je da su Dinaridi bili zahvaćeni s dvije regionalne tektonske faze; prvom koja započinje u srednjoj juri, a završava krajem oligocena i početkom miocena, te rezultira izdizanjem Dinarida i stvaranjem struktura s karakterističnim tzv. dinarskim pružanjem SZ-JI, i drugom krajem neogena kada dolazi do promjene stresa (tj. do rotacije afričke ploče u smjeru kazaljke na satu) te se neke naslijeđene strukture reaktiviraju u transpresijskom režimu.

9.1 Prvi pokus kompresijske tektonike (P1)

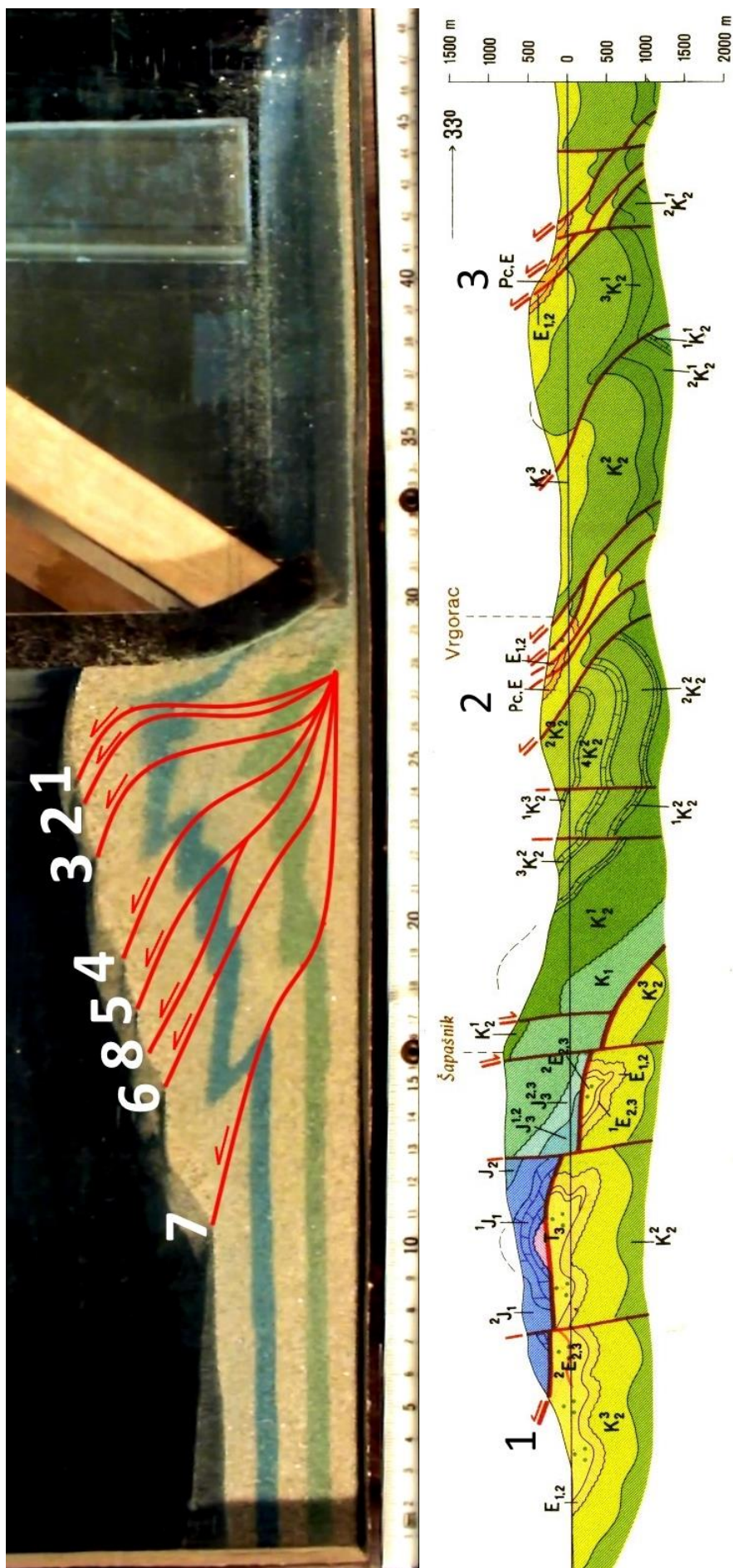
U prvom pokusu kompresijske tektonike nastaje niz reversnih rasjeda koji imaju korijen u zajedničkom dekolmanskom horizontu pri dnu materijala. Treba naglasiti kako pijesak svojim fizičkim svojstvima predstavlja približno prvih 10 km zemljine kore (Crook et al., 2006). U tom bi slučaju, u ovom pokusu, 10 milimetara materijala odgovaralo 2,5 km zemljine kore, no, navedeno uzimam sa zadržkom.

Kut nagiba rasjeda se povećava tijekom kompresije s obzirom na početni kut nastanka. Pa tako su s istočne strane postavljenog materijala u zadnjim fazama kompresije reverzni rasjedi vrlo strmog kuta. Primjerice, rasjed 1 nastaje pod prosječnim kutom od 38° , a njegov krajnji prosječni kut nagiba na kraju kompresije iznosi 72° . Kut nastanka mlađih rasjeda manji je od kuta nastanka prva tri rasjeda i njihov se kut nagiba ne ustrmljuje toliko drastično, izuzev rasjeda 4. Promatrajući list Ploče Osnovne geološke karte SFRJ (Marinčić et al., 1977), uočava se upečatljiva sličnost sa strukturama dobivenim u P1, prvenstveno u fazi kompresije od 40% (slika 30). Dio profila A-B, od obale do Šipovače sadrži glavni, najaktivniji rasjed, najmanjeg kuta nagiba, koji bi odgovarao rasjedu 7 u pokusu. Također sadrži dva seta rasjeda, međusobno odvojena relativno neporemećenim prostorom. Set rasjeda na profilu označen sa 2, podsjeća na set rasjeda 6, 8, 5, 4 u pokusu, kao i set rasjeda 3 sa setom rasjeda 1, 2, 3. Idući u smjeru 33° , kut nagiba rasjeda na profilu se povećava, što odgovara situaciji u pokusu. Rasjedi na profilu su antilistrički, no treba uzeti u obzir kako je geološki profil interpretiran do dubine od 1500 m, za razliku od pokusa koji modelira tektoniku u znatno većoj debljini kore. Rasjedi dobiveni u pokusu, kada bi se promatrao samo njihov gornji dio također bi bili antilistrički.

Nastale strukture u P1 mogu se usporediti i s profilom Premuda – Olib – Pag – Velebit (Miljuš, 1971) (slika 31). Slika P1 pri kompresiji od 30% dosta nalikuje profilu. Miljušev profil je nacrtan do veće dubine zemljine kore i na njemu se rasjedi spajaju u dekolmanskome horizontu, baš kao i u pokusu P1. Kut nagiba rasjeda na profilu također se smanjuje idući prema zoni glavne kolizije, a rasjedi su razvijeni u setovima. Set rasjeda 3, 2 i 1 u pokusu odgovarao bi setu rasjeda što presijecaju Velebit i otok Pag. U Miljuševom profilu oni su označeni kao reversni, kakvi su i u pokusu. Pokus se od Miljuševa profila

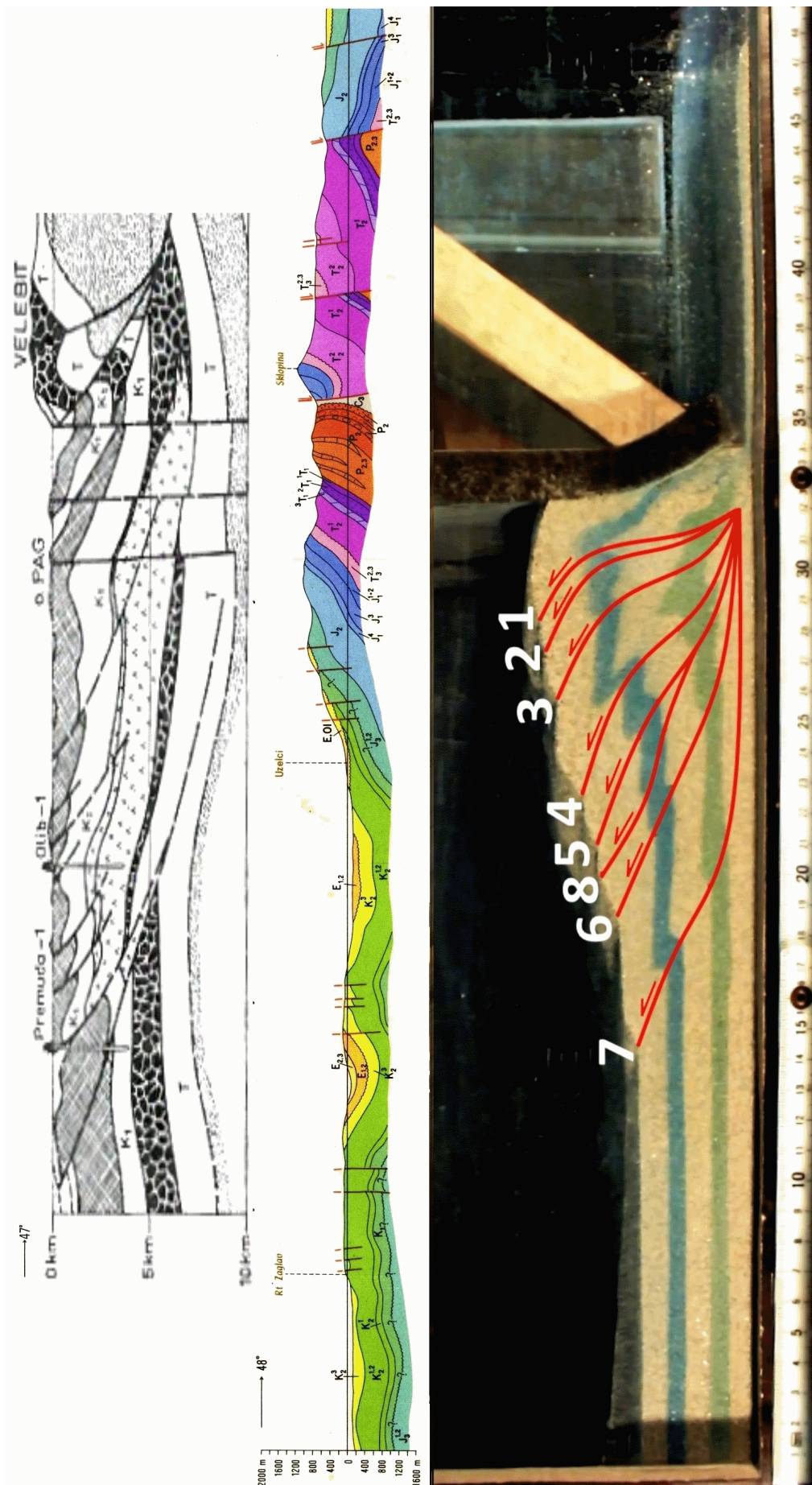
razlikuje u geometriji rasjeda tako što su rasjedi u pokusu većinom antilistrički, a na profilu listrički.

No, usporedimo li Miljušev (1971) profil, pokus P1 i dio profila C-D na OGK SFRJ, lista Gospić (Sokač et al., 1974), koji prolazi blisko Miljuševom profilu, vidjet ćemo veliku razliku jer na geološkom profilu OGK nije ucrtan niti jedan reversni rasjed (slika 31).



Slika 30: Usporedba PK1 pri 40% kompresije (gore) i geološkog profila A-B od obale do Šipovače na OGK listu Ploče (Marinčić, 1977) (dolje) i. Rasjed na profilu, označen sa 1 odgovara rasjedu 7 u pokusu. Set rasjeda na profilu označen sa 2 odgovara setu rasjeda 6, 8, 5 i 4 u pokusu. Set rasjeda na profilu označen sa 3 odgovara setu rasjeda 3, 2 i 1 u pokusu.

Strmi rasjedi na geološkom profilu OGK, listu Gospić, koji presijecaju Velebit su okarakterizirani kao normalni, a fotogeološki interpretirani rasjedi koji presijecaju otok Pag i jugozapadne padine Velebita ucrtani su sa strmim nagibom i nejasnim pomakom. Glavna deformacija vezana za kompresiju Dinarskog prostora dogodila se tokom paleogena ili miocena kada su formirane kompleksne tektonske strukture regije. Današnja geomorfologija Dinarida rezultat je izravnog smicanja (transpresijskog i transtenzijskog) duž zone strmih rasjeda s generalnim pružanjem SZ-JI i trošenja stijena. Ova zona vjerojatno označava duboko ukorijenjeni lineament koji je nastao u trijasu. Taj lineament utjecao je na pred-orogenetsku sedimentaciju i bio reaktiviran tokom orogenetske kompresije (Korbar, 2009). Transport duž ove zone aktivan je i tokom današnje tektonike izmicanja (Picha, 2002). Stoga, postoje tri mogućnosti: (1) da su strmi rasjedi duž Velebita reversni rasjedi ukošeni napredovanjem tektonike, (2) da su strmi rasjedi duž Velebita normalni rasjedi naslijeđeni iz trijaske faze tektonskog razvoja i da su u reaktivirani u orogenetskoj fazi tektonskom inverzijom s reversnim pomakom, te (3) da su strmi rasjedi duž Velebita *back-thrust* rasjedi s reverznim pomakom, nagibom paraklaze prema JZ i smjerom navlačenja prema SI. Mogućnost reaktivacije ovih rasjeda sa *strike-slip* pomakom u neotektonskoj fazi ovog prostora također nije isključena. U ranijim istraživanjima na istoj aparaturi, rađeni su pokusi kompresije materijala koji je prije toga bio u ekstenzijskom režimu. Tada se zaključilo kako pri početku kompresije prvo dolazi do reaktivacije i tektonske inverzije normalnih rasjeda, koji poprimaju reverzni karakter, a tek u kasnijem napredovanju kompresije dolazi do nastanka novih reverznih rasjeda (Poletto, 2015). Mogućnost da kompresija na prostoru Velebita nije došla u tu fazu gdje na reaktiviranim normalnim rasjedima reverzni pomak nadmašuje prijašnji normalni i gdje nije došlo do reverznog rasjedanja nakon reaktivacije normalnih rasjeda, možda i postoji, no čini se vrlo malo vjerojatnom. Nepostojanje reverznih rasjeda na profilu lista Gospić čini se dvojbeno.

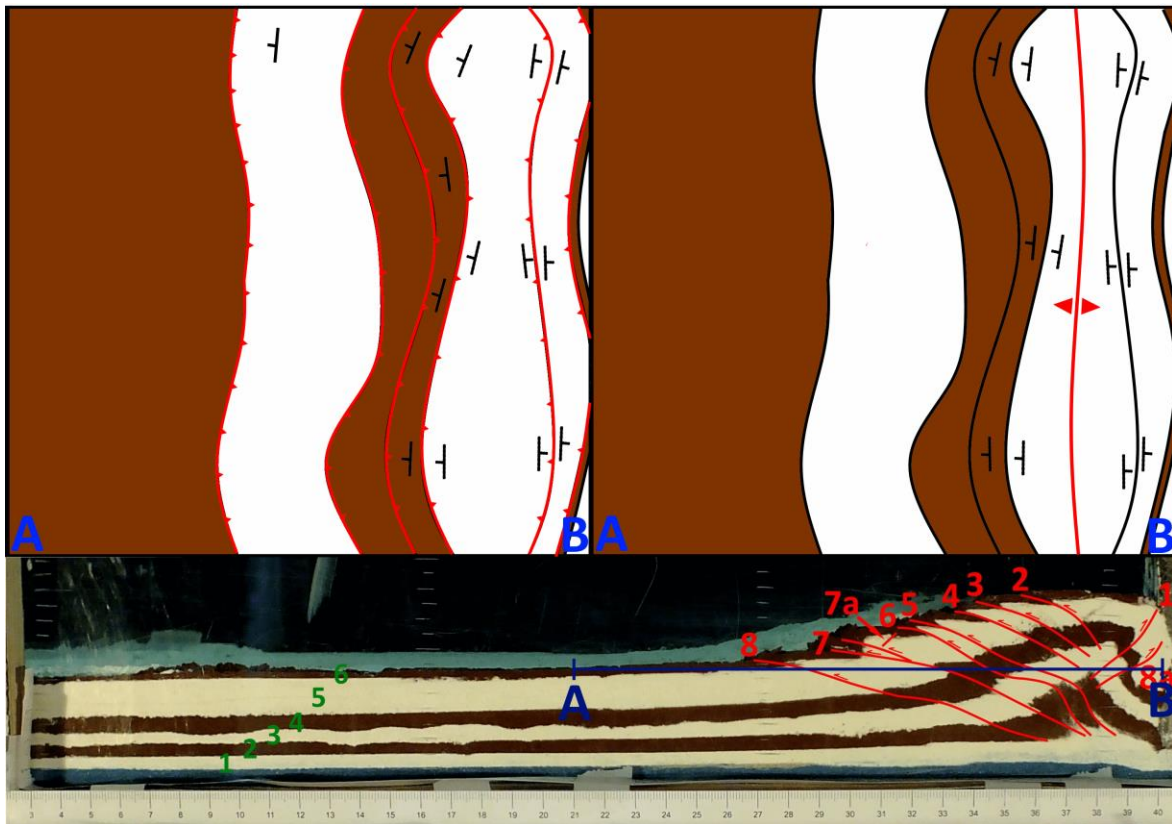


Slika 31: Usporedba profila Premuda – Pag – Velebit (Miljuš, 1971) (gore) i dijela profila C-D OGK lista Gospić (Sokač et al., 1974) (sredina) sa P1 pri kompresiji od 30% (dolje). Pokus odgovara Miljuševu profilu po postojanju dekolimanskog horizonta, povećanju kuta nagiba rasjeda idući prema zoni glavne kolizije, pojavljivanju rasjeda u setovima i karakteru rasjeda. Različito postojanje rasjeda i profila OGK je u nedostatku reversnih rasjeda u profilu.

9.2 Drugi pokus kompresijske tektonike (P2)

U drugom pokusu kompresijske tektonike korišteni su brašno i kava, a pijesak je postavljen samo na dno materijala. Drugi pokus postavljen je na ovaj način kako bi se mogao usporediti s prvim pokusom i ispitati utjecaj anizotropije, odnosno razlike materijala na nastale strukture. Treba naglasiti kako, za razliku od pijeska čija je Mohr-Coulombova envelope sloma poznata i uzima se da pijesak predstavlja prvih 10 km zemljine kore (Crook et al., 2006), mehanička svojstva brašna i kave, a samim time i njihovo točno ponašanje pod utjecajem stresa nisu poznati. U P2 nastaje petnaest međusobno odvojenih reverznih rasjeda sa smjerom navlačenja u smjeru kompresije, za koje zbog rezolucije koju pruža aparatura nije moguće zaključiti spajaju li se svi pri dnu materijala u zajednički korijen odnosno dekolmanski horizont ili nastaju zasebno. Kao glavna razlika sa P1, nastaju dva rasjeda sa suprotnim smjerom nagiba paraklaze od smjera kompresije koje se mogu nazvati *back-thrust* rasjedima (slika 33). Također, u P2 nastaju slijepi sintetički i antitetički rasjedi koji ne nastaju u P1. Kutovi nagiba svih rasjeda, osim sintetičkih i antitetičkih, se povećavaju tokom napredovanja kompresije. Daljnja je razlika od pokusa P1 što u P2 rasjedi ne nastaju u setovima, već odvojeno, na gotovo jednakim međusobnim udaljenostima. No, osnovna razlika između P1 i P2 je u reverznim rasjedima s nagibom paraklaze prema zapadu, odnosno *back-thrust* rasjedima, koji stvaraju pseudoantiklinalu. Takva struktura, kad bi se na nju naišlo na terenu, mogla bi se krivo interpretirati kao antiklinala. Na slici 32 prikazano je kako bi izgledala pojednostavljena geološka karta kada bi materijal erodirali do razine označene na profilu. Lijevo na slici 32 je karta s ucrtanim rasjedima, a desno karta bez ucrtanih rasjeda, tj. na desnoj slici su rasjedi ucrtani kao geološke granice, te je vidljiva mogućnost pogreške pri kartiranju ako se nagibi slojeva i njihov međusobni prostorni položaj (u tjemenu pseudoantiklinale je najstariji sloj, a u krilima mlađi slojevi) krivo protumači.

U slučaju krive interpretacije na pogrešku upućuje rasjed unutar sloja kave (slika 32, sloj 4 na profilu).

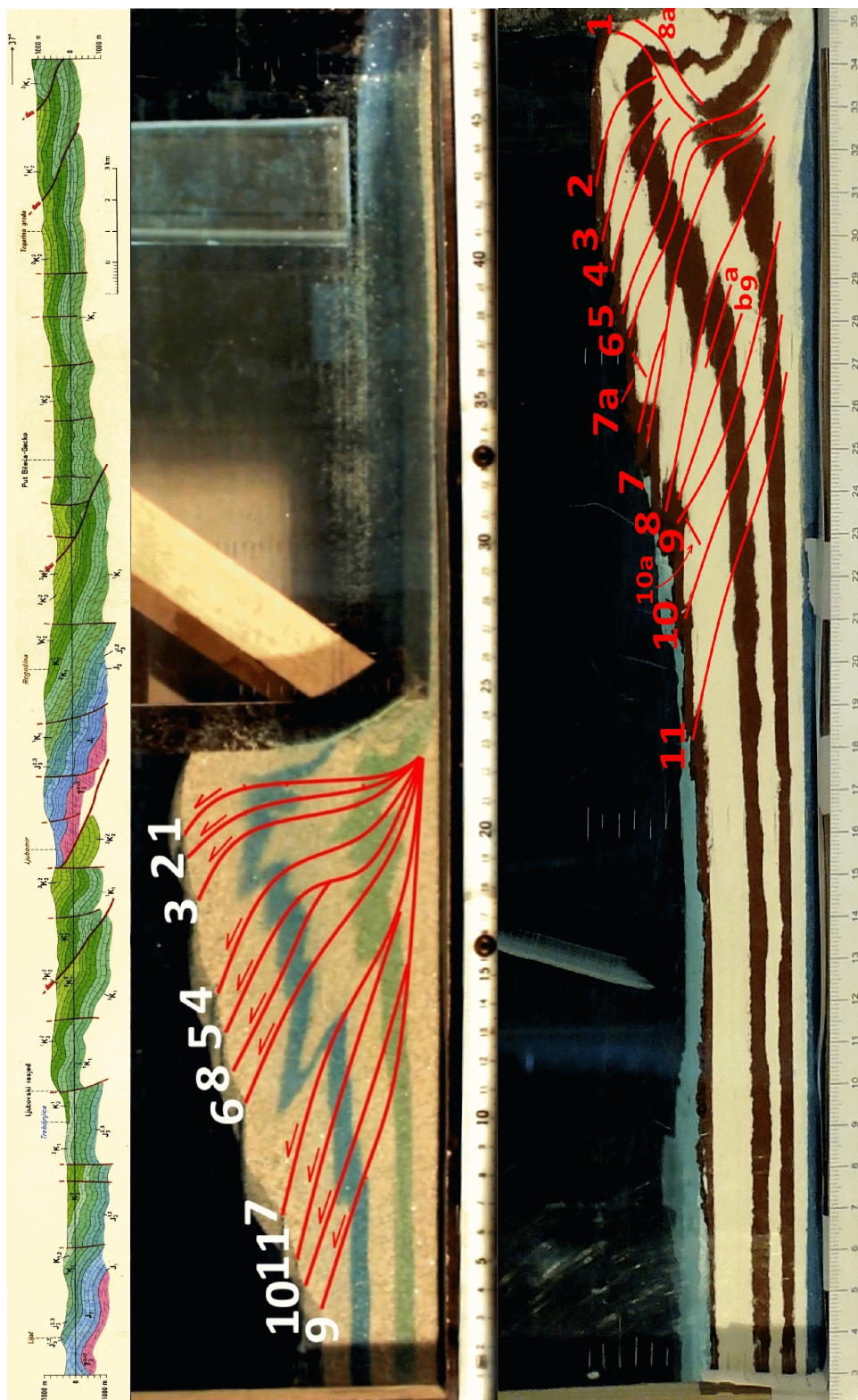


Slika 32: Pojednostavljena geološka karta po horizontu označenom na profilu (AB). Na gore lijevoj slici je vidljiva ispravno interpretirana karta s ucrtanim rasjedima. Na gore desnoj slici je vidljiva moguća kriva interpretacija na temelju položaja slojeva i rasporeda stratigrafskih jedinica (u tjemenu pseudoantiklinale je najstariji, a u krilima mlađi slojevi) na kojoj su rasjedi ucrtani kao geološke granice, a struktura označena kao antiklinala.

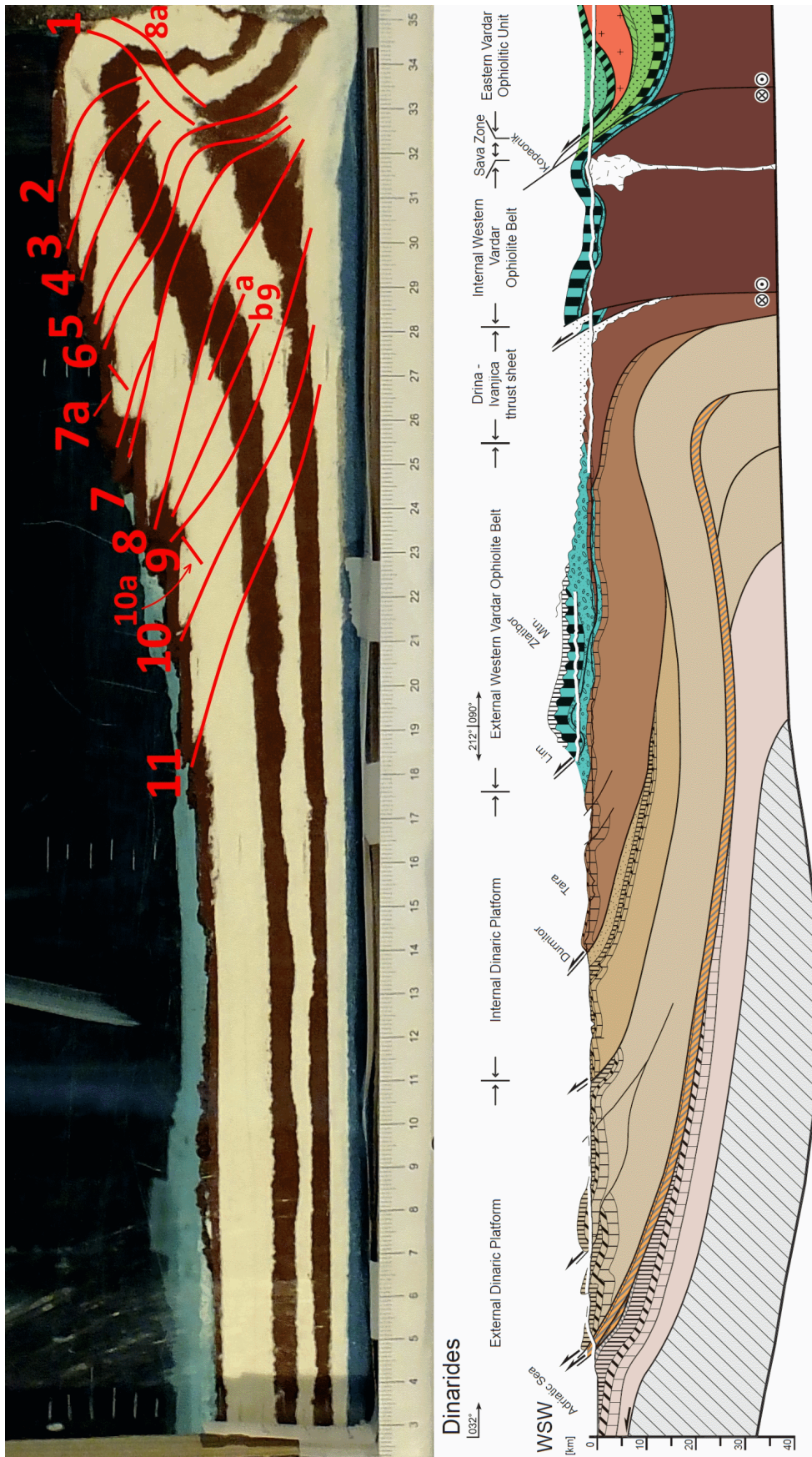
Drugi pokus kompresijske tektonike P2 možda bi se mogao usporediti s profilom A-B na OGK listu Trebinje (Natević & Petrović, 1967) (slika 33). Na ovom profilu, baš kao i u pokusu, reversni rasjedi su samostalni i odvojeni. Također, pri dnu profila su trijaski dolomiti, čija su kinematička svojstva moguće drugačija od mlađih, jurskih i krednih, vapnenaca koji na njima leže. To također može biti sličnost s različitom granulometrijom materijala postavljenog u pokusu, gdje je na dnu materijala postavljen samo jedan sloj pijeska, dok su ostali, mlađi, slojevi brašna i pijeska zasigurno različitih kinematičkih svojstava. Geometrije rasjeda se, s obzirom na različitost debljine kore koja je ucrtana na profilu i one koju predstavlja pokus, također relativno slažu. *Back-thrust*

reverznih rasjeda na profilu nema (kao ni slijepih sintetičkih i antitetičkih rasjeda), no koristeći rezultate P2 njih bi ih se možda moglo ucrtati na mjesta fotogeološki interpretiranih i neutvrđenih rasjeda koji odgovaraju pomakom, uz korekciju kuta nagiba. Gledajući samo kartu OGK lista Trebinje, tj. odnos jedinica prikazanih na karti, bez terenskih podataka, takva interpretacija je moguća.

Kako reologija brašna i kave nije u potpunosti poznata, teško je govoriti o tome koju skalnu bi navedeni materijali mogli predstavljati. Možda je najbolje usporediti drugi pokus P2 sa geološkim profilom kroz Dinaride (Schmid et al. 2008), napravljenom u manjem mjerilu (slika 34). Na profilu su prikazane glavne navlačne jedinice već opisane u poglavlju 4, te je vidljiv set reverznih rasjeda, odnosno ljuski, koji su relativno jednako udaljene jedna od druge, kao i u pokusu. Rasjedi se na navedenom profilu također ustrmljuju idući prema zoni kolizije, kao i u pokusu. Zona kolizije nekadašnje platforme danas je zbog promjene smjera glavnog pritiska odvojena od prijelazne zone i jedinica Tisije rasjedima sa *strike-slip* pomakom. Nedostatak *back-thrust* rasjeda na profilu može biti objašnjen njihovom reaktivacijom i tektonskom inverzijom u rasjede sa *strike-slip* pomakom. Ipak, gledajući geometriju rasjeda na profilu, koja vrlo slično geometriji rasjeda 2, 3 i 4, a posebice rasjeda 5 i 6 u pokusu, čini se kako je do reaktivacije i tektonske inverzije došlo na glavnim navlačnim rasjedima.



Slika 33: Usporedba nastalih struktura u P1 (sredina) sa strukturama nastalim u P2 (dolje) te s geološkim profilom A-B sa O GK Iisa Trebinje (Natljević, 1967) (gore). Osnovna razlika između P1 i P2 je u postojanju suprotno (sa smjerom nagiba zapad) orijentiranih reverznih rasjeda, nastajanje rasjeda zasebno u P2 (za razliku od P1 gdje nastaju u setovima) i nastanak slijepih sintetičkih rasjeda u P2 koji ne nastaju u P1. Nastale strukture u P2 u određenoj mjeri odgovaraju profilu sa O GK Iisa Trebinje. Na profilu kao i u pokusu reverzni rasjedi su zasebni i odvojeni i stijene su različitim kinematičkih svojstava, no back-thrust rasjedi, kao ni slijepi sintetički i antitetički rasjedi, na profilu nisu označeni.

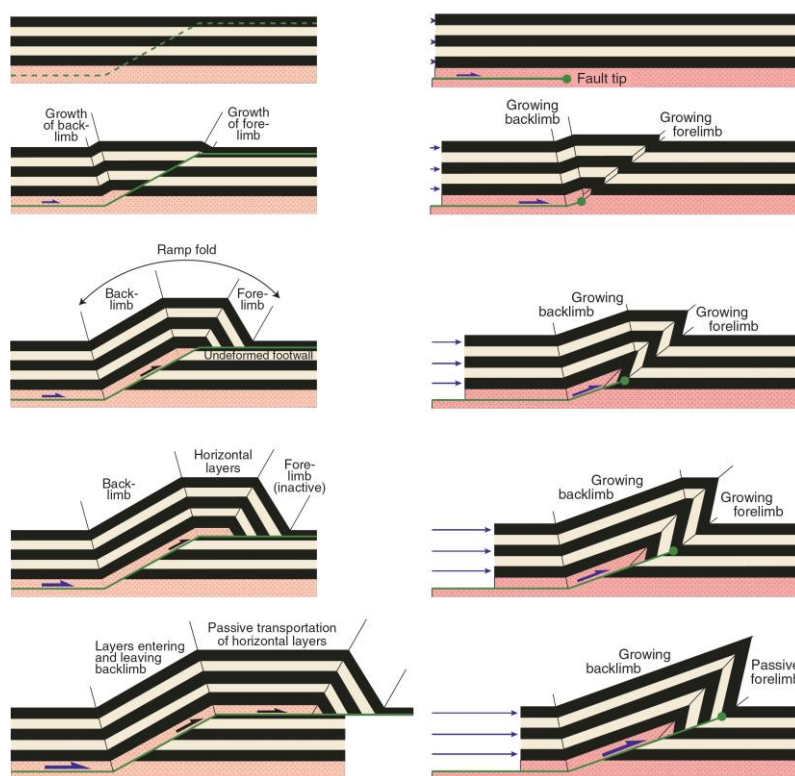


Slika 34: Usporedba nastalih struktura u P2 (gore) s geološkim profilom kroz Dinaride (Schmid et al., 2008). Osnovna razlika između P2 i geološkog profila Dinarida je u ne postojanju *back-thrust* rasjeda. Sličnosti P2 i geološkog profila Dinarida su u geometriji rasjeda, rasjedima ucrtanim na profil na međusobno relativno jednakim udaljenostima, te ustrmljenju rasjeda idući prema zoni kolizije.

9.3 Treći pokus kompresijske tektonike P3

Treći pokus kompresijske tektonike P3 napravljen je sa setom limova kako bi se simulirala maksimalna kompresija u centru postavljenog materijala. Gledajući sve pokuse, čini se kako se ovakvi pokusi mogu upotrijebiti pri interpretaciji struktura na manjoj skali, odnosno pri izradi karata većeg mjerila.

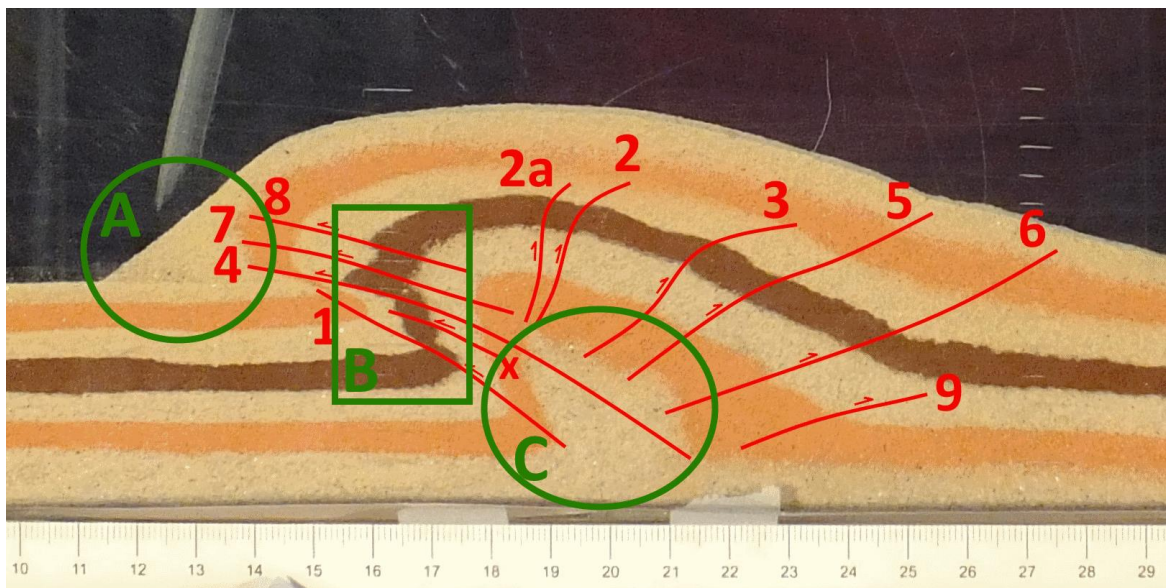
U P3 nastaju strukture koje vrlo vjerno prikazuju strukture koje nastaju u krovinskim krilima navlačnih rasjeda te su vrlo usporedive s terenima u Vanjskim Dinaridima koji su prožeti navlačnim rasjedima i borama. U ovom pokusu rasjedi nastaju zasebno, bez razvijanja zajedničkog korijena odnosno dekolmanskog horizonta, izuzev rasjeda 1 i 4, za koje zbog rezolucije pokusa nije moguće reći imaju li zajednički korijen što se čini vrlo mogućim (vidljivo na slici 27). U P3 nastaje asimetrična struktura koja se svojom genezom i krajnjom dobivenom strukturom može povezati sa modelom nastajanja rasjednih bora (*fault-propagation folding*) (slika 35, desno, slika 36).



Slika 35: Modeli nastajanja rasjednih bora (Fossen, 2010). Lijevo: model nastanka rasjednih bora (*fault-bending*); Desno: model nastanka rasjednih bora (*fault-propagation folding*).

Zadebljanje najmlađih slojeva ispod antiklinale, tj. ispod glavnog navlačnog rasjeda (u ovom slučaju seta rasjeda) karakteristično je za rasjedno boranje (*fault-propagation folding*) (Suppe & Medwedeff, 1990), a upravo se to događa s najvišim (najmlađim) slojem (slika 36) u pokusu. Slojevi u čelu navlake (antiklinale) dolaze u subvertikalni položaj, ne samo zbog geneze antiklinale, već i zbog djelovanja seta navlačnih rasjeda 1, 4, 7 i 8. Navedeno je vrlo lako vidljivo na sloju kave (slika 36) i odgovara modelu rasjednog boranja (*fault-propagation folding*) na slici 35, te je vrlo značajno kada bi, primjerice, sloj kave bio rudonosni sloj. Također, primjetno je i značajno zadebljanje najstarijeg sloja pri dnu seta navlačnih rasjeda (slika 36), što ponovno može biti ekonomski vrlo važno, primjerice, zbog mogućeg stvaranja strukturne zamke za akumulaciju nafte. Također se vidi kako *back-thrust* rasjedi 2a, 2, 3, 5, 6 i 9 nastaju pod kutovima zrcalno simetričnim glavnim navlačnim rasjedima 1, 4, 7 i 8.

Na slici 36 prikazan je pokus P3 u fazi kompresije 30%. Promotri li se pomnije rasjedi 4 i 6, primjetno je da je rasjed 4 pod kutom od 23° , a rasjed 6 pod kutom od 22° (tablica 13), te je kut između njih vrlo blizak 120° , odnosno rasjedi su zrcalno simetrični. Ovo može biti vrlo korisno pri interpretaciji ako je na terenu moguće odrediti kut paraklaze samo jednog rasjeda, a koristeći ovaj podatak, kut drugog rasjeda moguće je pretpostaviti s relativno velikom preciznošću.

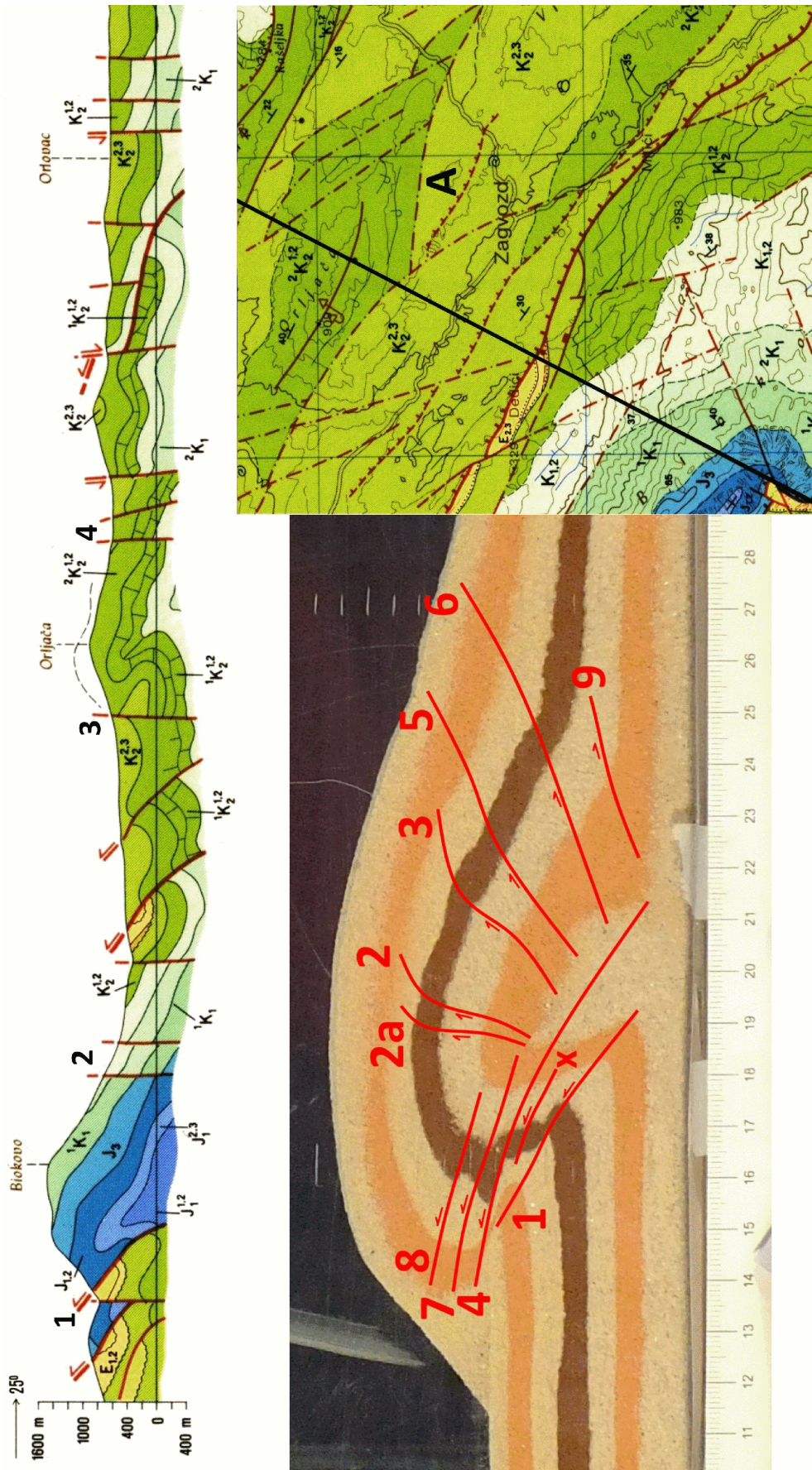


Slika 36: Pokus P3 pri fazi kompresije 30%. A: Vidljivo je gravitacijsko zadebljanje najmlađeg sloja u čelu navlake (antiklinale); B: Sloj kave zbog geneze strukture dolazi u subvertikalan položaj; C: Zadebljanje najstarijeg sloja pri dnu seta navlačnih rasjeda.

Rezultat pokusa P3 mogao bi se usporediti s djelom profila A-B na OGK listu Imotski (Raić et al., 1977) (slika 37). Strukture Biokova i Orljače nalikuju onima dobivenim u P3. Na prebačenoj antiklinali (Biokovo) iznad rasjeda na profilu označenim s 1 (koji bi mogao odgovarati setu navlačnih rasjeda 1, 4, 7 i 8 u pokusu) vidljivo je jasno zadebljanje lijasko-dogerskih vapnenaca ($J_{1,2}$), a kao i zadebljanje starijih lijaskih ($J_{1^{2,3}}$) vapnenaca. Odnos najmlađeg sloja u pokusu i prvog od njega starijeg narančastog, upadljivo podsjeća na odnos između slojeva jurskih vapnenaca na profilu. Treba obratiti pozornost na rasjede koji su na profilu označeni s 2, a na OGK su fotogeološki interpretirani bez jasnog karaktera. Uzevši u obzir sličnost navlačne strukture s rezultatima pokusa, ove bi se rasjede moglo interpretirati kao *back-thrust* reversne rasjede koji bi odgovarali *back-thrust* rasjedima u pokusu, primjerice rasjedima 2 i 3, a tome bi odgovarao i interpretirani pomak na profilu. Dakle, na temelju spoznaja iz provedenog pokusa, rasjede koji su na profilu označeni brojem 2 (slika 37) moglo bi se interpretirati kao reversne rasjede, točnije *back-thrust* rasjede te bi im se u tom slučaju mogao korigirati i smjer nagiba. Kada bi ova struktura bila tako interpretirana uvelike bi odgovarala strukturi

dobivenoj u pokusu.

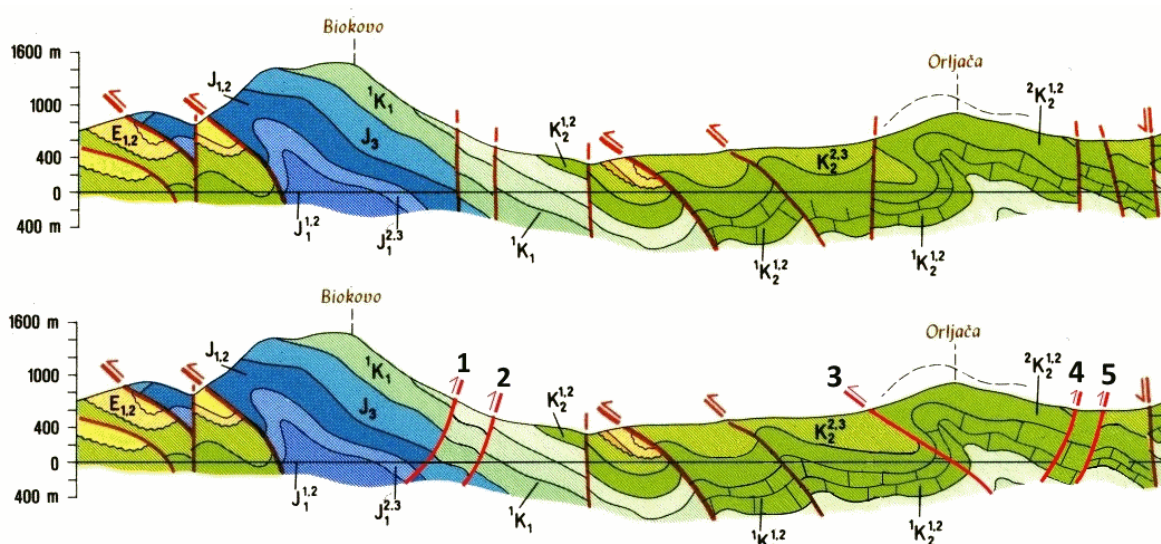
Na karti (slika 37, dolje desno) je duž Orljače ucrtana prebačena antiklinala ispred čijeg je tjemena ucrtan fotogeološki interpretiran rasjed nepoznatog karaktera. I ovdje je uočljivo zadebljanje mlađih gornjekrednih naslaga (${}^2K_2^{1,2}$) u čelu navlake, kao i zadebljanje starijih gornjokrednih vapnenaca (${}^1K_2^{1,2}$) pri dnu strukture. S obzirom na sličnost strukture s pokusom, rasjed označen s 3 na profilu i na karti ucrtan kao fotogeološki, mogao bi se interpretirati kao reverzni rasjed sa smjerom nagiba sličnim smjeru nagiba rasjeda 1 na profilu. Tumačenju da je rasjed označen na profilu brojem 3 reversni ide u prilog postojanje na kartu aproksimirano ucrtanog, utvrđenog reversnog rasjeda (A na karti, desno dolje, slika 37) u neposrednoj blizini čije se pružanje gotovo podudara s njegovim pružanjem.



Slika 37: Usporedba dijela profila A-B na OGK listu (Raić et al., 1977) (gore) sa P3 pri 30% kompresije (dolje lijevo). Vidljivo je zadebljanje sloja u čelu antiklinale i u pokusu i na profilu. Postoji mogućnost primjene dobivenih rezultata u pokusu na nadopunjavanje Osnovne geološke karte. Dolje desno: dio OGK lista Imotski koji prikazuje promatrani prostor, Biokovo i Orlijaču. Crna linija na karti označava profil.

Fotogeološki interpretirani rasjedi, koji su na profilu označeni s 4 i u ovom bi slučaju mogli biti interpretirani kao *back-thrust* rasjedi. Kada bi ih se ucrtalo na kartu kao reversne rasjede s nagibom prema tjemenu antiklinale Orljače, njihov bi reversni karakter odgovarao situaciji na karti, tj. stariji gornjokredni vapnenci (${}^2K_{2,1,2}$) našli bi se iznad mlađih gornjokrednih vapnenaca ($K_{2,2,3}$) u navlačnom kontaktu.

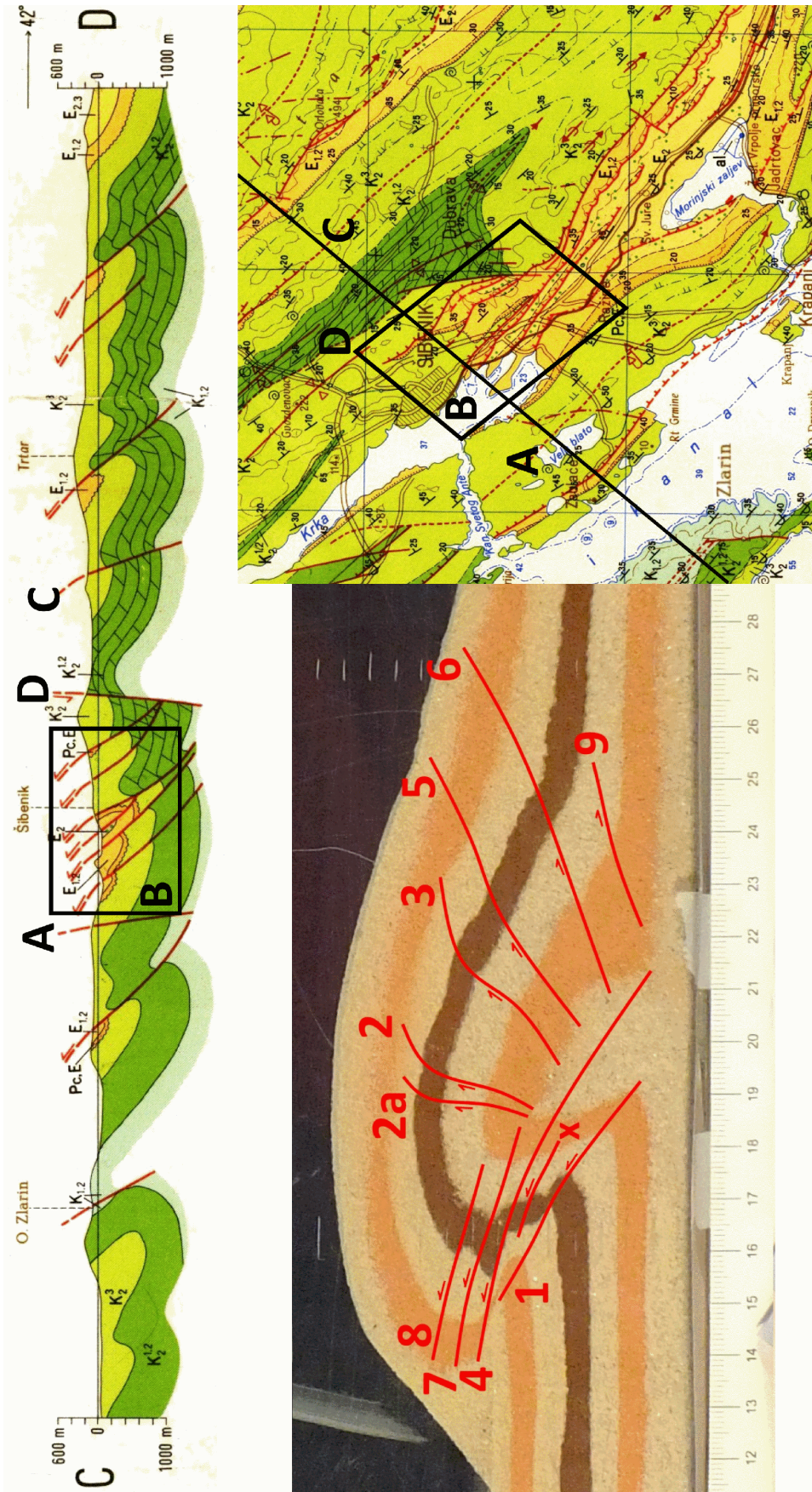
Slika 38 prikazuje kako bi izgledao modificirani dio profila A-B na OGK listu Imotski, u kojem su izmijenjeni karakteri rasjeda označenima 1, 2, 3, 4, i 5 u skladu s modelom. Pomak rasjeda broj 2 na slici 38 je normalan, no, treba uzeti u obzir puno veći pomak njemu susjednog rasjeda na slici označenim s 1.



Slika 38: Usporedba originalnog dijela geološkog profila A-B sa Lista Imotski Osnovne geološke SFRJ (Raić et al., 1977) s geološkim profilom modificiranim uz pomoć pokusa P3. Gore: dio profila A-B sa Lista Imotski Osnovne geološke karte SFRJ (Raić et al., 1976). Dolje: Modificirani geološki profil A-B OGK lista Imotski, kada bi u interpretaciji bile primijenjene spoznaje iz P3. Izmijenjeni su karakteri rasjeda označenih sa 1, 2, 3, 4 i 5.

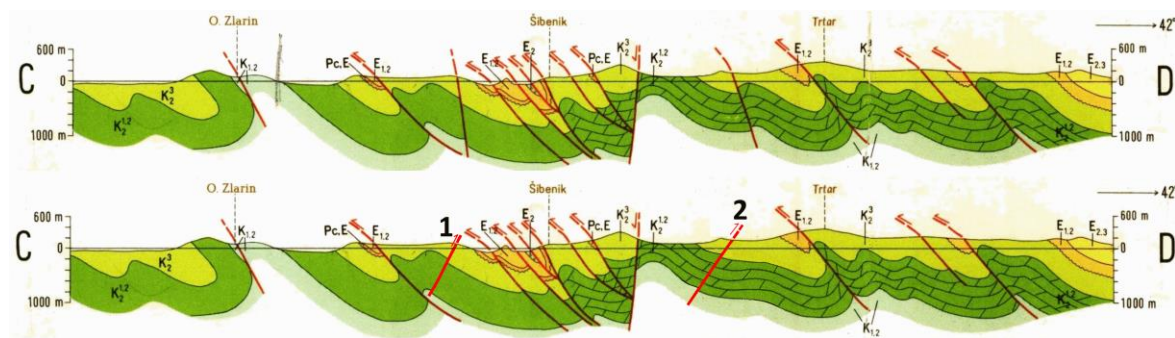
Treći pokus kompresije mogao bi se koristiti pri interpretaciji dijela područja s lista OGK Šibenik (Mamužić, 1971) (slika 39). Rezultati pokusa pokazuju sličnost s profilom C-D na navedenoj karti. Na području Šibenika na geološkom profilu s karte vidljiv je set reverznih rasjeda koji uvelike liče na set navlačnih rasjeda 1, 4, 7, 8 u pokusu P3. Također, strukture ucrtane na geološkom profilu liče strukturama dobivenim u pokusu P3.

Razlika pokusa i geološkog profila na OGK je u nedostatku *back-thrust* rasjeda na profilu, što bi se uz pomoć rezultata pokusa moglo ispraviti. Gledajući geološki profil i kartu, na području Zablaća uctan je navlačni reversni rasjed s dinarskim pružanjem i smjerom navlačenja u smjeru JI. U krovinskom krilu navedenog rasjeda uctan je pretpostavljen rasjed bez oznake karaktera (A na slici 39). Ovaj bi se rasjed, koristeći rezultate pokusa P3, mogao interpretirati kao *back-thrust* rasjed čemu bi odgovarao i smjer pomaka uctan u geološki profil, kao i položaji slojeva i stratigrafskih jedinica na karti. Također, vrlo je bitno primijetiti set reversnih rasjeda na području Šibenika (B na slici 39) koji uvelike sličje setu reverznih rasjeda dobivenim u pokusu. U krovinskom krilu ovog seta rasjeda uctana je antiklinala, koja je dobivena i u pokusu, te je iza te antiklinale uctan pretpostavljen rasjed bez oznake karaktera (C na slici 39). Ovaj bi rasjed također mogao biti interpretiran kao *back-thrust* rasjed, čemu odgovaraju položaji slojeva i raspored stratigrafskih jedinica na karti. Ovakva interpretacija ne odgovara pomaku navedenog rasjeda uctanog u geološki profil, no, treba uzeti u obzir kako je taj rasjed na karti pretpostavljen te njegov karakter nije bio poznat. Rasjed označen s D na slici 39 ne odgovara opisanoj strukturi na geološkom profilu, kao ni strukturi dobivenoj u pokusu, no i taj rasjed je na kartu uctan pretpostavljen i bez oznake karaktera pa nije uzet u obzir pri usporedbi pokusa s geološkim profilom na OGK te je njegovo postojanje možebitno upitno. Zbog rasporeda stratigrafskih jedinica nije moguće interpretirati navedeni rasjed kao *back-thrust* rasjed (starija kreda $K_2^{1,2}$ bi se u tom slučaju nalazila u podinskom krilu reverznog rasjeda, a mlađa kreda K_2^3 bila bi u krovinskom, što nije moguće). Uzevši u obzir položaje slojeva i raspored stratigrafskih jedinica na karti, nije krivo umjesto pretpostavljenog rasjeda D uctati normalnu granicu između katova gornje krede.



Slika 39: Usporedba dijela profila C-D na OGK Listu Šibenik (Mamužić et al., 1971) (gore) sa P3 pri 30% kompresije (dolje lijevo). Dolje desno: dio OGK lista Šibenik koji prikazuje promatrani prostor. Crna linija na karti označava profil C-D. A: Promatrani rasjed čiji uctani karakter ne odgovara uctanoj strukturi; B: Set reverznih rasjeda koji odgovaraju setu rasjeda dobivenim u pokusu; C: Promatrani rasjed čiji uctani karakter ne odgovara uctanoj strukturi; D: Promatrani rasjed čiji uctani karakter ne odgovara uctanoj strukturi i koji nije uzet u obzir pri interpretaciji uz pomoć pokusa.

Normalni rasjed koji presijeca antiklinalu u krovini seta reverznih rasjeda (D na slici 39) nije uzet u obzir pri modifikaciji profila, te se njegovo postojanje smatra upitnim kako je navedeni rasjed pretpostavljen. Na slici 40 vidljiv je geološki profil C-D interpretiran pomoću spoznaja dobivenih u pokusu. Promijenjeni su karakteri rasjeda označenih sa 1 i 2.



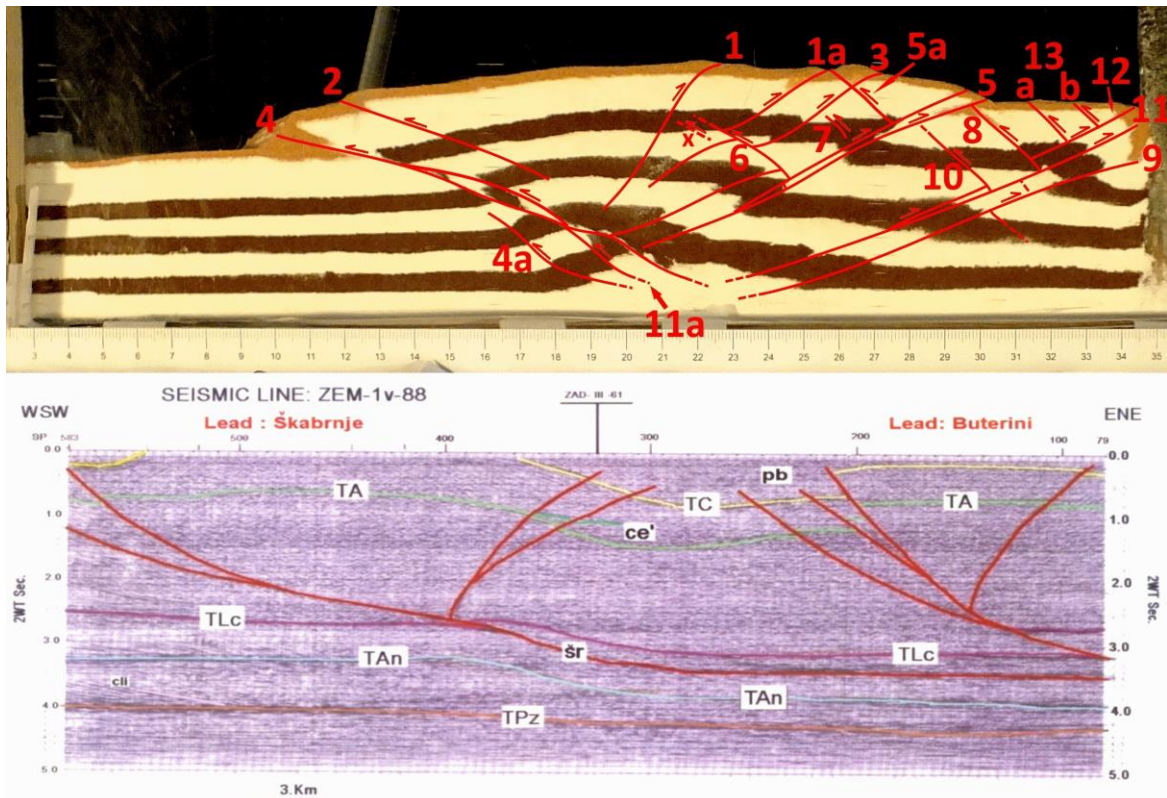
Slika 40: Usporedba originalnog dijela geološkog profila sa OGK lista Šibenik (Mamužić, 1971) s geološkim profilom modificiranim uz pomoć pokusa P3. Gore: Profil C-D OGK lista Šibenik (Mamužić, 1971). Dolje: Modificirani geološki profil OGK lista Šibenik, kada bi u interpretaciji bile primijenjene spoznaje iz P3. Izmijenjeni su karakteri rasjeda označenih sa 1 i 2.

9.4 Četvrti pokus kompresijske tektonike P4

Četvrti pokus kompresijske tektonike P4 napravljen je sa setom limova kako bi se simulirala maksimalna kompresija u centru postavljenog materijala. Napravljen je na vrlo sličan način pokusu P3, a razlikuju se u materijalu na kojem je proveden pokus. U P4 za simulaciju stijena korišteni su brašno i kava. Iako zbog rezolucije koju pruža aparatura nije moguće zaključiti sa sigurnošću, većina rasjeda nastaje zasebno, bez zajedničkog korijena. Postoji mogućnost da se rasjedi 4, 4a i 11a spajaju u zajednički korijen. U P4 nastaje simetrična struktura koja se svojom genezom i krajnjom dobivenom strukturom može povezati s modelom nastajanja rasjednih bora (*fault-bending*) (slika 35, lijevo). Do zadebljanja dolazi samo u najstarijem (najdonjem) sloju, i to pri dnu seta glavnih rasjeda s navlačenjem u smjeru kompresije, rasjeda 4, 4a i 11a. Krovinsko krilo seta glavnih navlačnih rasjeda nije poremećeno boranjem do te mjere kao u pokusu P3, već se

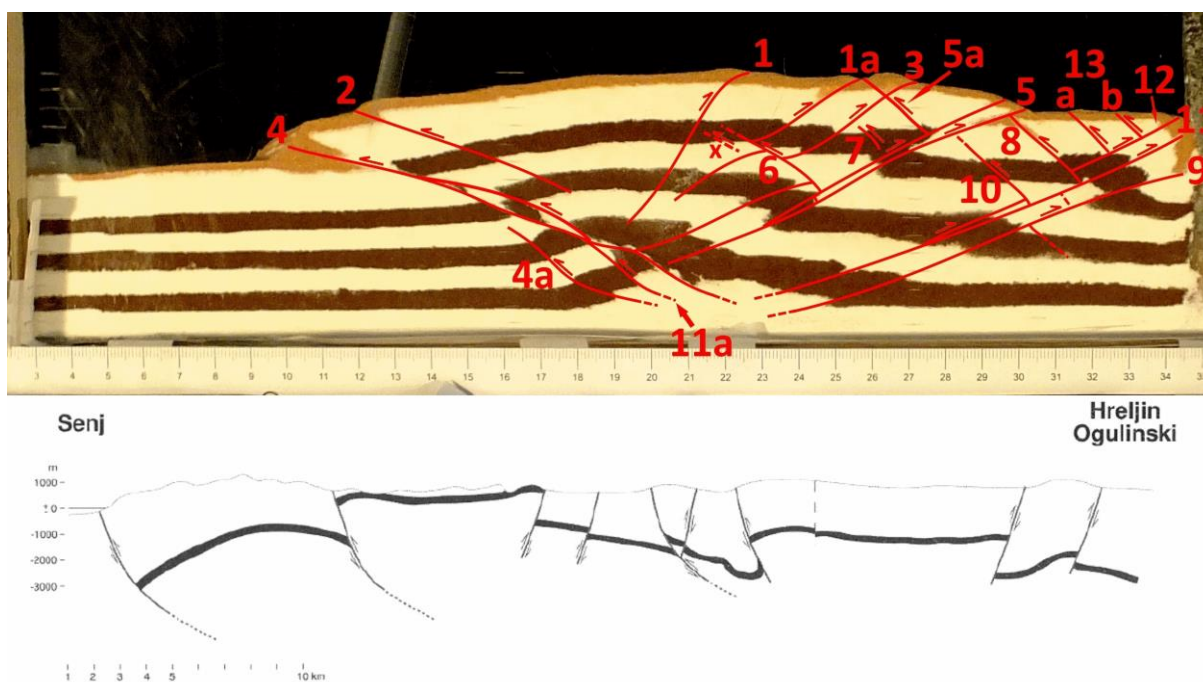
smanjenje prostora uzrokovano kompresijom nadomještuje primarno rasjedanjem slojeva. Antiklinala, koja ipak nastaje do jedne mjere, sadrži uglavnom slabo borane slojeve. Unutar antiklinale, osim *back-thrust* rasjeda nastaju i navlačni rasjedi sintetički setu glavnih navlačnih rasjeda. Geometrija svih rasjeda koji nastaju u pokusu vrlo je složena zbog interakcije velikog broja rasjeda na malom području.

Pokus P4 može se usporediti s dijelom Ravnih Kotara (slika 41), gdje je postojanje *back-thrust* rasjeda dokazano na više seizmičkih profila, između kojih je i seizmički profil Smiličić-Pridraga (Grandić et al., 2004). Na seizmičkom profilu vidljivi su glavni reverzni rasjedi koje prate *back-thrust* rasjedi, a stijene u krovinskom krilu glavnih reverznih rasjeda su slabo borane. Također, strukture koje su vidljive na seizmičkom profilu su simetrične. P4 razlikuje se od seizmičkog profila po različitoj geometriji rasjeda, no ta razlika nije drastična i, gledajući ranije faze provedbe pokusa, nije primjetna.



Slika 41: Usporedba pokusa P4 pri 30% kompresije (gore) sa seizmičkim profilom Smiličić-Pridraga ZEM-1v-1988 (Grandić et al., 2004) (dolje). Vidljive su sličnosti struktura nastalih u pokusu sa strukturama na terenu, prvenstveno po njihovoj simetričnosti.

Četvrti pokus može se usporediti s profilom Senj-Ogulin (Matičec et al., 1997) (slika 42). Na ovom pojednostavljenom profilu postoje *back-thrust* rasjedi koji su nakon tercijarne kompresije, čiji je maksimum bio izdizanje Dinarida, zajedno s glavnim reverznim rasjedima bili reaktivirani u neotektonskoj, transpresijskoj fazi tektonike (Matičec et al., 1997). Dakle, ovi *back-thrust* rasjedi nisu rezultat neotektonike već su nastali u kompresijskoj fazi, u prilog čemu ide i njihovo pružanje koje je uglavnom paralelno pružanju glavnih reverznih rasjeda. Također, strukture na profilu su simetrične, a slojevi u krovinskim krilima struktura su slabo borani. Ovakvoj situaciji na profilu do neke mjere odgovaraju strukture nastale u četvrtom pokusu kompresijske tektonike.

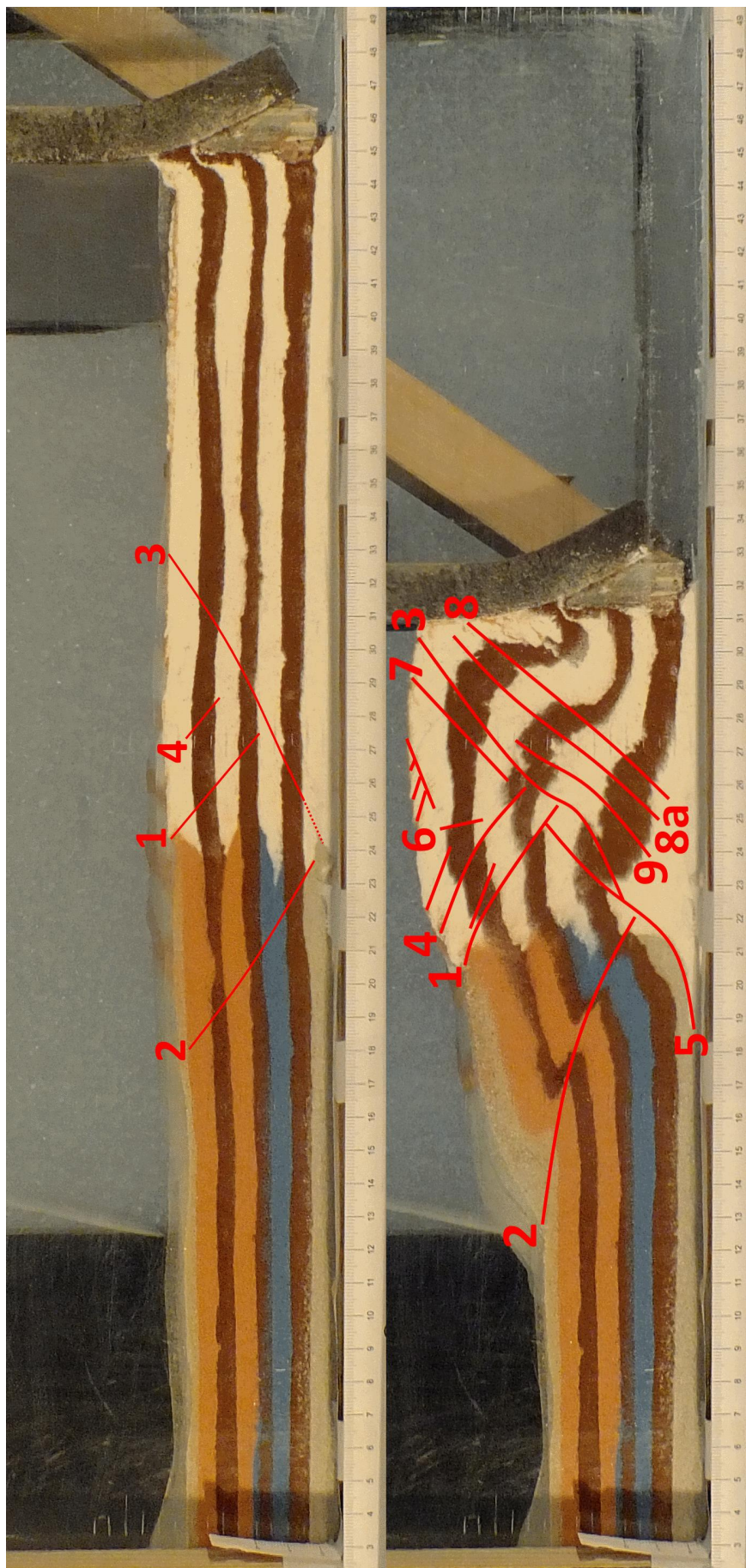


Slika 42: Usporedba P4 pri 30% kompresije (gore) sa shematskim geološkim profilom Senj-Ogulin (Matičec et al., 1997) (dolje). Rezultati pokusa pokazuju veliku sličnost sa profilom, prvenstveno u simetričnosti nastalih struktura.

9.5 Peti pokus kompresijske tektonike P5

Pokus P5 zamišljen je tako da simulira kompresiju stijena koje sadrže granicu dvaju facijesa, odnosno granicu dvaju različitih bazena. Interpretacija petog pokusa od velike je važnosti za shvaćanje ponašanja ovakvih geoloških struktura pod utjecajem kompresijske tektonike.

Materijal je postavljen tako da simulira regresije i transgresije mora. U lijevom dijelu materijala koji predstavlja transgresiju dominira pijesak (nazvanom slijed transgresije), dok u desnom dijelu postavljenog materijala koji predstavlja regresiju dominira brašno (nazvanom slijed regresije). Na slici 43 vidljiva je usporedba petog pokusa pri 10% i 38% kompresije. Moguće je zamijetiti kako tijekom napredovanja tektonike nije došlo do navlačenja slijeda regresije na slijed transgresije u smjeru kompresije, već je smanjenje prostora uzrokovano kompresijom nadoknađeno rasjedanjem u pojedinim slijedovima. Granica "facijesa" nije značajno tektonizirana, već dolazi samo do njene translacije. Mikro rasjedanje na granici "facijesa" bilo bi moguće promatrati kada bi rezolucija aparature to dopustila. Također je vrlo bitno primijetiti kako dolazi do podvlačenja slijeda regresije pod slijed transgresije, odnosno navlačenja slijeda transgresije na sloj regresije u smjeru suprotnom glavnom smjeru kompresije djelovanjem rasjeda 5. Rasjed 5 moguće je u ovom slučaju smatrati glavnim navlačnim rasjedom, iako on po svojoj prirodi je *back-thrust* rasjed. Isto tako, zbog rezolucije koju pruža aparatura nije moguće zaključiti spajaju li se rasjedi 8, 8a i 9 u zajednički korijen s rasjedom 5. No, uzmemo li u obzir značajno zadebljanje najstarijeg sloja u slijedu regresije, spajanje navedenih rasjeda u zajednički dekolmanski horizont se čini vjerojatnim.



Slika 43: Usporedba petog pokusa pri 10% i 38% kompresije. Vidljivo je da tijekom kompresije ne dolazi do rasjedanja granice facijesa već do njene translacije.

10. Zaključak

Iz prvog pokusa kompresijske tektonike (P1) može se sa sigurnošću zaključiti slijedeće:

- (1) Pri kompresiji materijala jednake granulacije nastaju rasjedi u setovima, sa zajedničkim korijenom odnosno dekolmanskim horizontom.
- (2) Kut nastanka mlađih rasjeda manji je od kuta nastanka starijih, tj. kut nastanka rasjeda se smanjuje napredovanjem kompresije.
- (3) Rasjedi se ustrmljuju tijekom kompresije s obzirom na početni kut njihovog nastanka, što dovodi do stvaranja vrlo strmih reversnih rasjeda.
- (4) Velika većina rasjeda u pokusu nastaje kao antilistrička i vrlo brzo mijenjaju geometriju u *flat-ramp-flat*. Tek u najnaprednijoj fazi kompresije nastaju listrički rasjedi.

Iz drugog pokusa kompresijske tektonike (P2) sa sigurnošću se može zaključiti kako u materijalu sa postavljenim materijalom granulacije različite od granulacije materijala postavljenog u P1:

- (1) Rasjedi nastaju zasebno, na međusobno relativno jednakim udaljenostima.
- (2) Nastaju antitetički reversni rasjedi, tj. *back-thrust* rasjedi, koji svojim rastom generiraju pseudoantiklinalu.
- (3) Kutovi nagiba svih nastalih rasjeda sekundarno se povećavaju tijekom napredovanja kompresije.
- (4) Nastaju slijepi sintetički i antitetički rasjedi.

Iz trećeg pokusa kompresijske tektonike (P3) moguće je zaključiti slijedeće:

- (1) Pokusi koji simuliraju kompresiju u centru postavljenog materijala mogu se upotrijebiti za interpretaciju nastalih struktura na manjoj skali.
- (2) U pokusu u kojem je postavljen pijesak, nakon simulacije kompresije nastaje asimetrična struktura, vrlo usporediva s terenima u Dinaridima.

Iz četvrtog pokusa kompresijske tektonike (P4) moguće je zaključiti slijedeće:

- (1) U pokusu koji simulira kompresiju u centru postavljenog materijala, a kao materijal postavljeno je brašno i kava, nastaje simetrična struktura, koja se može primijeniti u interpretaciji terena u Dinaridima na manjoj skali.

Iz petog pokusa kompresijske tektonike (P5) moguće je zaključiti:

- (1) Pri kompresiji terena koji sadrži granicu dvaju bazena različitih reoloških karakteristika ne dolazi do rasjedanja granice u značajnoj mjeri, već se smanjenje prostora uzrokovano tektonikom nadoknađuje rasjedanjem u pojedinim bazenima.
- (2) Dolazi do nastajanja glavnog reverznog rasjeda sa smjerom navlačenja suprotnim smjeru kompresije, odnosno do podvlačenja, a ne navlačenja bazena u smjeru kompresije.

Izvedeni pokusi pokazali su veliku primjenjivost analognog modeliranja u interpretaciji i geološkom kartiranju prostora Dinarida s obzirom na rezultate pokusa koji su uspoređeni s profilima iz Osnovne geološke karte SFRJ. Praznine u interpretaciji i geološkom kartiranju, koje nije moguće popuniti terenskim radom i daljinskim metodama, moguće je popuniti primjenom analognog modeliranja.

S obzirom na provedene pokuse na području Dinarida, posebice vanjskih Dinarida, moraju postojati *back-thrust* rasjedi, odnosno reversni rasjedi nagibom suprotni od klasičnih dinarskih navlaka, a sa sličnim pružanjem. *Back-thrust* rasjedi dobiveni su u gotovo svim izvedenim pokusima, a kako mehanizam nastanka struktura u pokusima i struktura u Dinaridima smatram sličnim, postojanje *back-thrust* rasjeda u Dinaridima čini se vrlo vjerojatno. Odstupanja od profila OGK uspoređenim s rezultatima pokusa potrebno je provjeriti na terenu.

11. Literatura

- Andelković, M. (1982): Geologija Jugoslavije. Tektonika. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, OOUR za regionalnu geologiju i paleontologiju, Beograd, 230-449.
- Blašković, I. & Aljinović, B. (1981): Mikrotektonski elementi kao osnova za model tektonske građe šireg područja Kvarnera, Simpozij „Kompleksna naftno-geološka problematika podmorja i priobalnih dijelova Jadranskog mora“ Split, 19.-21.5.1981, Zbornik radova 1, 87 – 100.
- Chorowicz, J. (1977): Etude géologique des Dinarides le long de la structure transversale Split-Karlovac (Yougoslavie). Doktorska disertacija, Société Géologique du Nord, publ. 1, Villeneuve D'ascq, 290.
- Crook, A. J. L., Wilson, S. M., Yu, J. G. & Owen, D. R. J. (2006): Predictive modelling of structure evolution in sandbox experiments. *Journal of Structural Geology* 28, 729-744.
- Cvijić, J. (1901): Die dinaridische-albanesische Scharung. *Sitzungsber. Akad. Wiss., CX, Abt. I*, 437-478. Wien.
- Cvijić, J. (1924): Geomorfologija, knj. I. Izdanje državne štamparije kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca, 588. Beograd.
- Dimitrijević, M. (1974): Dinaridi: Jedan model na osnovama" Nove globalne tektonike. Metalogenija i koncepcija geotektonskog razvoja Jugoslavije, 119-153.
- Fossen, H. & Gabrielsen, R. (1996): Experimental modeling of extensional fault systems by use of plaster. *Journal of Structural Geology* 18, 5, 673 – 681.
- Fossen, H. (2010): *Structural Geology*. Cambridge University Press. 463.
- Grandić S., Kratković I., Kolbah S. & Samaržija J. (2004): Hydrocarbon potential of stratigraphic and structural traps of the Ravni Kotari area – Croatia, *Nafta* 55 (7-8), 311-327.
- Grubnić, A. (1975): Tectonics of Yugoslavia. JAZU, Prir. istr. 41, *Acta geologica VIII*, Zagreb.
- Karamata, S. (2006): The geological development of the Balkan Peninsula related to the approach, collision and compression of Gondwanan and Eurasian units. *Geological Society, London, Special Publications*, 260(1), 155-178.
- Kober, L. (1952): Leitlinien der tektonik Jugoslawiens. *Srpska akademija nauka, Posebna izdanja, knj. 3*. 1-81, Beograd
- Korbar, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates. *Earth-Science Reviews*, 96(4), 296-312.
- Kosmat, F. (1924): Geologie der zenskalen Balkanhalbinsel. Mit einer Übersicht der dinarischen Geburgsbaues. *Die Krigschautplatze 19 14-1918 geol. Dargestellt. H.12*.
- Koyi, H. (1997): Analogue modelling: from a qualitative to a quantitative technique—a historical outline. *Journal of Petroleum Geology* 20 (2), 223–238.
- Labaš, V., Krulc, Z., Aljinović, B., Brdarević, N. & Lovrić, D. (1982): Rezultati dosadašnjih geofizičkih istraživanja „pregibne zone“. *Geološko-geofizička proučavanja „pregibne zone“ Dinarida, Predavanja na godišnjim skupštinama Sekcije 1981. i 1982. god. Radovi znanstvenog savjeta za naftu JAZU, A10*, 12-21.
- Mamužić, P. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Šibenik K33-8, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 1971 god.
- Marinčić, S., Magaš, N. & Benček, Đ. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Ploče K33-23, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 1977 god.

- Matičec, D. (1994): Neotectonic deformations in western Istria, Croatia. *Geologia Croatica*, 47(2), 199-204.
- Matičec, D., Vlahović, I., Fuček, L., Oštrić, N. & Velić, I. (1997). Stratigraphy and Tectonic Relationships Along the Senj-Ogulin Profile (Velika Kapela Mt., Croatia). *Geologia Croatica*, 50(2), 261-268.
- McClay, K. & White, M. (1995): Analogue modelling of orthogonal and oblique rifting. *Marine and Petroleum Geology* 12, 137-151.
- Miljuš, P. (1971): Naftoplinonosni bazeni cirkumjadranske oblasti. Simpozij o istraživanju ležišta nafte i plina na Jadranu i u zoni vanjskih Dinarida, Zadar 10-14.5.1971, 4-5, 437 – 356.
- Miljuš, P. (1972a): Geološko-tektonska građa i povijest Vanjskih Dinarida i Jadrana. *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, Beograd, 37(1), 19-77.
- Miljuš, P. (1972b): Osnovne crte geološke gradnje Dinarida i evolucije eugeosinklinale u toku mezozoika. 8. jug. Geol. Kongres na Bledu. Ljubljana, 19-76.
- Natljević, L. & Petrović, V. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Trebinje K34-25, Geološki zavod Sarajevo, Savezni geološki zavod Beograd.
- Pamić, J., Gušić, I., & Jelaska, V. (1998): Geodynamic evolution of the Central Dinarides. *Tectonophysics*, 297(1), 251-268.
- Pamić, J., Gušić, I., & Jelaska, V. (2000): Basic geological features of the Dinarides and South Tisia. *Fieldtrip Guidebook Pancardi 2000*, *Vijesti HGD* 37/2, 9-18.
- Picha, F.J. (2002): Late orogenic strike-slip faulting and escape tectonics in frontal Dinarides–Hellenides, Croatia, Yugoslavia, Albania and Greece, *AAPG Bulletin* 86/9, 1659–1671.
- Poletto, M. (2015): Analogno modeliranje rasjeda, Završni Rad (Seminar III). Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Zagreb. 0-35.
- Raić, V., Ahac, A., & Pepeš, V. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Imotski K33-23, Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod Beograd.
- Roksandić, M. (1966): Osnovni elementi strukturološkog sklopa jednog dela jugoslovenskih Dinarida. *Zbornik VI savjetovanja jugoslovenskih geologa*, 1, 207-523. Ohrid.
- Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., & Ustaszewski, K. (2008): The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geoscience* 101, 139–183.
- Sikošek, B. & Menwenisch, W. (1969): Novi podaci za faciје i tektoniku Dinarida. *Geološki glasnik*, 13, 27-28. Sarajevo.
- Sokač, B., Nikler, L., Velić, J. & Mamužić, P. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Gospić L33-115, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Storti, F. & McClay, K. (1995): Influence of sintectonic sedimentation on thrust wedges in analogue models. *Geology* 23 (11), 999 – 1002
- Suppe, J. & Medwedeff, D. A. (1990). Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 83(3), 409-454.
- Tari-Kovačić, V., Kalac, K., Lučić, D., & Benić, J. (1998): Stratigraphic analysis of Paleogene beds in some off-shore wells (Central Adriatic Area, Croatia). *Dela-opera: SAZU*, 34(2), 203-242.
- Tomljenović, B. (2000). Zagorje-Mid-Transdanubian Zone. *Vijesti Hrvatskog geološkog društva*, 37(2), 27-33.
- Tomljenović, B. (2002): Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja. *Doktorska disertacija*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 208.
- Ustaszewski, K., Schmid, S. M., Lugović, B., Schuster, R., Schaltegger, U., Bernoulli, D. & Schefer, S., (2008): Late Cretaceous intra-oceanic magmatism in the internal

- Dinarides (northern Bosnia and Herzegovina): Implications for the collision of the Adriatic and European plates. *Lithos*, 108(1), 106-125
- Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I., & Matičec, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 220(3), 333-360.
- Withjack, M.O., Islam, Q.T. & La Pointe, P.R. (1995): Normal Faults and Their Hanging Wall Deformation: An Experimental Study. *AAPG Bulletin* 79 (1), 1 – 18.

INTERNETSKI IZVORI

- [1] <http://rocktraumacenter.wikispaces.com/Sandbox+Models>, (pogledano 15.12.2017. god.)

12. Popis slika u tekstu

| | |
|--|----|
| Slika 1: Koberova (1952) tektonska podjela Dinarida. DI: Dinaridi; HI: Helenidi; IRO: unutarnja radiolaritska zona; AKR: "stari kristalin"; PZ: Vanjska Panonska masa; APM: Unutarnja Panonska masa; ERO: vanjska zona; C: navlaka Visokog krša; KA: škrljavo-rožnjačka navlaka; AL: Alpe..... | 7 |
| Slika 2: Koberov (1952) profil Dinarida..... | 8 |
| Slika 3: Tektonska skica Jugoslavije (Sikošek i Medwenisch, 1969)..... | 10 |
| Slika 4: Tektonska karta Dinarida (Miljuš, 1973). 1: Autohton istre; 2: Obodna zona geosinklinale Dinarida; 3: Ravno-Kotarski sinklinorium i navlaka Čićarije; 4: Zona Visokog krša; 5: Prijelazna zona; 6: alohtoni geosinklinalni prag Dinarida; 7: autohtoni geosinklinalni prag Dinarida; 8: Karlovačka zona; 9.1: Durmitorska navlaka; 9.2: Centralna ofiolitska zona Dinarida; 9.3: Eugeosinklinala paleozojska; 10: Savsko-Vardarska zona; 11: Zagorsko-Šumadijska zona; 12: Pelagonidi; 13: Reversni rasjedi; 14: Rasjedi..... | 10 |
| Slika 5: Tektonska skica Dinarida (Grubnić, 1975)..... | 11 |
| Slika 6: Tektonska karta Alpe-Karpati-Dinaridi (Chorowicz, 1977)..... | 12 |
| Slika 7: Glavne tektonske jedinice Alpa, Karpata i Dinarida 1:5000000 (Schmid et al. 2008)..... | 20 |
| Slika 8: Ilustracija koja pokazuje glavne događaje u geološkoj povijesti AdCP. (Vlahović et al., 2005)..... | 21 |
| Slika 9: Paleogeografska rekonstrukcija promatranog područja tokom gornje jure (Schmid et al., 2008)..... | 23 |
| Slika 10: : Shematski prikaz tektonskih ploča koji pokazuje evoluciju Alpe-Karpati-Dinaridi sistema prije kenozoika (Schmid et al., 2008)..... | 25 |
| Slika 11: Shematski prikaz orogenetske evolucije Dinarida (Korbar, 2009)..... | 27 |
| Slika 12: Cadell (1888) demonstrira svoju aparaturu za čisto smicanje, u kojoj je deformirao slojeve gline kako bi proučavao kompresijske strukture (Koyi, 1997)..... | 28 |
| Slika 13: Konstrukcijski nacrt aparature. Dijelovi: (1) nosači potporne grede navoja, (2) pomični zid, (3) fiksni zid, (4) potporna greda navoja, (5) bočne stranice aparature s prozorom, (6) bazna ploča, (7) bočne stranice od pleksiglasa [1]..... | 30 |
| Slika 14: Shematski prikaz sastavljene aparature u nemodificiranoj verziji..... | 31 |
| Slika 15: Jedan od pokusa iz 2015. Uočljivo je naginjanje pomičnog zida kao nedostatak izvornog dizajna aparature..... | 32 |
| Slika 16: Modifikacije aparature: (1) fiksna vodilica, (2) pomična vodilica, (3) kutni oslonac, (4) traverza, (5) dodatni spoj potporne grede navoja sa stranicom aparature..... | 33 |
| Slika 17: Set limova postavljen u aparaturu kako bi se dobio efekt maksimalne kompresije u centru postavljenog materijala, a ne samo ispred pomičnog zida..... | 34 |
| Slika 18: Tlocrt postava aparature za izvođenje pokusa. (1) aparatura, (2) materijal, (3) stol na kojem je postavljena aparatura, (4) reflektori, (5) fotoaparata..... | 36 |
| Slika 19: Postava prvog pokusa kompresijske tektonike (P1)..... | 37 |
| Slika 20: Postava drugog pokusa kompresijske tektonike (P2)..... | 38 |
| Slika 21: Postava trećeg pokusa kompresijske tektonike (P3)..... | 38 |
| Slika 22: Postava četvrtog pokusa kompresijske tektonike (P4)..... | 39 |
| Slika 23: Postava petog pokusa kompresijske tektonike (P5)..... | 40 |
| Slika 24: Skice različitih geometrija reversnih rasjeda. a) Listrički rasjed; b) Antilistrički rasjed; c) <i>Ramp-flat-ramp</i> rasjed; d) <i>Flat-ramp-flat</i> rasjed..... | 41 |
| Slika 25: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama za P1..... | 43 |
| Slika 26: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P2..... | 47 |
| Slika 27: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P3. Zbog konstrukcijskih razloga kompresija je moguća do 38%..... | 53 |
| Slika 28: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P4. Zbog konstrukcijskih razloga kompresija je moguća do 38%..... | 57 |

- Slika 29: Set interpretiranih slika pri različitim kompresijama iz P5. Zbog konstrukcijskih razloga kompresija je moguća do 38%. 63
- Slika 30: Usporedba PK1 pri 40% kompresije (gore) i geološkog profila A-B od obale do Šipovače na OGK listu Ploče (Marinčić, 1977) (dolje) i. Rasjed na profilu, označen sa 1 odgovara rasjedu 7 u pokusu. Set rasjeda na profilu označen sa 2 odgovara setu rasjeda 6, 8, 5 i 4 u pokusu. Set rasjeda na profilu označen sa 3 odgovara setu rasjeda 3, 2 i 1 u pokusu. 71
- Slika 31: Usporedba profila Premuda – Pag – Velebit (Miljuš, 1971) (gore) i dijela profila C-D OGK lista Gospić (Sokač et al., 1974) (sredina) sa P1 pri kompresiji od 30% (dolje). Pokus odgovara Miljuševu profilu po postojanju dekolmanskog horizonta, povećanju kuta nagiba rasjeda idući prema zoni glavne kolizije, pojavljivanju rasjeda u setovima i karakteru rasjeda. Različitost pokusa i profila OGK je u nedostatku reversnih rasjeda u profilu. 73
- Slika 32: Pojednostavljena geološka karta po horizontu označenom na profilu (AB). Na gore lijevoj slici je vidljiva ispravno interpretirana karta s ucrtanim rasjedima. Na gore desnoj slici je vidljiva moguća kriva interpretacija na temelju položaja slojeva i rasporeda stratigrafskih jedinica (u tjemenu pseudoantiklinale je najstariji, a u krilima mladi slojevi) na kojoj su rasjedi ucrtani kao geološke granice, a struktura označena kao antiklinala. 75
- Slika 33:** Usporedba nastalih struktura u P1 (sredina) sa strukturama nastalim u P2 (dolje) te s geološkim profilom A-B sa OGK lista Trebinje (Natljević, 1967) (gore). Osnovna razlika između P1 i P2 je u postojanju suprotno (sa smjerom nagiba zapad) orijentiranih reverzih rasjeda, nastajanje rasjeda zasebno u P2 (za razliku od P1 gdje nastaju u setovima) i nastanak slijepih sintetičkih rasjeda u P2 koji ne nastaju u P1. Nastale strukture u P2 u određenoj mjeri odgovaraju profilu sa OGK lista Trebinje. Na profilu kao i u pokusu reverzni rasjedi su zasebni i odvojeni i stijene su različitih kinematičkih svojstava, no back-thrust rasjedi, kao ni slijepi sintetički i antitetički rasjedi, na profilu nisu označeni. 77
- Slika 34: Usporedba nastalih struktura u P2 (gore) s geološkim profilom kroz Dinaride (Schmid et al., 2008). Osnovna razlika između P2 i geološkog profila Dinarida je u ne postojanju *back-thrust* rasjeda. Sličnosti P2 i geološkog profila Dinarida su u geometriji rasjeda, rasjedima ucrtanim na profil na međusobno relativno jednakim udaljenostima, te ustrmljenju rasjeda idući prema zoni kolizije. 78
- Slika 35: Modeli nastajanja rasjednih bora (Fossen, 2010). Lijevo: model nastanka rasjednih bora (*fault-bending*); Desno: model nastanka rasjednih bora (*fault-propagation folding*). 79
- Slika 36: Pokus P3 pri fazi kompresije 30%. A: Vidljivo je gravitacijsko zadebljanje najmlađeg sloja u čelu navlake (antiklinale); B: Sloj kave zbog geneze strukture dolazi u subvertikalni položaj; C: Zadebljanje najstarijeg sloja pri dnu seta navlačnih rasjeda. 81
- Slika 37: Usporedba dijela profila A-B na OGK listu (Raić et al., 1977) (gore) sa P3 pri 30% kompresije (dolje lijevo). Vidljivo je zadebljanje sloja u čelu antiklinale i u pokusu i na profilu. Postoji mogućnost primjene dobivenih rezultata u pokusu na nadopunjavanje Osnovne geološke karte. Dolje desno: dio OGK lista Imotski koji prikazuje promatrani prostor, Biokovo i Orljaču. Crna linija na karti označava profil. 83
- Slika 38: Usporedba originalnog dijela geološkog profila A-B sa Lista Imotski Osnovne geološke SFRJ (Raić et al., 1977) s geološkim profilom modificiranim uz pomoć pokusa P3. Gore: dio profila A-B sa Lista Imotski Osnovne geološke karte SFRJ (Raić et al., 1976). Dolje: Modificirani geološki profil A-B OGK lista Imotski, kada bi u interpretaciji bile primijenjene spoznaje iz P3. Izmijenjeni su karakteri rasjeda označenih sa 1, 2, 3, 4 i 5. 84
- Slika 39: : Usporedba dijela profila C-D na OGK Listu Šibenik (Mamužić et al., 1971) (gore) sa P3 pri 30% kompresije (dolje lijevo). Dolje desno: dio OGK lista Šibenik koji prikazuje promatrani prostor. Crna linija na karti označava profil C-D. A: Promatrani rasjed čiji ucrtani karakter ne odgovara ucrtanoj strukturi; B: Set reverzih rasjeda koji odgovaraju setu rasjeda dobivenim u pokusu; C: Promatrani rasjed čiji ucrtani karakter ne odgovara ucrtanoj strukturi; D: Promatrani rasjed čiji ucrtani karakter ne odgovara ucrtanoj strukturi i koji nije uzet u obzir pri interpretaciji uz pomoć pokusa. 86
- Slika 40: Usporedba originalnog dijela geološkog profila sa OGK lista Šibenik (Mamužić, 1971) s geološkim profilom modificiranim uz pomoć pokusa P3. Gore: Profil C-D OGK lista Šibenik (Mamužić, 1971). Dolje: Modificirani geološki profil OGK lista Šibenik, kada bi u

| | |
|---|----|
| interpretaciji bile primijenjene spoznaje iz P3. Izmijenjeni su karakteri rasjeda označenih sa 1 i 2. | 87 |
| Slika 41: Usporedba pokusa P4 pri 30% kompresije (gore) sa seizmičkim profilom Smiličić-Pridraga ZEM-1v-1988 (Grandić et al., 2004) (dolje). Vidljive su sličnosti struktura nastalih u pokusu sa strukturama na terenu, prvenstveno po njihovoj simetričnosti..... | 88 |
| Slika 42: Usporedba P4 pri 30% kompresije (gore) sa shematskim geološkim profilom Senj-Ogulin (Matičec et al., 1997) (dolje). Rezultati pokusa pokazuju veliku sličnost sa profilom, prvenstveno u simetričnosti nastalih struktura. | 89 |
| Slika 43: Usporedba petog pokusa pri 10% i 38% kompresije. Vidljivo je da tijekom kompresije ne dolazi do rasjedanja granice facijesa već do njene translacije. | 91 |

13. Popis tablica u tekstu

| | |
|--|----|
| Tablica 1: Granulacija materijala korištenog u pokusima | 35 |
| Tablica 2: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 10% za P1 | 45 |
| Tablica 3: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 20% za P1 | 45 |
| Tablica 4: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 30% za P1 | 45 |
| Tablica 5: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 40% za P1 | 46 |
| Tablica 6: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda pri kompresiji od 50% za P1 | 46 |
| Tablica 7: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 10% | 50 |
| Tablica 8: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 20% | 50 |
| Tablica 9: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 30% | 51 |
| Tablica 10: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P2 pri kompresiji od 40% | 52 |
| Tablica 11: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 10% | 55 |
| Tablica 12: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 20% | 56 |
| Tablica 13: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 30% | 56 |
| Tablica 14: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P3 pri kompresiji od 38% | 56 |
| Tablica 15: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 10% | 60 |
| Tablica 16: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 20% | 61 |
| Tablica 17: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 30% | 61 |
| Tablica 18: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P4 pri kompresiji od 38% | 62 |
| Tablica 19: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 10% | 66 |
| Tablica 20: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 20% | 66 |
| Tablica 21: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 30% | 66 |
| Tablica 22: Dužine, kutovi, geometrija i smjer nagiba rasjeda P5 pri kompresiji od 38% | 67 |