

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Ida Pavlin i Filip Šegović

**GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE
(POSUŠJE, BiH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU
3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA**

Zagreb, 2022.

Ovaj rad izrađen je u Zavodu za geološko inženjerstvo, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr.sc. Bojana Matoša i dr.sc. Ivice Pavičića, poslijedoktoranda (višeg asistenta). Studentski rad je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021/22.

Izjava o nepovezanosti radova

Sukladno Pravilniku i odredbama o Rektorovoj nagradi RGN fakulteta autorice rada i mentori izjavljuju da prijavljeni rad za Rektorovu nagradu nije povezan s radovima druge namjene (npr. diplomski rad, završni rad, seminarski rad) odnosno da isti predstavlja individualni znanstveni rad izrađen i prijavljen isključivo za Rektorovu nagradu.

Autorica:



Ida Pavlin, univ. bacc. ing. geol.

Autor:



Filip Šegović, univ. bacc. ing. geol.

Mentor:



izv. prof. dr. sc. Bojan Matoš

Mentor:



dr. sc. Ivica Pavičić, viši asistent

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	ZEMLJOPISNE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE	5
3.	GEOLOŠKE ZNAČAJKE	7
3.1.	Stratigrafske značajke	7
3.1.1.	Gornja kreda (K_2^{3-6})	8
3.1.2.	Paleogen	9
3.2.	Strukturne značajke	15
3.3.	Geneza ležišta boksita	19
3.4.	Mineralni i kemijski sastav	21
4.	MATERIJALI I METODE	23
4.1.	Ulazni podaci i pripremni radovi	24
4.1.1.	Geološke karte	24
4.1.2.	Bušotine	26
4.1.3.	Terenska mjerenja	26
4.1.4.	3D baza podataka	28
4.1.5.	Geološki profili	29
4.2.	Općenito o 3D geološkim modelima	31
4.3.	Izrada 3D geološkog modela Snižnice	32
4.3.1.	Interpolacijski algoritmi	33
4.3.2.	Izrada ploha rasjeda	37
4.3.3.	Izrada ploha stratigrafskih horizonata	38
5.	REZULTATI	41
5.1.	Geološka karta i geološki profili	41
5.2.	Konačni 3D geološki model	41

5.3.	3D Model pomaka po rasjedima.....	44
5.4.	3D model smjerova nagiba i nagiba kontaktne plohe.....	47
5.5.	3D model debljina krovinskih naslaga i 3D model debljine erodiranog materijala ..	50
6.	RASPRAVA.....	52
7.	ZAKLJUČCI	55
8.	ZAHVALA.....	57
9.	POPIS LITERATURE	58
10.	SAŽETAK.....	61
11.	SUMMARY	62
12.	ŽIVOTOPIS	63

Popis slika

Slika 1-1. Granice Jadranske karbonatne platforme (prema Vlahović i dr., 2005). Na karti je naznačeno i područje Posušja tj. područje istraživanja boksitosnog područja.....	2
Slika 1-2. Karta ležišta paleogenskih boksita u području Jadranske karbonatne platforme.	3
Slika 2-1. Lokacija boksitonosnog revira Snižnica (podloga Google Earth™).	5
Slika 3-1. Izdanak gornjokrednih rudistnih vapnenaca (lokacija u prilogu 1).	8
Slika 3-2. Uzorak bioklastičnih gornjokrednih rudistnih vapnenaca (lokacija u prilogu 1).	9
Slika 3-3. Ležište L-1 u kojemu neposrednu krovina boksita čine smeđi (Pc,E) vapnenci. (lokacija na prilogu 1).	11
Slika 3-4. Uzorci a) Liburnijskih smeđih vapnenaca i b) alveolinsko-numulitnih vapnenaca (lokacije na prilogu 1).	11
Slika 3-5. Izdanak konglomerata, brečokonglomerata u krovinskim naslagama ležištima boksita u području Snižnice (lokacija u prilogu 1)	13
Slika 3-6. Izdanak breče u neposrednoj krovini ležištima boksita, odnosno u transgresivnom odnosu na K ₂ ³⁻⁶ rudistne vapnence u području Snižnice (lokacija fotografije u prilogu 1)	13
Slika 3-7. Prikaz razvoja ležišta boksita i krovinskih formacija u boksitonosnom području Posušja. Preuzeto i digitalizirano iz (Dragičević i dr., 1992).	15
Slika 3-8. Panoramska fotografija Snižnice (pogled prema SZ) s naznačenim glavnim rasjedima (lokacija fotografije u prilogu 1). JRS- Južni rasjed Snižnice; SR1 – Snižnički rasjed 1; ROK – Rasjed Orlovog kuka.	16
Slika 3-9. Orijentacije glavnih rasjeda strukturnog sklopa prikazane brojčano i u stereografskoj projekciji (stereogrami dobiveni iz modela rasjednih ploha kreiranih u MOVE-u).	16
Slika 3-10. Južni rasjed Snižnice (JRS) snimljen u južnom dijelu istraživanog područja (lokacija u prilogu 1).	17
Slika 3-11. Strmo nagnuta ploha reversnog rasjeda SR-2 u ležištu L-14 (lokacija u prilogu 1).	18
Slika 3-12. Prebačeni slojevi A) u krovinskim liburnijskim vapnencima u podinskom krilu SR-1 rasjeda, zapadno od ležišta L-27; B) krovinskim brečama zapadno od ležišta L-20 (lokacija u prilogu 1).	19
Slika 4-1. Sučelje softvera Petroleum Experts Move.	23
Slika 4-2. Georeferencirane geološke tematske karte korištene u digitalizaciji ležišta boksita na području istraživanja.	25

Slika 4-3. Stup bušotine V-36 sjeverozapadno od istraživnog prostora (Blašković i dr., 1989).	27
Slika 4-4. Pojednostavljeni stratigrafski stup u MOVE-u nužan za izradu 3D geološkog modela.	28
Slika 4-5. Ulazni podaci za izradu geoloških profila u <i>Move</i> softverskom okruženju.....	29
Slika 4-6. Proces konstrukcije profila: izrada topografskog profila, projekcija presječna litstratigrafskih granica i rasjeda s trasom profila i projekcija položaja slojeva u blizini profila na profil.	30
Slika 4-7. Interpretacije rasjeda na geološkim profilima u 3D okruženju – ulazni podaci za modele rasjednih ploha.....	37
Slika 4-8. 3D modeli rasjednih ploha u području Snižnice.....	38
Slika 4-9. Ulazni parametri inteploacijskog algoritma Ordinary Kriging.	39
Slika 4-10. Modeli ploha kontaktne plohe paleogenskih naslaga i krednih vapnenaca A) ispod površine terena; B) rekonstrukciju erodiranog dijela krovinskih naslaga ležištima boksita iznad površine terena.	40
Slika 5-1. Konačni 3D geološki model boksitonosnog područja Snižnice.	43
Slika 5-2. 3D model pomaka po rasjedima A) presječnosti rasjeda s odabranim horizontom (kontaktne plohe paleogenskih naslaga i krednih vapnenaca) B) model pomaka za ROK, SR1 i SR2.	44
Slika 5-3. Dijagrami skoka po rasjednim ploham za ROK, SR1 i SR2 u području Snižnice.	45
Slika 5-4. Karta smjerova nagiba kontaktne plohe paleogenskih naslaga i krednih vapnenaca (podinskih i krovinskih naslaga ležištima boksita), naznačenim rasjedima, domenama naglih promjena u anizotropiji smjera nagiba kontaktne plohe (isprekidani pravci) te projiciranim ležištima.	47
Slika 5-5. Karta kutova nagiba kontaktne plohe paleogenskih naslaga i krednih vapnenaca (podinskih i krovinskih naslaga ležištima boksita) s projiciranim ležištima.....	49

Popis tablica

Tablica 3-1 Prosječni postotak udjela (%) pojedinih najvažnijih komponenti boksita.....	21
Tablica 3-2 Rezultati srednjih vrijednosti kemijske analize uzoraka boksita iz ležaja Snižnice L-34 i L-35.	21
Tablica 5-1 Broj ležišta te smjerovi nagiba kontaktne plohe.	48
Tablica 5-2 Broj ležišta te kutovi nagiba kontaktne plohe	49

Popis priloga:

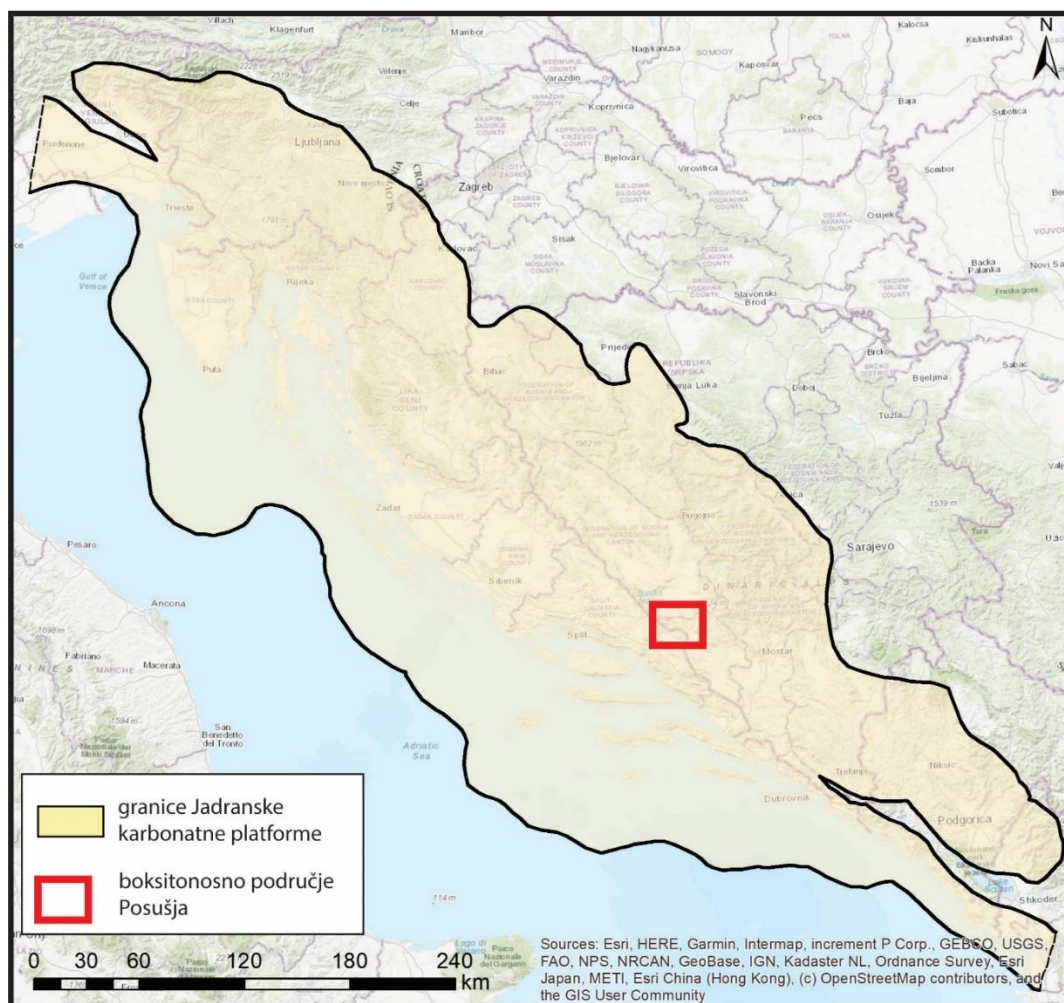
Prilog 1. Geološka karta boksitonosnog područja Snižnice

Prilog 2 (2-1 do 2-6). Geološki profili u boksitonosnom reviru Snižnice

1. UVOD

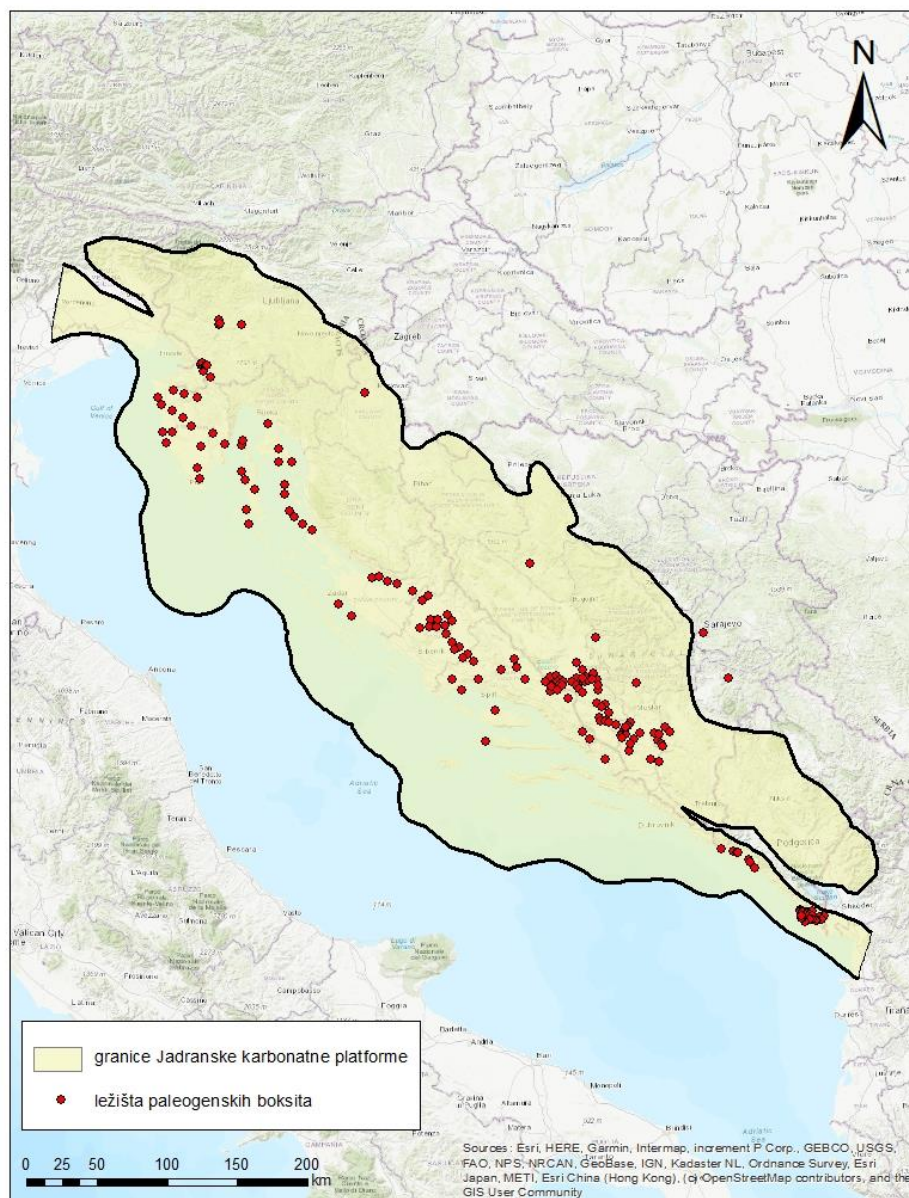
Jadranska karbonatna platforma (JKP) predstavlja jednu od najvećih mezozojskih platformi perimediteranske regije (Vlahović i dr., 2005). Karbonatni slijed naslaga platforme prostire se na šira područja Italije, Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Srbije, Crne Gore i Albanije (Slika 1-1). Stratigrafski raspon naslaga koje nalazimo na JKP *sensu lato* započinje s stijenama karbonsko-permske starosti dok su najmlađe stijene eocensko-oligocenske starosti, a koje su na području Hrvatske ugrađene u Vanjske Dinaride (ukupna debljina naslaga doseže i 8000 m) (Tišljarić i dr., 2002; Velić i dr., 2002; Vlahović i dr., 2005). Iako su naslage opisanog stratigrafskog raspona taložene dominantno u plitkomorskim, platformskim uvjetima u različito vrijeme i različitim paleogeografskim uvjetima, samo naslage taložene u rasponu donja jura-kraj gornje krede čine *sensu stricto* naslage Jadranske karbonatne platforme (JKP) kao zasebanog paleogeografskog područja, koji je bio izoliran od ostalih karbonatnih platforma smještenih na tektonskoj jedinici, Jadranskoj mikroploči (Vlahović i dr., 2005). Debljina karbonatnih naslaga na JKP, formiranih kroz 125 milijuna godina, od postojanja karbonatne platforme je varijabilna, te se u prosjeku kreće između 3 500 m i 5 000 m. Završetak taloženja naslaga JKP obilježila je regionalna emerzija u periodu između krede i paleogena. JKP dominantno karakteriziraju plitke marinske naslage, iako je bila izložena dužim i kraćim periodima emerzija odnosno kopnenih faza kao posljedice interakcije regionalne tektonike, lokalne sinsedimentacijske tektonike (posebno značajne tijekom kimeridža, apta i gornje krede) te eustatičkih promjena (npr. Bárdossy, 1982; Gušić i Jelaska, 1993; Jenkyns, 1991; Pamić i dr., 1998; Tišljarić i dr., 2002; Vlahović i dr., 2005). Za vrijeme emerzijskih faza formirana su ležišta visoko vrijednih boksita. Važne emerzijske faze koje izdvajamo na području JKP su:

- Emerzija na prijelazu iz srednjeg u gornji trijas (u podlozi JKP)
- Emerzija tijekom gornje jure
- Emerzija između gornje jurske i gornje krede
- Emerzija na prijelazu iz donje u gornju kredu
- Emerzija na prijelazu iz gornje krede u paleogen
- Emerzija prije neogenske slatkovodne sedimentacije (ne pripada JKP)



Slika 1-1. Granice Jadranske karbonatne platforme (prema Vlahović i dr., 2005). Na karti je naznačeno i područje Posušja tj. područje istraživanja boksitnog područja

Boksiti kao jedan od najboljih paleogeografskih markera javljaju se u različitim područjima JKP, različitih su količina i kvalitete. Po broju otkrivenih lokaliteta, veličini, kvaliteti, odnosno volumenu i kemijskom sastavu, posebno se ističu boksiti nastali za vrijeme kopnene faze na **prijelazu iz gornje krede u paleogen, tzv. paleogenski boksiti**. Nalazišta paleogenskih boksita na području JKP izdvojena su na mnogim izoliranim lokalitetima, od Slovenije do Crne Gore (Slika 1-2). Locirana nalazišta boksita vrlo su različitog stupnja istraženosti i eksploatacije, a u današnje vrijeme najaktivnija je eksploatacija te rude u boksitonosnom području Posušja, na području zapadne Hercegovine (Slika 1-1).



Slika 1-2. Karta ležišta paleogenskih boksita u području Jadranske karbonatne platforme (Granice JKP prema Vlahović et al., 2005; ležišta boksita prema Marković 2002; Dragičević i Papeš 1984 i Pajović 2009; Radusinović i Papandopoulos, 2021).

Boksitonosno područje Posušja ukupne je površine 125 km², obuhvaća devet administrativnih boksitonosnih revira te jedno je od najvećih boksitonosnih područja u području Jadranske karbonatne platforme (Dragičević i Blašković, 2001; Vujec i dr., 1994). U boksitonosnom području Posušja, u posljednjih 70 godina, eksploatirano je preko tisuće ležišta raznih veličina i volumena, u raznovrsnim strukturnim odnosima/položajima. Istraživanja potencijalnih nalazišta boksita te eksploatacija i danas čine važan segment gospodarstvene djelatnosti zapadne Hercegovine te dijela Dalmatinske Zagore.

Veliki potencijal i tako dugotrajna kontinuirana eksploatacija boksita rezultirala je brojnim geološkim istraživanjima koja su se intenzivno provodila između 1950. i 1990. godina. Ratni događaji ostavili su velikog traga na ovim prostorima te je dobar dio projektne dokumentacije nestao ili bio uništen. Kako su ležišta boksitonosnog područja Posušja kompleksna te se nalaze u raznovrsnim stratigrafskim i strukturnim odnosima navedeno područje predstavlja idealan poligon za primjenu 2D i 3D geološkog modeliranja podzemlja. U isto vrijeme, dugotrajna eksploatacija ležišta, rezultirala je značajnom količinom prikupljenih geoloških podataka, otvoreni su mnogi profili i zasjeci, a koji shodno tome omogućuju izradu preliminarnog modela podzemlja/ležišta.

Iz svega navedenoga, svrha ovog rada je da se na temelju raspoloživih geoloških podataka te terenskih mjerenja provedenih na području boksitonosnog revira Snižnice (Slika 2-1), nedaleko od Posušja, rekonstruira geološka građa u 2D (karte i profili) te 3D (geološki model) okruženju. Na temelju terenskih istraživanja te postojećih detaljnih geoloških karata iz arhive **Rudnika boksita d.o.o. Posušje**, u ovom radu biti će predstavljena *sintetizirana kompozitna geološka karta* istraživanog područja. U radu, približno okomito na geološke strukture Snižnice izrađeno je *15 poprečnih geoloških profila*. **Geološka karta, geološki profili** te **bušotine** korišteni su kao ulazni podaci za 3D geološki model Snižnice. Obzirom na kompleksnu geološku građu Snižnice koja uključuje niz reversnih rasjeda/navlaka, antiklinala i sinklinala, od kojih su neke i u prebačenom položaju, izradom 3D geološkog modela se nastojalo konstruirati preliminarna vizualizacija geološke građe podzemlja. Osim vizualizacije podzemlja, pomoću 3D geološkog modela napravljena je i rekonstrukcija struktura i ploha u podzemlju i iznad površine terena. Rezultati su nadalje korišteni u odredbi relativnih pomaka po rasjedima, napravljena je procjena debljina i volumena erodiranog krovinskog pokrovnih materijala te je provedena strukturna analiza položaja ležišta boksita u odnosu na orijentaciju neposrednih podinskih i krovinskih naslaga ležištima boksita. U daljnjem tekstu, radi lakšeg korištenja u opisima, za naziv plohe koja predstavlja kontakt podinskog krednog paleoreljefa s boksitnom ispunom u odnosu na pokrovne, krovinske paleogenske naslage koristiti ćemo termin **kontaktna ploha**.

3D geološki model u daljnjim istražnim aktivnostima može se koristiti kao 3D baza podataka, sredstvo za vizualizaciju geološke građe podzemlja te podloga za planiranje i projektiranje istražnog bušenja (npr. lokacije i dubina bušotina). Takav način planiranja i provođenja istraživanja može značajno reducirati cijenu istražnih radova te povećati uspješnost istraživanja i pospješiti pronalazak novih ležišta boksita.

2. ZEMLJOPIISNE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE

Revir Snižnica unutar boksitosnog područja Posušja, nalazi se u sjeverozapadnoj Hercegovini, uz granicu s Republikom Hrvatskom, a pripada širem prostoru Posušja (Slika 2-1). Mikrolokacija revira Snižnica smještena je sjeverno od Posušja, na udaljenosti 5 km (otprilike 1150 m n.m.), a od samog Posušja je odvojen kanjonom Ričine-Brina. Područje Snižnice na sjeveru graniči s općinom Tomislavgrad, na sjeveroistoku s općinom Jablanica, a dijeli ih park prirode Blidinje. Na jugozapadu graniči s općinom Imotski (HR) i susjednom općinom Grude, te na jugoistoku s općinom Široki Brijeg (Slika 2-1).



Slika 2-1. Lokacija boksitosnog revira Snižnica (podloga Google EarthTM).

Prema OGK SFRJ 1:100.000, list Imotski (Raić i dr., 1977) područje Posušja, kao i veći dio zapadne Hercegovine izgrađen je od gornjokrednih karbonatnih naslaga (npr. rudistni vapnenaci) koji su u transgresivnom kontaktu s paleogenskim vapnencima (alveolinsko-numulitni vapnenci) i klastitima (prominske naslage i fliš). Transgresivni kontakt krednih i paleogenskih naslaga posljedica je kolizijske tektonske faze (Laramijske orogeneze), odnosno perioda kada je došlo do sudara Jadranske mikroploče s Europom te izdizanjem Dinarida koji su sačinjeni od karbonata taloženih na JKP. Time je došlo do konačnog prekida marinske

plitkovodne karbonatne sedimentacije i uspostave kopnenih uvjeta (Dragičević i dr., 1992). Istovremeno su se posljedično formirale blage plikativne strukture, a na kopnu je započela emerzija, odnosno započinje stvaranje krških reljefnih formi u novonastalim Dinardima. Kao posljedica ove emerzije, kontinuiranih tektonskih pokreta te procesa aktivnog okršavanja, došlo je do stvaranja izraženog paleoreljefa, razvijale su se krške depresije, u kojima su se formirala brojna paleogenska ležišta boksita (Dragičević i Blašković, 2001). Morfološki gledano, Posušje pripada području Vanjskih Dinarida, tj. **Navlaci Visokog krša** (Balling i dr., 2021), a karakteriziraju ga srednje visoki planinski masivi koji se dominantno pojavljuju na sjeveroistoku (planina Čvrsnica, vrh Pločno: 2228 m n.m.), a nešto manje na sjeverozapadu (npr. planina Zavelim, vrh Kolakovac: 1347 m n.m.). Najčešći krški oblici koji se pojavljuju su krška polja koja predstavljaju najniže dijelove terena: na sjeveru Duvanjsko polje i manja polja – Vučipolje, Virsko i Zagorsko sjeverozapadno od Snižnice, zatim sjeveroistočno veliko Rakitno polje i manje polje Konovac, te Posuško polje na jugu. Od drugih krških oblika tipične su krške zaravni, vrtače, jame, ponori i drugi oblici nastali okršavanjem vapnenaca koji predstavljaju dominantan litološki član.

S hidrogeološkog aspekta većina vode otječe kroz krške kanale i pukotine u podzemlje stoga ovo područje nije okarakterizirano trajnim površinskim tokovima. Ulogu u tome igra geološka građa terena, konkretnije klastiti koji tek lokalno predstavljaju viseće hidrogeološke barijere pa se tok podzemne vode odvija dominantno ispod njih. Zbog toga se na području Posušja javljaju tek povremeni površinski vodotoci poput Žukovice, Studen potoka, Ričine, Ugrovača i dr.. Budući da najveća količina oborina padne u srpnju i prosincu, a najmanje u ljetnim mjesecima svi povremeni vodotoci redovito presuše za vrijeme dugog ljetnog perioda. Područje Posušja se nalazi na granici submediteranske klime s juga te planinske klime na sjevernom dijelu (Rakitnom, Tribistovu i Mratnjači) (<https://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/KLIMA/klimaBIH.php>).

3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE

Prema podacima OGK SFRJ 1:100.000, *List Imotski* (Raić i dr., 1977), te *Tumača Imotski* (Raić i Papeš, 1978) u ovom će poglavlju, uz kratki opis geoloških značajki šireg područja, ukratko biti prikazani stratigrafski i strukturni odnosi boksitonosnog revira Snižnice. Detaljnije će biti opisana neposredna podina i krovina ležišta boksita budući da su iste ključne u određivanju starosti boksita.

Ako se izuzme manji izdanak permotrijasa sjeveroistočno od Posušja, u području Ivovika, izgrađenog od škriljavaca, pješčenjaka i gipsa, može se reći da je šire boksitonosno područje Posušja izgrađeno od sedimenata stratigrafskog raspona jura-kvartar. Za istraživanje boksita cijelog boksitonosnog područja Posušja, pa tako i revira Snižnice, posebno su važne stijene neposredne podine ležištima boksita, odnosno gornjokredni rudistni vapnenci te raznovrsne karbonatne i klastične stijene u krovini ležišta boksita stratigrafskog raspona paleocen-oligocen, pa će te naslage biti i detaljnije opisane. Naime, krajem gornje krede, odnosno na prijelazu iz krede u paleogen, nastupa kopnena faza uz formiranje boksita u razvedenom paleoreljefu u gornjokrednim rudistnim vapnencima. Krovinske karbonatne i klastične naslage ležištima boksita taložene su u stratigrafskom rasponu od paleocena do kraja oligocena u raznovrsnim taložnim okolišima na razvedenom paleoreljefu. Kako stratigrafija krovinskih naslaga u boksitonosnom području Posušje do sada nisu bile detaljnije istražene, u ovom radu prihvaćene su publicirane znanstvene spoznaje o stratigrafskim i taložnim značajkama paleogenskog slijeda naslaga (Dragičević i dr., 1987; Dragičević i dr., 1992; Dragičević i Blašković, 2001).

3.1. Stratigrafske značajke

Površinsku geološku građu Snižnice čine: i) gornjokredni rudistni vapnenci, ii) boksiti formirani za vrijeme emerzije između gornje krede i paleogena te iii) paleogeni karbonatno-klastični kompleks.

3.1.1. Gornja kreda (K_2^{3-6})

Rudistni vapnenci čija je starost određena kao konijak-mastriht (K_2^{3-6}) najstarije su naslage područja Snižnice (**Prilog 1**; Slika 3-1). U širem prostoru često su u tektonskom odnosu sa starijim te s mlađim naslagama a u neporemećenom slijedu, u normalnom su kontaktu s donjokrednim vapnencima (Raić i Papeš, 1978). Jedinica je izgrađena od smeđesivih i svijetlosivih vapnenaca (Slika 3-2) s proslojcima dolomita. Na temelju makrofosila (npr. *Chondrodonta joannae*, *Ch. munsoni*, *Hippurites praegiganteus*, *Bournonia excavata*, *Biradiolites royanus*, *Sauvagesia sharpei*,...) dokazano je da u donjem dijelu mlađe krede (turon) dominiraju honodronte, a u gornjem dijelu (konijak-mastriht) rudisti (Raić i Papeš, 1978). Navedene zajednice često su gradile engl. *patch* grebene (vapnenačke grebene) koji govore o plitkomarinskim, šelfnim uvjetima taloženja (Dragičević i dr., 1992). Rudistni vapnenci (K_2^{3-6}), debljine su oko 500 m.



Slika 3-1. Izdanak gornjokrednih rudistnih vapnenaca (lokacija u Prilogu 1).



Slika 3-2. Uzorak bioklastičnih gornjokrednih rudistnih vapnenaca (lokacija u Prilogu 1).

3.1.2. Paleogen

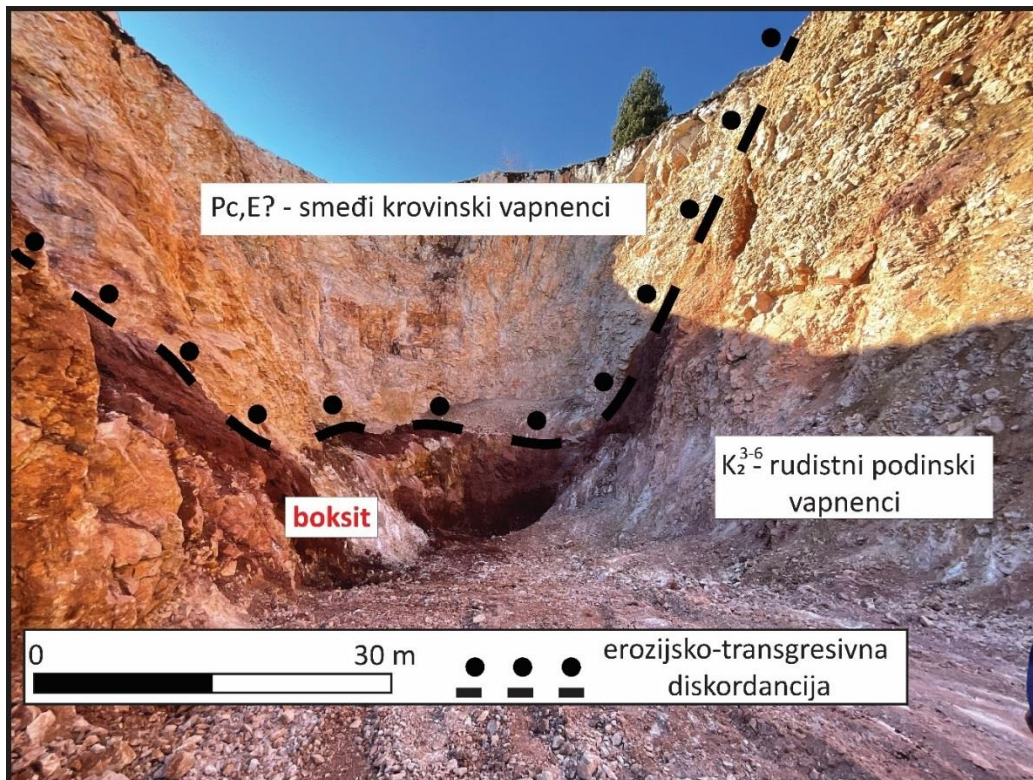
Paleogenske naslage najvećim dijelom pokrivaju središnji dio *Osnovne geološke karte Lista Imotski* (npr. *Studenci, Ričice, Vir i Rakitno*). Stariji dio paleogena je razvijen isključivo u facijesu vapnenaca, a mlađi u facijesu klastičnih sedimenata (Raić i Papeš, 1978). U starijem paleogenu izdvojeni su liburnijski slojevi i alveolinsko-numulitni vapnenci. Klastične naslage paleogena su rasčlanjene u tri paketa: a) donji paket s laporima, pješčenjacima i konglomeratima s karakteristikama fliša b) srednji paket koji je sličnog litološkog sastava, ali su naslage bogate makrofosilima te nije uvršten u fliš te c) najmlađe klastične tvorevine paleogena koje čine debele naslage konglomerata, s manjim ulošcima pješčenjaka (Raić i Papeš, 1978) .

Liburnijski slojevi i alveolinsko-numulitni vapnenci (Pc,E)

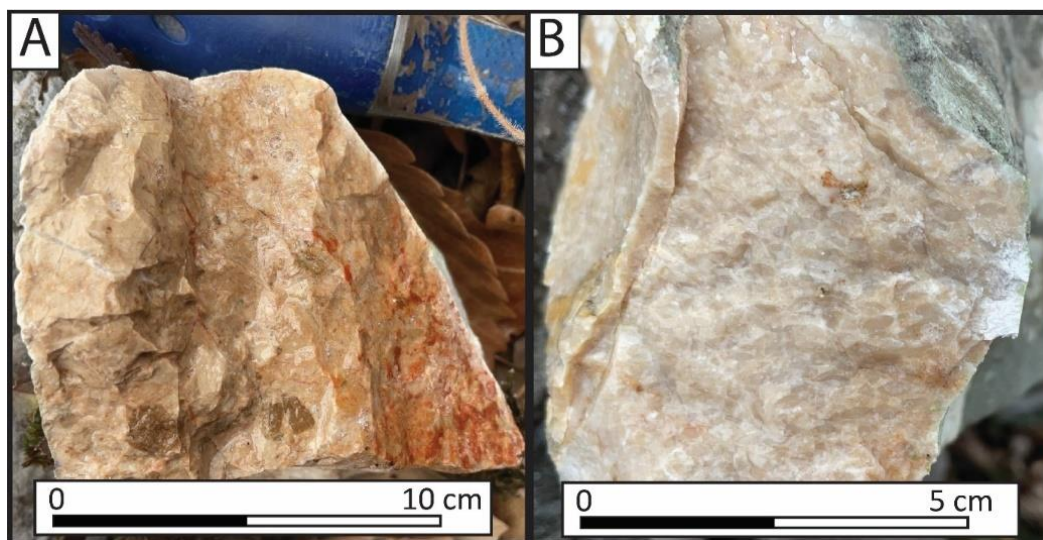
Liburnijske naslage čine tanki slojevi vapnenaca koji su transgresivni i blago diskordantni u odnosu na gornjokredne karbonate (Slika 3-3). Krovinu liburnijskih naslaga čine alveolinsko-

numulitni vapnenci. Iako je kutna diskordancija mala ili nedostaje na istraživanim lokacijama, postojanje brojnih većih ležišta boksita sugerira njezinu prisutnost i važnost. Ove su naslage otkrivene u širem području kao što su Poklečani, Cerovi Doci i Crne Lokve, Mratnjača i Studenac. U području Snižnice nalaze se u krajnjem južnom, jugoistočnom te zapadnom području i kao manja pojava u sjevernom području (**Prilog 1**). Na karti su označene zajedno s alveolinsko-numulitim vapnencima jer su na dosadašnjim geološkim kartama Snižnice (*Arhiva rudnika boksita d.o.o. Posušje dana na uvid*) izdvajane zajedno, a naknadno do sada nisu provedena detaljnija kartiranja kojima bi se izdvojile kao zasebni facijes. Liburnijski slojevi izgrađeni su od smeđesivih svijetlo do tamnije smeđih (Slika 3-3 i 3-4), dobro uslojenih vapnenaca u kojima se mogu naći haraace, puževi i miliolide. Na temelju gastropoda i bentičkih foraminifera zaključuje se da su ovi vapnenci nastali u marinskim uvjetima (marinskom plićaku).

Vapnence karakterizira mirko- i kriptokristalasta struktura te visok postotak CaCO_3 . Prema OGK *List Imotski* (Raić i dr., 1977), na temelju brojnih fosila ove su naslage uvrštene u paleocen i donji eocen. Ipak, na temelju vapnenačkog nanoplanktona, pronađenog na lokalitetu Velika Oluja kraj Mratnjače, dokazano je da ti liburnijski slojevi pripadaju donjem eocenu (Dragičević i dr., 1992; Dragičević i Blašković, 2001). Liburnijske naslage na navedenom području svrstane su u tzv. NP-13 biokronozonu (Dragičević i dr., 1992). To su najstarije karbonatne stijene paleogena. Naslage su utvrđene u cijelom boksitonosnom području Posušja u obliku relativno malih površina, i ne prevelikog rasprostiranja što je rezultat ograničenosti njihovog taložnog okoliša. Taloženje ovih naslaga odvijalo se u najnižim dijelovima paleoreljefa koji su prvi bili zahvaćeni transgresijom (Snižnica, Podsniježnica, Sobač, Mranjača i dr.) (Slika 3-7). Ukupne debljine ovih naslaga mogu dosegnuti do 200 m, no u pravilu su puno manje jer su dobrim dijelom erodirane.



Slika 3-3. Ležište L-1 u kojemu neposrednu krovina boksita čine smeđi (Pc,E) vapnenci. (Lokacija na Prilogu 1).



Slika 3-4. Uzorci a) Liburnijskih smeđih vapnenaca i b) alveolinsko-numulitnih vapnenaca (lokacije na Prilogu 1).

Alveolinsko-numulitni vapnenci (E_{1,2})

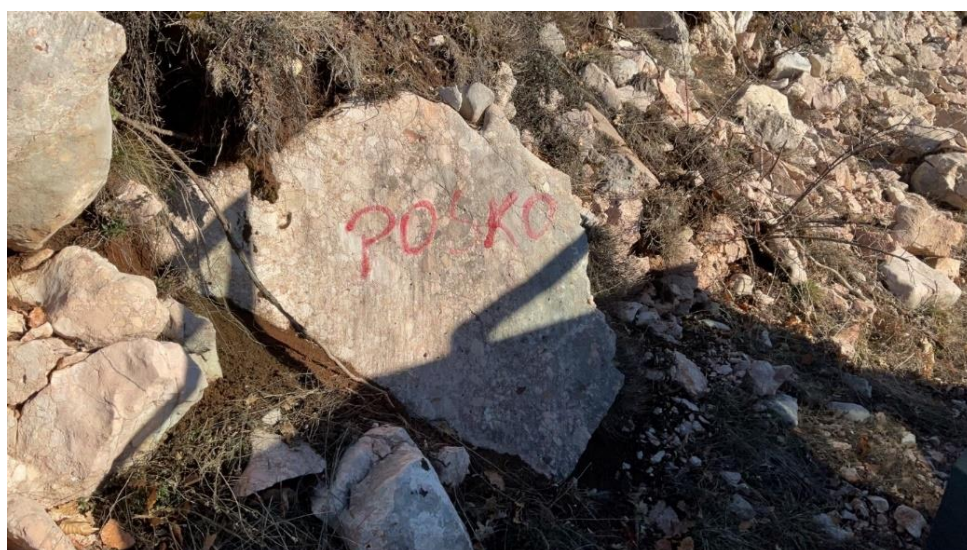
Taloženje ovih naslaga započinje prestankom taloženja liburnijskih naslaga stoga se u najstarijem dijelu slijeda pojavljuju zajedno. Njihova granica je određena pojavom alveolina što je ujedno karakteristika starijih dijelova ovog slijeda. Gornji dio karakteriziraju numuliti. Radi se o masivnim slojevima, svijetlosive i bijele boje koji su se taložili u plitkom moru (Slika 3-4B). U konkordantnom su odnosu s liburnijskim slojevima, a češće znaju biti i transgresivni na gornjokredne vapnence. Foraminifere pronađene u njima (npr. *Alveoline oblonge*, *A. lepidula*, *A. cremae*, *Nummulites atacicus*,...) ukazuju da veći dio ovih naslaga pripada donjem eocenu, a samo više dijelovi srednjem eocenu (Raić i Papeš, 1978). Pomoću foraminifera pronađenih na području Mratnjače, preciznije je određena starost ovih naslaga - kuizij i donji lutet (Dragičević i dr., 1992). Debljina slijeda iznosi do 420 m.

Eocenski lapori, pješčenjaci, konglomerati s makrofaunom te breče (E₁O₁)

U stratigrafskoj krovini prethodno opisanih naslaga nalazimo eocenske lapore, pješčenjake, konglomerate i breče (Slike 3-5 i 3-6) s makrofaunom koji se najviše rasprostiru na području Tribistova i Konjovca (sjeverno i sjeveroistočno od Snižnice). U njima nalazimo i ostatke školjaka, koralja, puževa i ježinaca, a utvrđeni su i tragovi ugljena što ukazuje na molasni karakter. Od makrofaune javljaju se *Lucina saxorum*, *L. dalmatina*, *Cardium dabricense*, *Velates schmidelianus*, *Cerithium*, *Natica*..., te foraminifere *Rotalia*, *Orbitolites complantus*, *Alveolina elongata*... (Raić i Papeš, 1978). Na temelju vapnenačkog nanoplanktona i bentičkih foraminifera pronađenih u neposrednoj krovini boksita na lokaciji Dautovac i Sobač ovim naslagama je utvrđena donjo- i srednjoeocenska starost (Dragičević i dr., 1992; Dragičević i Blašković, 2001). Dakle ove naslage na određenim mjestima predstavljaju lateralni ekvivalent liburnijskih naslaga i alveolinsko-numulitnih vapnenaca (Slika 3-7). Ova grupa litofacijesa se često nalazi u neposrednoj krovni ležišta boksita te je transgresivna na gornjokrednim vapnencima (primjer su područja Dautovac, Sobač, Konjovac, Snižnica). Opisanim naslagama ukupna debljina može iznositi i do 440 m.



Slika 3-5. Izdanak konglomerata, brečokonglomerata u krovinskim naslagama ležištima boksita u području Snižnice (lokacija u Prilogu 1)



Slika 3-6. Izdanak breče u neposrednoj krovini ležištima boksita, odnosno u transgresivnom odnosu na K_2^{3-6} rudistne vapnence u području Snižnice (lokacija fotografije u Prilogu 1)

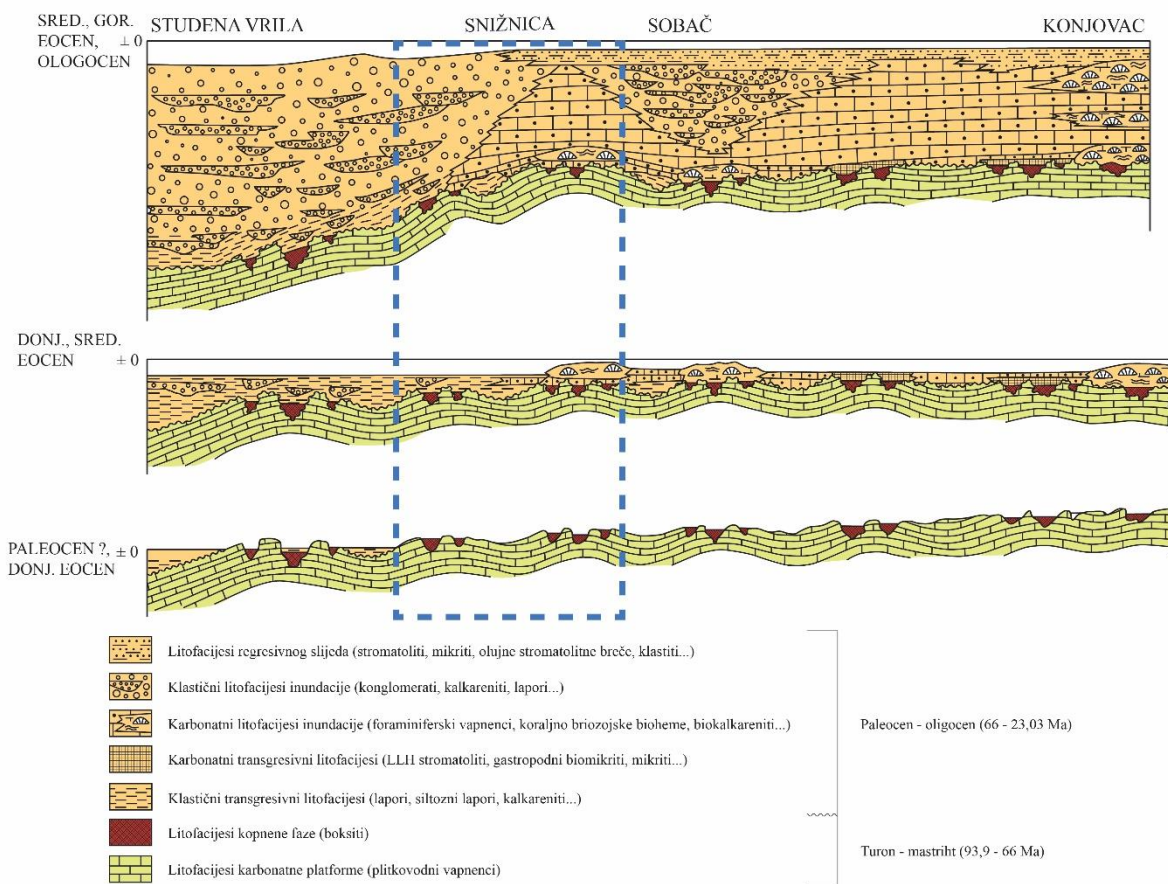
Konglomerati, pješčenjaci i lapori (Prominske naslage), (E,OI)

Prominske naslage uz lapore i pješčenjake dominantno čine konglomerati (Dragičević i dr., 1992; Raić i Papeš, 1978). Ova tri litofacijesa se vertikalno i lateralno izmjenjuju. Većina

valutica konglomerata su karbonatne, kredno-eocenske starosti, a rjeđe se javljaju valutice rožnjaka i dolomita (obično u mlađim slojevima). Gradacija valutica je česta pojava. Vezivo u konglomeratima je pjeskovito-laporovito. Ove debelouslojene naslage diskordantno su nataložene na kredne, liburnijske i alveolinsko-numulitne vapnence. U ovoj je jedinici zapažena kosa slojevitost decimetarskih do metarskih dimenzija koja ukazuje na visokoenergetske, gravitacijske tokove kojima su bili transportirani u niže dijelove (Dragičević i dr., 1992).

Prominske naslage čine krovinu brojnim ležištima boksita (Dautovac, Vučipolje, Studena Vrla) (Dragičević i Blašković, 2001). U mlađim nivoima se kontinuirano talože preko regresivne serije na foraminiferske vapnence. Pomoću vapnenačkog nanoplanktona (NP-12 biokronozona; *Tribrachyatus orthostylus*), pronađenog u laporu neposredne krovine boksita, dokazano je da je taloženje prominskih naslaga na području Studenih Vrla započelo u srednjem dijelu donjeg eocena, a završilo u gornjem eocenu (Slika 3-7). Dok, u području Dautovca prisutnost nanofosila u bazalnim klastitima pokazuje da oni pripadaju zoni NP-13 vapnenačkog nanoplanktona (Dragičević i dr., 1992). To znači da bi ovi facijesi dijelom vremenski odgovarali karbonatnim transgresivnim litofacijesima u području Velike Oluje i Koljana, a najvjerojatnije i najstarijim karbonatnim litofacijesima inundacije u području Podsniježnice, djelomično Snižnice te Sobača i Konjovca. Prema tome, Prominski klastiti predstavljaju bočne ekvivalente svih do sada opisanih članova u paleogenu (Slika 3-7). Ukupna debljina ovih naslaga iznosi oko 900 m.

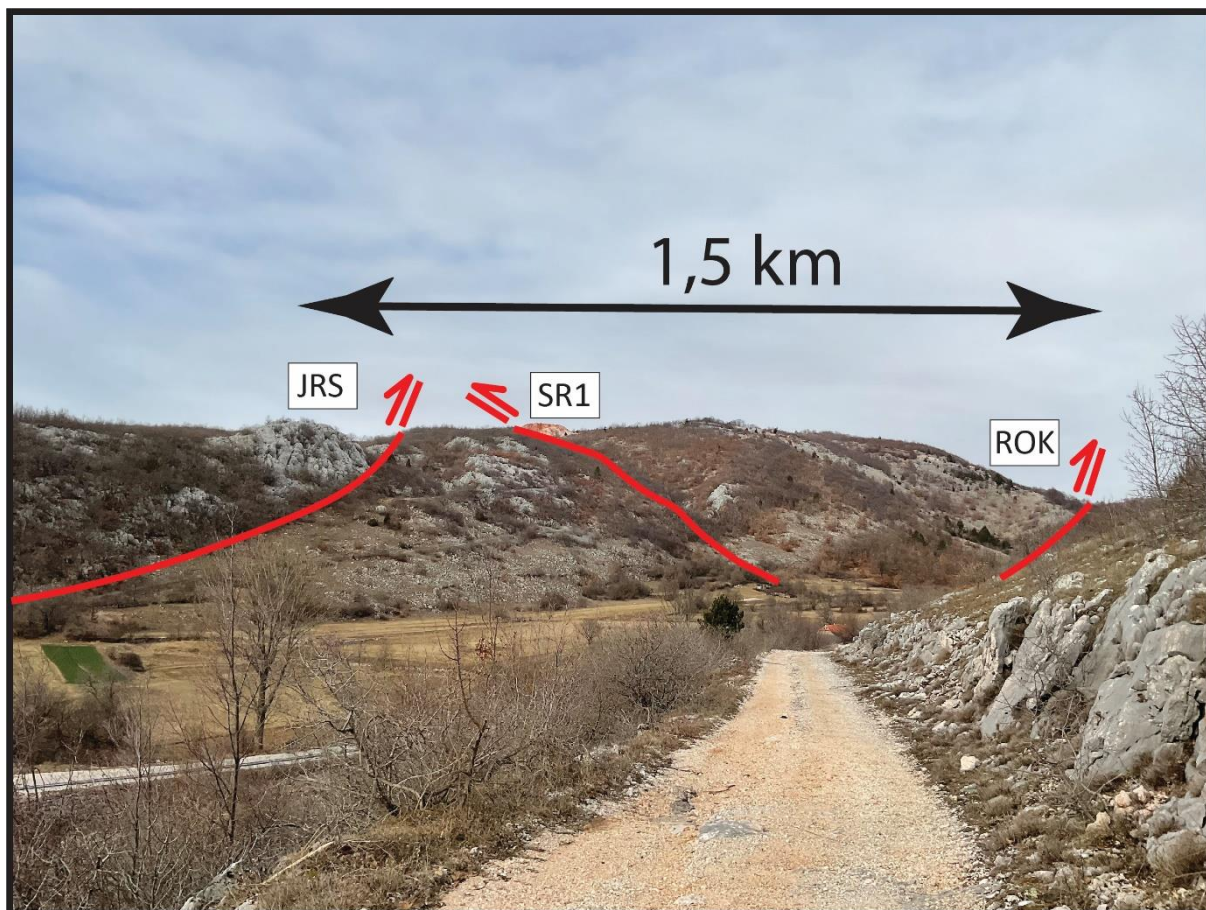
**PRIKAZ RAZVOJA LEŽIŠTA BOKSITA I KROVINSKIH FORMACIJA
(PROMINA FORMACIJA - FORMACIJA FORAMINIFERSKIH VAPNENACA)**



Slika 3-7. Prikaz razvoja ležišta boksita i krovinskih formacija u boksitonosnom području Posušja. Preuzeto i digitalizirano iz (Dragičević i dr., 1992).

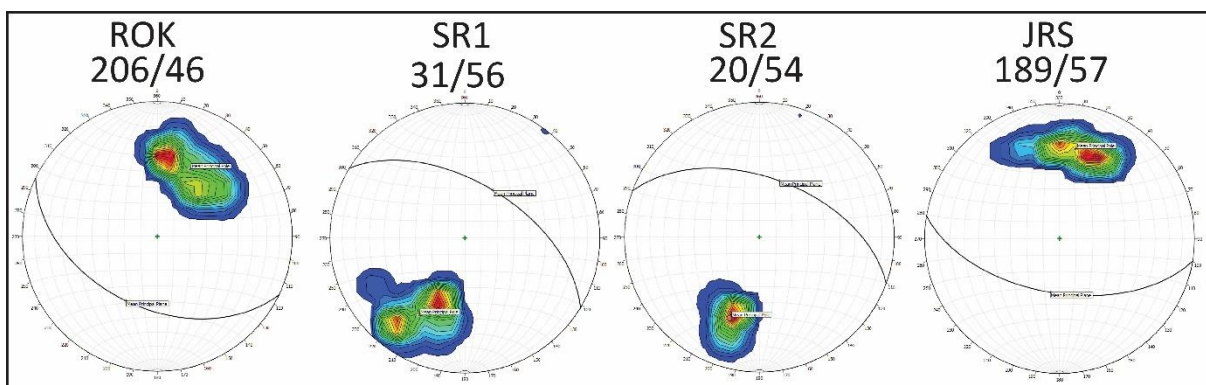
3.2. Strukturne značajke

U području Snižnice glavne strukturne značajke predstavljene su reversnim rasjedima te njima asociranim strmim do mjestimično prebačenim borama (Prilog 1 i Prilog 2). Ističu se četiri glavna reversna rasjeda: **Rasjed Orlovog kuka** (ROK) koji predstavlja segment regionalno značajnog rasjeda koji se može pratiti od Studenih Vrila sve do Cerovih doca kod Širokog Brijega (preko 40 km), **Snižnički rasjed 1** (SR1) i **Snižnički rasjed 2** (SR2) te **Južni rasjed Snižnice** (JRS) (Slika 3-8, **Prilog 1** i **Prilog 2**).



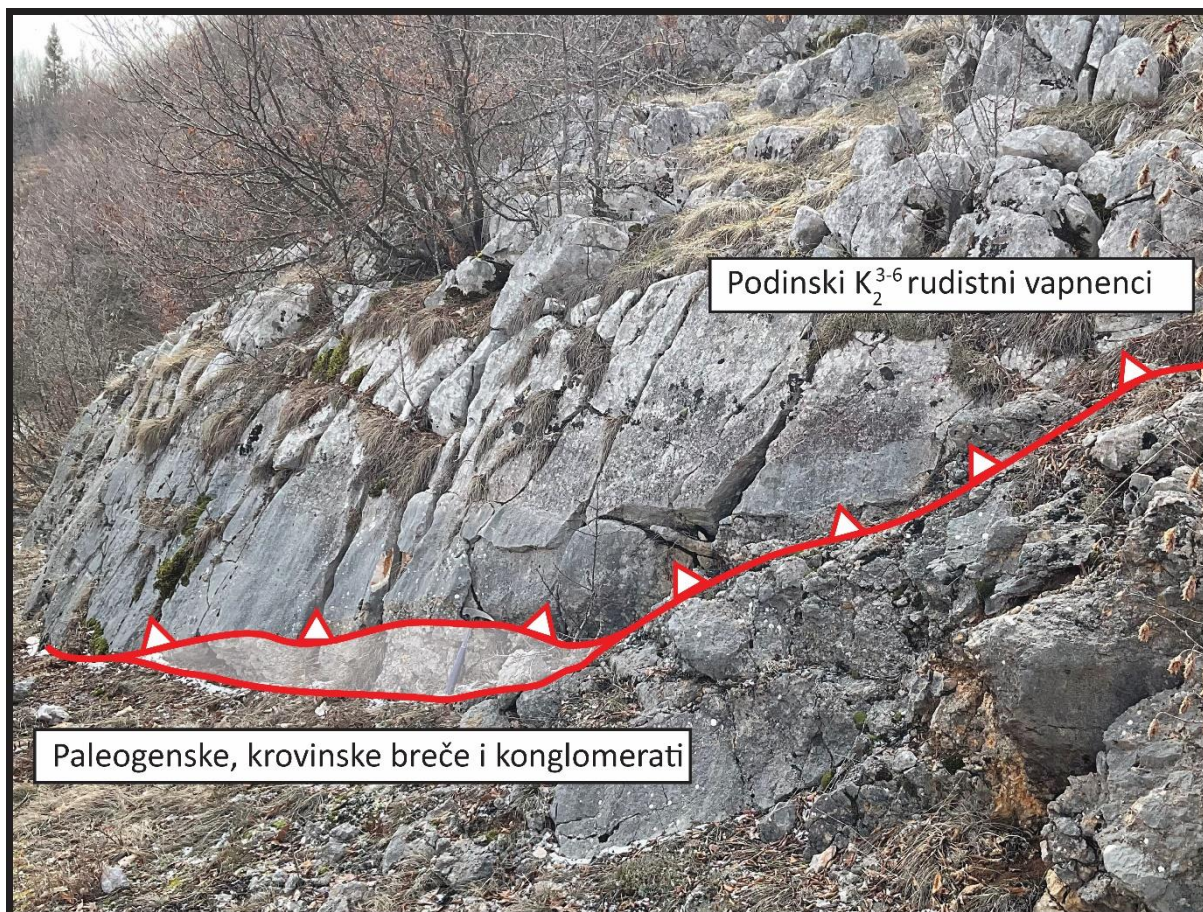
Slika 3-8. Panoramska fotografija Sniznice (pogled prema SZ) s naznačenim rasjedima (lokacija fotografije u Prilogu 1). JRS- Južni rasjed Sniznice; SR1 – Sniznički rasjed 1; ROK – Rasjed Orlovog kuka.

Rasjed Orlovog kuka (ROK) glavni je rasjed istraživanog područja a smješten sjeverno do sjeveroistočno unutar istraživanog područja, generalne je orijentacije 206/46 (Slika 3-9, Prilog 1). Rasjedna ploha nagnuta je prema jugozapadu, a kut nagiba plohe varira od 55° na jugoistočnom dijelu do 65° na sjeverozapadnom dijelu područja istraživanja (**Prilog 2**; Profili 1-1' do 15-15'). Pomaci po rasjedu su u rasponu od 95 m u istočnom dijelu do 170 m u zapadnom dijelu.



Slika 3-9. Orijentacije glavnih rasjeda strukturnog sklopa prikazane brojčano i u stereografskoj projekciji (stereogrami dobiveni iz modela rasjednih ploha kreiranih u MOVE-u).

Južni rasjed Snižnice (JRS), smješten je na samom jugu istraživanog područja, generalne je orijentacije 189/57 (**Prilog 1**). Rasjedna ploha mu je nagnuta prema jugozapadu, a kut nagiba plohe je 65-70° (**Prilog 2**; Profili 14-14' i 15-15').



Slika 3-10. Južni rasjed Snižnice (JRS) snimljen u južnom dijelu istraživanog područja (Lokacija u prilogu 1).

Snižnički rasjed se u južnom dijelu Snižnice, gledajući od jugoistoka prema sjeverozapadu, grana na dva rasjeda: Snižnički rasjed 1 (SR1) i Snižnički rasjed 2 (SR2) (Prilog 1). Rasjedi su slične orijentacije, 31/56 (SR1) te 20/54 (SR2) (Slika 3-9). Rasjedne plohe su blago promjenjivog nagiba, od 65-75° na jugoistoku do 50-60° na sjeverozapadu (**Prilog 2**). Tektonskom aktivnosti po rasjedu SR2, u podinskom krilu rasjeda formirana je strma do mjestimično prebačena sinklinala u Pc,E i E,Ol naslagama što je potvrđeno i položajem i deformacijom ležišta boksita (npr. L-14; **Prilog 1**; Slika 3-11). Interpretacija prebačene sinklinala je vrlo važna iz razloga što prilikom bušenja prvo bušimo podinu, a zatim krovinu pa se lako može pogriješiti i stoga treba biti vrlo precizan pri projektiranju bušotina kako bi se pronašla nova ležišta boksita u ovako kompleksnim geološkim uvjetima.

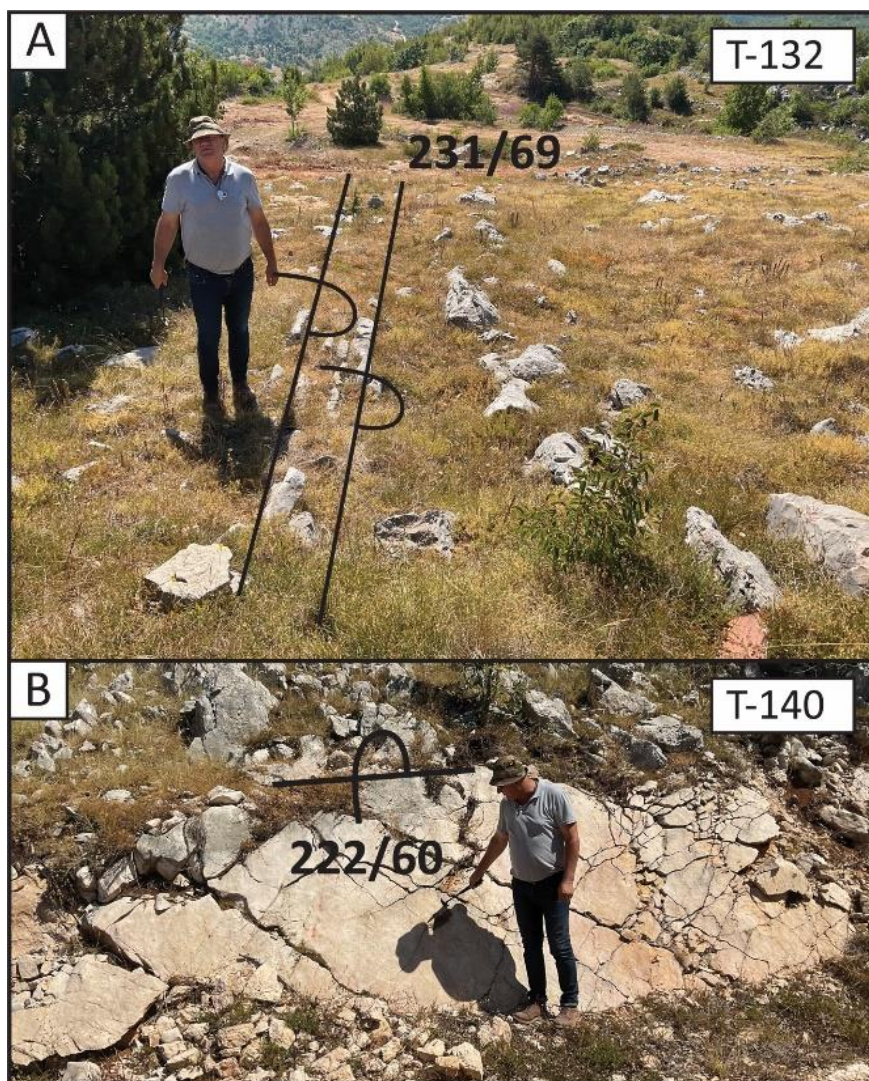
Osim opisanih reversnih rasjeda interpretirana su još dva subvertikalna rasjeda s desnim pomakom u istočnom i središnjem dijelu karte (**Prilog 1**). Vidljivi su na profilima 2-2', 3-3' te 6-6' i 7-7' (**Prilog 2**).



Slika 3-11. Strmo nagnuta ploha reversnog rasjeda SR-2 u ležištu L-14 (lokacija u Prilogu 1).

Općenito cijelo područje istraživanja je vrlo borano i tektonizirano, naročito uz glavne rasjede. Antiklinale, sinklinale i prebačene sinklinale (Slika 3-12) su generalno istog pružanja kao i glavni rasjedi (SZ-JI). Upravo je takva morfologija omogućila formiranje ležišta boksita na transgresivnom kontaktu naslaga K_2^{3-6} i Pc,E i E,Ol.

Ležišta su najbrojnija uz rasjed SR1, a ima ih mjestimično i uz rasjede SR2 i JSR. Različitih su dimenzija i oblika. Ležišta koja se nalaze u geološkoj jedinici K_2^{3-6} otkrivena su na površini kao erozijski ostaci u paleoreljefu, dok su ostala ležišta prekrivena paleogenskim (krovinskim) naslagama veće ili manje debljine.



Slika 3-12. Prebačeni slojevi A) u krovinskim liburnijskim vapnencima u podinskom krilu SR-1 rasjeda, zapadno od ležišta L-27; B) krovinskim brečama zapadno od ležišta L-20 (lokacija u Prilogu 1).

3.3. Geneza ležišta boksita

Generalno postoje dvije vrste boksita: lateritski i krški (Bárdossy, 1982; Pajović, 2009). Lateritni boksiti su vezani uz alumosilikatne stijene (vulkanske i metamorfne), od kojih su nastali površinskim trošenjem u uvjetima tople i vlažne klime i pretežno se nalaze u tropima. U odnosu na lateritne boksite, u istraživanom području imamo krške boksite. Postoji više objašnjenja koji je ishodišni materijal važan za genezu krških boksita te na koji način je isti bio transportiran u paleoudubljenja. Jedan od načina je kemijskim trošenjem podinskih vapnenaca. Nadalje, stručnjaci smatraju da je geneza boksita vezana i uz vulkanski materijal koji je vjetrom

bio transportiran, taložen i vodom pretaložen u niže predjele gdje je započeo proces boksitizacije (Pajović, 2009).

Stratigrafija je izuzetno bitna za određivanje ležišta boksita. Zapadna Hercegovina obiluje paleogenskim boksitima budući da je boksitogeneza kontinuirano trajala tijekom starijeg i srednjeg paleogena. Upravo je zato područje Posušja interesantno zbog velikog broja izdanaka podinskih i krovinskih naslaga koje pomažu u pronalasku ležišta boksita (Dragičević i Blašković, 2001).

Iako se dugo smatralo da postoje dvije generacije boksita, od kojih su i) stariji boksiti ograničeni podinom odnosno donjokrednim vapnencima, te krovinskim donjopaleogenim liburnijskim naslagama i foraminiferskim vapnencima te ii) mlađi boksiti kojima podinu čine alveolinsko-numulitni vapnenci, a krovinu gornjopaleogeni klastiti (fliš i promina formacija), istraživanja Dragičević i dr. (1992) ukazuju da ti stratigrafski i strukturni odnosi nisu adekvatno riješeni. Naime, pomoću detaljnih stratigrafskih istraživanja, odnosno zabilježenih i opisanih fosila prikupljenih u sedimentacijskom bazenu Mesihovina-Rakitno, dokazano je da je krovina svih ležišta boksita na tom prostoru, bez obzira da li je karbonatna ili klastična, približno istovremena što govori o jedinstvenoj boksitonosnoj fazi. Oblik i veličina ležišta, kao i mineralni i kemijski sastav boksita ovisili su o kompleksnim paleogeografskim uvjetima te dijagenezi koji su vladali tijekom i neposredno nakon spomenute dugotrajne emerzije.

Najveća i najbrojnija udubljenja u paleoreljefu, u kojima se nakupljao materijal ležišta boksita, uvjetovana su predrudnim strukturnim sklopom (Blašković i dr., 1989). Boksiti se često javljaju u širokim zonama blagih antiklinala, konkretnije u njihovim tjemenima budući da su to najviše točke antiklinalne strukture koje su obilježene pukotinskim sustavima pa ujedno i najizloženije vanjskim utjecajima odnosno kemijskom i mehaničkom trošenju i stvaranju paleoreljefa (Dragičević i dr., 1992; Dragičević i Blašković, 2001). Uz ove strukture, boksiti se javljaju i u zonama strukturnih sedala između brahiantiklinala, te uz predrudne rasjede (Blašković i dr., 1989).

Prema Dragičević i dr. (1992) površina ležišta može iznositi od nekoliko desetaka pa do nekoliko tisuća km². Maksimalna debljina boksita iznosi i do 40 m i nikada ne ispunjava potpuno plikativnu strukturu u kojoj je akumulirana (Dragičević i Blašković, 2001). Obično boksitna ispuna čini otprilike polovicu volumena udubina ili manje. Shodno tome, u neposrednoj krovini boksitne ispune lokalno nalazimo i prve transgresivne litofacijese krovine karbonatnog ili klastičnog sastava (Dragičević i dr., 1992).

3.4. Mineralni i kemijski sastav

Na području Posušja javljaju se crveni (krški) boksiti najčešće homogene oolitične, granularne i pelitne strukture. Glavni minerali koji tvore ovu rudu su gipsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), bemit ($\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$) i dijaspor ($\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$). Mineraloški tipovi koji se javljaju na području Mesihovine-Rakitno su: bemitni, bemitno-gipsitni i gipsitno-bemitni boksiti. Udio pojedinih minerala se mijenja od ležišta do ležišta kao i unutar samog ležišta (Dragičević i dr., 1992; Dragičević i Blašković, 2001).

Na temelju nekoliko tisuća kemijskih analiza provedenih nad uzorcima boksita, prikupljenih s područja Mesihovine-Rakitno, određen je prosječni udio pojedinih najvažnijih komponenti (Tablica 3-1.) (Dragičević i dr., 1992):

Tablica 3-1 Prosječni postotak udjela (%) pojedinih najvažnijih komponenti boksita

Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	Gubitak žarenjem
52,00	3,00	24,00	3,00	0,05	17,95

U ovom radu, laboratorijskom analizom uzoraka boksita uzetih iz dvaju ležišta na području Snižnice, L-34 i L-58, određeni su udjeli kemijskih komponenti. U Tablici 3-2 su izračunate i prikazane srednje vrijednosti dobivenih udjela.

Tablica 3-2 Rezultati srednjih vrijednosti kemijske analize uzoraka boksita iz ležaja Snižnice L-34 i L-35.

Mineralne komponente	Jedinica	Rezultat na analitički uzorak
Sadržaj SiO_2	% m/m	0,76
Sadržaj Al_2O_3	% m/m	40,74
Sadržaj Fe_2O_3	% m/m	41,19
Gubitak žarenjem	% m/m	13,54
Vlaga	% m/m	/
Sadržaj CaO	% m/m	0,99
Sadržaj TiO_2	% m/m	2,49
Sadržaj Cinka	% m/m	0,12

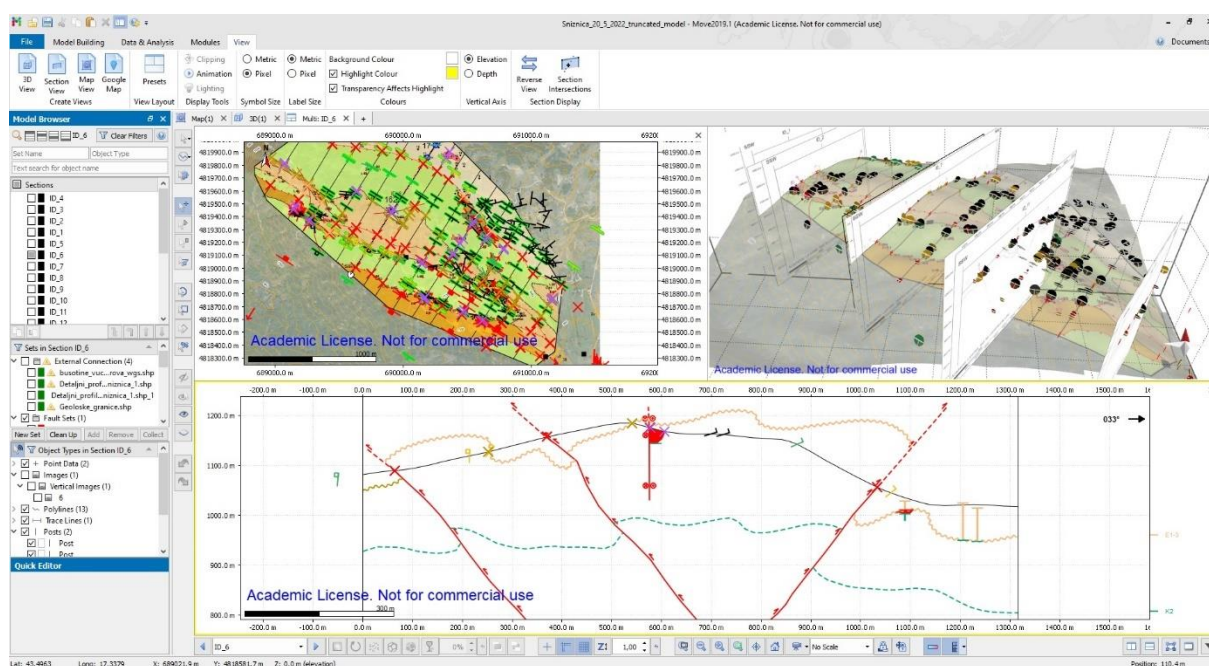
Prema rezultatima kemijske analize udio SiO_2 je u pravilu nizak i iznosi oko 0,76 %. Sadržaj TiO_2 je redovito visok i iznosi oko 2,49 %. Najveći udio imaju Al_2O_3 od oko 40,74 %, te Fe_2O_3 od oko 41,19 %. Količina CaO je mala i doseže vrijednost od 0,99 %. Gubitak žarenjem iznosi 13,54 %. Prema mineralnom sastavu, boksiti Snižnice odgovarali bi bemitskom tipu krških boksita sa znatnim udjelom getita.

Boksit kao mineralna sirovina najvažniji je za proizvodnju aluminija. Za dobivanje metala aluminija potrebni su aluminijevi oksidi (gibsit, bemit, dijaspor) koji se dobivaju **Bayerovim procesom** iz boksita. Zastupljenost ovih komponenata unutar rude kreće se između 30 % i 65 %. Uz prisutnost aluminijevih oksida bitni su tlakovi i temperature koje se primjenjuju tijekom njihove ekstrakcije, pa je tako za boksit bogat gibsitom potrebna najniža temperatura od 140 do 150°C, dok za bemit 220-270 °C i dijaspor 250-280 °C (International Aluminium Institute, 2015).

Više od 90 % svjetske proizvodnje koristi rudu boksit u aluminijskoj industriji. Aluminij ima široku primjenu pa tako velikim dijelom obuhvaća područje metalurgije - građevinarstvo (vrata, prozori, krovništa, žlijebovi); u prometnoj industriji najčešće se primjenjuju legure aluminija za proizvodnju automobila, zrakoplova, vagona, satelita gdje se aluminij dobiva iz boksita visoke kakvoće. U električnom inženjerstvu se koristi za proizvodnju kablova, vodiča, transformatora. Za proizvodnju cementa je iznimno bitan kao korektiv jer poboljšava njegova svojstva poput čvrstoće. Također se koristi u prerađivačkoj industriji za proizvodnju plastike, gume, kozmetike (International Aluminium Institute, 2015).

4. MATERIJALI I METODE

Svrha istraživanja u ovom radu je bila da se na temelju geoloških podataka koji su prikupljeni za područje Snižnice izrade preliminarni 2D i 3D geološki modeli podzemlja. Za izradu 2D/3D geološkog modela korištene su akademske licence za računalni program Petroleum Experts Move™ 2019, koji je doniran RGN fakultetu od tvrtke Petroleum Experts (Slika 4-1).



Slika 4-1. Sučelje softvera Petroleum Experts Move.

Prvi korak u radu bio je sistematizirati ulazne podatke u ArcGIS bazu podataka te ih obraditi/pripremiti kako bi se mogli koristiti za izradu 3D geološkog modela. Kako su korišteni ulazni podaci raznovrsni te rađeni po različitim standardima u različita vremena, a to se prvenstveno odnosi na identifikaciju i definiciju stratigrafskih odnosa krovinskih naslaga, prije same obrade podataka bilo je potrebno sve podatke unificirati i opisati na istovjetan način. Nadalje, bilo je potrebno razraditi metodologiju izrade 2D/3D geološkog modela istraživanog područja te odrediti optimalnu metodu interpolacije za izradu željenih ploha na temelju raznovrsnih ulaznih podataka (npr. podaci iz bušotina, stratigrafski i strukturno-geološki podaci prikupljeni terenskim radom, do sada načinjene geološke karte koje su pohranjene u arhivi **Rudnika boksita d.o.o. Posušje**).

4.1. Ulazni podaci i pripremni radovi

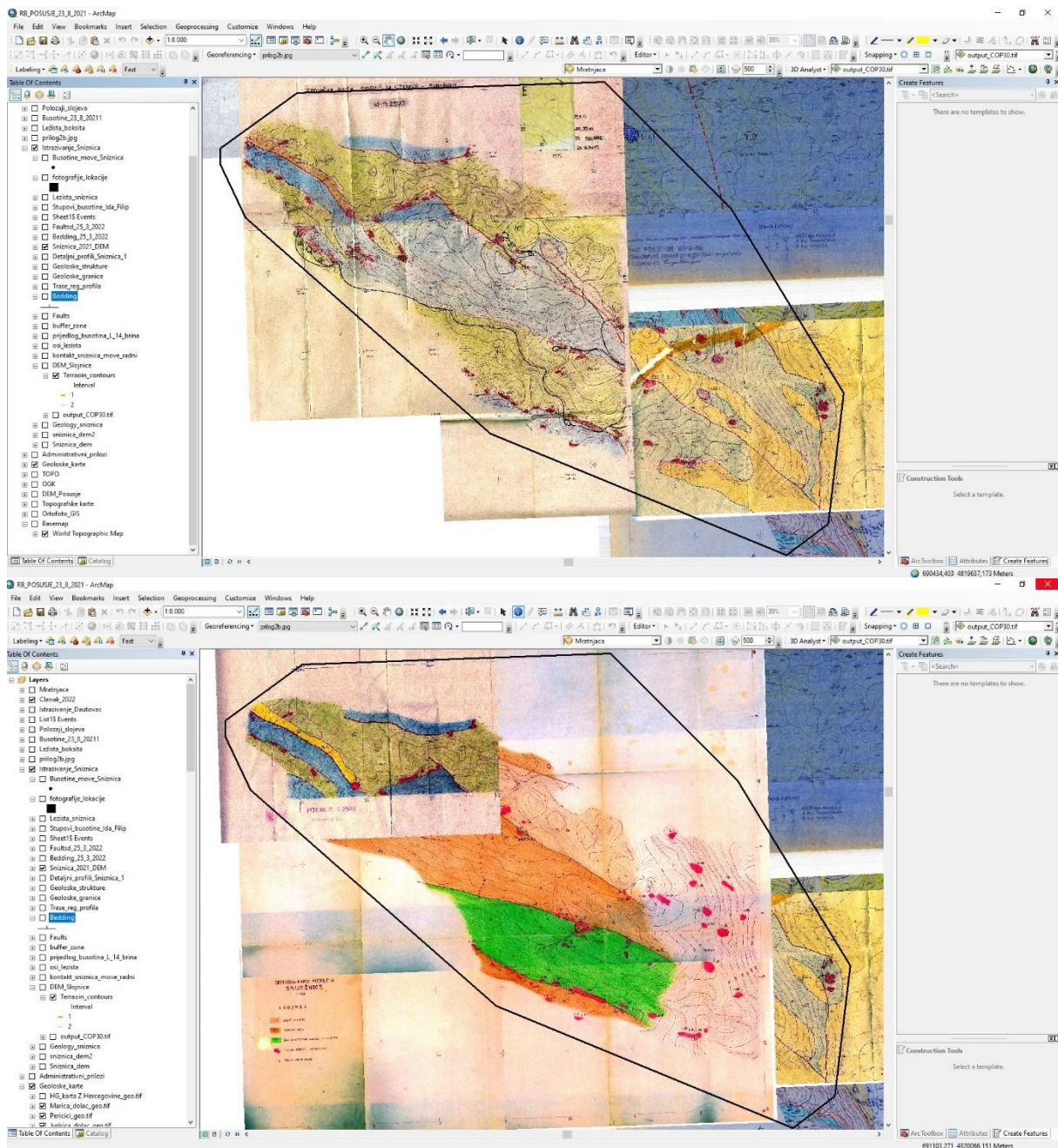
Za potrebe izrade rada, odnosno 2D/3D geološkog modela područja Snižnice, korišteni su sljedeći podaci:

- Digitalni model reljefa (DEM) (<https://opentopography.org/>);
- Geološke karte Snižnice (*Fond stručne dokumentacije Rudnika boksita d.o.o. Posušje*);
- Litološki stupovi bušotina (*Fond stručne dokumentacije Rudnika boksita d.o.o. Posušje*);
- Topografske podloge (Državne topografske karte te ESRI Basemap)

4.1.1. Geološke karte

Geološke karte boksitonosnog područja Snižnice dobivene su od tvrtke **Rudnici boksita d.o.o. Posušje** (*Fond stručne dokumentacije Rudnici boksita d.o.o. Posušje*) te su poslužile kao podloge u programu ESRI ArcGIS™. Kako su karte rađene u različita vremena (od 1950 do 1990) od strane različitih autora, različitog znanja i iskustva, interpretacije stratigrafskih i strukturnih značajki na pojedinim kartama se međusobno značajno razlikuju (Slika 4-2).

Obzirom na značajno različite interpretacije stratigrafskih i strukturnih značajki različitih autora karata, inicijalno je izrađen mozaik svih raspoloživih karata te su iste preklopljene s kartama ležištima boksita na površini terena (Slika 4-2). Kako se ležišta boksita javljaju na kontaktu podinskih krednih rudistnih vapnenaca te krovinskih paleogenskih naslaga, presječnice kontakata su poslužile kao inicijalna provjera vjerodostojnosti korištenih karata iz fonda stručne dokumentacije.



Slika 4-2. Georeferencirane geološke tematske karte korištene u digitalizaciji ležišta boksita na području istraživanja.

Drugi kriterij provjere korištenih tematskih geoloških karata te konstrukcije karte u **Prilogu 1** su bila provedena terenska istraživanja i detaljizirano geološko kartiranje na nekoliko ključnih mjesta na području istraživanja. Koristeći navedene setove podataka (dijelovi tematskih karata doniranih od tvrtke **Rudnici boksita d.o.o. Posušje** te novo prikupljeni strukturni i geološki podatci) izrađena je kompozitna tematska geološka karta

Geološka tematska karta izrađena je u ArcGIS okruženju pri čemu su tematski slojevi bili u točkastom, linijskom i poligonskom obliku. Točkasti podaci su sačinjavali elemente položaja

slojeva s vrijednostima kutova nagiba, mjereni strukturni elementi (rasjedi i bore), lokacije uzoraka i fotografija, oznake starosti geoloških jedinica i lokacije bušotina. Linijske podatke su činili strukturni podaci kao što su geološke i tektonske granice, odnosno normalna geološka granica, erozijsko-transgresivna diskordancija te rasjedi. Poligonske podatke su činile geološke jedinice te poligonske lokacije ležišta boksita na površini i u podzemlju, neposredno ispod krovine. Digitalizirana i konstruirana geološka karta izrađena je u mjerilu 1:5.000 (**Prilog 1**).

4.1.2. Bušotine

Interpretacija 3D modela istraživnog područja uvelike je potpomognuta postojećim podacima iz bušotina. Podaci iz bušotina dobiveni su od tvrtke **Rudnici boksita d.o.o. Posušje**. U tu svrhu korišteno je 78 bušotina, od kojih je 75 u istraživnom prostoru a tri bušotine V-36 (Slika 4-3), V-37 i V-41 se nalaze u području bazena Mesihovina-Rakitno (Blašković i dr., 1989) koji se nalazi sjeverno i sjeveroistočno od područja Snižnice (**Prilog 1**; Slika 4-5). Navedene tri bušotine korištene su kako bi se preciznije odredio položaj kontaktne plohe u podinskom krilu rasjeda Orlovog kuka. Podaci iz bušotina s područja Snižnice dobiveni su u XLS formatu, a sadržavali su X,Y,Z koordinate bušotine, dubinu bušotine, podatak dali je bušotina nabušila boksitne pojave, dubinu do kontakta podinskih i krovinskih naslaga, dubinu do boksita (ako je nabušen) te debljinu boksita (ako je nabušen). Na temelju podataka iz bušotina, konstruiranim geološkim profilima značajno je povećana vjerodostojnost, a oni su uz kompozitnu geološku kartu bili temeljni ulazni podaci za izradu preliminarnog 3D geološki model.

4.1.3. Terenska mjerenja

Terenska mjerenja provedena su tijekom kolovoza 2021 godine. Terenski rad sastojao se od obilaska ključnih lokacija koje su predefinirane na temelju pregleda korištenih geoloških tematskih karata kako bi se izdvojeni lokaliteti s različitim interpretacijama provjerili te ispravno iskoristili na izrađenoj kompozitnoj geološkoj karti. Na svakoj terenskoj točki na temelju makroskopskih opažanja određena je vrsta stijene i njezina pripadnost stratigrafskoj podini ili krovini (Slike 3-3 do 3-6), izmjereni su položaji slojeva te strukturni elementi (Slike 3-10 do 3-12). Izdanci i uzorci su fotografirani te su uzorkovani za daljnje analize.

GEOLOŠKI STUP SOBAČ (BUŠOTINA V - 36)

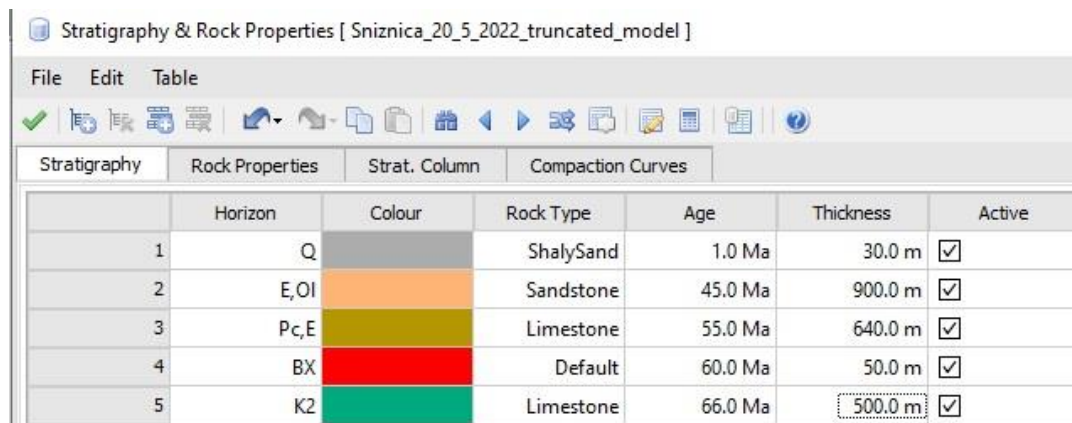
M 1 : 500

DEBLJINA (m)	LITOLošKI STUP	TEKSTURE	UZORCI	SREDINA TALOŽENJA (LITOFACIJES)	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	FOSILNI SADRŽAJ
50 m			□ BS-1/16	"tokova" s kopna	N	husus
					E	konglomerati
					G	kalkareniti
						biokalkruditi
						siltiti i siltozni lapori
						pješčenjaci
						kokine
						miliolidni vapnenici
						teksture: gradacija i bioturbacije
						uzorci (analiza): petrografske, nanoplankton, geokemijske
100			□ BS-1/15	utjecajem	O	ostaci koralja
			□ BS-1/14	povremenim	E	ostaci ljuštura školjkaša
			*△ 1/13			
			*△ 1/12			
			□ BS-1/11			
			□ BS-1/9	piličak	L	
			□ BS-1/8			
			□ BS-1/7	zagrebenski	A	Planorbulina cretae (MARSSON), Operculina sp., Assilina sp., miliolide, ostaci koralja, briozoa bobljikasa i crvenih algi.
			□ BS-1/6			
			□△ BS-1/5			
			□△ BS-1/4		P	Idalina sinjarica GRIMSDALE miliolide i fragmenti školjkaša
			□ BS-1/3	zagrebenski piličak		Asterigerina rotula (KAUFMANN)
			□ 1/2		TURON - SENON	Ethelia alba (PFENDER)
			□ BS-1/1			Keramospherina sp., PRILOG 14

Slika 4-3. Stup bušotine V-36 sjeverozapadno od istraživnog prostora (Blašković i dr., 1989).

4.1.4. 3D baza podataka

Konstrukcija profila temeljila se na pred-izradi kompozitnog geološkog stupa. Izrada kompozitnog stupa u *Move* softveru obuhvaćala je stratigrafske jedinice koji su opisani u ranijim poglavljima (Slika 4-4), koristeći pritom srednje debljine naslaga.

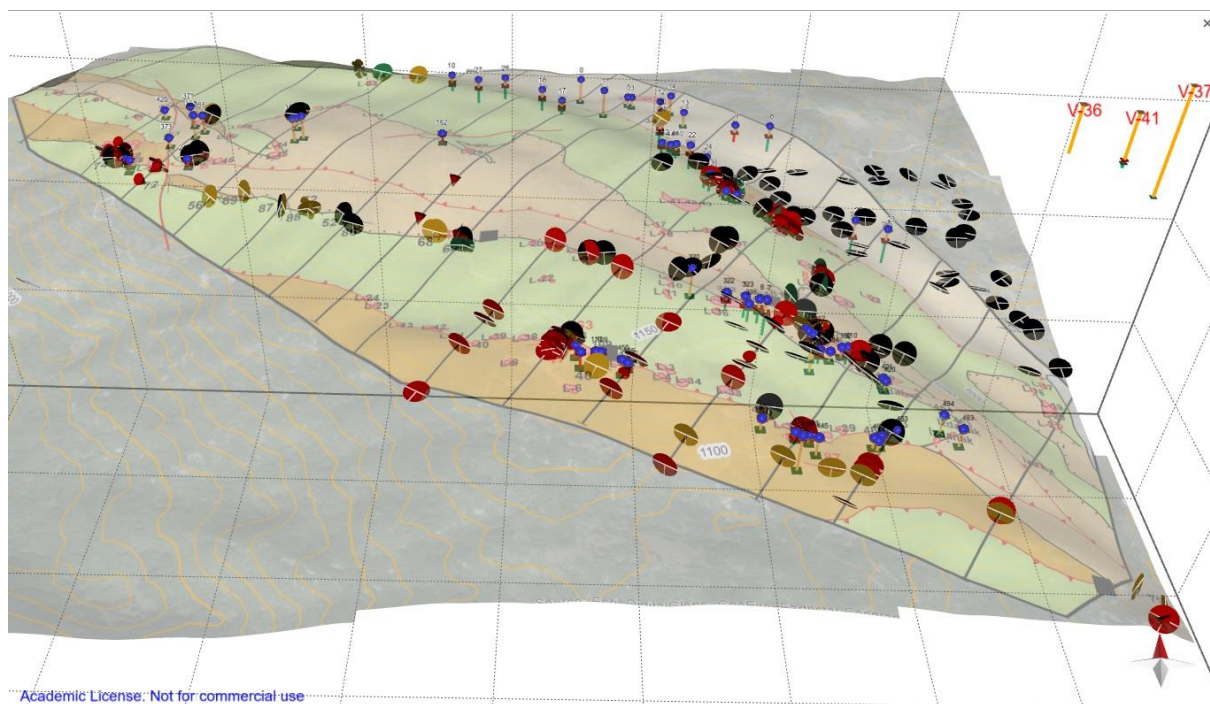


	Horizon	Colour	Rock Type	Age	Thickness	Active
1	Q		ShalySand	1.0 Ma	30.0 m	☒
2	E, OI		Sandstone	45.0 Ma	900.0 m	☒
3	Pc, E		Limestone	55.0 Ma	640.0 m	☒
4	BX		Default	60.0 Ma	50.0 m	☒
5	K2		Limestone	66.0 Ma	500.0 m	☒

Slika 4-4. Pojednostavljeni stratigrafski stup u MOVE-u nužan za izradu 3D geološkog modela.

Izrada i realizacija 2D/3D modela ostvarena je pomoću akademske licence softvera *Move* (Petroleum Experts) koji je dobiven na korištenje na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu. Navedeni softver je primarno geološke namjene, a ima spektar mogućnosti koji se mogu koristiti u strukturnoj geologiji, sedimentologiji, petrofizici, geomehanici, naftnoj geologiji, hidrogeologiji i drugim granama geologije.

Ulazni podaci potrebni za izradu modela podzemlja bili su digitalizirana kompozitna geološka karta izrađena u ArcGIS-u tijekom prethodnih koraka te digitalni model terena (Slika 4-5). Geološku kompozitnu kartu je bilo potrebno inicijalno transformirati u 3D kartu. Geološke granice, rasjedi, položaji slojeva uz DEM su zasebne skupine objekata koji se danas koriste za izradu geoloških profila.



Slika 4-5. Ulazni podaci za izradu geoloških profila u *Move* softverskom okruženju.

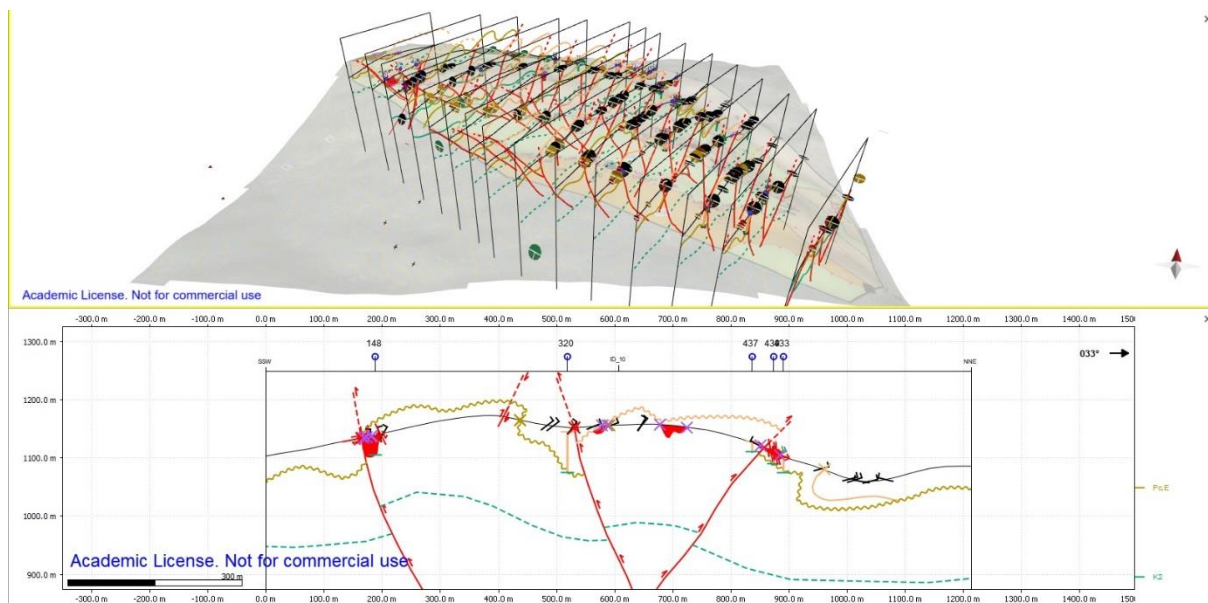
4.1.5. Geološki profili

Temeljem analize orijentacije geoloških struktura Snižnice, određeno je da optimalni poprečni profili budu pružanja 30° - 210° , odnosno 35° - 215° . Konstrukcija geoloških profila u ovome radu bazirana je na klasičnoj geološkoj konstrukciji geoloških profila. Konstrukcija je podrazumijevala izradu presjeka površine terena, odnosno topografski profil te projekcija svih mjerenih podataka i geoloških granica na topografski profil. Glavna razlika u odnosu na ručno crtanje profila je što se sve pripremne radnje mogu primijeniti automatiziranim postupcima što značajno skraćuje vrijeme izrade profila.

Move softver ima nekoliko naprednih algoritama automatiziranih načina izrade profila, kao što su: konstrukcija geometrije horizonta na temelju projiciranih kutova nagiba slojeva, paralelna konstrukcija krovinskih i podinskih horizonta ili pod određenim kutom smicanja što bi izazvalo smanjenje debljina naslaga u točkama infleksije uz zadebljanja u sinklinalama i uz rasjedne plohe što je karakteristično za reversne rasjede i ljuskave strukture. Svi ovi načini konstrukcije profila su primjenjiviji su kod regionalnih profila s cijelim slijedom naslaga (npr. mezozojskim

i kenozojskim) dok kod profila „lokalnog“ karaktera gdje se posjeduje velika količina podataka primjenjivije je profile konstruirati detaljno te iterativno.

Konstrukcija profila (Slika 4-6). započela je izradom topografskog profila na temelju DEM-a. Na topografski profil projicirana su presjecišta profila s geološkim granicama i rasjedima te položaji slojeva i mjereni rasjedi u blizini profila.



Slika 4-6. Proces konstrukcije profila: izrada topografskog profila, projekcija presječnica litstratigrafskih granica i rasjeda s trasom profila i projekcija položaja slojeva u blizini profila na profil.

U prvom koraku izrade profila konstruirani su rasjedi. Po konstrukciji tragova rasjeda, konstruirane su geološke granice, odnosno erozijsko-transgresivna diskordancija koja je rekonstruirana i iznad površine terena, odnosno, rekonstruiran je i dio koji je erodiran kroz geološko vrijeme (Slika 4-6). Obzirom na veliku debljinu krednih naslaga, podina krednih naslaga je pretpostavljena, postavljena pliće, uz fokus na, krovinske naslage i boksitonosni kontakt krednih i paleogenskih naslaga.

4.2. Općenito o 3D geološkim modelima

Razvojem računalne grafike, softvera za 3D vizualizaciju pa tako i geografskih informacijskih sustava (GIS), 3D geološki modeli postali su ključan faktor u rješavanju problema u području geoznanosti posljednjih 20ak godina. Ovakvi modeli bazirani su na geološkim podacima, a omogućuju detaljniju i jasniju vizualizaciju složenih geoloških uvjeta. Uglavnom se radi o podzemnim uvjetima, međutim, sve je češća primjena i u tzv. daljinskim geološkim istraživanjima koja se odnose na vizualizaciju površinskih uvjeta (Ma i dr., 2021).

Softveri za izradu 3D geoloških modela prvenstveno su bili namijenjeni istraživanjima ležišta ugljikovodika u sklopu naftnih istraživanja, a zatim hidrogeološkim istraživanjima te istraživanjima rudnih ležišta (Aug i dr., 2004; Fallara i dr., 2006; Kaufmann i Martin, 2009). U sklopu ovog istraživanja *Move* softver je korišten za rekonstrukciju povijesti taloženja, pomaka po rasjedima i mnoge druge mogućnosti što značajno olakšava vizualizaciju, modeliranje i razumijevanje geoloških struktura te njihovog povijesnog razvoja od nastanka do položaja u kakvom se nalaze danas.

Metodologija izrade može se podijeliti u nekoliko osnovnih koraka (Kaufmann i Martin, 2009):

1. Prikupljanje i interpretacija ulaznih podataka (geološke karte, poprečni profili, DEM, opisni bušotinski podaci) u okviru istražnih radova: inženjersko-geološko kartiranje terena, istraživačke bušotine, geofizička mjerenja i ispitivanja (sondažne jame, duboka seizmička mjerenja) itd. Posebnost geofizičkih mjerenja u recentnije vrijeme leži u njihovoj pomoći preciznije interpretacije geoloških struktura. Jedna od glavnih poteškoća u korištenju podataka jest heterogenosti opisa i interpretacija – u obilju starih i novih podataka o podzemlju samo su neki dovoljno točni i reprezentativni za željeno mjerilo istraživanja.
2. Digitalizacija i uređivanje podataka unutar računalnog programa (obično GIS-a), primjena programskih operacija nad prostornim podacima
3. Unošenje podataka iz 2. koraka u softver za 3D geološko modeliranje gdje se interpolacijskim algoritmima dobivaju slojevi, a iz njih 3D geološki modeli. Prema Fallara i dr. (2006) 3D geološki model predstavlja volumen sastavljen od grupa 3D ćelija koje sadrže različite numeričke podatke, uključujući podatke o litologiji,

gustoćama, geokemijskim i geofizičkim istraživanjima i sl. Iako jednostavno 3D modeliranje površine može biti provedeno unutar GIS-a, on ne dopušta izradu površina i geoloških modela (*volume*) s kompleksnom geometrijom kao što su geološki rasjedi i bore. Zbog toga se njihova izrada najčešće izvodi u programima kao što su: GOCAD, Leapfrog, MOVE, Petrel i dr.

Iako je izrada ovakvih modela i dalje veliki izazov, prednost im predstavlja mogućnost stalne nadogradnje i nadopune novim podacima.

4.3. Izrada 3D geološkog modela Snižnice

Konstruirani geološki profili su temelj za konstrukciju 3D geološkog modela. Konstrukcija 3D modela iz geoloških profila obuhvaća povezivanje 2D strukturnih elemenata na pojedinim profilima kao što su linije rasjeda ili linija geoloških granica u trodimenzionalna tijela, kao što su plohe koje predstavljaju podinu ili krovinu geoloških jedinica i rasjedne plohe.

Nakon pripreme ulaznih podataka i formiranja 3D baze podataka te konstrukcije geoloških profila, postupak izrade 3D geološkog modela Snižnice sastojao se od sljedećih koraka:

- a) Izrada modela rasjednih ploha;
- b) Izrada modela plohe paleoreljefa i „podinske plohe“ krednih vapnenaca;
- c) Izrada volumena;
- d) Analize rasjednih pomaka;
- e) Analize nagiba i smjerova nagiba plohe paleoreljefa;
- f) Izračun volumena erodiranih paleogenskih naslaga;

Rasjedi su konstruirani algoritmima „Linear interpolation“ i „Spline Curves“ koji su povoljni za povezivanje linijskih objekata jednostavnije geometrije između paralelnih ili približno paralelnih profila. Kako je erozijsko-transgresivna diskordancija geometrijski kompleksniji objekt, korišteni su sofisticiraniji algoritmi kao što su Delaunay Triangulation, IDW („Inverse Distance Weight“) i Ordinary Kriging.

4.3.1. Interpolacijski algoritmi

Linear interpolation – čini jednu od metoda opće interpolacije *Newtona*, a omogućuje aproksimacijom odrediti nepoznatu vrijednost u slučaju poznate početne i krajnje točke; to jest, njihovu srednju vrijednost (Move Knowledge Base 2019). Primjenjuje se i na aproksimativne funkcije, gdje su vrijednosti $f(A)$ i $f(B)$ poznate i želi se znati posrednika od $f(X)$. Uz ovu najjednostavniju vrstu interpolacije postoje i neke druge kompleksnije kao što su kvadratne, kubne te viši stupnjevi interpolacija. Treba imati na umu da linearna interpolacija neće dati rezultat točniji od rezultata dobivenog aproksimacijom funkcija viših razreda. (<https://hr.thpanorama.com/articles/matematicas/interpolacin-lineal-mtodo-ejercicios-resueltos.html>).

Spline Curves - u računalnoj geometriji, Spline Curve je matematički pristup koji omogućuje korisniku da kontrolira oblik složenih ploha koristeći kontrolne točke na krivuljama (Move Knowledge Base 2019). Kod izrade ovog modela krivulje predstavljaju slojne plohe na profilima, a kontrolne točke su točke na krivulji čijim pomicanjem u prostoru kontroliramo oblik krivulje. Rezultat povezivanja kontrolnih točaka između krivulja je ploha u prostoru, što je u slučaju izrade geološkog modela, podina ili krovina geološke jedinice ili rasjedne plohe.

Delaunay Triangulation je metoda povezivanja točaka kojom se između točaka konstruira trokutna mreža. Ova metoda maksimizira najmanji kut u mreži kako bi se izbjegli šiljasti kutovi, a time dobila kvalitetnija mreža i realnija ploha (Move Knowledge Base 2019).

Inverse Distance Weight je interpolacijska metoda inverzne udaljenosti procjenjuje vrijednosti na temelju relativno jednostavnoga matematičkog izraza:

$$z_{IU} = \frac{\frac{z_1}{d_1^p} + \frac{z_2}{d_2^p} + \dots + \frac{z_n}{d_n^p}}{\frac{1}{d_1^p} + \frac{1}{d_2^p} + \dots + \frac{1}{d_n^p}} \quad (4.1.)$$

Utjecaj svake točke obratno je proporcionalan njezinoj udaljenosti od lokacije na kojoj se procjenjuje vrijednost. Broj točaka uključenih u procjenu ($z_1 \dots z_n$) određen je polumjerom kružnice postavljene oko spomenute lokacije. Rezultat metode uvelike ovisi o vrijednosti

eksponenta udaljenosti (p). Najčešće ta vrijednost iznosi 2, jer je tada i račun najjednostavniji, a podjednako se uočavaju oblici na makroskali i mikroskali (Malvić i Vrbanac, 2013).

Kriging - ubraja se u geostatističku metodu interpolacije, a primjenjiv je u različitim znanostima zbog svoje pouzdane procjene prostorno distribuiranih varijabli. Pouzdanost procjene se temelji na prethodno izračunatim težinskim koeficijentima poznatih vrijednosti neke varijable (tzv. kontrolnih točaka). Težinski koeficijenti kriginga računalno se izračunavaju sustavom linearnih jednadžbi, a za opisivanje linearnih jednadžbi obično se koriste matrice. Ako su kontrolne točke izrazito grupirane unutar matrice tada će izračun takvih matričnih jednadžbi biti precizniji. Uz to, raspored i udaljenost kontrolnih točaka utječu na procjenu novih vrijednosti. (Malvić, 2008).

Drugim riječima, ako je neko svojstvo Z , npr. krovinska ploha paleogenskih boksita, kontinuirano prostorno distribuirana (Gaussova krivulja) i izmjerena na mjestima $x_1, x_2, \dots, x_n$, s vrijednostima $Z_{(x1)}, Z_{(x2)}, \dots, Z_{(xn)}$, to svojstvo Z predstavljat će regionaliziranu varijablu jer je njezina vrijednost distribuirana u prostoru. Vrijednosti $x_1, x_2, \dots, x_n$ predstavljaju točke u kojima su očitane vrijednosti svojstva pa vrijedi sljedeći zapis: $x_i=(x,y)$ za $i=1, \dots, n$.

Vrijednost varijabli izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$Z_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z_i \quad (4.2.)$$

gdje su:

λ_i — težinski koeficijenti za svaku lokaciju

$Z_i=Z_{(xi)}$ — poznate vrijednosti varijable u okolnom području tzv. kontrolne točke

Z_k — vrijednosti varijable dobivene procjenom.

Budući da je moguće izračunati predviđenu i stvarnu pogrešku procjene u kontrolnim točkama, njihovom usporedbom s mjerenom vrijednošću u kontrolnoj točki određuje se pouzdanost procjene te kvaliteta odabranog prostornog modela (Medved i dr., 2010).

Kako je poznato da određene geološke varijable mogu biti u vrlo naglašenju međusobnoj zavisnosti, izvodi se variogramsko modeliranje. Pomoću njega se uočavaju takve zakonitosti koje se onda uključuju kao povoljni elementi u modeliranju i interpolaciji. Dakle, variogramskom analizom se može samo odrediti prostorna zavisnost na analiziranome polju, vezana uz puno složenije ili kombinirane geološke međuodnose. Proračun težinskih koeficijenata ovisi jedino o udaljenosti kontrolnih točaka koje se nalaze unutar variogramskoga elipsoida prostorne zavisnosti. Variogram služi da se utvrdi važnost ili utjecaj susjednih točaka na procjenu u odabranoj lokaciji, odnosno njime se računa stupanj autokorelacije mjerenih podataka promatrane varijable.

U slučaju da ova geostatistička metoda daje lošiju („netočniju“) procjenu od jednostavnijih interpolacijskih metoda, potrebno je unaprijed definirati granične uvjete. Za slučaj s jako anizotropnim skupovima podataka minimalan broj ulaznih vrijednosti za primjenu geostatistike iznosi približno 15. Manje od toga izotropno variogramsko modeliranje bilo bi nemoguće.

Postupak kriginga moguće je napisati u obliku umnoška matričnih jednadžbi. Simbolični zapis matričnih jednadžbi glasi:

$$[W] \times [\lambda] = [B] \quad (4.3.)$$

Unutar dviju od tih matrica vrijednosti su izražene vrijednošću variograma, odnosno ovise o udaljenosti uspoređenih lokacija. Treća matrica sadržava težinske koeficijente koji se računaju iz prvih dviju spomenutih matrica. Po obliku matričnih jednadžbi, odnosno prema području i vrsti podataka na koje se primjenjuju mnogobrojne tehnike, ubrajaju se i jednostavni i obični kriging (Malvić, 2008).

Jednostavni kriging (*engl. Simple Kriging*) je najjednostavniji oblik metode. To je varijanta kriginga koja podrazumijeva da su lokalne srednje vrijednosti razmjerno konstantne i jednake srednjoj vrijednosti cijele populacije koja je poznata. Populacijska srednja vrijednost upotrijebljena je u svakoj lokalnoj procjeni, načinjenoj iz pripadajućih uzoraka. Njegova matrična jednadžba glasi:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_n) \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x) \end{bmatrix} \quad (4.4.)$$

On je osnova za sve ostale vrste kriginga, ali ne zadovoljava uvjet nepristrane procjene, odnosno, očekivanje procjene nije jednako stvarnome očekivanju cijele (moguće) populacije vrijednosti.

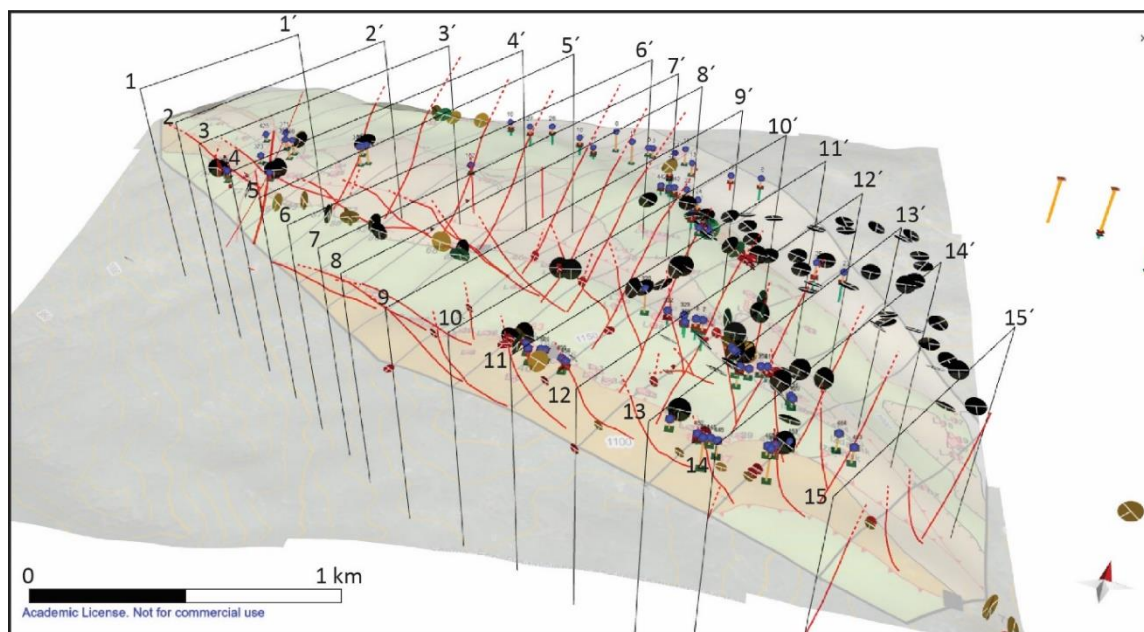
Za razliku od jednostavnog kriginga, ostale tehnike kriginga imaju dodan neki „faktor ograničenja“ unutar jednadžbi. U slučaju običnog kriginga (*engl. Ordinary Kriging*) radi se o vanjskom parametru, nazvan Lagrangeov faktor (μ), kojim se minimizira iznos varijance kriginga. To je tehnika kriginga u kojoj je pretpostavljeno da lokalna srednja vrijednost nije nužno bliska srednjoj vrijednosti ukupnoga broja podataka (kontrolnih točaka). Posljedica je da se pri procjeni upotrebljavaju samo „susjedni“ uzorci odnosno oni unutar elipsoida pretraživanja. Matrična jednadžba običnog kriginga glasi:

$$\begin{bmatrix} \gamma(Z_1 - Z_1) & \gamma(Z_1 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_1 - Z_n) & 1 \\ \gamma(Z_2 - Z_1) & \gamma(Z_2 - Z_2) & \dots & \gamma(Z_2 - Z_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \gamma(Z_n - Z_1) & \gamma(Z_n - Z_2) & \dots & \gamma(Z_n - Z_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x) \\ \gamma(x_2 - x) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - x) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.5.)$$

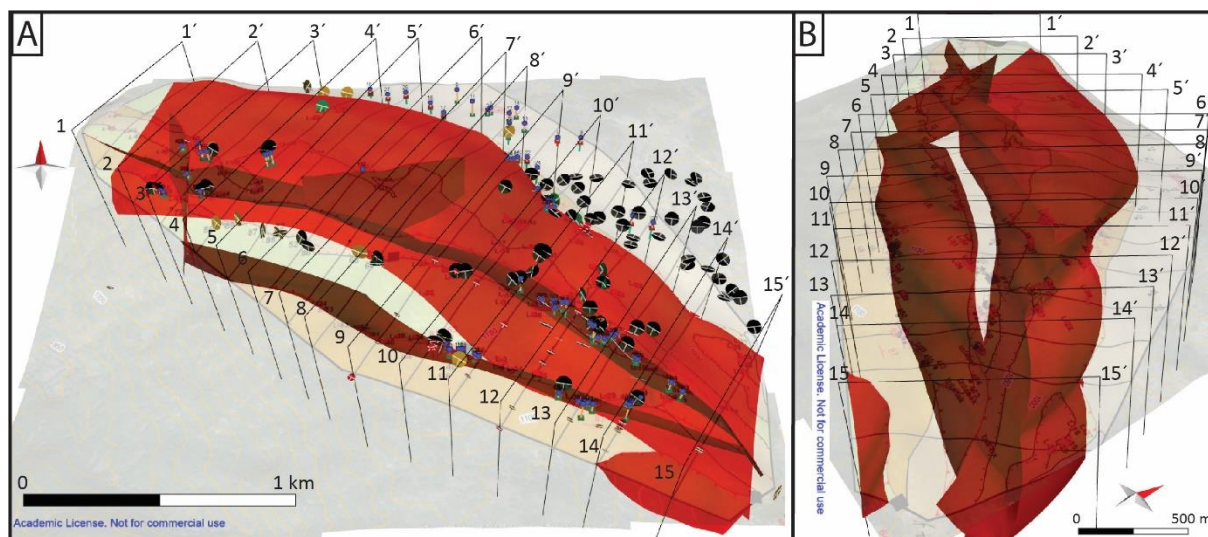
4.3.2. Izrada ploha rasjeda

Rasjedi su modelirani na temelju površinskih podataka s geološke karte (Slika 4-7), mjerenja njihovih položaja na terenu, te na temelju bušotinskih podataka koji su projicirani na geološke profile (Slika 4-7). U provedenom istraživanju, konstruirani su modeli ukupno šest rasjeda: ROK, JRS, SR1, SR2 te dva rasjeda s pomakom po pružanju. Rasjedi su modelirani na temelju tragova rasjeda na geološkim profilima (Slika 4-7). Dva su povoljna interpolacijska algoritma u softveru *Move* kojim se mogu dobiti dovoljno vjerni prikazi rasjednih ploha na temelju tragova rasjeda. *Linear interpolation* i *Spline Curves* su interpolacijski algoritmi koji koriste linijske ulazne podatke (kao što su tragovi rasjeda na međusobno paralelnim ili subparalelnim geološkim profilima) za izrade ploha jednostavnijih geoloških objekata. Za potrebe izrade modela glavnih rasjeda Snižnice, ROK, JRS, SR1 i SR2, korišten je algoritam *Spline Curves* (Slika 4-8) jer on rezultira nešto zakrivljenijim plohama u odnosu na *Linear interpolation* koji se pak strože drži ulaznih podataka a to ponekad rezultira nepravilnijim promjenama nagiba na plohi.

Rasjedi s pomakom po pružanju značajno su kraći te se ne nalaze na dovoljno geoloških profila (**Prilog 1** i Slika 4-7) te je za ove rasjede bilo potrebno koristiti drugi algoritam. Algoritam *Extrusion*, koristi trag rasjedne plohe na površini terena te ga na temelju zadanog kuta nagiba i/ili geometrije rasjedne plohe projicira u podzemlje kao plohu (Slika 4-8). Podaci o smjeru i kutu nagiba mjereni su na površini terena te su korišteni kao ulazni podaci za navedene rasjede.



Slika 4-7. Interpretacije rasjeda na geološkim profilima u 3D okruženju – ulazni podaci za modele rasjednih ploha.



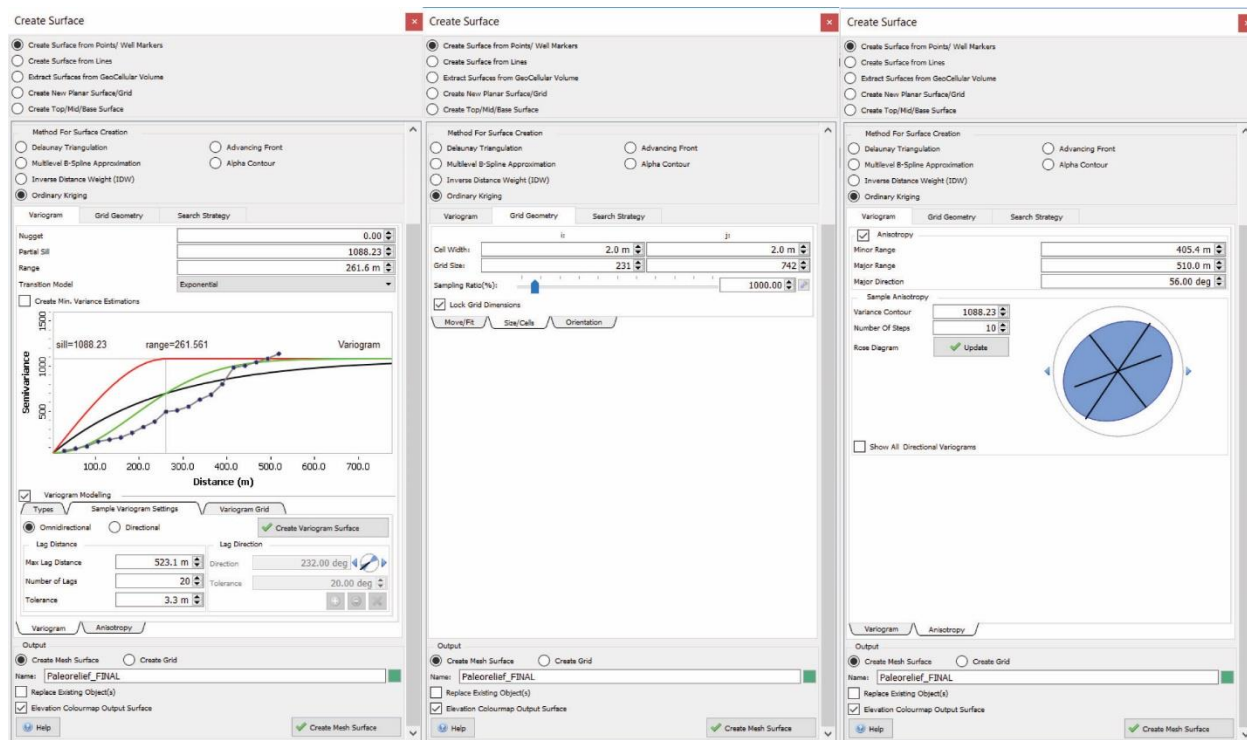
Slika 4-8. 3D modeli rasjednih ploha u području Snježnice.

4.3.3. Izrada ploha stratigrafskih horizonata

Krški boksiti nastaju za vrijeme kopnenih faza, odnosno emerzija, a jedan od uvjeta za nastanak boksita je razvedenost reljefa na kojem se talože. Moraju postojati depresije odnosno paleoudubljenja u reljefu koja su rezultat pred-rudne tektonike i/ili okršavanja karbonatnih stijena. U tim depresijama formiraju se boksiti. Takvi uvjeti rezultiraju relativno složenom geometrijom plohe podine ležištima boksita tj. plohe paleoreljefa. Geometrija plohe dodatno može postati složenija i naknadnim tektonskim procesima (rasjedanje i boranje). Za konstrukciju pouzdanog modela takve plohe potreban je veliki broj ulaznih podataka i korištenje složenih interpolacijskih algoritama.

Model paleoreljefa podijeljen je u pet ploha kojima granice predstavljaju rasjedi. Svaka ploha paleoreljefa definirana je različitim tipom, gustoćom i kakvoćom podataka pa su bile potrebne različite obrade podataka i različiti interpolacijski algoritmi. Za konstrukciju ploha između glavnih rasjeda (ROK, JRS, SR1 i. SR2), korišteni su podaci o dubini do paleoreljefa iz 72 bušotine, interpretacije paleoreljefa na geološkim profilima te geološkoj karti koje su pretvorene u niz točkastih podataka te jedini odgovarajući interpolacijski algoritam „*Ordinary kriging*“ (Slika 4-9 i 4-10). Unutar *Move* računalnog softvera automatskim putem izračunati je variogram, podešena geometrija mreže te anizotropija podataka (Slika 4-9). Dimenzije ćelija u

unutar interpolacijske mreže (grid) podešene su na 5 m x 5 m ili u slučaju manje gustoće podataka 10 m x 10 m.

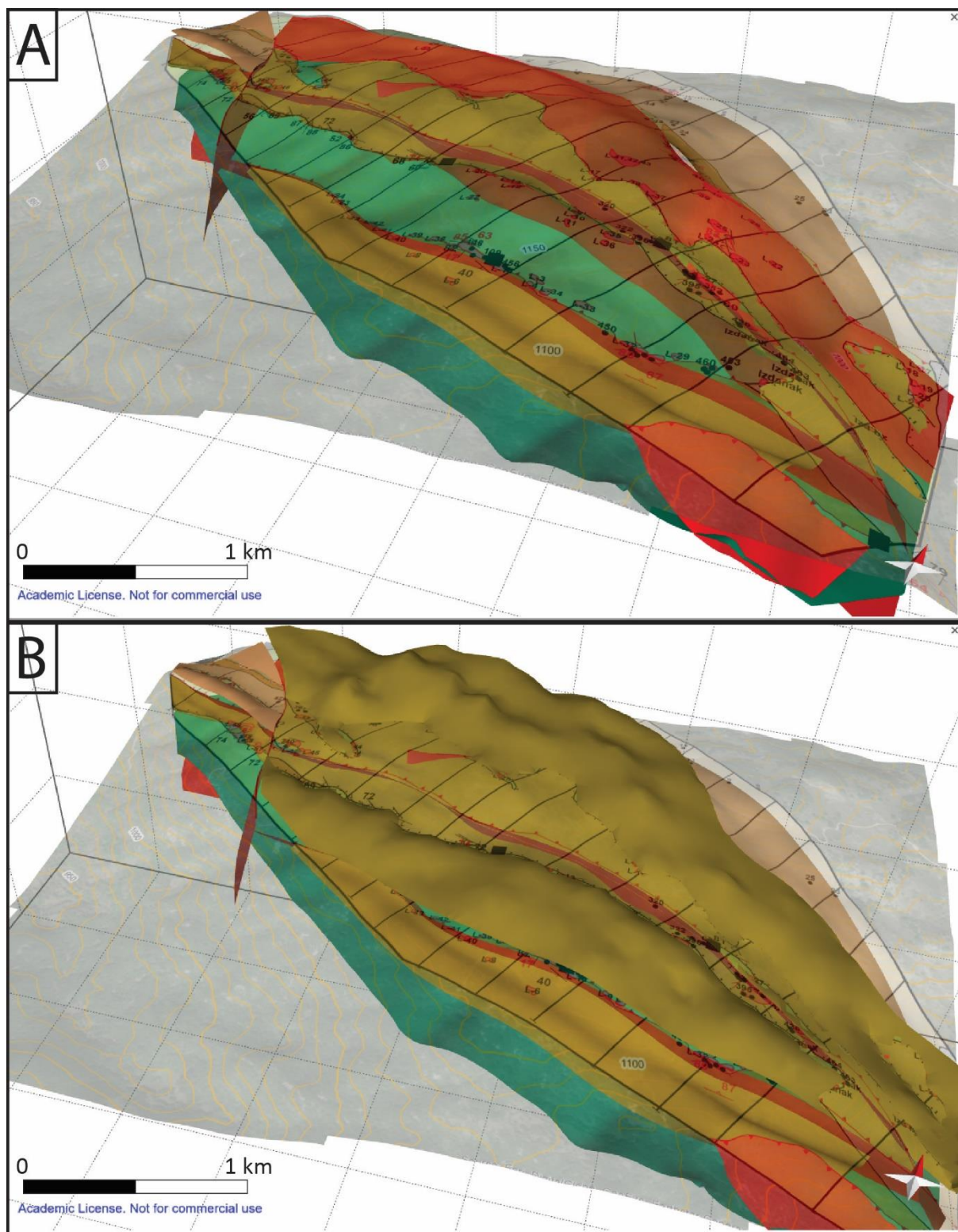


Slika 4-9. Ulazni paramteri intreploacijskog algoritma Ordinary Kriging.

Plohe paleoreljefa SZ od rasjeda s pomakom po pružanju značajno su manjih površina te su one konstruirane s algoritmom *Spline Curves* uz još četiri pomoćna geološka profila u dijelovima gdje je razmak osnovnih profila bio preveliki (Slika 4-10).

Kako se značajan broj ležišta boksita nalazi kao erozijski ostatak u paleoreljefu, na geološkim profilima rekonstruirana je geometrija **kontaktne plohe** iznad površine terena odnosno rekonstruiran je dio paleogenskih naslaga koji je erodiran. Ovdje, podsjećamo da termin **kontaktne plohe** podrazumijeva plohu kontakta podinskog krednog paleoreljefa zajedno s boksitnom ispunom u odnosu na pokrovne, krovinske paleogenske naslage.

Rekonstrukcija iznad površine također je podijeljena na temelju rasjeda i rekonstruirano je ukupno četiri segmenta plohe od kojih su dvije ograničene glavnim rasjedima, ROK, JRS, SR1 i SR2, a dvije, puno manje površine nalaze se SZ od rasjeda s pomakom po pružanju (Slika 4-10). Interpolacijski algoritmi koji su korišteni istovjetni su onima koji su korišteni kod prethodno opisanih ploha.



Slika 4-10. Modeli ploha kontaktne plohe paleogenskih naslaga i krednih vapnenaca A) ispod površine terena; B) rekonstrukcija erodiranog dijela krovinskih naslaga ležištima boksita iznad površine terena.

5. REZULTATI

Rezultati rada mogu se podijeliti u tri kategorije: i) kompozitna geološka karta i geološki profili boksitonosnog revira Snižnice (**Prilozi 1 i 2**); ii) 3D geološki model (Slika 5-1) te iii) strukturno-kinematske analize napravljene na temelju 3D geološkog modela kao što su modeli pomaka po glavnim rasjedima, modeli smjerova nagiba i kutova nagiba kontaktnih ploha s boksitom te model erodiranog dijela krovinskih paleogenskih naslaga.

5.1. Geološka karta i geološki profili

Za potrebe izrade 3D geološkog modela, izrađena je kompozitna geološka karta boksitonosnog područja Snižnice (**Prilog 1**). Geološke jedinice na karti podijeljene su u: i) K_2^{3-6} kao podinske naslage ležištima boksita, ii) PcE, koja obuhvaća Liburnijske smeđe vapnence i foraminiferske vapnence (krovinske naslage ležištima boksita) te iii) E,Ol koja obuhvaća breče, konglomerate i Prominske naslage (krovinske naslage ležištima boksita) (**Prilog 1**). Naime, kako su stratigrafske i paleogeografske značajke istraživanog područja još uvijek nedovoljno istražene, jedinice koje su predložene temeljene su na do sada objavljenim podacima iz OGK list Imotski (Rajić i Papeš, 1978) i znanstvenim radova Dragičević i dr. (1992) te Dragičević i Blašković (2001). Nadalje, nova kompozitna geološka karta područja istraživanja sadržava i novu interpretaciju strukturnih odnosa u istraživanom području, a koji su definirani temeljem na prikupljenih terenskih podataka (**Prilog 1**).

Na temelju izrađene geološke karte te podataka iz bušotina konstruirano je 15 geoloških profila (**Prilog 2**) koji su poslužili kao glavni ulazni podaci za izradu 3D geološkog modela. Izrađeni geološki model korišten je kako bi se potvrdili strukturni odnosi te izvršila validacija geološke karte.

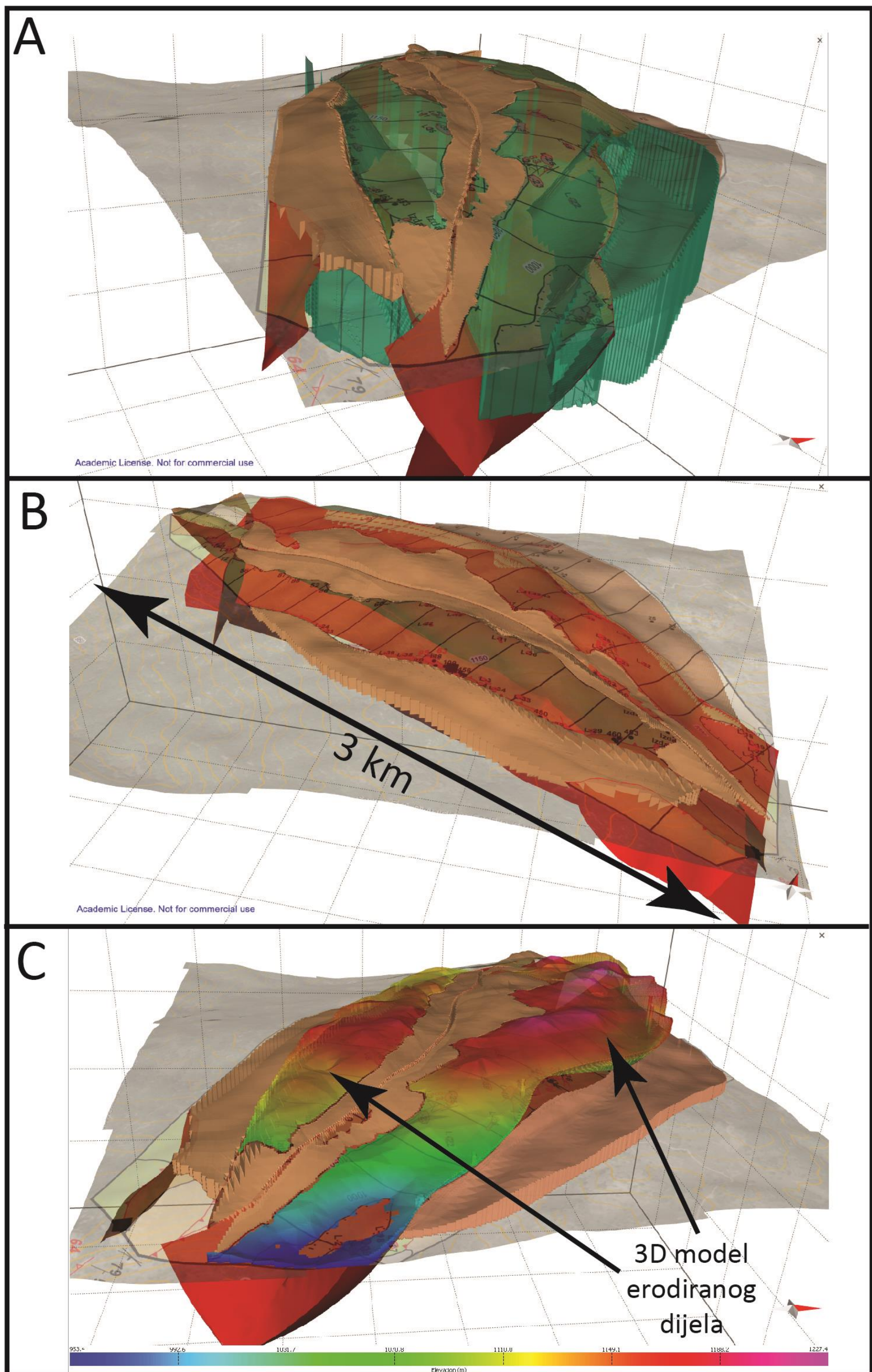
5.2. Konačni 3D geološki model

3D geološki model Snižnice sadrži ukupno šest rasjednih ploha te šest segmenata kontaktne plohe koji predstavljaju kontaktne plohe između podinskih gornjokrednih vapnenaca s

boksitnom uspunom i krovinskih paleogenskih karbonatno-klastičnih naslaga (Slika 4-10; Slika 5-1 A i B). Model sadrži i četiri modela ploha, koje predstavljaju granicu između Pc,E i E,Ol naslaga. U 3D geološkom modelu, napravljena je i rekonstrukcija modelirane kontaktne plohe iznad površine kako bi se mogle izračunati debljine erodiranog materijala, kako bi se mogla napraviti geometrijska analiza kontaktne plohe te procijeniti pomake po glavnim rasjedima strukturnog sklopa. Rekonstrukcija erodiranog materijala napravljena je u svim dijelovima gdje gornjokredni vapnenci izdanjuju na površinu (Slika 5-1C).

Između svih navedenih ploha napravljeni su funkcionalni volumeni (Slika 5-1) koji su poslužili za procjenu volumena i debljina postojećih i erodiranih paleogenskih naslaga.

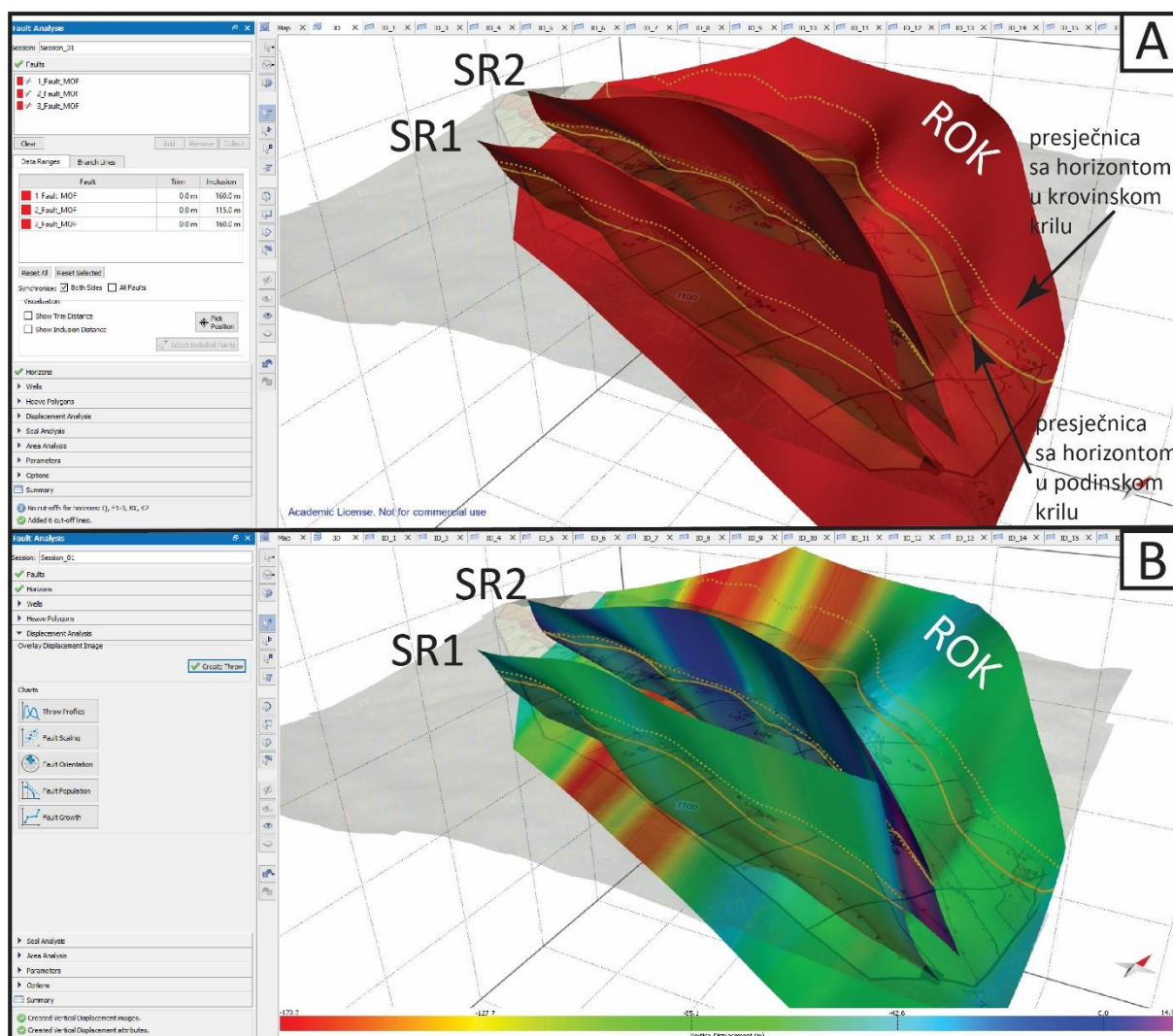
Ovakav 3D geološki model može poslužiti kao vjerna vizualizacija geološkog podzemlja te kao podloga za projektiranje daljnjih istražnih radova.



Slika 5-1. Konačni 3D geološki model boksitonosnog područja Snižnice. Nadmorska visina prikazana je skalom boja u rasponu od 953 m.n.m do 1227 m.n.m.

5.3. 3D Model pomaka po rasjedima

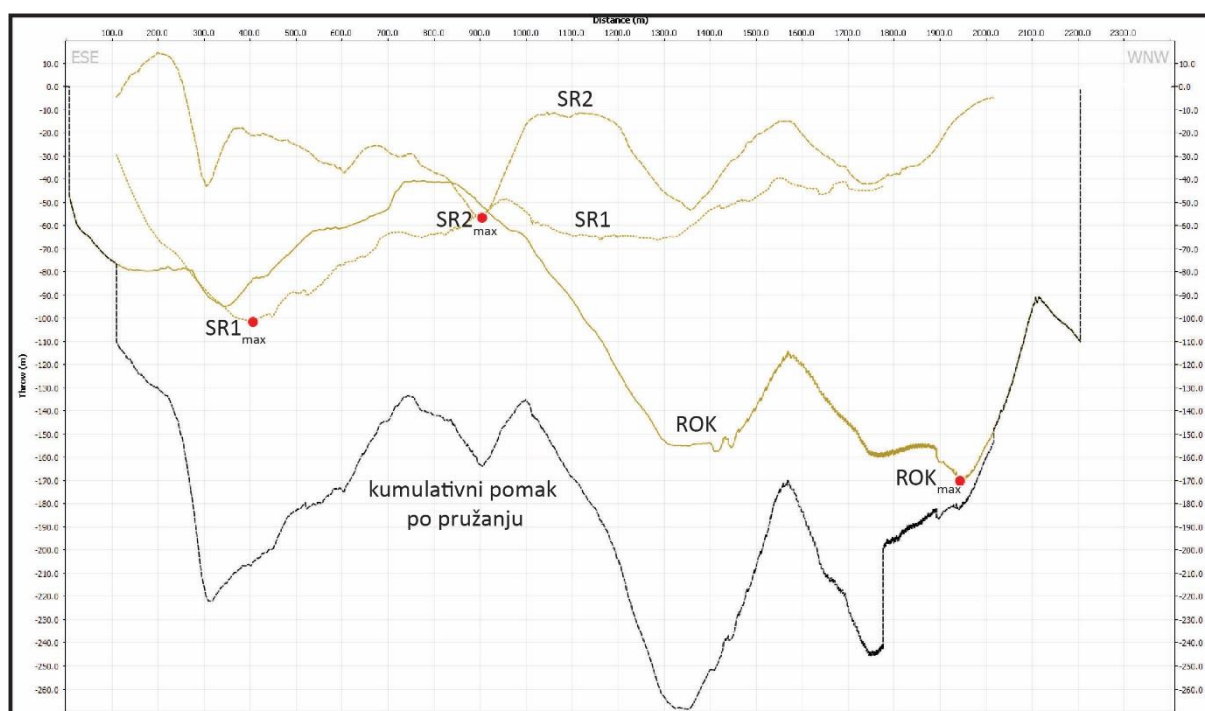
Modeli pomaka po rasjednim plohama napravljeni su za rasjede ROK, SR 1 i SR2. Modeliranje pomaka nije rađeno za JRS rasjednu plohu zbog relativno kratkog pružanja unutar istraživanog područja (< od 300 m). Za modeliranje iznosa pomaka po glavnim rasjedima ROK, SR1 i SR2 u prostoru korišten je Modul *Fault Analysis* (MOVE Knowledge Base 2019). Korišten je i alat *Displacement Analysis*, koji funkcioniра na način da se odrede presječnice rasjedne plohe s odabranim horizontima u podinskom i krovinskom krilu (Slika 5-2) rasjeda. Presječnice se nadalje koriste za izradu dijagrama skoka po rasjednim plohama (engl. *Throw profiles*) (Slika 5-3).



Slika 5-2. 3D model pomaka po rasjedima A) presječnice rasjeda s odabranim horizontom (kontaktna ploha paleogenskih naslaga i krednih vapnenaca) B) model pomaka za ROK, SR1 i SR2.

Jedna od glavnih vizualizacijskih mogućnosti *Fault Analysis* modula je da se u 3D okruženju vrijednosti relativnog pomaka po rasjednoj plohi izražavaju u rasponu boja (Slika 5-2). Na taj se način u prostoru mogu razmatrati distribucije vrijednosti relativnih pomaka po rasjednoj plohi.

U *Fault Analysis* modulu rasjedi se mogu analizirati pojedinačno ili skupno. Pojedinačne analize obuhvaćaju prikaz relativnih pomaka po svakom rasjedu zasebno. Ukoliko se analiza provodi za više rasjeda kreiraju se pojedinačni grafovi za svaki rasjed te graf kumulativnih relativnih pomaka po svim rasjednim ploham (Slika 5-3). Negativne vrijednosti relativnog pomaka na grafu (Slika 5-3) označavaju reversne pomake.



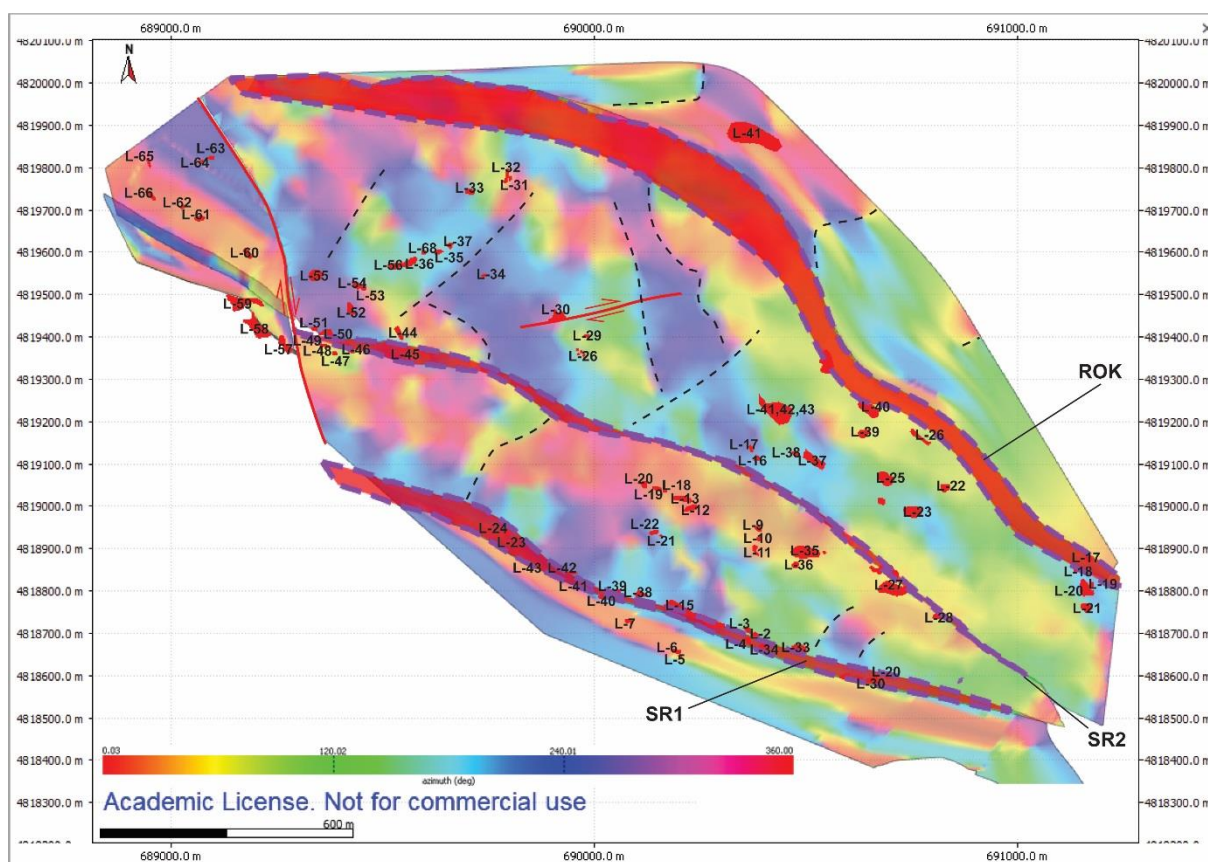
Slika 5-3. Dijagrami prikaza relativnog skoka po rasjednim ploham za ROK, SR1 i SR2 u području Snježnice te graf prikaza kumulativnog pomaka sva tri rasjeda duž njihovog pružanja.

Dijagram skoka po rasjednim ploham na Slici 5-3. prikazuje 4 krivulje od kojih tri opisuju skokove glavnih rasjeda (y-os) prateći njihovo pružanje (x-os), a crna linija predstavlja njihov kumulativni pomak. Prema krivulji ROK-a, idući po pružanju, od IJI (istok-jugoistok) prema ZSZ (zapad- sjeverozapad), vidljivo je da se vrijednost pomaka u početku kreće od 0 m do 95 m. Vrijednosti pomaka zatim padaju, a na približno 1300 m od IJI, po pružanju rasjeda, vrijednosti pomaka se naglo povećavaju na oko 155 m. U zapadnijem dijelu ROK rasjeda, duž pružanja dosegnut je maksimum pomaka od oko 170 m. Kod krivulje SR1, vrijednost pomaka po pružanju od istoka prema zapadu, raste do otprilike 100 m što je ujedno i njegov maksimum

(Slika 5-3). Idući od lokacije maksimalne vrijednosti skoka, dalje prema zapadu, skok se postepeno smanjuje na 65 m i zatim se do kraja pružanja rasjeda smanjuje. U slučaju SR2, u odnosu na ROK i SR1, krivulja skoka idući od istočnog pružanja pokazuje manje vrijednosti, do maksimalno 42 m. Dalje po pružanju, idući prema zapadu, na oko 900 m od istočnog pružanja, bilježi se maksimalni skok od gotovo 60 m (Slika 5-3), nakon čega se dalje vrijednosti skoka smanjuju, do prosječnih 45 m. Prema rasponu pomaka vidljivo je da najveće pomake po rasjednim plohama bilježi ROK, dok su u slučaju SR1 i SR2 vrijednosti dvostruko manje. Takvi su rezultati u skladu s regionalnim karakterom ROK koji je ukupne dužine više od 45 km. Krivulja kumulativnog pomaka po pružanju pokazuje da su skokovi po rasjednim plohama rasjeda u zapadnijem dijelu veći nego u istočnom, a ukupne vrijednosti vertikalnih pomaka dosežu i 250 m.

5.4. 3D model smjerova nagiba i nagiba kontaktne plohe

Smjerovi nagiba i nagibi kontaktne plohe načinjeni su i za kontaktnu plohu ispod površine terena te za rekonstruirani, erodirani dio kontaktne plohe. Na području istraživanja vidljivo je (Slika 5-4) da su prisutni smjerovi nagiba cijelog raspona (0° - 360°). Najčešći smjer nagiba kontaktne plohe je u rasponu od 150° do 260° . SZ od ROK rasjeda vidi se preferirana orijentacija smjerova nagiba kontaktne plohe (SZ-JI pružanje) okomito na pružanje postojećih struktura sinklinala i antiklinala. Sličan stil prostorne raspodjele smjerova nagiba vidljiv je i južno od rasjeda SR1 gdje je najizraženija anizotropija smjerova nagiba po pravcu SI-JZ odnosno okomito na pružanje osi sinklinala i antiklinala. U središnjem dijelu Snižnice, između rasjeda SR1 i ROK, anizotropija smjerova nagiba nije tako jasno vidljiva no načelno prati pružanje SI-JZ.



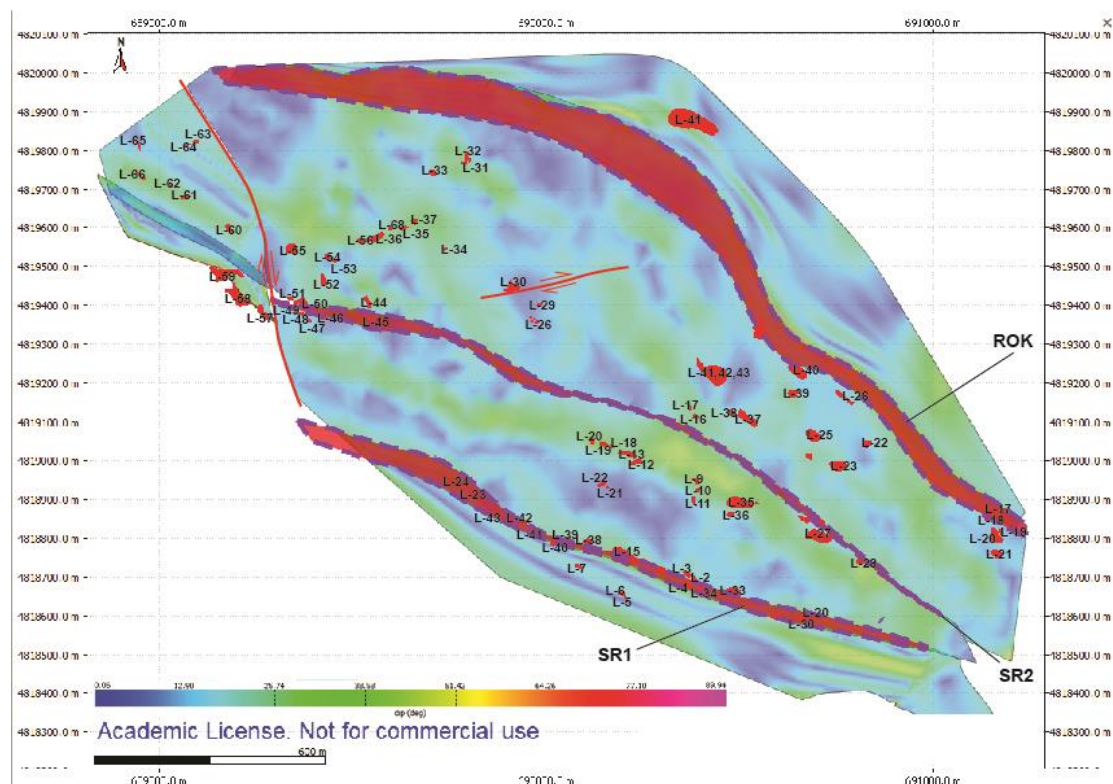
Slika 5-4. Karta smjerova nagiba kontaktne plohe palegoenskih naslaga i krednih vapnenaca (podinskih i krovinskih naslaga ležištima boksita), naznačenim rasjedima, domenama naglih promjena u anizotropiji smjera nagiba kontaktne plohe (isprekidani pravci) te projiciranim ležištima.

Najveći broj ležišta, njih 24 te 23 pojavljuje se u domeni nagiba kontaktne plohe prema JI-J (120° do 180°) te S-SI (0° do 60°) (Tablica 5-1), u subhorizontalnim do blago nagnutim tjemnim dijelovima sinklinala i antiklinala. Također, veliki broj ležišta, njih 17 nalazi se u domeni nagiba kontaktne plohe prema SI-I-JI (60° do 120°) (Tablica 5-1). Mali broj ležišta nalazimo u domeni nagiba kontaktne plohe prema SZ (240° do 360°). Navedena prostorna distribucija ležišta u odnosu na nagib kontaktne plohe ukazuje na činjenicu da su ležišta formirana u naslijeđenim strukturama koje su nastale prije formiranja boksita te da su udubljena u paleoreljefu strukturno predisponirana.

Tablica 5-1 Broj ležišta te smjerovi nagiba kontaktne plohe.

Smjer nagiba	Broj ležišta
0-60	23
60-120	17
120-180	24
180-240	8
240-300	9
300-360	3

Kutovi nagiba kontaktne plohe u području Snižnice pretežito su u rasponu od 0° do 60° (Slika 5-5). Nadalje, u području istraživanja vidljiva je i anizotropija po pravcu SI-JZ odnosno okomito na geološke strukture Snižnice.



Slika 5-5. Karta kutova nagiba kontaktne plohe između paleogenskih naslaga i krednih vapnenaca (podinskih i krovinskih naslaga ležištima boksita) s projiciranim ležištima.

Sumarno, većinu ležišta boksita nalazimo u zoni kontaktne plohe koja je kuta nagiba $\leq 40^\circ$, ukupno 67 ležišta (Tablica 5-2). Tek nekoliko ležišta boksita nalazimo uz strmije kuteve nagiba kontaktne plohe, između 60° i 90° , i to neposredno uz glavne rasjede (primjer ležište L-14). Takva raspodjela ležišta boksita i nagiba kontaktne plohe načelno odgovara zaključku da su udubljenja u paleoreljefu u domeni kontaktne plohe dobrim dijelom strukturno predisponirana te da se ležišta nalaze u tjemnim dijelovima antiklinala i sinklinala koji su u geološkoj prošlosti bili izloženi erozijskim procesima, odnosno procesima okršavanja. Važno je napomenuti da se ležišta koja su do sada otkrivena nalaze relativno plitko pod površinom. Gotovo sva ležišta bez krovinskih naslaga predstavljaju erozijske ostatke te se nalaze na kontaktnoj plohi nagiba ispod 20° . Za očekivati je da bi se nova ležišta mogla potencijalno pronaći u jezgrenim dijelovima sinklinala, gdje su nagibi slojeva manji od 20° , neposredno ispod paleogenskih naslaga.

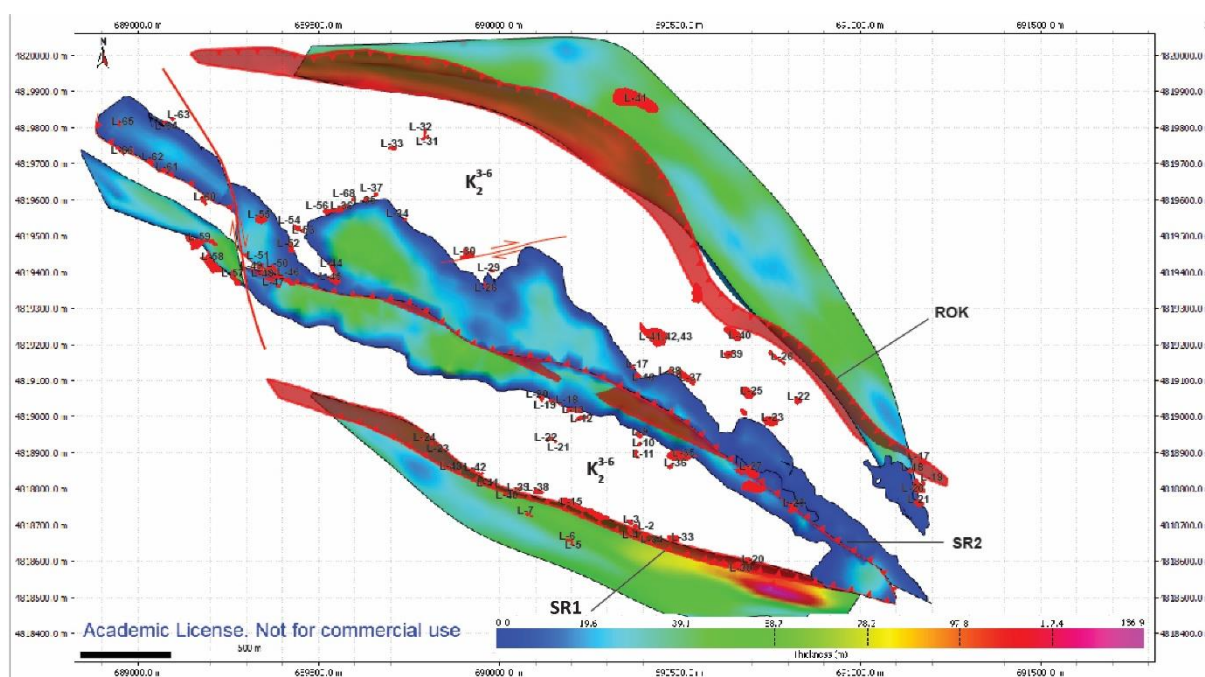
Tablica 5-2 Broj ležišta te kutovi nagiba kontaktne plohe.

Kut nagiba	Broj ležišta
0-20	35
20-40	32
40-60	17
60-90	0

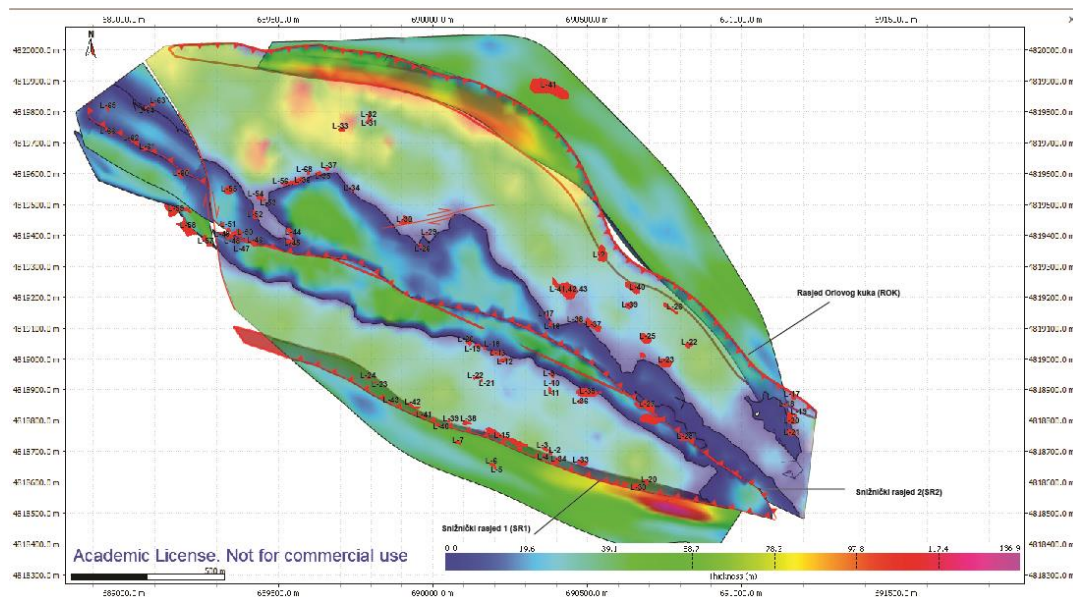
5.5. 3D model debljina krovinskih naslaga i 3D model debljine erodiranog materijala

Karte debljina krovinskih naslaga načinjene su za krovinske naslage u podzemlju (Slika 5-6) te za erodirani dio krovinskih naslaga u podzemlju (Slika 5-7). Karte debljina su izuzetno važne za projektiranje istražnih radova odnosno bušotina jer se na temelju njih mogu precizno planirati dubine i lokacije pojedinih bušotina. Također, isplativost površinske eksploatacije boksita u direktnoj je korelaciji s veličinom ležišta te dubini ležišta. U našem području istraživanja, debljine krovinskih naslaga nalaze se u rasponu od 0 do gotovo 200 m. Najmanje debljine krovinskih naslaga nalaze se u središnjem dijelu istraživanog područja, gdje iznose svega nekoliko metara, a najveće debljine nalaze se SZ od ROK rasjeda i J od SR1 rasjeda. Prosječna debljina krovinskih naslaga iznosi oko 50 m. Položaji ležišta te debljine krovine ukazuju da su do sada otkrivena ležišta relativno plitko pod površinom ili čine erozijske ostatke kojima je krovina djelomično erodirana. Navedeno je razvidno iz bušotinskih podataka koji opisuju navedene erozijske kontakte u rasponu dubina od 30 do 50 m.

Debljine erodiranih paleogenskih naslaga (Slika 5-6) variraju u rasponu od 0 do približno 100 m. Najmanja erozija je bila prisutna uz današnju erozijsko-transgresivnu granicu, a najveća u krovinskom krilu ROK rasjeda. Nekadašnje debljine paleogenskih naslaga, iznad ležišta (njih 19) smještenih uz rasjed SR1, bile su u rasponu su od 20 do 40 metara.



Slika 5-6. Karta debljina paleogenskih naslaga u podzemlju Snižnice.



Slika 5-7. Karta debljina paleogenskih naslaga u podzemlju te erodiranog dijela paleogenskih naslaga (blago transparentno na karti).

Debljine paleogenskih naslaga iznad ležišta u središnjem dijelu područja istraživanja, između rasjeda SR2 i ROK, iznosile su između 20 i 60 metara što ukazuje da je i dobar dio tih ležišta erodiran te su danas, na površini, ostali samo njihovi mali dijelovi.

6. RASPRAVA

Svrha rada bila je na temelju raznovrsnih ulaznih podataka izraditi 3D geološki model boksitonosnog revira Snižnice, nedaleko od Posušja. Ulazni podaci uglavnom su obuhvaćali raznovrsne geološke podatke koji su prikupljeni u periodu od 1950 do 1990 u okviru Rudnika boksita d.o.o. Posušje te u sklopu terenskih istraživanja za vrijeme 2021 godine.

Ulazni podaci obuhvaćaju topografsku podlogu (Državne topografske karte te ESRI Basemap) s nanesenim konturama ležišta boksita na površini i pod krovinom, bušotinskim podacima iz 75 bušotina, digitalni model reljefa (<https://opentopography.org/>), pet različitih geoloških karata iz različitih razdoblja od različitih autora te vlastite prikupljene terenske podatke.

Za potrebe izrade 3D geološkog modela, bilo je potrebno ulazne podatke sistematizirati, neke i digitalizirati te georeferencirati i od njih formirati bazu podataka. Bilo je potrebno osmisliti metodologiju kojom bi se svi ulazni podaci objedinili te na temelju tih podataka izradio 3D geološki model ležišta. Za izradu 3D geološkog modela korištene su akademske licence geološkog softvera Petroleum Experts Move™.

Topografske karte bile su mjerila 1:25.000, a digitalni model reljefa rezolucije 25 m. Najveći izazov u sistematizaciji ulaznih podataka bilo je izraditi jedinstvenu, kompozitnu geološku kartu Snižnice na temelju postojećih karata na kojima se geološke (stratigrafske i strukturne) poprilično razlikuju. Naime, karte su rađene u različitim razdobljima te od strane različitih autora s različitim znanjem i iskustvom. Sve su karte digitalizirane te preklopljene s danas poznatim ležištima boksita na površini. **Rudnici boksita d.o.o. Posušje** ustupili su nam informacije od ležišta na kontaktu podinskih gornjokrednih vapnenaca i krovinskih paleogenskih karbonatno-klastičnih naslaga, a koja su nastala kao erozijski ostaci u gornjokrednom paleoreljefu. Prema poklapanju položaja ležišta s kontaktnom plohom načinjena je kompozitna karta s novom strukturnom interpretacijom na temelju mjerenja prikazanih na nekim od karata te mjerenja dobivenih od Rudnika boksita d.o.o. Posušje. Ipak, za nekoliko lokacija nije bilo moguće napraviti jednoznačnu interpretaciju geoloških odnosa. Razlog tome su ponajviše stratigrafski odnosi koji su u boksitonosniom području Posušja zadnji put detaljno istraživani u radovima Dragičević i dr. (1992) te Dragičević i Blašković (2001) gdje je biostratigrafski utvrđena mjestimična istovjetnost Liburnijskih naslaga, foraminiferskih vapnenaca i Prominskih naslaga koje su do tada interpretirane kao vertikalni slijed. Na žalost, stratigrafske i paleogeografske značajke nisu detaljnije istraživane u smislu paleogeografske

rekonstrukcije i litofacijsnog modeliranja u širem području. U nekim dijelovima terena vertikalni slijed navedenih naslaga je dokazan i snimljen na geološkim stupovima, a na nekim lokalitetima su navedene naslage lateralni ekvivalenti.

Drugi glavni razlog značajnih razlika u interpretaciji je taj što se u J, JI te SZ dijelu Snižnice pojavljuju tzv. Liburnijske naslage predstavljene svijetlo do tamno smeđim vapnencima s vrlo malo makrofosila te su vrlo slični podinskim vapnencima kojima boja također varira od bijele, ružičaste do svijetlo smeđe. Granicu je na terenu bilo vrlo teško postaviti u što smo se uvjerali i vlastitim kartiranjem na tim lokalitetima (Slike 3-1, 3-2 i 3-4).

Nakon provedenih terenskih istraživanja te dodavanjem novih mjerenja izrađena je kompozitna geološka karta Snižnice te su definirane trase 15 geoloških profila, približno okomito na strukture (Prilozi 1 i 2). Svi su podaci organizirani u ArcGIS bazu podataka i na temelju digitalnog modela reljefa transformirani u 3D bazu podataka koja je uspostavljena u MOVE softveru. Konstruirani geološki profili uz podatke s površine terena i bušotina korišteni su za izradu 3D geološkog modela. Konstruirane plohe mogu se načelno podijeliti u dvije grupe: i) plohe relativno jednostavne geometrije kao što su rasjedi i plohe paleoreljefa malih površina te ii) plohe kompleksne geometrije. Za plohe relativno jednostavne geometrije korišten je *Spline Curves* interpolacijski algoritam koji u odnosu na *Linear interpolation* djelomično odudara od ulaznih podataka, ali su plohe zaobljenije. Za izrade kompleksnih ploha najbolje se pokazao *Ordinary Kriging* uz modeliranu anizotropiju. *Ordinary Kriging* jedini je algoritam koji može za ulazne podatke imati tako neravnomjerno raspoređene ulazne podatke kao što su trase geoloških granica na karti, interpretacije geoloških granica na profilima i bušotine (Pavičić i dr., 2018; Ivkić i Ivaninić, 2016). Konstruirani geološki profili su imali međusobni razmak od oko 20 m, te su ciljano izrađeni u širem intervalu kontaktne plohe podinskih i krovinskih naslaga ležištima boksita na površini terena. Bušotine su uglavnom smještene blizu kontaktne plohe, tako da je prostorna raspodjela ulaznih podataka vrlo nepravilna (**Prilog 1**). Unatoč navedenim poteškoćama pri modeliranju, izrađeni 3D geološki model jasno i precizno vizualizira geološku građu podzemlja Snižnice (Slika 5-1). Nadalje, geološka karta i geološki profili poslužili su za kontrolu pri izradi modela – glavni rasjedi i kontaktne plohe u 3D geološkom modelu odgovaraju onima na geološkoj karti i profilima, čime se može potvrditi da izrađeni 3D geološki model realno prikazuje geološku građu podzemlja, a shodno tome predstavlja podlogu za daljnja istraživanja.

Postupak izrade modela, a i sam 3D geološki model naglašava da je stratigrafija istraživanog područja još uvijek nedovoljno istražena čak i uz saznanja i istraživanja s drugih sličnih lokaliteta na području Jadranske karbonatne platforme.

Nadalje, novi biostratigrafski podaci značajno bi pomogli u rješavanju stratigrafskih odnosa u području Snižnice, ali i u širem boksitonosnom području Posušja. Tada bi se mogao u daljnjim fazama istraživanja izraditi litofacijsni model krovinskih, palogenskih karbonatno-klastičnih naslaga kojima bi se prikazale vertikalne i lateralne izmjene litofacijsa. Time bi se omogućila detaljnija interpretacija razvoja taložnih okoliša i paleogeografskih uvjeta u vremenu što bi uvelike pomoglo u pronalasku novih ležišta boksita.

Istraživanja provedena za potrebe rada, rezultirala su novim 3D prikazom geološke građe podzemlja, saznanjima o strukturnim značajkama istraživanog područja, kvantificirani su pomaci po glavnim rasjedima Snižnice, kvantificirana je erozija paleogenskih naslaga te su uspoređene lokacije poznatih ležišta boksita kao i smjerovi nagiba i kutovi nagiba kontaktne plohe između podinskih gornjokrednih vapnenaca i krovinskih paleogenskih karbonatno-klastičnih naslaga.

7. ZAKLJUČCI

3D geološki model Snižnice, nedaleko od Posušja, obuhvaća sve do sada relevantne podatke istraživanog područja koji su digitalizirani, sistematizirani i koji sačinjavaju 3D geološku bazu podataka. Načinjena je sintetizirana kompozitna geološka karta te 15 geoloških profila, postavljenih okomito na glavne strukture. Na temelju svih prikupljenih ulaznih podataka izrađen je 3D geološki model boksitosnog revira Snižnice te su načinjene sljedeće analize: i) analiza pomaka po glavnim rasjedima strukturnog sklopa; ii) analiza smjerova i kutova nagiba kontaktne plohe te položaja ležišta boksita; iii) analiza debljina krovinskih naslaga te rekonstrukcija erodiranog dijela krovinskih naslaga. Zaključci iz navedenih analiza su sljedeći:

- Pomaci po rasjedu Orlovog kuka (ROK) su najveći u njegovom ZSZ dijelu s maksimalnim iznosom od oko 170 m, dok na IJI dijelu iznosi oko 95 m. Rasjed je regionalnog karaktera, obzirom da se proteže u dužini većoj od 40 km, a u ovom radu analizirana je samo dionica koja predstavlja granicu Snižnice sa sjeverne strane. Snižnički rasjed 1 (SR1) ima maksimalnu vrijednost pomaka od oko 100 m na IJI, a prema ZSZ vrijednost pomaka se postepeno smanjuje na oko 65 m. Kod Snižničkog rasjeda 2 maksimalni pomak od gotovo 60 m se javlja u njegovom IJI dijelu dionice, dok se u ZSZ dijelu smanjuje na prosječnih 45 m. Prema rasponu pomaka vidljivo je da su najveći pomaci ostvareni na ROK rasjedu što je logično obzirom na njegov regionalni karakter. Prema krivulji kumulativnog pomaka maksimalni ostvareni kumulativni pomak iznosi 250 m. Kumulativni pomaci nešto su veći u ZSZ dijelu nego u IJI što ukazuje na izraženiju tektonsku aktivnost u ZSZ dijelu istraživanog područja. To potvrđuju i velike debljine erodiranih paleogenskih naslaga, koje na tom dijelu iznose gotovo 100 m. Ova činjenica ukazuje na važnost tektonike u kontroliranju visine paleoreljefa i njegove morfologije bitne za formiranje ležišta boksita.
- Najčešći smjerovi nagiba kontaktne plohe nalaze se u rasponu od 150° do 260°, a kutovi nagiba od 0° do 60°. SZ od ROK rasjeda vidi se preferirana orijentacija smjerova nagiba kontaktne plohe (SI-JZ) odnosno okomito na pružanje postojećih struktura sinklinala i antiklinala. Južno od rasjeda SR1 je najizraženija anizotropija smjerova nagiba po pravcu SI-JZ odnosno okomito na pružanje osi sinklinala i antiklinala. U središnjem dijelu Snižnice, između rasjeda SR1 i ROK, anizotropija nije tako jasno vidljiva no načelno prati smjer SI-JZ. Najveći broj ležišta, njih 24 te 23 pojavljuje se u intervalu smjerova nagiba kontaktne plohe od 120° do 180° te 0° do 60° te kutova nagiba u

rasponu 0° do 40° tj. Većina ležišta se nalaze u jezgrama sinklinala i tjemenu antiklinala što ukazuje na to da su bore (vjerojatno manjih amplituda nego danas) postojale i prije taloženja paleogenskih naslaga te su imale ključnu ulogu u formiranju paleoreljefa odnosno udubljenja u kojima su se naknadno formirala ležišta boksita.

- Debljine krovinskih naslaga nalaze se u rasponu od 0 do gotovo 200 m. Najmanje debljine krovinskih naslaga nalaze se u središnjem dijelu istraživanog područja, gdje iznose svega nekoliko metara, a najveće debljine nalaze se SZ od ROK rasjeda i J od SR1 rasjeda. Prosječna debljina iznosi oko 50 m. Debljine erodiranih paleogenskih naslaga nalaze se u intervalu od 0 do gotovo 100 m. Najmanje su naravno uz erozijsko-transgresivnu granicu na površini, a najveće u krovinskom krilu ROK rasjeda. Ovakvi iznosi ukazuju na vrlo intenzivnu eroziju te se, usporedbom debljina erodiranih paleogenskih naslaga i pomaka po rasjedu, može zaključiti da je izražena tektonika u ZSZ dijelu izazvala i veću eroziju u tom dijelu istraživanog područja.
- Usporedba položaja ležišta boksita i debljina krovinskih naslaga za sada ne može dati neke suvisle rezultate jer su otkrivena ležišta ili erozijski ostaci ili plitko pod krovinskim naslagama. Razlog tome je što se bušenje u pravilu radi do 50ak metara, jer prema trenutnoj tehnologiji u Rudnicima boksita d.o.o Posušje, površinska eksploatacija dublje od 50 m nije ekonomski isplativa.
- Na temelju svih provedenih analiza može se zaključiti da bi istraživanja novih ležišta boksita trebalo potencijalno usmjeriti na jezgre sinklinala te na kontaktnoj plohi nagiba do 20° neovisno o debljini krovinskih naslaga.

Izrađeni 3D geološki model boksitnosnog revira Snižnice omogućio je detaljniji uvid u geometriju ležišta te geometriju paleoreljefa u kojem su formirana ležišta, te predstavlja podlogu za daljnje istraživačke radove. Model je interaktivan i može se konstantno nadopunjavati novim podacima. Istraživanja krških boksita u svijetu su relativno rijetka, a većina ih je usmjerena na geokemijske i mineraloške značajke boksita. Stoga svaki strukturno-geološki rad ima veliku vrijednost i značaj za daljnja istraživanja i pronalazak novih ležišta boksita.

8. ZAHVALA

Zahvaljujemo mentorima izv. prof. dr. sc. Bojanu Matošu i dr. sc. Ivici Pavičiću, poslijedoktorandu (višem asistentu), na predloženoj temi, ukazanom povjerenju, velikoj pomoći i strpljenju prilikom izrade ovog rada.

Veliko hvala tvrtki Rudnici boksita d.o.o. Posušje na ustupljenoj dokumentaciji i literaturi kao i djelatnicima tvrtke bez kojih izrada rada te provođenje terenskih istraživanja ne bi bila moguća.

Zahvala Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na ustupljenom prostoru te tvrtki Petroleum Experts na doniranom računalnom programskom paketu Move 2019.

Na kraju, veliko hvala našim obiteljima i prijateljima koji nestrpljivo čekaju pročitati rad na kojem smo puno radili zadnjih godinu dana.

9. POPIS LITERATURE

AUG, C., CHILES, J.P., GUILLEN, A., LEES, T., 2004. Modelling the geometry of geological units and its uncertainty in 3D from structural data: the potential-field method. *Proceedings Orebody Modelling and Strategic Mine Planning*, Perth, WA, 22–24 November 2004, pp. 313–320.

BALLING, P., TOMLJENović, B., SCHMID, S. M., USTASZEWSKI, K., 2021. Contrasting along-strike deformation styles in the central external Dinarides assessed by balanced cross-sections: Implications for the tectonic evolution of its Paleogene flexural foreland basin system. *Global and Planetary Change*, 205, 103587.

BÁRDOSSY, G., 1982. *Karst bauxites: Bauxite Deposits on Carbonate Rocks*. Elsevier, Amsterdam, 441 pp.

BLAŠKOVIĆ, I., DRAGIČEVIĆ, I., POKRAJČIĆ, I., 1989: Tectonic control of the origin of the paleorelief of bauxite deposits in the Western Herzegovina, Yugoslavia. *Travaux ICSOBA*, 19(22), 231–238.

DRAGIČEVIĆ I., BLAŠKOVIĆ I., 2001. On Stratigraphy and Bauxitogenesis of the Paleogene Bauxites of the Carboante Dinarides. *Geološki Glasnik*, 34, 5-18.

DRAGIČEVIĆ, I., BLASKOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., PAPEŠ, J., 1987. Eocene bioherms and the associated lithofacies in western Hercegovina, Yugoslavia. Faculte des sciences de Tunis, 8th IAS Reg. Meet. *Sedimentol.*, Abstracts, 199-203.

DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., BENIĆ, J., 1992. Stratigraphy of Paleogene Strata within the Mesihovina-Rakitno Area (Western Herzegovina). *Geologia Croatica*, 45(1), 25–52.

FALLARA, F., LEGUALT, M., RABEAU, O., 2006. 3-D Integrated Geological Modeling in the Abitibi Subprovince (Quebec, Canada): Techniques and Applications. *Exploration and Mining Geology*, 15, 27–41.

FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE RUDNIKA BOKSITA D.O.O. POSUŠJE.

GUŠIĆ, I., JELASKA, V., 1993. Upper Cenomanian-Lower Turonian sea-level rise and its consequences on the Adriatic-Dinaric carbonate platform. *Geologische Rundschau*, 82(4), 676–686.

INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2015. *Bauxite Residue Management: Best Practice*. IAI – International Aluminium Institute, London, 31pp.

IVKIĆ, I., IVANINIĆ, I., 2016. 3D geološki model ležišta boksita i arhitektonsko- građevnog kamena "Crvene Stijene". Rad za rektorovu nagradu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

JENKYNS, H. C., 1991. Impact of Cretaceous sea level rise and anoxic events on the Mesozoic carbonate platform of Yugoslavia. *AAPG Bulletin*, 75(6), 1007–1017.

KAUFMANN, O., MARTIN, T., 2009. Reprint of “3D geological modelling from boreholes, cross-sections and geological maps, application over former natural gas storages in coal mines” [Comput. Geosci. 34 (2008) 278–290]. *Computers & Geosciences*, 35(1), 70–82.

MA, Z., ZHANG, L., WANG, Y., ZHU, G., LIANG, Y., 2021. A New 3D Geological Modeling Method Based On Remote Sensing and Its Application in Ya 'an Area Sichuan Province. *Preprints*, 2021010405.

MALVIĆ, T., 2008. *Kriging geostatistička interpolacijska metoda*. Hrvatsko geološko društvo, Zagreb, 103pp.

MALVIĆ, T., VRBANAC, B., 2013. Geostatistički pojmovnik (Geostatistical Glossary). *Hrvatski Matematički Elektronički Časopis*, 23, 7–56.

MARKOVIĆ, S., 2002. Hrvatske mineralne sirovine. Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Zagreb, 544 p.

MEDVED, I., PRIBIČEVIĆ, B., MEDAK, D., KUZMANIĆ, I., 2010. Usporedba metoda interpolacije batimetrijskih mjerenja za praćenje promjena volumena jezera. *Geod. List*, 2, 71–86.

MOVE KNOWLEDGE BASE 2019. Petroleum Experts LTD. Move Help pages.,

PAJOVIĆ, M., 2009. Genesis and genetic types of karst bauxites. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 1, 44-56.

PAMIĆ, J., GUŠIĆ, I., & JELASKA, V., 1998. Geodynamic evolution of the Central Dinarides. *Tectonophysics*, 297(1–4), 251–268.

PAPEŠ, J & DRAGIČEVIĆ, I., 1984. Karta ležišta boksita BiH. Neobjavljeno. Fond stručne dokumentacije Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu.

PAVIČIĆ, I., DRAGIČEVIĆ, I., & IVKIĆ, I., 2018. High-resolution 3D geological model of the bauxite-bearing area Crvene Stijene (Jajce, Bosnia and Herzegovina) and its application in ongoing research and mining. *Geological Quarterly*, 62(1), 100–119. doi:10.7306/gq.1396

RAIĆ, V., PAPEŠ, J., 1978. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Imotski, K33–23. Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Savezni geološki zavod, Beograd.

RADUSINOVIĆ, S., PAPADOPOULOS, A., 2021. The Potential for REE and Associated Critical Metals in Karstic Bauxites and Bauxite Residue of Montenegro. *Minerals* 2021, 11, 975. <https://doi.org/10.3390/min11090975>

TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I., SOKAČ, B., 2002. Carbonate platform megafacies of the Jurassic and Cretaceous deposits of the Karst Dinarides. *Geologia Croatica*, 55(2), 139–170.

VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC D. (2002). Depositional sequences and Palaeogeography. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 57, 141–151.

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(3–4), 333–360.

VUJEC S., MARUŠIĆ R., SAKAČ K., 1994. Underground Bauxite Exploitation in the Western Dinarids essential facts and comments. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 6: 71-94.

Web izvori:

FEDERALNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD. URL: <https://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/KLIMA/klimaBIH.php> (pristupano 2022-08-05)

THPANORAMA. URL: <https://hr.thpanorama.com/articles/matematicas/interpolacin-lineal-mtodo-ejercicios-resueltos.html> (pristupano 2022-21-05)

OPENTOPOGRAPHY: <https://opentopography.org> (pristupano 2022-20-6)

10. SAŽETAK

Pavlin Ida, univ. bacc. ing. geol.

Šegović Filip, univ. bacc. ing. geol.

GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BiH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA

Ležišta boksita formirana za vrijeme kopnene faze između razdoblja gornje krede i paleogena predstavljaju ekonomski najvrijednije boksite u području Jadranske karbonatne platforme (JKP). Ležišta formirana u ovom razdoblju nalaze se na cijeloj JKP, od Slovenije, sve do Crne Gore a jedno od najvećih i najeksploatiranih područja je boksitonosno područje Posušja. Geološka istraživanja bila su vrlo intenzivna između 1950. i 1990. godine no nakon toga gotovo da i nema novih istraživanja. Ovaj rad za svrhu je imao prikupiti sve dostupne podatke, sistematizirati ih u 3D bazu podataka te izraditi 3D geološki model Snižnice, jednog od najkompleksnijih boksitonosnih revira u području Posušja. Kroz proces izrade modela, izrađena je nova kompozitna geološka karta, 15 geoloških profila, 3D geološki model te pripadajuće strukturno-kinematske analize u 3D okruženju. Načinjene analize obuhvaćaju, analizu relativnog pomaka po rasjednim plohama, debljine paleogenskih naslaga u podzemlju, rekonstrukciju erodiranog dijela krovinskih paleogenskih naslaga te prostorne analize položaja ležišta boksita te smjerova i kutova nagiba kontaktne plohe između krednog paleoreljefa i krovinskih paleogenskih naslaga. Rezultati ukazuju da su pomaci po pojedinim rasjedima u rasponu od 0 do preko 100 m dok se maksimalni kumulativni pomak po rasjedima procjenjuje na preko 250 m. Debljina paleogenskih naslaga nalaze se u rasponu od 0 do gotovo 200 m dok je debljina erodiranog dijela krovinskih naslaga doseže i do 100 m. Karte smjerova i kutova nagiba te analize strukturnih položaja ležišta boksita ukazuju da je veći broj ležišta smješten u tjemnim dijelovima antiklinala i sinklinala što ukazuje da su udubljenja u paleoreljefu dijelom strukturno predisponirana. Konstruirani 3D geološki model i provedene analize mogu poslužiti kao podloga za projektiranje daljnjih istražnih radova, prvenstveno bušotina u svrhu pronalaska novih ležišta boksita.

KLJUČNE RIJEČI: 3D geološki model, paleoreljef, boksit, Jadranska karbonatna platforma, Posušje (Bosna i Hercegovina)

11. SUMMARY

Pavlin Ida, univ. bacc. ing. geol.

Šegović Filip, univ. bacc. ing. geol.

GEOLOGICAL MODEL OF THE BAUXITE AREA OF SNIŽNICA (POSUŠJE, BiH): FINDING NEW BAUXITE DEPOSITS WITH APPLICATION OF 3D/2D VISUALIZATION OF GEOLOGICAL STRUCTURES IN SUBSURFACE

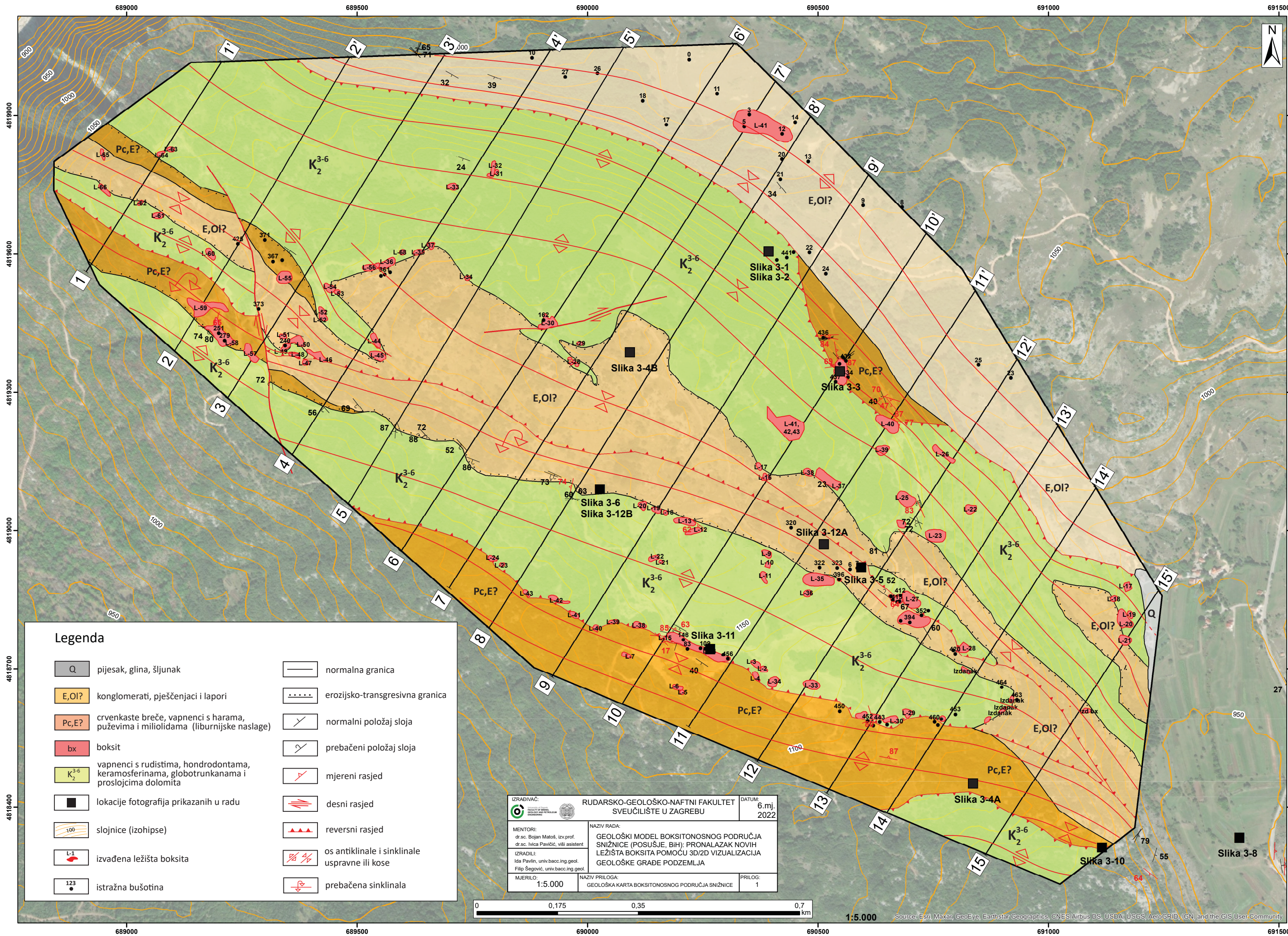
Bauxite deposits formed during the terrestrial phase between the Upper Cretaceous and Paleogene time periods. They represent economically the most valuable bauxites in the area of Adriatic Carbonate Platform (AdCP). The deposits formed in this time period are found on the entire AdCP, from Slovenia to Montenegro. One of the largest and most exploited area is the bauxite-bearing area of Posušje. Geological exploration was very intensive between 1950 and 1990, but after that time period, there was almost no additional investigations. The purpose of this work was to collect all available data, systematize them into a 3D geodatabase and construct a 3D geological model of Snižnica, one of the most complex bauxite-bearing districts in the Posušje area. The results of this work are: new - composite geological map, 15 geological profiles, and 3D geological model with correlative structural-kinematic analyses in a 3D environment. The structural-kinematic analyses convey fault relative movement analyses, definition of the thickness of Paleogene deposits, reconstruction of eroded part of the Paleogene deposits in the hangingwall, spatial analysis of bauxite deposit position, and azimuth and dip angle distribution of the contact surface between Cretaceous paleorelief (footwall to bauxite deposits) and Paleogene deposits (bauxite hanging-wall cover rocks). The results indicate that displacements on individual faults range between 0 and 100 m, while the maximum cumulative displacement is estimated ≥ 250 m. The thickness of Paleogene deposits ranges from 0 to almost 200 m, while the thickness of the modeled eroded part of these deposits reaches up to 100 m. Maps of azimuth and dip angle distribution of the contact surface and analysis of structural positions of bauxite deposits indicate that a larger number of deposits are located in the anticline and syncline hinge zones, which indicates that the depressions in the palaeorelief are partly structurally predisposed. The constructed 3D geological model and the conducted analysis can serve as a basis for planning further exploration works, primarily drill holes to find new bauxite deposits.

KEY WORDS: 3D Geological model, Paleorelief, Bauxite, Adriatic Carbonate Platform, Posušje (Bosnia and Herzegovina).

12. ŽIVOTOPIS

Ida Pavlin je studentica 2.godine diplomskog studija smjera *Hidrogeologija i inženjerska geologija* na *Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu*. 2017. završava *Gimnaziju Antuna Gustava Matoša* u Samoboru te iste godine upisuje preddiplomski studij *Geološkog inženjerstva* na *Rudarsko-geološkom-naftnom fakultetu*. 2020. godine završava preddiplomski smjer *Geološkog inženjerstva* i stječe akademski naziv *univ.bacc.ing.geol* te iste godine upisuje diplomski studij. Dobitnica je *Dekanove nagrade* za akademsku godinu 2018./19., a od 2018. do 2020. prima STEM stipendiju. Bila je demonstratorica iz kolegija *Matematika 1*, *Osnove geofizičkih istraživanja I*; u sklopu studentskog posla na fakultetu crta grafičke priloge. Od 2021. godine uključena je u projekt *NATURAVITA-Monitoring stanja podzemnih voda, recentne sedimentacije, staništa i faune*. Tada sudjeluje u projektu *3D modeliranje zlatonosnih žila na području stratovulkna Štiavnice u Slovačkoj* pod vodstvom dr.sc. Ivice Pavičića, a 2022. godine završava trodnevnu inovacijsku radionicu DIM ESEE – 2 s temom *Inovacije u geološkoj prospekcijskoj održanoj u Telkibányji u Mađarskoj*.

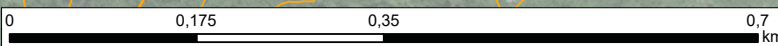
Filip Šegović je student 2. godinu diplomskog studija, smjer *Hidrogeologija i inženjerska geologija* na *Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu* u Zagrebu. Godine 2017. stječe zvanje *geološki tehničar* u *Prirodoslovnoj školi Vladimira Preloga*. Iste godine upisuje preddiplomski studij *Geološko inženjerstvo* na *Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu*. Godine 2020. u roku završava preddiplomski smjer te time stječe akademski naziv *univ.bacc.ing.geol*. Iste godine upisuje diplomski studij. Trenutno piše diplomski rad koji je vezan uz institucijski projekt NIVO, cilj diplomskog rada je definiranje odnosa zagrebačkih jezera i rijeke Save.



Legenda

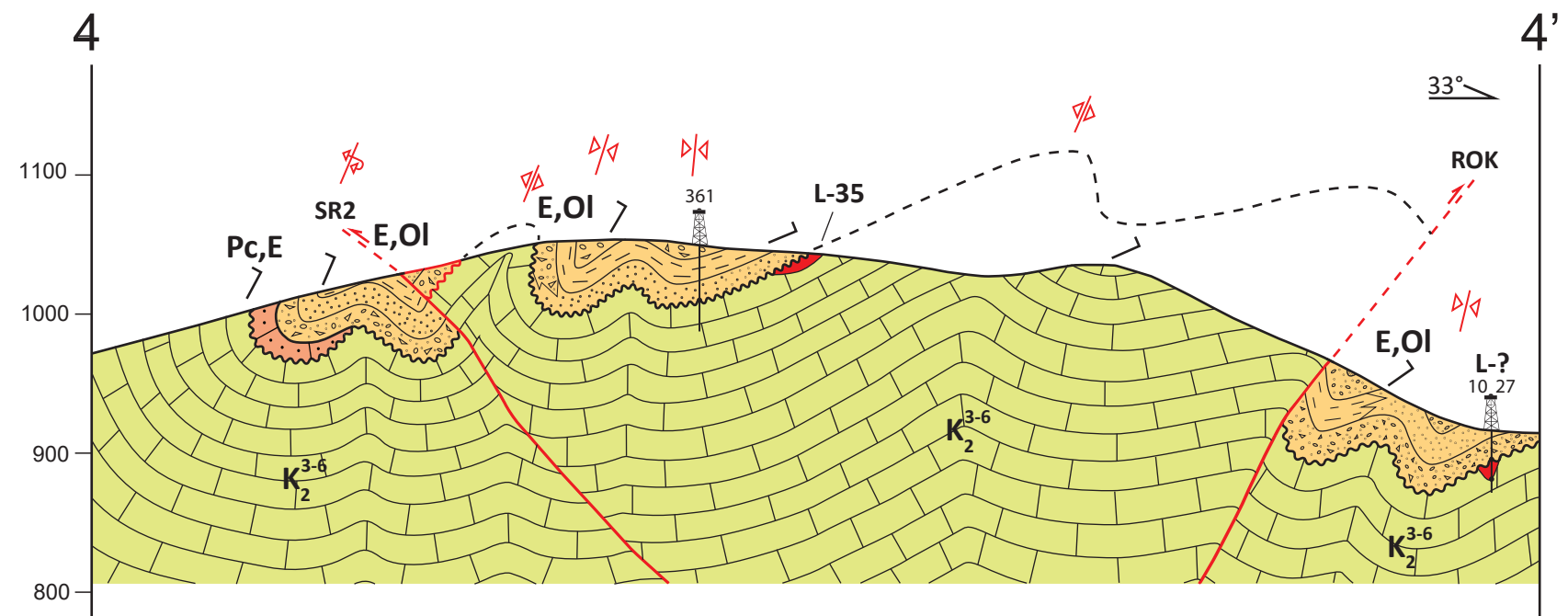
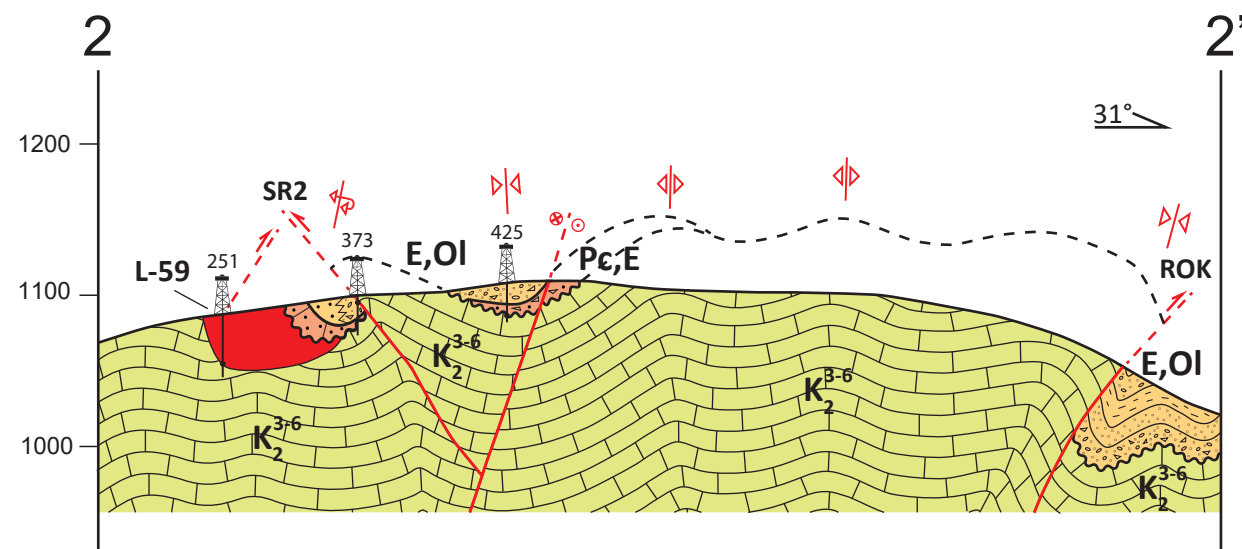
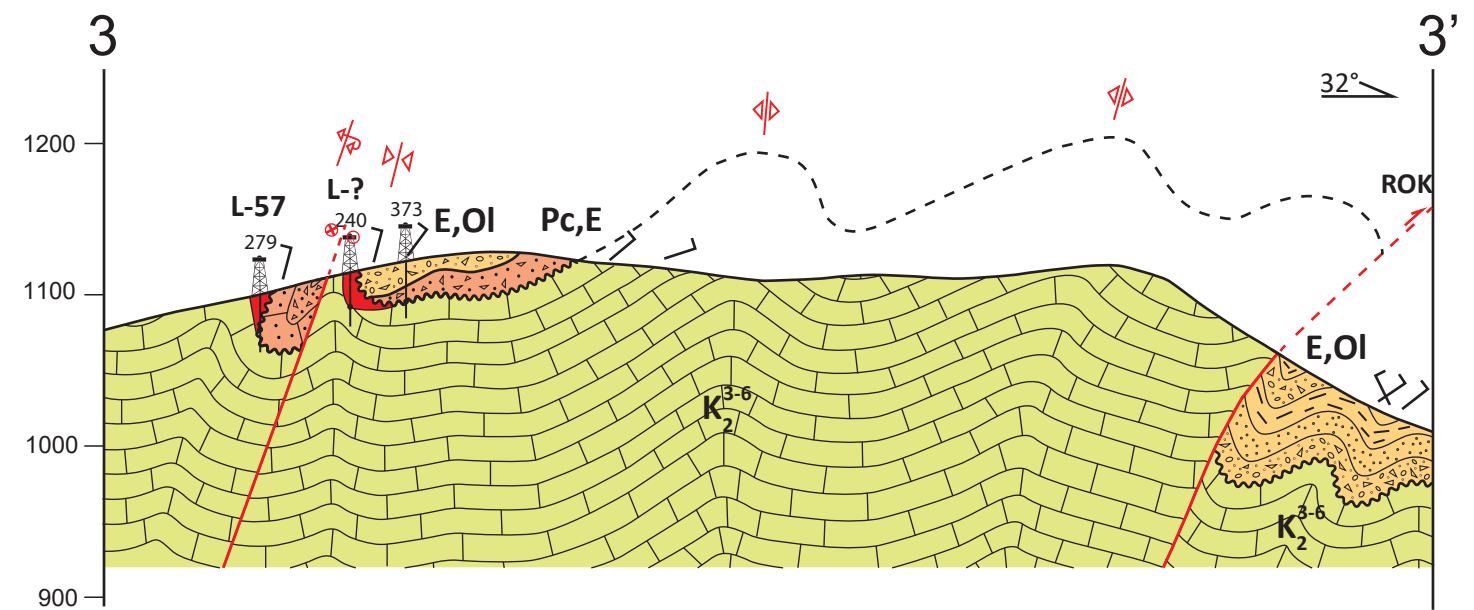
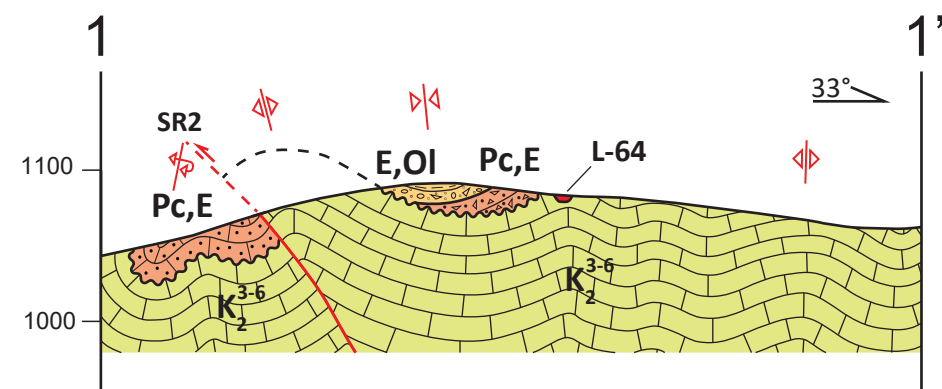
- | | | | |
|-------------------------------|---|-------|---|
| Q | pijesak, glina, šljunak | — | normalna granica |
| E,OI? | konglomerati, pješčenjaci i lapori | | erozijsko-transgresivna granica |
| Pc,E? | crvenkaste breče, vapnenci s harama, puževima i miliolidama (liburnijske naslage) | ↘ | normalni položaj sloja |
| bx | boksit | ↗ | prebačeni položaj sloja |
| K ₂ ³⁻⁶ | vapnenci s rudistima, hondodontama, keramosferinama, globotruncanama i proslojcima dolomita | ↖ | mjereni rasjed |
| ■ | lokacije fotografija prikazanih u radu | ↗↖ | desni rasjed |
| 100 | slojnice (izohipse) | ↗↖↗↖ | reversni rasjed |
| L-1 | izvađena ležišta boksita | ↗↖↗↖ | os antiklinale i sinklinale uspravne ili kose |
| 123 | istražna bušotina | ↗↖↗↖ | prebačena sinklinala |

IZRAĐIVAČ: FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND PETROLEUM ENGINEERING	RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: dr.sc. Bojan Matoš, izv.prof. dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent	NAZIV RADA: GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BIH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA	
IZRADILI: Ida Pavlin, univ.bacc.ing.geol. Filip Segović, univ.bacc.ing.geol.	NAZIV PRILOGA: GEOLOŠKA KARTA BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE	PRILOG: 1
MJERILO: 1:5.000		



1:5.000

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



Legenda

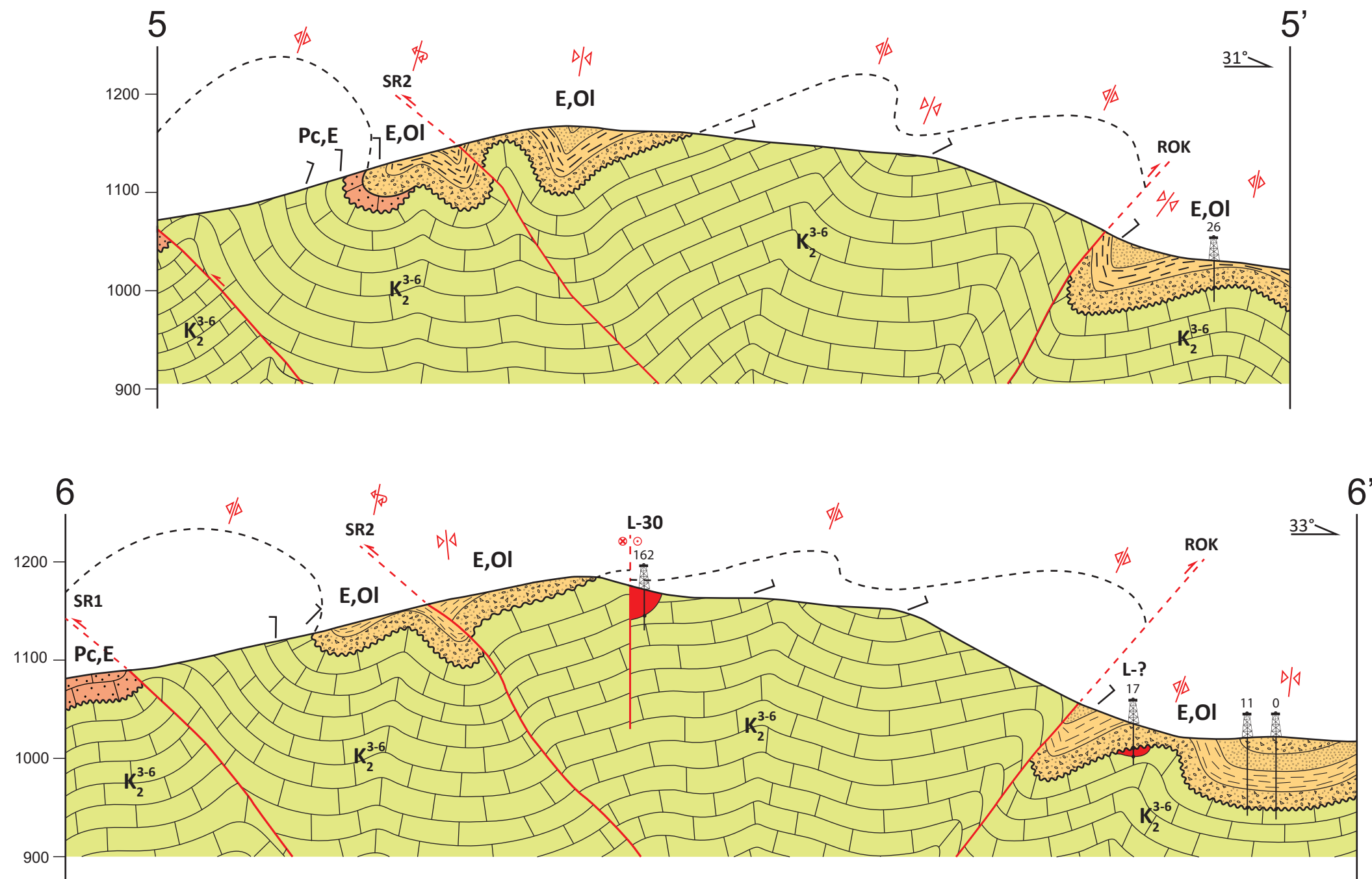
E,OI?	konglomerati, pješčenjaci i lapori		normalna granica
Pc,E?	crvenkaste breče, vapnenci s harama, puževima i miliolidama (liburnijske naslage)		erozijsko-transgresivna granica
bx	boksit		elementi nagnutog sloja
K₂³⁻⁶	vapnenci s rudistima, hondrodontama, keramosferinama, globotrunkanama i proslojcima dolomita		reversni rasjed, rasjed neutvrđenog karaktera
L-1	izvađena ležišta boksita		os antiklinale i sinklinale uspravne ili kose
361	istražna bušotina		prebačena sinklinala

SR2 - Snižnički rasjed 2

ROK - Rasjed Orlovog kuka



IZRAĐIVAČ:  UNIVERSITY OF MINING, FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND PETROLEUM ENGINEERING 		RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU		DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: dr.sc. Bojan Matoš, izv.prof. dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent		NAZIV RADA: GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BIH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA		
IZRADILI: Ida Pavlin, univ.bacc.ing.geol. Filip Šegović, univ.bacc.ing.geol.				
MJERILO: 1:5.000		NAZIV PRILOGA: GEOLOŠKI PROFILI U BOKSITONOSNOM REVIRU SNIŽNICE		PRILOG: 2/1

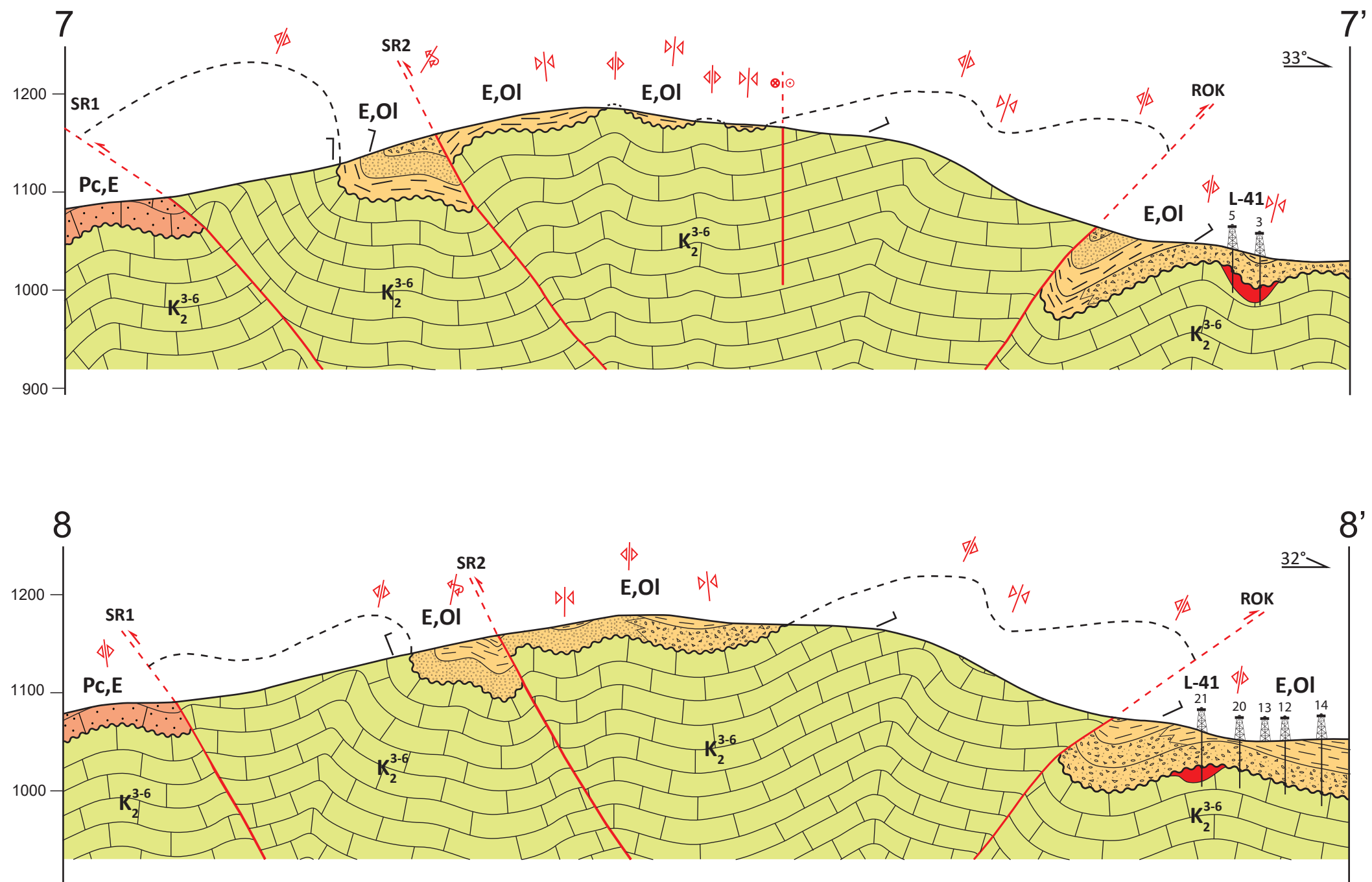


Legenda

E,OI?	konglomerati, pješčenjaci i lapori		erozijsko-transgresivna granica	SR1 - Snižnički rasjed 1
Pc,E?	crvenkaste breče, vapnenci s harama, puževima i miliolidama (liburnijske naslage)		elementi nagnutog sloja	SR2 - Snižnički rasjed 2
bx	boksit		reversni rasjed, rasjed neutvrđenog karaktera	ROK - Rasjed Orlovog kuka
K₂³⁻⁶	vapnenci s rudistima, hondrodontama, keramosferinama, globotruncanama i proslojcima dolomita		trasverzalni rasjed s desnim pomakom	
L-1	izvađena ležišta boksita		os antiklinale i sinklinale uspravne ili kose	
361	istražna bušotina		prebačena sinklinala	
	normalna granica			



IZRAĐIVAČ: 		RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU		DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: dr.sc. Bojan Matoš, izv.prof. dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent		NAZIV RADA: GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BiH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA		
IZRADILI: Ida Pavlin, univ.bacc.ing.geol. Filip Šegović, univ.bacc.ing.geol.		MJERILO: 1:5.000		PRILOG: 2/2
		NAZIV PRILOGA: GEOLOŠKI PROFILI U BOKSITONOSNOM REVIRU SNIŽNICE		

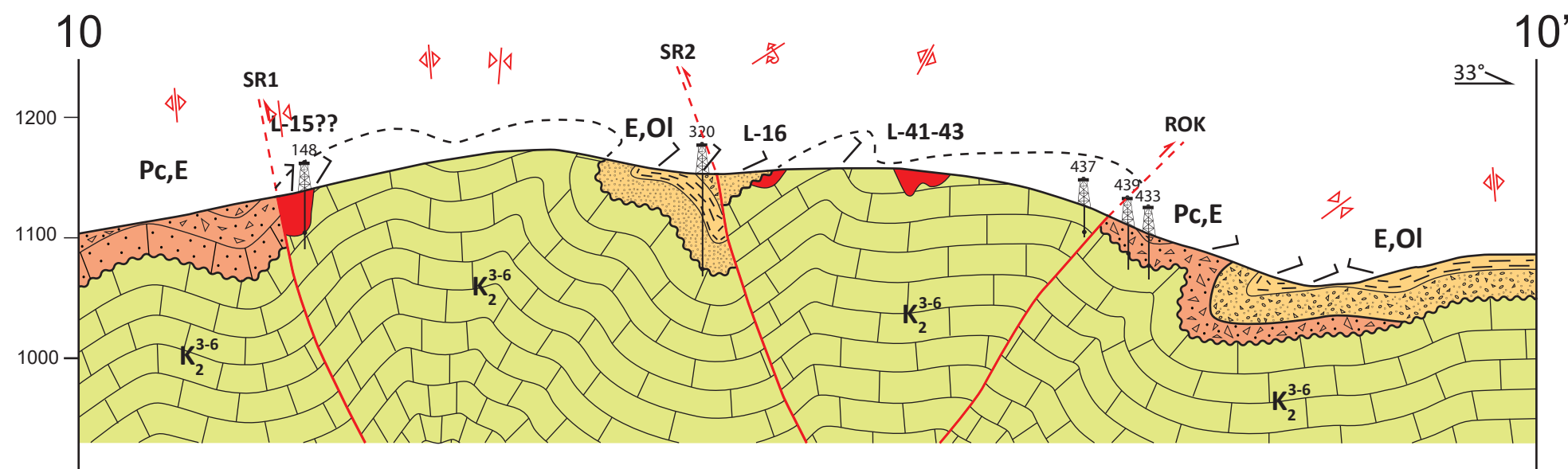
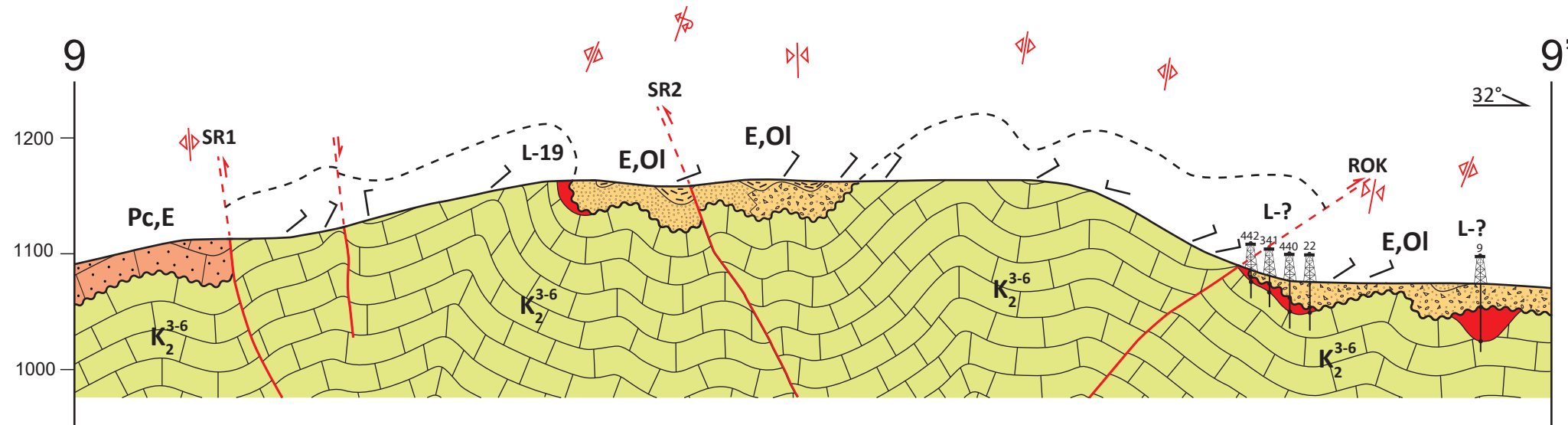


Legenda

E,OI?	konglomerati, pješčenjaci i lapori		erozijsko-transgresivna granica	SR1 - Snižnički rasjed 1
Pc,E?	crvenkaste breče, vapnenci s harama, puževima i miliolidama (liburnijske naslage)		elementi nagnutog sloja	SR2 - Snižnički rasjed 2
bx	boksit		reversni rasjed, rasjed neutvrđenog karaktera	ROK - Rasjed Orlovog kuka
K₂³⁻⁶	vapnenci s rudistima, hondrodontama, keramosferinama, globotrunkanama i proslojcima dolomita		trasverzalni rasjed s desnim pomakom	
L-1	izvađena ležišta boksita		os antiklinale i sinklinale uspravne ili kose	
	istražna bušotina		prebačena sinklinala	
	normalna granica			



IZRAĐIVAČ: 		RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU		DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: dr.sc. Bojan Matoš, izv.prof. dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent		NAZIV RADA: GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BiH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA		
IZRADIL: Ida Pavlin, univ.bacc.ing.geol. Filip Šegović, univ.bacc.ing.geol.		NAZIV PRILOGA: GEOLOŠKI PROFILI U BOKSITONOSNOM REVIRU SNIŽNICE		PRILOG: 2/3
MJERILO: 1:5.000				



Legenda

$E,OI?$	konglomerati, pješčenjaci i lapori
$Pc,E?$	crvenkaste breče, vapnenci s harama, puževima i miliolidama (liburnijske naslage)
bx	boksit
K_2^{3-6}	vapnenci s rudistima, hondrodontama, keramosferinama, globotruncanama i prosljocima dolomita
L-1	izvađena ležišta boksita
361	istražna bušotina

—	normalna granica
~~~~~	erozijsko-transgresivna granica
↗	elementi nagnutog sloja
↖	reversni rasjed, rasjed neutvrđenog karaktera
↗↖	os antiklinale i sinklinale uspravne ili kose
↘↗	prebačena sinklinala

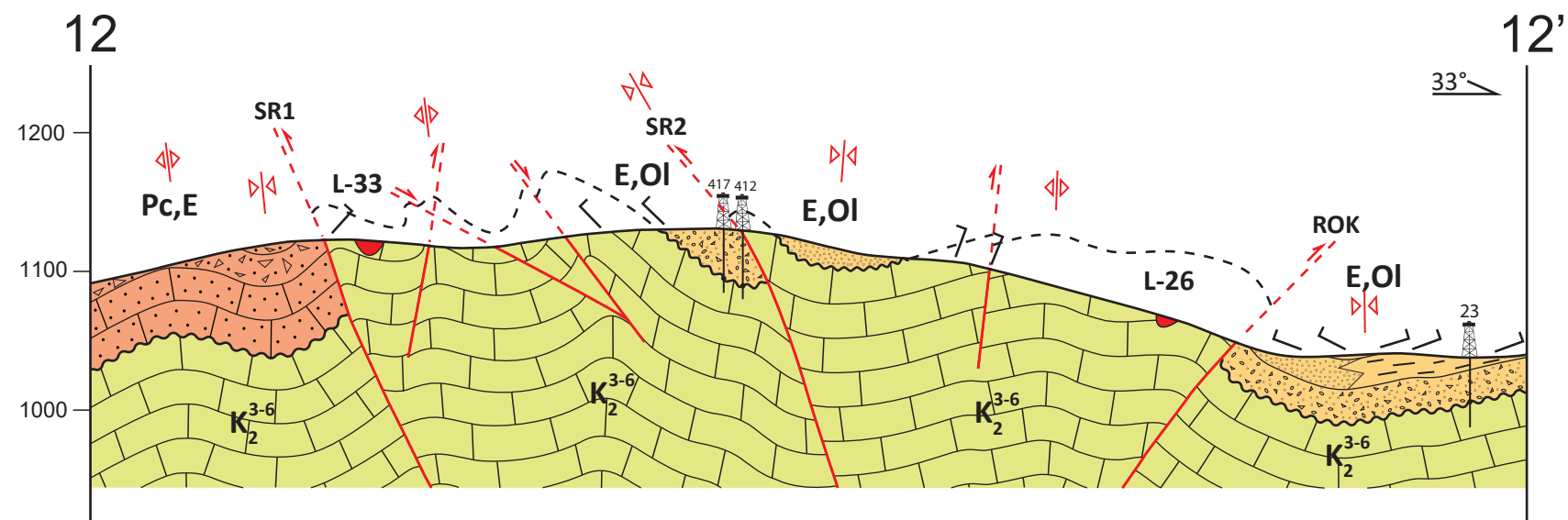
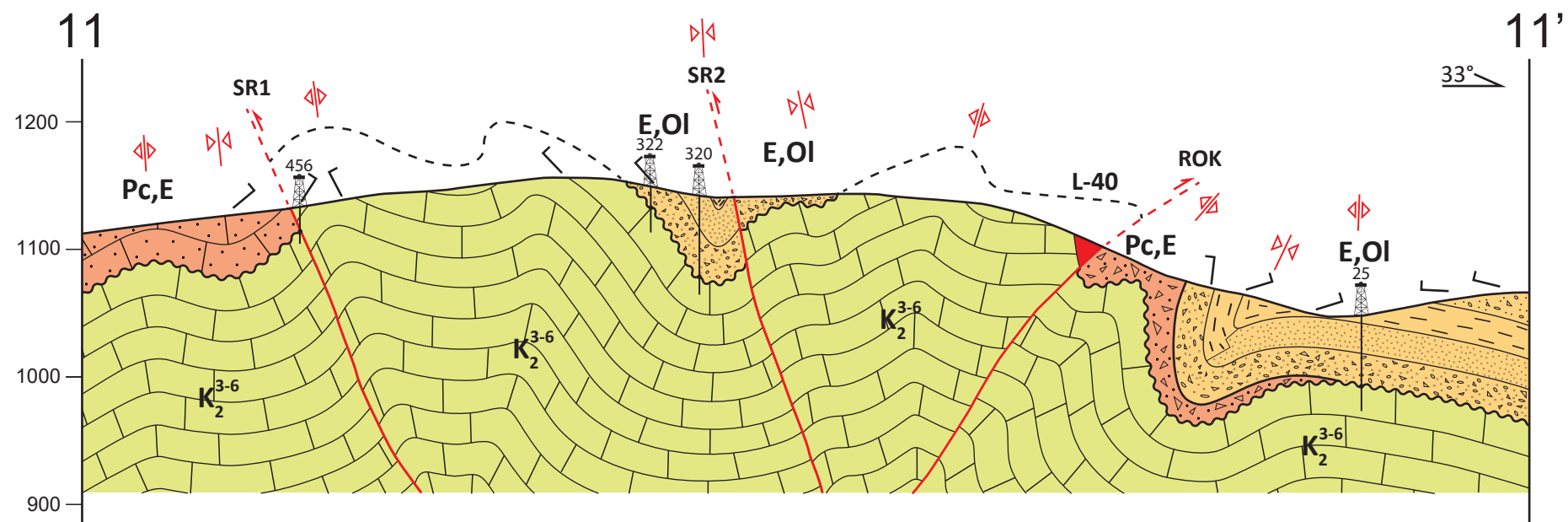
SR1 - Snižnički rasjed 1

SR2 - Snižnički rasjed 2

ROK - Rasjed Orlovog kuka



IZRAĐIVAČ: University of Zagreb FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND PETROLEUM ENGINEERING	RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU	DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: dr.sc. Bojan Matoš, izv.prof. dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent	NAZIV RADA: GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BiH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA	
IZRADILI: Ida Pavlin, univ.bacc.ing.geol. Filip Šegović, univ.bacc.ing.geol.	MJERILO: 1:5.000	PRILOG: 2/4



### Legenda

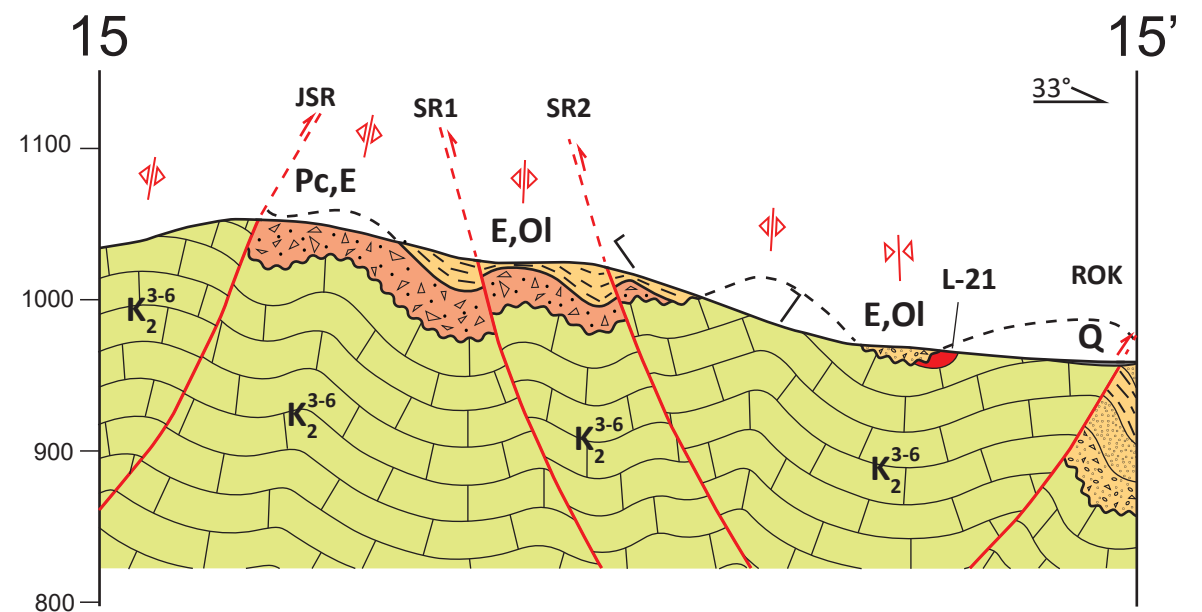
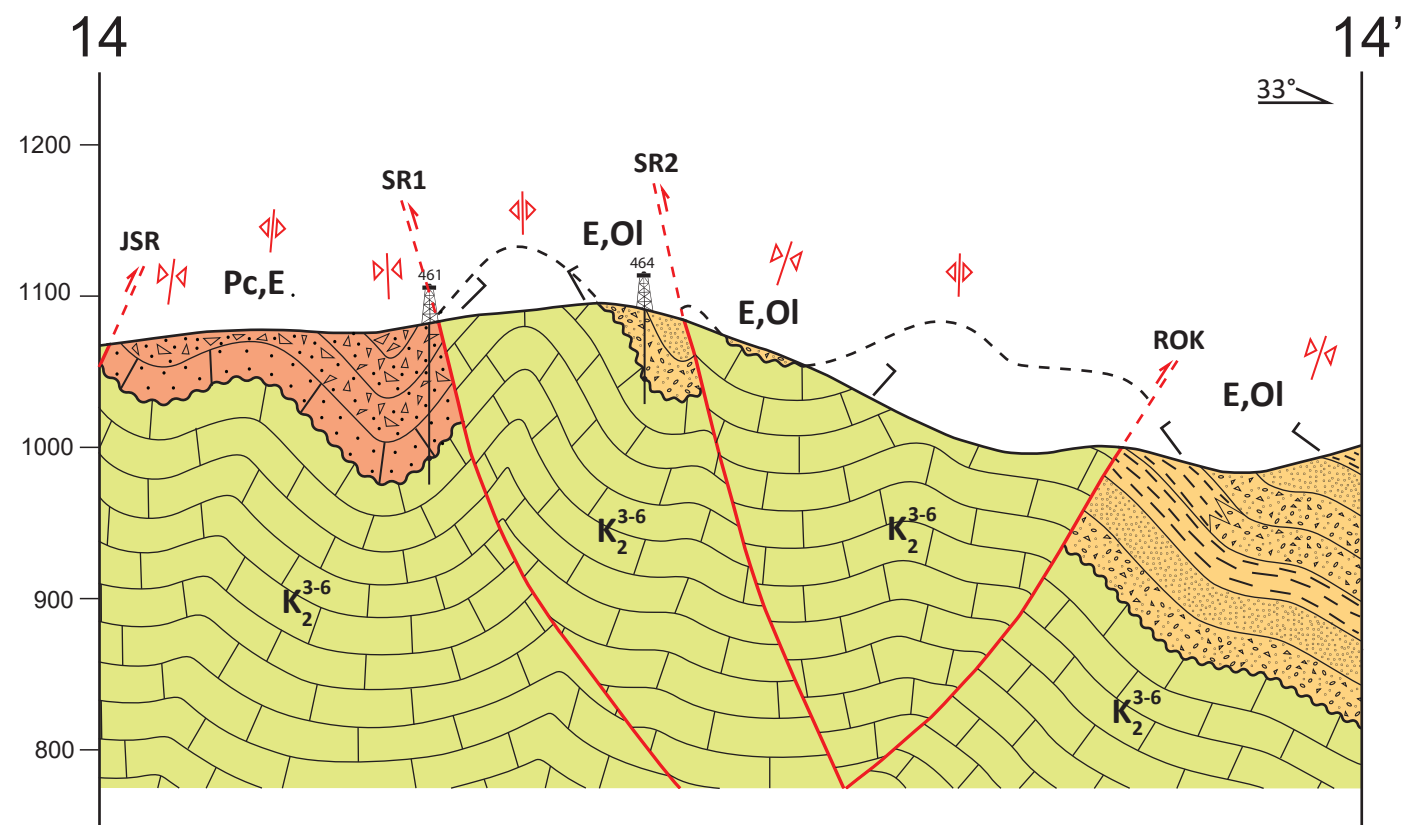
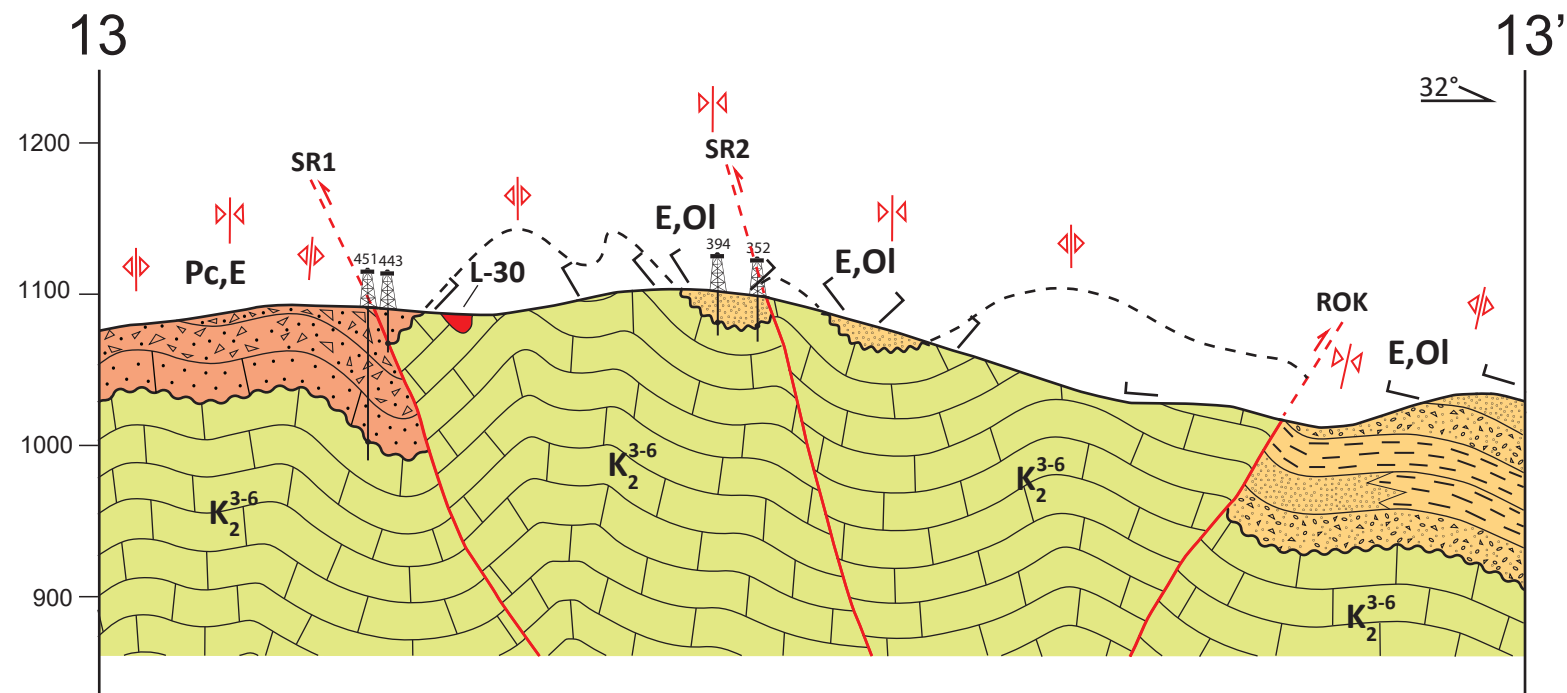
- E,OI? konglomerati, pješčenjaci i lapori
- Pc,E? crvenkaste breče, vapnenci s harama, puževima i miliolidama (liburnijske naslage)
- bx boksit
- K₂³⁻⁶ vapnenci s rudistima, hondrodontama, keramosferinama, globotruncanama i proslojcima dolomita
- L-1 izvađena ležišta boksita
- 361 istražna bušotina

- normalna granica
- erozijsko-transgresivna granica
- elementi nagnutog sloja
- reversni rasjed, rasjed neutvrđenog karaktera
- os antiklinale i sinklinale uspravne ili kose

- SR1 - Snižnički rasjed 1
- SR2 - Snižnički rasjed 2
- ROK - Rasjed Orlovog kuka



IZRAĐIVAČ: University of Zagreb FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND PETROLEUM ENGINEERING		RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU		DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: dr.sc. Bojan Matoš, izv.prof. dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent		NAZIV RADA: GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BiH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA		
IZRADILI: Ida Pavlin, univ.bacc.ing.geol. Filip Šegović, univ.bacc.ing.geol.		NAZIV PRILOGA: GEOLOŠKI PROFILI U BOKSITONOSNOM REVIRU SNIŽNICE		PRILOG: 2/5
MJEILO: 1:5.000				



## Legenda

<b>Q</b>	pijesak, glina, šljunak		istražna bušotina	SR1 - Snižnički rasjed 1
<b>E, OI?</b>	konglomerati, pješčenjaci i lapori		normalna granica	SR2 - Snižnički rasjed 2
<b>Pc, E?</b>	crvenkaste breče, vapnenci s harama, puževima i miliolidama (liburnijske naslage)		erozijsko-transgresivna granica	ROK - Rasjed Orlovog kuka
<b>bx</b>	boksit		elementi nagnutog sloja	JSR - Južni snižnički rasjed
<b>K₂³⁻⁶</b>	vapnenci s rudistima, hondrodontama, keramosferinama, globotruncanama i proslojcima dolomita		reversni rasjed, rasjed neutvrđenog karaktera	
<b>L-1</b>	izvađena ležišta boksita		os antiklinale i sinklinale uspravne ili kose	



IZRADIVAČ: 		RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET SVEUČILIŠTE U ZAGREBU		DATUM: 6.mj. 2022
MENTORI: dr.sc. Bojan Matoš, izv.prof. dr.sc. Ivica Pavičić, viši asistent		NAZIV RADA: GEOLOŠKI MODEL BOKSITONOSNOG PODRUČJA SNIŽNICE (POSUŠJE, BIH): PRONALAZAK NOVIH LEŽIŠTA BOKSITA POMOĆU 3D/2D VIZUALIZACIJA GEOLOŠKE GRAĐE PODZEMLJA		
IZRADILI: Ida Pavlin, univ.bacc.ing.geol. Filip Šegović, univ.bacc.ing.geol.		NAZIV PRILOGA: GEOLOŠKI PROFILI U BOKSITONOSNOM REVIRU SNIŽNICE		PRILOG: 2/6
MJERILO: 1:5.000				