

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

IVONA IVKIĆ, univ. bacc. ing. geol.
DAVID IVANINIĆ, univ. bacc. ing. geol.

3D GEOLOŠKI MODEL LEŽIŠTA BOKSITA I ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG
KAMENA „CRVENE STIJENE“

Zagreb, 2016

Rad je izrađen na Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof.dr.sc. Ivana Dragičevića i asistenta Ivica Pavičića te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2015./2016.

Zahvale:

Zahvaljujemo se našem mentoru prof.dr.sc. Ivanu Dragičeviću i asistentu mag.ing.geol. Ivici Pavičiću, što su nam pružili priliku i pred nas stavili jedan veliki izazov, kojeg sasvim sigurno ne bismo uspješno priveli kraju bez njihove podrške, kritike, ali i strpljenja.

Zahvaljujemo se i tvrtki Rudnici Boksita Jajce d.d. što su nam ustupili sve podatke koji su bili neophodni za izradu ovoga rada.

Na kraju, veliko hvala našoj rodbini i prijateljima koji nestrpljivo čekaju pročitati ili barem zaviriti u rad njihovih najdražih.

Sadržaj:

1.	UVOD	1
2.	CILJ ISTRAŽIVANJA	2
3.	GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE.....	3
3.1.	Geografski položaj.....	3
3.2.	Morfološke značajke.....	4
3.3.	Klimatske i hidrološke značajke	6
4.	KRATKI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	8
5.	GEOLOŠKE ZNAČAJKE	10
5.1.	Stratigrafske značajke šireg područja	10
5.1.1.	Valendis-barem	11
5.1.2.	Barem-apt	11
5.1.3.	Alb-cenoman	12
5.1.4.	Senon-konijak, santon, kampan, mastriht	12
5.1.5.	Paleocen i miocen	14
5.1.6.	Kvartar.....	14
5.2.	Strukturne značajke	15
6.	GEOLOŠKE ZNAČAJKE LEŽIŠTA CRVENE STIJENE	19
6.1.	Uvod	19
6.2.	Geološka građa i opis ležišta	22
6.2.1.	Produktivni sloj I (Orso Rosso).....	22
6.2.2.	Produktivni sloj II	24
6.2.3.	Produktivni sloj III	26
6.2.5.	Mikropaleontološka istraživanja	27
6.3.	Tektonika ležišta.....	30
7.	METODE ISTRAŽIVANJA.....	33

7.1.	Opis ulaznih podataka	34
7.2.	3D geološki model ležišta.....	41
7.2.1.	Općenito o 3D geološkim modelima.....	41
7.3.	Opis postupaka izrade 3D modela ležišta.....	43
7.4.	Izrada plohe paleoreljefa ležištima boksita	43
7.5.	Izrada modela ležišta boksita.....	46
7.7.	Izrada 3D modela I. i II. produktivnog sloja AG kamena	48
7.7.1.	Izrada plohe i 3D modela I. produktivnog sloja (Orso Rosso)	48
7.7.3.	Izrada plohe i 3D modela II. produktivnog sloja (Orso Grigio)	51
7.8.	Konačni 3D geološki model ležišta	54
8.	Diskusija	58
9.	Zaključak.....	60
10.	Popis literature	62
	SAŽETAK:	64
	ABSTRACT:	65

Popis slika:

Slika 3.1. Geografski položaj Crvenih Stijena (Google Earth).....	4
Slika 3.2. Topografska karta s okonturenim istražnim prostorom <i>Crvene Stijene</i> (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).....	5
Slika 5.1. Izdanak <i>Bouma sekvencije</i> gornjokredne starosti nedaleko od <i>Crvenih Stijena</i>	13
Slika 5.2. Geološka karta šireg boksitonosnog područja Jajca (DRAGIČEVIĆ 1981; PAPEŠ, 1984).....	16
Slika 5.3. Geološki profil boksitonosnog područja Crvenih stijena (DRAGIČEVIĆ, 1981). .	17
Slika 5.4. Geološki stup šireg područja Jajca (DRAGIČEVIĆ 1981; PAPEŠ, 1984).	18
Slika 6.1. Panoramska fotografija ležišta Crvene Stijene.	19
Slika 6.2. Detaljni litostratigrafski stup ležišta boksita i AG-K <i>Crvene stijene</i> (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).....	20
Slika 6.3. Kalcitični lapori u krovini II produktivnog sloja karbonatnih breča.....	21
Slika 6.4. Sedimentacijske teksture u krovini II. produktivnog sloja karbonatnih breča.....	21
Slika 6.5. I. produktivni sloj karbonatnih breča. Fotografirano u istražnoj galeriji izvedenoj u istražnoj fazi ležišta AG-K. Posebnu pažnju posvetiti na veličinu pojedinih klasta.....	23
Slika 6.6. Ispolirana ploča AG- kamena prvog produktivnog sloja breča (foto I. Galić).	24
Slika 6.7. Zasjeak u II produktivnom sloju karbonatnih breča.	25
Slika 6.8. Ispolirana ploča II. Produktivnog sloja karbonatnih breča.	26
Slika 6.9. Mikroskopski izbrusak a) <i>Keramosphaerina tergestina</i> (STACHE), b) <i>Dictyopsella kiliani</i> MUNIER-CHALMAS, c) <i>Reticulinella fleuryi</i> CVETKO, GUŠIĆ & SCHROEDER, d) <i>Calveziconus lecalvezae</i> CAUS & CORNELLA.....	28
Slika 6.10. Mikroskopski izbrusak a) <i>Mesorbitolina pervia</i> DOUGLASS, b) <i>Mesorbitolina subconcava</i> LEYMERIE, c) <i>Paracoskinolina fleuryi</i> DECROUEZ & MOULLADE, d) <i>Neoiraquia insolita</i> (DECROUEZ & MOULLADE).	29
Slika 6.11. Istražni zasjek na čijoj su lijevoj strani vidljive decimetarske strije.....	31
Slika 6.12. Rasjed prikazan na slici 6.11. snimljen je u potkopu na koti 900.....	32
Slika 7.1. Radno okruženje u računalnom programu Move™ korištenom za izradu 3D geološkog modela.....	33
Slika 7.2. Geološka karta ležišta <i>Crvene stijene</i> preklopljena preko digitalnog modela reljefa.	34
Slika 7.3. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i geološke karte preklopljene sa DEM-om.	35

Slika 7.4. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i izmjerenih rasjeda u rudarskim radovima.	35
Slika 7.5. Litološki stup novije bušotine K1 (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).	37
Slika 7.6. Litološki stup bušotine na boksit B-189 (FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE TVRTKE RB JAJCE).	38
Slika 7.7. Prostorni smještaj 562 bušotine u IP <i>Crvene stijene</i> . Bušotine označene crvenom bojom su one koje su nabušile boksit, dok su markeri pojedinih horizonata označeni zelenom bojom.....	40
Slika 7.8. Svi ulazni podaci korišteni za izradu 3D modela ležišta boksita i AG-K.....	40
Slika 7.9. Primarno dobivena ploha paleoreljefa.	44
Slika 7.10. Parametri interpolacije plohe paleoreljefa algoritmom <i>Ordinary Kriging</i>	45
Slika 7.11. Ploha paleoreljefa nakon reinterpretacije. Obratiti pažnju na negativne	45
Slika 7.12. Ploha paleoreljefa i model podinskih vapnenaca.	46
Slika 7.13. Krovinske plohe ležišta boksita.	47
Slika 7.14. Dobiveni 3D modeli boksitnih tijela koja ispunjavaju udubljenja u paleoreljefu..	47
Slika 7.15. Primarno dobivena ploha I. produktivnog sloja.	48
Slika 7.16. Parametri interpolacije plohe I. produktivnog sloja breča (Orso Rosso) algoritmom <i>Ordinary Kriging</i>	49
Slika 7.17. Ploha I. produktivnog sloja (<i>Orso Rosso</i>) (ploha plave boje) nakon reinterpretacije dubina krovine.....	50
Slika 7.18. 3D model I. produktivnog sloja AG-K (plavi volumen) i podine ležištima boksita (zeleni volumen).....	50
Slika 7.19. Primarno dobivena ploha II. produktivnog sloja.	51
Slika 7.20. Parametri interpolacije plohe II. produktivnog sloja breča (Orso Grigio) algoritmom <i>Ordinary Kriging</i>	52
Slika 7.21. Ploha II. produktivnog sloja (Orso Grigio) dobivena nakon reinterpretacije dubina krovine.....	53
Slika 7.22. 3D model II. produktivnog sloja AG-K (ljubičasti volumen), I. produktivnog sloja AG-K (plavi volumen) i podine ležištima boksita (zeleni volumen).	53
Slika 7.23. 3D model krovinskih naslaga produktivnim slojevima (svijetlo sivi volumen), II. produktivnog sloja AG-K (ljubičasti volumen), I. produktivnog sloja AG-K (plavi volumen) i podine ležištima boksita (zeleni volumen).	54
Slika 7.24. Poprečni geološki profili eksploatacijskog prostora <i>Crvene stijene</i>	55
Slika 7.25. Ploha rasjeda koji predstavlja zapadnu granicu eksploatacijskog polja.	55

Slika 7.26. Poprečni geološki profil 1 eksploatacijskog polja <i>Crvene stijene</i>	56
Slika 7.27. Konačni 3D model eksploatacijskog polja <i>Crvene stijene</i>	57

Popis tablica:

Tablica 1. Priprema ulaznih podataka – koordinate i dubine bušotina na AG-K (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) (<i>Total Depth</i> , TD).....	39
Tablica 2. Priprema ulaznih podataka – dubine krovina pojedinih litoloških jedinica u bušotinama, za AG-K (<i>MD-Measured Depth</i>) (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). <i>Orso Grigio</i> – mlađi produktivni sloj breča; <i>Orso Rosso</i> – stariji produktivni sloj breča.....	39
Tablica 3. Volumeni (m^3 , km^3) ležišta boksita, AG-K te krovinskih naslaga ležištima AG-K.	57

1. UVOD

Boksitonosno područje Jajca predmet je znanstvenih i stručnih geoloških i rudarskih istraživanja više od 30 godina. Ističu se ležišta boksita *Crvene stijene*, *Bešpelj*, *Poljane*, te *Liskovica*. S ciljem pronalaska ležišta boksita provedena su dosad brojna i detaljna geološka istraživanja, a ističu se DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984; DRAGIČEVIĆ, 1987; DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2002 i DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006. Detaljno je kartirana površina terena, litostratigrafski su definirane podina i krovina ležišta boksita, definirani su strukturni položaji ležišta boksita, paleogeografski uvjeti i dr. S ciljem pronalaska ležišta boksita izbušeno je preko 1000 bušotina te su napravljeni brojni podzemni rudarski radovi (potkopi i hodnici).

Istraživano područje obuhvaća ležište boksita *Crvene stijene*, koje ujedno predstavlja i istražni prostor arhitektonsko-građevnog kamena (Slike 2.1. i 2.2.). U području *Crvene stijene* boksit se istražuje i eksploatira desetljećima. Prema novom pristupu istraživanja, u području *Crvene Stijene* posebnu vrijednost kao arhitektonsko-građevni kamen imaju karbonatne breče u krovini boksita (GALIĆ et al., 2015) koje su do sada pri eksploataciji boksita predstavljale jalovinu. Za bolje razumijevanje geometrije ležišta arhitektonsko-građevnog kamena (AG-K), ležišta boksita, kao i geometrije plohe paleoreljefa pristupilo se izradi 3D geološkog modela eksploatacijskog prostora *Crvene stijene*.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Svrha provedenog istraživanja je na temelju bušotinskih podataka, površinskih geoloških podataka i podataka iz podzemnih rudarskih radova, sofisticiranim računalnim metodama izraditi 3D geološki model ležišta boksita i arhitektonsko-građevnog kamena (AG-K). 3D model obuhvaća:

- plohu paleoreljefa na kojoj su se taložili boksiti;
- plohe krovine i podine karbonatnih breča (AG-K);
- 3D modele ležišta boksita;
- 3D modele ležišta arhitektonsko-građevnog kamena
- 3D model krovinskih naslaga ležištima AG-K

Načinjeni 3D model omogućuje uvid u geometriju ležišta boksita i arhitektonsko-građevnog kamena te procjenu volumena rezervi AG-K. 3D model predstavlja podlogu za daljnje istraživačke radove koji obuhvaćaju detaljno kartiranje podzemnih rudarskih radova te stalno geološko kartiranje novootvorenih zasjeka kako napreduje eksploatacija AG-K. Prikupljanjem novih podataka, načinjeni 3D model stalno bi se nadograđivao te bi predstavljao trenutno stanje ležišta AG-K *Crvene Stijene*, što bi snažno pripomoglo u planiranju dinamike i načina eksploatacije.

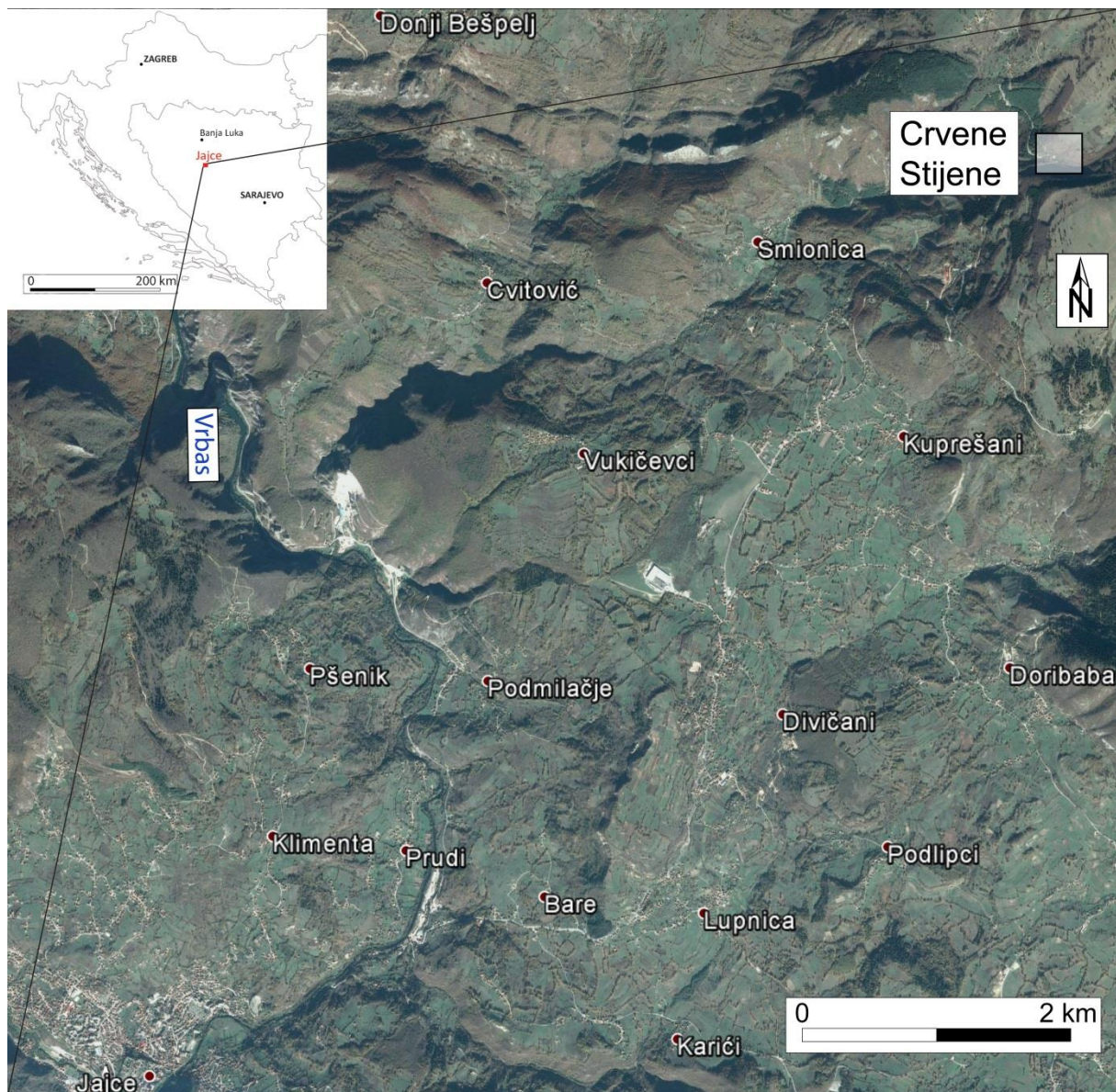
3. GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE

Istraživano područje *Crvene stijene* nalazi se u jugozapadnom dijelu središnje Bosne, 10-ak km sjeveroistočno od Jajca (Slike 3.1. i 3.2.). Jajce je glavni administrativni centar te njemu gravitiraju svi značajniji gospodarski subjekti šireg područja.

3.1. Geografski položaj

Istraživano područje *Crvene stijene* nalazi se na jugozapadnim padinama planine Hranče, odnosno užeg lokaliteta Ovčine. Područjem prolazi cesta koja od Jajca vodi prema Bešpelju, poznatom nalazištu boksita (Slika 3.1.). U tom lokalitetu se odvaja i cesta za Poljane, gdje se također nalazi važno nalazište boksita. Od prometnica Sarajevo – Banja Luka te Jajce – Bihać ovo je područje udaljeno svega 10-ak km, što čini ovaj lokalitet dobro prometno povezanim s ostatkom šireg područja, a što je važno za transport boksita. Rubnim dijelovima istraživanog terena protječu rijeke Vrbas i Ugar te čine sjevernu i sjeveroistočnu granicu promatranog područja. Zapadnim dijelom istraživanog terena protječe Crna rijeka.

Značajnija naselja u blizini istraživanog područja su: Podmilačje, Divičani, Kuprešani, Podlipci, Doribaba, Bistrica, Vukićevci, Poljane i Bešpelj. 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. Istraživano područje je četverokutnog oblika čiji su vrhovi označeni točkama A, B, C i D (Slika 3.1.).

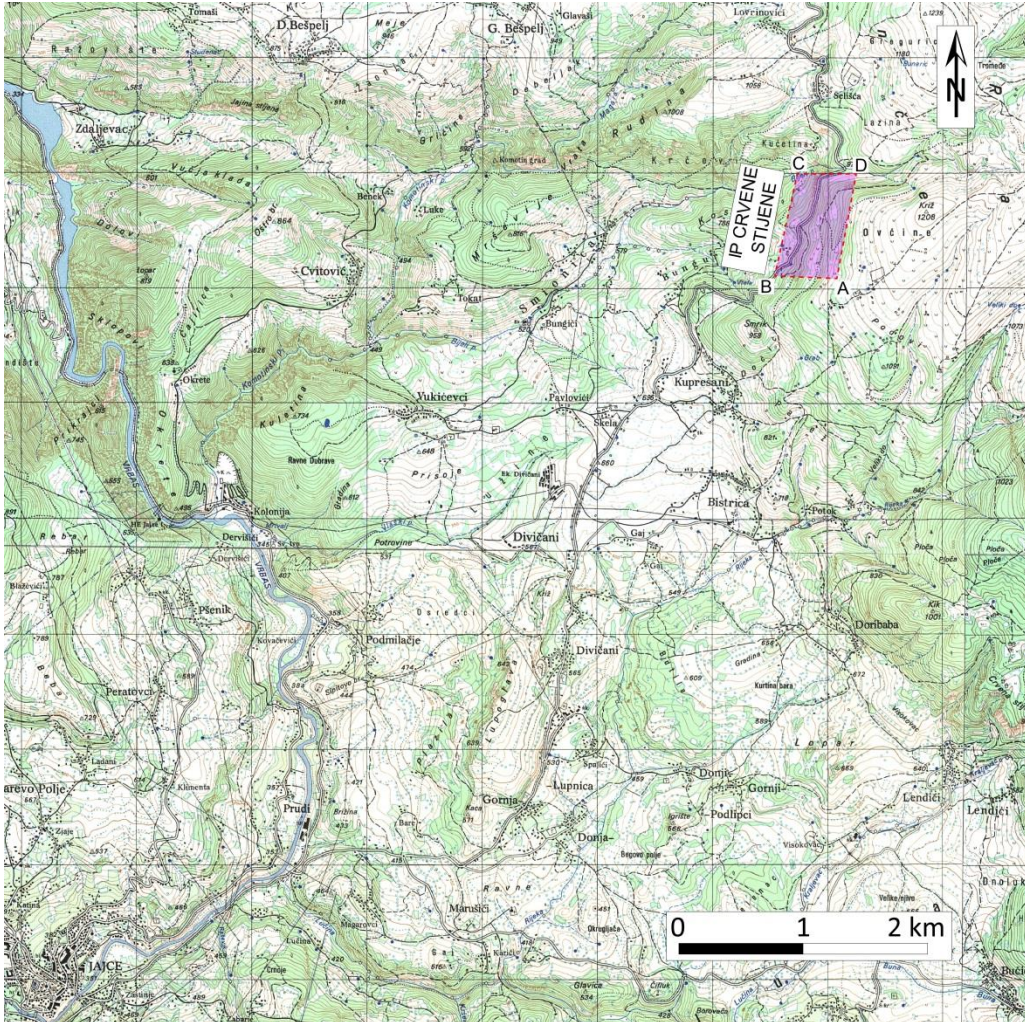


Slika 3.1. Geografski položaj Crvenih Stijena (Google Earth).

3.2. Morfološke značajke

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. Istraživano područje je velikim dijelom pokriveno gustim visokim šumama koje najvećim

dijelom pokrivaju sjeverni, istočni i jugoistočni dio terena (Slike 3.1. i 3.2.). Znan dio terena pokrivaju i planinski pašnjaci, a mjestimično nalazimo i na izdanke stijena.



Slika 3.2. Topografska karta s okonturenim istražnim prostorom *Crvene Stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

Morfološki oblici koje susrećemo na terenu u direktnoj su vezi s litološkim karakteristikama stijena kao i o tektonskom sklopu (DRAGIČEVIĆ, 1981). Razlikuju se tri osnovne cjeline (DRAGIČEVIĆ, 1981):

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

Terani koji su izgrađeni od donjokrednih i cenomanskih vapnenaca čine velik dio istraživanog terena. 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 (DRAGIČEVIĆ, 1981).

Drugu morfološku jedinicu čine gornjokredni klastiti te ona čini najveći dio istraživanog prostora. To su uglavnom blago zaravnjene površine omeđene plićim ili dubljim potočnim dolinama (DRAGIČEVIĆ, 1981). 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 (DRAGIČEVIĆ, 1981).

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).

Najistaknutiji morfološki oblici na cijelom promatranom području su kanjoni rijeka Vrbas i Ugar s planinom Hranče koja se nalazi između njih.

3.3. Klimatske i hidrološke značajke

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, ali 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 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zime karakterizira i velika količina snježnih padalina. Najhladniji mjesec je siječanj sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka od $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, a najtopliji srpanj sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka od $19,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (<https://hr.wikipedia.org/wiki/Jajce> (22.02.2016.)).

Šire područje istraživanja pripada krškom hidrološkom režimu. Razlog tome je što je područje izgrađeno većinom od karbonatnih stijena koje su izrazito propusne te zbog toga 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 te za vrijeme jakih oborina na tim naslagama dolazi do stvaranja jakih bujičnih tokova koji obično presuše ubrzo nakon prestanka padalina (DRAGIČEVIĆ, 1981).

Zbog tektonskog položaja istraživanog prostora i jake okršenosti karbonata ne može 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).

4. KRATKI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Područje Jajca bilo je u povijesti predmet brojnih geoloških istraživanja zbog raznovrsnih pojava i ležišta mineralnih sirovina, a posebice 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 i VELIĆ, 2002; DRAGIČEVIĆ i 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 pronalaženja ležišta brojnih mineralnih sirovina, od kojih se ističu 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 gdje se ističu radovi DRAGIČEVIĆ et al., 2015 te GALIĆ et al., 2015. Smatra se da će buduća istraživanja, a i vjerojatna eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena na lokalitetu *Crvene stijene* biti od velikog gospodarskog i ekonomskog značaja za šire područje Jajca.

5. GEOLOŠKE ZNAČAJKE

Geološka građa istraživanog lokaliteta *Crvene stijene* u boksitonošnom području Jajca prikazana je na geološkoj karti 1:50000 izrađenoj prema DRAGIČEVIĆ, 1981 i PAPEŠ, 1984 (Slika 5.2), geološkom profilu (Slika 5.3.) te geološkom stupu (Slika 5.4.). U istraživanom području zastupljene su naslage čiji je stratigrafski raspon od donje krede do kvartara. Prevladavaju naslage donje i gornje krede te miocenske naslage, dok su kvartarne naslage rijetko zastupljene.

5.1. Stratigrafske značajke šireg područja

Najstarije naslage na širem području Jajca su donjokredne starosti. 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 (santon, kampan, mastriht) (K_2^{4-6})

Miocenske naslage transgresivne su na raznolike starije stijene a predstavljene su konglomeratima, glinama, pješčenjacima i laporima a mjestimično se javljaju i proslojci ugljena. Na terenu se nalaze i kvartarne naslage, ali one su 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).

5.1.1. 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.

Provodni fosili su vrlo rijetki. Paleontološkim istraživanjima utvrđeni su mikrofosili koji su dominantni, a pojavljuju se i sitne nerinee, krupni hidrozoi te primitivni rudisti. Starost ovih naslaga je određena pomoću mikrofosila, posebice foraminifera i algi, te je utvrđeno da naslage pripadaju valendis-otrivu te dijelu barema.

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

Naslage ove starosti su najveću površinu zauzimaju u sjevernom i jugozapadnom dijelu terena koji je prikazan na geološkoj karti (Slika 5.2.). Ove su naslage dominantno dobro uslojeni pločasti vapnenci čija boja varira od sivo smeđe preko svijetlosive do tamnosive boje. Leže kontinuirano na prije opisanim naslagama valendis – baremske starosti. Debljina slojeva tih vapnenaca može doseći i 100 centimetara. Ukupna debljina ovih naslaga iznosi oko 450 metara te sadrži raznovrsne tipove plitkomorskih vapnenaca, uz rijetke proslojke i slojeve kasnodijagenetskih dolomita.

Brojne mikrofosilne zajednice koje se nalaze u ovim naslagama čine ovaj stratigrafski član pogodnim za određivanje starosti. U donjem dijelu slijeda naslaga pronađene su salpingoporele, dok se u mlađim naslagama nalazi bogata zajednica orbitolina. Prisutni su i makrofosili, u najvećoj mjeri nerinee i primitivni rudisti. Na temelju navedenih fosilnih zajednica utvrđeno je da naslage pripadaju gornjem baremu i aptu te donjem dijelu alba.

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

Naslage alb – cenomanske starosti leže kontinuirano na prije opisanim barem – aptskim naslagama. Te naslage čine različiti tipovi plitkovodnih vapnenaca bijele, ružičaste do svijetlosive boje. Uz vapnence, podređeno se javljaju i slojevi dolomita. Ovaj stratigrafski član se odlikuje dobrom uslojenošću te mu ukupna debljina iznosi oko 500 metara. Debljina slojeva se kreće u rasponu od 5 centimetara do 1 metra.

U stijenama su nađeni brojni ostaci algi, foraminifera i rudista pomoću kojih je i određena starost alb-cenoman.

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

Naslage senonske starosti su pronađene u središnjem i istočnom dijelu šireg područja koje je prikazano na geološkoj karti (Slika 5.2.). 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 brzom 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 na kojeg su usmjerena brojna znanstvena istraživanja.

Za gornji dio ovog stratigrafskog člana tipični su litofacijesi s turbiditnim obilježjima i brojnim eksternim i internim teksturama koje priliče turbiditima (Slika 5.1).



Slika 5.1. Izdanak *Bouma* sekvencije gornjokredne starosti nedaleko od *Crvenih Stijena*.

Senonska starost ovih naslaga utvrđena je na temelju brojnih fosilnih ostataka, među kojima se ističu rudisti koji se najčešće nalaze u fragmentima te globigerine i globotrunkane. Debljina stratigrafskog člana na nekim mjestima doseže i do preko 1000 metara, a naslage su pod utjecajem tektonike intenzivno borane i rasjednute.

5.1.5. Paleocen i miocen (Pc i M)

U najvišim dijelovima prethodno opisanog senonskog slijeda zapažen je nedostatak rudistnih breča i sve veće učešće sitnozrnatih komponenata, što rezultira taloženjem lapora i finih 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).

Kako miocenske naslage nisu predmet istraživanja bit će prikazan samo njihov kratki opis preuzet iz DRAGIČEVIĆ (1981). Miocenske naslage transgresivne su na različite starije naslage. Zastupane 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).

5.1.6. Kvartar

Naslage kvartarne starosti nisu značajno zastupljene na promatranom području. Tu možemo spomenuti manje sipare, nanose rastrošenih starijih stijena te pojave zemlje crvenice. Njihova debljina je vrlo mala. Sipari su najviše prisutni uzduž dubokih kanjonskih dolina rijeka Vrbas i Ugra, a oni nastaju i u recentno vrijeme. Zbog male debljine i rasprostranjenosti nisu posebno izdvajani na geološkoj karti.

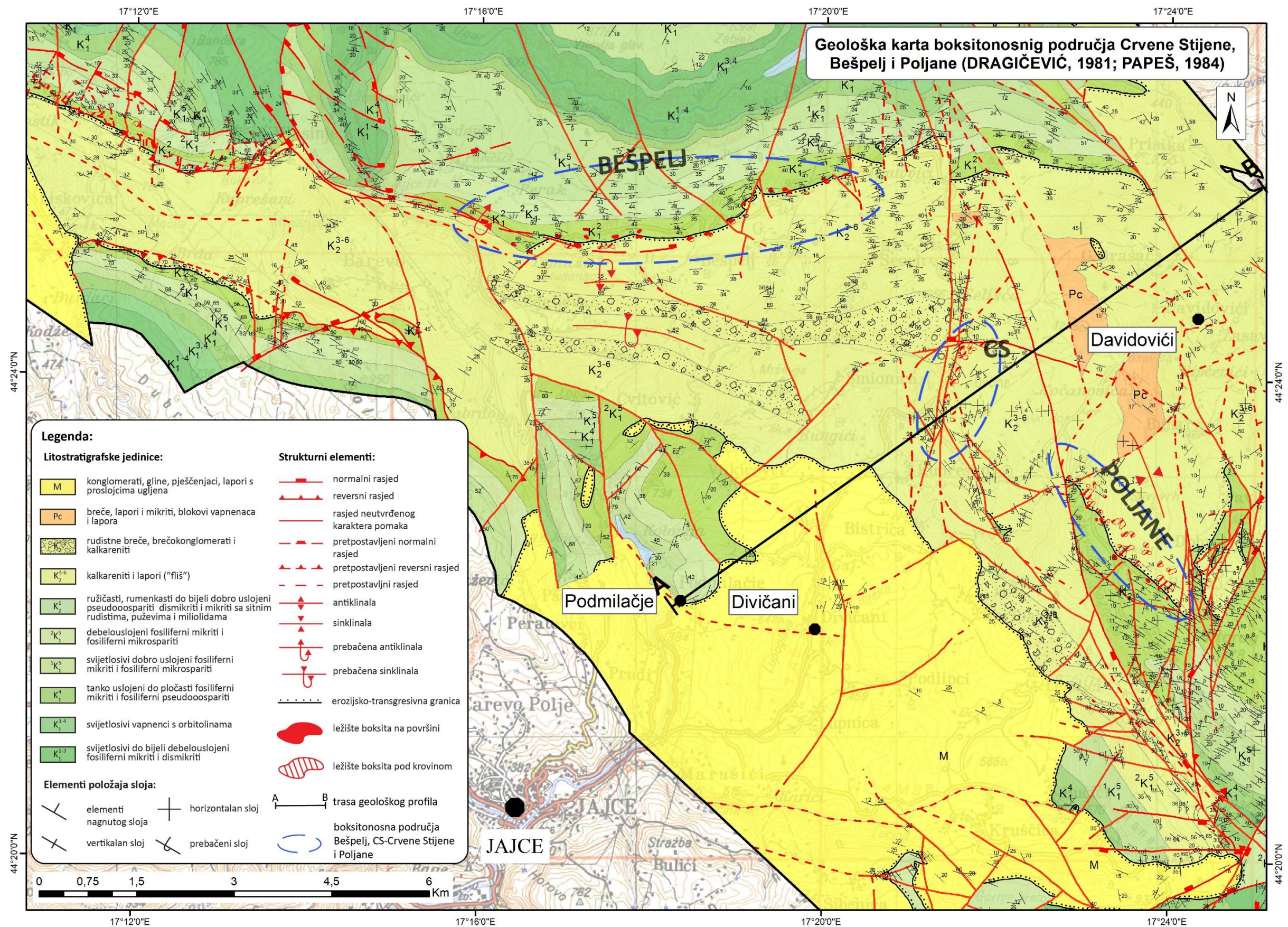
Kredni vapnenci koji su oštećeni tektonskim aktivnostima i procesima okršavanja na površini terena su izloženi egzogenim geološkim procesima te kao posljedica toga dolazi do njihovog mehaničkog raspadanja i gravitacijskog premještanja u podnožje padina te se na taj način formiraju sipari. Taj je materijal nevezan, nezaobljen te djelomično sortiran. U dnu sipara se nerijetko nalaze i blokovi vapnenaca čija je veličina i nekoliko m³. Zbog male debljine nisu posebno izdvajane na geološkoj karti.

5.2. Strukturne značajke

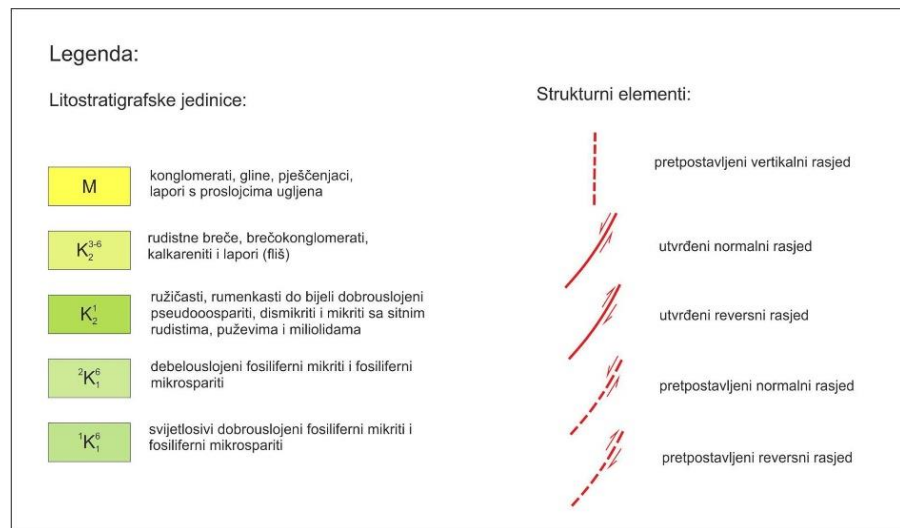
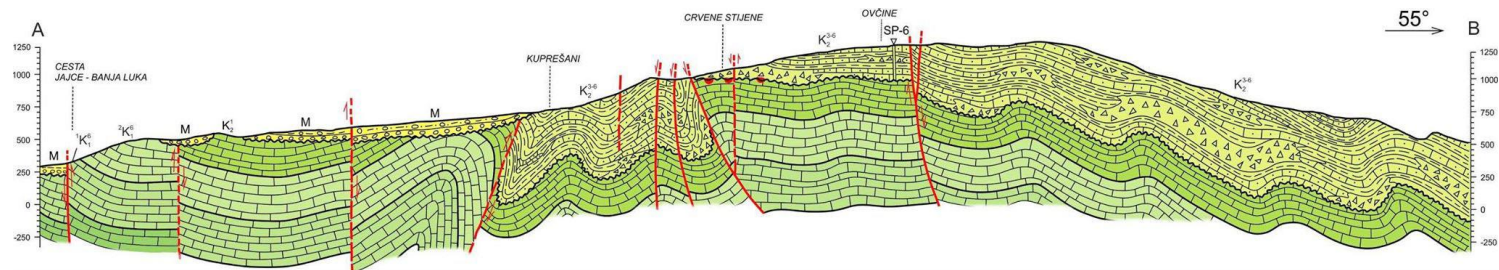
Tektonski odnosi na širem području Jajca su vrlo složeni. Sukladno podacima iz Osnovne geološke karte 1:100 000, list Jajce (MARINKOVIĆ & AHAC, 1979) područje istraživanog lokaliteta *Crvene stijene* pripada strukturnoj jedinici Ugar-Bešpelj-Vlašić.

Na priloženoj geološkoj karti (Slika 5.2.) 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 još i danas. U strukturnom pogledu mogu se razlikovati dva područja. Na istoku promatranog terena nalazi se boksitonošno 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 na sjeveroistočnom dijelu tog područja koje je intenzivnije borano zbog toga što tamo nalazimo klastične naslage konijak-mastrihta, odnosno *fliš*.

Drugo područje na istraživanom terenu se nalazi na zapadnom dijelu, gdje se nalazi boksitonošni 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 kako je tektonska aktivnost na tom području bila jako izražena. Na priloženoj geološkoj karti (Slika 5.2.) uočava se najznačajniji rasjed koji razdvaja istočno i zapadno područje te prolazi područjem Crvenih stijena. Taj je rasjed najvjerojatnije reversnog pomaka, sa značajnom komponentom horizontalnog tektonskog transporta.



Slika 5.2. Geološka karta šireg boksitonosnog područja Jajca (DRAGIČEVIĆ 1981; PAPEŠ, 1984).



Slika 5.3. Geološki profil boksitonsnog područja Crvenih stijena (DRAGIČEVIĆ, 1981).

STAROST		GRAFIČKI PRIKAZ	DEB [m]	LITOLOŠKI SASTAV	FOSILNI SADRŽAJ	
NEO-GEN	MIO-CEN		M 200	konglomerati, gline, pješčenjaci, lapori s proslojcima ugljena	unutar miocenskih naslaga brojni fosilni ostaci pisidijuma, planorbisa, limneusa, melanopsisa	
PALE-OGEN	PALE-OCEN		Pc oko 250	breče, lapori i mikriti, blokovi vapnenaca i lapora		
GORNJA KREDA		KONIAK, SANTON, KAMPAN, MASTRIHT		K ₂ ³⁻⁶ preko 900	rudistne breče, brečokonglomerati, kalkareniti i lapori (fliš)	<i>Keramosphaerina tergestina</i> , <i>Dictyopsella kiliani</i> , <i>Reticulinella fleuryi</i> , <i>Calveziconus lecalvezae</i>
		CEN-OMAN		K ₂ ¹ 260	ružičasti, rumenkasti do bijeli dobrouslojeni pseudoospariti, dismikriti i mikriti sa sitnim rudistima, puževima i miliolidama	ostaci algi, foraminifera i rudista
DONJA KREDA		GORNJI ALB		² K ₁ ⁶ 320	debelouslojeni fosiliferni mikriti i fosiliferni mikrospariti	<i>Paracoskinolina fleuryi</i> , <i>Valdanchella dercourtii</i> , <i>Valdanchella dercourtii</i> , <i>Neoiraquia insolita</i> , <i>Simplorbitolina broennimanni</i>
		DONJI ALB		¹ K ₁ ⁶ 350	svijetlosivi dobrouslojeni fosiliferni mikriti i fosiliferni mikrospariti	<i>Mesorbitolina pervia</i> , <i>Mesorbitolina subconcava</i>
		APT		K ₁ ⁵ 170	tankouslojeni do pločasti fosiliferni mikriti i fosiliferni pseudoospariti	mikrofosili: salpingoporele, orbitoline makrofosili: nerinee, primitivni rudisti
		BERIAS, VALENDIS, OTRIV, BAREM		K ₁ ¹⁻⁴ preko 400	svijetlosivi vapnenci s orbitolinama svijetlosivi do bijeli debelouslojeni fosiliferni mikriti i dismikriti	dominantno mikrofosili, sitne nerinee, krupni hidrozoi te primitivni rudisti

Slika 5.4. Geološki stup šireg područja Jajca (DRAGIČEVIĆ 1981; PAPEŠ, 1984).

6. GEOLOŠKE ZNAČAJKE LEŽIŠTA CRVENE STIJENE

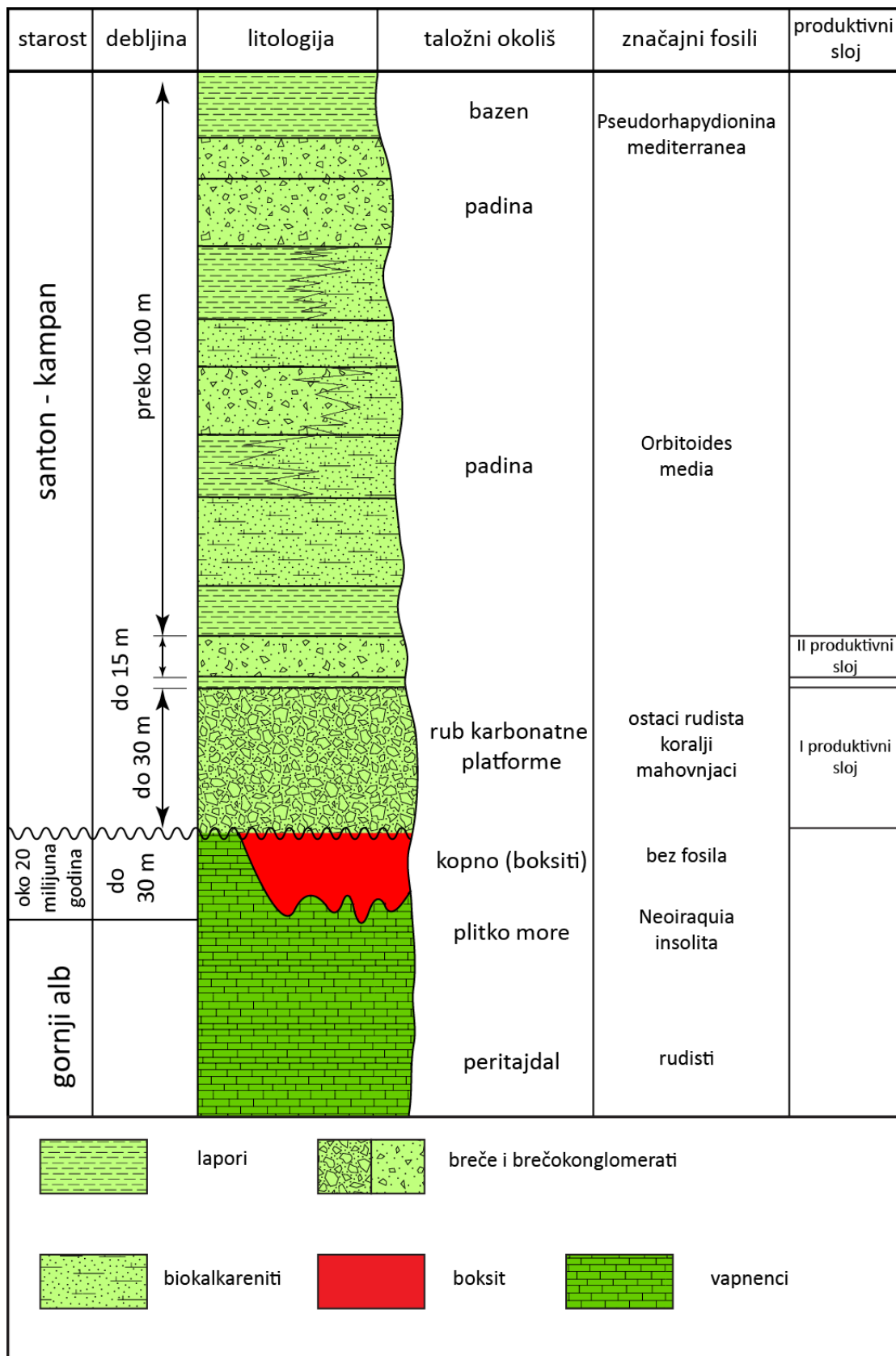
6.1. Uvod

Ležište arhitektonsko-građevnog kamena u području *Crvene stijene* (Slika 6.1.) pripada ležištima sedimentnog ciklusa, a smješteno je u bazalnom dijelu transgresivne serije sedimenata, karbonatnih klastita konijak-mastrihtske (senon) starosti poznatih pod nazivom *fliš* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) (Slika 6.2.). Navedene stijene su transgresivne i blago diskordantne na plitkomorske vapnence najmlađe donje krede koji predstavljaju najmlađe taložne sekvence istaložene na sjevernom rubu Jadranske karbonatne platforme (DRAGIČEVIĆ 1981; 1987). Diskordancija između ovih dviju jedinica predstavlja emerziju tijekom koje su nastala brojna ležišta bemitskih boksita (DRAGIČEVIĆ, 1981, 1987).



Slika 6.1. Panoramska fotografija ležišta Crvene Stijene.

Početak transgresivnog slijeda predstavljen je bazalnim karbonatnim brečama koje čine masivni sloj debljine i do 30 metara (Slika 6.2.). Slijede krupnozrnate karbonatne breče, odnosno brečokonglomerati debljine do 15-tak metara (Slika 6.2.). Navedena dva litološka člana čine ležište arhitektonsko-građevnog kamena, odnosno glavne produktivne slojeve I (Orso Rosso) i II (Orso Grigio). Nakon njih slijedi izmjena kalkarenita, lapora, kalcitičnih lapora i karbonatnih breča (Slike 6.2. i 6.3. i 6.4.). Slojevi breča unutar ovog slijeda često dosežu debljinu preko 2 metra te se mogu eksploatirati kao ukrasni kamen. Stoga se ponekad označavaju i kao produktivni sloj III.



Slika 6.2. Detaljni litostratigrafski stup ležišta boksita i AG-K *Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).



Slika 6.3. Kalcitični lapori u krovini II produktivnog sloja karbonatnih breča.



Slika 6.4. Sedimentacijske teksture u krovini II. produktivnog sloja karbonatnih breča.

6.2. Geološka građa i opis ležišta

Transgresivna serija sedimenata predstavljena je karbonatnim klastitima senonske (K_2^{2-6}) starosti u čijem se bazalnom dijelu nalaze debeli slojevi karbonatnih breča. Ovi slojevi čine neposrednu krovinu ležišta boksita te ujedno predstavljaju arhitektonsko-građevni kamen vrlo dobrih karakteristika koji će se u budućnosti eksploatirati (DRAGIČEVIĆ, et al., 2015). Pružanje slojeva je približno sjever-jug, a nagibi slojeva su u rasponu od 5 do 15 stupnjeva uglavnom prema istoku (Slika 4.2.). Detaljnim terenskim istraživanjima utvrđena su dva glavna produktivna sloja koja su detaljno opisana u daljnjem tekstu, uključujući i treći sloj koji se uvjetno naziva produktivnim (DRAGIČEVIĆ, et al., 2015). Detaljni opisi produktivnih slojeva preuzeti su iz elaborata DRAGIČEVIĆ et al. (2015).

6.2.1. Produktivni sloj I (Orso Rosso)

Prvi produktivni sloj je hipsometrijski i stratigrafski najniže položen, a čine ga krupnozrnate karbonatne breče (Slika 6.5. i 6.6.). Petrografski, riječ je o monomiktnim karbonatnim brečama, svjetlo-crvenkaste do roza boje.

Klasti breča su izgrađeni od podinskih vapnenaca (prijelaz donji u gornji alb), rjeđe od fragmenata školjkaša (rudista) koji potječu od rudistnih biohermi. Veličina klasta vapnenaca je centimetarskih do metarskih dimenzija. Uglavnom su uglati ili slabo zaobljeni, što navodi na zaključak o vrlo kratkom transportu materijala, moguće i bez transporta (*in situ*).

Vezivo je karbonatno, veličine pijeska do mulja te vrlo dobro ispunjava prostore između vapnenačkih klasta, dok su naknadni procesi cementacije i dijageneze doveli do nastanka čvrste i homogene stijene masivnog habitusa.

Upravo ovakva homogena građa, debljina sloja te relativno jednostavni strukturni odnosi na području Crvenih stijena omogućuju pridobivanje blokova AG kamena. Generalno je riječ o jednom sloju koji može imati debljinu i do 30 metara, a prisutan je u cijelom ležištu.



Slika 6.5. I. produktivni sloj karbonatnih breča. Fotografirano u istražnoj galeriji izvedenoj u istražnoj fazi ležišta AG-K. Posebnu pažnju posvetiti na veličinu pojedinih klasta.



Slika 6.6. Ispolirana ploča AG- kamena prvog produktivnog sloja breča (foto I. Galić).

6.2.2. Produktivni sloj II

Drugi produktivni sloj čine krupnozrnatni karbonatni klastiti – karbonatne breče i karbonatni brečokonglomerati (Slike 6.7. i 6.8.). Od prvog produktivnog sloja odvojen je tankim slojem glinovito laporovitog konglomerata često s boksitičnim vezivom crvenkaste boje i debljine do 50 cm.

Petrografski, drugi produktivni sloj izgrađuju uglavnom monomiktne karbonatne breče do konglobreče, ponekad polimiktne (pored klasta iz neposredne podine prisutni su i klasti drugih starijih vapnenaca) (Slike 6.7. i 6.8.). Fragmenti školjkaša (rudista) podrijetlom iz rudistnih biohermi su rjeđe prisutni. U odnosu na prvi produktivni sloj, veličina klasta vapnenaca varira od cm do dm dimenzija, a klasti su uglati, slabo zaobljeni do zaobljeni. Moguće je pretpostaviti vrlo kratki do značajni transport materijala s obzirom na varijacije zaobljenosti i veličini klasta.

Sloj se također razlikuje od prvog prema boji, koja je uglavnom u različitim nijansama sive (Slika 6.8.). Vezivo je karbonatno, veličine pijeska do mulja te vrlo dobro ispunjava prostore između fragmenata i valutica vapnenaca. Vezivo je obilno, pa valutice „plivaju“ u vezivu, ili siromašno, pa se klasti međusobno dodiruju (Slike 6.7.i 6.8.). Naknadni procesi cementacije i dijageneze uzrokovali su nastanak vrlo čvrste i homogene stijene masivnog habitusa.



Slika 6.7. Zasjeak u II produktivnom sloju karbonatnih breča.



Slika 6.8. Ispolirana ploča II. Produktivnog sloja karbonatnih breča.

6.2.3. Produktivni sloj III

Treći produktivni sloj predstavljen je krupnozrnatim karbonatnim klastitima – brečama i konglobrečama. Petrografski je vrlo sličan drugom produktivnom sloju, a debljina mu mjestimično doseže i preko 3 metra.

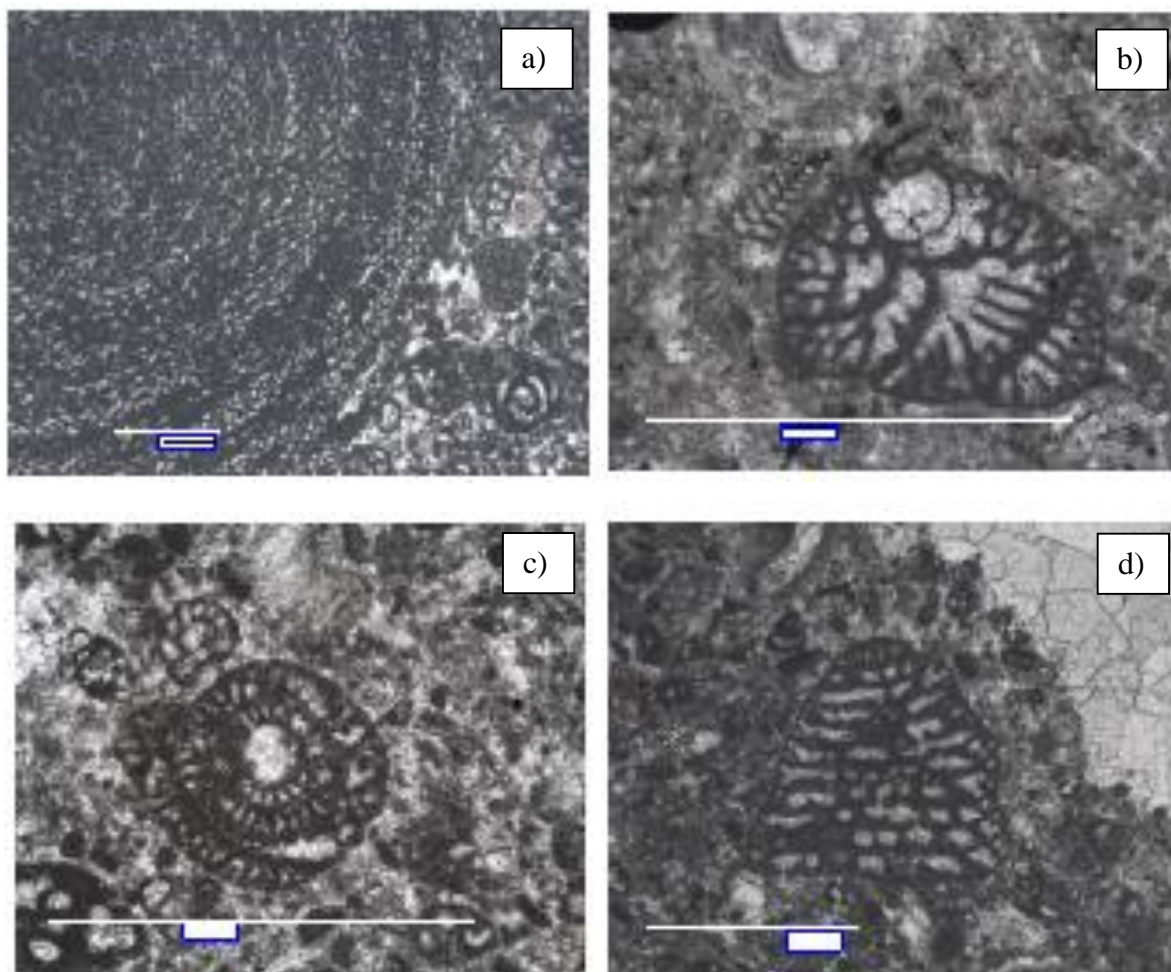
Boja ovoga sloja varira od različitih nijansi sive do svjetlosmeđe. Međutim, ovaj sloj se ne može sa sigurnošću nazvati produktivnim uzme li se u obzir njegov superpozicijski položaj u odnosu na drugi produktivni sloj. Naime, on se javlja na vrlo različitim hipsometrijskim položajima, što čini njegovu horizontalnu i vertikalnu korelaciju upitnom. Također, sa stajališta eksploatacije nalazi se unutar jalovinskih krovinskih naslaga.

6.2.5. Mikropaleontološka istraživanja

Mikropaleontološka istraživanja izvršena su na vezivu sva tri prethodno opisana sloja, čime je određena vrlo bogata i raznovrsna zajednica mikrofosila (foraminifera) (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006) (Slika 6.9. i 6.10.). Ovdje će biti prikazan dio rezultata istraživanja DRAGIČEVIĆ & VELIĆ; 2006, a taksoni su poredani prema provodnosti:

Keramosphaerina tergestina (STACHE),
Dictyopsella kiliani MUNIER-CHALMAS,
Reticulinella fleuryi CVETKO, GUŠIĆ & SCHROEDER,
Calveziconus lecalvezae CAUS & CORNELLA,
Moncharmontia apenninica (DE CASTRO),
Abrardia mosae (HOFKER),
Broekinella neumannae GENDROT,
Archiacina munieri (MARIE),
Pseudocyclammia massiliensis MAYNC,
Pseudorhapydionina mediterranea (DE CASTRO),
Minouxia lobata GENDROT,
Accordiella conica FARINACCI,
Scandonea samnitica DE CASTRO,
Idalina antiqua SCHLUMBERGER & MUNIER-CHALMAS,

Sastav foraminiferske zajednice određuje njezin stratigrafski raspon na mlađi santon i kampan. Proizlazi da je starost produktivnih naslaga i njihove bliže krovine gornji santon – donji kampan (Slika 6.9.).



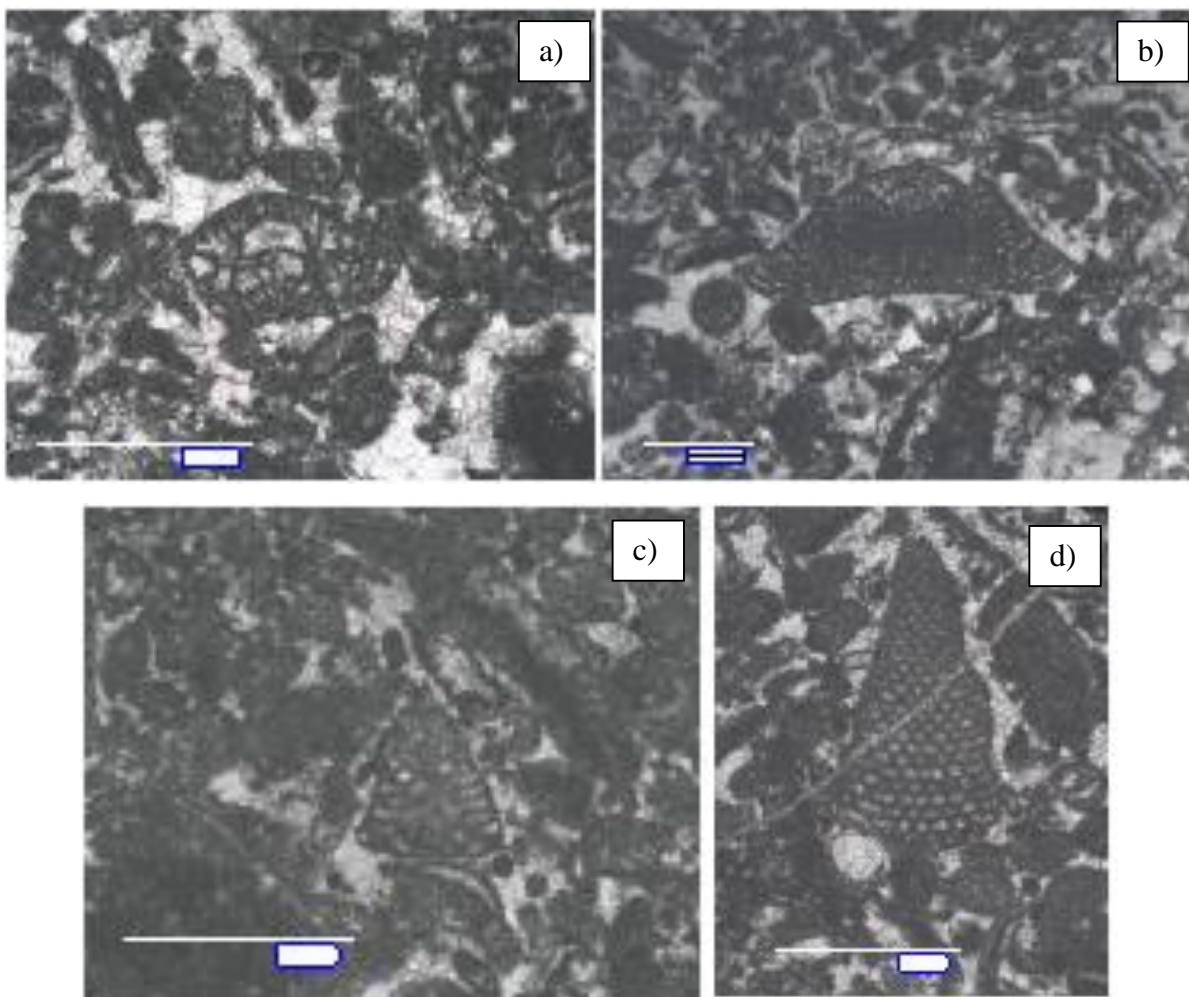
Slika 6.9. Mikroskopski izbrusak a) *Keramosphaerina tergestina* (STACHE), b) *Dictyopsella kiliani* MUNIER-CHALMAS, c) *Reticulinella fleuryi* CVETKO, GUŠIĆ & SCHROEDER, d) *Calveziconus lecalvezae* CAUS & CORNELLA.

Podinu prvog produktivnog sloja čini tektonsko-erozijska diskordancija, odnosno plitkovodni vapnenci alba, a vrlo često su to i ležišta boksita (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006). Podinski vapnenci klasificirani su kao uslojeni, do 1 m debeli slojevi ružičastoga do bijeloga fosilifernoga radstona. Od fosila prevladavaju skeleti te kršje puževa i školjkaša (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006) (slika 5.10.). Petrografski, prevladavaju bioklastično-intraklastično-skeletni pekstoni i grejnstoni, mjestimice i vekstoni s kršjem moluska i vapnenačkih algi te rijetkim presjecima foraminifera, iz kojih je određena foraminiferska zajednica sa slijedećim taksonima (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006) (slika 5.10.):

Mesorbitolina pervia DOUGLASS,

Mesorbitolina subconcava LEYMERIE,

Paracoskinolina fleuryi DECROUEZ & MOULLADE,
Valdanchella dercourti DECROUEZ & MOULLADE,
Neoiraquia insolita (DECROUEZ & MOULLADE),
Simplorbitolina broennimanni (DECROUEZ & MOULLADE),
Vercorsella vj. *V. laurentii* (SARTONI & CRESCENTI),
Cuneolina parva HENSON,
Nezzazatinella picardi (HENSON),
Sabaudia sp. - ?*S. auruncensis* (CHIOCCHINI & DI NAPOLI),
Pseudonummoloculina sp.



Slika 6.10. Mikroskopski izbrusak a) *Mesorbitolina pervia* DOUGLASS, b) *Mesorbitolina subconcava* LEYMERIE, c) *Paracoskinolina fleuryi* DECROUEZ & MOULLADE, d) *Neoiraquia insolita* (DECROUEZ & MOULLADE).

Navedena foraminiferska zajednica upućuje na albsku starost podinskih naslaga (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006). Sastav orbitolinskoga dijela zajednice, s jedne strane zastupljen provodnim donjoalbskim vrstama *Mesorbitolina pervia* i *M. subconcava*, a s druge strane tzv. primitivnim orbitolinama - *Paracoskinolina fleuryi*, *Valdanchella dercourti*, *Neoiraquia insolita* i *Simplorbitolina broennimanni* provodnima za gornji alb, navodi na zaključak da podinske karbonatne naslage pripadaju prijelaznim slojevima iz donjega u gornji alb (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006).

6.3. Tektonika ležišta

Na temelju rezultata detaljnog geološkog kartiranja na površini terena i u podzemnim rudarskim radovima te interpretacijom rezultata bušenja (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) interpretirani su tektonski odnosi u ležištu AG kamena *Crvene stijene*. Oni grafički prikazani na geološkoj karti (Slika 5.2.) i geološkim profilima (Slika 5.3., 6.24., 6.25., 6.26.) 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, dakle po pružanju 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 koji ujedno predstavlja zapadnu granicu ležišta i jasno razdvaja relativno mirnu strukturu *Crvenih stijene* na istoku od vrlo poremećene strukture na zapadu (slike 7.24., 7.25. i 7.26.) i na regionalnom geološkom profilu (Slika 5.3.). Vertikalni pomaci po rasjedu iznose i preko 60-ak metara (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). 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. Što se tiče nagiba paraklaza, one su uglavnom strme, a kod normalnih rasjeda i uspravne.



Slika 6.11. Istražni zasjek na čijoj su lijevoj strani vidljive decimetarske strije.

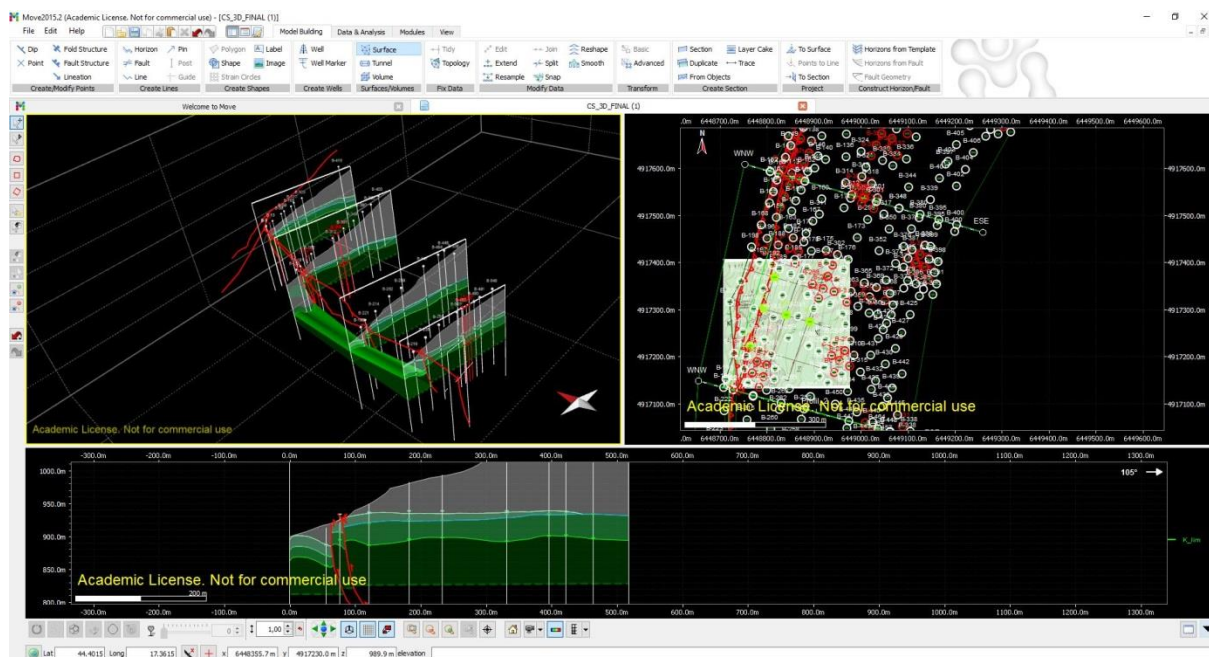
U ovoj fazi otkrivenosti ležišta uočava se maksimalni regionalni stres pružanja približno okomito na pružanje slojeva i rasjeda, dakle približno jugoistok-sjeverozapad, a tako su, dakle paralelno s njim orijentirane i glavne pukotine. Uočene su i relaksirajuće pukotine i to u produktivnim slojevima, a najbolje su vidljive u vršnim dijelovima krovinskih krila reversnih rasjeda.



Slika 6.12. Rasjed prikazan na slici 6.11. snimljen je u potkopu na koti 900.

7. METODE ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je na temelju mnogobrojnih podataka koji su prikupljeni u području *Crvene Stijene* izraditi 3D geološki model ležišta boksita i AG-K. Za izradu 3D geološkog modela korišten je računalni program *Midland Valley Move™ 2015* (Slika 7.1.), koji je doniran RGN fakultetu od tvrtke *Midland Valley*.



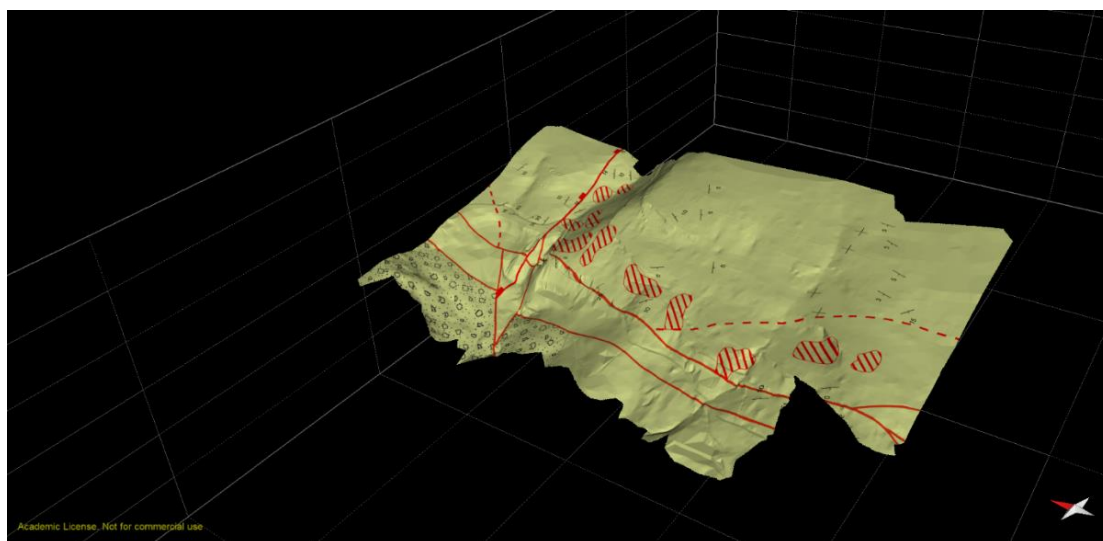
Slika 7.1. Radno okruženje u računalnom programu *Move™* korištenom za izradu 3D geološkog modela.

Prvi korak bio je sistematizirati ulazne podatke te ih obraditi kako bi se mogli koristiti za izradu 3D geološkog modela. Nadalje, bilo je potrebno razraditi metodologiju izrade 3D geološkog modela ležišta. Odrediti optimalnu metodu interpolacije za izradu željenih ploha na temelju raznovrsnih ulaznih podataka (litološki stupovi bušotina, strukturno-geološki podaci iz podzemnih rudarskih radova, površinski geološki podaci i dr.). Konačno, načinjeni su volumeni ležišta boksita i AG-K.

7.1. Opis ulaznih podataka

Za potrebe izrade rada, odnosno 3D geološkog modela ležišta boksita i AG-K korišteni su: digitalni model reljefa (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 562 bušotine ustupila je tvrtka RUDNICI BOKSITA JAJCE d.d.

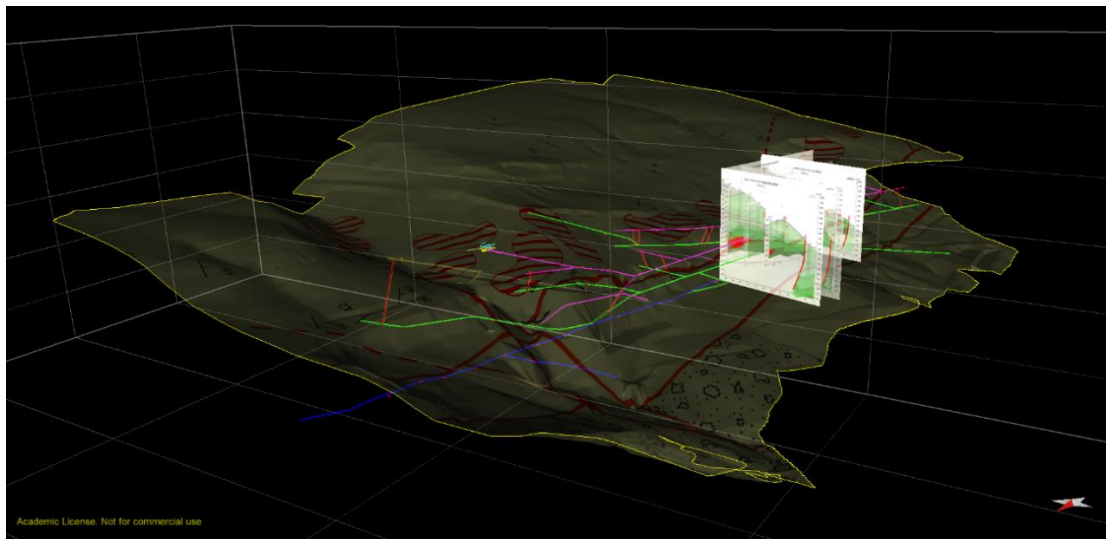
Geološke karte boksitonosnog područja u blizini Jajca (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984) poslužile su kao podloge u programu ESRI ArcGIS™ preko kojih su izrađeni točkasti, linijski i poligonski atributi karte poput elemenata položaja slojeva s vrijednostima kutova nagiba, strukturnih elemenata (rasjeda s karakterom pomaka, transgresivnih granica, bora te granica ležišta boksita na površini i ispod krovine), te na kraju granica pojedinih litostratigrafskih jedinica s oznakom njihove starosti. Karte su digitalizirane pojedinačno, a kasnije su objedinjene u kartu mjerila 1:50 000. Uz kartu je priložena legenda i detaljni geološki stup koji su izrađeni u programu CoreDRAW. Digitalizirana i objedinjena geološka karta prikazana je na slici 5.2., ali je poslužila i kod izrade 3D modela ležišta na način da je preklopljena preko DEM-a istraživanog područja (Slika 7.2.).



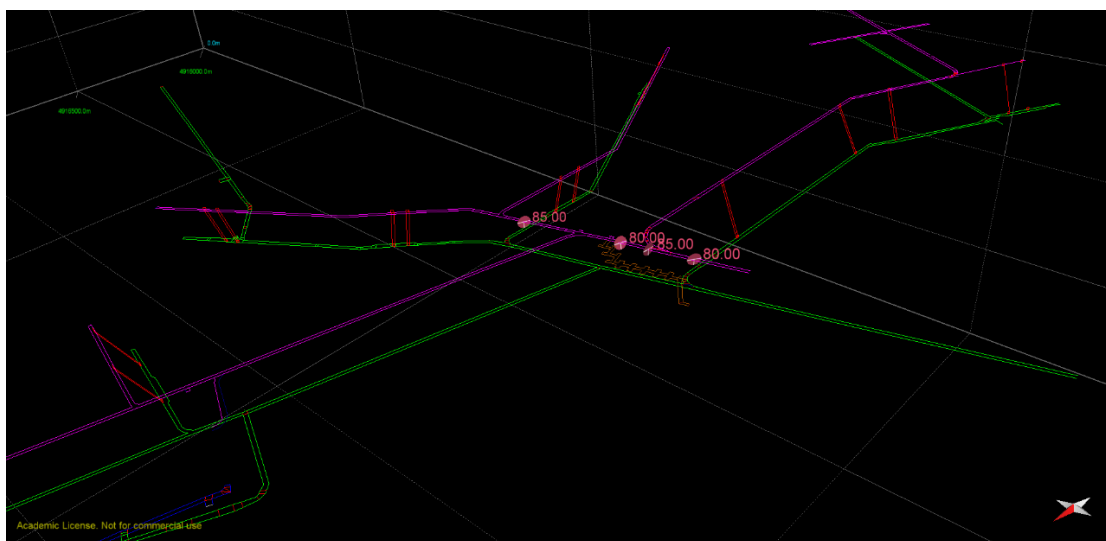
Slika 7.2. Geološka karta ležišta *Crvene stijene* preklopljena preko digitalnog modela reljefa.

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 7.3.).

3D model podzemnih rudarskih radova (TOMIČEVIĆ, 2014; MIHALJEVIĆ, 2014) predstavlja podlogu za prikaz podataka dobivenih kartiranjem rudarskih radova (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) (Slika 7.3. i 7.4.).

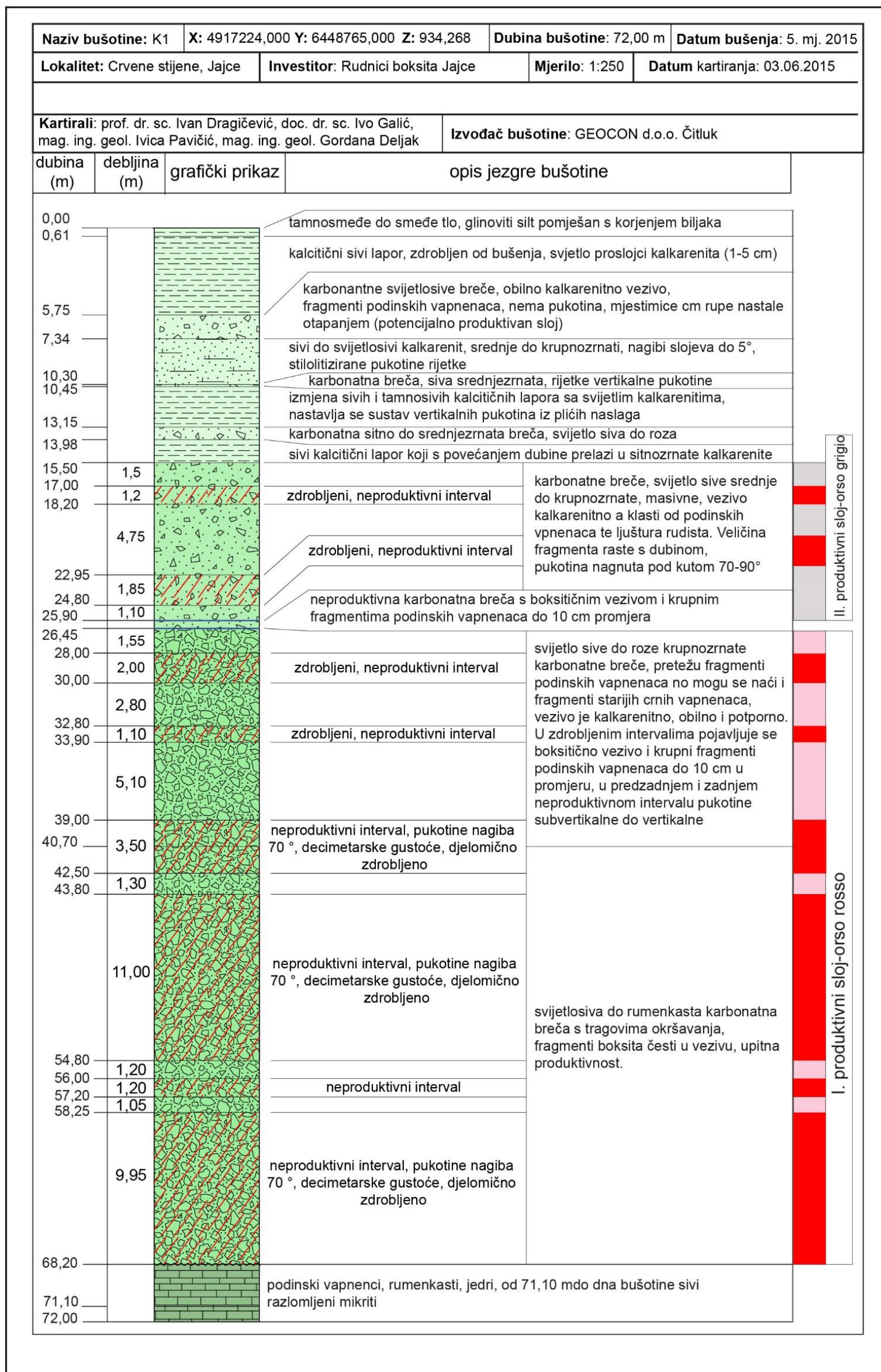


Slika 7.3. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i geološke karte preklopljene sa DEM-om.

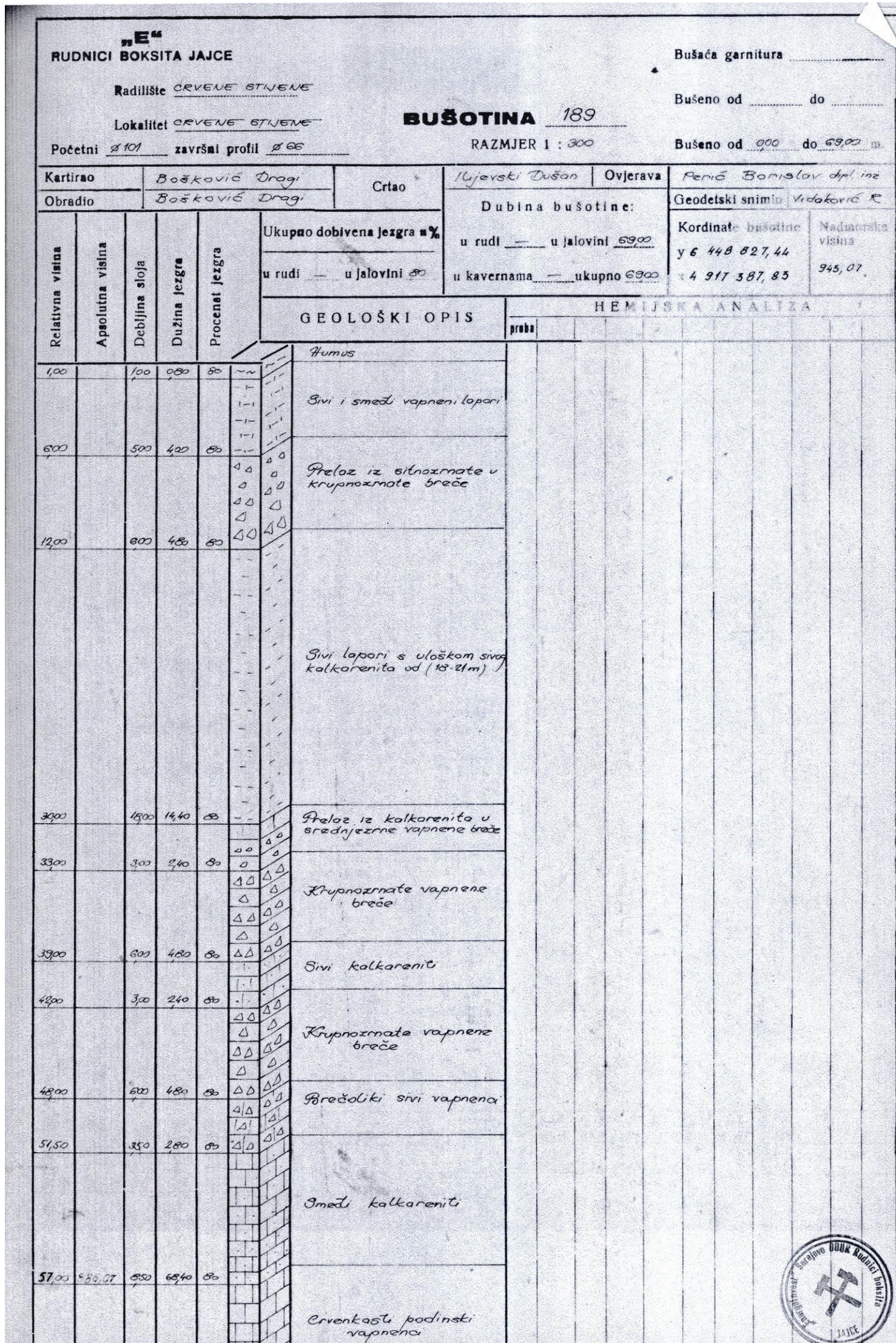


Slika 7.4. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i izmjerenih rasjeda u rudarskim radovima.

Interpretacija 3D modela ležišta temeljena je uvelike na podacima iz 562 bušotine koje su izvedene u sklopu istraživanja ležišta boksita, a u novije vrijeme i arhitektonsko-građevnog kamena. Za svaku bušotinu na lokalitetu *Crvene stijene* 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, te prvog i drugog produktivnog intervala breča) (Slike 7.5. - 7.8.).



Slika 7.5. Litološki stup novije bušotine K1 (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).



Slika 7.6. Litološki stup bušotine na boksit B-189 (FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE TVRTKE RB JAJCE).

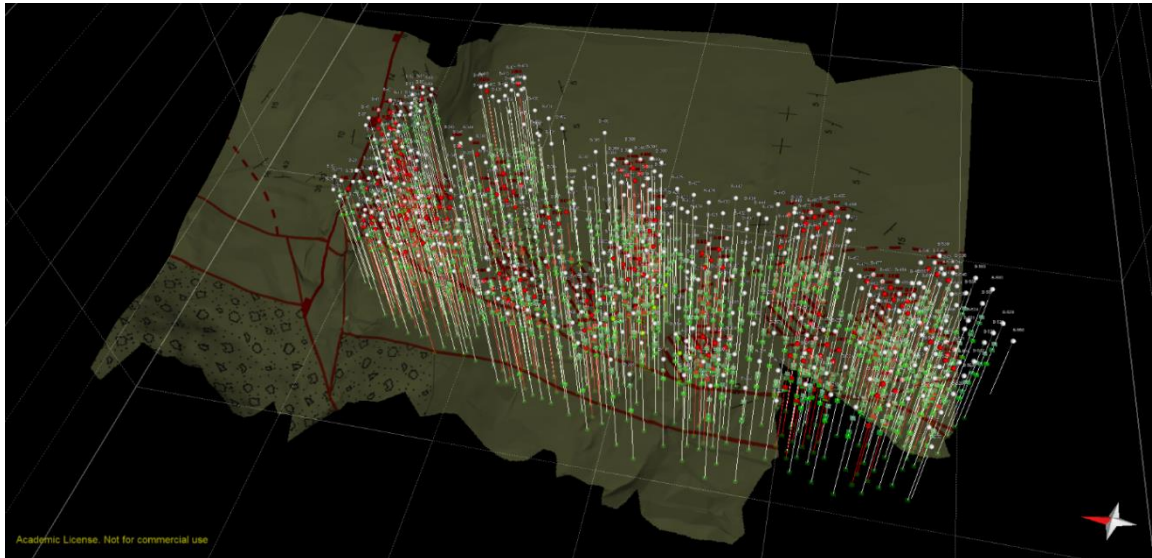
Priprema baze podataka bušotina sastojala se u zapisivanju vrijednosti koordinata bušotina i vrijednosti o dubini krovine pojedine litološke jedinice u Excel tablice (Tablica 1. i 2.).

Tablica 1. Priprema ulaznih podataka – koordinate i dubine bušotina na AG-K (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) (*Total Depth*, TD).

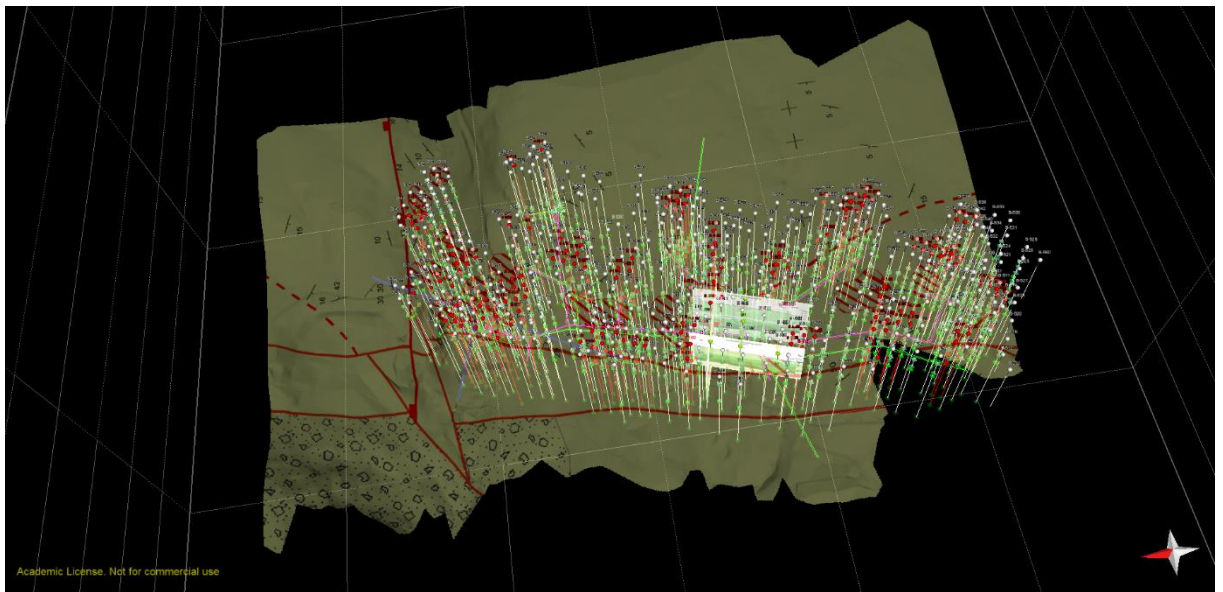
Naziv bušotine	X	Y	Z (m)	TD (m)
K1	6448765,0000	4917224,0000	934,2680	72
K2	6448794,0000	4917305,0000	941,7870	49
K3	6448817,0000	4917370,0000	943,5150	43,5
K4	6448842,0000	4917290,0000	968,9300	108
K5	6448892,0990	4917275,3970	982,5380	93,3

Tablica 2. Priprema ulaznih podataka – dubine krovina pojedinih litoloških jedinica u bušotinama, za AG-K (*MD-Measured Depth*) (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). *Orso Grigio* – mlađi produktivni sloj breča; *Orso Rosso* – stariji produktivni sloj breča.

Naziv bušotine	Horizont	MD
K1	K_Orso_grigio	15,5
K1	K_Orso_rosso	26,45
K1	K_lim	68,2
K2	K_Orso_grigio	30,1
K2	K_Orso_rosso	40
K3	K_Orso_grigio	26,5
K3	K_Orso_rosso	33,8
K3	K_lim	42,75
K4	K_Orso_grigio	57,68
K4	K_Orso_rosso	64,9
K4	K_lim	99,7
K5	K_Orso_grigio	60,15
K5	K_Orso_rosso	70,7



Slika 7.7. Prostorni smještaj 562 bušotine u IP *Crvene stijene*. Bušotine označene crvenom bojom su one koje su nabušile boksit, dok su markeri pojedinih horizonata označeni zelenom bojom.



Slika 7.8. Svi ulazni podaci korišteni za izradu 3D modela ležišta boksita i AG-K.

7.2. 3D geološki model ležišta

7.2.1. Općenito o 3D geološkim modelima

3D geološko modeliranje je relativno mlada poddisciplina geologije koja integrira strukturnu geologiju, sedimentologiju, stratigrafiju, regionalnu geologiju i dr. Razvoj 3D računalne grafike 80-tih godina prošlog stoljeća, koja koristi 3D prikaz geometrijskih podataka pohranjenih u računalu, omogućio je i intenzivan razvoj 3D geološkog modeliranja, primarno u okviru naftno-geoloških istraživanja.

Danas se 3D geološko modeliranje koristi u raznim područjima geologije, poput upravljanja prirodnim resursima, u identifikaciji prirodnih hazarda, kvantificiranju geoloških procesa i dr., s naglaskom na primjenu u naftno-plinskim istraživanjima, istraživanjima podzemnih voda i rudnih ležišta.

Općenito, 3D geološki model predstavlja računalni 3D prikaz dijelova Zemljine kore temeljen na geološkim, geofizičkim i bušotinskim podacima prikupljenim iznad i/ili ispod Zemljine površine. Ovakav set podataka može se smjestiti u prostornom koordinatnom sustavu pomoću bilo kojeg programa koji koristi 3D koordinatni sustav za integraciju geoloških podataka (FALLARA et al., 2006). Danas se najčešće koriste Petrel, Midland Valley Move, Rockworks, Geomodeller3D, FEFLOW, MODFLOW i dr. Navedeni programi omogućuju 3D modeliranje pomoću setova geoloških podataka te istraživanje i vizualizaciju različitih tipova prostornih podataka.

Kod 3D modela geološke jedinice su međusobno povezane 3D triangulacijskim površinama ili mrežama (*gridded surfaces*) čime se dobiva potpuno zatvorena geološka jedinica (*volume*). Prednosti ovakvih modela očituju se u mogućnosti da se pojedinim dijelovima modela (*cells*) pripisuju određena svojstva koja su od značaja za istraživanje, poput litologije, poroznosti, gustoće, geomehaničkih svojstava i dr. (FALLARA et al., 2006). Prema tome, integracijom podataka u 3D dobije se potpuniji, realniji model koji se dalje može koristiti u različite svrhe:

- ograničavanje dijelova ležišta na određenoj dubini koja su od potencijalnog ekonomskog značaja – ograničavanje na temelju geofizičkih, bušotinskih i geokemijskih podataka;

- proučavanje distribucije različitih litoloških tipova u podzemlju, sedimentološke analize, proučavanje taložnih okoliša koji su uvjetovali nastanak pojedinih litotipova - kao primjer mogu se istaknuti 3D litofacijsni modeli Rotliegend pješčenjaka u sjeveroistočnom dijelu Njemačkog bazena (MOECK et al., 2005);
- strukturno-tektonske analize - proučavanje, vizualizacija i distribucija strukturnih elemenata ispod površine, određivanje karaktera i veličine pomaka po rasjedu, analize lokalnog i regionalnog stresa i dr.;
- modeliranje toka podzemnih voda - primjer je modeliranje krškog vodonosnika u švicarskim Alpama (FOURNILLON et al., 2010; BORGHI, 2013);
- proučavanje i vizualizacija kvalitete kolektorskih stijena u sklopu naftno-geoloških istraživanja, npr. pojedinim ćelijama pripisuju se svojstva poput poroznosti, propusnosti, udio glinovitog materijala, stupanj cementacije, zasićenost fluidima i druga svojstva koja su od značaja za razradu i proizvodnju ležišta fluida - kao primjer može se izdvojiti detaljna karakterizacija rezervoara i primjena alata za 3D modeliranje na horizontalno bušenje u naftnom polju Wilmington, južna Kalifornija (CLARKE & PHILLIPS, 2003);
- određivanje geometrije i prostornog smještaja rudnog ležišta ispod površine – primjer je 3D geološko modeliranje Tongshan Cu-ležišta, Heilongjiang Province, Kina (WANG & HUANG, 2011);
- određivanje volumena ležišta i koncentracije rudnih minerala u svrhu procjene ekonomske isplativosti ležišta i izrade elaborata o rezervama – većina programa koji se koriste za 3D geološko modeliranje imaju mogućnost izračuna volumena ležišta, što je od velike koristi pri proračunu geoloških rezervi.

Bitno je naglasiti da se dobiveni 3D geološki modeli mogu modificirati i poboljšati u bilo kojem trenutku dodavanjem novih podataka koji su prikupljeni naknadnim istraživanjem (bušenjem, kartiranjem, karotažnim mjerenjima, rudarskim radovima, itd.). Ova mogućnost ih čini izuzetno prilagodljivim i upotrebljivim u bilo koje svrhe koje su prethodno navedene.

7.3. Opis postupaka izrade 3D modela ležišta

U svrhu izrade 3D geološkog modela u istražnom području *Crvene stijene* korišten je računalni program Midland Valley Move™ 2015. Program pruža niz mogućnosti, u prvom redu istraživanje, analizu, uređivanje i modificiranje geoloških podataka smještenih u prostornom koordinatnom sustavu. Nadalje, unos digitalnog modela reljefa (DEM) i bušotinskih podataka (*well data*), povezivanje bušotinskih podataka te na temelju njih izradu ploha (*surfaces*) određenih horizonata (*horizons*), te konačno izradu 3D geološkog modela ležišta. Zahvaljujući velikom broju ulaznih bušotinskih i drugih podataka omogućena je izrada detaljnog 3D geološkog modela slijedećim nizom radnji:

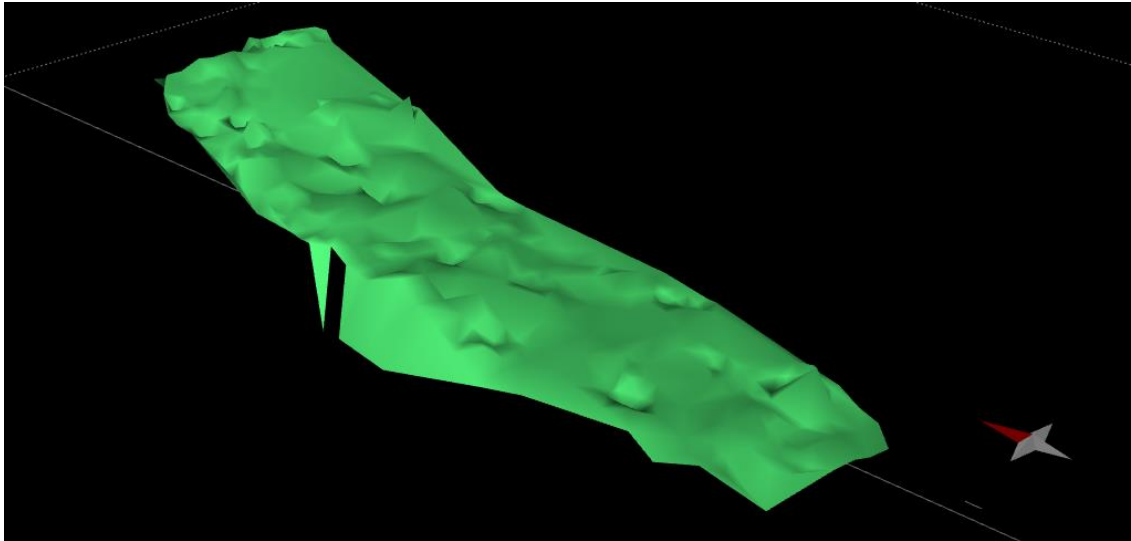
1. unos i uređivanje bušotinskih podataka;
2. unos digitalnog modela reljefa (DEM) i geološke karte istražnog područja *Crvene stijene*;
3. unos podzemnih rudarskih radova i strukturnih mjerenja u podzemnim rudarskim radovima;
4. izrada 3D modela plohe paleoreljefa ležištima boksita;
5. izrada 3D modela ležišta boksita;
6. izrada 3D modela krovinskih ploha I. i II. produktivnog sloja AG-K;
7. izrada 3D modela volumena boksita, I produktivnog sloja (Orso Rosso), II. produktivnog sloja (Orso Grigio) te volumena krovine ležištima AG-K;
8. Interpretacija rasjeda na temelju 3D geološkog modela i geoloških profila.

7.4. Izrada plohe paleoreljefa ležištima boksita

Naslage starosti alb-cenoman, plitkovodni vapnenci, predstavljaju stratigrafski najstariju geološku jedinicu u 3D modelu te se nalaze u diskordantnom odnosu sa stratigrafski mlađim boksitima i karbonatnim klastitima koje na njih naliježu. Stoga je ploha paleoreljefa, odnosno krovinska ploha ovih vapnenaca inicijalna površina koja je napravljena u sklopu izrade 3D modela ležišta (Slike 7.9, 7.10., i 7.11.).

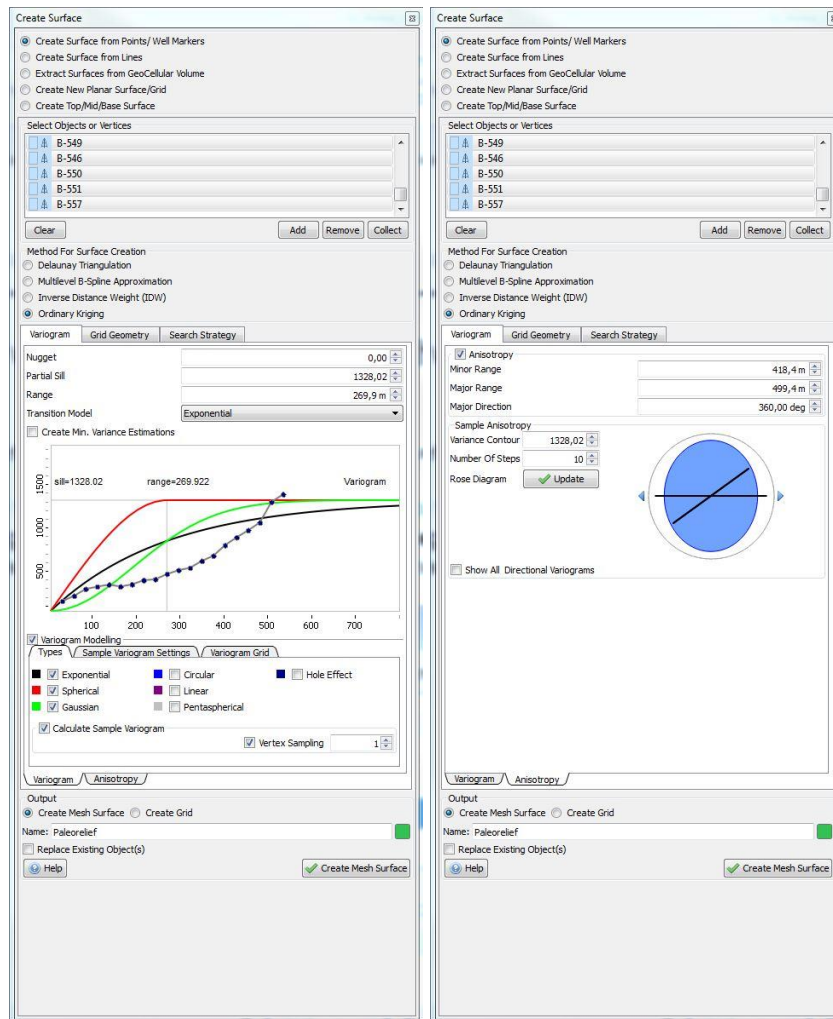
Podaci o dubini paleoreljefa očitani su na stupovima bušotina koji su bili na raspolaganju i preneseni su u Excel tablicu zajedno s nazivom pojedine bušotine. Kako bi se podaci o nazivu bušotine i dubini podinskih vapnenaca mogli unijeti u program Move, bilo je potrebno prebaciti

ih u txt (Tab delimited) format. Nakon unosa podataka u program izrađena je primarna ploha paleoreljefa pomoću alata *Surface>Delaunay Triangulation* (Slika 7.9.). Međutim, ploha nije bila konačna zbog nekoliko odstupanja na pojedinim bušotinama, koja su se očitovale u preplitko ili preduboko određenoj dubini paleoreljefa. Navedena odstupanja ispravljena su mijenjanjem dubine do 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) (Slika 7.10.).

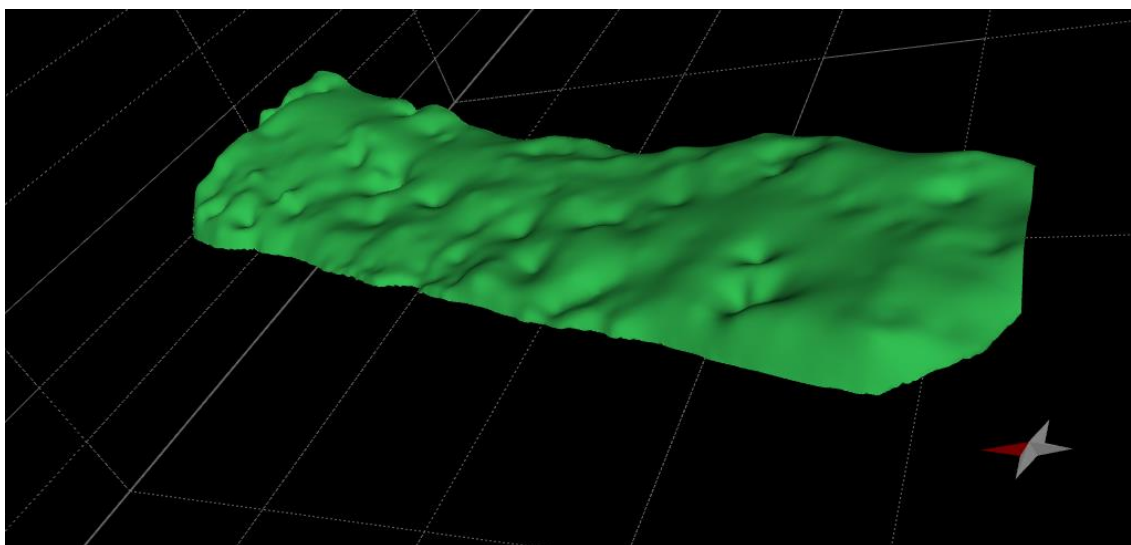


Slika 7.9. Primarno dobivena ploha paleoreljefa.

Nakon reinterpretacije dubina dobivena je konačna ploha paleoreljefa (Slika 7.11.), koja sadrži mali broj udubljenja, od kojih je većina ispunjena boksitima (Slika 7.14.).

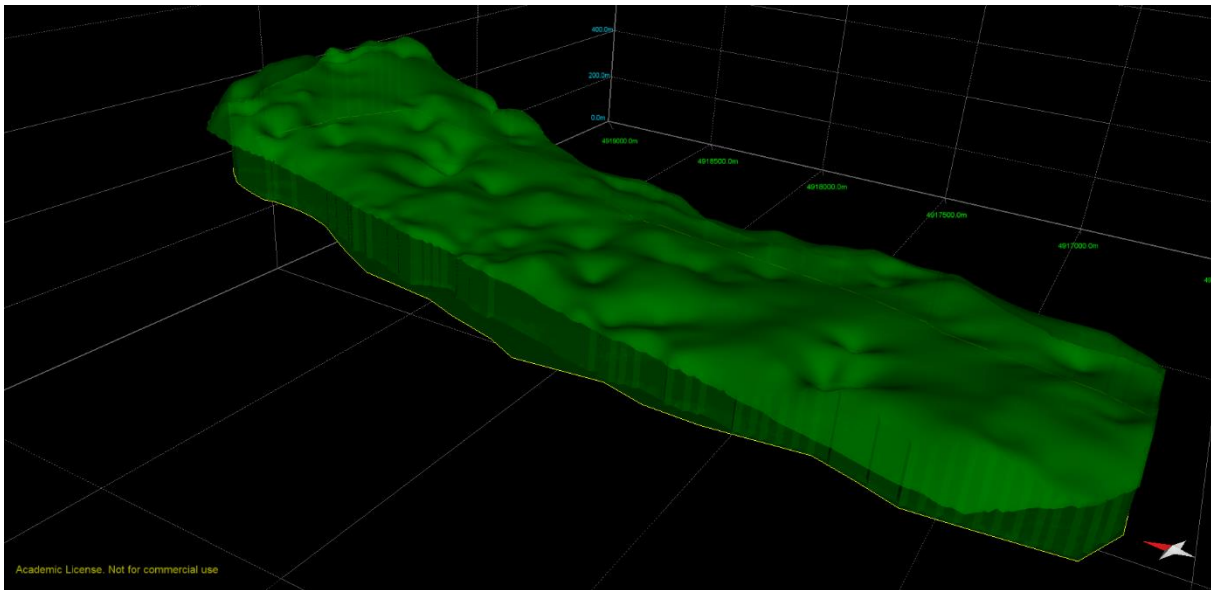


Slika 7.10. Parametri interpolacije plohe paleoreljefa algoritmom *Ordinary Kriging*.



Slika 7.11. Ploha paleoreljefa nakon reinterpretacije. Obratiti pažnju na negativne anomalije u paleoreljefu asociirane s ležištima boksita.

Ispod plohe paleoreljefa izrađena je „imaginarna“ ploha na koti 827 m (Slika 7.12.). Ova ploha izrađena je kako ploha paleoreljefa ne bi predstavljala stratigrafski najdublju plohu 3D modela ležišta te kako bi se mogao modelirati volumen podinskih vapnenaca (Slika 7.12).



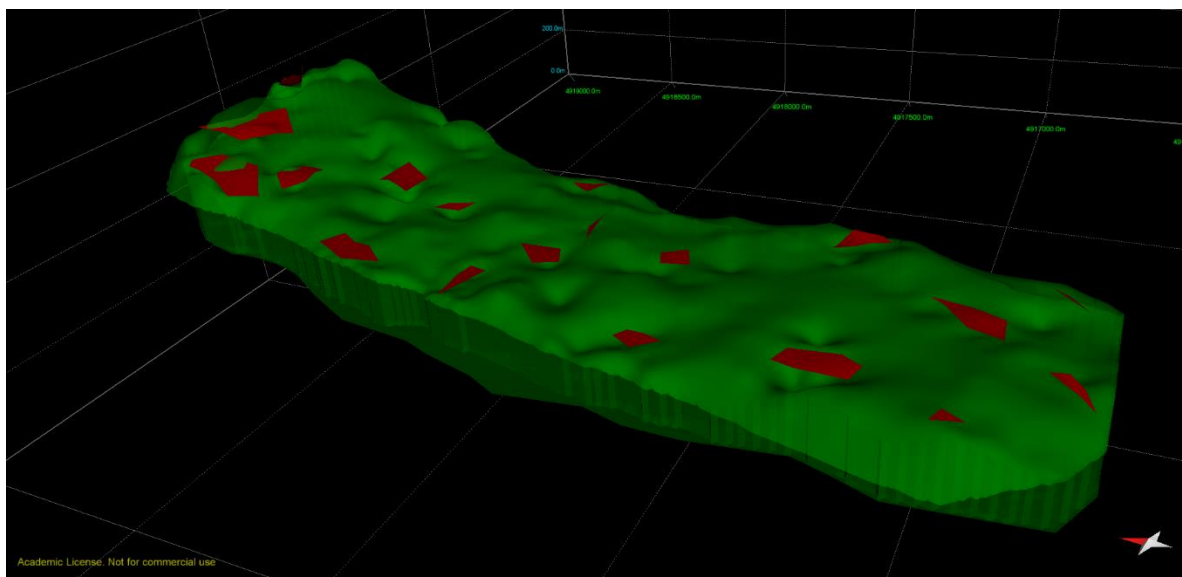
Slika 7.12. Ploha paleoreljefa i model podinskih vapnenaca.

7.5. Izrada modela ležišta boksita

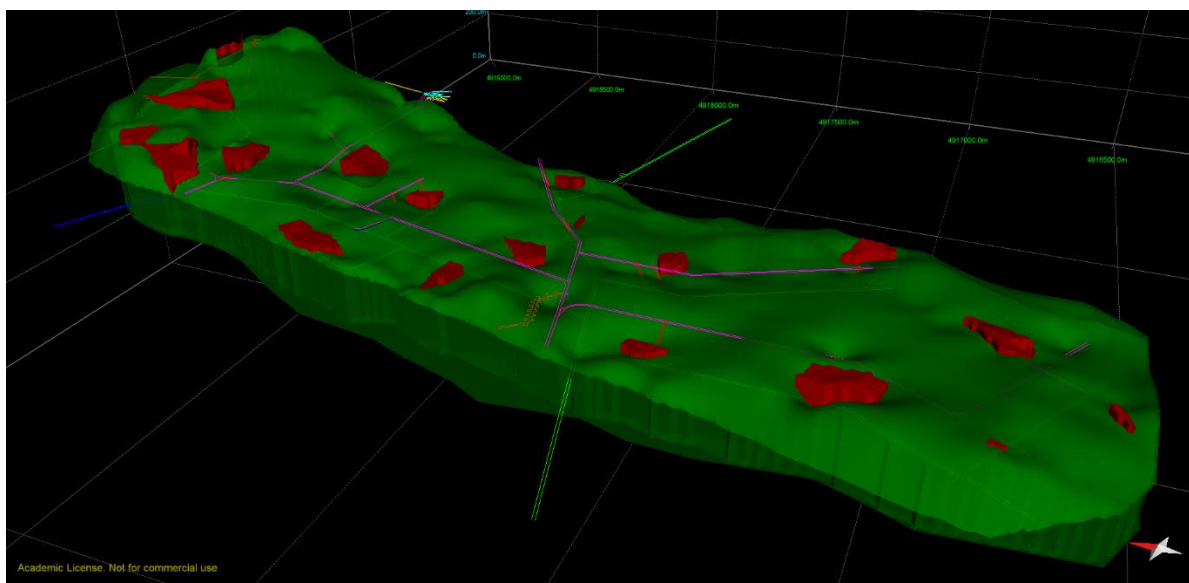
Prilikom izrade modela ležišta boksita korišteni su detaljni opisi jezgara istražnih bušotina za lokalitet *Crvene stijene*. Bušotine su prvenstveno napravljene za istraživanje ležišta boksita, a nedavno i u svrhu istraživanja arhitektonsko-građevnog kamena. Budući su bušotine imale prvenstvenu namjenu za istraživanje ležišta boksita, detaljno su određene dubine krovine pojedinih ležišta te je bila omogućena izrada preciznih 3D modela ležišta boksita (Slika 7.12).

Kao i prilikom izrade plohe paleoreljefa, podaci o dubinama krovine ležišta boksita za one bušotine koje su nabušile boksit zapisani su u Excel tablicu. Nakon toga su u Txt (Tab delimited) formatu uneseni u program Move™ te su pomoću alata *Surface>Delaunay Triangulation* napravljene plohe koje predstavljaju gornje granice ležišta boksita a alatom *Volume>Create TetraVolume Between Horizons*, volumeni ležišta boksita. Na temelju detaljne topografske karte eksploatacijskog prostora *Crvene stijene* (FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE RB JAJCE) određeno je ukupno 24 ležišta boksita te je izrađena krovinska ploha za svako ležište. Pomoću alata *Volume> Create TetraVolume Between Horizons* dobiven je 3D model ležišta boksita, odnosno boksitnih „tijela“ koja ispunjavaju udubljenja u

paleoreljefu (Slike 7.13. i 7.14.). Osim vizualizacije boksitnih tijela smještenih u određenim geološkim okolnostima na određenim dubinama, program nudi mogućnost izračuna volumena pojedinog tijela koji daje podatak o količini rezervi za pojedino ležište, što daje dodatnu važnost ovim 3D modelima.



Slika 7.13. Krovinske plohe ležišta boksita.



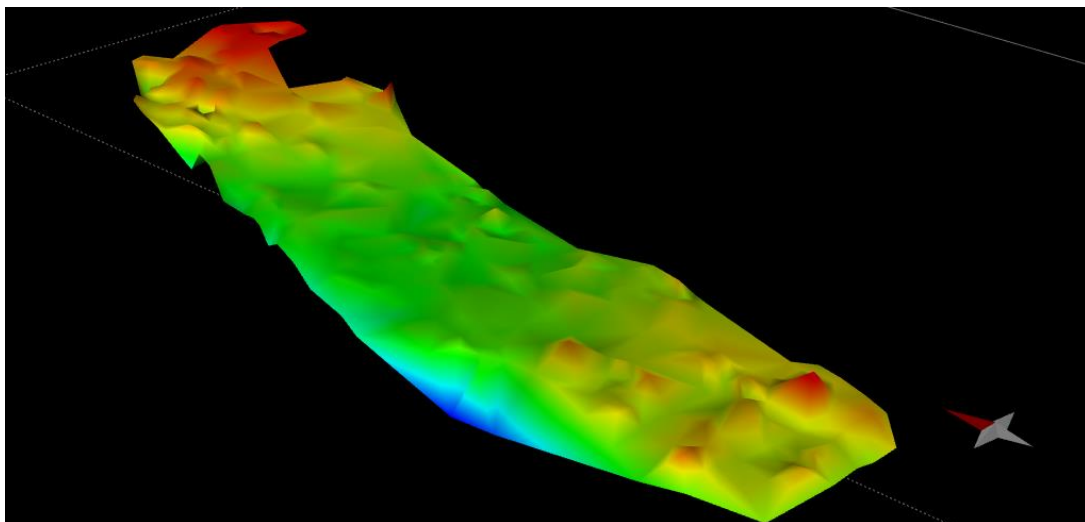
Slika 7.14. Dobiveni 3D modeli boksitnih tijela koja ispunjavaju udubljenja u paleoreljefu.

7.7. Izrada 3D modela I. i II. produktivnog sloja AG kamena

Karbonatne breče koje predstavljaju arhitektonsko-građevni kamen predstavljaju neposrednu krovinu ležištima boksita. Unutar ove jedinice utvrđena su dva različita litološka člana: prvi član predstavljen je masivnim krupnoklastičnim karbonatnim brečama debljine i do 30 metara (I. produktivni sloj-*Orso Rosso*) i drugi član kojeg čine krupnozrnate do sitnijeznate karbonatne breče, odnosno brečokonglomerati debljine do 15 metara (II. produktivni sloj-*Orso Grigio*). Plohe produktivnih intervala izrađene su na isti način kao i plohe prethodno opisanih jedinica.

7.7.1. Izrada plohe i 3D modela I. produktivnog sloja (Orso Rosso)

Primarno dobivena ploha I. produktivnog sloja, izrađena alatom *Surface > Delaunay Triangulation*, pokazivala je odstupanja na pojedinim bušotinama s obzirom na dubinu na kojoj je određena krovina I. produktivnog sloja na stupovima tih bušotina (Slika 7.15). Stoga je bilo nužno načiniti reinterpetaciju dubine krovine kako bi se dobila relativno pravilnija ploha bez anomalija.

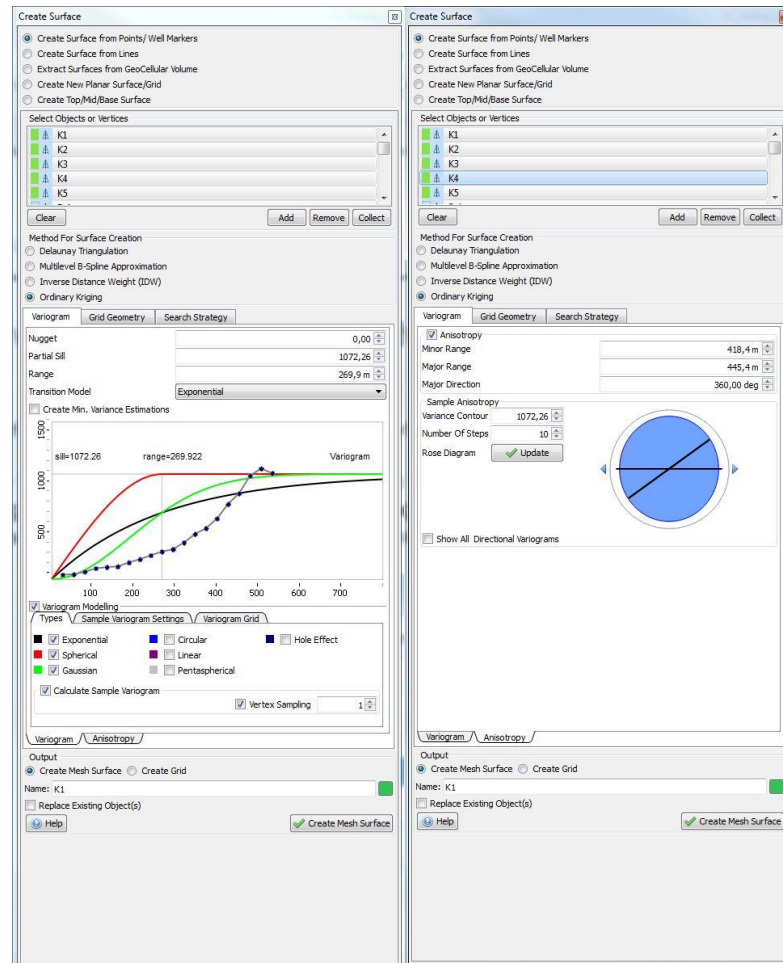


Slika 7.15. Primarno dobivena ploha I. produktivnog sloja.

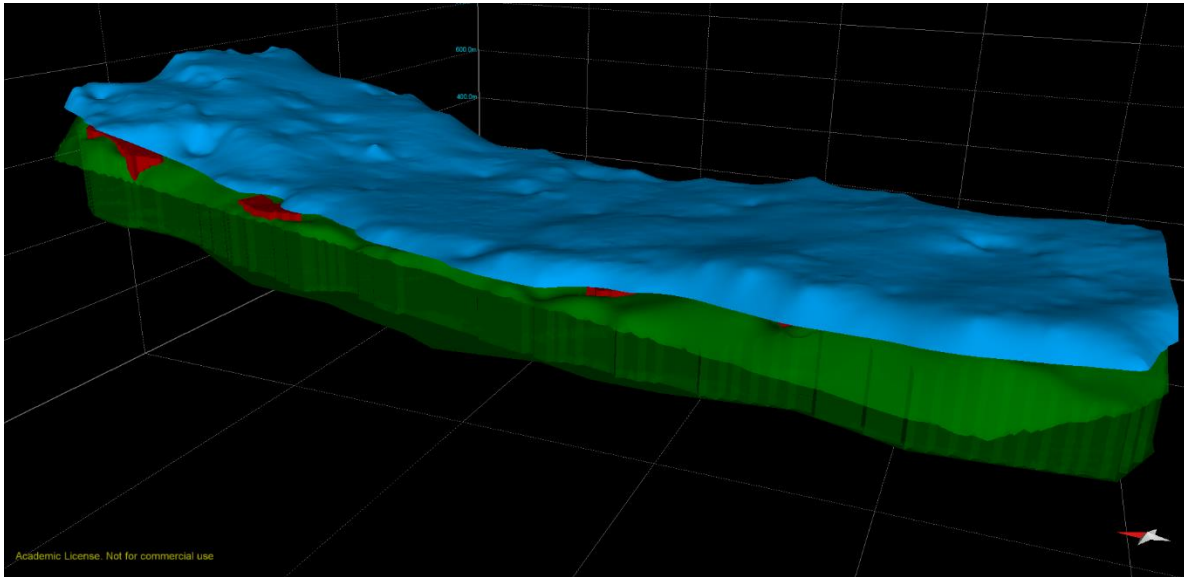
Nakon reinterpetacije dubina te korištenjem *Ordinary Kriging* (veličina ćelija 5 x 5 m) algoritma interpolacije (Slika 7.16.), dobivena je konačna ploha I. produktivnog sloja bez značajnih anomalija u odnosu na primarno dobivenu plohu (Slika 7.17.). Time su na temelju

ranije interpretiranih podataka o dubinama krovine I. produktivnog sloja dobiveni kvalitetniji podaci koji su učinili ovu plohu realnijom u odnosu na primarnu.

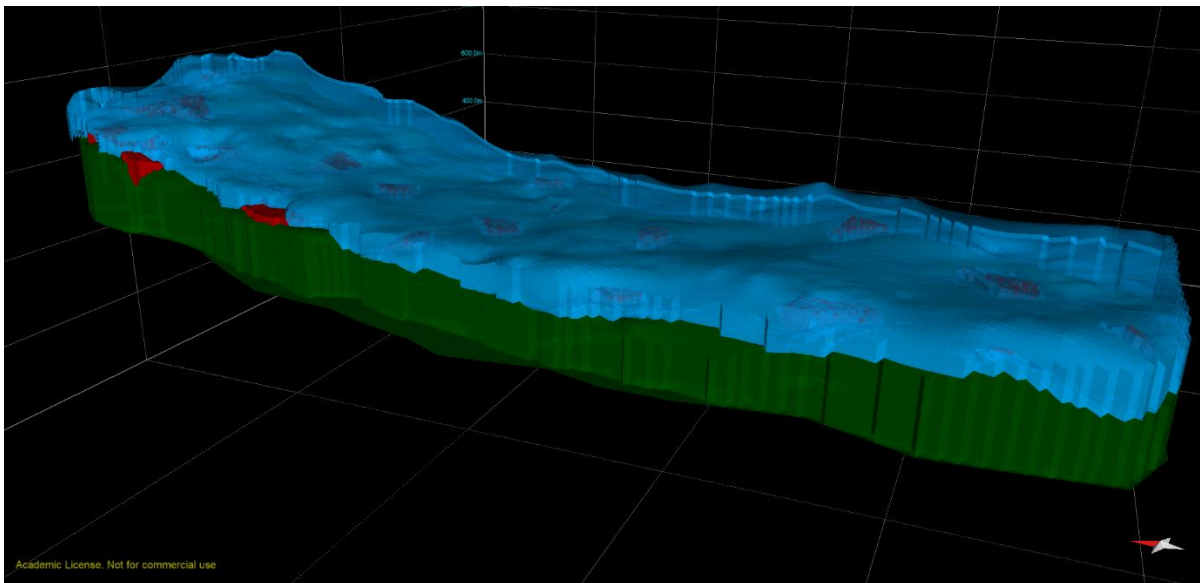
Kada je krovinska ploha I. produktivnog sloja definirana, načinjen je volumen I. produktivnog sloja (Slika 7.18.) alatom *Volume>Create TetraVolume Between Horizons* kojim podinsku plohu čini djelomično ploha paleoreljefa a djelomično ležišta boksita.



Slika 7.16. Parametri interpolacije plohe I. produktivnog sloja breča (Orso Rosso) algoritmom *Ordinary Kriging*.



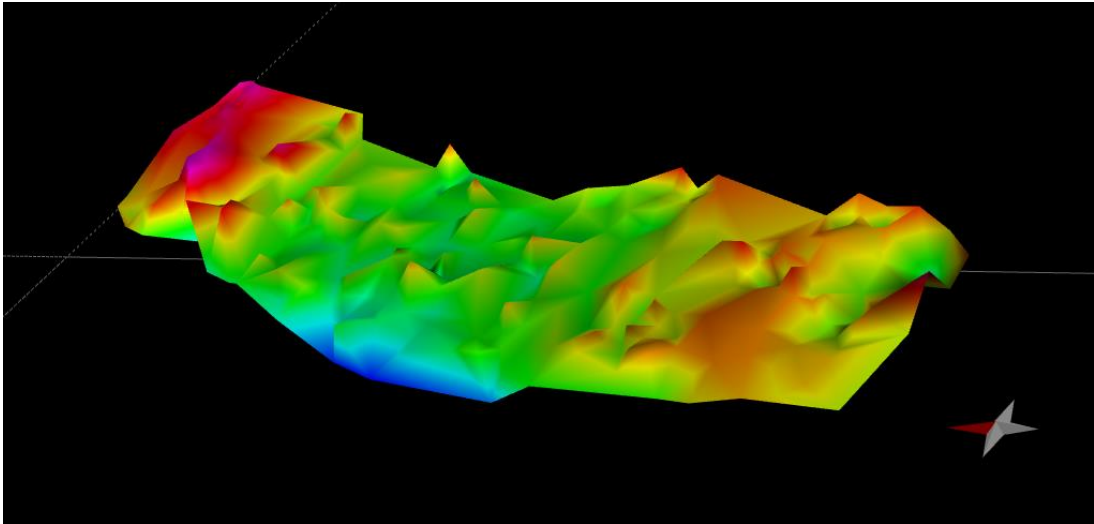
Slika 7.17. Ploha I. produktivnog sloja (*Orso Rosso*) (ploha plave boje) nakon reinterpetacije dubina krovine.



Slika 7.18. 3D model I. produktivnog sloja AG-K (plavi volumen) i podine ležištima boksita (zeleni volumen).

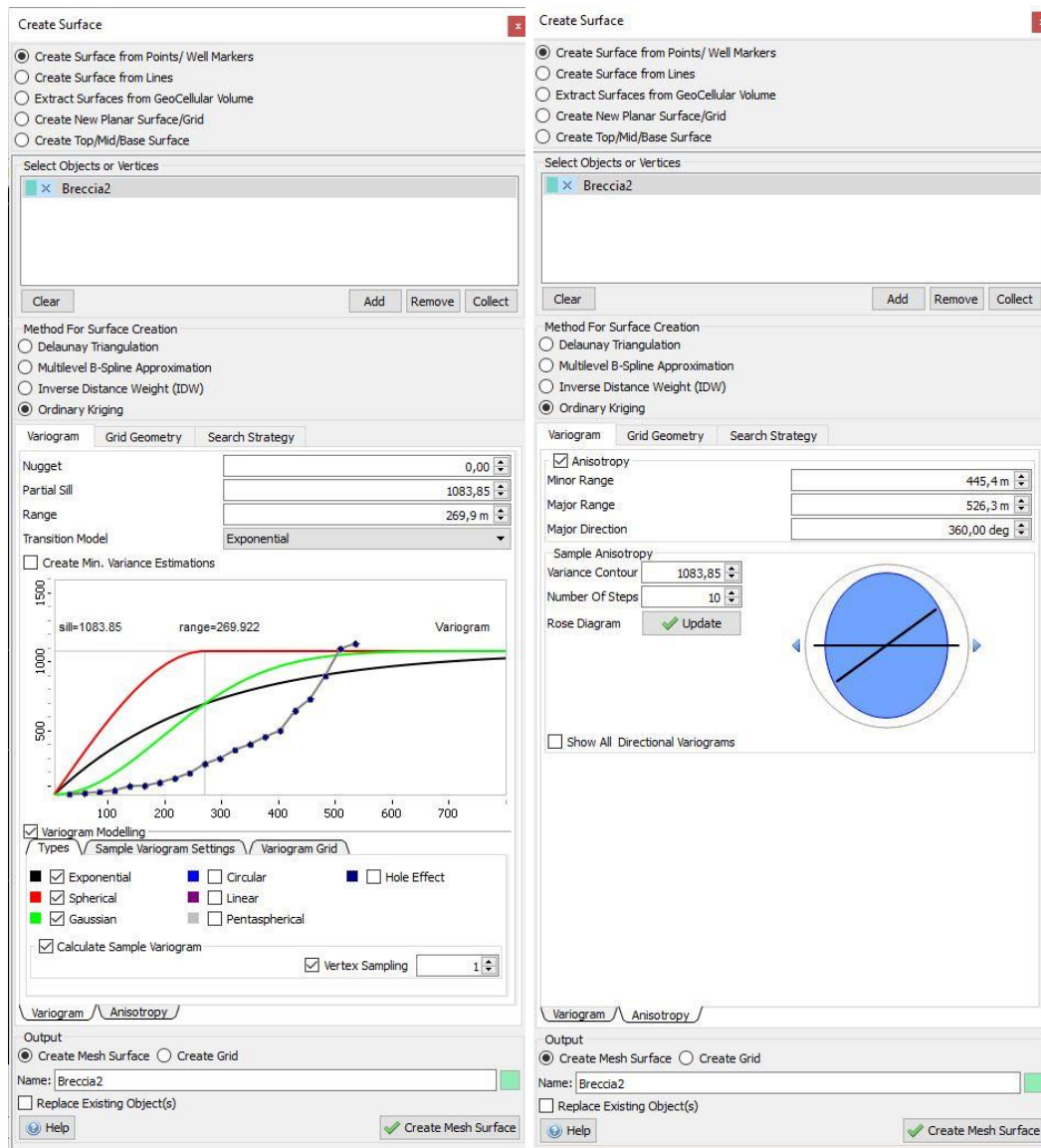
7.7.3. Izrada plohe i 3D modela II. produktivnog sloja (Orso Grigio)

Izrada plohe II. produktivnog sloja, odnosno plohe krovine II. produktivnog sloja načinjena je na isti način kao i ploha krovine I. produktivnog sloja. Pomoću funkcije *Surface> Delaunay Triangulation* te je i ova ploha imala relativno veliki broj anomalija (Slika 7.19.).

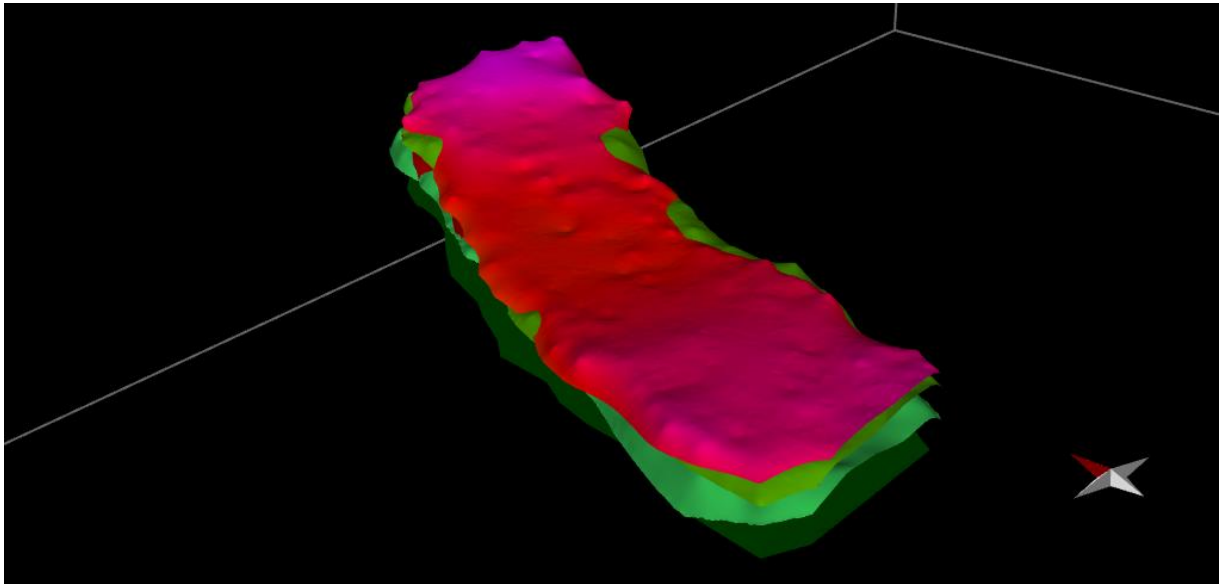


Slika 7.19. Primarno dobivena ploha II. produktivnog sloja.

Odstupanja su ispravljena reinterpetacijom dubine plohe na pojedinim bušotinama, na način da su se dubine korigirale na vrijednosti koje odgovaraju susjednim bušotinama a da prate generalni trend dubina. Također je promijenjen interpolacijski algoritam u *Ordinary Kriging* (veličina ćelija 5 x 5 m) (Slika 7.20.), nakon čega je dobivena konačna ploha krovine II. produktivnog sloja (Slika 7.21.)

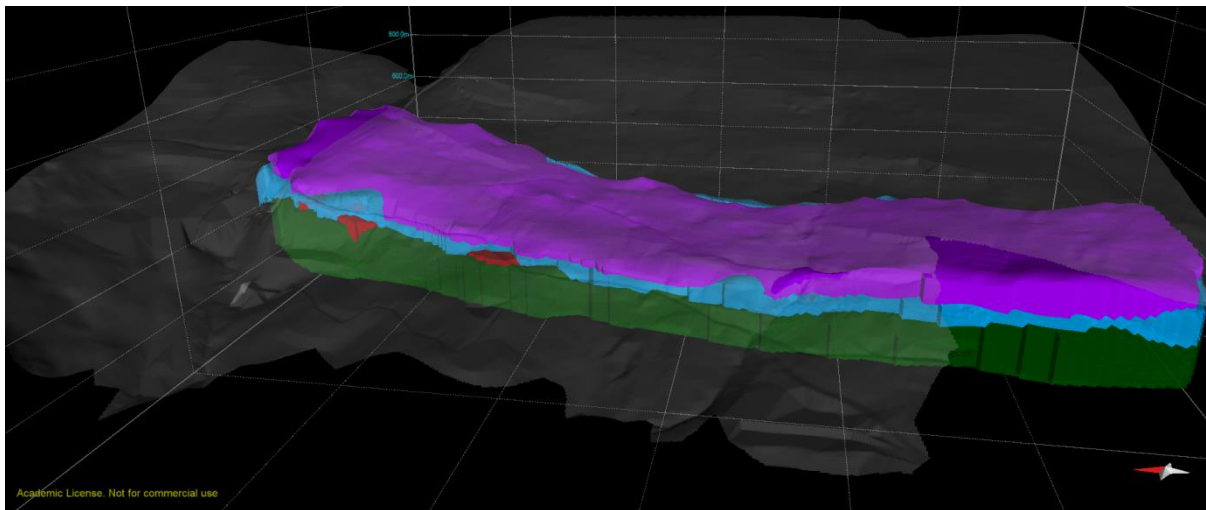


Slika 7.20. Parametri interpolacije plohe II. produktivnog sloja breča (Orso Grigio) algoritmom *Ordinary Kriging*.



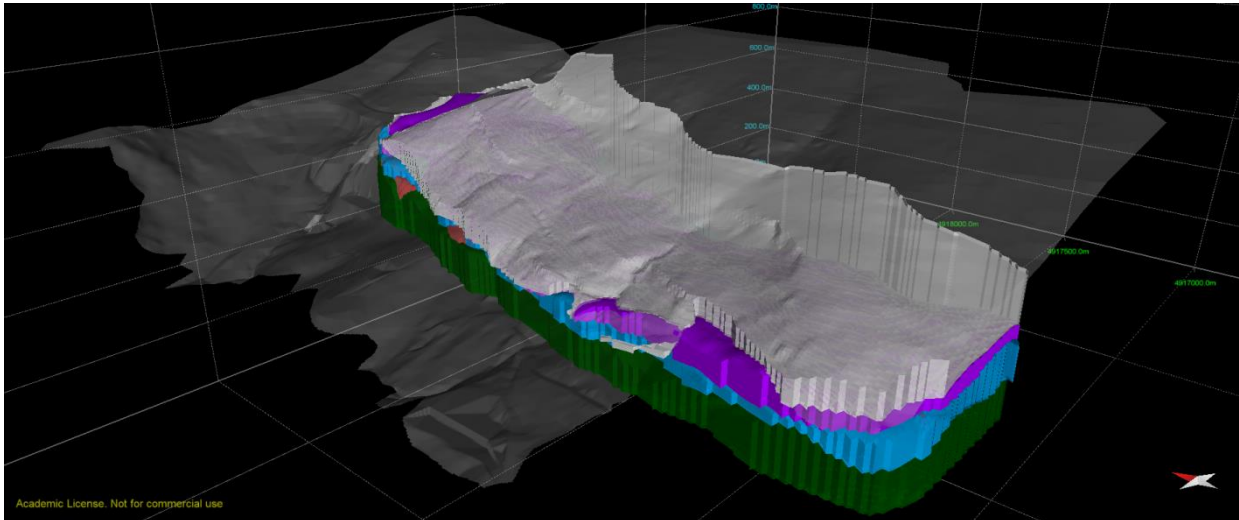
Slika 7.21. Ploha II. produktivnog sloja (Orso Grigio) dobivena nakon reinterpretacije dubina krovine.

Također načinjen je volumen II. produktivnog sloja, alatom *Volume>Create TetraVolume Between Horizons* (Slika 7.22).



Slika 7.22. 3D model II. produktivnog sloja AG-K (ljubičasti volumen), I. produktivnog sloja AG-K (plavi volumen) i podine ležištima boksita (zeleni volumen).

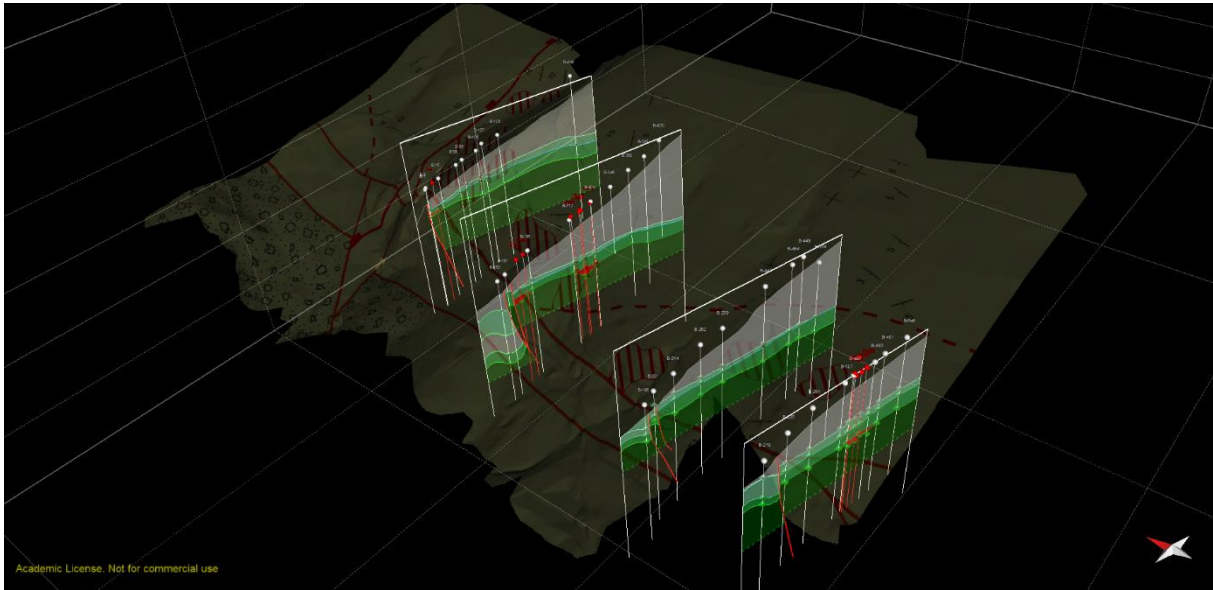
Kako bi se 3D model završio, bilo je potrebno modelirati i volumen krovinskih naslaga produktivnim slojevima, koje u rudarskom smislu predstavljaju jalovinu. Podinsku plohu tog volumena predstavlja ploha II. produktivnog sloja AG-K, a krovinsku plohu površina terena (Slika 7.23).



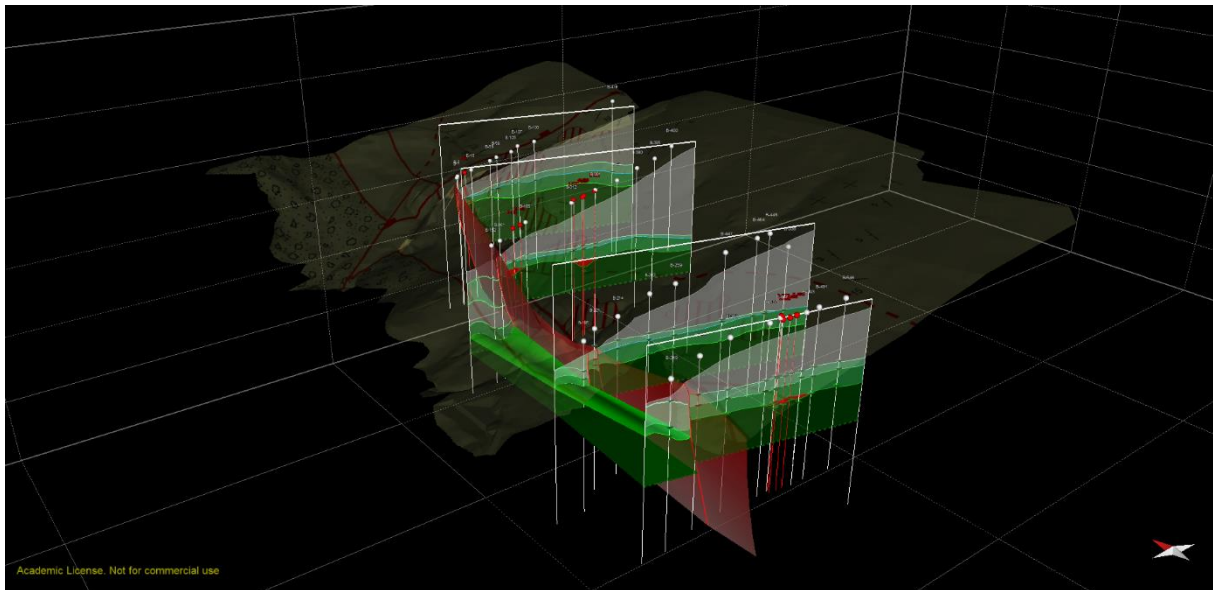
Slika 7.23. 3D model krovinskih naslaga produktivnim slojevima (svijetlo sivi volumen), II. produktivnog sloja AG-K (ljubičasti volumen), I. produktivnog sloja AG-K (plavi volumen) i podine ležištima boksita (zeleni volumen).

7.8. Konačni 3D geološki model ležišta

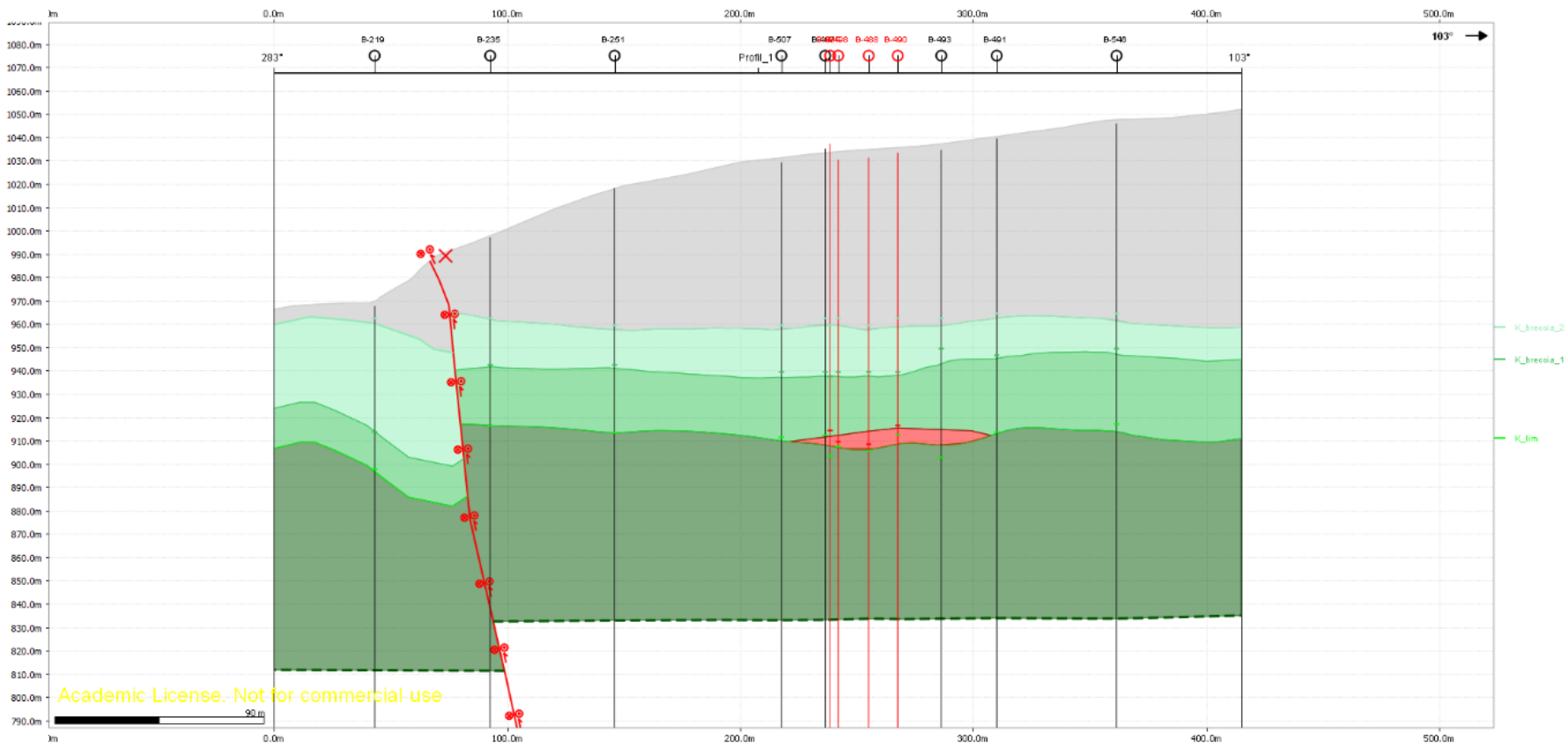
Konačni 3D geološki model eksploatacijskog polja Crvene stijene sastoji se od modela podine ležištima boksita, plohe paleoreljefa, modela ležišta boksita i modela I. i II produktivnog sloja te model jalovine od II. produktivnog sloja do površine terena (Slike 7.23 i 7.27.). Prema geološkoj karti (Slika 5.2) zapadnu granicu eksploatacijskog polja čini rasjed pružanja SI-JZ. Da bi mogli definirati rasjed, bilo je potrebno na mjestima gdje postoje bušotine s istočne strane rasjeda (znači izvan ležišta) načiniti poprečne geološke profile kako bi se odredila trasa rasjeda (Slike 7.24.; 7.25. i 7.26.). Za preciznu interpretaciju karaktera pomaka rasjeda i određivanje iznosa pomaka trebalo bi izvršiti detaljno kartiranje terena istočno od rasjeda te podatke uključiti u model. Prema trenutnim podacima čini se da je rasjed reversnog karaktera pomaka uz desni pomak po pružanju.



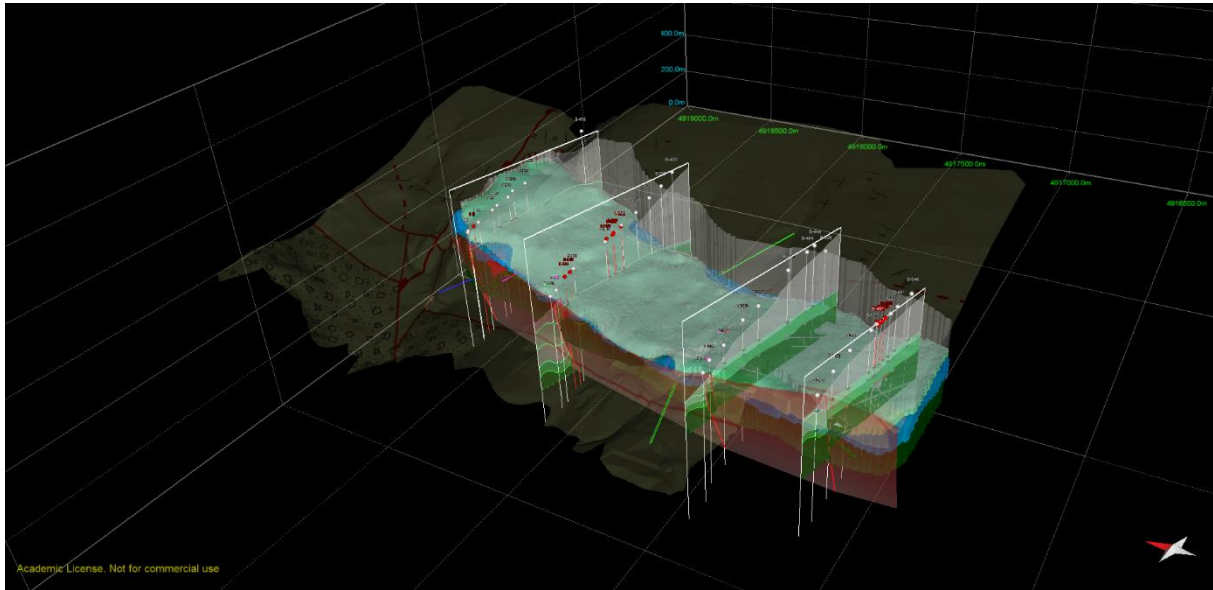
Slika 7.24. Poprečni geološki profili eksploatacijskog prostora Crvene stijene.



Slika 7.25. Ploha rasjeda koji predstavlja zapadnu granicu eksploatacijskog polja.



Slika 7.26. Poprečni geološki profil 1 eksploatacijskog polja Crvene stijene.



Slika 7.27. Konačni 3D model eksploatacijskog polja Crvene stijene.

Izrađeni model osim za definiranje geometrije ležišta boksita i AG-K u 3D poslužio je i za izračun rezervi pojedinog ležišta kao i krovine ležištima AG-K koja predstavlja jalovinu (Tablica 3).

Tablica 3. Volumeni (m^3 , km^3) ležišta boksita, AG-K te krovinskih naslaga ležištima AG-K.

Redni broj	Ležište	Volumen (m^3)	Volumen (km^3)
1	Krovina ležištima AG-K	34315494	0,034316
2	Orso Grigio	5689736	0,00569
3	Orso Rosso	14770620	0.01477
4	Boksiti	341016	0.00034

8. Diskusija

Provedeno istraživanje obuhvaća osmišljavanje metodologije i izradu 3D geološkog modela eksploatacijskog polja Crvene stijene na temelju velikog broja raznovrsnih podataka. Ulazni podaci 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, detaljna geološka podloga te podaci kartiranja podzemnih rudarskih prostorija. Bilo je potrebno osmisliti metodologiju kojom bi se svi ulazni podaci objedinili te kako na temelju tih podataka izraditi 3D geološki model ležišta. Za izradu 3D geološkog modela korišten je geološki računalni program Midland Valley Move™ ustupljen RGN fakultetu od tvrtke Midland Valley.

Prvo je bilo potrebno prilagoditi ulazne podatke te ih unijeti u program. Na temelju ulaznih podataka izrađeni su volumen podinskih vapnenaca, ploha paleoreljefa, volumeni ležišta boksita, krovinske plohe i volumeni I. i II. produktivnog sloja. Interpretacija je uglavnom temeljena na podacima dobivenih iz bušotina te popravljena novije prikupljenim podacima uglavnom iz DRAGIČEVIĆ et al. (2015). Za izrade ploha najbolje se pokazao *Ordinary Kriging* te su s njim dobivene najmanje anomalije koje su bile vezane za interpolaciju točkastih podataka.

Prilikom izrade 3D geološkog modela ležišta boksita i AG-K pojavile su se određene anomalije koje nisu odgovarale realnoj geološkoj situaciji u istražnom prostoru te je načinjena reinterpetacija ploha. Sve anomalije očitovale su se u pravilu preplitko i ponekad preduboko određenim vrijednostima dubina ploha na pojedinim bušotinama za što postoji više razloga. Anomalije kod modela plohe paleoreljefa vjerojatno su uzrokovane preplitko ili ponekad preduboko određenom podinom ležištima boksita prilikom bušenja. I. produktivni sloj breča mjestimično je izgrađen od klasta podinskih vapnenaca metarskih dimenzija (Slika 6.5.), stoga je pri interpretaciji jezgre bilo teško odrediti točnu granicu vapnenaca i breča pa je granica ponekad određena preplitko. Karbonatne breče I. produktivnog sloja ponekad blizu granice s podinskim vapnencima znaju izgledati vrlo slično podinskim vapnencima pa moguće da je granica na nekim bušotinama postavljena preduboko.

Plohe produktivnih slojeva I i II također su pokazivale odstupanja, koja su bila izraženija kod primarno dobivene plohe II. produktivnog sloja. Objašnjenja ovih odstupanja pronalaze se u paleookolišnim uvjetima taloženja, odnosno breče II. produktivnog sloja karakterizirane su

učestalom lateralnom izmjenom u kalkarenite i lapore i obratno. Ovakva situacija predstavlja problem pri određivanju točne dubine krovine II. produktivnog sloja jer se na pojedinim bušotinama, na dubinama na kojima se očekuje krovina, pojavljuje kalkarenit ili lapor. Lateralne izmjene su toliko česte da se dubine krovine na susjednim bušotinama razlikuju i do 10 m. Kod breča I. produktivnog sloja lateralne izmjene litofacijesa nisu toliko učestale, što objašnjava manji broj anomalija. Konačne plohe produktivnih slojeva dobivene su reinterpretacijom dubina odnosnih i susjednih bušotina, čime su dobivene realnije plohe. Preciznija reinterpretacija se može dobiti ukoliko se u program unesu i podaci o dubinama krovine kalkarenita i lapora, odnosno izradom ploha kalkarenita i ploha lapora. Time bi se dobio 3D litofacijsni model koji bi prikazivao izmjene breča, lapora i kalkarenita u prostoru, na temelju čega su moguće i sedimentološke analize.

Određene poteškoće pojavile su se i kod izrade volumena litoloških jedinica. Volumeni boksitnih tijela uglavnom odgovaraju negativnim anomalijama u paleoreljefu. Međutim, ostala je upitna geometrija boksitnih tijela. Pojedine modelirane plohe imaju nerealno uglate rubove, što ne odgovara realnoj geološkoj situaciji u kojoj krški boksiti ispunjavaju depresije u karbonatima. Ovakvi oblici su dobiveni zbog nedostatka okolnih bušotinskih podataka te je u idućoj fazi istraživanja potrebno osmisliti metodu za realnije prikazivanje krovinskih ploha ležišta boksita.

Unatoč navedenim poteškoćama pri modeliranju eksploatacijskog polja, izrađeni 3D geološki model jasno prikazuje geometriju pojedinih ležišta. Nadalje, geološka karta i geološki profili poslužili su za kontrolu pri izradi modela – glavni rasjedi, litološke jedinice i podzemni rudarski radovi u modelu odgovaraju onima na geološkoj karti i profilima, čime se može potvrditi da izrađeni 3D geološki model realno prikazuje situaciju u podzemlju, a shodno tome predstavlja podlogu za daljnja istraživanja.

9. Zaključak

Istraživanja provedena zadnjih godina u eksploatacijskom prostoru boksita Crvene stijene kod Jajca pokazala su da se u naslagama u krovini ležišta boksita nalazi vrlo vrijedan arhitektonsko-građevni kamen. Ležišta AG-K predstavljena su krupnozrnatim karbonatnim brečama u dva produktivna intervala; I. produktivni interval (Orso Rosso) i II: produktivni interval (Orso Grigio). Za razumijevanje geometrije ležišta AG-K bilo je potrebno osmisliti metodologiju i izraditi 3D geološki model eksploatacijskog polja Crvene stijene. Izrađeni model mora biti interaktivan, odnosno mora omogućiti nadopunjavanje novoprikupljenim podacima.

Desetljeća istraživanja i eksploatacije boksita te nekoliko zadnjih godina istraživanja AG-K rezultirali su brojnim geološkim podacima koji su objedinjeni i uključeni kao ulazni podaci za izradu 3D geološkog modela. Ulazni podaci donirani su od tvrtke RUDNICI BOKSITA JAJCE d.d., a obuhvaćali su:

- litološke stupove 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

Izrađeni 3D geološki model ležišta boksita i A-G kamena u lokalitetu *Crvene stijene* omogućio je detaljniji uvid u geometriju ležišta te predstavlja podlogu za daljnje istraživačke radove. Određen je optimalni algoritam interpolacije ploha paleoreljefa i krovina I i II. produktivnog sloja, *Ordinary Kriging*.

Utvrđeno je da dobiveni 3D geološki model reprezentativno prikazuje stvarnoj geološkoj situaciji u podzemlju te se treba dalje nadopunjavati novim strukturnim podacima iz podzemnih rudarskih radova i zasjeka. Nadalje, obilni ulazni podaci omogućuju u daljnjim fazama istraživanja detaljnije litofacijsne modele kojima bi se prikazale lateralne izmjene breča, kalkarenita i lapora koje su izraženije kod II. produktivnog sloja. Time bi se omogućila detaljnija interpretacija taložnog okoliša koji je uvjetovao nastanak AG-K. Također, 3D model može poslužiti kao podloga za daljnje proučavanje strukturnog sklopa ležišta, određivanje

karaktera i veličine pomaka po pojedinim rasjedima, što će biti lakše kada se detaljno kartiraju svi podzemni rudarski radovi.

S napredovanjem eksploatacije AG-K, geološkim kartiranjem novootvorenih zasjeka te kartiranjem podzemnih rudarskih radova dobiveni 3D model bi se stalno nadograđivao novim podacima te bi predstavljao trenutno stanje ležišta AG-K *Crvene stijene*. To će uvelike koristiti pri planiranju dinamike i načina eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, što daje najveću važnost 3D geološkom modelu.

10. Popis literature

Objavljeni radovi:

BORGHI, A. (2013): 3D stochastic modeling of karst aquifers using a pseudo-genetic methodology. Dissertation. University of Neuchatel, Faculty of Sciences, Institute of Hydrogeology and Geothermics, Switzerland.

CLARKE, D. D. & PHILLIPS C.C. (2003): Three-dimensional geologic modeling and horizontal drilling bring more oil out of the Wilmington oil field of southern California. AAPG Methods in Exploration 14, 27-47.

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.

FOURNILLON. A., VISEUR, S., ARFIB, B., BORGOMANO, J., (2010): insights of 3D Geological Modelling in Distributed Hydrogeological Models of Karstic Carbonate Aquifers; Advanced Reaserch in Karst Media, Springer, 257-262 str.

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.

MOECK, I., HOLL, H., SCHANDELMEIER, H. (2005): 3D Lithofacies Model Building of the Rotliegend Sediments of the NE German Basin. AAPG International Conference and Exhibition; 11-14 September, 2005; Paris, France.

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.

WANG,G. & HUANG, L. (2012): 3D geological modeling for mineral resource assessment of the Tongshan Cu deposit, Heilongjiang Province, China. Geoscience Frontiers 3(4) (2012) 483-491.

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> (22.02.2016.)

SAŽETAK:

Boksitonosno područje Jajca predmet je brojnih znanstvenih i stručnih geoloških i rudarskih istraživanja preko 30 godina. Kao najznačajniji lokaliteti ističu se ležišta *Crvene stijene*, *Bešpelj*, *Poljane* i *Liskovica*. Na spomenutim lokalitetima provedena su brojna detaljna geološka istraživanja u svrhu pronalaska ležišta boksita čija se eksploatacija na ovom području vrši već desetljećima. Produkti istraživanja ležišta boksita su velik broj istražnih bušotina (preko 1000), detaljni površinski geološki podaci i podaci iz podzemnih rudarskih radova. Novijim istraživanjima na lokalitetu *Crvene stijene* utvrđen je vrijedan arhitektonsko-građevni kamen (AG-K) u neposrednoj krovini ležišta boksita, koji se danas nalazi u početnoj fazi eksploatacije. S ciljem utvrđivanja geometrije ležišta boksita i arhitektonsko-građevnog kamena, kao i njihova volumena pristupilo se izradi 3D geološkog modela pomoću računalne aplikacije Midland Valley Move™. Izrada 3D modela temeljena je na velikom broju bušotinskih, geoloških i rudarskih radova koji su bili na raspolaganju. Izrađeni 3D model u prvom redu prikazuje geometrije produktivnih slojeva AG-K i ležišta boksita, podzemne rudarske radove kroz ležišta boksita i AG-K te geometriju plohe paleoreljefa na kojoj su se taložili boksiti. Izrađeni 3D geološki model reprezentativno prikazuje geološku građu lokaliteta *Crvene stijene* te kao takav predstavlja temelj za daljnja geološka istraživanja i eksploataciju AG-K.

KLJUČNE RIJEČI: 3D geološki model, paleoreljef, boksit, arhitektonsko-građevni kamen, Midland Valley Move, Jajce (BiH).

ABSTRACT:

Bauxite-bearing area Jajce is subject of number of scientific and engineering geological and mining research for over 30 years. Most significant localities are *Crvene stijene*, *Bešpeļj*, *Poljane* and *Liskovica*. Most of geological research were focused on the bauxite deposits. During three decades of research and exploitation of bauxite deposits, over 1000 wells were drilled and detailed geological data were acquired from surface and underground mining objects. Results of recent geological research in locality *Crvene stijene* reveal significant reserves of valuable dimension stone, which is currently in the beginning phase of exploitation. The aim of this research is to define geometry of bauxite and dimension stone deposits by constructing 3D geological model using Midland Valley Move™ software. 3D geological model was based on more than 500 wells, detailed topographic maps, data from underground mining objects, etc. Constructed 3D geological model shows 3D geometries and volumes of dimension stone and bauxite deposits and geometry of paleorelief on which bauxites were deposited. Constructed 3D geological model realistically shows geology of the research area *Crvene stijene* and represents base for further geological research and exploitation of dimension stone.

KEY WORDS: 3D geological model, paleorelief surface, bauxite, dimension stone, Midland Valley Move, Jajce (BiH).