

Geometrija i prostorni raspored sedimentnih tijela u neposrednoj krovini ležišta boksita na Crvenim stijenama (Jajce, BiH)

Ivkić, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:982644>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

GEOMETRIJA I PROSTORNI RASPORED SEDIMENTNIH TIJELA
U NEPOSREDNOJ KROVINI LEŽIŠTA BOKSITA NA CRVENIM
STIJENAMA (Jajce, BiH)

Diplomski rad

Ivona Ivkić G 202

Zagreb, 2017.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Ivanu Dragičeviću i asistentu mag.ing.geol. Ivici Pavičiću koji su mi bili neizmjerena podrška tijekom izrade ovoga rada. Veliko hvala na svim savjetima i kritikama, a posebno za Vaše znanje i iskustvo koje ste prenijeli ovom mladom geologu.

Ovom prilikom se zahvaljujem i tvrtki Rudnici boksita Jajce d.d. na ustupljenim podacima koji su bili neophodni za izradu diplomskog rada.

Mojim najbližima, zbog velike ljubavi, puno strpljenja i potpore kroz sve godine studiranja.

GEOMETRIJA I PROSTORNI RASPORED SEDIMENTNIH TIJELA U
NEPOSREDNOJ KROVINI LEŽIŠTA BOKSITA NA CRVENIM STIJENAMA
(JAJCE, BIH)

IVONA IVKIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

SAŽETAK:

U diplomskom radu razmatra se boksitonosni revir *Crvene stijene* koji se nalazi 10-ak km sjeveroistočno od Jajca (BiH). Ovo područje je od velikog ekonomskog značaja zahvaljujući brojnim ležištima boksitima, ali i vrijednog arhitektonsko-građevnog kamena (AG-K) koji čini neposrednu krovinu ležišta boksita. U radu su opisane geološke karakteristike šireg i užeg područja s naglaskom na ležišta boksita i AG-K. Brojni geološki podaci prikupljeni tijekom dugogodišnjih istraživanja omogućili su 3D geološko modeliranje s ciljem rekonstrukcije modela ležišta boksita i postavljanja temelja za izradu 3D litofacijsnog modela *Crvenih stijena*. Objašnjene su metode koje su pritom korištene, a koje su se pokazale najpogodnijima za modeliranje u ovom području.

Ključne riječi: 3D geološko modeliranje, paleoreljef, boksit, krovinske naslage

Diplomski rad sadrži: 57 stranica, 33 slike, 1 tablicu, 5 priloga, 14 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Prof. dr. sc. Ivan Dragičević

Pomoć pri izradi: Ivica Pavičić, mag.ing.geol.

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Ivan Dragičević

Prof. dr. sc. Davor Pavelić

Izv. prof. dr. sc. Ivo Galić

Datum obrane: 23.02.2017.

GEOMETRY AND SPATIAL DISTRIBUTION OF SEDIMENTS OVERLYING
BAUXITE DEPOSITS IN THE CRVENE STIJENE AREA (JAJCE, Bosnia and
Herzegovina)

IVONA IVKIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering

ABSTRACT:

The thesis examines the *Crvene stijene* bauxite area, located about 10 km northeast of the town Jajce (Bosnia and Herzegovina). The area is of great economic interest because of many bauxite deposits and valuable dimension stone. Main geological properties of the area are shown with emphasis on bauxite and dimension stone deposits. Numerous geological data acquired through the years of research enabled 3D geological modelling in order to reconstruct 3D models of bauxite deposits and to set the basis for the 3D lithofacies model of the *Crvene stijene* area. Methods used in geological modelling are explained, as they have proven to be the most suitable for this area.

Keywords: 3D geological modelling, paleorelief, bauxite, overlying sediments

Thesis contains: 57 pages, 33 figures, 1 table, 5 appendices, 18 references

Original in: Croatian

Thesis archived at: The Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum
Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Ivan Dragičević, PhD

Technical support and assistance: Ivica Pavičić, mag.ing.geol.

Reviewers: Full Professor Ivan Dragičević, PhD

Full Professor Davor Pavelić, PhD

Associate Professor Ivo Galić, PhD

Date of defense: February 23, 2017

SADRŽAJ:

1.	UVOD	1
2.	OPĆE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	3
2.1.	Geografske karakteristike	3
2.2.	Morfološke karakteristike	4
2.3.	Klimatske i hidrološke karakteristike	5
3.	PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	7
4.	GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	9
4.1.	Stratigrafske karakteristike šireg područja	9
4.1.1.	Geološke karakteristike ležišta boksita	13
4.1.2.	Geološke karakteristike arhitektonsko-građevnog kamena.....	15
4.2.	Strukturne karakteristike šireg područja	20
4.2.1.	Strukturne karakteristike Crvenih stijena	20
5.	METODE ISTRAŽIVANJA.....	22
5.1.	Temeljne postavke	22
5.2.	Opis ulaznih podataka.....	24
5.3.	3D litofacijsni model.....	29
5.3.1.	Izrada litofacijsnog modela	30
5.3.2.	Izrada plohe paleoreljefa ležištima boksita	30
5.3.3.	Izrada modela ležišta boksita	33
5.3.4.	Izrada poprečnih i uzdužnih geoloških profila i njihova interpretacija ..	37
6.	DISKUSIJA.....	42
7.	ZAKLJUČAK	49
8.	POPIS LITERATURE	51

POPIS SLIKA:

Slika 2.1. Geografski položaj istraživnog područja	4
Slika 4.1. Geološka karta boksitonosnih područja Bešpelj-Crvene stijene-Poljane, geološki profil, geološki stup i legenda.	12
Slika 4.2. I. produktivni sloj karbonatnih breča	16
Slika 4.3. Zasjeak u II. produktivnom sloju karbonatnih breča	16
Slika 4.4. Detaljni litostratigrafski stup ležišta boksita i arhitektonsko-građevnog kamena Crvene stijene	17
Slika 4.5. Izdanak Bouma sekvencije gornjokredne starosti nedaleko od Crvenih stijena.	18
Slika 4.6. Sedimentološka interpretacija taložnog okoliša gornjokrednih klastičnih naslaga	19
Slika 5.1. Ploha paleoreljefa s vidljivim negativnim formama (anomalijama)	22
Slika 5.2. Geološka karta ležišta Crvene stijene preklopljena preko digitalnog modela reljefa	24
Slika 5.3. 3D prikaz geološke karte preklopljene sa DEM-om, geoloških profila i rudarskih radova.	25
Slika 5.4. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova.	26
Slika 5.5. Litološki stup novije bušotine K1	27
Slika 5.6. Prostorni smještaj svih ulaznih podataka: DEM preklopljen sa geološkom kartom, geološki profili, bušotine i rudarski radovi.....	28
Slika 5.7. Primarno dobivena ploha paleoreljefa.....	31
Slika 5.8. Ploha paleoreljefa nakon reinterpetacije	31
Slika 5.9. Konačna ploha paleoreljefa nadopunjena bušotinskim podacima u području sjeverno od Medinog rasjeda.....	32
Slika 5.10. Prvotno dobiveni modeli ležišta boksita s označenim primjerom geometrije boksitnih tijela	33
Slika 5.11. Uvećani dio 3D geološkog modela s primjerom prvotno dobivene geometrije boksitnih tijela	34
Slika 5.12. Postavljanje fiktivnih bušotina na primjeru ležišta L-12.	35
Slika 5.13. Volumen ležišta L-12	36
Slika 5.14. Nova boksitna tijela na području Crvene stijene.....	36
Slika 5.15. Sjeverni dio istražnog područja Crvene stijene.....	37

Slika 5.16. Krovinske plohe kalkarenita i prvog produktivnog sloja s istaknutim nedostacima.	38
Slika 5.17. Poprečni i uzdužni geološki profili postavljeni kroz područje Crvene stijene..	39
Slika 5.18. Poprečni geološki profil A-B prije interpretacije.	40
Slika 5.19. Poprečni geološki profil A-B nakon interpretacije.....	41
Slika 5.20. Rezultat interpretacije svih profila predstavljen linijama pojedinih horizonata, linijama rasjeda i linijama površine terena.	41
Slika 6.1. Boksitno tijelo izduženo u obliku kanala.	42
Slika 6.2. Boksitno tijelo nepravilnog oblika.	42
Slika 6.3. Geološka karta istražnog područja Crvene stijene s trasama izdvojenih profila A-B, E-F, M-N, 4-4' i X-X'.....	43
Slika 6.4. Prostorni smještaj izdvojenih geoloških profila	44
Slika 6.5. Blok dijagram sastavljen od poprečnih i jednog uzdužnog profila na kojima su kalkareniti izdvojeni kao plavi poligoni	48

POPIS TABLICA:

Tablica 5.1. Baza podataka s nazivom bušotine, koordinatama, dubinom bušotine i dubinom krovine paleoreljefa , boksita, kalkarenita i prvog produktivnog sloja	28
--	----

POPIS PRILOGA:

Prilog 1. Poprečni geološki profil A-B.....	53
Prilog 2. Poprečni geološki profil E-F.....	54
Prilog 3. Poprečni geološki profil M-N.....	55
Prilog 4. Poprečni geološki profil 4-4'.....	56
Prilog 5. Uzdužni geološki profil X-X'.....	57

1. UVOD

Lokalitet *Crvene stijene* poznati je boksitonosni revir gdje se boksit istražuje i eksploatira već preko 40 godina. S ciljem pronalaska ležišta boksita provedena su dosad brojna i detaljna geološka istraživanja: DRAGIČEVIĆ (1981), PAPEŠ (1984), DRAGIČEVIĆ (1987), DRAGIČEVIĆ & VELIĆ (2002) i DRAGIČEVIĆ & VELIĆ (2006). Detaljno je kartirana površina terena, stratigrafski su definirane podina i krovina ležišta boksita, definirani su strukturni položaji ležišta boksita, paleogeografski uvjeti i dr. Također, izrađeno je preko 1000 bušotina te su napravljeni brojni podzemni rudarski radovi (potkopi i hodnici).

Danas je važnost ovog lokaliteta dvojaka. Pored vrijednih ležišta boksita vrlo visoke kvalitete, ovaj prostor predstavlja i istražni prostor nove mineralne sirovine. U krovinskom dijelu ležišta boksita nalaze se kompaktne stijene sedimentnog postanka i uglavnom karbonatnog sastava (karbonatne breče, konglobreče i konglomerati), koje su potencijalno zanimljive za dobivanje arhitektonsko-građevnog kamena (AG-K) (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). U sklopu novijih istraživanja izvedeno je detaljno geološko kartiranje (1:1000), istražno bušenje, probna eksploatacija, laboratorijska ispitivanja te kabinetske interpretacije, a dobiveni rezultati poslužili su za izradu *Elaborata o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena u istražnom prostoru Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

Velika količina prikupljenih podataka omogućila je izradu prvog 3D geološkog modela *Crvenih stijena* kojemu je svrha bila bolje razumijevanje geometrije ležišta AG-K, ležišta boksita, kao i geometrije plohe paleoreljefa na kojoj su se taložili boksiti (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016). Tijekom izrade ovog modela pojavile su se određene anomalije vezane uz plohu krovine i podine karbonatnih breča (AG-K). Nadalje, utvrđeno je da volumeni boksitnih tijela uglavnom odgovaraju negativnim anomalijama u paleoreljefu. Međutim, ostala je upitna geometrija boksitnih tijela. Pojedine modelirane plohe imale su uglate rubove, što nije odgovaralo poznatoj geološkoj situaciji u kojoj krški boksiti ispunjavaju depresije u karbonatima. Unatoč spomenutim anomalijama, utvrđeno je da dobiveni model reprezentativno prikazuje geološku situaciju u podzemlju te da kao takav predstavlja podlogu za daljnja istraživanja (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016).

Jedno od sljedećih istraživanja uključuje izradu litofacijsnog modela koji je posebno zanimljiv u smislu interpretacije taložnog okoliša. Transgresivni slijed sedimenata koji čini krovinske naslage ležišta boksita karakteriziran je učestalom horizontalnom i vertikalnom

izmjenom breča, kalkarenita i lapora. Prilikom izrade 3D modela utvrđeno je da su izmjene izraženije kod II. produktivnog sloja (na višoj poziciji geološkog stupa). Stoga je napravljena reinterpretacija svih dostupnih bušotinskih podataka (preko 500 bušotina), a time i nova baza podataka. Na velikom broju bušotina utvrđeno je da se krovina kalkarenita pojavljuje na većoj dubini od dubine krovine I. produktivnog sloja, odnosno da kalkarenit čini neposrednu krovinu ležišta boksita. Time se došlo do pretpostavke da se karakteristika izmjene kalkarenita i karbonatnih breča pojavljuje i ranije u transgresivnom slijedu sedimenata. Postavlja se pitanje učestalosti izmjene različitih litotipova direktno iznad boksita, pitanje debljine kalkarenita, kao i njihovog oblika i načina prostiranja kroz ležište.

Cilj diplomskog rada je na temelju velikog broja podataka napraviti rekonstrukciju modela ležišta boksita te postaviti temelj za izradu 3D litofacijesnog modela u području *Crvene stijene*.

2. OPĆE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

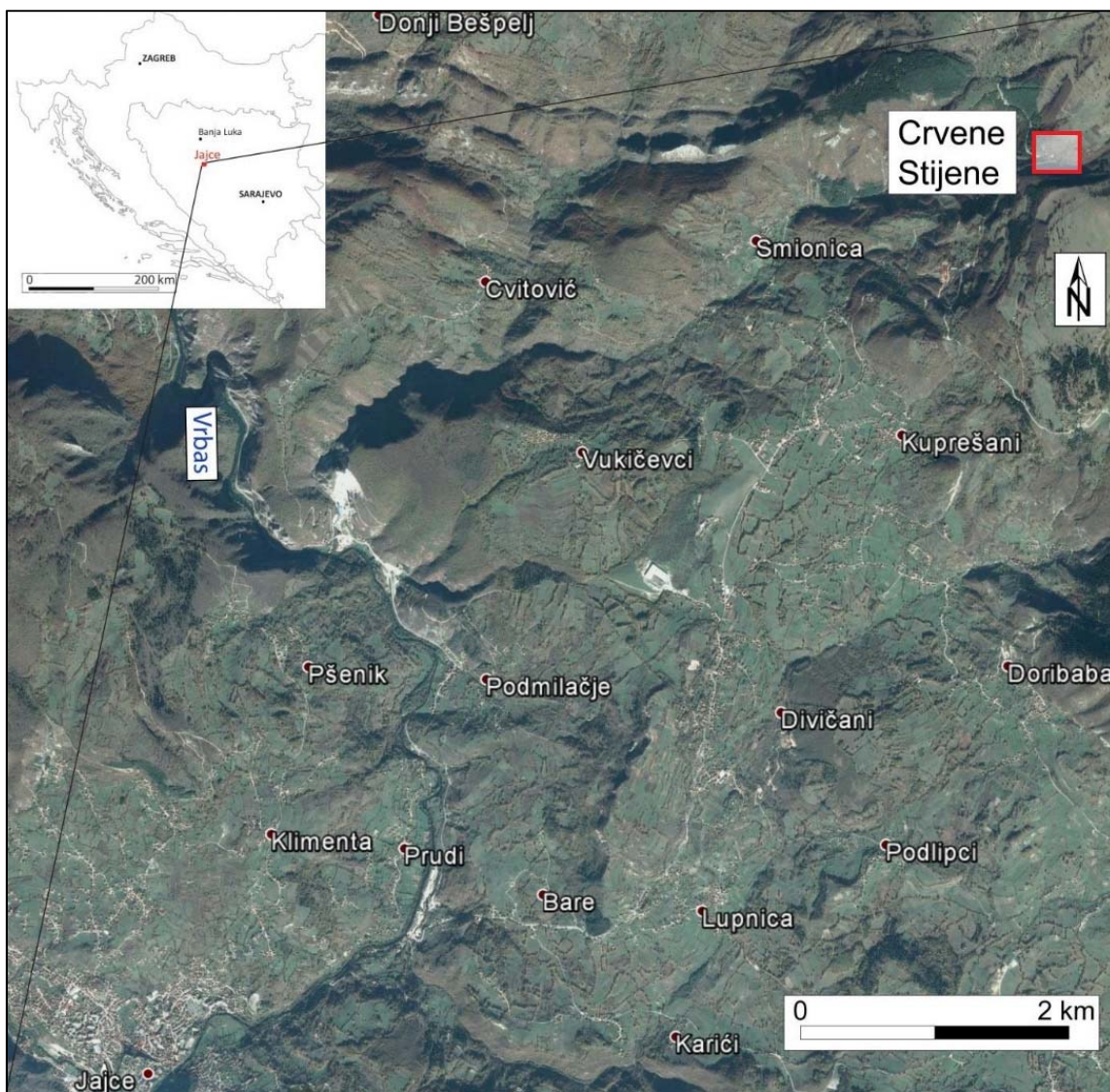
2.1. Geografske karakteristike

Istraživano područje *Crvene stijene* nalazi se u jugozapadnom dijelu središnje Bosne, 10-ak km sjeveroistočno od Jajca (Slika 2.1). Jajce je glavni administrativni centar te njemu gravitiraju svi značajniji gospodarski subjekti šireg područja (DRAGIČEVIĆ, 1981). Od drugih mjesta ističu se: Podmilačje, Divičani, Kuprešani, Podlipci, Doribaba, Bistrica, Vukićevci, Poljane i Bešpelj.

Područjem prolazi cesta koja od Jajca vodi prema Bešpelju, poznatom lokalitetu ležišta boksita. Na tom lokalitetu se odvaja i cesta za Poljane, gdje se također nalazi važno nalazište boksita. Ovo je područje udaljeno 10-ak km od prometnica Sarajevo-Banja Luka te Jajce-Bihać što ga čini dobro prometno povezanim s ostatkom šireg područja, a što je važno za transport boksitne rude. Rubnim dijelovima istraživanog terena protječu rijeke Vrbas i Ugar te čine sjevernu i sjeveroistočnu granicu promatranog područja. Zapadnim dijelom istraživanog terena protječe Crna rijeka.

Područje istraživanja je velikim dijelom prekriveno gustim i visokim šumama. Najčešće su smreka, jela i bukva koje predstavljaju veliko prirodno i privredno bogatstvo. Zbog bujne vegetacije i povoljnih prirodnih staništa, ovo područje nastanjuje raznovrstan životinjski svijet (DRAGIČEVIĆ, 1981).

Tijekom posljednjeg rata nastupila je značajna migracija stanovništva u veće gradove, a preostalo stanovništvo je zaposleno u malobrojnim preostalim gospodarskim subjektima ili se bavi stočarstvom i poljoprivredom.



Slika 2.1. Geografski položaj istraživanog područja (Google Earth).

2.2. Morfološke karakteristike

Morfološke značajke svrstavaju ovo područje u brdsko-planinski tip reljefa. Šire područje lokaliteta obuhvaća jugozapadnu, relativno strmu, ali morfološki zaravnjenu padinu planine Hranče, odnosno njenog dijela koji se naziva Ovčine (DRAGIČEVIĆ, 1981; DRAGIČEVIĆ et al., 2015). Nadmorska visina na istraživanom terenu se kreće u rasponu od 900 pa do 1200 metara, dok je najviši vrh Ovčine s nadmorskom visinom od 1208 metara.

Morfološki oblici koje susrećemo na terenu u direktnoj su vezi s litološkim karakteristikama stijena kao i s tektonskim sklopom. Razlikuju se tri osnovne cjeline:

- tereni izgrađeni od donjokrednih i cenomanskih vapnenaca;
- tereni izgrađeni od gornjokrednih klastita;
- tereni izgrađeni od neogenskih klastita.

Tereni koji su izgrađeni od donjokrednih i cenomanskih vapnenaca čine velik dio istraživanog područja. Procesi okršavanja stvorili su mnogobrojne morfološke oblike poput vrtača, škrapa i dolina, a vezani su upravo za područja koja su izgrađena od vapnenačkih stijena. Ova su područja obično prekrivena šumama. Nalaze se između rijeka Vrbas i Ugar na sjeveru te boksitonosnog područja Liskovice i Bešpelja na jugu. Drugu morfološku jedinicu čine gornjokredni klastiti koji zauzimaju najveći dio istraživanog prostora. To su uglavnom blago zaravnjene površine omeđene plićim ili dubljim potočnim dolinama. Na tom području prevladavaju livade i pašnjaci, a tek manji dio je pokriven šumama. To se područje prostire od Liskovice, Vlasinja i Bareva na zapadu, preko Bešpelja i Crvenih stijena u centralnom dijelu pa sve do Poljana i kanjona rijeke Ugar na istočnom i jugoistočnom dijelu istraživanog terena. U treću morfološku jedinicu spada neogenski bazen Jajca te nekoliko manjih izoliranih erozijskih ostataka neogenskih naslaga. Od reljefnih oblika susrećemo dublja korita potoka, oštre vrhove te doline s obradivim zemljištem (DRAGIČEVIĆ, 1981).

2.3. Klimatske i hidrološke karakteristike

Na klimatske značajke područja veliki utjecaj imaju geografski položaj te lokalni morfološki faktori. Lokalitet *Crvene stijene* nalazi se u području u kojem prevladava umjerena kontinentalna klima. Na užem području, gdje nadmorska visina premašuje 1000 metara, klima je oštra planinska s dugim i hladnim zimama. Padaline su najčešće tijekom proljeća i kasne jeseni, a tijekom zime izražene su niske temperature koje se spuštaju i do -20 °C. Zime karakterizira i velika količina snježnih padalina. Najhladniji mjesec je siječanj sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka od -0,8 °C, a najtopliji srpanj sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka od 19,2 °C (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Jajce>).

Šire područje istraživanja pripada krškom hidrološkom režimu. Područje je izgrađeno većinom od karbonatnih stijena koje su izrazito propusne te ovo područje obiluje velikom količinom podzemne vode. Međutim, razina podzemne vode se nalazi na puno većoj dubini nego što je područje koje je predviđeno za istraživanje. Na dijelu terena gdje se na površini nalaze fliš i miocenski klastiti onemogućeno je procjeđivanje vode u podzemlje zbog slabe propusnosti tih stijena. Za vrijeme jakih oborina na tim naslagama dolazi do

stvaranja jakih bujičnih tokova koji obično presuše nakon prestanka padalina (DRAGIČEVIĆ, 1981).

Zbog tektonskog položaja istraživanog prostora i jake okršenosti karbonata ne može se očekivati formiranje izvora i značajnijih površinskih tokova. Prisutni su tek povremeni površinski tokovi koji su aktivni samo za vrijeme velikih količina padalina te u vrijeme topljenja snježnog pokrivača.

Značajniji stalni površinski tokovi na istraživanom području su rijeka Vrbas s pritokom Plivom, rijeka Ugar koja je desni pritok Vrbasa te Crna rijeka. Navedeni vodotoci često teku dolinama kanjonskih obilježja, a posebno u područjima gdje teren izgrađuju karbonatne stijene (KLJAJIĆ, 1986).

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Područje Jajca predmet je brojnih geoloških istraživanja zbog raznovrsnih pojava i ležišta mineralnih sirovina, a posebno boksita. Najveći broj geoloških istraživanja usmjeren je na pronalaženje novih ležišta boksita koji za šire područje Jajca predstavljaju izrazito važnu gospodarsku i ekonomsku komponentu.

Područje je istraživano različitim metodama, od kojih se posebno ističu rudarska istraživanja koja su se očitovala u izradi niskopa, istražnih okana, raskopa i plitkog bušenja neposredno iza izdanaka boksita (DRAGIČEVIĆ, 1981). Gospodarski najvažnija ležišta boksita na promatranom području su lokaliteti oko Jajca: Poljane, Crvene stijene, Bešpelj i Liskovica. Osim ležišta boksita treba spomenuti i ležišta arhitektonsko-građevnog kamena Plivit na lokalitetu Divičani te tehničko-građevnog kamena na lokalitetu Podmilačje.

Povijest istraživanja ovog područja seže još u vrijeme Austro-Ugarske kada je skupina geologa ustanovila tek osnovne podatke o geološkim odnosima na promatranom području. Međutim, prvi značajni korak u detaljnoj razradi i opisu geoloških odnosa na ovom području napravili su MARINKOVIĆ & AHAC (1979) izradom lista Jajce Osnovne geološke karte 1:100 000 te MARINKOVIĆ & ĐORĐEVIĆ (1981), izradom tumača za spomenutu kartu. Nakon toga uslijedila su brojna znanstvena istraživanja koja su poglavito bila usmjerena na određivanje geneze boksita i omogućavanje učinkovitijeg pronalaska ležišta u boksitonosnom području Jajca. U tom okviru posebno treba izdvojiti znanstvene radove: DRAGIČEVIĆ (1981), PAPEŠ (1984), DRAGIČEVIĆ (1987), DRAGIČEVIĆ & VELIĆ (2002) te DRAGIČEVIĆ & VELIĆ (2006).

Napretkom površinske eksploatacije boksita na tom području ustanovljeni su reprezentativni litološki profili koji obuhvaćaju podinske vapnence, boksit te krovinske naslage od kojih se ističu breče, kalkareniti i lapori. Obavljena su i opsežna biostratigrafska istraživanja na tom području te je ustanovljeno da vapnenci potječu iz prijelaza iz donjeg u gornji alb, boksiti su nastali tijekom cenomana, turona, konijaka i donjeg santona, dok je taloženje krovinskih naslaga započelo tijekom gornjeg santona s prijelazom u donji kampan (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006).

Brojna i opsežna istraživanja koja su provedena na širem području Jajca u svrhu pronalaska ležišta brojnih mineralnih sirovina, prvenstveno boksit, arhitektonsko-građevni te tehničko-građevni kamen dala su izvrsne rezultate na temelju kojih se već duže vrijeme na tom prostoru odvija njihova eksploatacija. Posljednjih godina se u području *Crvene*

stijene istražuje AG-K. U sklopu istraživanja izrađen je *Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena u istražnom prostoru Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). U svrhu izrade elaborata i proračuna rezervi AG-K izrađene su 4 istražne bušotine, koje su detaljno interpretirane. Nadalje, velika količina prikupljenih podataka omogućila je izradu prvog 3D geološkog modela istražnog prostora Crvene stijene (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016) koji će poslužiti kao podloga za daljnja istraživanja u ovom području. Smatra se da će upravo buduća istraživanja, a i vjerojatna eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena na lokalitetu *Crvene stijene* biti od velikog gospodarskog i ekonomskog značaja za šire područje Jajca.

4. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Geološka građa u boksitonošnom području Jajca prikazana je na geološkoj karti, geološkom profilu te geološkom stupu (Slika 4.1). Vidljivo je da šire područje izgrađuju naslage stratigrafskog raspona od donje krede do kvartara. Prevladavaju naslage donje i gornje krede te naslage miocena, a riječ je dominantno o karbonatima i karbonatnim klastitima. Tektonski odnosi su zamršeni. U daljnjem tekstu slijedi kratki pregled geoloških karakteristika šireg područja istraživanja te detaljan osvrt na lokalitet *Crvene stijene*.

4.1. Stratigrafske karakteristike šireg područja

Najstarije naslage na širem području su donjokredne starosti, a kontinuirano ih slijede naslage gornje krede, odnosno cenomana. Naslage donje i gornje krede su dominantno vapnenci, koji su na osnovi brojnih nalaza foraminifera i algi te na osnovi superpozicijskih odnosa na terenu izdvojeni u nekoliko kronostratigrafskih članova (MARINKOVIĆ & AHAC, 1979; DRAGIČEVIĆ, 1981; DRAGIČEVIĆ, 1987; DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006; DRAGIČEVIĆ et al., 2015):

- valendis – barem (K_1^{1-3})
- barem – apt (K_1^{3-5})
- alb – cenoman ($K_{1,2}$)
- senon (konijak, santon, kampan, mastriht) (K_2^{4-6})

Sljedeće prema zastupljenosti su miocenske naslage, koje su transgresivne na raznolike starije stijene. Predstavljene su konglomeratima, glinama, pješčenjacima i laporima, a mjestimično se javljaju i proslojci ugljena. Na terenu se nalaze i kvartarne naslage, ali su one vrlo rijetko zastupljene i neznatne debljine.

Opisi stratigrafskih značajki preuzeti su iz tumača osnovne geološke karte mjerila 1:100 000, list Jajce (MARINKOVIĆ & ĐORĐEVIĆ, 1981; DRAGIČEVIĆ, 1981).

Valendis-barem (K_1^{1-3})

Najstarije naslage na širem području su vapnenci valendisa i barema. Nalaze se u sjevernom dijelu istraživanog područja, u kanjonu rijeke Ugar, sjeverozapadno od lokaliteta *Crvene stijene*. To su dobro uslojeni pločasto-bankoviti mikrokristalasti vapnenci svjetlosive do bijele boje. Rijetko su prisutni i slojevi te leće dolomitiziranih vapnenaca i dolomita. Sedimentacijski slijed ima debljinu od oko 500 metara te sadrži različite tipove plitkovodnih vapnenaca. Paleontološkim istraživanjima utvrđeni su mikrofosili foraminifera i algi, na temelju kojih je definirana starost naslaga.

Barem-apt (K_1^{3-5})

Naslage ove starosti najveću površinu zauzimaju u sjevernom i jugozapadnom dijelu terena. To su dobro uslojeni pločasti vapnenci čija boja varira od sivo smeđe preko svijetlosive do tamnosive boje. Leže kontinuirano na prethodno opisanim naslagama. Ukupna debljina ovih naslaga iznosi oko 450 metara. Sadrži raznovrsne tipove plitkomorskih vapnenaca, uz rijetke proslojke i slojeve kasnodijagenetskih dolomita. Među mikrofosilima dominiraju salpingoporele i orbitoline, dok kod makrofosila dominiraju nerinee i primitivni rudisti. Na temelju navedenih fosilnih zajednica utvrđeno je da naslage pripadaju gornjem baremu i aptu te donjem dijelu alba.

Alb-cenoman ($K_{1,2}$)

Naslage alb-cenomanske starosti leže kontinuirano na ranije opisanim naslagama. To su različiti tipovi plitkovodnih vapnenaca bijele, ružičaste do svijetlosive boje. Uz vapnence podređeno se javljaju i slojevi dolomita. Ovaj stratigrafski član odlikuje se dobrom uslojenošću te mu ukupna debljina iznosi oko 500 metara. Stratigrafska pripadnost određena je na temelju brojnih ostataka algi, foraminifera i rudista.

Senon (konijak, santon, kampan, mastriht) (K_2^{4-6})

Naslage ove starosti pronađene su u središnjem i istočnom dijelu šireg područja. Najvećim dijelom to su karbonatni klastiti te su najzastupljenije stijene na istraživanom području. Karbonatni klastiti su poznatiji pod nazivom *fliš* koji ukazuje na njihovo turbiditno podrijetlo.

Ovaj stratigrafski član se odlikuje velikom raznovrsnošću litofacijesa, od kojih prednjače vapnenačke breče i konglomerati, kalkareniti, lapori te glinoviti mikriti. Litotipovi

su karakterizirani brзом vertikalnom i dijelom horizontalnom izmjenom. Donji dio spomenutog stratigrafskog člana čine krupnozrnati litotipovi koji su transgresivni i diskordantni na naslage starosti alb-cenoman. Od krupnozrnatih litotipova uglavnom prevladavaju debeli slojevi karbonatnih breča koji se nalaze kao neposredna krovina ležišta boksita i predstavljaju kvalitetan arhitektonsko-građevni kamen. Za gornji dio ovog stratigrafskog člana tipični su litofacijesi s turbiditnim obilježjima i brojnim eksternim i internim teksturama koje priliče turbiditima. Debljina stratigrafskog člana na nekim mjestima doseže i do preko 1000 metara, a naslage su pod utjecajem tektonike intenzivno borane i rasjednute. Starost naslaga utvrđena je na temelju brojnih fosilnih ostataka, među kojima se ističu rudisti, globigerine i globotrunkane.

Paleocen (Pc)

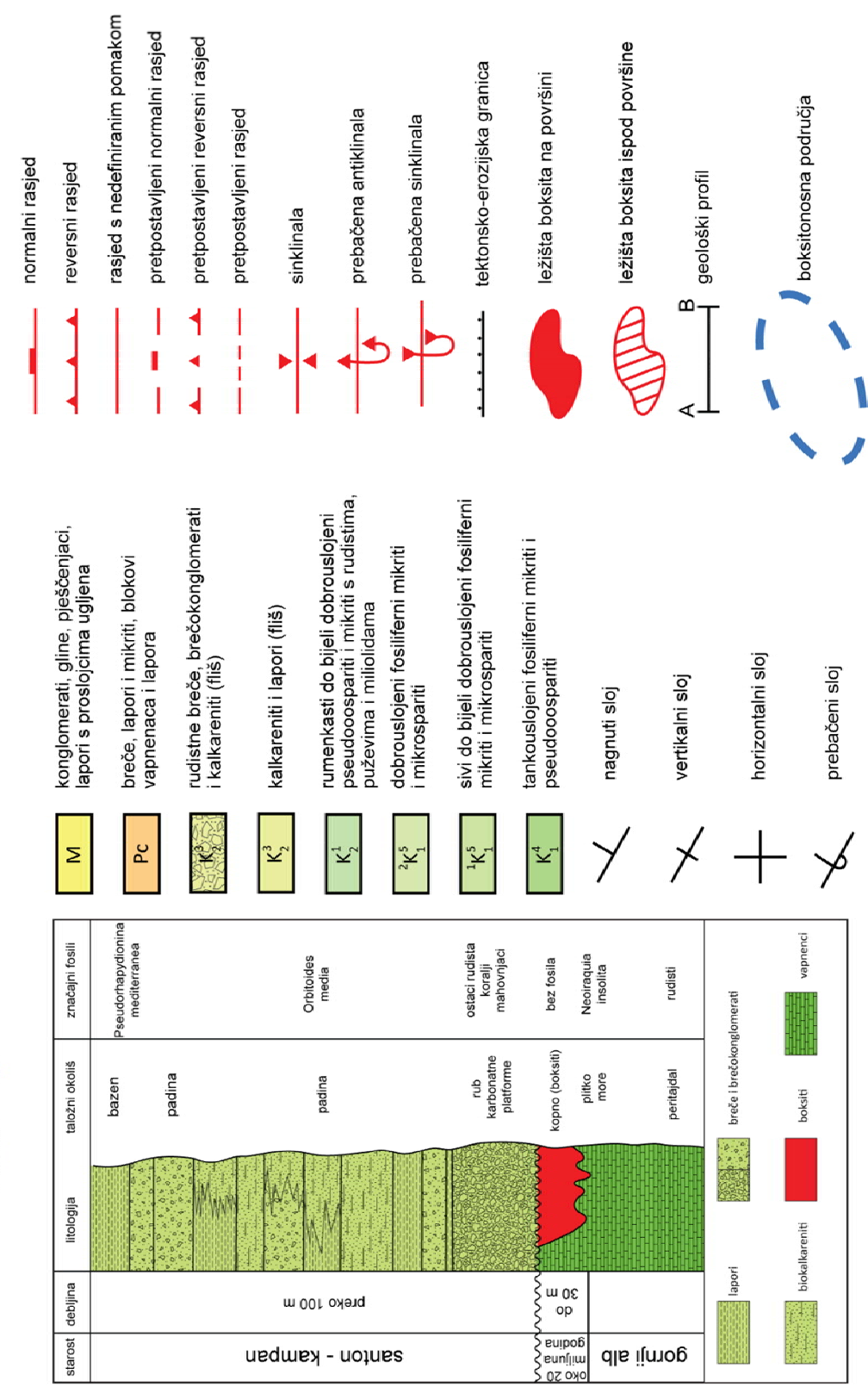
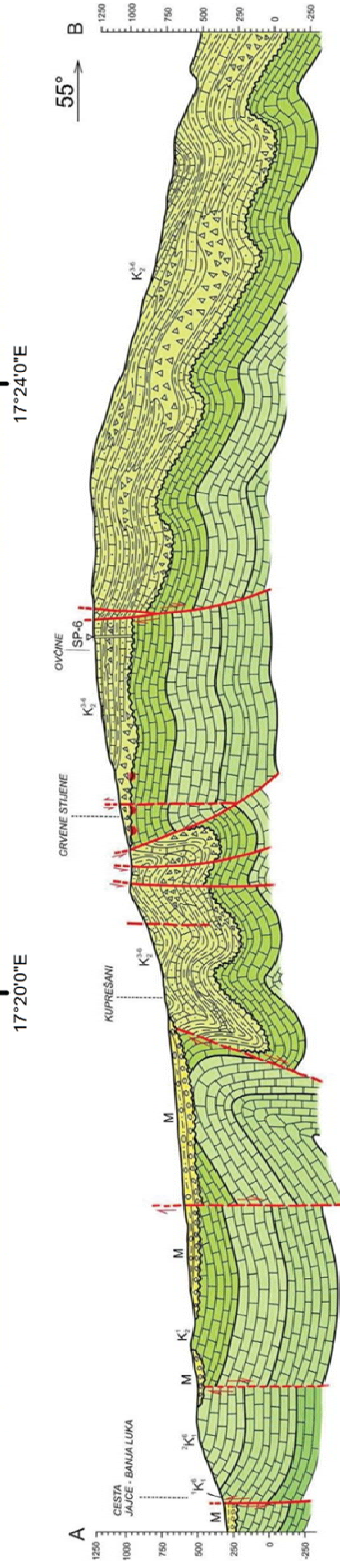
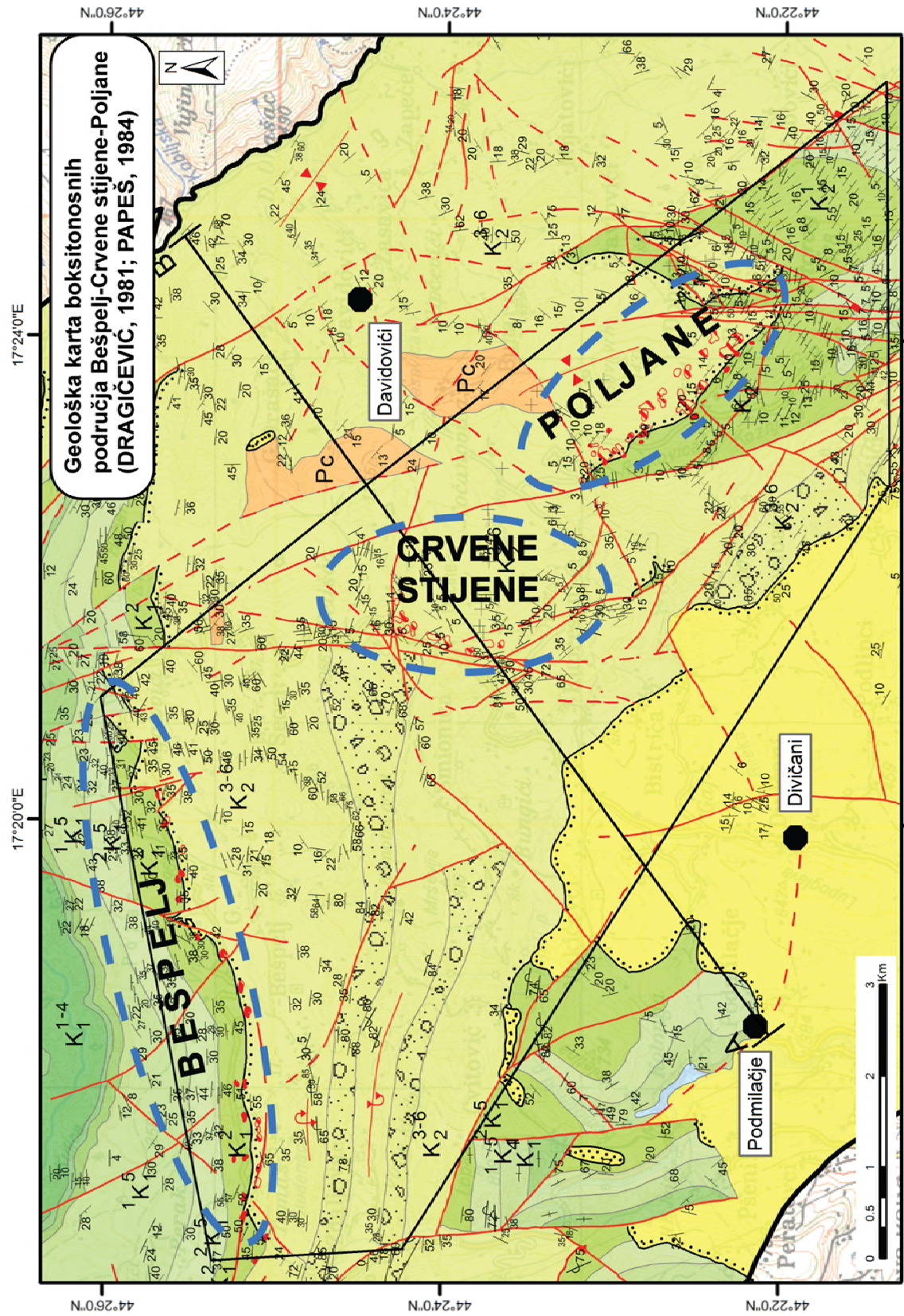
U najvišim dijelovima prethodno opisanog senonskog slijeda zapažen je nedostatak rudistnih breča i sve veće učešće sitnozrnatih komponenata – lapora i kalkarenita (DRAGIČEVIĆ, 1981). Na temelju zajednice vapnenačkog nanoplanktona (J. BENIĆ neobjavljeno, iz DRAGIČEVIĆ, 1981) za pretpostaviti je da se sedimentacija nastavila i u paleogen te je tako taj dio naslaga označen kao paleocen (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984).

Miocen (M)

Miocenske naslage transgresivne su na različite starije naslage. Predstavljene su konglomeratima, glinama, pješčenjacima i laporima, a javljaju se i proslojci ugljena. U području Bešpelja nalaze se pretaložena ležišta gornjokrednih boksita između vapnenaca i naslaga miocena. Debljina ovih naslaga je oko 200 m. U gornjem dijelu miocenskih naslaga nalaze se i slatkovodni vapnenci koji sadrže brojnu faunu mekušaca (*Melanopsis*, *Planorbis* i dr.) (DRAGIČEVIĆ, 1981).

Kvartar

Naslage kvartarne starosti su rijetko zastupljene, a riječ je o manjim siparima, nanosima rastrošenih starijih stijena i pojavama zemlje crvenice. Sipari su najviše prisutni uzduž dubokih kanjonskih dolina rijeka Vrbas i Ugra, a nastaju i recentno. Zbog male debljine i rasprostranjenosti nisu posebno izdvajani na geološkoj karti.



Slika 4.1. Geološka karta boksitonosnih područja Bešpelj-Crvene stijene-Poljane, geološki stup i legenda.

4.1.1. Geološke karakteristike ležišta boksita

U području Crvenih stijena postoje mnogobrojna ležišta i pojave kvalitetnog crvenog boksita koji se nalazi na jako okršnim cenomanskim vapnencima (krški boksiti). Cenomanski vapnenci leže kontinuirano na starijim naslagama donje krede. Naslage su uniformno razvijene, a riječ je o svijetlosivim do sivim plitkomorskim vapnencima kao najmlađim taložnim sekvencama istaloženim na sjevernom rubu Jadranske karbonatne platforme (DRAGIČEVIĆ, 1981; 1987). Uz neposredni kontakt s ležištima vapnenci su „uprskani“ boksitom, a time i rumenkaste boje.

Različiti tipovi krednih vapnenaca produkt su ujednačene marinske sedimentacije s neznatnim promjenama. Sedimentacija se odvijala na karbonatnoj platformi koja u to vrijeme egzistira u ovome području. Uglavnom je riječ o plitkim marinskim sredinama s bujnim životom koje su producirale različite vrste biogenih vapnenaca. S obzirom na tip sedimenata i njihov fosilni sadržaj određeno je da se radi o karbonatnom šelfu (DRAGIČEVIĆ, 1981).

Na geološkom stupu (Slika 4.1) vidljiv je nedostatak sedimenata turona, što se objašnjava događajima krajem cenomana kada je ovo područje izdignuto i egzistira kao kopnena površina. Pokreti koji su doveli do formiranja kopna nisu izvršili značajna tektonska preoblikovanja nastalih sedimenata, što potvrđuje njihova velika homogenost u strukturnom smislu. DRAGIČEVIĆ (1981) u svome radu ističe da je do izdizanja vjerojatno došlo uz vertikalne i subvertikalne rasjede te je na taj način nastala zaravnjena kopnena površina izgrađena od vapnenaca cenomana. Tako je novonastalo kopno za vrijeme turona bilo izloženo kemijskoj i mehaničkoj eroziji, odnosno procesima okršavanja, koji su glavni akteri u modeliranju reljefa.

Stvoreni su krški oblici, najčešće vrtače i nepravilna udubljenja u kojima se deponirao materijal iz kojeg je kasnije nastao boksit. Ostalo je neriješeno pitanje porijekla i transporta materijala, ali se može pretpostaviti donos materijala putem vjetra (vulkanski pepeo ili neki drugi materijal s kopna). Teorija o netopivom ostatku vapnenaca je malo vjerojatna zbog male količine netopivog ostatka donjokrednih vapnenaca. Smatra se da je fini klastični materijal donesen posredstvom vjetra na postojeće kopno s već razvijenim krškim reljefom. Materijal je bio jednolično raspoređen po kopnenoj površini, a povremenim kišama i putem vjetra je transportiran u negativne forme reljefa. One su s vremenom djelomično ili potpuno zapunjene tim materijalom, a iz njih su nastala ležišta boksita. DRAGIČEVIĆ (1981) smatra da se formiranje boksita odvijalo relativno brzo jer se već u krovinskim naslagama nalaze

naslage i blokovi pretaloženog boksita. On je kao već formiran bio podvrgnut procesima mehaničkog razaranja i time sudjelovao u izgradnji krovinskih klastičnih naslaga.

Postojeća ležišta boksita su različitih dimenzija i oblika. Dužina najvećih doseže do nekoliko stotina metara, širina i do stotinjak metara, dok debljine dosežu i do 40 m. Boksitna tijela su različitih oblika: nepravilna, izdužena u obliku kanala, lećasta, spljoštena, zdjeličasta i sl., a u direktnoj su vezi s negativnim formama paleoreljefa i s količinom akumuliranog materijala iz kojeg se formirao boksit.

Kvalitetu boksita određuje njegov kemijski sastav. Boksiti s područja *Crvenih stijena* imaju visoki sadržaj Al_2O_3 (oko 57 %) i niski sadržaj SiO_2 (oko 2 %) te se može zaključiti da je riječ o visoko kvalitetnim boksitima. Nadalje, imaju visoki sadržaj bemita (oko 66 %), te niski sadržaj kaolinita (oko 3,90 %), iz čega proizlazi da je riječ o bemitskim boksitima. Gotovo sva ležišta imaju slične karakteristike i zahvaljujući tome je područje *Crvenih stijena* od velikog gospodarskog značaja. Također, s napretkom istraživanja i eksploatacije postoji velika izglednost pronalaska novih ležišta, posebno na području sjeverno od istražnog prostora.

4.1.2. Geološke karakteristike arhitektonsko-građevnog kamena

Ležište arhitektonsko-građevnog kamena (AG-K) po svojoj genezi pripada ležištima sedimentnog ciklusa. Smješteno je u bazalnom dijelu transgresivnog slijeda sedimenata konijak-mastrihtske starosti koji se sastoji od dva debela masivna sloja:

- krupnoklastičnih karbonatnih breča definiranih kao I. produktivni sloj
- breča do brečokonglomerata koje čine II. produktivni sloj

Navedeni sedimenti predstavljaju početak transgresivnog slijeda te leže blago diskordantno (do 5°) preko plitkovodnih marinskih karbonata najmlađe donje krede ili cenomana (Slika 4.1) Diskordancija između ovih dviju jedinica predstavlja kopnenu fazu koja je trajala oko 20 milijuna godina, o čemu svjedoči nedostatak sedimenata turona u ovome području, kao i brojna ležišta boksita. Krovinu ležišta boksita čini upravo I. produktivni sloj karbonatnih breča.

Prvi produktivni sloj je hipsometrijski i stratigrafski najniže položen, a čine ga krupnozrnate karbonatne breče. Petrografski, riječ o monomiktnim karbonatnim brečama, svijetlo-crvenkaste do ružičaste boje. Klasti su izgrađeni od podinskih vapnenaca te od fragmenata rudista koji potječu od rudistnih biohermi. Veličina klasta je centimetarskih do metarskih dimenzija (Slika 4.2). Uglavnom su uglati ili slabo zaobljeni, što ukazuje na nikakav ili gotovo nikakav transport klasta. Vezivo je karbonatno, veličine pijeska do mulja te vrlo dobro ispunjava prostore između klasta. U njemu se mogu pronaći ostaci marinskih fosila. Naknadni procesi cementacije i diageneze doveli su do nastanka čvrste i homogene stijene masivnog habitusa. Pretpostavka je da je ovaj sloj nastao *in situ* za vrijeme kopnene faze, a da se cementacija klasta dogodila u morskoj sredini nakon transgresije (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). Generalno je riječ o jednom sloju koji može imati debljinu i do 30 metara, a prisutan je u cijelom ležištu.

Breče i brečokonglomerati koje čine II. produktivni sloj sadrže klaste manjih dimenzija u odnosu na I. produktivni sloj (Slika 4.3). Odlikuju se slabom zaobljenošću ili uglatošću klasta te imaju lošu sortiranost, što ukazuje na kratki transport. Vjerojatno je riječ o gravitacijskim tokovima koji su s obližnjeg kopna u tek formirani bazen transportirali fragmente vapnenaca najmlađe donje krede (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

Krovinske naslage ležišta AG-K čini izmjena kalkarenita, lapora, kalcitičnih lapora i karbonatnih breča (Slika 4.4). Izmjena ovih litotipova je brza i česta kako vertikalno tako i horizontalno. Slojevi breča nerijetko imaju debljinu i preko 2 metra. U takvim slučajevima oni mogu biti interesantni i kao ukrasni kamen. Međutim, breče u ovom dijelu naslaga nisu

sa sigurnošću definirane kao proizvodni sloj s obzirom da se nalaze na različitim hipsometrijskim položajima. Stoga je njihova korelacija vrlo upitna. Također, sa stajališta eksploatacije one pripadaju jalovinskim naslagama.



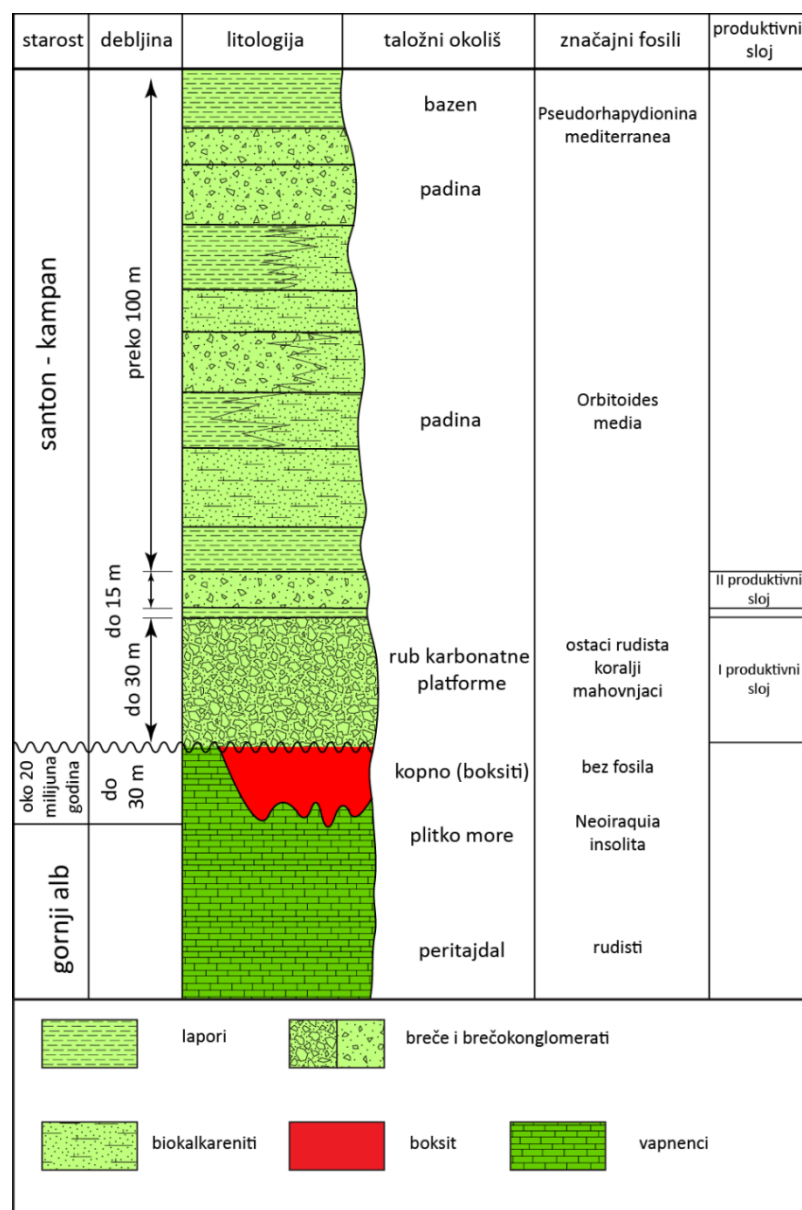
Slika 4.2. I. produktivni sloj karbonatnih breča (obratiti pažnju na veličinu klasta).



Slika 4.3. Zasjek u II. produktivnom sloju karbonatnih breča.

Prilikom izrade ovoga rada najveću pozornost privukli su kalkareniti kao čest i lako prepoznatljiv litološki član u ovom dijelu naslaga. Idući kroz geološki stup vertikalno lako se može uočiti njegovo ponavljanje, odnosno izmjena s ostalim litotipovima u gornjem dijelu stupa. Redovito su dobro uslojeni i znatnog horizontalnog rasprostranjenja. Debljine slojeva variraju od centimentarskih do metarskih dimenzija. Bitno je istaknuti da su često bočni ekvivalenti karbonatnih breča.

Ovakvi litološki odnosi ustanovljeni su u cijelom području istraživanja, ali i mnogo šire, odnosno u cijelom boksitonosnom području *Crvenih stijena*. Geološke značajke ležišta AG-K kao što su litologija, starost, taložni okoliši, debljine, značajniji fosilni sadržaj i izdvojeni produktivni slojevi prikazani su na shematskom litostratigrafskom stupu područja *Crvenih stijena* (Slika 4.4). U daljnjem tekstu slijedi kratki pregled geoloških događaja koji su imali ulogu u formiranju ležišta AG-K i krovinskih naslaga ležišta.



Slika 4.4. Detaljni litostratigrafski stup ležišta boksita i AG-K Crvene stijene (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

Krajem konijaka dolazi do značajnijih tektonskih pokreta i prestanka kopnene faze, a time i do promjene tipa sedimentacije. Izdignuto kopno bilo je zahvaćeno transgresijom, došlo je do produbljavanja bazena i taloženja klastičnih naslaga. One su dijelom produkt rudistnih grebena, a dijelom su pelagičke naslage (DRAGIČEVIĆ, 1981). Kako je već ranije navedeno, u bazalnom dijelu transgresivnog slijeda nalaze se dominantno karbonatne breče. Fragmenti breča su od ljuštura rudista i donjokrednih vapnenaca, a vezivo je karbonatno. Glavni producenti materijala za breče bili su rudistni grebeni, a imali su ulogu i u formiranju kalkarenita koji se superpozicijski nalaze višlje u stupu. Grebeni su imali i veliku ulogu u diferencijaciji sedimentacijskog prostora te formiranju različitih facijesa, kao što su

grebenski, prigrebenski, *scaglia* i fliški facijes. Navedeni facijesi se mogu lateralno i vertikalno izmjenjivati.

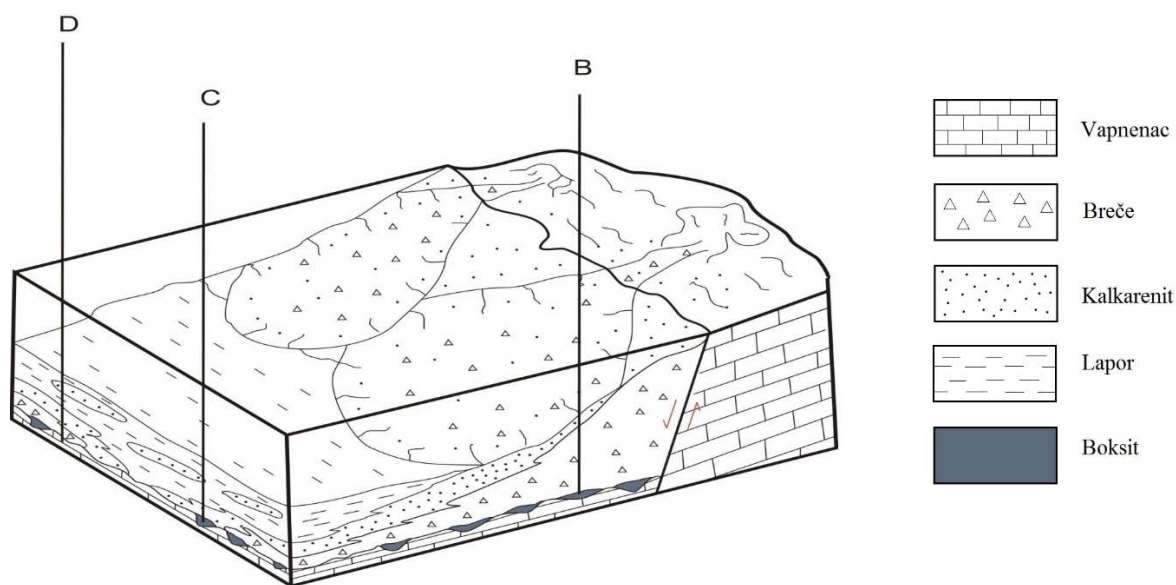
DRAGIČEVIĆ (1981) ističe da je prilikom sedimentacije gornjokrednih klastičnih naslaga, a naročito njihovog bazalnog dijela znatan broj ležišta boksita djelomično ili potpuno uništen s obzirom da se vrlo često u klastičnim naslagama nalaze fragmenti i blokovi pretaloženog boksita. Fragmenti boksita nalaze se i visoko u stupu, što dovodi do pretpostavke da su već formirana ležišta boksita zajedno sa svojom krovinom bila izložena razaranju i pretaloživanju. Sasvim sigurno se iz navedenog može zaključiti da su u vrijeme taloženja klastičnih naslaga vladali intenzivni tektonski pokreti. Stoga treba istaknuti da bi istraživanja u ovom smjeru omogućila lakše pronalaženje ležišta boksita duboko pod krovinom i daleko od izdanaka na površini.

Složenim prilikama za vrijeme sedimentacije karbonatnih klastita svjedoče i izmjene različitih litotipova koji čine krovinu AG-K. Na cijelom području ustanovljena je brza i česta lateralna i vertikalna izmjena kalkarenita, lapora, kalcitičnih lapora i karbonatnih breča. Za gornji dio ovog stratigrafskog člana tipični su litofacijesi s turbiditnim obilježjima i brojnim eksternim i internim teksturama koje priliče turbiditima (Slika 4.5).



Slika 4.5. Izdanak *Bouma* sekvencije gornjokredne starosti nedaleko od *Crvenih stijena*.

S jačanjem tektonske aktivnosti došlo je i do porasta mehaničkog razaranja starijih stijena, što je rezultiralo nakupljanjem velike količine materijala na padinama i njihovim rubovima. Taj krupnoklastični materijal je u obliku debritnih tokova transportiran u donje dijelove padina i bazena putem morfoloških udubljenja i priobalnih lepeza (Slika 4.6) (VLAKIĆ, 2012). Kalcitični lapori su u mlađem dijelu stupa dobro uslojeni i imaju veliko horizontalno rasprostranjenje. Predstavljaju završne intervale turbiditnih slojeva, što svjedoči o uspostavljanju pravih bazenskih uvjeta.



Slika 4.6. Sedimentološka interpretacija taložnog okoliša gornjokrednih klastičnih naslaga. B, C, D su bušotine na temelju kojih je napravljena interpretacija (VLAKIĆ, 2012).

Nakon taloženja klastičnih sedimenata dolazi do najintenzivnijih tektonskih pokreta koji su se vjerojatno odvijali u više faza tijekom paleogena. Dokazi se mogu pronaći u brojnim rasjedima, borama i navlakama. Tektonski događaji imali su utjecaj i na novoformiranom kopnu, gdje su odigrali ulogu u formiranju izoliranih bazena u kojima se odvijala slatkovodna sedimentacija. Na današnji izgled terena utjecali su erozija i neotektonska aktivnost (DRAGIČEVIĆ, 1981).

4.2. Strukturne karakteristike šireg područja

Tektonski odnosi na širem području Jajca su vrlo složeni. Sukladno podacima iz Osnovne geološke karte 1:100 000, list Jajce (MARINKOVIĆ & AHAC, 1979) područje istraživanog lokaliteta *Crvene stijene* pripada strukturnoj jedinici Ugar-Bešpelj-Vlašić. Na priloženoj geološkoj karti (Slika 4.1) mogu se uočiti brojni izmjereni podaci o položaju slojeva te na terenu utvrđenih rasjeda koji svjedoče o intenzivnoj tektonskoj aktivnosti koja se odvijala u geološkoj prošlosti na tom području, a traje i danas.

U strukturnom pogledu mogu se razlikovati dva područja. Na istoku promatranog terena nalazi se boksitonosno područje koje obuhvaća lokalitete *Crvene stijene* i *Poljane*. U tom području strukture se odlikuju dinaridskim pružanjem, sjeverozapad-jugoistok. Područje karakteriziraju blage bore i normalni vertikalni do subvertikalni rasjedi. Svakako treba izdvojiti sinklinalu na lokalitetu *Poljane* koja je najmarkantnija struktura na tom području i odlikuje se blago položenim krilima, u rasponu od 10 do 30°. Prebačene bore se nalaze u sjeveroistočnom dijelu tog područja koje je intenzivnije borano.

Drugo područje na istraživanom terenu se nalazi na zapadnom dijelu, gdje se nalazi boksitonosni predio *Bešpelja*, a ono je intenzivnije tektonski poremećeno. Tu je pružanje glavnih struktura, odnosno bora i rasjeda istok-zapad. Prebačena sinklinala koja se nalazi na području *Bešpelja* svjedoči o zamršenim tektonskim odnosima koji na tom području vladaju. Rasjedi su najčešće normalni, poprečni i dijagonalni. Nekoliko rasjeda na tom području ima značajne pomake, što uvelike pridonosi činjenici da je tektonska aktivnost bila jako izražena.

4.2.1. Strukturne karakteristike *Crvenih stijena*

Na temelju rezultata detaljnog geološkog kartiranja na površini terena i u podzemnim rudarskim radovima te interpretacijom rezultata bušenja interpretirani su tektonski odnosi u ležištu AG-K *Crvene stijene*. Oni su grafički prikazani na geološkoj karti i geološkom profilu (Slika 4.1), a opis je temeljen na DRAGIČEVIĆ et al. (2015).

Temeljno strukturno obilježje ležišta i njegovog neposrednog okruženja su rasjedi. Ustanovljeno je nekoliko rasjeda različitog karaktera koji su bitni za strukturne odnose u ležištu. To su međusobno približno paralelni rasjedi pružanja sjever (sjeveroistok) - jug (jugozapad). Idući generalno od zapada prema istoku prva tri rasjeda su reversna, četvrti je normalni, dok peti, dakle najistočnije položeni rasjed po pružanju mijenja karakter pa u većem sjevernom dijelu pružanja ima reversni karakter dok u južnom dijelu pružanja

poprima normalni karakter. Ovakve promjene karaktera rasjeda po pružanju rezultat su rotacije, odnosno škarastog kretanja krila rasjeda. Ovakva su kretanja vrlo izvjesna i uz druge rasjede o čemu treba voditi računa kod planiranja eksploatacije. Uz drugi rasjed, u zoni probne eksploatacije, uočen je lijevi tektonski transport po pružanju. Iznose kretanja po pružanju nije bilo moguće kvantificirati u ovoj fazi otkrivenosti terena.

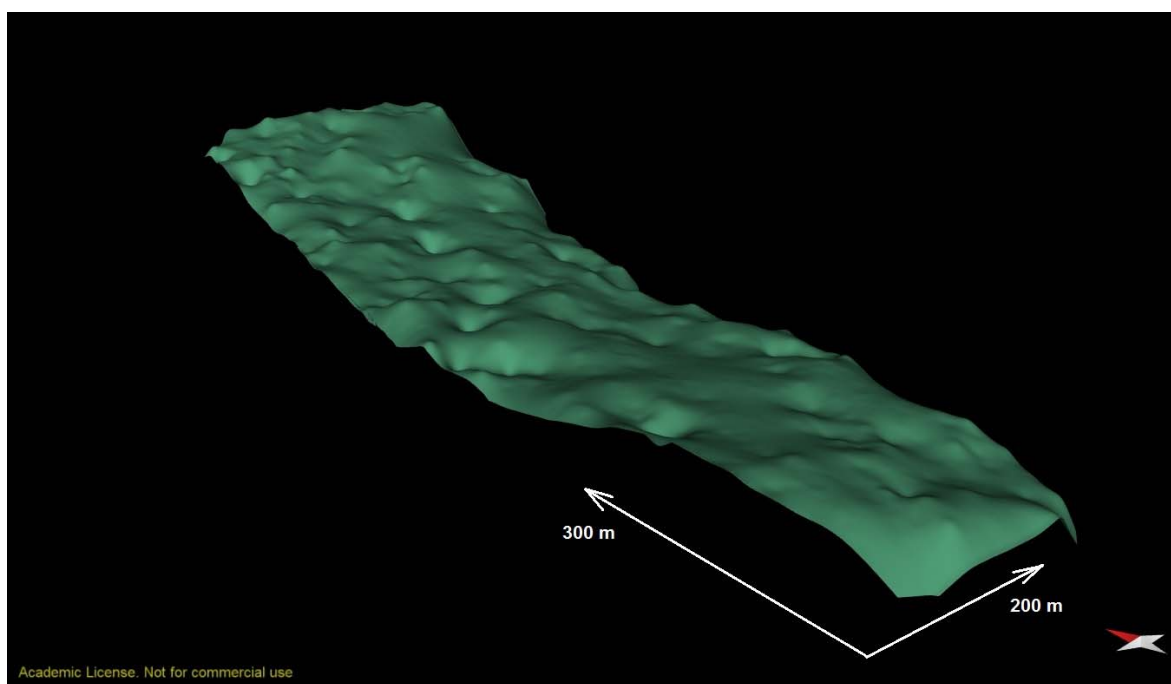
Najzapadniji reversni rasjed ujedno je i najznačajniji rasjed. Označen je kao *rasjed Crvene stijene-Bešpelj*, predstavlja zapadnu granicu ležišta i jasno razdvaja relativno mirnu strukturu *Crvenih stijena* na istoku od vrlo poremećene strukture na zapadu. Vertikalni pomaci po rasjedu iznose i preko 60-ak metara. Drugi značajniji rasjed je tzv. *Medin rasjed* pružanja istok-zapad, normalnog karaktera, a nalazi se u sjevernom dijelu lokaliteta *Crvene stijene*. Glavni rasjedi bit će također prikazani u modelu ležišta. Pomake po rasjedima treba uzeti u obzir kod projektiranja eksploatacije. Kretanja odnosno pomaci uz manje rasjede su bitno manji, ali ih treba uzeti u obzir kod daljnjih radova. Promjene debljina produktivnih slojeva, posebno uz rasjede koji su najvjerojatnije singenetski (sinsedimentacijski), mogu uzrokovati prividne pomake krila rasjeda. Paraklaze su uglavnom strme, a kod normalnih rasjeda i uspravne. U ovoj fazi otkrivenosti ležišta uočava se maksimalni regionalni stres pružanja približno okomito na pružanje slojeva i rasjeda, dakle približno sjeverozapad-jugoistok, a tako su paralelno s njim orijentirane i glavne pukotine. Uočene su i relaksirajuće pukotine i to u produktivnim slojevima, a najbolje su vidljive u vršnim dijelovima krovinskih krila reversnih rasjeda.

5. METODE ISTRAŽIVANJA

5.1. Temeljne postavke

Cilj ovoga rada je na temelju velikog broj ulaznih podataka napraviti rekonstrukciju modela ležišta boksita i proučiti karakteristike njihove neposredne krovine u računalnom programu Midland Valley MoveTM. S obzirom da se analiziraju samo naslage neposredne krovine, može se reći da rad predstavlja temelj za izradu kompletnog 3D litofacijsnog modela. Ovdje će se predstaviti metode koje su najpovoljnije za njegovu buduću izradu.

Prilikom izrade 3D geološkog modela ležišta *Crvene stijene* dobivena je prva slika o geološkoj situaciji podzemlja na ovom lokalitetu. Plohe paleoreljefa su „glatke“, blago zaobljene bez većih uzvišenja, odnosno bez većih strukturnih preoblikovanja. Navedeno potvrđuje da tektonski pokreti koji su na prijelazu iz donje u gornju kredu doveli do izdizanja ovog dijela terena nisu značajnije djelovali na starije stijene (DRAGIČEVIĆ, 1981). U vrijeme kopnene faze koja je uslijedila, najveću ulogu na modeliranje reljefa novoformiranog kopna imali su procesi kemijskog trošenja donjokrednih i cenomanskih vapnenaca. Morfološki gledano, dominantno su formirane vrtače i nepravilna udubljenja. To se također može vidjeti na dobivenim ploham u modelu kao negativne anomalije u paleoreljefu (Slika 5.1).



Slika 5.1. Ploha paleoreljefa s vidljivim negativnim formama (anomalijama).

U takvim udubljenjima akumuliran je materijal iz kojeg su formirana brojna ležišta boksita. Boksit djelomično ili u potpunosti ispunjava negativne anomalije u paleoreljevu, a neke depresije ne sadrže boksit. Navedeno ide u prilog tvrdnji da su mnoga ležišta djelomično ili u potpunosti izgubljena za vrijeme taloženja gornjokrednih klastita i novih tektonskih pokreta (DRAGIČEVIĆ, 1981). Oblici boksitnih tijela su raznoliki: nepravilni, izduženi u obliku kanala, lećasti, spljošteni, zdjeličasti. Takvi oblici se žele i dobiti u modelu, što prvotno nije bilo moguće zbog nedostatka okolnih bušotina. Zato dobivena boksitna tijela imaju nerealno uglate rubove, a granice im ponekad ne završavaju na granicama ležišta koje su definirane ranijim istraživanjima. Stoga je bilo potrebno napraviti rekonstrukciju boksitnih tijela metodom interpolacije, odnosno pomoću „fiktivnih“ okolnih bušotina koje sadržavaju pretpostavljenu dubinu krovine ležišta boksita. Na taj način je znatno poboljšana geometrija ležišta boksita, a dobiveni su i oblici ležišta koji su već ranije definirani.

Analizirajući više od 500 bušotinskih podataka, odnosno stupova bušotina utvrđeno je da krovinu ležišta boksita čini I. produktivni sloj karbonatnih breča (AG-K). Već je ranije spomenuto da je jedna od glavnih karakteristika gornjokrednih klastita učestala lateralna i vertikalna izmjena različitih litotipova. Ona je znatno izraženija u gornjem dijelu slijeda naslaga. Međutim, prilikom izrade baze bušotinskih podataka uočeno je da kalkareniti često dolaze u stupu odmah nakon boksita. Postavio se niz stupova susjednih bušotina kako bi se utvrdilo horizontalno rasprostranjenje kalkarenita. Utvrđeno je da debljina kalkarenita nije zanemariva, a bočno se izmjenjuju s karbonatnim brečama i u bazalnom dijelu transgresivne serije sedimenata. Dakle, kalkarenite je potrebno izdvojiti unutar modela ležišta.

Stoga se pristupilo izradi nove baze podataka koja sadrži i dubine krovina kalkarenita koji se u stupu pojavljuju nakon krovine boksita, a prije krovine I. produktivnog sloja karbonatnih breča. Nakon unosa podataka u računalni program pokušale su se izraditi krovinske plohe kalkarenita i karbonatnih breča. Dobivene plohe imale su dosta pogrešaka te je bilo potrebno definirati novi način izrade ploha. Kao najbolje rješenje odabrana je metoda izrade velikog broja poprečnih i uzdužnih profila postavljenih kroz cijelo istražno područje *Crvenih stijena*. Trase profila postavljane su kroz bušotine kako bi profili sadržavali bušotinske podatke na temelju kojih je moguća korelacija pojedinih horizonata (dubina krovina). Metoda korelacije bušotinskih podataka je dakle izvedena u samom programu, a na kraju je dala vrlo dobre rezultate.

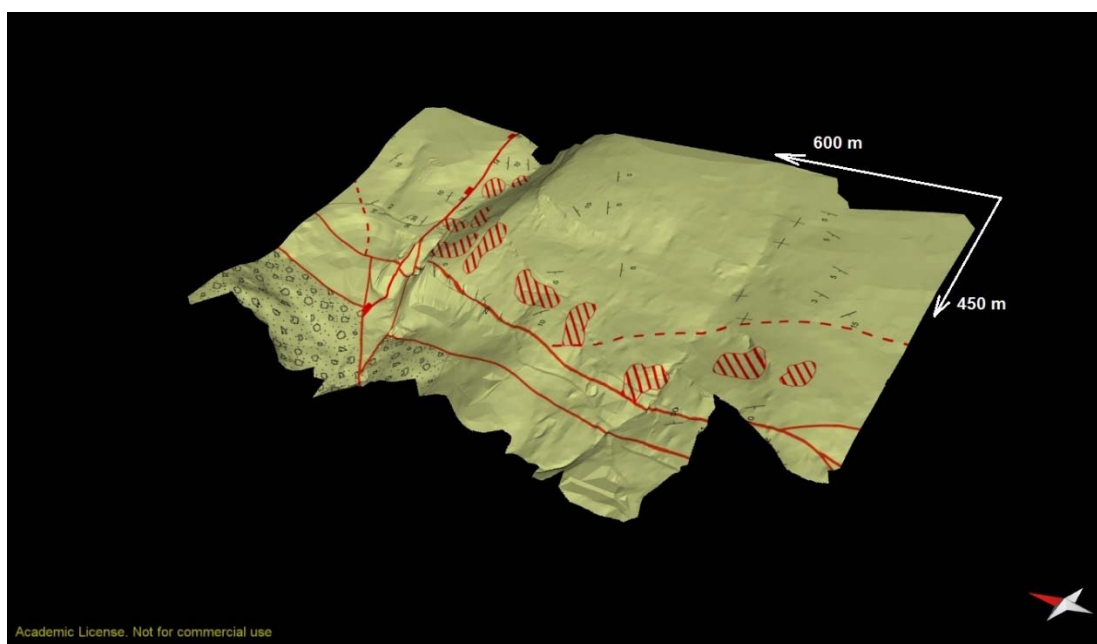
Bitno je napomenuti da se u ovome radu neće uzimati u obzir II. produktivni sloj karbonatnih breča za kojeg se sasvim sigurno može reći da se bočno izmjenjuje s kalkarenitom, ali i sa laporom. Također, neće se pristupiti izradi plohe kalkarenita i I.

produktivnog sloja. Navedeno je namijenjeno budućim istraživanjima koja će biti neophodna za dobivanje kompletne slike podzemlja *Crvenih stijena*.

5.2. Opis ulaznih podataka

Za potrebe izrade rada korišteni su: digitalni model reljefa (*engl.* Digital Elevation Model, DEM) (TOMIČEVIĆ, 2014; MIHALJEVIĆ, 2014), geološke karte šireg područja (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984), detaljni geološki profili ležišta (DRAGIČEVIĆ et al., 2015), 3D model podzemnih rudarskih radova (TOMIČEVIĆ, 2014; MIHALJEVIĆ, 2014) te detaljni litološki stupovi bušotina (FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE RB JAJCE; DRAGIČEVIĆ et al., 2015). Detaljne topografske podloge i litološke stupove bušotina ustupila je tvrtka RUDNICI BOKSITA JAJCE d.d.

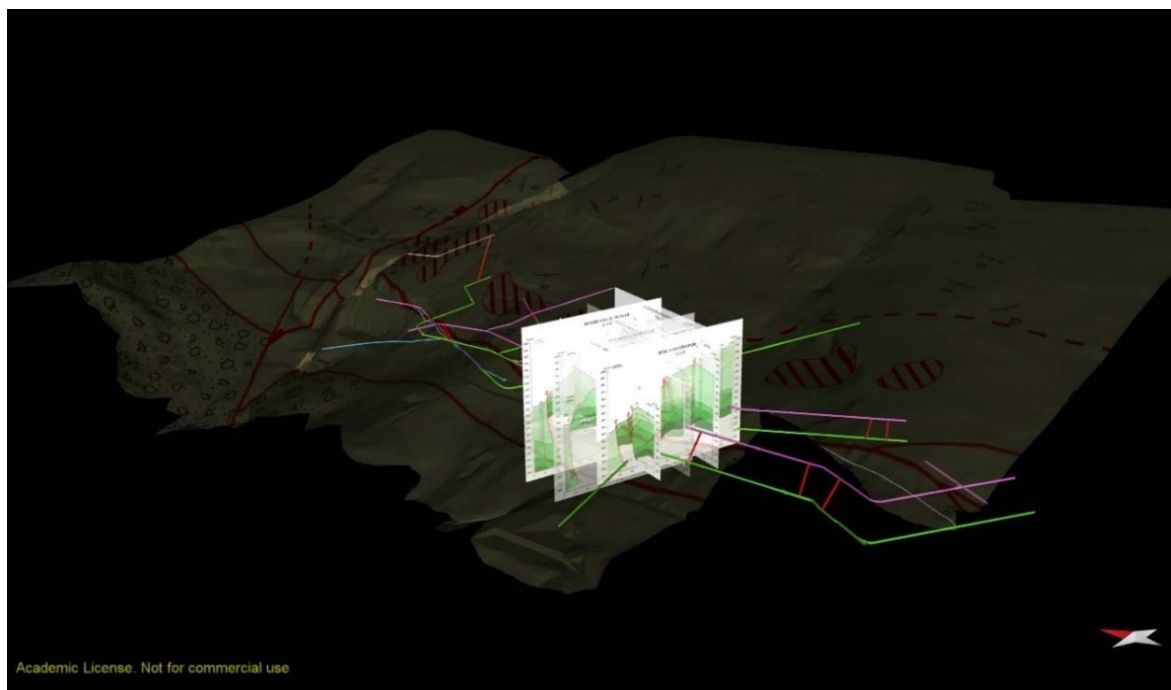
Geološke karte šireg područja već su ranije digitalizirane i objedinjene u jednu kartu mjerila 1:50 000 uz koju su priloženi legenda, geološki profil i detaljni geološki stup. Karta je preuzeta iz rada IVKIĆ & IVANINIĆ (2016). Digitalizirana i objedinjena geološka karta prikazana je na Slici 4.1, ali je poslužila i kod izrade ovoga modela na način da je preklopljena preko DEM-a istraživanog područja (Slika 5.2). Geološka karta preklopljena s DEM-om posebno je poslužila kod rekonstrukcije modela ležišta boksita te kod izrade glavnih rasjeda.



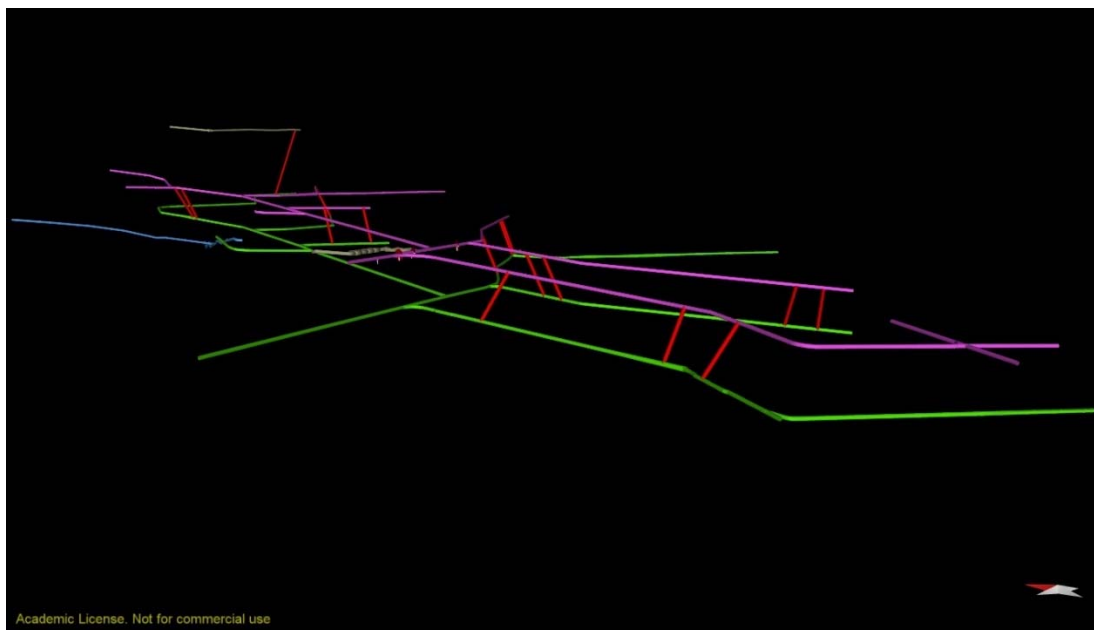
Slika 5.2. Geološka karta ležišta Crvene stijene preklopljena preko digitalnog modela reljefa.

U sklopu Elaborata o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena u eksploatacijskom polju *Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) izrađena je detaljna geološka karta mjerila 1:1000 na kojoj je određeno nekoliko uzdužnih i poprečnih vertikalnih geoloških profila koji su uvelike pridonijeli razumijevanju geološke građe i tektonskog sklopa istraživanog područja. Na njima je detaljan prikaz geološke građe podzemlja. Spomenuti profili izrađeni su na temelju podataka iz bušotina koje se nalaze na trasama profila ili u njihovoj neposrednoj blizini. Profili su georeferencirani te uneseni kao vertikalne slike u program Move (Slika 5.3).

3D model podzemnih rudarskih radova (TOMIČEVIĆ, 2014; MIHALJEVIĆ, 2014) predstavlja podlogu za prikaz podataka dobivenih kartiranjem rudarskih radova (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) (Slike 5.3 i 5.4).

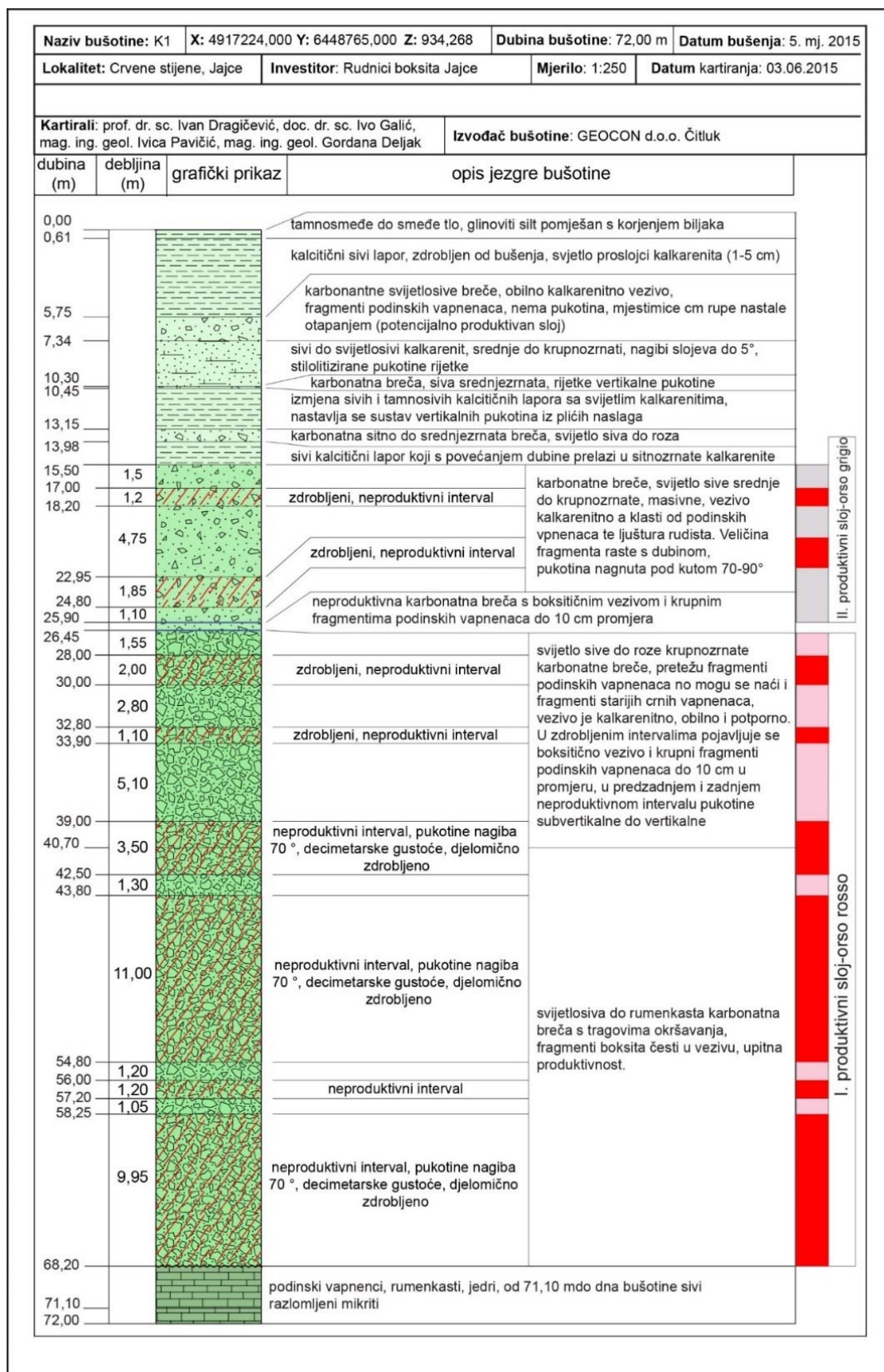


Slika 5.3. 3D prikaz geološke karte preklopljene sa DEM-om, geoloških profila i rudarskih radova.



Slika 5.4. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova.

Interpretacija 3D modela ležišta temeljena je uvelike na podacima iz više od 562 bušotine koje su izvedene u sklopu istraživanja ležišta boksita i AG-K. Za svaku bušotinu na raspolaganju je bio detaljan opis stupa bušotine s oznakom i koordinatom bušotine, zahvaljujući čemu su se bušotine mogle smjestiti u prostoru i odrediti dubine krovina pojedinih litoloških jedinica (podina ležištima boksita, ležišta boksita, ukoliko je ono bilo prisutno na pojedinoj bušotini, krovina kalkarenita, krovina I. produktivnog sloja) (Slike 5.5 i 5.6).

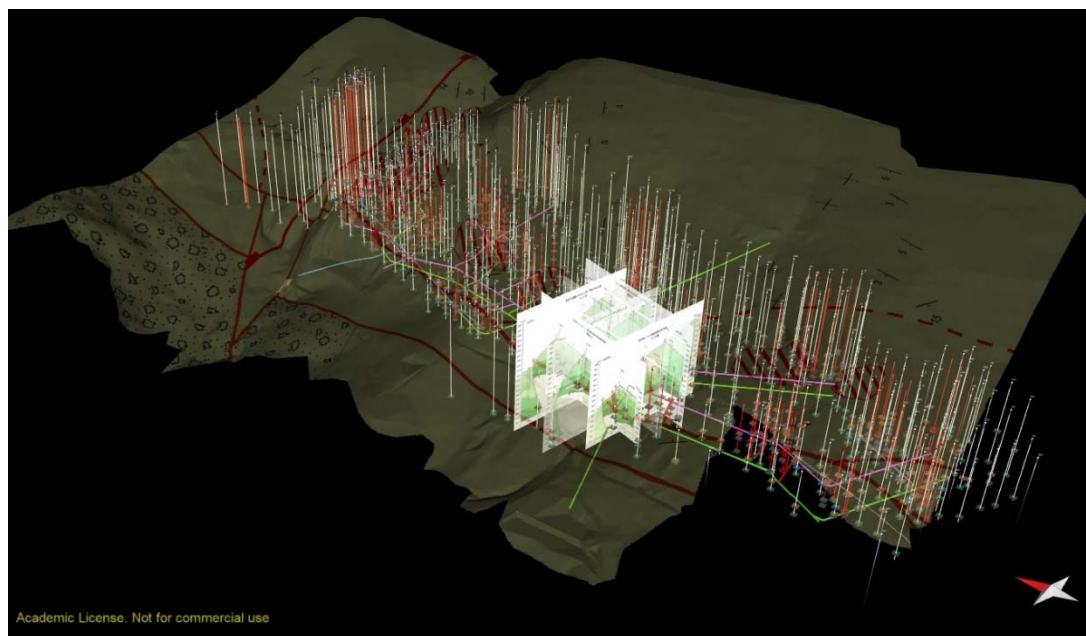


Slika 5.5. Litološki stup novije bušotine K1 (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

Priprema baze podataka bušotina sastojala se u zapisivanju vrijednosti koordinata bušotina i vrijednosti o dubini krovine pojedine litološke jedinice u Excel tablice (Tablica 5.1). Treba napomenuti da je baza podataka nadopunjena i sa oko 40 bušotina koje se nalaze u sjevernom dijelu istražnog prostora, odnosno sjeverno od Medinog rasjeda.

Tablica 5.1. Baza podataka s nazivom bušotine (Well name), koordinatama (x,y,z), dubinom bušotine (MD) i dubinom krovine paleoreljefa (paleorelief), boksita (bx), kalkarenita (kalk) i I. produktivnog sloja (breccia).

Well name	X	Y	Z	MD	Paleorelief	Bx	Kalk	Breccia
B-113	6449010,6100	4917777,0600	997,0000	100,00	95,00	83,00	60,00	48,00
B-114	6449008,9300	4917800,1400	996,8200	99,00	94,00	84,00		60,00
B-115	6448965,3300	4917723,0500	977,8100	75,00	57,00			54,00
B-116	6448985,2400	4917776,5600	985,6200	86,00	82,00	76,00		47,00
B-117	6449025,7000	4917828,5300	1004,4200	101,00	96,00	90,00	78,00	56,00
B-118	6448983,2700	4917799,1600	985,8200	104,00	100,00	74,00		39,00
B-119	6448981,4000	4917824,5100	985,2700	78,00	75,00	67,00	47,00	42,00



Slika 5.6. Prostorni smještaj svih ulaznih podataka: DEM preklapljen sa geološkom kartom, geološki profili, bušotine (crveno označene bušotine su bušotine na boksit), i rudarski radovi.

5.3. 3D litofacijsni model

3D litofacijsni modeli predstavljaju zapravo 3D geološko modeliranje, relativno mladu poddisciplinu geologije koja integrira strukturnu geologiju, sedimentologiju, stratigrafiju, regionalnu geologiju i dr. Konkretno, kod litofacijsnih modela naglasak se stavlja na stratigrafiju i sedimentologiju. Dobiveni model treba pružiti uvid u geološku građu podzemlja na određenom području i prikazati sedimentološke karakteristike naslaga na temelju kojih je moguća sedimentološka interpretacija taložnog okoliša.

Modeliranje se može izvoditi u bilo kojem računalnom programu koji koristi 3D koordinatni sustav za integraciju dostupnih ulaznih podataka, kao što su geološki, geofizički i bušotinski podaci prikupljeni iznad i/ili ispod Zemljine površine (FALLARA et al., 2006). Dakle, ovakav set podataka se u programu smješta u prostorni koordinatni sustav i njime se dalje manipulira ovisno o cilju istraživanja i mogućnostima koje pruža program.

Kod litofacijsnih modela potrebno je izdvojiti sve naslage koje se nalaze na određenom području, ukoliko su one definirane kroz ranija istraživanja. Naslage se najčešće izdvajaju na tri načina:

- pomoću bušotinskih podataka;
- pomoću geofizičkih podataka;
- kombinacijom bušotinskih i geofizičkih podataka.

U ovome radu modeliranje je izvedeno prvenstveno na temelju bušotinskih podataka te je potrebno iznijeti određene prednosti i nedostatke koji su se pritom javili. Bušotinski podaci predstavljaju točkaste podatke (1D) koji su najrelevantniji, ali i najskuplji, a u skladu s tim često i nedostupni. Osnovna prednost bušotinskih podataka je direktan uvid u litološku građu podzemlja jer se prikazuju u obliku stupova bušotina koji sadrže detaljne opise probušenih stijena. Stoga ih je svakako preporučljivo koristiti prilikom modeliranja bez obzira na dostupan broj bušotina. Ukoliko je na raspolaganju velik broj bušotinskih podataka, kao u slučaju *Crvenih stijena*, moguća je izrada litofacijsnog modela. Ako se pristupi modeliranju samo na temelju bušotina, treba voditi računa o njihovoj gustoći na području istraživanja. Bušotine su koncentrirane na području od interesa te postoji mogućnost da modeliranje neće biti kvalitetno ili preciznije kompletno ukoliko u nekom dijelu istražnog prostora bušotine nedostaju. Takve poteškoće su se pojavile i prilikom modeliranja u području *Crvenih stijena* te će se u daljnjem tekstu opisati metode koje su korištene prilikom modeliranja kako bi se dobili što kvalitetniji rezultati.

5.3.1. Izrada litofacijsnog modela

U svrhu izrade litofacijsnog modela u istražnom području *Crvene stijene* korišten je računalni program Midland Valley MoveTM 2016, a njegove osnovne mogućnosti opisane su u radu IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016. U istome radu dobiven je prvi 3D geološki model ležišta koji služi kao podloga za daljnja istraživanja. Stoga se ovaj rad nastavlja na prethodno izrađeni 3D geološki model.

Ploha paleoreljefa na kojoj su se taložili boksiti u 3D geološkom modelu je vrlo kvalitetna i reprezentativna pa se nije pristupilo izradi nove plohe. Ona je preuzeta iz 3D geološkog modela ležišta. Budući je ploha paleoreljefa dio litofacijsnog modela, postupak njezine izrade bit će također opisan u ovome radu, a preuzet je iz IVKIĆ & IVANINIĆ (2016). Iz 3D geološkog modela preuzet je i rasjed *Crvene stijene-Bešpelj* (zapadni rasjed pružanja sjever-jug), dok je *Medin rasjed* (sjeverni rasjed pružanja istok-zapad) izdvojen u sklopu ovog rada.

Prvi korak u izradi litofacijsnog modela je izdvajanje dubina krovina paleoreljefa, boksita, kalkarenita i I. produktivnog sloja karbonatnih breča. Dakle, u ovoj fazi modeliranja cilj je precizno definirati geometriju boksitnih tijela i analizirati karakteristiku horizontalne izmjene neposredne krovine ležišta slijedećim nizom radnji:

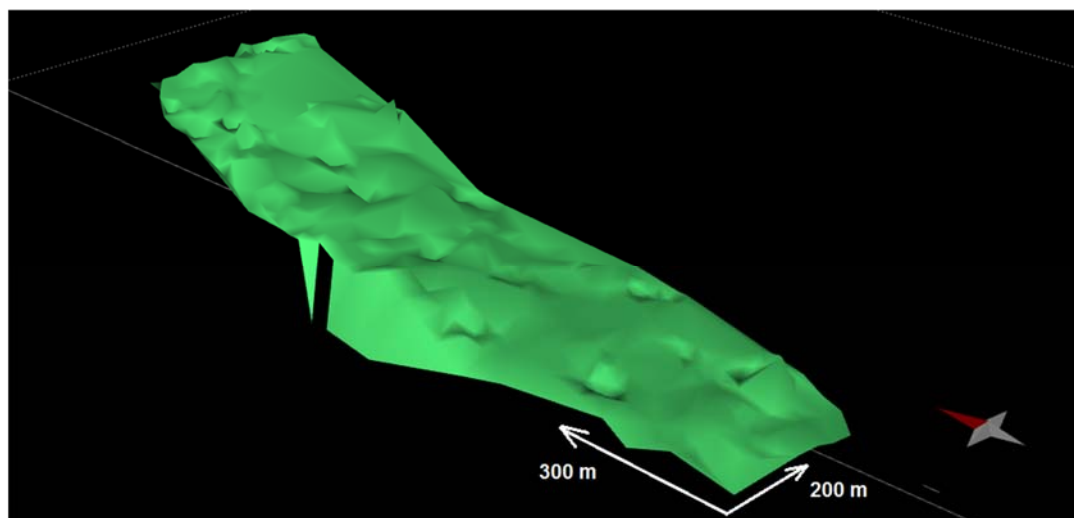
- izrada plohe paleoreljefa;
- izrada ležišta boksita;
- izrada poprečnih i uzdužnih profila i njihova interpretacija.

5.3.2. Izrada plohe paleoreljefa ležištima boksita

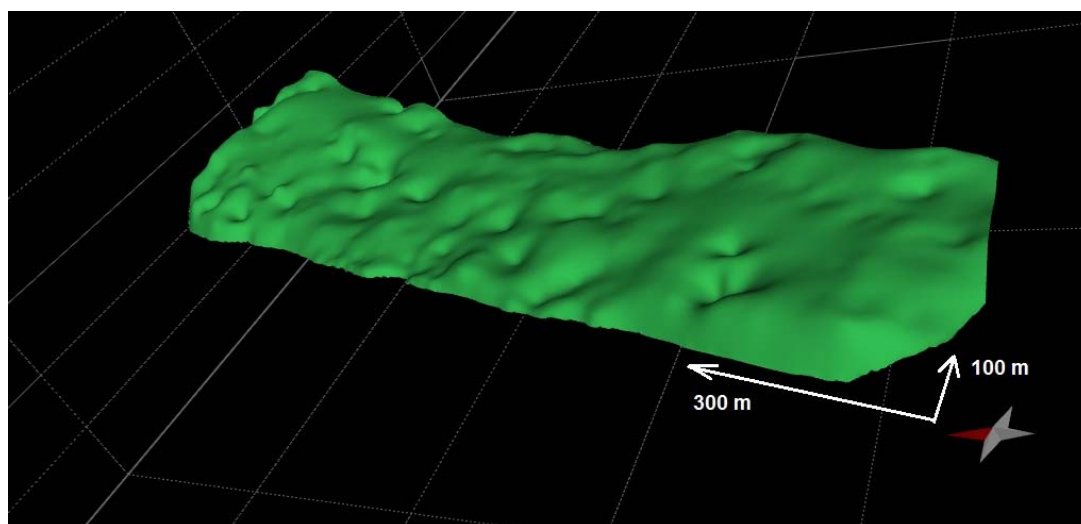
Naslage starosti alb-cenoman, plitkovodni vapnenci, predstavljaju stratigrafski najstariju geološku jedinicu u litofacijsnom modelu te se nalaze u diskordantnom odnosu sa stratigrafski mlađim boksitima i karbonatnim klastitima koje na njih naliježu. Stoga je krovinska ploha ovih vapnenaca inicijalna površina koja je napravljena u sklopu izrade 3D litofacijsnog modela.

Podaci o dubini paleoreljefa očitani su na stupovima bušotina koji su bili na raspolaganju i preneseni su u Excel tablicu zajedno s nazivom pojedine bušotine. Podatke je bilo potrebno prebaciti u txt (Tab delimited) format za unos u program Move. Nakon unosa podataka u program izrađena je primarna ploha paleoreljefa pomoću alata *Surface>Delaunay Triangulation* (Slika 5.7). Ova ploha nije bila konačna zbog odstupanja

na pojedinim bušotinama, koja su se očitovala u preplitko ili preduboko određenoj dubini paleoreljefa. Odstupanja su ispravljena mijenjanjem dubine plohe paleoreljefa na svakoj bušotini na kojoj su uočena veća odstupanja te mijenjanjem algoritma interpolacije između bušotina u *Ordinary Kriging* (veličina ćelija 5 x 5 m). Time je dobivena konačna ploha (Slika 5.8), koja sadrži manji broj anomalija. One odgovaraju negativnim formama reljefa unutar kojih su se taložili boksiti.

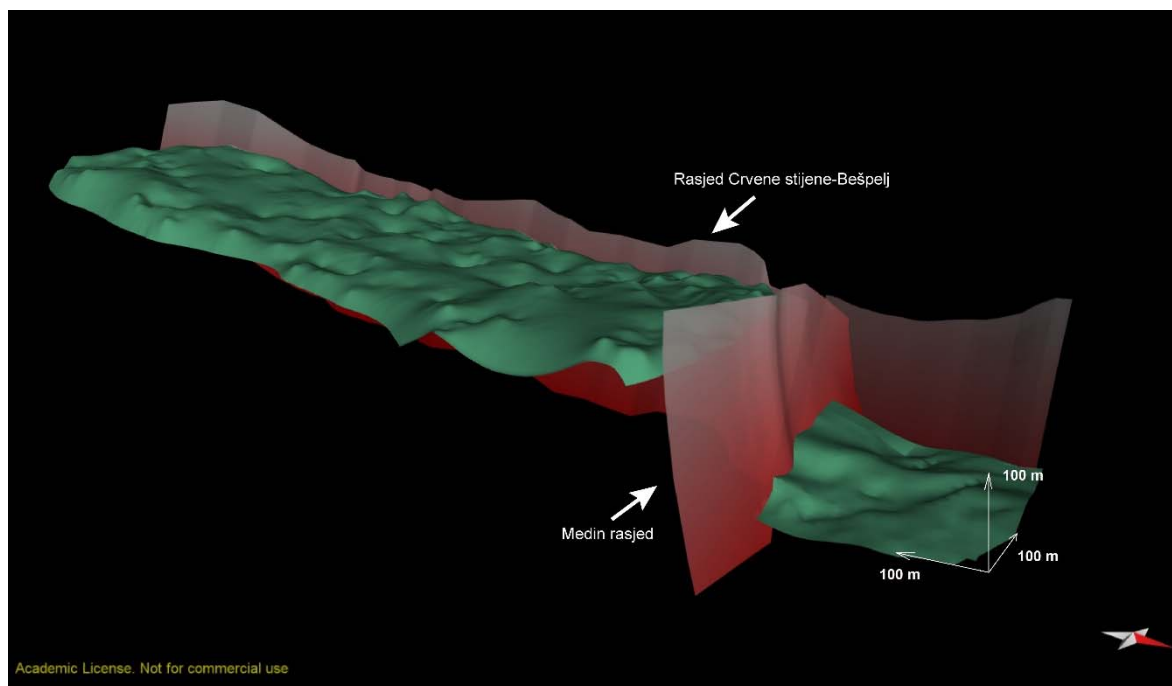


Slika 5.7. Primarno dobivena ploha paleoreljefa (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016).



Slika 5.8. Ploha paleoreljefa nakon reinterpretacije. Obratiti pažnju na negativne anomalije u paleoreljefu asociirane s ležištima boksita (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016).

Ploha paleoreljefa napravljena je i u području sjeverno od *Medinog rasjeda*, a na temelju novih bušotinskih podataka koji su dobiveni za izradu litofacijsnog modela. Na Slici 5.9 prikazana je kompletna ploha paleoreljefa zajedno s glavnim rasjedima: zapadni rasjed *Crvene stijene-Bešpelj* pružanja sjever-jug i sjeverni *Medin rasjed* pružanja istok-zapad.

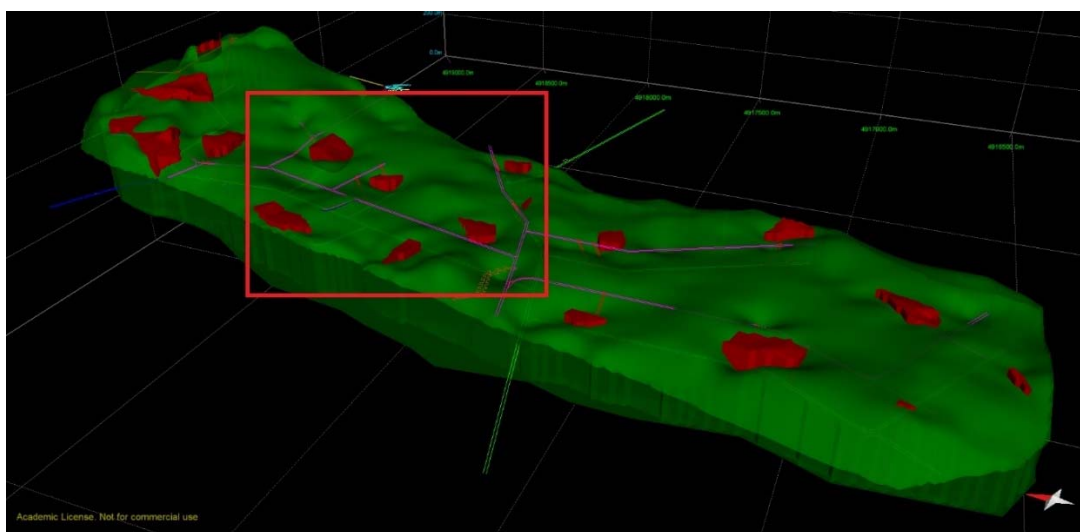


Slika 5.9. Konačna ploha paleoreljefa nadopunjena bušotinskim podacima u području sjeverno od Medinog rasjeda.

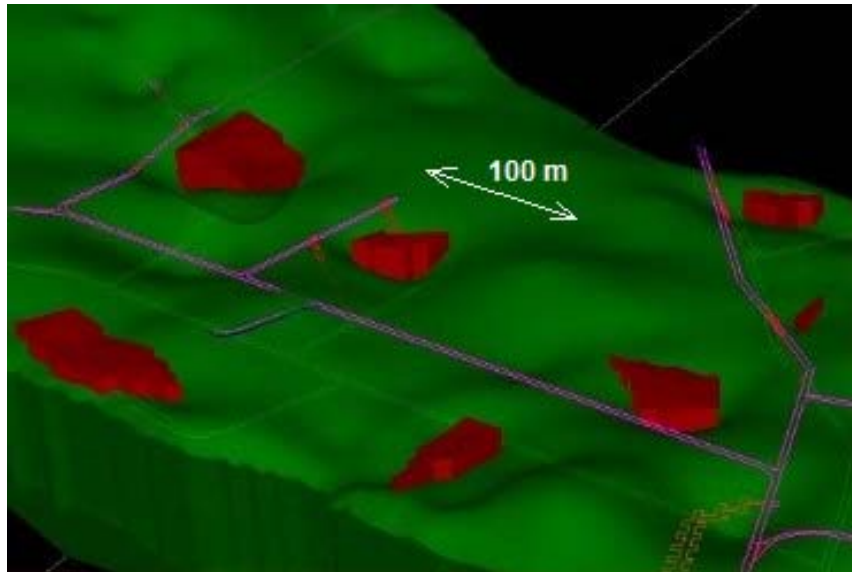
5.3.3. Izrada modela ležišta boksita

Ležišta boksita na lokalitetu *Crvene stijene* nastala su u vrijeme kopnene faze koja je trajala približno 20 milijuna godina. Riječ je visoko kvalitetnim crvenim krškim boksitima formiranim iz finog sitnozrnatog materijala koji je akumuliran u negativnim formama paleoreljefa. Boksitna tijela su različitih oblika: nepravilna, izdužena u obliku kanala, lećasta, spljoštena, zdjeličasta i sl., a takvi oblici se žele dobiti kod modeliranja ležišta.

Prilikom izrade 3D geološkog modela ležišta *Crvene stijene* dobiveni su modeli ležišta boksita koji se u pravilu nalaze unutar negativnih formi paleoreljefa (Slika 5.10). Ostala je upitna geometrija boksitnih tijela jer su pojedina tijela imala nerealno uglate rubove. Nadalje, granice pojedinih tijela nisu završavale na kosinama depresija, kako se prvotno očekivalo (Slika 5.11). Ovakva geometrija dobivena je zbog nedostataka okolnih bušotina koje bi sadržavale dubinu krovine ležišta i time osigurale preciznije povezivanje bušotinskih podataka u samome programu. Dakle, ne može se govoriti o nedostatku programa budući on izrađuje plohu krovine na temelju postojećih i njemu poznatih podataka.



Slika 5.10. Prvotno dobiveni modeli ležišta boksita s označenim primjerom geometrije boksitnih tijela (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016).



Slika 5.11. Uvećani dio 3D geološkog modela s primjerom prvotno dobivene geometrije boksitnih tijela (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016).

Problem geometrije boksitnih tijela riješen je metodom interpolacije, pomoću „fiktivnih“ bušotina koje su postavljane u uskom području oko bušotina koje su probušile boksit, a unutar poznatih granica ležišta koje su iscrtane na geološkoj karti preklopljenoj sa DEM-om. Dakle, prilikom izrade „fiktivnih“ bušotina pazilo se na njihovo postavljanje unutar granica ležišta. „Fiktivnim“ bušotinama se zatim pripisuju pretpostavljene dubine krovine boksita između poznatih dubina na susjednim bušotinama. Time se zapravo proširuje broj bušotinskih podataka potrebnih za izradu njihove krovinske plohe (Slika 5.12).

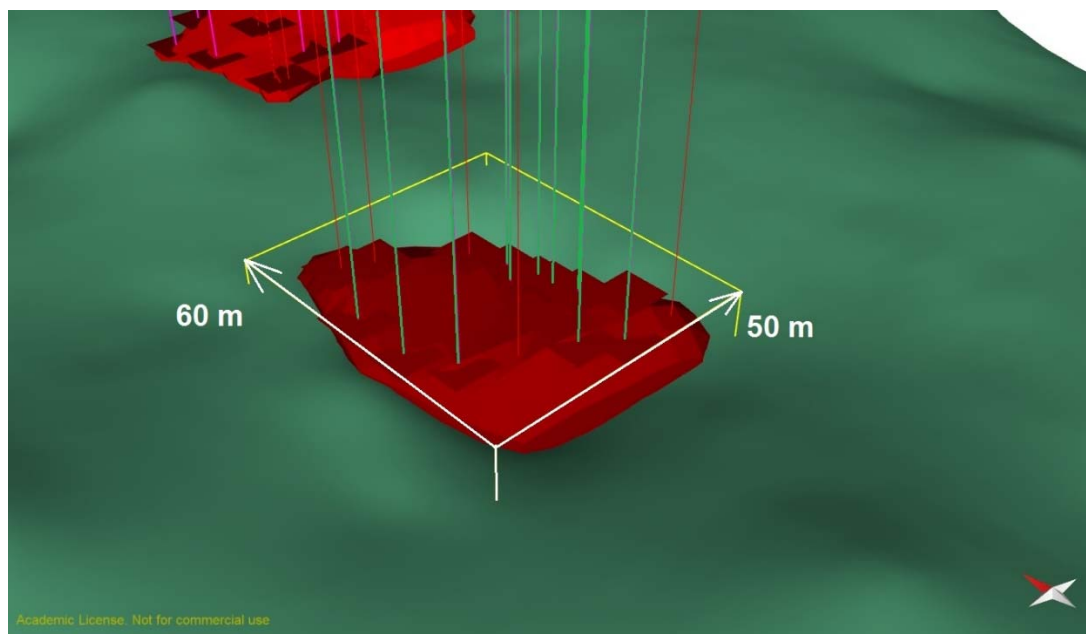


Slika 5.12. Postavljanje fiktivnih bušotina (FIK) na primjeru ležišta L-12. Bušotine označene crvenom bojom su prave bušotine na boksit, a bušotine označene zelenom bojom su fiktivne bušotine.

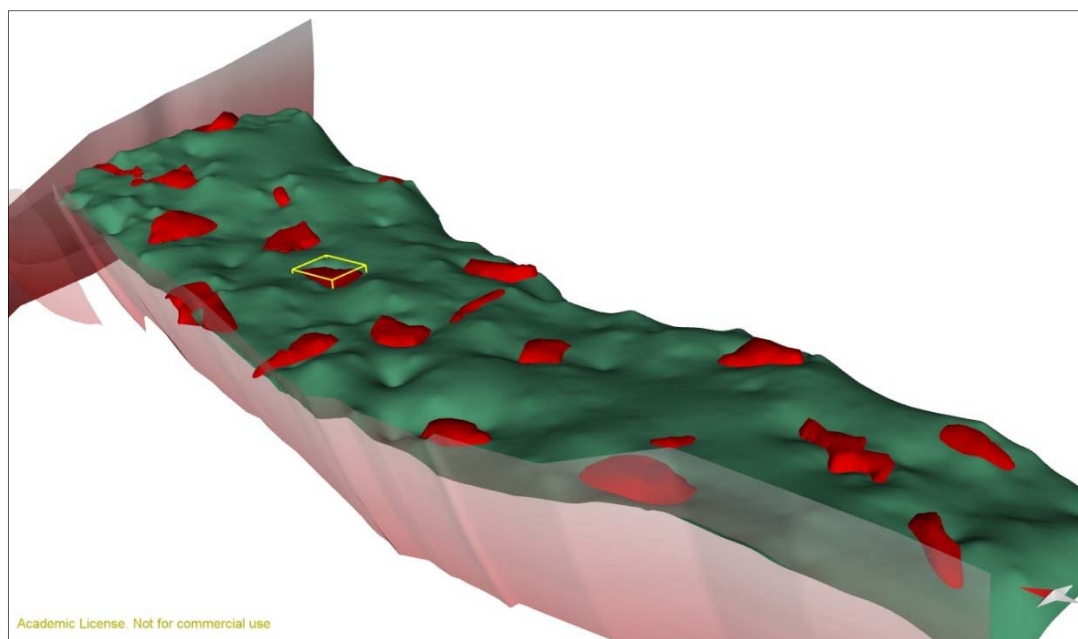
Granice ležišta projicirane su na plohu paleoreljefa, odnosno iscrtane su u programu kao linije (engl. *line*) i sve su kategorizirane u poseban set podataka radi lakše manipulacije. Kategorizacija je napravljena i za prave bušotine, kao i za fiktivne bušotine.

Za izradu krovinske plohe jednog ležišta potrebno je označiti granicu ležišta, prave i fiktivne bušotine, a ploha se izradi pomoću opcije *create surface*. Granice ležišta se nalaze projicirane na plohi paleoreljefa pa dobivena krovinska ploha ležišta ne završava na krajnjim bušotinama, nego upravo na stvarnoj granici ležišta i na dodiru s kontaktnim naslagama.

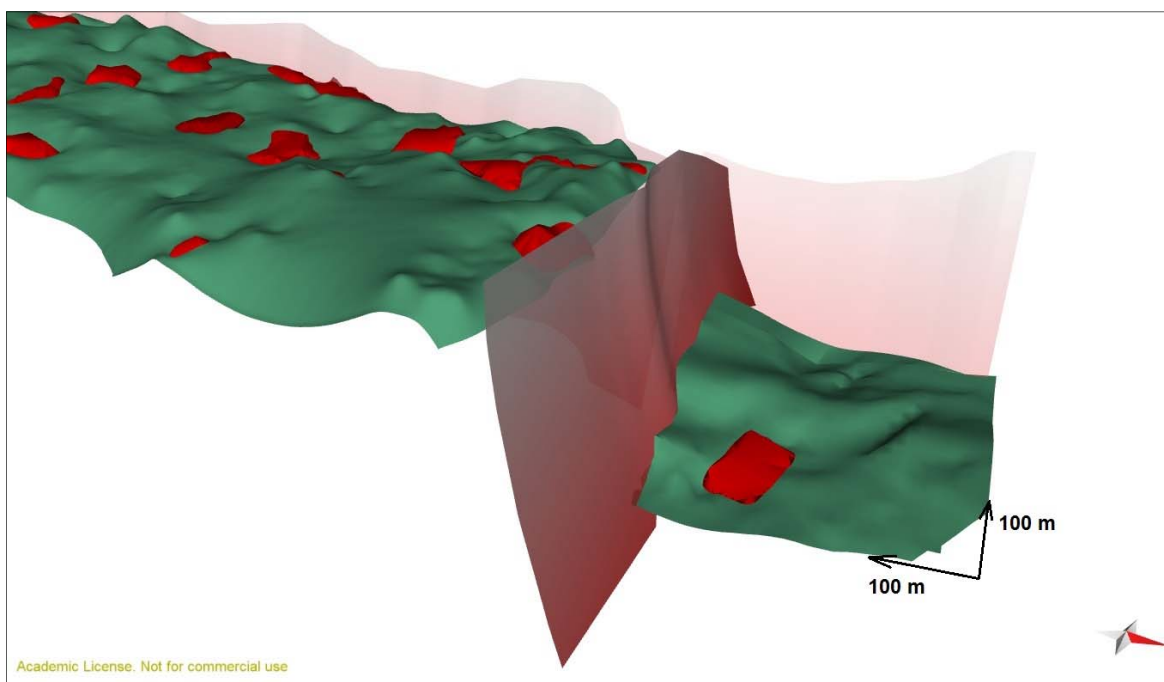
Volumen ležišta izradi se pomoću opcije *volume* označavanjem podinske (ploha paleoreljefa) i krovinske (krovinska ploha boksita) plohe ležišta (Slika 5.13). Konačna boksitna tijela imaju poboljšanu geometriju u odnosu na prvotno dobivenu. Mogu se uočiti nepravilni oblici, izduženi u obliku kanala, zvjezdasti itd. (Slike 5.14 i 5.15).



Slika 5.13. Volumen ležišta L-12. Zelene su fiktivne bušotine, a crvene su prave bušotine na boksit.



Slika 5.14. Nova boksitna tijela na području *Crvene stijene*. Ležište L-12 označeno je žutim okvirom.



Slika 5.15. Sjeverni dio istražnog područja *Crvene stijene*.

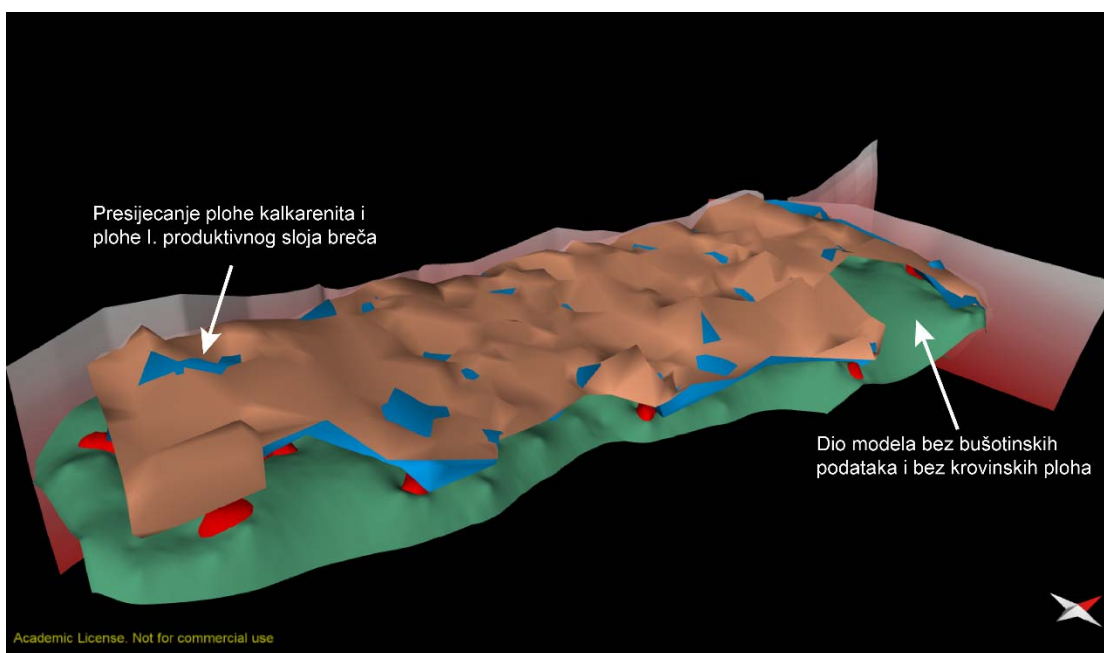
5.3.4. Izrada poprečnih i uzdužnih geoloških profila i njihova interpretacija

Krovinske naslage ležišta boksita predstavljene su transgresivnim slijedom sedimenata u čijem se bazalnom dijelu nalaze masivne karbonatne breče, a koje čine I. produktivni sloj AG-K. Analizirajući više od 500 litoloških stupova utvrđeno je da na nekim bušotinama karbonatne breče ne dolaze direktno nakon boksita, nego kalkarenit koji zapravo predstavlja bočni ekvivalent karbonatnih breča. Karakterizira ga velika horizontalna rasprostranjenost, a na pojedinim bušotinama mu debljine nisu zanemarive (i preko 20 metara), stoga ga je potrebno izdvojiti unutar modela ležišta AG-K i proučiti karakteristiku izmjene neposredne krovine boksita.

U tu svrhu izdvojene su dubine krovine kalkarenita koji se u stupovima bušotina pojavljuje nakon krovine boksita, a prije krovine I. produktivnog sloja breča. Nakon toga su izdvojene i dubine I. produktivnog sloja. Izdvojene dubine krovina su unesene u program na isti način kao i dubine krovine paleoreljefa, s tim da su prvo unesene dubine krovine kalkarenita, a zatim dubine krovine I. produktivnog sloja. Ovdje treba naglasiti da kalkareniti nisu stratigrafski mlađi od karbonatnih breča, iako su njihove dubine izdvajane prije dubina breča. Oni su bočni ekvivalenti karbonatnih breča, što znači da su taloženi u isto vrijeme, a

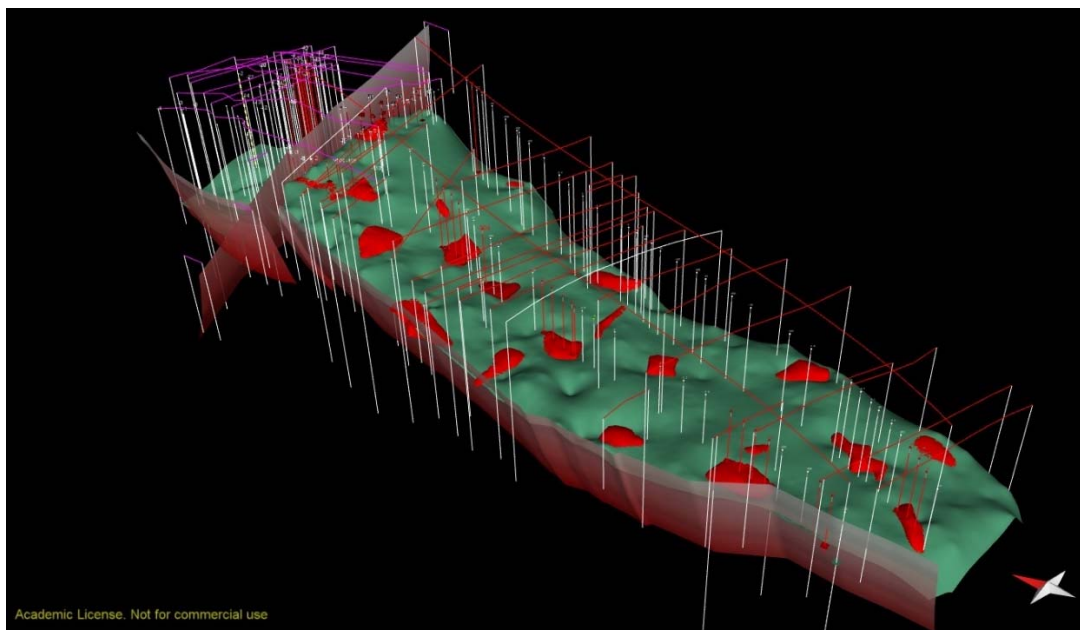
karakteristika horizontalne izmjene s brečama svjedoči o taložnom okolišu koji je uvjetovao ovakvu građu.

Krovinske plohe kalkarenita i I. produktivnog sloja su se prvotno pokušale dobiti na isti način kao i krovinsku plohu paleoreljefa i boksita, pomoću opcije *create surface*. Dobivene plohe imale su dosta pogrešaka, a u pojedinim dijelovima modela su čak nedostajali dijelovi ploha. Plohe kalkarenita su bile zadovoljavajuće samo u dijelovima modela gdje im je horizontalno rasprostranjenje veliko. Međutim, oni se ne rasprostiru kontinuirano kroz model kao što je to slučaj s I. produktivnim slojem breča. Primijećeno je da više imaju tendenciju prostiranja u obliku izduženih kanala, a ponekad se pojavljuju i u obliku leća unutar I. produktivnog sloja. Zato u određenim dijelovima modela postoje bušotine koje ne sadržavaju kalkarenit pa kada se ploha izrađuje opcijom *create surface* dobije se nekontinuirana ploha koja nije povoljna za izradu volumena kalkarenita. Osim toga, plohe kalkarenita i I. produktivnog sloja se na pojedinim mjestima presijecaju, što također nije poželjno prilikom modeliranja (Slika 5.16).



Slika 5.16. Krovinske plohe kalkarenita (plavo) i I. produktivnog sloja s istaknutim nedostacima.

S obzirom na probleme koji su se javili kod izrade krovinskih ploha, pristupilo se drugoj metodi njihove izrade. Kroz cijelo istražno područje *Crvenih stijena* postavljen je velik broj poprečnih (38) i uzdužnih profila (8) (Slika 5.17). Konstrukcija profila izvedena je pomoću opcije *from objects*, a trase profila postavljane su kroz bušotine.



Slika 5.17. Poprečni i uzdužni geološki profili postavljeni kroz IP *Crvene stijene*.

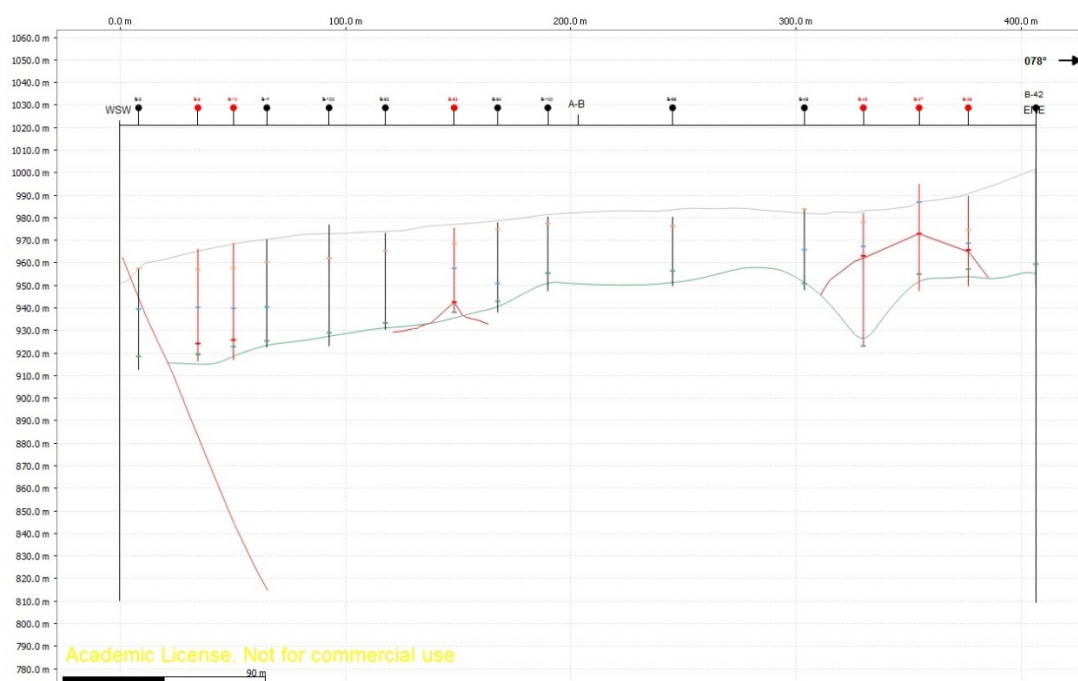
Na taj način kreirani profili su sadržavali bušotinske podatke na temelju kojih je moguće upotrijebiti metodu korelacije pojedinih horizonata (engl. *horizons*). Definirani horizonti su:

- paleorelief (paleoreljef);
- bx (boksit);
- kalk (kalkarenit);
- breccia (I. produktivni sloj).

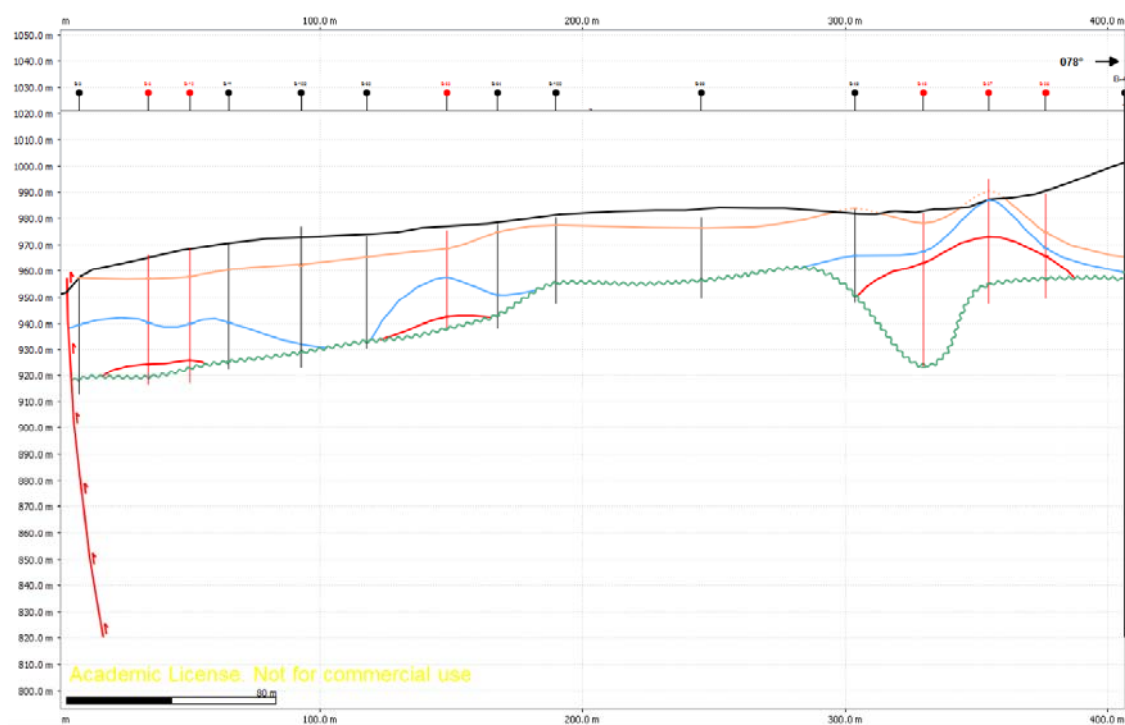
Za koreliranje horizonata potrebno je u programu uključiti (engl. *activate*) sve markere na bušotinama koji predstavljaju unesene dubine krovina pojedinih jedinica. Paleoreljef, ležišta boksita i površina terena (DEM) već postoje, a njihova presjecišta (engl. *intersections*) s postavljenim profilima definirana su linijama. Te linije se mogu dobiti na svakom pojedinom profilu pomoću opcije *collect all intersections*. Pomoću iste opcije na profilima su dobivena i presjecišta s glavnim rasjedima. Rasjedne plohe su preuzete iz 3D geološkog modela ležišta od IVKIĆ & IVANINIĆ (2016). U ovoj fazi izrade dobiveni su profili koji sadrže sve što je potrebno za njihovu daljnju interpretaciju (Slika 5.18):

- bušotine i bušotinske podatke (markere svih horizonata);
- transgresivnu granicu, odnosno liniju paleoreljefa;
- linije boksitnih tijela;
- linije glavnih rasjeda;
- liniju površine terena.

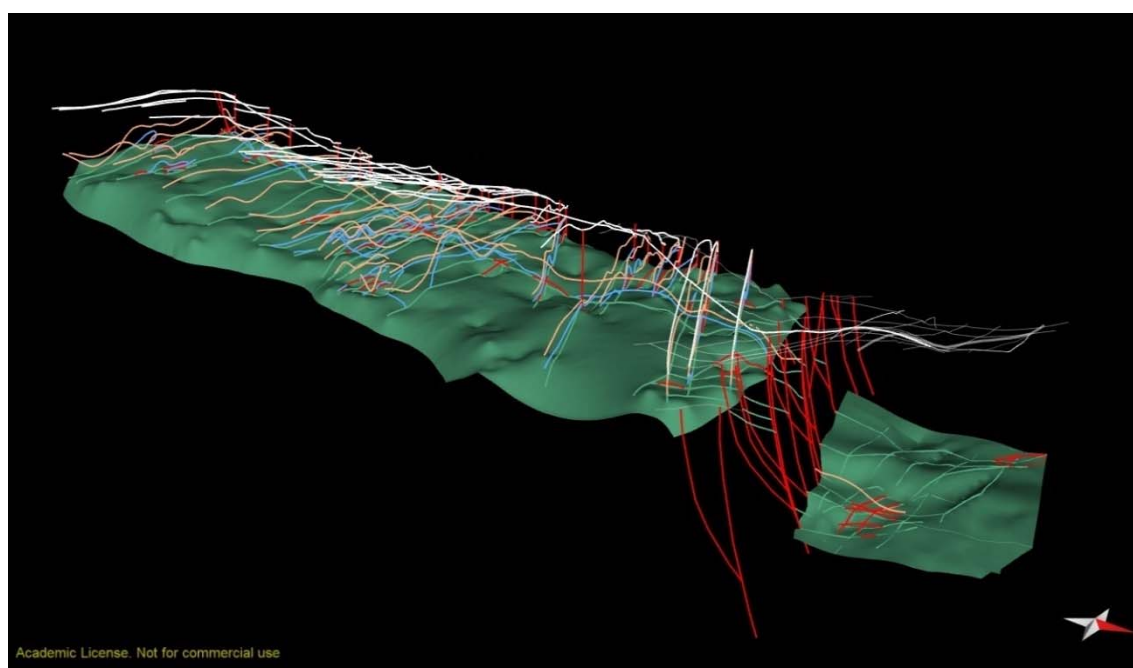
Sljedeći korak je koreliranje horizonata na temelju bušotinskih podataka, što se izvodi pomoću opcije *digitize horizon* i odabirom horizonta koji se želi iscrtati. Na profilima su se prvo pomoću iste opcije korigirale linije paleoreljefa, boksita i površine terena. Isto je napravljeno i sa rasjednim linijama (engl. *digitize fault*), a rasjedima je dodan i karakter pomaka. Navedeno je napravljeno iz estetskih razloga, a prvotne linije se mogu ili isključiti ili ukloniti. Nakon toga su izdvojene linije kalkarenita, a zatim I. produktivnog sloja karbonatnih breča metodom korelacije odgovarajućih markera na bušotinama (Slika 5.19). Pritom su se također pojavile određene poteškoće, posebno kod izdvajanja kalkarenita, a razlog je upravo njihov način pojavljivanja u ovom području. Rezultat interpretacije svih profila prikazan je na Slici 5.20.



Slika 5.18. Poprečni geološki profil A-B prije interpretacije.



Slika 5.19. Poprečni geološki profil A-B nakon interpretacije.

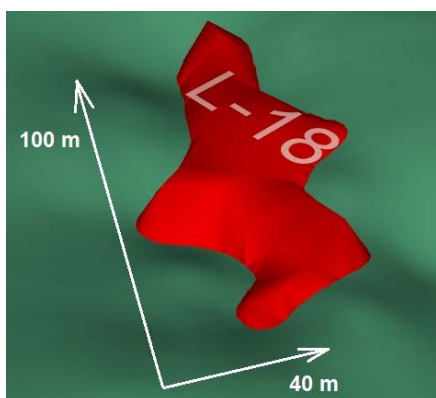


Slika 5.20. Rezultat interpretacije svih profila predstavljen linijama pojedinih horizonata, linijama rasjeda i linijama površine terena.

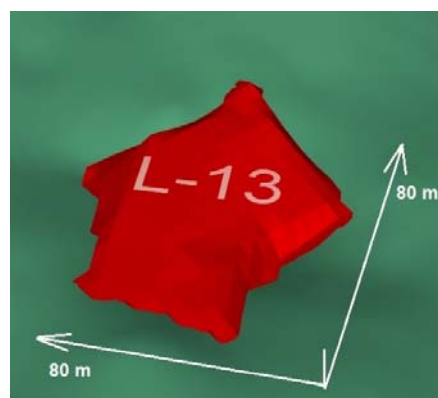
6. DISKUSIJA

Provedeno istraživanje obuhvaća rekonstrukciju modela ležišta boksita i postavljanje temelja za izradu 3D litofacijsnog modela u istražnom prostoru *Crvene stijene*. Ulazni podaci koji su pritom korišteni obuhvaćaju detaljnu topografsku podlogu s nanesenim konturama ležišta boksita u podzemlju, litološkim stupovima preko 500 bušotina na boksit te 5 novih bušotina na AG-K, digitalni model reljefa, detaljnu geološku podlogu te podatke kartiranja podzemnih rudarskih radova. Kao podloga za istraživanje poslužio je 3D geološki model ležišta boksita i AG-K iz rada IVKIĆ & IVANINIĆ (2016). Za istraživanje je korišten geološki računalni program Midland Valley Move™.

Rekonstrukcija modela ležišta boksita napravljena je na temelju „fiktivnih“ bušotina koje su postavljane unutar granica ležišta između pravih bušotina na boksit i susjednih negativnih bušotina. Dubina krovine boksita na „fiktivnim“ bušotinama procijenjena je na temelju bušotina koje su probušile rudu i njihovih susjednih bušotina koje ne sadrže boksit. Na taj način osiguran je veći broj bušotinskih podataka za izradu novih krovinskih ploha ležišta boksita, odnosno boksitnih tijela. Rekonstruirana boksitna tijela vrlo reprezentativno prikazuju krške boksite unutar negativnih formi paleoreljefa. Također, dobiveni su i njihovi stvarni oblici koji su definirani ranijim istraživanjima (Slike 6.1 i 6.2).

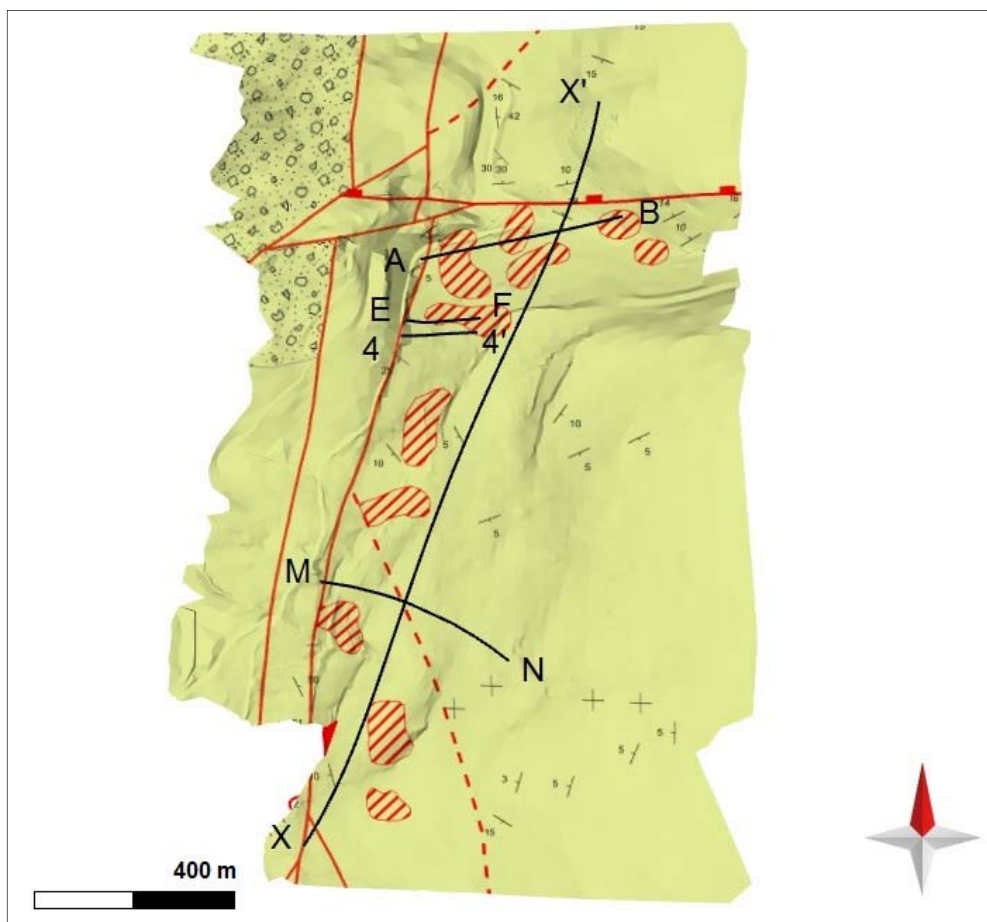


Slika 6.1. Boksitno tijelo izduženo u obliku kanala.

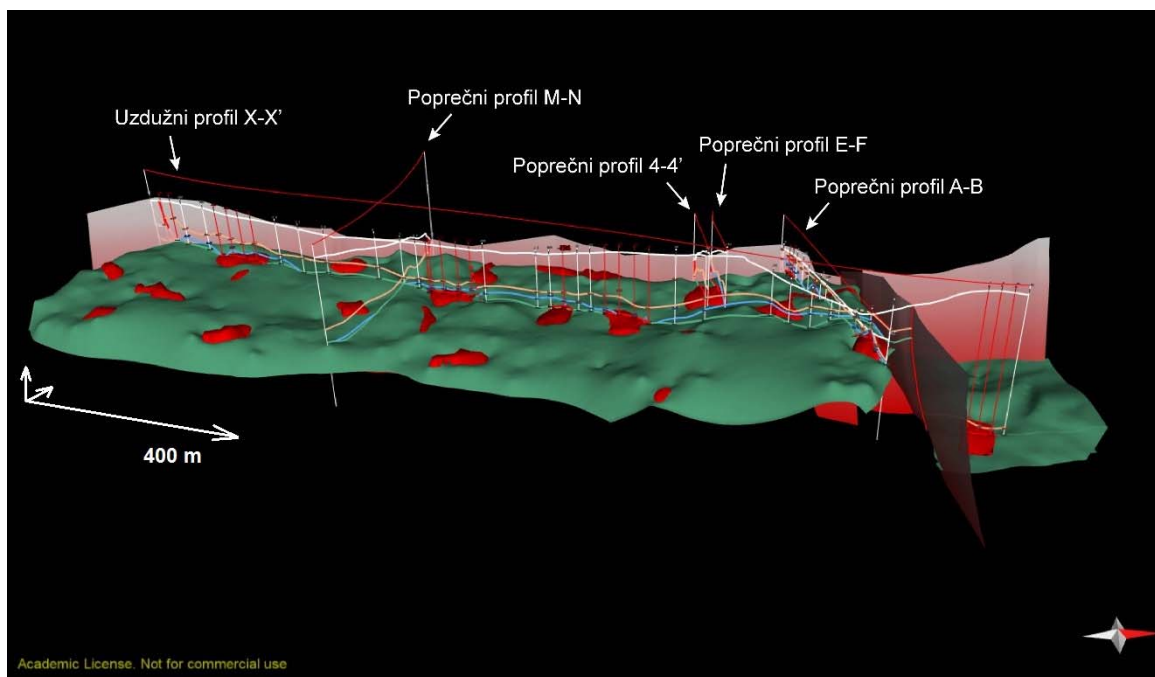


Slika 6.2. Boksitno tijelo nepravilnog oblika.

Izdvajanje neposrednih krovinskih naslaga napravljeno je pomoću velikog broja poprečnih i uzdužnih profila kroz cijelo istražno područje *Crvenih stijena* (Slika 5.17). Trase profila postavljane su kroz bušotine kako bi profili sadržavali bušotinske podatke. Interpretacija profila izvršena je metodom korelacije horizonata kalkarenita i I. produktivnog sloja karbonatnih breča. Rezultati interpretacije svih profila su zadovoljavajući, a izdvojeno je 5 karakterističnih profila (Slike 6.3. i 6.4.) čiji opis slijedi u daljnjem tekstu.



Slika 6.3. Geološka karta istražnog područja *Crvene stijene* s trasama izdvojenih profila A-B, E-F, M-N, 4-4' i X-X'.



Slika 6.4. Prostorni smještaj izdvojenih geoloških profila u IP *Crvene stijene*.

Poprečni geološki profil A-B

Generalni smjer pružanja profila A-B je sjeveroistok-jugozapad (Prilog 1). Profil je konstruiran na temelju podataka iz 14 bušotina označenih na profilu. Vidljivo je da je na svakoj bušotini postignuta dubina do podinskih cenomanskih vapnenaca (paleoreljef), s tim da je debljina cenomanskih vapnenaca nepoznata.

Na profilu su izdvojeni paleoreljef, ležišta boksita, kalkarenit i I. produktivni sloj karbonatnih breča te se odmah može uočiti karakteristika horizontalne izmjene kalkarenita i breča. Kalkarenit se pojavljuje na 3 mjesta neposredno iznad boksita: uz glavni rasjed Crvene stijene-Bešpelj, gdje mu je debljina oko 20 m; na lijevoj kosini paleoreljefa, gdje mu je debljina promjenjiva, a najveća oko 20 m kroz bušotinu B-63; na desnoj strani iznad najvećeg ležišta boksita na profilu, gdje mu je debljina oko 10 m, a interpretacijom profila je utvrđeno da najvjerojatnije izlazi na površinu terena u blizini bušotine B-37. Profil jasno pokazuje da mu horizontalno rasprostranjenje nije konstantno, što je uvjetovano taložnim okolišem u kojem je nastao.

S druge strane, karbonatne breče u I. produktivnom sloju karakterizira konstantno horizontalno rasprostranjenje, a debljina sloja je promjenjiva. Najveća debljina je u području bušotine B-62 (30-35 m), a najmanja u području bušotine B-37 gdje također izlazi na površinu.

Interpretacija profila zapadno od glavnog rasjeda nije napravljena zbog nedostatka bušotinskih podataka (skok rasjeda je nepoznat), ali se izdvojene naslage nalaze u podinskom krilu reversnog rasjeda. Krovinske naslage nisu označene posebnom štrafom jer nisu posebno izdvajane, ali je poznato da nakon I. produktivnog sloja slijedi II. produktivni sloj. Prema tome, on se ovdje nalazi ili plitko ispod površine ili na površini terena. Debljina krovinskih naslaga se naglo povećava u području bušotine B-42, odnosno na desnoj strani profila.

Poprečni geološki profil E-F

Pružanje profila je približno istok-zapad, a profil je konstruiran na temelju podataka iz 6 bušotina (Prilog 2). Sve bušotine su probušene do dubine podinskih vapnenaca.

Kalkarenit se i ovdje javlja iznad ležišta boksita i uz glavni rasjed Crvene stijene-Bešpelj. Neposredno uz rasjed debljina mu je oko 30 m, a idući prema istoku debljina mu se postupno smanjuje sve do ruba profila gdje se horizontalno izmjenjuje s brečama.

Karbonatne breče I. produktivnog sloja su znatno manje debljine u odnosu na breče na prethodnom profilu. Najveća debljina im je u području bušotine B-117 (oko 25 m), a idući na lijevo debljina im se smanjuje (5-10 m). Horizontalno rasprostranjenje im je konstantno duž cijelog profila.

Izdvojene naslage se nastavljaju i u području lijevo od glavnog rasjeda, ali i u ovom slučaju nisu izdvajane zbog nedostatka bušotinskih podataka. U odnosu na prethodni profil, krovinske naslage ovdje imaju znatno veću debljinu. II. produktivni sloj vjerojatno izlazi na površinu kao i I. produktivni sloj u blizini rasjeda i bušotine B-32. Debljina jalovine postepeno raste idući prema istoku.

Poprečni geološki profil M-N

Generalni smjer pružanja profila M-N je sjeverozapad-jugoistok (Prilog 3). Profil je konstruiran na temelju podataka iz 10 bušotina, među kojima se nalaze i 3 nove bušotine na AG-K (K2, K4 i K5).

Profil M-N karakterističan je zbog jedne negativne anomalije u području bušotine K4. Ovakih anomalija ima nekoliko u istražnom području, a mogu se uočiti i na Slici 5.14. Njihove pojave u modelu nisu još u potpunosti razjašnjene. Moguće je da su nekada bile ispunjene boksitom, a da su ta ležišta razorena za vrijeme taloženja krupnozrnatih karbonatnih breča. Zasad nema dovoljno prikupljenih podataka koji bi potvrdili ovu mogućnost. Buduća istraživanja bi trebala biti usmjerena na ulogu tektonike u formiranju krupnozrnatih karbonatnih breča za koje je pretpostavljeno da su nastale *in situ*, bez značajnog transporta. Druga mogućnost je da su anomalije uzrokovane preduboko određenom dubinom krovine paleoreljefa. Naime, karakteristično je da su one gotovo uvijek ispunjene krupnozrnatim karbonatnim brečama, čiji su klasti i metarskih dimenzija (Slika 4.3), a koji potječu od podinskih vapnenaca. Stoga je moguće da je prilikom interpretacije jezgre dubina krovine cenomanskih vapnenaca određena preduboko pa se u modelu dobije negativna anomalija.

Kalkarenit se može uočiti u području bušotina B-430 i B-431, ali mu tu dimenzije nisu velike. Utvrđen je i u dijelu profila lijevo od glavnog rasjeda na bušotini B-206, a njegov izostanak u području desno od rasjeda može se objasniti karakterom pomaka rasjeda za kojeg je utvrđeno da po pružanju mijenja karakter pomaka u horizontalni. Poznato je da se debljina slojeva može smanjiti kod horizontalnog pomicanja rasjeda pa nije iznenađujuće da kalkarenit izostaje u krovinskom krilu, dok mu je u podinskom krilu debljina oko 10 m. Skok rasjeda iznosi 50-60 m.

Poprečni geološki profil 4-4'

Pružanje profila je približno istok-zapad, a napravljen je na temelju 6 bušotina, od kojih su 4 bušotine probušile rudu (boksit) (Prilog 4).

Profil je izdvojen zbog karakteristične pojave boksita unutar negativne forme u paleoreljefu i debelog sloja karbonatnih breča u neposrednoj krovini. Debljina breča je najveća u području bušotine B-118 (oko 45 m), a naglo se smanjuje idući prema zapadu i prema glavnom rasjedu.

Uzdužni geološki profil X-X'

Zadnji izdvojeni profil je postavljen kroz cijelo istražno područje *Crvenih stijena*, a pružanje mu je približno sjever-jug, s tim da se trasa profila u južnom dijelu područja preusmjerila prema glavnom rasjedu Crvene stijene-Bešpelj. Profil obuhvaća i dio istražnog područja sjeverno od Medinog rasjeda. Izdvojene su sve jedinice kao kod prethodnih profila, a označena su i presjecišta s rudarskim radovima. Boksiti se ponovno javljaju u karakterističnim formama paleoreljefa (Prilog 5).

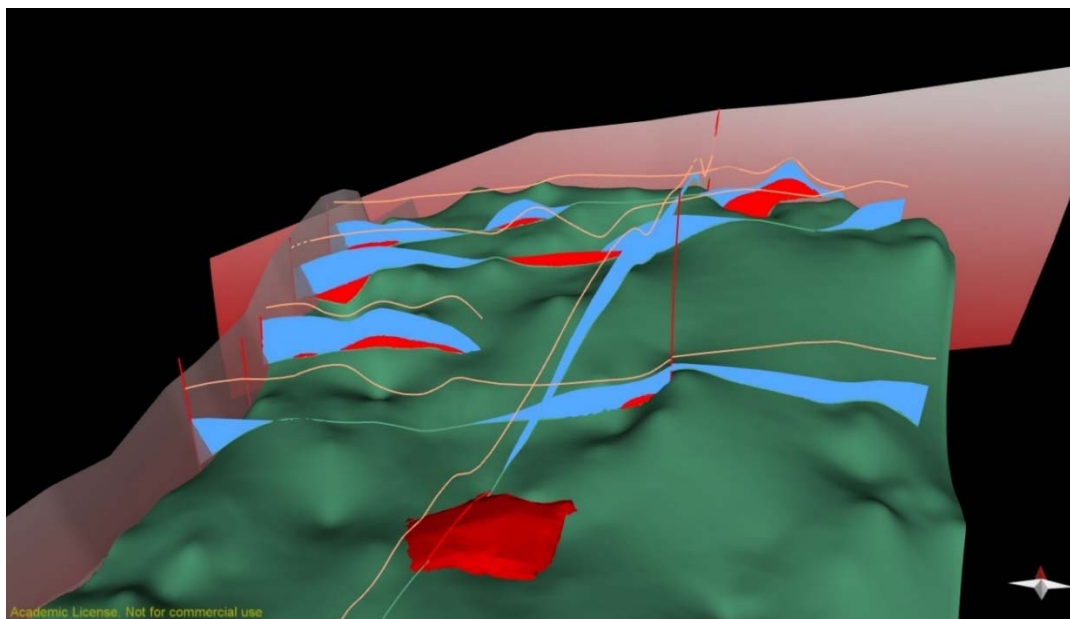
Uzdužni profil reprezentativno prikazuje građu neposredne krovine ležišta boksita duž cijele svoje trase. Mogu se vidjeti promjene debljina kalkarenita i breča te 2D oblici kalkarenita koji se i ovdje javljaju neposredno iznad boksita. Vidljive su i karakteristične negativne anomalije koje ne sadržavaju boksit, a ispunjavaju ih krupnozrnate breče.

I. produktivni sloj izlazi na površinu terena u području bušotine B-36, analogno I. produktivnom sloju na profilu A-B u području bušotine B-37 (Prilog 1), čime se potvrđuje interpretacija profila.

Na desnoj strani profila (sjeverni dio područja) može se uočiti normalni karakter pomaka Medinog rasjeda, a skok rasjeda je preko 100 m. S druge strane profila (južni dio područja) može se uočiti znatno manji skok rasjeda Crvene stijene-Bešpelj, pa ako se usporedi s prethodnim poprečnim profilima koji su postavljeni jedan iza drugog može se zaključiti da se skok rasjeda postupno smanjuje idući od sjevera prema jugu.

Konačno, ukoliko se u modelu uzme mreža interpretiranih poprečnih i uzdužnih profila, dobit će se svojevrsni blok dijagram koji zorno prikazuje na koji način se kalkareniti prostiru i izmjenjuju s brečama u I. produktivnom sloju. Za primjer je uzet dio područja južno od Medinog rasjeda i istočno od rasjeda Crvene stijene-Bešpelj (Slika 6.5). Na njemu se može uočiti da kalkareniti pokazuju tendenciju prostiranja u obliku kanala. Generalno, najveće debljine su im u nižim područjima paleoreljefa (u negativnim formama). Debljine im se smanjuju kako se približavaju pozitivnim formama paleoreljefa, dok na dodiru s najvišim dijelovima isklinjavaju.

Ovaj primjer može se usporediti sa Slikom 4.6 koja objašnjava postanak gornjokrednih klastičnih naslaga, a na temelju te usporedbe može se zaključiti da je korištena metoda poprečnih i uzdužnih profila vrlo kvalitetna. Daljnje izdvajanje II. produktivnog sloja karbonatnih breča i mlađih krovinskih naslaga AG-K može se izvoditi istom metodom, a nastavno na ovaj rad.



Slika 6.5. Blok dijagram sastavljen od poprečnih i jednog uzdužnog profila na kojima su kalkareniti izdvojeni kao plavi poligoni.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovoga rada bio je predstaviti metodologiju za rekonstrukciju ležišta boksita u području *Crvenih stijena*, kao i analizirati značajke neposredne krovine ležišta boksita u geološkom računalnom programu Midland Valley Move. 3D geološko modeliranje u ovom području je izvedivo zahvaljujući velikom broju geoloških podataka koji su produkt dugogodišnjih istraživanja ležišta boksita i novijih istraživanja na arhitektonsko-građevni kamen. Svi raspoloživi podaci su objedinjeni i uključeni kao ulazni podaci za modeliranje, a ustupila ih je tvrtka Rudnici boksita Jajce d.d. To su:

- litološki stupovi preko 500 bušotina na boksit i AG-K
- detaljne topografske podloge
- digitalni model reljefa i podzemni rudarski radovi u 3D
- detaljna geološka karta istraživanog područja
- detaljni geološki profili ležišta AG-K
- mjerenja strukturnih elemenata iz podzemnih rudarskih radova.

Kao temelj za rekonstrukciju ležišta boksita poslužio je 3D geološki model ležišta boksita i AG-K *Crvene stijene* (IVKIĆ & IVANINIĆ, 2016) koji sadrži prvotno dobivene modele ležišta boksita. Prvotna boksitna tijela imala su upitnu geometriju koja nije u potpunosti odgovarala poznatoj geološkoj situaciji u kojoj krški boksiti ispunjavaju negativne forme reljefa u karbonatima. Takva geometrija je dobivena zbog nedostatka okolnih bušotinskih podataka unutar granica ležišta. Za modeliranje ležišta korišteni su bušotinski podaci. Stoga je rekonstrukcija ležišta boksita napravljena postavljanjem „fiktivnih“ bušotina unutar granica ležišta. Metoda se pokazala vrlo dobrom jer su dobiveni oblici boksitnih tijela kakvi se i očekuju u ovom području. Postavljanje „fiktivnih“ bušotina nije pogodno u slučaju malog broja bušotina u nekom istražnom području.

Neposrednu krovinu ležišta boksita čini I. produktivni sloj krupnozrnatih karbonatnih breča za koji je pretpostavljeno da se horizontalno izmjenjuje s kalkarenitom. S obzirom na učestalost horizontalne izmjene i na obilje bušotinskih podataka, korištena je metoda poprečnih i uzdužnih profila. Trase profila postavljane su kroz bušotine kako bi profili sadržavali izdvojene bušotinske podatke, a to su: dubina krovine paleoreljefa, dubina krovine boksita, dubina krovine kalkarenita i dubina krovine I. produktivnog sloja karbonatnih breča. Ovako postavljeni profili su izuzetno pogodni za upotrebu metode korelacije horizonata, a koja je korištena za izdvajanje kalkarenita i I. produktivnog sloja. Nakon interpretacije svih

profila, izdvojeno je 5 karakterističnih profila koji prikazuju glavne značajke ležišta boksita i njihove neposredne krovine. Potvrđeno je da se kalkareniti horizontalno izmjenjuju s karbonatnim brečama u I. produktivnom sloju i da im debljine nisu zanemarive (i do 30 m), a horizontalno rasprostranjenje im nije kontinuirano duž profila. Karbonatne breče koje čine I. produktivni sloj imaju kontinuirano horizontalno rasprostranjenje, a debljina im doseže i do 45 m. Analizom svih interpretiranih profila u modelu ustanovljeno je da kalkareniti imaju tendenciju prostiranja u obliku izduženih kanala, što odgovara taložnom modelu koji je ranije definiran.

Ovim radom predstavljene su metode koje se mogu koristiti prilikom geološkog modeliranja na području *Crvenih stijena*. U slučaju njihove primjene na nekom drugom području svakako treba uzeti u obzir vrstu i broj ulaznih podataka koji stoje na raspolaganju. Za područje *Crvenih stijena* ovaj rad može poslužiti kao temelj za izradu detaljnog 3D litofacijsnog modela koji će sadržavati i naslage koje se nalaze iznad I. produktivnog sloja karbonatnih breča. U smislu eksploatacije AG-K poželjno je detaljno analizirati i II. produktivni sloj kod kojeg su izmjene češće nego kod I. produktivnog sloja, a u izmjeni se javljaju i lapori. Naslage koje se nalaze iznad II. produktivnog sloja spadaju u jalovinske naslage, a njihovo izdvajanje je poželjno ukoliko se želi istražiti taložni okoliš koji je uvjetovao nastanak gornjokrednih klastita.

8. POPIS LITERATURE

Objavljeni radovi:

DRAGIČEVIĆ, I. (1981): Geološki odnosi u boksitonosnom području Jajca. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

DRAGIČEVIĆ, I. (1987): Paleogeografska evolucija rubnog dijela mezozojske karbonatne platforme Dinarida između Vrbasa i Bosne. Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

FALLARA, F., LEGAULT, M., RABEAU, O. (2006): 3-D integrated geological modeling in the Abitibi subprovince (Quebec, Canada): techniques and applications. *Exploration and Mining Geology* 15 (2), 27-41.

GALIĆ, I., KRASIĆ, D. & DRAGIČEVIĆ, I. (2015): Evaluation of research in bauxite-bearing area at the „Crvene stijene“ locality with emphasis on exploitation of the associated deposits. *Geologia Croatica*, 68/3, 225-236, Zagreb.

KLJAJIĆ, M. (1986): Utjecaj mehaničkih svojstava pratećih stijena i rude na metodu otkopavanja u jamama Poljane i Crvene stijene. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

MARINKOVIĆ, R. & AHAC, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Jajce. Savezni geološki zavod, Beograd.

MIHALJEVIĆ, M. (2014): Izrada modela kontaktne plohe i podzemnih rudarskih prostorija na boksitonosnom području Crvene stijene. Završni rad. 26 p.p. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

PAPEŠ, J. (1984): Geološka karta boksitonosnih terena Liskovice, Bešpelja, Seoca, Crvenih stijena i Poljana kod Jajca. Mjerilo 1:25 000. RO „Geoinženjering“ – Sarajevo, OOUR Institut za geologiju. Sarajevo.

TOMIČEVIĆ, K. (2014): Modeliranje podzemnih prostorija i izrada animacije u složenim geološkim stukturama na području Crvenih stijena. Diplomski rad. 42 p.p. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

VLAKIĆ, A. (2012): Litostratigrafski odnosi u podinskim i krovinskim naslagama boksitonosnog područja „Crvene stijene“ (Jajce, BiH). Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Stručni elaborati:

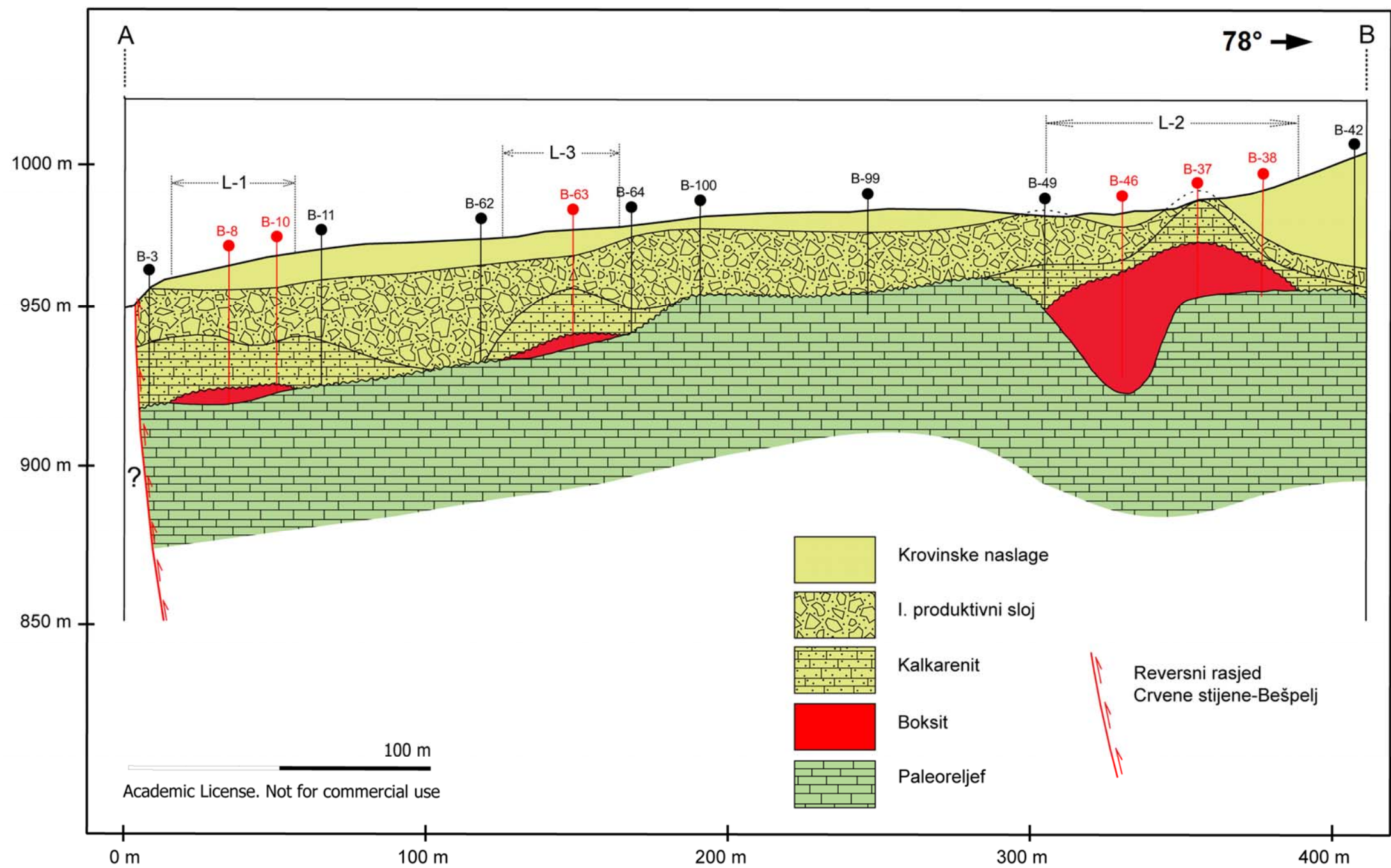
DRAGIČEVIĆ, I. & VELIĆ, I. (2006): Litostratigrafski položaj ležišta boksita u području Bešpelja. Fond stručne dokumentacije GEOECO-ING d.o.o., Zagreb

DRAGIČEVIĆ, I., GALIĆ, I., PAVIČIĆ, I. & DEKLJAK, G. (2015): Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena u istražnom prostoru „Crvene stijene“. Fond stručne dokumentacije RB Jajce, Jajce, BiH.

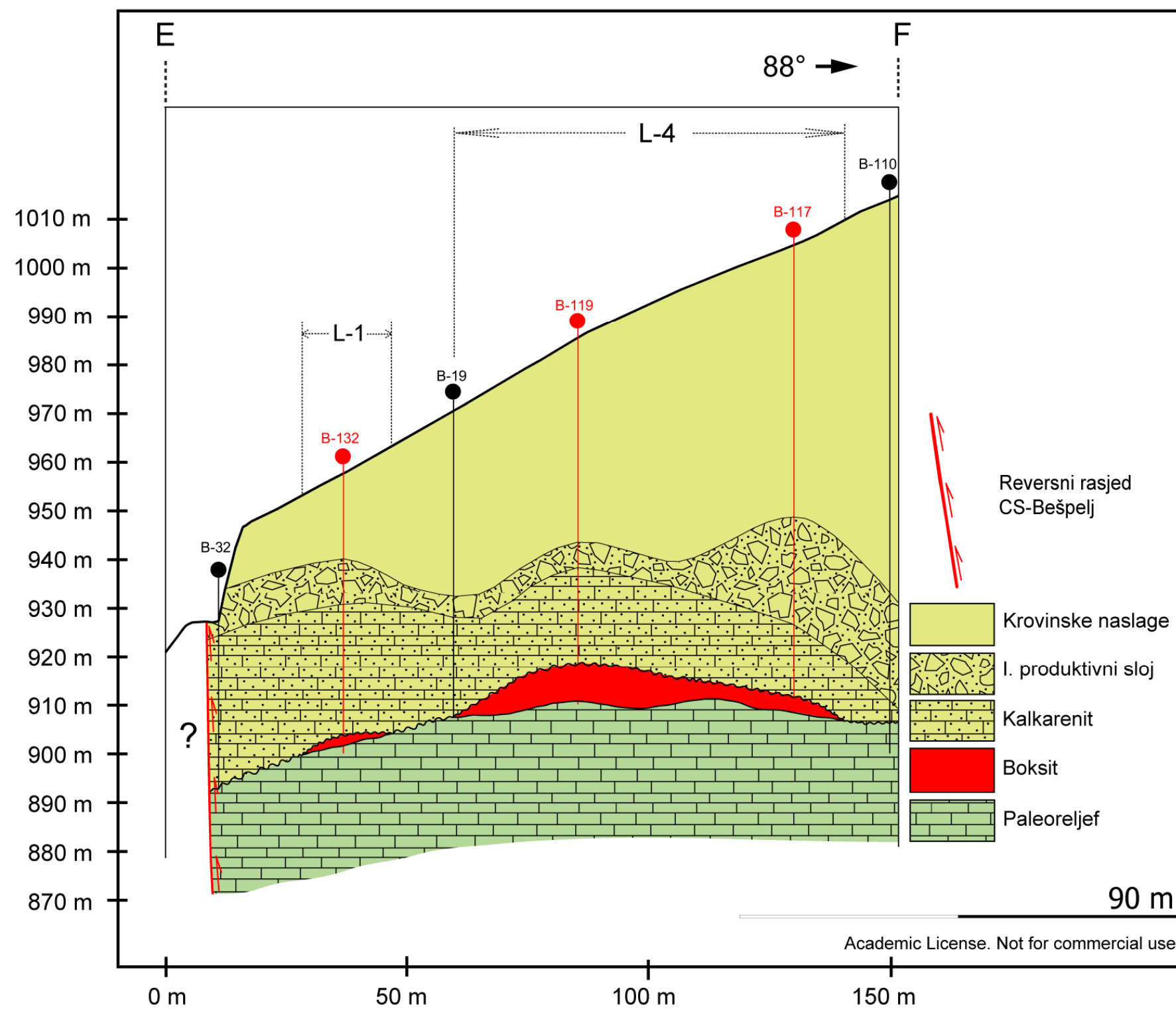
FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE RB JAJCE: BAZA LITOLOŠKIH STUPOVA BUŠOTINA. Rudnici boksita Jajce. Jajce, BiH.

Internet izvori:

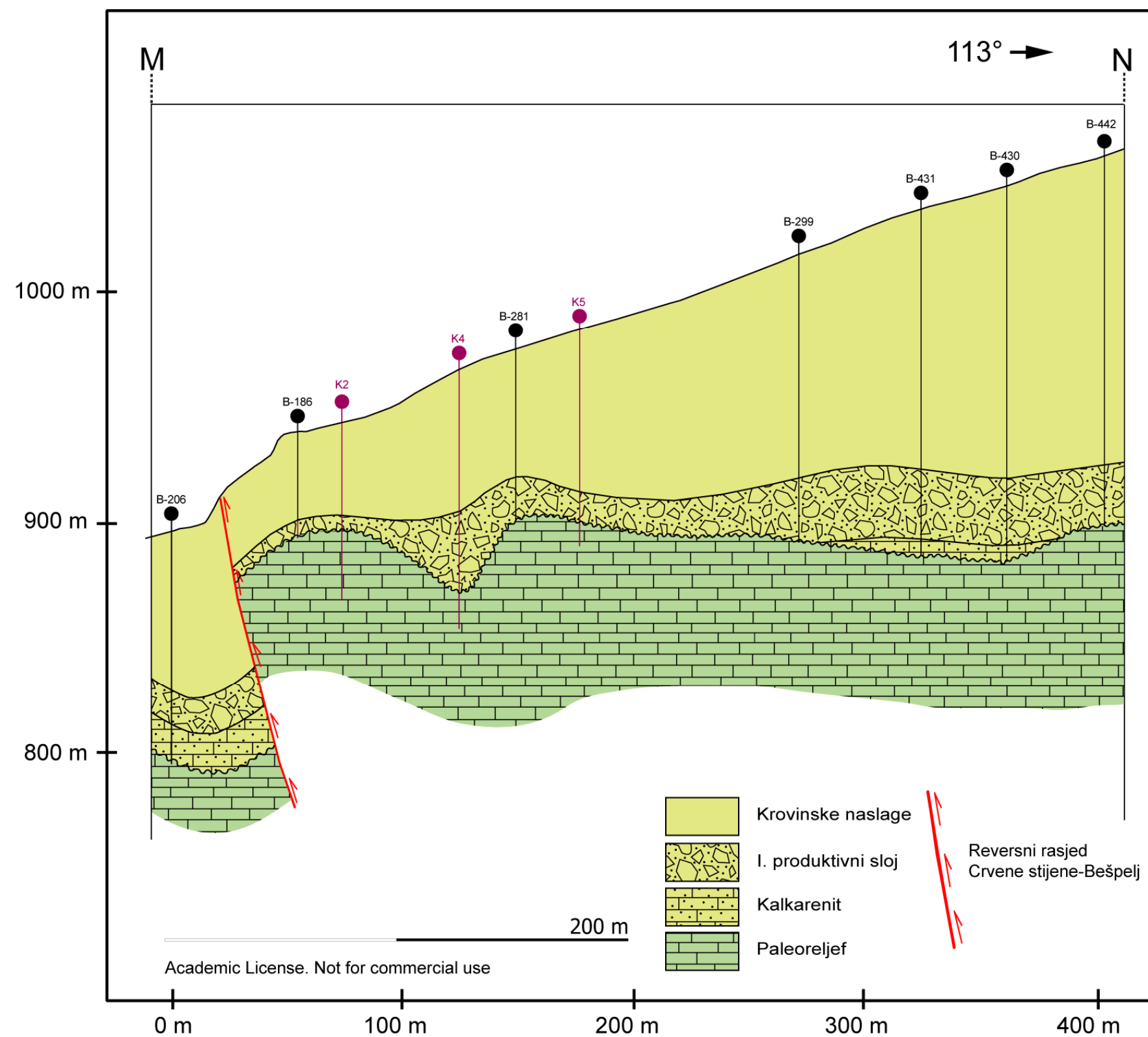
WIKIPEDIA: Jajce. URL: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Jajce>



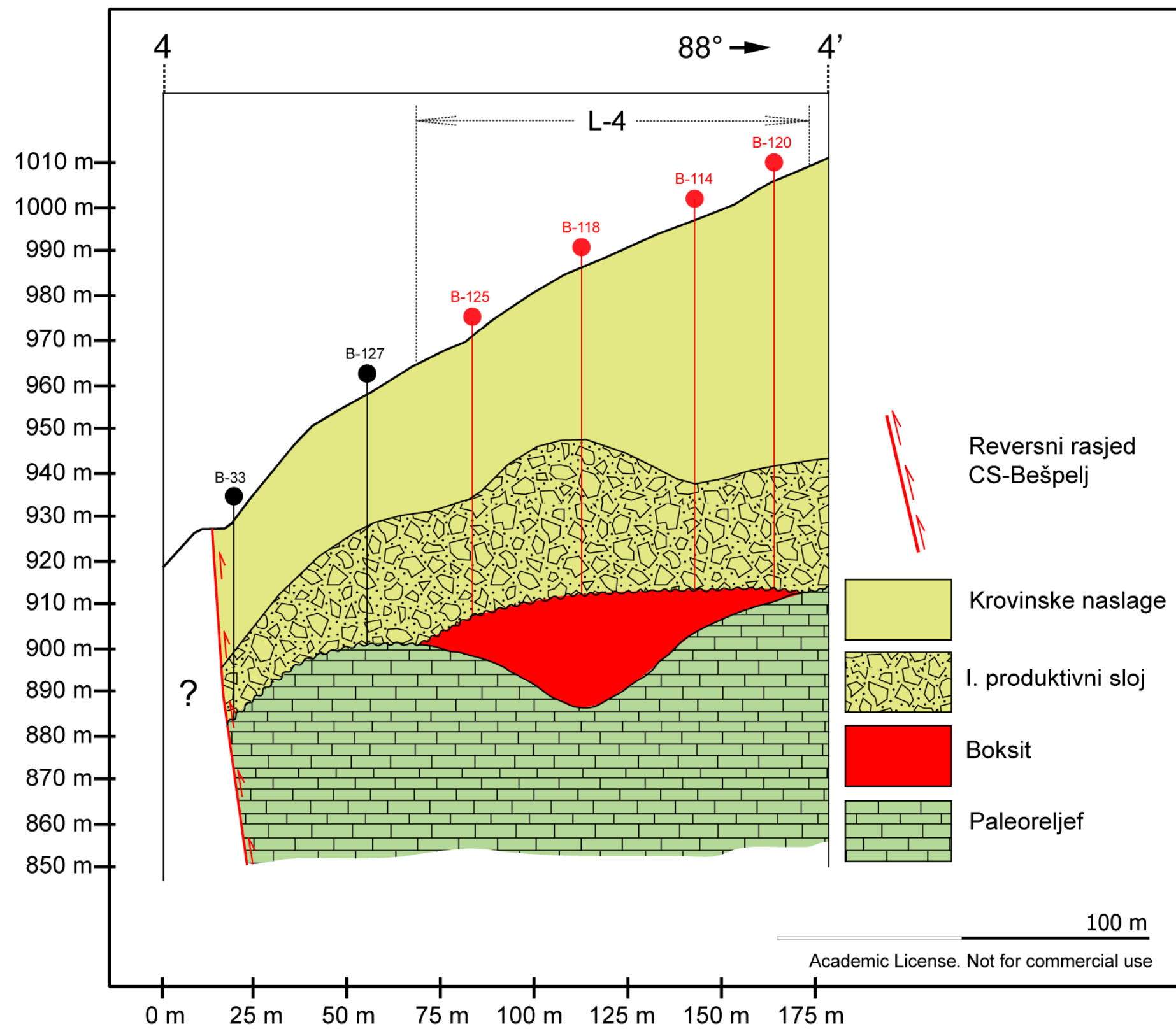
Prilog 1. Poprečni geološki profil A-B.



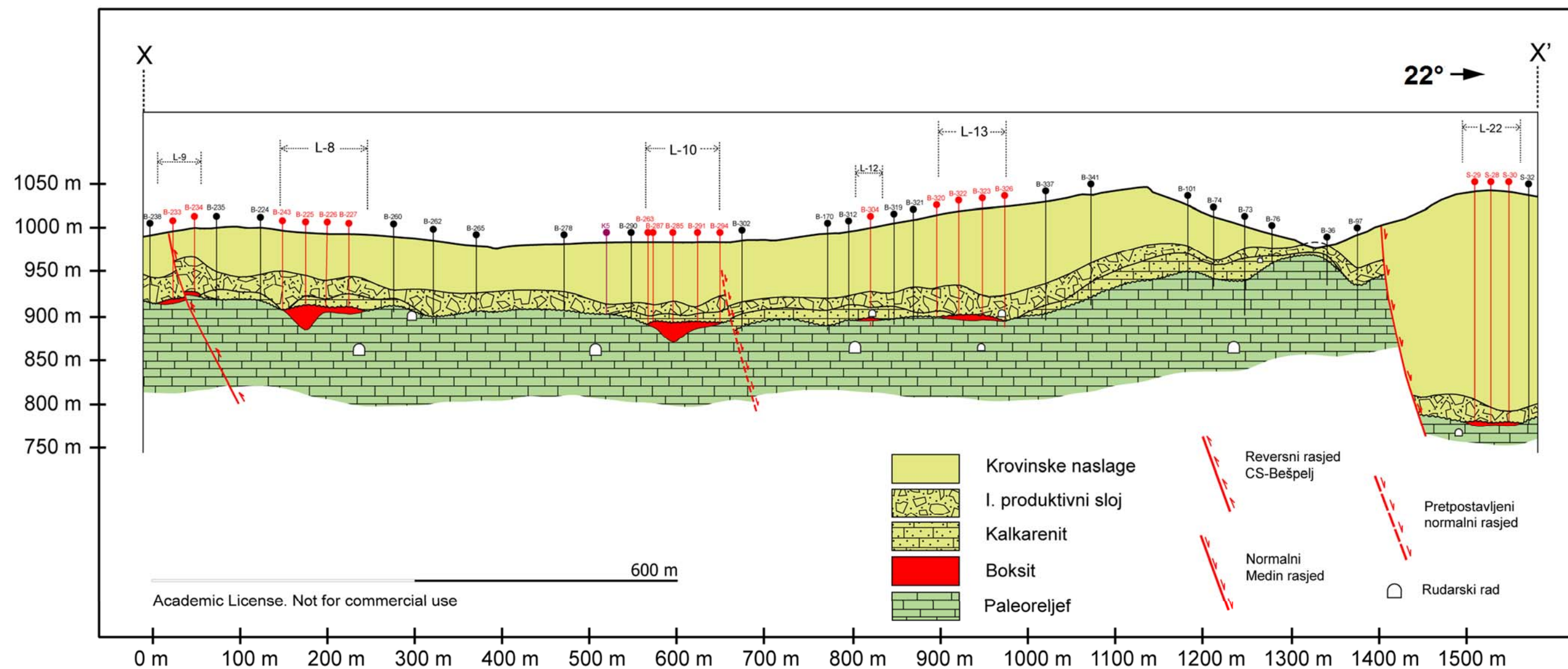
Prilog 2. Poprečni geološki profil E-F.



Prilog 3. Poprečni geološki profil M-N.



Prilog 4. Poprečni geološki profil 4-4'.



Prilog 5. Uzdužni geološki profil X-X'.