3D geološki model neposredne podine i ležišta boksita u području Crvene stijene kod Jajca (BiH)

Ivaninić, David

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:031940

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geologije

3D GEOLOŠKI MODEL NEPOSREDNE PODINE I LEŽIŠTA BOKSITA U PODRUČJU CRVENE STIJENE KOD JAJCA (BiH)

Diplomski rad

David Ivaninić
G 203

Zagreb, 2016.

Zahvala:

Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svom mentoru prof.dr.sc. Ivanu Dragičeviću i asistentu mag.ing.geol. Ivici Pavičiću, koji su svojim znanstvenim i stručnim savjetima oblikovali ideju i uvelike mi pomogli pri izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se tvrtki Rudnici Boksita Jajce d.d., koja je ustupila velik broj podataka koji su bili neophodni za izradu ovoga rada.

Veliku zahvalu dugujem i svim svojim kolegama i prijateljima, koji su uvijek bili uz mene i koji su zaslužni da ovo vrijeme provedeno na fakultetu smatram najljepšim dijelom svoga života.

I na kraju, najveću zaslugu za ono što sam postigao pripisujem svojoj obitelji, roditeljima i bratu, koji su mi pružali potporu tijekom cijelog školovanja i bez čije pomoći zasigurno ne bi uspio postići, za mene, ovako veliko ostvarenje u životu.

Od srca Vam svima HVALA!

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

3D GEOLOŠKI MODEL NEPOSREDNE PODINE I LEŽIŠTA BOKSITA U PODRUČJU CRVENE STIJENE KOD JAJCA (BiH)

DAVID IVANINIĆ

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

Sažetak

Boksitonosno područje Jajca predmet je brojnih znanstvenih i stručnih geoloških i rudarskih istraživanja preko 60 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. Rezultati istraživanja ležišta boksita su velik broj istražnih bušotina (preko 1000), detaljni površinski geološki podaci i podaci iz podzemnih rudarskih radova. S ciljem utvrđivanja geometrije ležišta boksita, kao i njihova volumena pristupilo se izradi 3D geološkog modela pomoću računalne aplikacije Midland Valley Move^{TM}. 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 geometriju ležišta boksita, podzemne rudarske radove kroz ležišta boksita 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 boksita.

Ključne riječi: 3D geološki model, paleoreljef, boksit, Midland Valley Move, Jajce (BiH).

Diplomski rad sadrži: 56 stranica, 4 tablice, 32 slike i 21 referencu.

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: 1. srpnja 2016.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

3D GEOLOGICAL MODEL OF FOOTWALL STRATA AND BAUXITE DEPOSITS IN CRVENE STIJENE AREA, JAJCE (BiH)

DAVID IVANINIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Bauxite-bearing area Jajce has been the subject of a number of scientific and engineering geological and mining research for over 60 years. Most significant localities are *Crvene stijene, Bešpelj, Poljane* and *Liskovica*. The mayority of geological research was 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. The aim of this research is to define geometry of bauxite deposits by constructing 3D geological model using Midland Valley Move™ software. The 3D geological model is based on more than 500 wells, detailed topographic maps, data from underground mining objects, etc. The constructed 3D geological model shows the 3D geometry of bauxite deposits and geometry of paleorelief on which bauxites were deposited. The constructed 3D geological model realistically shows the geology of the *Crvene stijene* research area and represents the base for further geological research and exploitation of bauxite deposits.

Keywords: 3D geological model, paleorelief surface, bauxite, Midland Valley Move, Jajce (BiH).

Thesis contains 56 pages, 4 tables, 32 figures and 21 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Ivan Dragičević, PhD
Technical support and assistance: Assistant Ivica Pavičić, MSc

Reviewers: Full Professor Ivan Dragičević, PhD
Full Professor Davor Pavelić, PhD
Associate Professor Ivo Galić, PhD

Date of defense: July 01, 2016

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. CILJ ISTRAŽIVANJA 2

3. GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I MORFOLOŠKE ZNAČAJKE 3

3.1. Geografski položaj istraživanog područja 4

3.2. Klimatske i hidrološke značajke 5

3.3. Morfološke značajke 6

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 9

5. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA 11

5.1. Stratigrafska obilježja šireg područja 11

5.1.1. Valendis-barem 12

5.1.2. Barem-apt 12

5.1.3. Alb-cenoman 13

5.1.4. Senon-konijak, santon, kampan, mastriht 13

5.1.5. Paleocen 14

5.1.6. Miocen 14

5.1.7. Kvartar 14

5.2. Tektonika 15

6. GEOLOŠKE ZNAČAJKE LEŽIŠTA BOKSITA CRVENE STIJENE 19

6.1. Uvod 19

6.2. Geološke značajke podinskih naslaga ležišta boksita 21

6.3. Geološke značajke boksita 23

6.4. Geološke značajke krovinskih naslaga ležišta boksita 25

6.5. Strukturne značajke ležišta 27

7. METODE ISTRAŽIVANJA I REZULTATI 30

7.1. Ulazni podaci 31

7.2. 3D geološko modeliranje 38
7.3. Opis postupaka izrade 3D modela ležišta 39
7.4. Izrada plohe paleoreljefa ležišta boksita 40
7.5. Izrada modela ležišta boksita 43
7.6. Izrada 3D modela krovinskih naslaga ležišta boksita 45
7.7. Konačni 3D geološki model ležišta 47
8. DISKUSIJA 51
9. ZAKLJUČAK 53
10. LITERATURA 54

POPIS SLIKA:

Slika 3.1. Geografski položaj Jajca (*http://www.mapsofworld.com/ (28.05.2016.)*). 3
Slika 3.2. Geografski položaj *Crvenih stijena* (GOOGLE EARTH). 5
Slika 3.3. Topografska karta s okonturenim istražnim prostorom arhitektonsko-građevnog kamena *Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). 7
Slika 5.1. Geološka karta šireg boksitonosnog područja Jajca (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984). 16
Slika 5.2. Geološki profil boksitonosnog područja *Crvenih stijena* (DRAGIČEVIĆ, 1981). . 17
Slika 5.3. Geološki stup šireg područja Jajca (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984). 18
Slika 6.1. Panoramska fotografija ležišta *Crvene stijene* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 19
Slika 6.2. Detaljni litostratigrafski stup ležišta boksita *Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). 20
Slika 6.3. Mikroskopski izbrusak *a) Mesorbitolina pervia* (DOUGLASS), b) *Mesorbitolina subconcava* (LEYMERIE), c) *Paracoskinolina fleuryi* (DECROUEZ & MOULLADE), d) *Neoiraquia insolita* (DECROUEZ & MOULLADE); (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). 22
Slika 6.4. Modelski prikaz paleogeografskih odnosa na rubu karbonatnog šelfa u vremenskom rasponu donja-gornja kreda (DRAGIČEVIĆ, 1987). 23
Slika 6.5. Mikroskopski izbrusak *a) Keramosphaerina tergestina* (STACHE), b) *Dictyopsella kiliani* (MUNIER-CHALMAS), c) *Reticulinella fleuryi* (CVETKO, GUŠIĆ & SCHROEDER), d) *Calveziconus lecalvezae* (CAUS & CORNELLA); (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). 27
Slika 6.6. Istražni zasjek na čijoj su lijevoj strani vidljive decimetarske strije (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 29
Slika 7.1. Radno okruženje u računalnom programu Move™ korištenom za izradu 3D geološkog modela (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 30
Slika 7.2. Geološka karta ležišta *Crvene stijene* preklopljena preko DEM-a istraživanog područja (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 31
Slika 7.3. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i geološke karte preklopljene sa DEM-om (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 32
Slika 7.4. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i izmjerenih rasjeda u rudarskim radovima (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 33
Slika 7.5. Litološki stup bušotine K4 na arhitektonsko-građevni kamen (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). 34

Slika 7.6. Litološki stup bušotine na boksit B-201 (FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE TVRTKE RB JAJCE). 35
Slika 7.7. Položaj 562 bušotine na lokalitetu *Crvene stijene*. Crvenom bojom su označene bušotine koje su nabušile boksit, a zelenom bojom su označeni markeri pojedinih horizonata (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 37
Slika 7.8. Svi ulazni podaci koji su korišteni za izradu 3D modela (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016)..... 37
Slika 7.9. Primarno dobivena ploha paleoreljefa (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 41
Slika 7.10. Parametri interpolacije plohe paleoreljefa algoritmom *Ordinary Kriging* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 42
Slika 7.11. Ploha paleoreljefa nakon reinterpretacije (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 42
Slika 7.12. Ploha paleoreljefa i model podinskih vapnenaca (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). . 43
Slika 7.13. Krovinske plohe ležišta boksita (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 44
Slika 7.14. Dobiveni 3D modeli boksitnih tijela koja ispunjavaju udubljenja u paleoreljefu (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 45
Slika 7.15. Dobiveni volumen naslaga u krovini ležišta boksita. 46
Slika 7.16. Volumen krovinskih naslaga ležišta boksita prikazan zajedno s digitalnim modelom reljefa..... 46
Slika 7.17. Poprečni geološki profili ležišta *Crvene stijene* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). ... 47
Slika 7.18. Rasjed koji predstavlja zapadnu granicu eksploatacijskog polja (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). 48
Slika 7.19. Poprečni geološki profil 3 eksploatacijskog polja *Crvene stijene*. 49
Slika 7.20. Konačni 3D model eksploatacijskog polja *Crvene stijene* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016)..... 50

POPIS TABLICA:

Tablica 6.1. Srednji sadržaj komponenti boksita (PAPEŠ, 1978; PAPEŠ & DRAGIČEVIĆ, 1979)..... 24
Tablica 6.2. Srednji sadržaj osnovnih mineraloških komponenti u boksitu (PAPEŠ, 1978; PAPEŠ & DRAGIČEVIĆ, 1979)..... 25
Tablica 7.1. Priprema ulaznih podataka – koordinate i dubine bušotina (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016)..... 36
Tablica 7.2. Volumeni ležišta boksita te krovinskih naslaga ležišta boksita..... 50

1. UVOD

Više od 60 godina boksitonosno područje Jajca predmet je brojnih znanstvenih i stručnih geoloških i rudarskih istraživanja. Na tom se području ističu ležišta boksita *Crvene stijene, Bešpelj, Poljane* i *Liskovica*. S ciljem pronalaska ležišta boksita dosad su provedena brojna i detaljna geološka istraživanja, a ističu se DRAGIČEVIĆ (1981), PAPEŠ (1984), DRAGIČEVIĆ (1987), DRAGIČEVIĆ & VELIĆ (2002) i DRAGIČEVIĆ & VELIĆ (2006). Površina terena je detaljno kartirana, litostratigrafski su definirane podina i krovina ležišta boksita, određeni 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 poput potkopa i hodnika.

Temeljem velikog broja ulaznih podataka poput bušotinskih, geoloških i rudarskih radova pristupilo se izradi 3D geološkog modela pomoću računalne aplikacije Midland Valley Move^{TM}. Svrha izrade 3D geološkog modela je utvrđivanje geometrije i volumena ležišta boksita. Izrađeni 3D model prikazuje geometrije ležišta boksita, podzemne rudarske radove kroz ležišta boksita te geometriju plohe paleoreljefa na kojoj su se taložili boksiti. Namjena spomenutog 3D modela je reprezentativni prikaz geološke građe lokaliteta *Crvene stijene* s naglaskom na ležišta boksita i plohu paleoreljefa na koju su boksiti taloženi te kao takav predstavlja temelj za daljnja geološka istraživanja i eksploataciju boksita.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj 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.

3D model sadrži:

- plohu paleoreljefa na kojoj su taloženi boksiti;
- 3D modele ležišta boksita;
- 3D modele krovinskih naslaga ležišta boksita (jalovina).

Izrađeni 3D model omogućuje uvid u geometriju ležišta boksita te procjenu volumena tih ležišta. 3D model predstavlja podlogu za daljnje istraživačke radove koji obuhvaćaju detaljno kartiranje podzemnih rudarskih radova te stalno geološko kartiranje novootvorenih zasjeka kako napreduje eksploatacija boksita. Prikupljanjem novih podataka, načinjeni 3D model stalno bi se nadograđivao te bi predstavljao trenutno stanje ležišta boksita *Crvene stijene*, što bi snažno pripomoglo u planiranju dinamike i načina eksploatacije (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

3. GEOGRAFSKE, KLIMATSKE I MORFOLOŠKE ZNAČAJKE

Lokalitet *Crvene stijene* smješten je u jugozapadnom dijelu središnje Bosne, 10-ak km sjeveroistočno od Jajca (Slike 3.1 i 3.2). Jajce je glavni administrativni centar šireg područja te su prema njemu orijentirani svi značajniji gospodarski subjekti koji se nalaze na tom području.

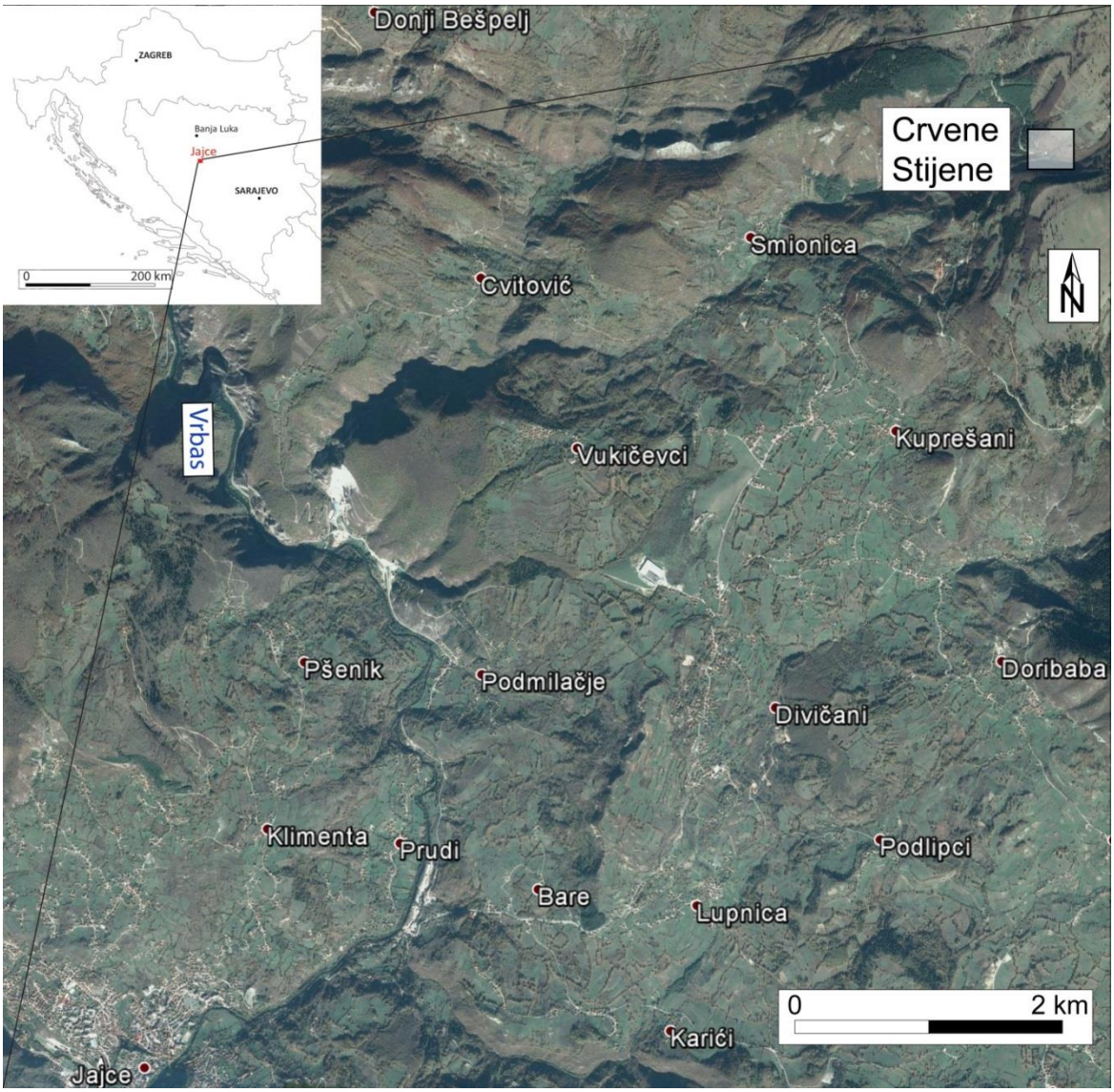


Slika 3.1. Geografski položaj Jajca (*http://www.mapsofworld.com/ (28.05.2016.)*).

3.1. Geografski položaj istraživanog područja

Lokalitet *Crvene stijene* nalazi se na jugozapadnim padinama planine Hranče, odnosno užeg lokaliteta Ovčine. Tim područjem prolazi cesta koja od Jajca vodi prema Bešpelju, lokalitetu koji je također poznat po ležištima boksita (Slika 3.2). U tom lokalitetu se odvaja i cesta za Poljane, gdje se također nalazi važno nalazište boksita. Svega je 10-ak km ovo područje udaljeno od prometnica Sarajevo – Banja Luka te Jajce – Bihać, što čini ovaj lokalitet dobro prometno povezanim s ostatkom šireg područja, a što je važno i za transport boksita. Rijeke Vrbas i Ugar protječu rubnim dijelovima istraživanog terena te čine sjevernu i sjeveroistočnu granicu promatranog područja. Crna rijeka protječe zapadnim dijelom istraživanog terena.

U blizini istraživanog područja nalaze se sljedeća značajnija mjesta: Kuprešani, Poljane, Bešpelj, Podmilačje, Vukićevci, Divičani, Podlipci te Bistrica. 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slika 3.3).



Slika 3.2. Geografski položaj *Crvenih stijena* (GOOGLE EARTH).

3.2. Klimatske i hidrološke značajke

Geografski položaj te lokalni morfološki faktori imaju velik utjecaj na klimatske značajke područja. Na području gdje se nalazi lokalitet *Crvene stijene* prevladava umjerena kontinentalna klima, dok na mjestima gdje nadmorska visina premašuje 1000 metara klima je oštra planinska s dugim i hladnim zimama. Padaline su najčešće tijekom proljeća i kasne jeseni, a zimi su izražene 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 (22.02.2016.)*).

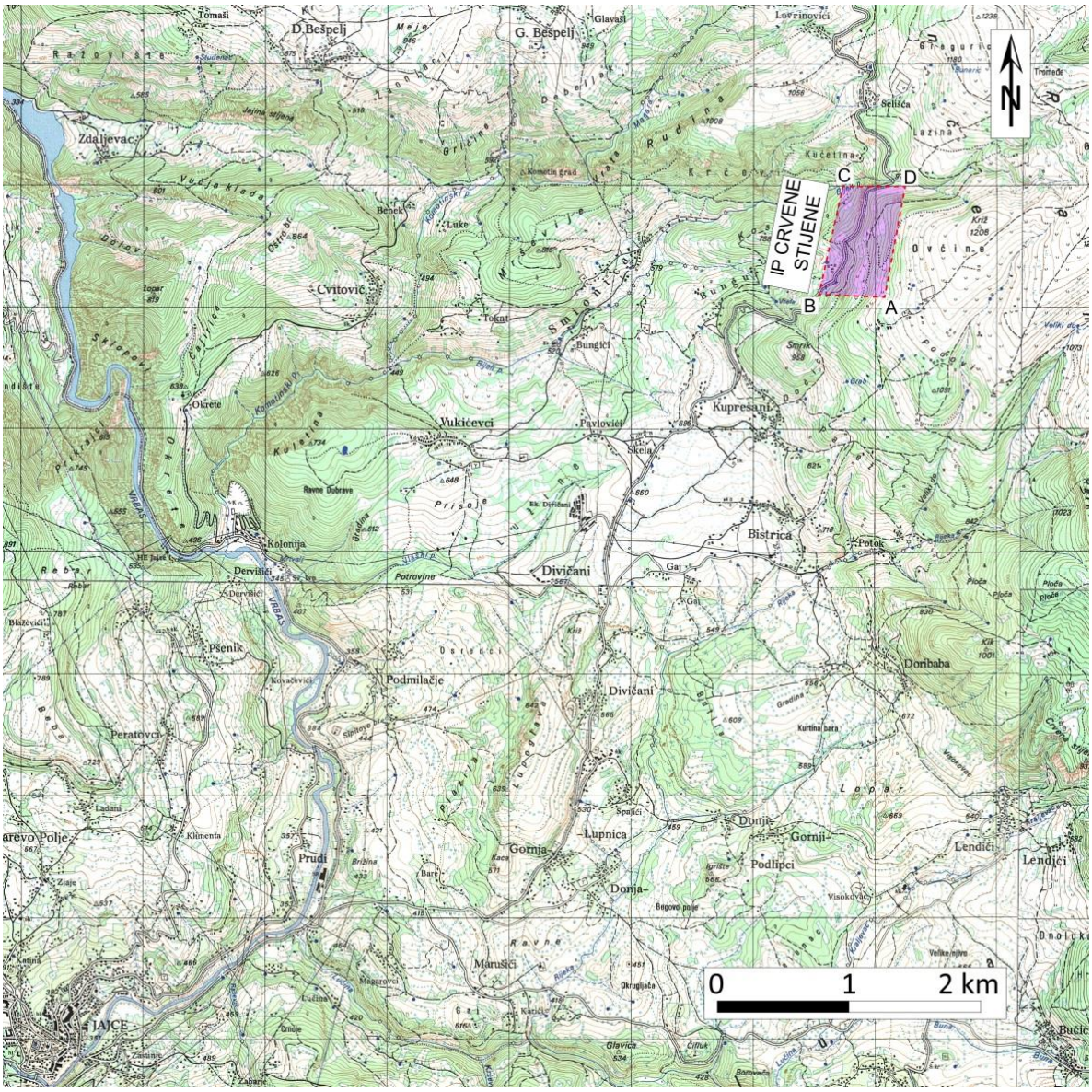
Istraživano područje pripada krškom hidrološkom režimu. Razlog tome je što je područje izgrađeno većinom od karbonatnih stijena koje su izrazito propusne te zbog toga obiluje velikom količinom podzemne vode. Međutim, razina podzemne vode se nalazi na puno većoj dubini nego što je područje koje je predviđeno 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).

Tektonski položaj istraživanog prostora i jaka okršenost karbonata onemogućavaju 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.

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).

3.3. Morfološke značajke

Prema morfološkim značajkama ovo područje spada u brdsko-planinski tip reljefa. Šire područje *Crvenih stijena* 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 3.2 i 3.3). Znatan dio terena pokrivaju i planinski pašnjaci, a mjestimično nalazimo i na izdanke stijena.



Slika 3.3. Topografska karta s okonturenim istražnim prostorom arhitektonsko-građevnog kamena *Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

Morfološki oblici koje susrećemo na terenu u direktnoj su vezi s litološkim karakteristikama stijena kao i s tektonskim sklopom (DRAGIČEVIĆ, 1981). Razlikuju se tri osnovne cjeline prema DRAGIČEVIĆ (1981): tereni izgrađeni od donjokrednih i cenomanskih vapnenaca, tereni izgrađeni od gornjokrednih klastita i tereni izgrađeni od neogenskih klastita.

Prvu morfološku jedinicu čine tereni koji su izgrađeni od donjokrednih i cenomanskih vapnenaca. Ta jedinica obuhvaća 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).

Gornjokredni klastiti tvore drugu morfološku jedinicu 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).

Neogenski bazen Jajca te nekoliko manjih izoliranih erozijskih ostataka neogenskih naslaga čine treću morfološku jedinicu. Od reljefnih oblika susrećemo dublja korita potoka, oštre vrhove te doline s obradivim zemljištem (DRAGIČEVIĆ, 1981).

Kanjoni rijeka Vrbas i Ugar s planinom Hranče, koja se nalazi između njih, su najistaknutiji morfološki oblici na istraživanom području.

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Šire područje oko Jajca bilo je 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.

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

Prva istraživanja na ovim prostorima započela su još u vrijeme Austro-Ugarske kada je skupina geologa ustanovila tek osnovne podatke o geološkim odnosima na promatranom području. 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.

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).

Na širem području Jajca provedena su brojna i opsežna istraživanja u svrhu pronalaženja ležišta brojnih mineralnih sirovina, od kojih se ističu boksit, arhitektonsko-građevni i tehničko-građevni kamen. Ta istraživanja su dala izvrsne rezultate na temelju kojih

se već duže vrijeme na tom prostoru odvija njihova eksploatacija. Posljednjih godina se u području *Crvene stijene* istražuje arhitektonsko-građevni kamen 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

5. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA

Na geološkoj karti 1:50 000 izrađenoj prema DRAGIČEVIĆ (1981) i PAPEŠ (1984) (Slika 5.1), geološkom profilu (Slika 5.2) te geološkom stupu (Slika 5.3) prikazana je geološka građa lokaliteta *Crvene stijene* u boksitonosnom području Jajca. Na spomenutom području zastupljene su naslage čiji je stratigrafski raspon od donje krede do kvartara. Dominiraju naslage donje i gornje krede te miocenske naslage, dok su kvartarne naslage rijetko zastupljene.

5.1. Stratigrafska obilježja šireg područja

Na širem području Jajca najstarije naslage su donjokredne starosti. Donjokredne i gornjokredne naslage su pretežito vapnenci, koji su na temelju brojnih nalaza foraminifera i algi te na temelju 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})

Naslage miocenske starosti su transgresivne na raznolike starije stijene, a predstavljene su konglomeratima, glinama, pješčenjacima i laporima. Mjestimično se javljaju i proslojci ugljena. Kvartarne naslage koje se nalaze na istraživanom terenu su vrlo rijetko zastupljene te im je debljina neznatna. 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})

Vapnenci valendisa i barema čine najstarije naslage na promatranom području. 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 koji su dominantni, a pojavljuju se i sitne nerinee, krupni hidrozoi te primitivni rudisti. Provodni fosili su vrlo rijetki. 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})

Ove naslage predstavljaju dobro uslojeni pločasti vapnenci čija boja varira od sivo smeđe preko svijetlosive do tamnosive boje. Najveću površinu zauzimaju u sjevernom i jugozapadnom dijelu terena koji je prikazan na geološkoj karti (Slika 5.1). 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.

U ovim naslagama pronađene su brojne mikrofosilne zajednice koje čine ovaj stratigrafski član pogodnim za određivanje starosti. U donjem dijelu slijeda naslaga nađene su salpingoporele, dok se u mlađim naslagama nalazi bogata zajednica orbitolina. Prisutni su i makrofosili, u najvećoj mjeri nerinee i primitivni rudisti. Sukladno navedenim fosilnim zajednicama naslage pripadaju gornjem baremu i aptu te donjem dijelu alba.

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

Alb-cenomanske naslage leže kontinuirano na prije opisanim barem-aptskim naslagama. Te naslage čine različiti tipovi plitkovodnih vapnenaca bijele, ružičaste do svijetlosive boje. Slojevi dolomita se javljaju podređeno uz vapnence. 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.

Brojni ostaci algi, foraminifera i rudista su nađeni u tim naslagama te je pomoću njih određena starost alb-cenoman.

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

Senonske naslage se nalaze u središnjem i istočnom dijelu šireg područja koje je prikazano na geološkoj karti (Slika 5.1). Većinom su to karbonatni klastiti koji su najzastupljenije stijene na istraživanom području. Oni su poznatiji pod nazivom *fliš* koji ukazuje na njihovo turbiditno podrijetlo.

Velika raznovrsnost litofacijesa karakterizira ovaj stratigrafski član, 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.

Ovim je naslagama utvrđena senonska starost 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 preko 1000 metara, a naslage su pod utjecajem tektonike intenzivno borane i rasjednute.

5.1.5. Paleocen (Pc)

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 paleogenu te je tako taj dio naslaga označen kao paleocen (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984).

5.1.6. Miocen (M)

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. Zastupljene su konglomeratima, glinama, pješčenjacima i laporima, a javljaju se i proslojci ugljena. Na 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).

5.1.7. Kvartar (Q)

Kvartarne naslage nisu značajno zastupljene na istraživanom 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 nastaju i u recentno vrijeme.

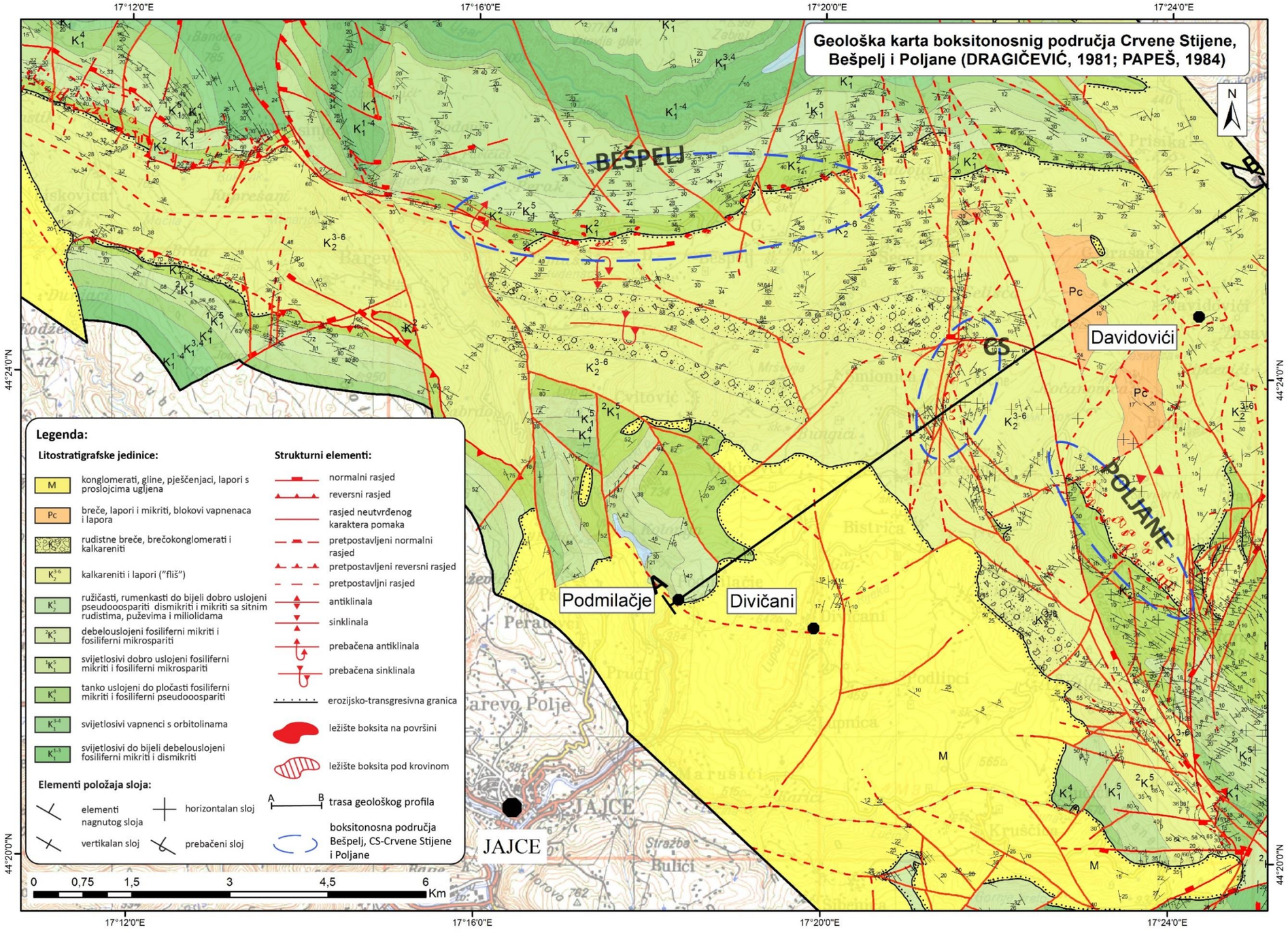
Kredni vapnenci koji su oštećeni tektonskim aktivnostima i procesima okršavanja na površini terena izloženi su egzogenim geološkim procesima te kao posljedica toga dolazi do njihovog mehaničkog raspadanja i gravitacijskog premještanja u podnožje padina te se na taj način formiraju sipari. Taj je materijal nevezan, nezaobljen i djelomično sortiran. U dnu sipara se nerijetko nalaze i blokovi vapnenaca čija je veličina i nekoliko m^3. Zbog male debljine kvartarne naslage nisu posebno izdvajane na geološkoj karti.

5.2. Tektonika

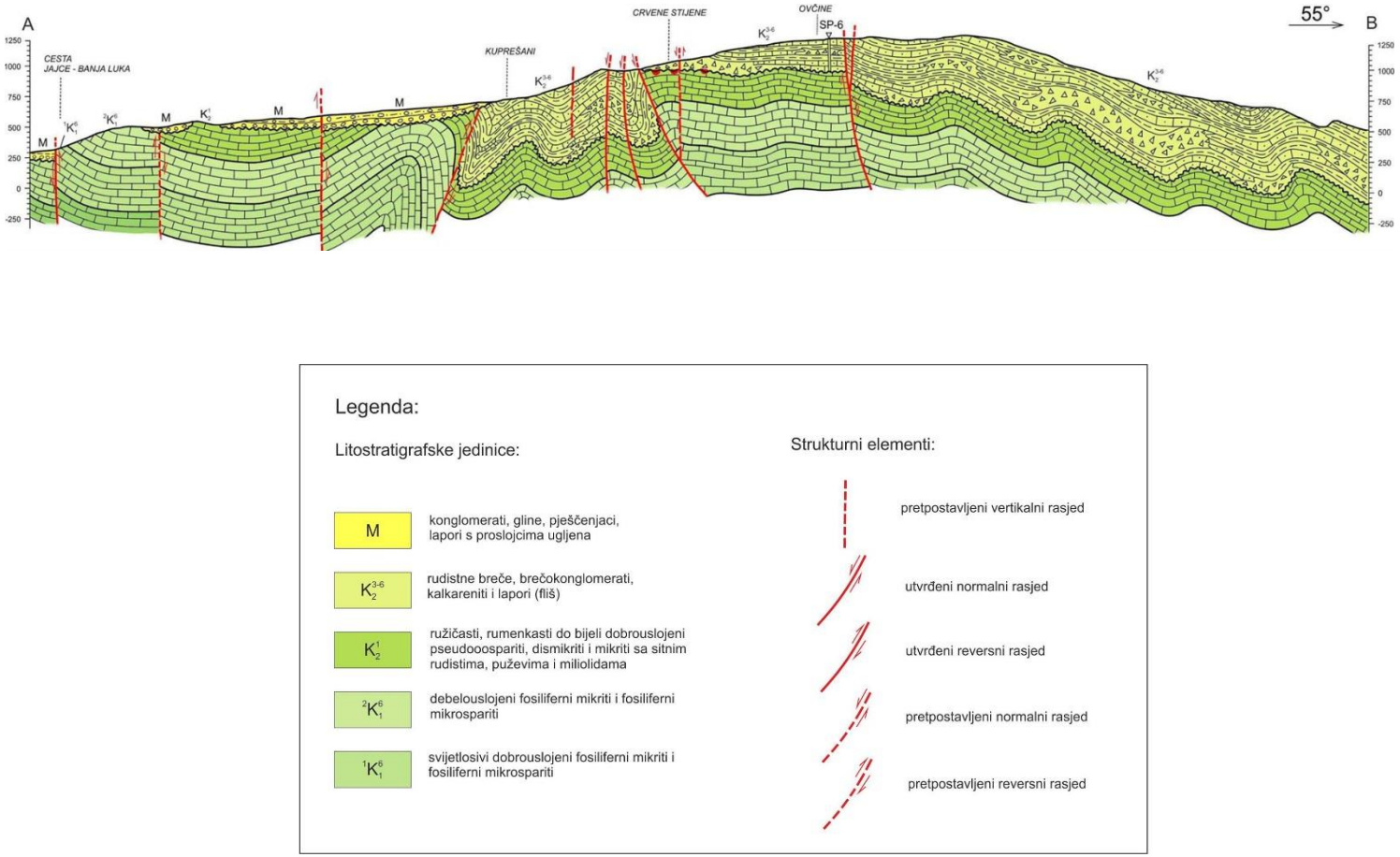
Na temelju podataka iz Osnovne geološke karte 1:100 000, list Jajce (MARINKOVIĆ & AHAC, 1979) područje istraživanog lokaliteta *Crvene stijene* pripada strukturnoj jedinici Ugar-Bešpelj-Vlašić. Tektonski odnosi na tom području su vrlo kompleksni.

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 mogu se uočiti na priloženoj geološkoj karti (Slika 5.1). U strukturnom pogledu razlikuju se 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. Blage bore i normalni vertikalni do subvertikalni rasjedi karakteriziraju ovo područje. 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 koje su poznatije pod nazivom *fliš* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

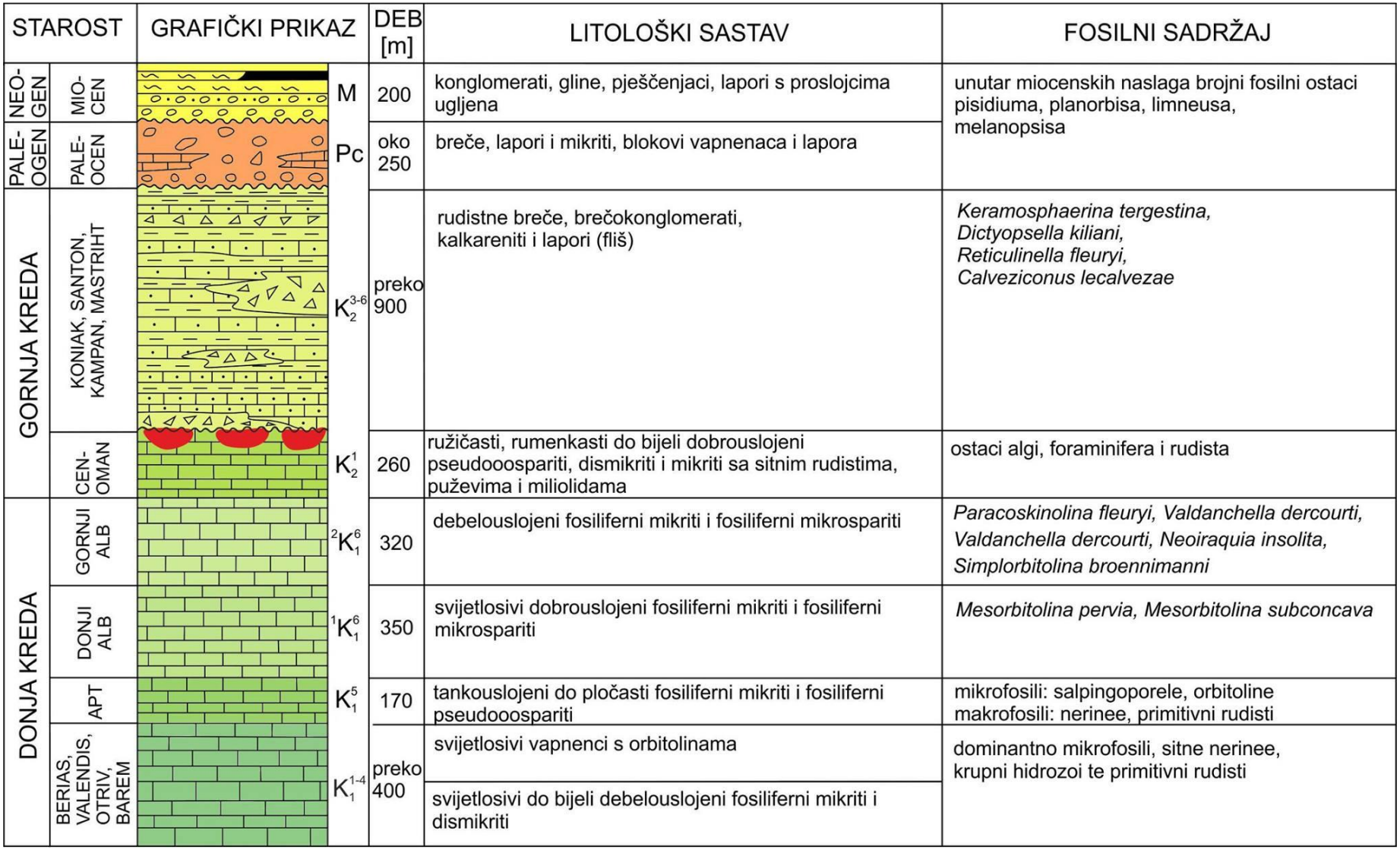
Zapadni dio istraživanog terena obuhvaća područje u kojem se nalazi lokalitet *Bešpelj*, koji je intenzivnije tektonski poremećen. Pružanje glavnih struktura odnosno bora i rasjeda na tom području je istok-zapad. Na području Bešpelja se nalazi prebačena sinklinala koja svjedoči o zamršenim tektonskim odnosima koji vladaju na tom području. 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 5.1) uočava se vrlo markantan rasjed koji razdvaja istočno i zapadno područje te prolazi područjem *Crvenih stijena*. Vrlo je vjerojatno da je taj rasjed reversnog pomaka, sa značajnom komponentom horizontalnog tektonskog transporta (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



Slika 5.1. Geološka karta šireg boksitonosnog područja Jajca (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984).



Slika 5.2. Geološki profil boksitonosnog područja *Crvenih stijena* (DRAGIČEVIĆ, 1981).



Slika 5.3. Geološki stup šireg područja Jajca (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984).

6. GEOLOŠKE ZNAČAJKE LEŽIŠTA BOKSITA CRVENE STIJENE

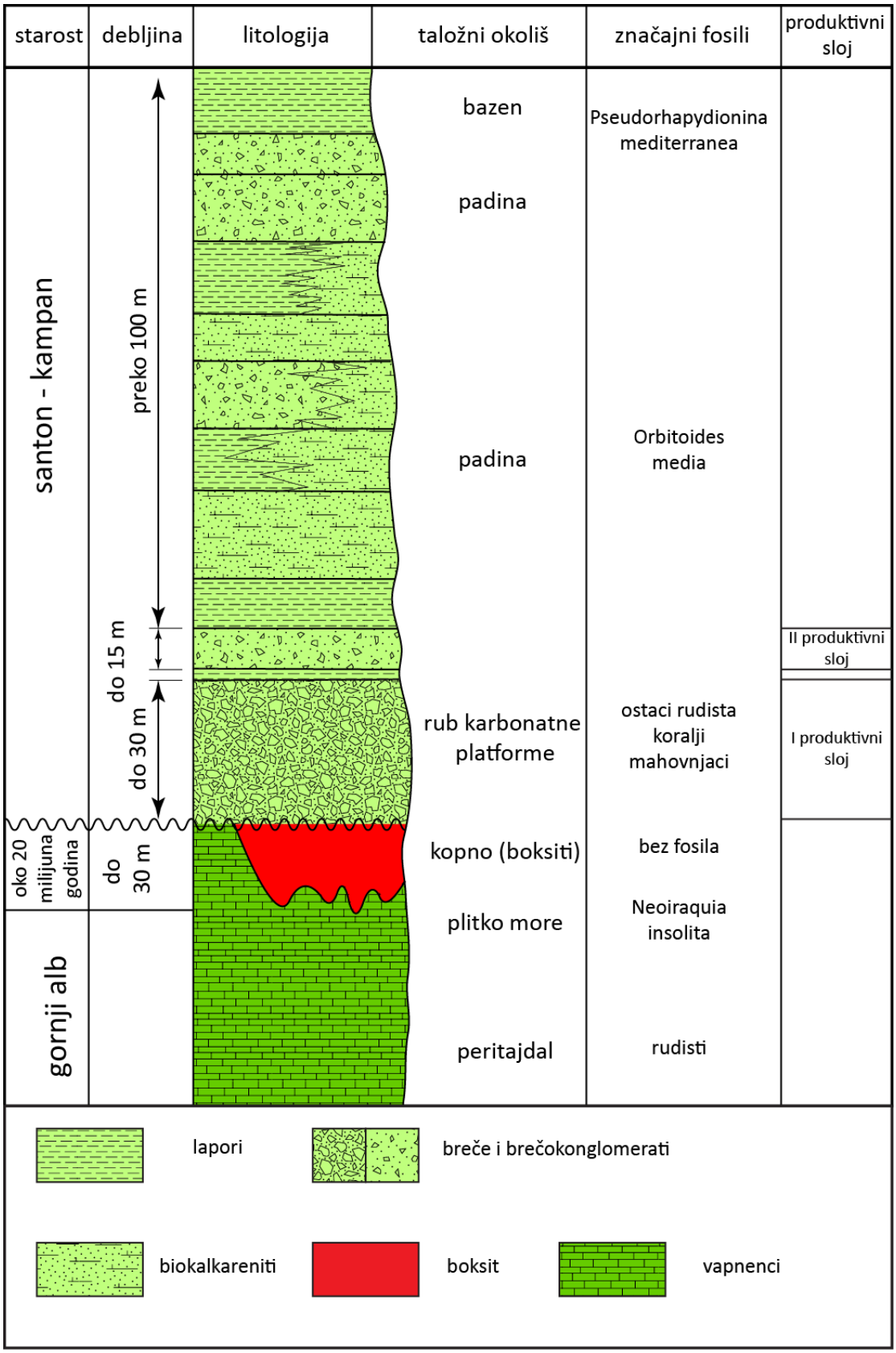
6.1. Uvod

Smještaj i oblik pojedinih ležišta boksita na području *Crvenih stijena* (Slika 6.1) definiran je na geološkoj karti 1:50 000 izrađenoj prema DRAGIČEVIĆ (1981) i PAPEŠ (1984) (Slika 5.1), geološkom profilu (Slika 5.2) te geološkom stupu (Slika 5.3). Autori su na temelju biostratigrafskog sadržaja u podinskim i krovinskim naslagama odredili i njegovu stratigrafsku pripadnost.



Slika 6.1. Panoramska fotografija ležišta *Crvene stijene* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Krovina ležišta boksita na području *Crvenih stijena* pripada bazalnom dijelu transgresivne serije sedimenata, karbonatnih klastita konijak-mastrihtske (senon) starosti poznatih pod nazivom *fliš* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015) (Slika 6.2). Te su naslage heterogenog sastava, a izdvajaju se lapori, kalcitični lapori, breče različite granulacije, kalkareniti i bazalni konglomerati. Izmjena spomenutih litoloških članova je vrlo česta kako horizontalno, tako i vertikalno. Navedene stijene su transgresivne i blago diskordantne na plitkomorske vapnence crvenkaste do bijele boje alb-cenomanske starosti koji predstavljaju najmlađe taložne sekvence istaložene na sjevernom rubu Jadranske karbonatne platforme (DRAGIČEVIĆ, 1981, 1987). Oni predstavljaju podinu ležišta boksita. Diskordancija između ovih dviju jedinica predstavlja emerziju tijekom koje su nastala brojna ležišta bemitskih boksita (DRAGIČEVIĆ, 1981, 1987). Detaljni litostratigrafski stup ležišta boksita prema DRAGIČEVIĆ et al. (2015), prikazan je na Slici 6.2.



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

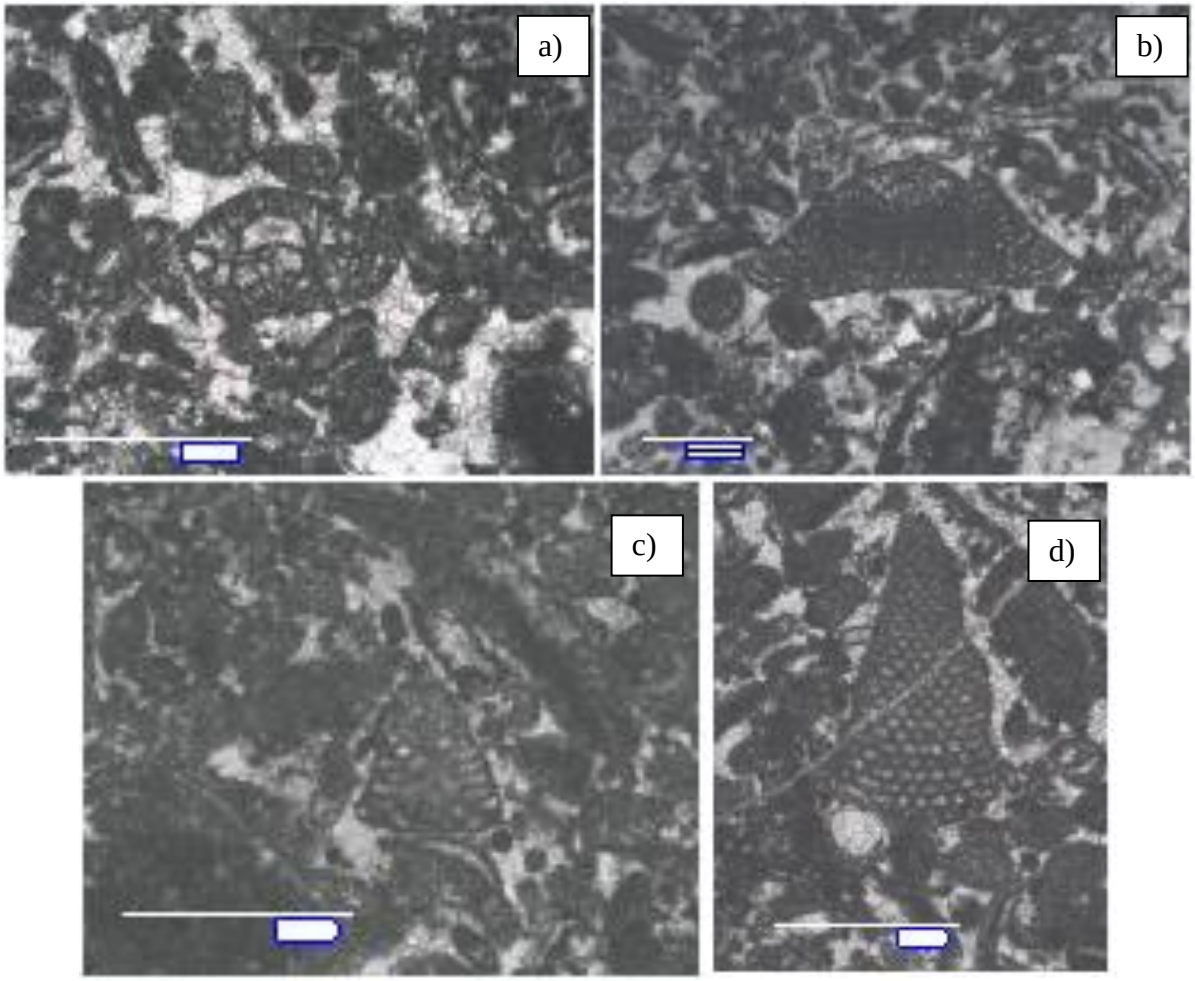
U krovini ležišta boksita ima različitih i naglih prijelaza iz jednog tipa u drugi tip klastičnih naslaga. Takve nagle promjene su osobito česte u neposrednoj krovini ležišta boksita. U nekim slučajevima su karbonatne breče u neposrednoj krovini ležišta boksita, dok u drugim slučajevima prisutan je i tanji sloj kalkarenita u neposrednoj krovini boksita.

U nastavku je prikazan sistematični pregled stratigrafskih i litoloških karakteristika podine ležišta boksita, samih boksita te njihovih krovinskih naslaga na temelju brojnih dostupnih podataka koji su produkt opsežnih istraživanja na promatranom lokalitetu.

6.2. Geološke značajke podinskih naslaga ležišta boksita

Na cijelom području *Crvenih stijena* detaljnim geološkim kartiranjem, a kasnije i istražnim bušotinama u podini ležišta boksita ili ispod krovinskih klastita gdje boksiti nisu prisutni, utvrđene su vrlo jednolične odnosno uniformno razvijene naslage. To su podinski vapnenci albske starosti. Ti vapnenci su klasificirani 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 6.3). 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 6.3):

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.

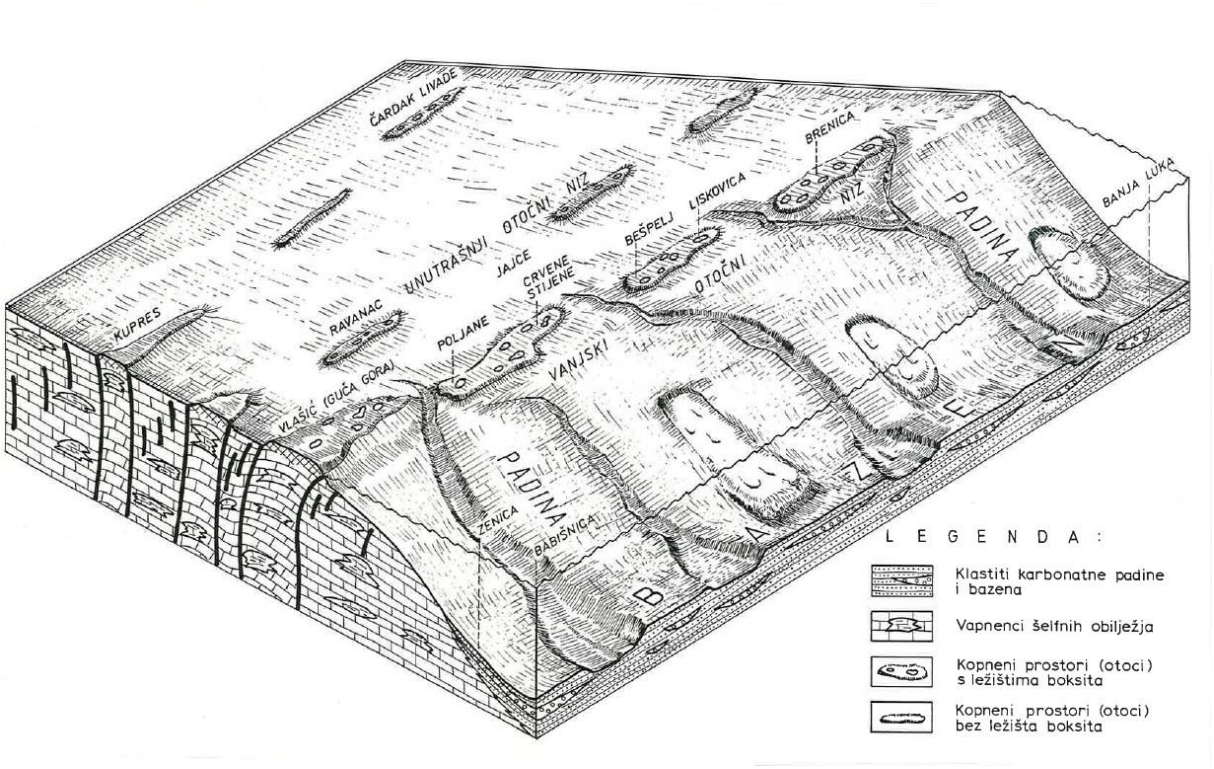


Slika 6.3. Mikroskopski izbrusak *a) Mesorbitolina pervia* (DOUGLASS), b) *Mesorbitolina subconcava* (LEYMERIE), c) *Paracoskinolina fleuryi* (DECROUEZ & MOULLADE), d) *Neoiraquia insolita* (DECROUEZ & MOULLADE); (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

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. Geološke značajke boksita

Boksiti su nastali u emerzijskoj fazi koja je na lokalitetu *Crvene stijene* trajala od alba do santona-kampana. Krajem donje krede na rubnim dijelovima karbonatne platforme nastale su kopnene površine koje su poredane u nekoliko nizova poput otoka (DRAGIČEVIĆ, 1987) (Slika 6.4). Uzrok tome bila su značajna vertikalna tektonska kretanja. Veličinu i oblik otoka je na temelju recentnih odnosa vrlo teško rekonstruirati. Pretpostavlja se njihov elipsoidalni oblik s dužom osi paralelnom rubu šelfa i pružanju spomenutih rasjeda (DRAGIČEVIĆ, 1987). Na tim otocima se razvio krški reljef, koji je nastao kemijskim trošenjem vapnenaca na kojem su brojna udubljenja nepravilnog oblika poslužila kao podloga za nakupljanje materijala iz kojeg je nastao boksit.



Slika 6.4. Modelski prikaz paleogeografskih odnosa na rubu karbonatnog šelfa u vremenskom rasponu donja-gornja kreda (DRAGIČEVIĆ, 1987).

Na lokalitetu *Crvene stijene* nalazi se velik broj ležišta crvenog boksita visoke kvalitete te će se daljnjim ulaganjima u istraživanja zasigurno otkriti i određen broj novih ležišta. Postojeća ležišta, od kojih su neka već eksploatirana, a neka u fazi eksploatacije, su različitih dimenzija i oblika. Dužina najvećih ležišta doseže nekoliko stotina metara, a širina do sto

metara. Debljine boksitnih tijela dosežu i 40-ak metara. Ležišta boksita su jako nepravilna u morfološkom smislu. Neka su izdužena u obliku kanala, druga su u obliku leća, spljoštena ili zdjeličasta. Navedene osobine ležišta otežavaju njihovo istraživanje (DRAGIČEVIĆ, 1987). Oblik i veličina ležišta boksita u prvom redu ovise o paleoreljefnim udubljenjima koja su stvorena u podinskim vapnencima kemijskim trošenjem tijekom emerzijske faze (cenoman-turon-donji senon), te o količini donesenog materijala za boksite.

Kvaliteta boksita određena je na temelju 1200 kemijskih analiza (PAPEŠ, 1978; PAPEŠ & DRAGIČEVIĆ, 1979) na 6 komponenti: Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, TiO_2, CaO i gubitka žarenjem te je njihov srednji sadržaj prikazan u Tablici 6.1. Na temelju tablice može se zaključiti kako se sva ležišta na prostoru *Crvenih stijena* odlikuju boksitom visoke kvalitete, s visokim sadržajem Al_2O_3 i niskim sadržajem SiO_2.

Tablica 6.1. Srednji sadržaj komponenti boksita (PAPEŠ, 1978; PAPEŠ & DRAGIČEVIĆ, 1979).

Komponenta	**%**
Al_2O_3	57,66
SiO_2	2,00
Fe_2O_3	24,77
TiO_2	2,60
CaO	0,05
Gubitak žarenjem	18,83

Srednji sadržaj osnovnih mineraloških komponenti prikazan je u Tablici 6.2 prema PAPEŠ (1978) i PAPEŠ & DRAGIČEVIĆ (1979). Visok sadržaj bemita i nizak sadržaj kaolinita svrstavaju ovaj tip boksita u bemitske boksite.

Tablica 6.2. Srednji sadržaj osnovnih mineraloških komponenti u boksitu (PAPEŠ, 1978; PAPEŠ & DRAGIČEVIĆ, 1979).

Mineraloška komponenta	%
Bemit	66,50
Kaolinit	3,90
Hematit	29,90
Anatas	0,70
Kalcit	1,50
Ostalo	1,40

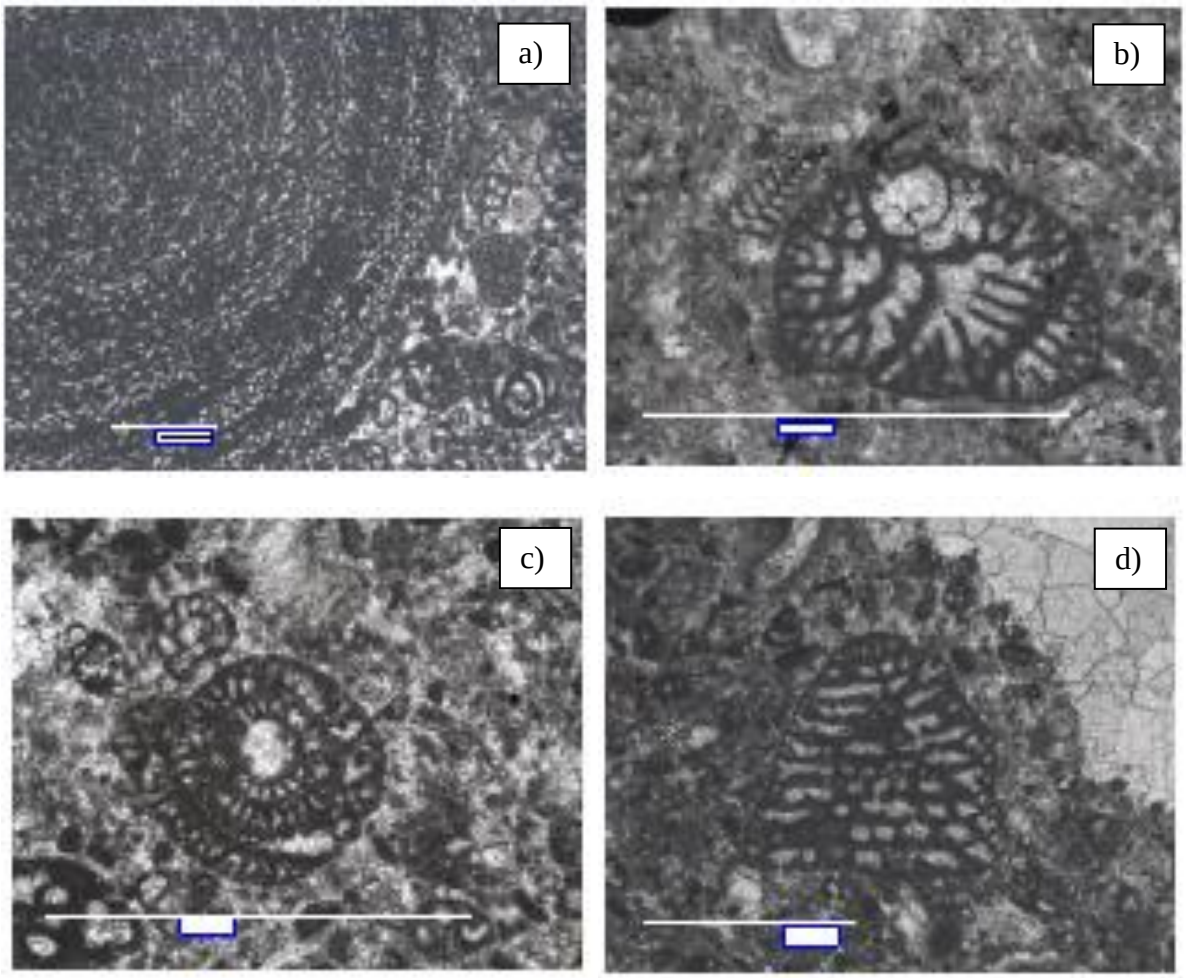
6.4. Geološke značajke krovinskih naslaga ležišta boksita

Krovina ležišta boksita predstavlja početak transgresivnog slijeda kojeg karakteriziraju bazalne karbonatne breče 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 njegova dva glavna produktivna sloja: I (*Orso Rosso*) i II (*Orso Grigio*). Nakon njih slijedi izmjena kalkarenita, lapora, kalcitičnih lapora i karbonatnih breča (Slika 6.2). 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.

Mikropaleontološkim istraživanjima koja su izvršena na krovinskim naslagama boksita određena je vrlo bogata i raznovrsna zajednica mikrofosila (foraminifera) (DRAGIČEVIĆ & VELIĆ, 2006) (Slika 6.5). Prikazan je 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),
Pseudocyclammina 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 6.5).



Slika 6.5. Mikroskopski izbrusak *a) Keramosphaerina tergestina* (STACHE), b) *Dictyopsella kiliani* (MUNIER-CHALMAS), c) *Reticulinella fleuryi* (CVETKO, GUŠIĆ & SCHROEDER), d) *Calveziconus lecalvezae* (CAUS & CORNELLA); (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

6.5. Strukturne značajke ležišta

Tektonski odnosi u ležištu boksita *Crvene stijene* određeni su na temelju rezultata detaljnog geološkog kartiranja na površini terena i u podzemnim rudarskim radovima te interpretacijom rezultata bušenja (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). Ti su tektonski odnosi grafički prikazani na geološkoj karti (Slika 5.1) i geološkom profilu (Slika 5.2), a opis je temeljen na DRAGIČEVIĆ et al. (2015). Temeljno strukturno obilježje ležišta i njegovog neposrednog okruženja su rasjedi (Slika 6.6). 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 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

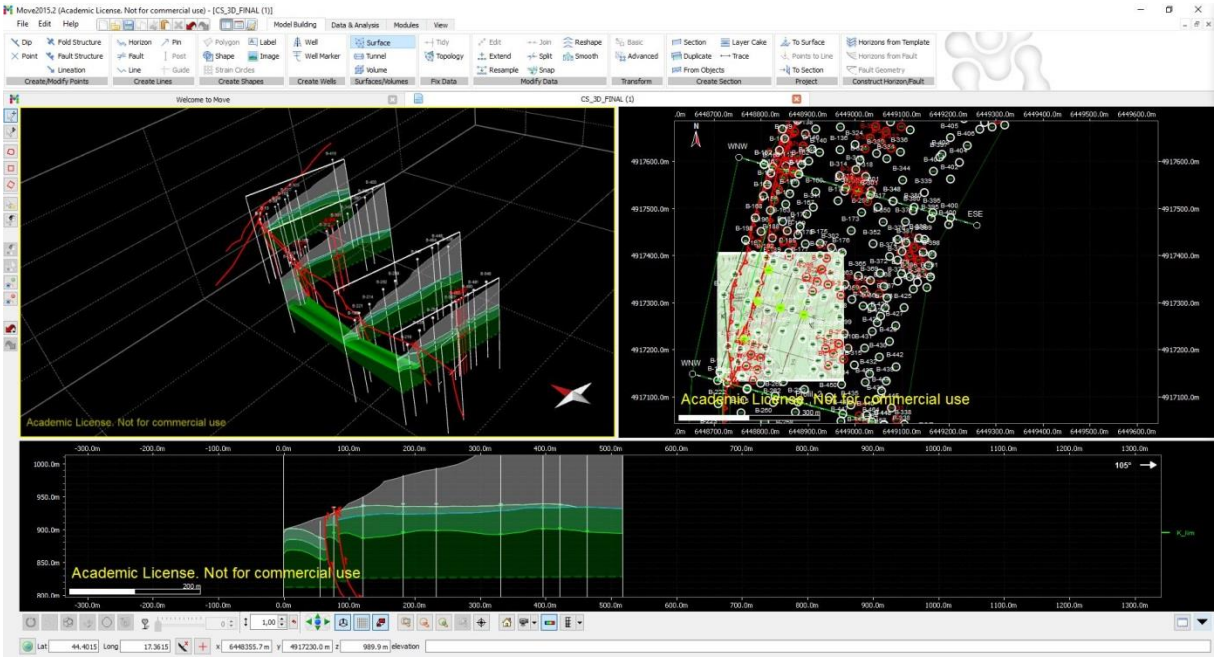
Najznačajniji rasjed na lokalitetu *Crvene stijene* je onaj najzapadniji reversni koji ujedno predstavlja zapadnu granicu ležišta i jasno razdvaja relativno mirnu strukturu *Crvenih stijena* na istoku od vrlo poremećene strukture na zapadu. Vertikalni pomaci po rasjedu iznose i preko 60 metara (DRAGIČEVIĆ et al., 2015). Pomake po rasjedima treba uzeti u obzir kod projektiranja eksploatacije. Pomaci uz manje rasjede su puno manji, ali ih također 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



Slika 6.6. Istražni zasjek na čijoj su lijevoj strani vidljive decimetarske strije (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

7. METODE ISTRAŽIVANJA I REZULTATI

Izrada 3D geološkog modela ležišta boksita na temelju brojnih ulaznih podataka koji su prikupljeni na lokalitetu *Crvene stijene* osnovni je cilj ovog istraživanja. Za njegovu izradu korišten je računalni program Midland Valley Move™ 2015 (Slika 7.1), koji je doniran RGN fakultetu od tvrtke Midland Valley.



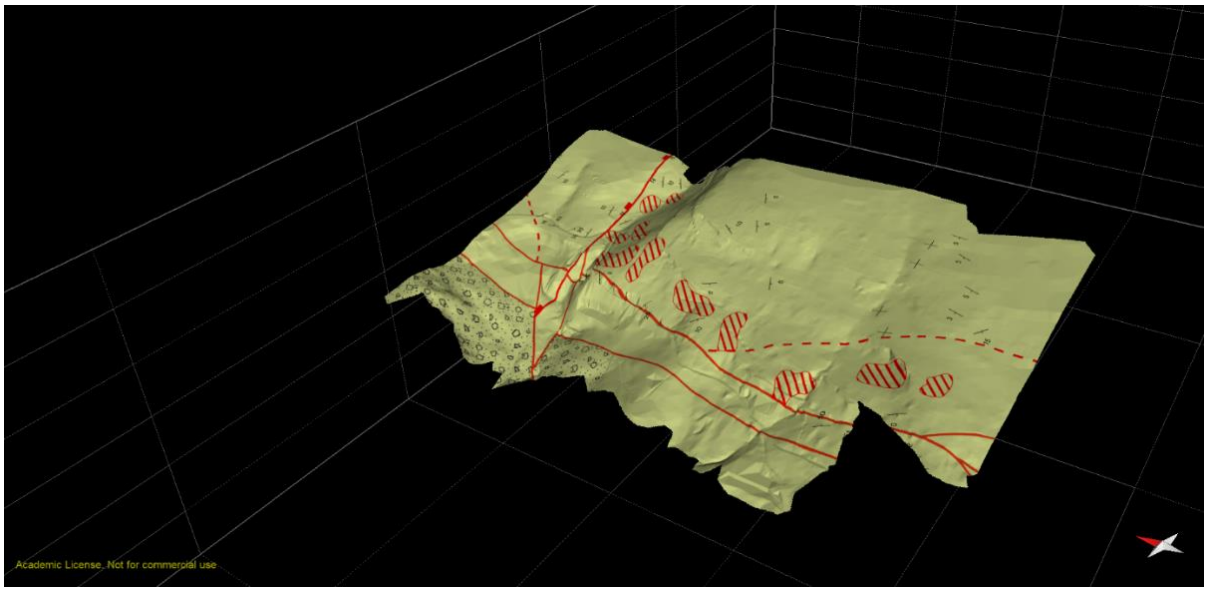
Slika 7.1. Radno okruženje u računalnom programu Move™ korištenom za izradu 3D geološkog modela (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Na samom početku izvršena je sistematizacija ulaznih podataka te njihova obrada kako bi se mogli koristiti za izradu 3D geološkog modela. Nakon toga trebalo je razraditi metodologiju izrade 3D geološkog modela ležišta boksita te 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.) (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). Na kraju su napravljeni volumeni ležišta boksita te naslaga koje se nalaze u njihovoj krovini.

7.1. Ulazni podaci

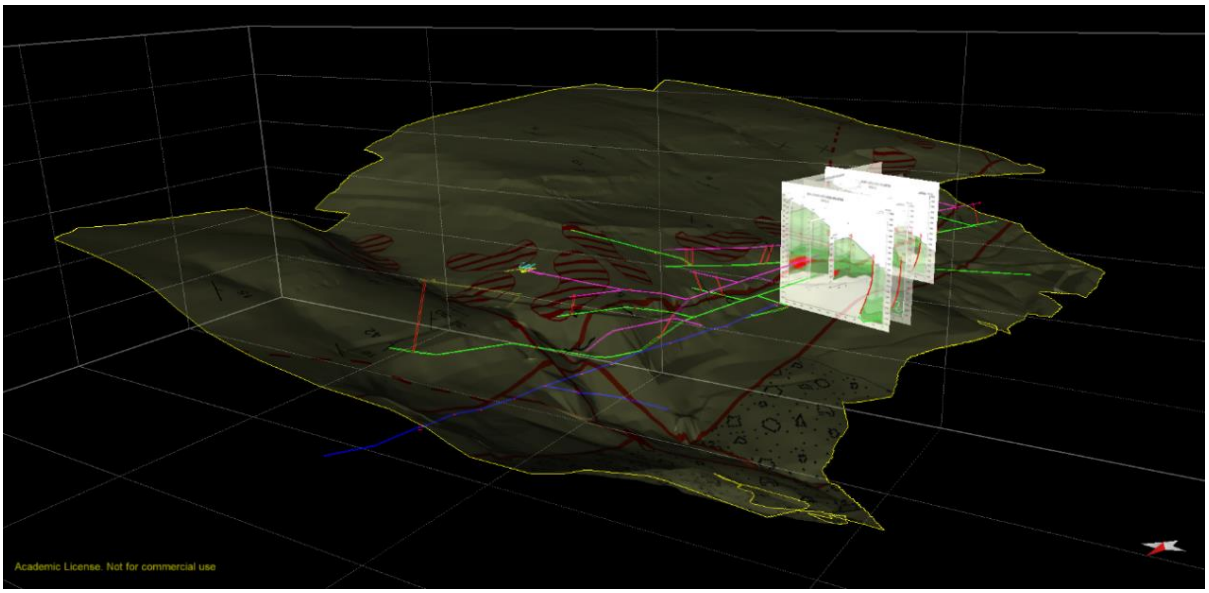
Za izradu 3D geološkog modela ležišta boksita korišteni su slijedeći podaci: digitalni model reljefa (DEM) (TOMIČEVIĆ, 2014; MIHALJEVIĆ, 2014), geološke karte šireg područja (DRAGIČEVIĆ, 1981; PAPEŠ, 1984), detaljni geološki profili ležišta (DRAGIČEVIĆ et al., 2015), 3D model podzemnih rudarskih radova (TOMIČEVIĆ, 2014; MIHALJEVIĆ, 2014) te detaljni litološki stupovi bušotina koji su 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.

DRAGIČEVIĆ (1981) i PAPEŠ (1984) autori su geoloških karata šireg područja Jajca koje su poslužile 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. Spomenute geološke karte su digitalizirane pojedinačno, a kasnije su objedinjene u kartu mjerila 1:50 000. Legenda i detaljni geološki stup koji su izrađeni u programu CorelDRAW priloženi su uz kartu. Digitalizirana i objedinjena geološka karta prikazana je na Slici 5.1. Prilikom izrade 3D modela ležišta boksita spomenuta geološka karta je preklopljena preko digitalnog modela reljefa istraživanog područja (Slika 7.2) (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



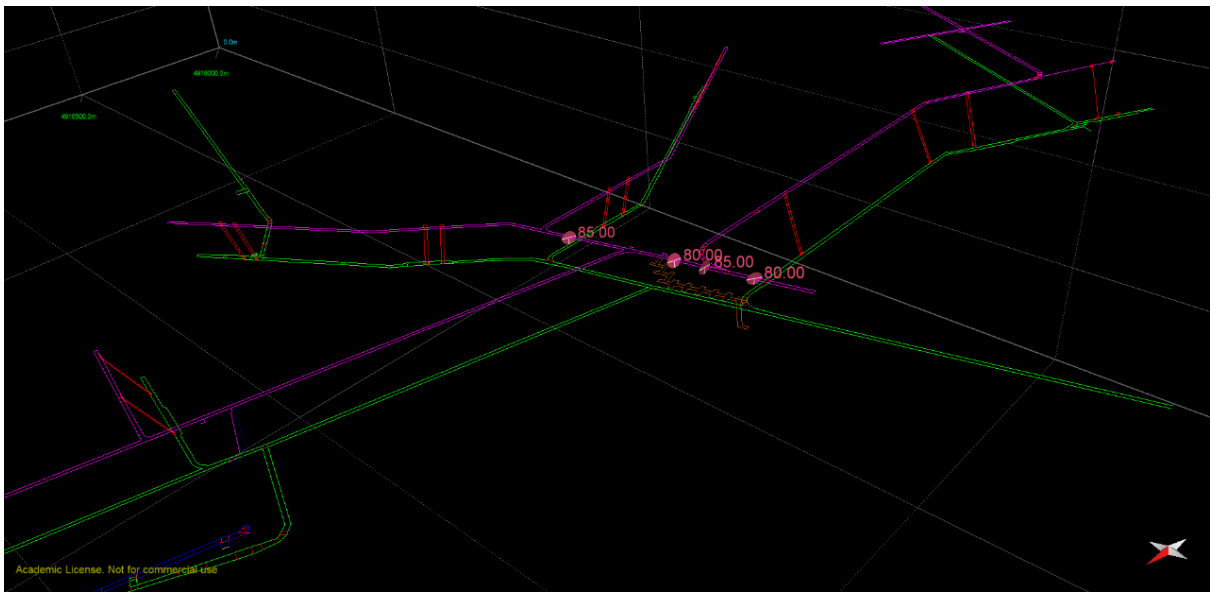
Slika 7.2. Geološka karta ležišta *Crvene stijene* preklopljena preko DEM-a istraživanog područja (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Na detaljnoj geološkoj karti mjerila 1:1000 koja je napravljena u sklopu Elaborata o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena u eksploatacijskom polju *Crvene stijene* (DRAGIČEVIĆ et al., 2015), određeno je nekoliko uzdužnih i poprečnih vertikalnih geoloških profila koji su uvelike pridonijeli razumijevanju geološke građe i tektonskog sklopa istraživanog područja. Na njima je detaljno prikazana geološka građa podzemlja. Vertikalni profili su izrađeni na temelju podataka iz bušotina koje se nalaze na trasama profila ili u njihovoj neposrednoj blizini. Profili su georeferencirani, a zatim i uneseni kao vertikalne slike u program Move™ (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slika 7.3).



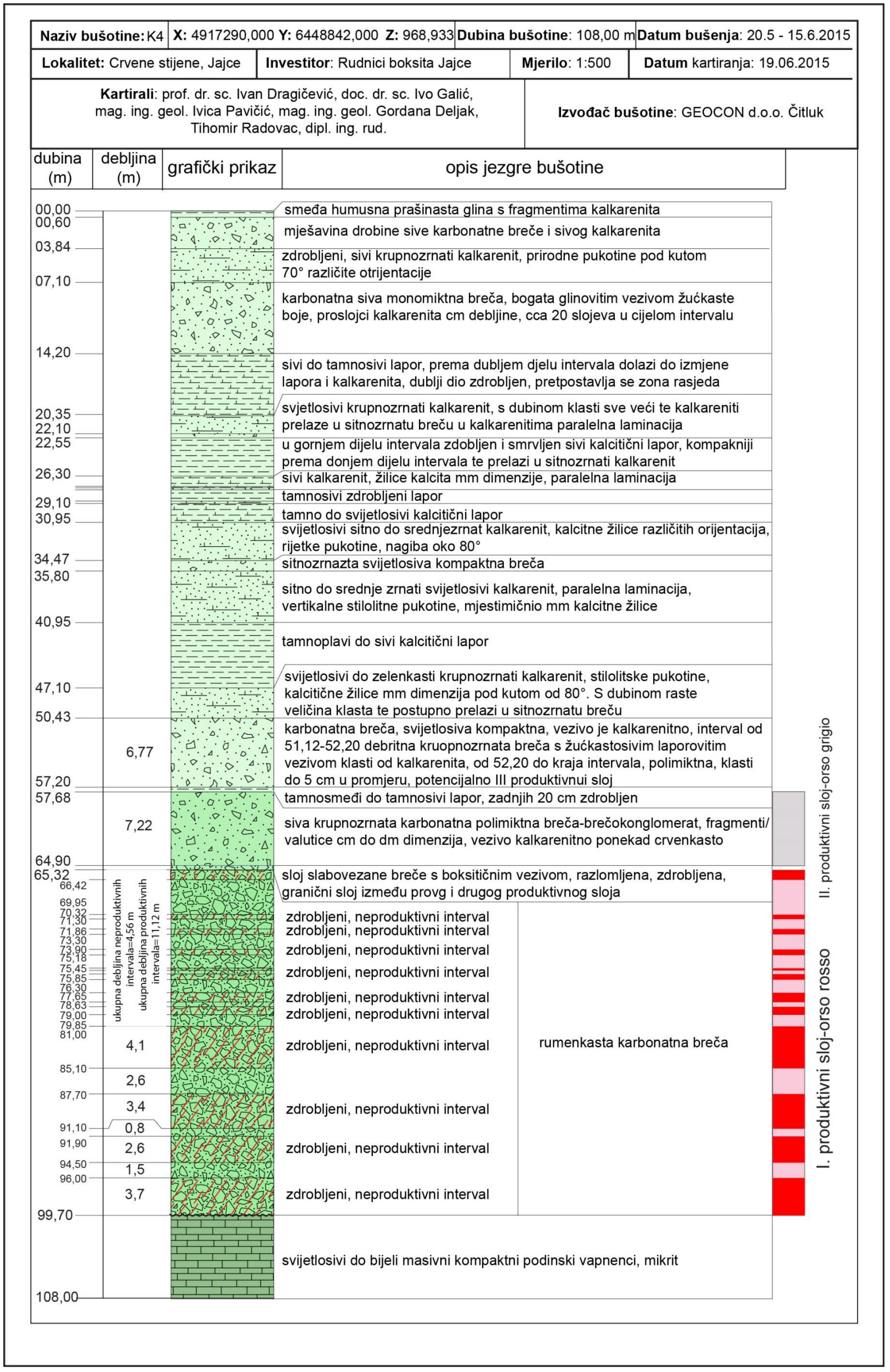
Slika 7.3. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i geološke karte preklopljene sa DEM-om (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

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



Slika 7.4. 3D prikaz podzemnih rudarskih radova i izmjerenih rasjeda u rudarskim radovima (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Izrada 3D modela ležišta u najvećoj je mjeri temeljena na bušotinskim podacima koji su dobiveni u sklopu istraživanja ležišta boksita, a u novije vrijeme i arhitektonsko-građevnog kamena. Na raspolaganju su bili podaci iz 562 bušotine. Za svaku bušotinu na lokalitetu *Crvene stijene* na raspolaganju je bio detaljan opis stupa bušotine s oznakom i koordinatom bušotine. Na temelju toga bušotine su se mogle smjestiti u prostoru te se moglo odrediti dubine krovina pojedinih litoloških jedinica (podina ležišta boksita, ležište boksita, ako je bilo prisutno na pojedinoj bušotini, te krovina ležišta boksita) (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slike 7.5 - 7.8).



Slika 7.5. Litološki stup bušotine K4 na arhitektonsko-građevni kamen (DRAGIČEVIĆ et al., 2015).

„E"
RUDNICI BOKSITA JAJCE

Radilište CRVENE STIJENE

Lokalitet CRVENE STIJENE

Početni ø 101 završni profil ø 66

BUŠOTINA 201

RAZMJER 1 : 300

Bušaća garnitura .....

Bušeno od ..... do .....

Bušeno od 0,00 do 69,00 m.

Kartirao	Bošković Dragi	Crtao	Ilijevski Dušan	Ovjerava	Perić Borislav dipl. inž
Obradio	Bošković Dragi		Dubina bušotine:	Geodetski snimio	Vidaković R.

Ukupno dobivena jezgra u %: u rudi — u jalovini 80

u rudi — u jalovini 69,00

u kavernama — ukupno 69,00

Kordinate bušotine: y 6 448 786, 25; x 4 917 214, 20

Nadmorska visina: 948,44

Relativna visina	Apsolutna visina	Debljina sloja	Dužina jezgra	Procenat jezgra	GEOLOŠKI OPIS	HEMIJSKA ANALIZA proba
6,00		6,00	4,80	80	Pepeljastosivi lapori s uloš-kom sitnozrnatih i krupnozrnatih breča od 4-5m	
9,00		3,00	2,40	80	Sivi kalkareniti	
12,00		3,00	2,40	80	Sivi vapneni lapori	
18,00		6,00	4,80	80	Sivi i smeđi kalkareniti	
24,00		6,00	4,80	80	Sivi glineni lapori	
25,50		1,50	1,20	80	Smeđi kalkareniti	
29,00		3,50	2,80	80	Krupnozrnate vapnene breče	
30,00		1,00	0,80	80	Sivi lapori – (uložak)	
51,00		21,00	16,80	80	Krupnozrnate vapnene breče s vapneno laporovitim vezivom	
60,00	BSB 14	9,00	7,20	80	Brečoliki vapnenci	
					Crvenkasti podinski vapnenci	

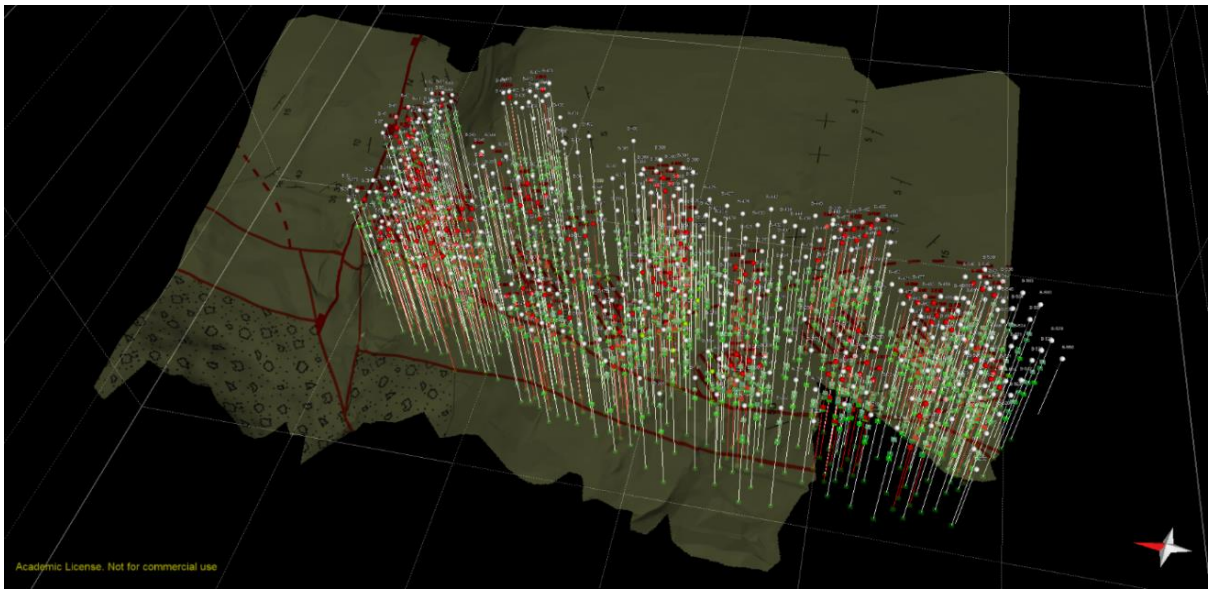
Geološka uprava Sarajevo DOOR Rudnici boksita JAJCE

Slika 7.6. Litološki stup bušotine na boksit B-201 (FOND STRUČNE DOKUMENTACIJE TVRTKE RB JAJCE).

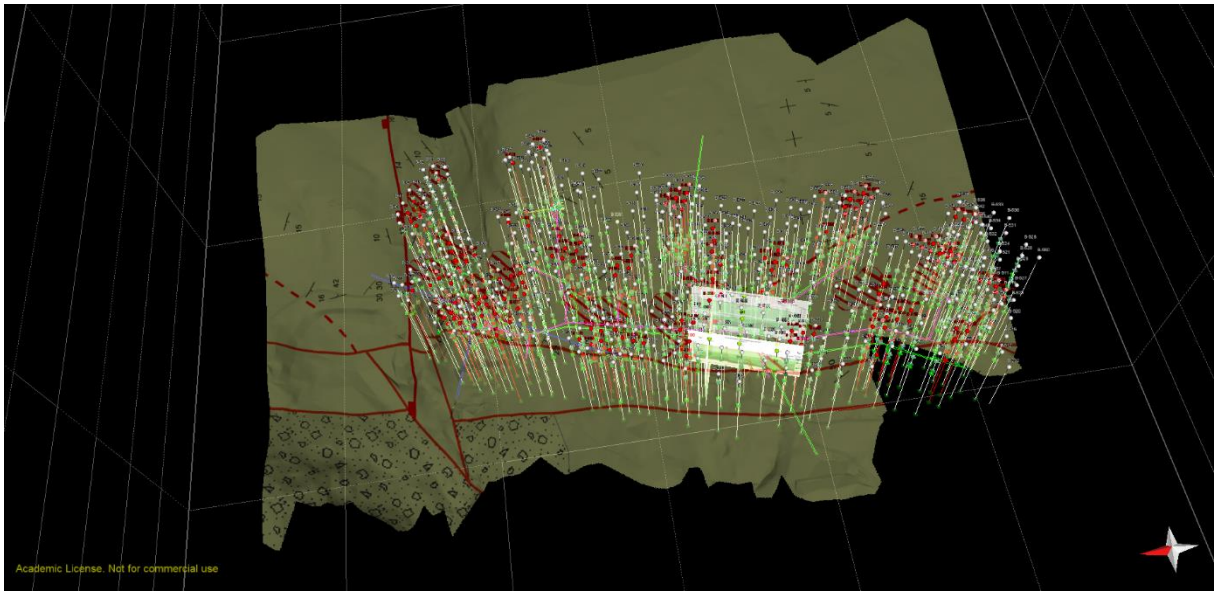
Baza bušotinskih podataka pripremljena je na taj način da su zapisane vrijednosti koordinata bušotina i vrijednosti o dubini krovine pojedine litološke jedinice u Excel tablice (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Tablica 7.1).

Tablica 7.1. Priprema ulaznih podataka – koordinate i dubine bušotina (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Naziv bušotine	X	Y	Z (m)	Dubina (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



Slika 7.7. Položaj 562 bušotine na lokalitetu *Crvene stijene*. Crvenom bojom su označene bušotine koje su nabušile boksit, a zelenom bojom su označeni markeri pojedinih horizonata (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



Slika 7.8. Svi ulazni podaci koji su korišteni za izradu 3D modela (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

7.2. 3D geološko modeliranje

Razvoj 3D računalne grafike, koja koristi 3D prikaz geometrijskih podataka pohranjenih u računalu, omogućio je i intenzivan razvoj 3D geološkog modeliranja, primarno u okviru rudarsko-geoloških istraživanja. 3D geološko modeliranje je relativno mlada poddisciplina geologije koja integrira strukturnu geologiju, sedimentologiju, stratigrafiju, regionalnu geologiju te druge srodne discipline (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Računalni 3D prikaz dijelova Zemljine kore na temelju geoloških, geofizičkih i bušotinskih podataka prikupljenih iznad i/ili ispod Zemljine površine može se opisati kao 3D geološki model. 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. Spomenuti programi omogućuju 3D modeliranje pomoću setova geoloških podataka te istraživanje i vizualizaciju različitih tipova prostornih podataka (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Geološke jedinice su kod 3D modela međusobno povezane 3D triangulacijskim površinama ili mrežama (engl. *gridded surfaces*) čime se dobiva potpuno zatvorena geološka jedinica (engl. *volume*). Njihove prednosti se očituju u mogućnosti da se pojedinim dijelovima modela (engl. *cells*) pripisuju određena svojstva koja su od značaja za istraživanje i eksploataciju mineralnih sirovina, poput litologije, poroznosti, gustoće, geomehaničkih svojstava i dr. (FALLARA et al., 2006). Sukladno tome, integracijom podataka u 3D dobije se potpuniji, realniji model koji se dalje može koristiti u različite svrhe (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016):

- 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 distribucije različitih litoloških tipova u podzemlju, sedimentološke analize, proučavanje taložnih okoliša koji su uvjetovali nastanak pojedinih litotipova – kao primjer mogu se istaknuti 3D litofacijesni modeli Rotliegend pješčenjaka u sjeveroistočnom dijelu Njemačkog bazena (MOECK et al., 2005);

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

Velika je prednost 3D geoloških modela da se 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 kojim prethodno navedenim situacijama (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

7.3. Opis postupaka izrade 3D modela ležišta

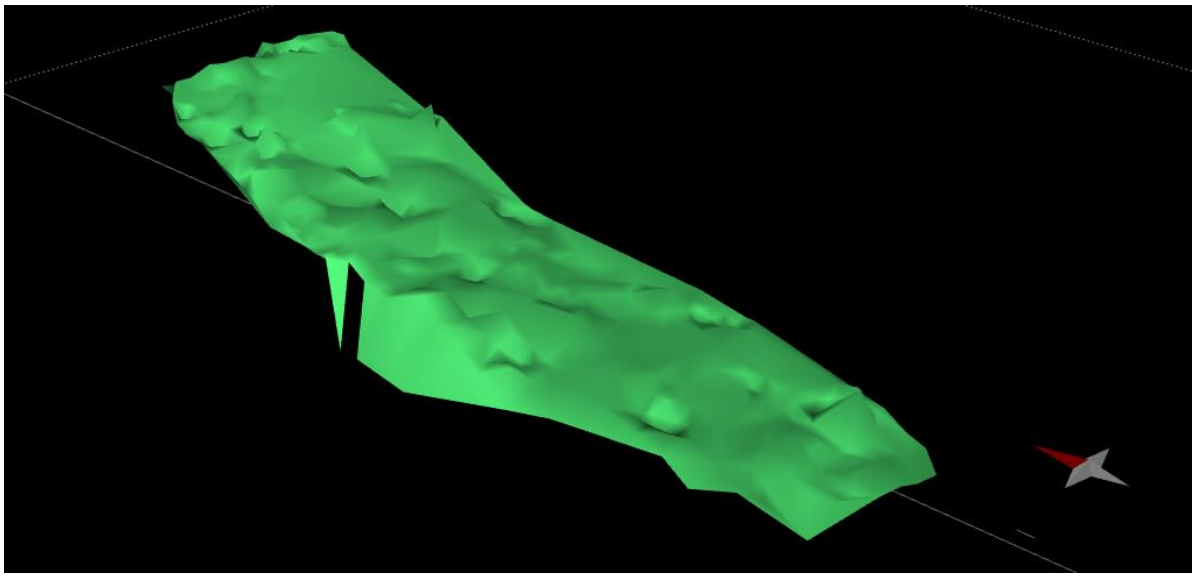
Za izradu 3D geološkog modela na području *Crvenih stijena* korišten je računalni program Midland Valley Move™ 2015. Taj program pruža niz mogućnosti, u prvom redu istraživanje, analizu, uređivanje i modificiranje geoloških podataka smještenih u prostornom koordinatnom sustavu. Osim toga, moguć je unos digitalnog modela reljefa (DEM) i bušotinskih podataka (engl. *well data*), povezivanje bušotinskih podataka te na temelju njih izradu ploha (engl. *surfaces*) određenih horizonata (engl. *horizons*), te na kraju i izrada 3D geološkog modela ležišta. Zahvaljujući velikom broju ulaznih podataka, posebno bušotinskih,

omogućena je izrada detaljnog 3D geološkog modela u sklopu ovog istraživanja. On je izrađen nizom radnji od kojih je prva bila unos i uređivanje bušotinskih podataka. Uslijedio je unos digitalnog modela reljefa (DEM) i geološke karte istražnog područja *Crvene* stijene. Uneseni su i podzemni rudarski radovi te strukturna mjerenja u podzemnim rudarskim radovima. Nakon toga su izrađeni 3D modeli ploha (ploha paleoreljefa ležišta boksita, plohe ležišta boksita te plohe krovinskih naslaga ležišta boksita). Nakon ploha, izrađeni su 3D modeli volumena boksita te 3D modeli volumena krovine ležišta boksita. Interpretacija rasjeda na temelju 3D geološkog modela i geoloških profila bio je posljednji korak pri izradi 3D geološkog modela ležišta *Crvene stijene* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

7.4. Izrada plohe paleoreljefa ležišta boksita

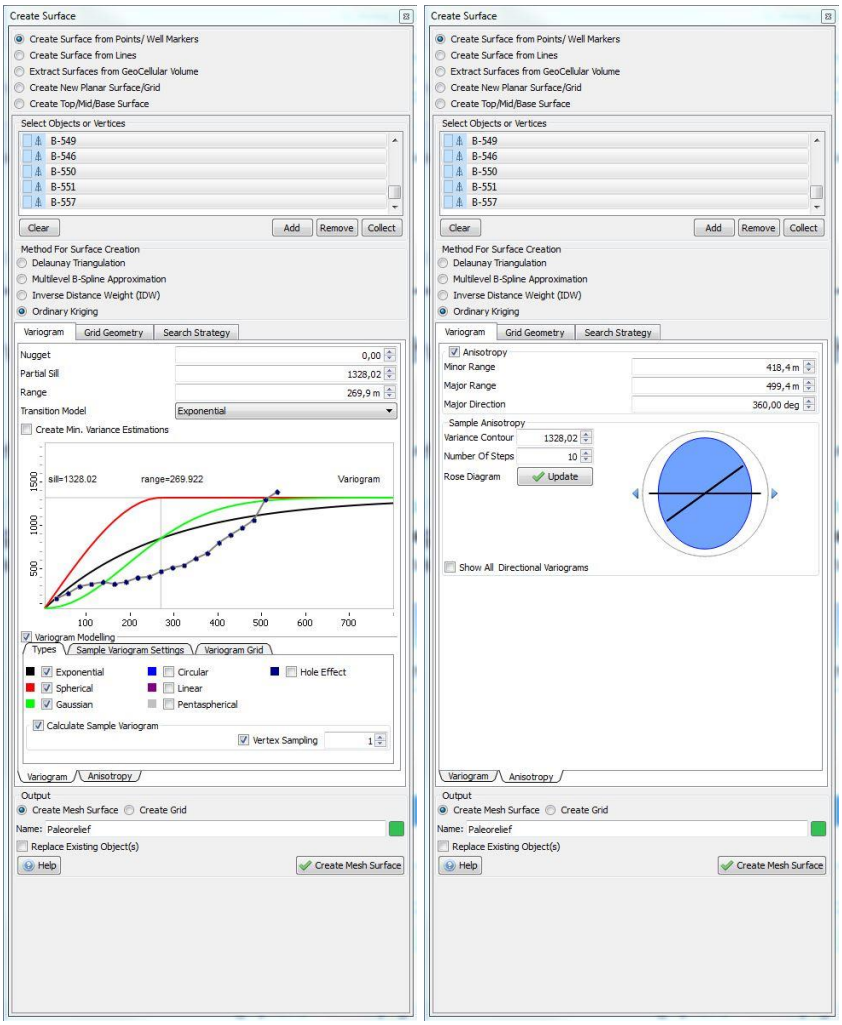
Plitkovodni vapnenci, starosti alb-cenoman, predstavljaju stratigrafski najstariju geološku jedinicu u 3D modelu te se nalaze u diskordantnom odnosu sa stratigrafski mlađim boksitima i karbonatnim klastitima koji na njih naliježu. Stoga je ploha paleoreljefa, odnosno krovinska ploha ovih vapnenaca inicijalna površina koja je napravljena u sklopu izrade 3D modela ležišta (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slike 7.9, 7.10 i 7.11).

Na stupovima bušotina koji su bili na raspolaganju očitani su podaci o dubini paleoreljefa te su preneseni 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, spomenuta ploha nije bila konačna zbog nekoliko odstupanja na pojedinim bušotinama, koja su se očitovala 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) (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slika 7.10).

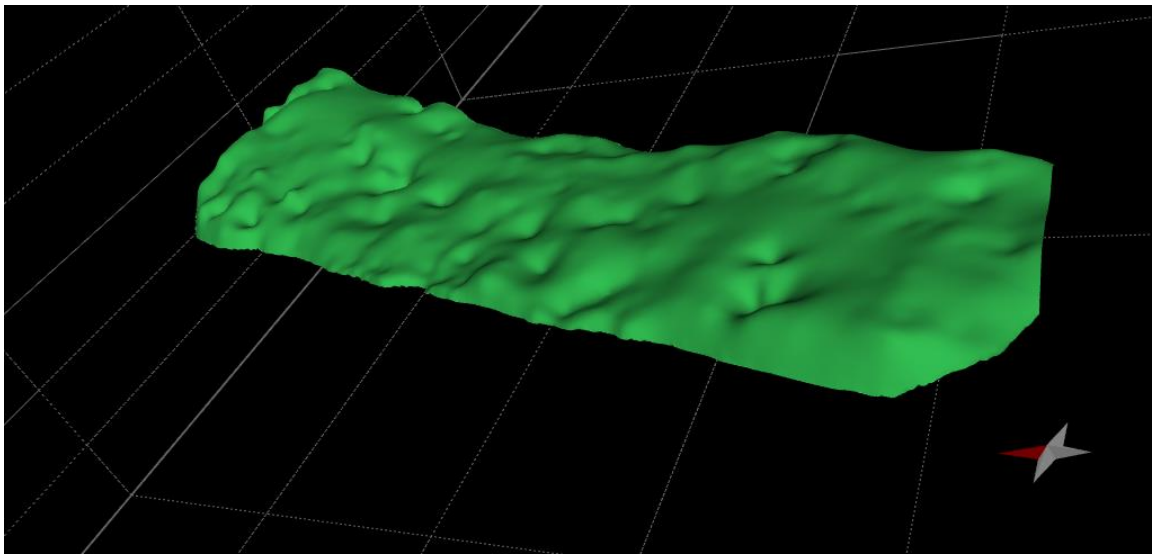


Slika 7.9. Primarno dobivena ploha paleoreljefa (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Nakon reinterpretacije dubina dobivena je konačna ploha paleoreljefa (Slika 7.11). Ona sadrži mali broj udubljenja, od kojih je većina ispunjena boksitima (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slika 7.14).

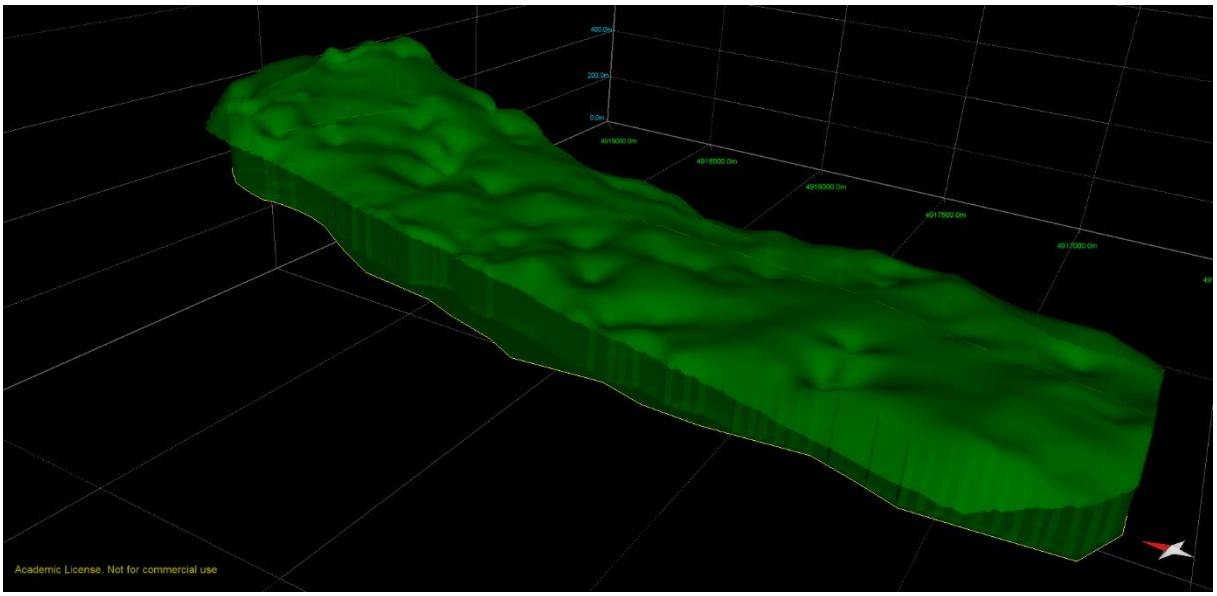


Slika 7.10. Parametri interpolacije plohe paleoreljefa algoritmom *Ordinary Kriging* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



Slika 7.11. Ploha paleoreljefa nakon reinterpretacije (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Ispod plohe paleoreljefa napravljena je „imaginarna“ ploha na koti 827 m (Slika 7.12). Ona je izrađena kako ploha paleoreljefa ne bi predstavljala stratigrafski najdublju plohu 3D modela ležišta te kako bi se mogao modelirati volumen podinskih vapnenaca (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slika 7.12).



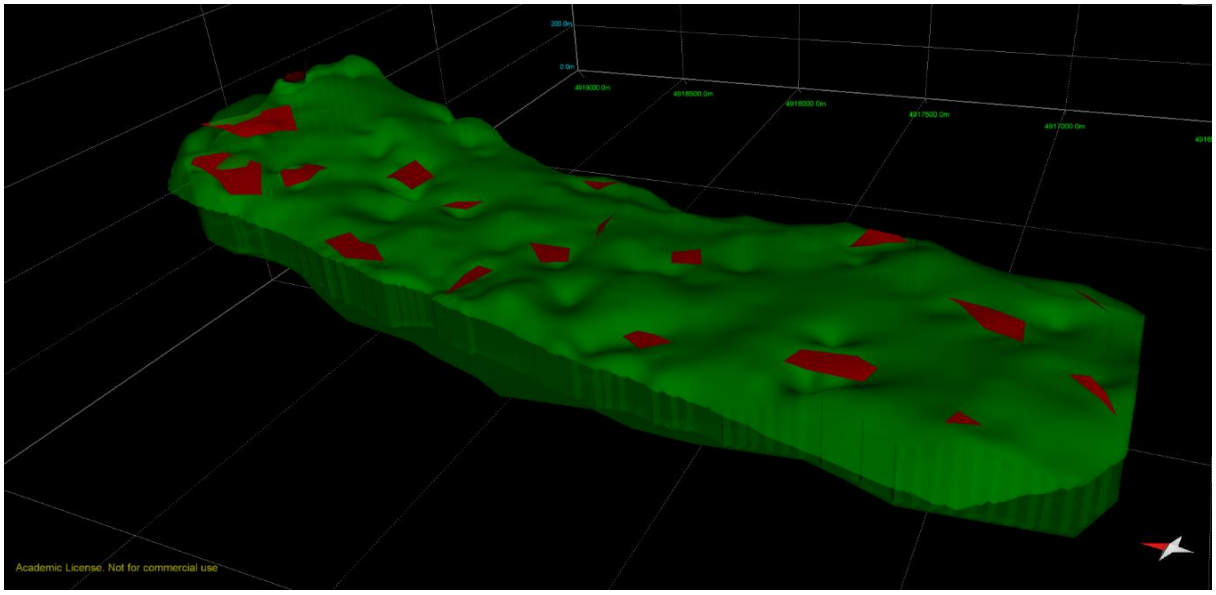
Slika 7.12. Ploha paleoreljefa i model podinskih vapnenaca (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

7.5. Izrada modela ležišta boksita

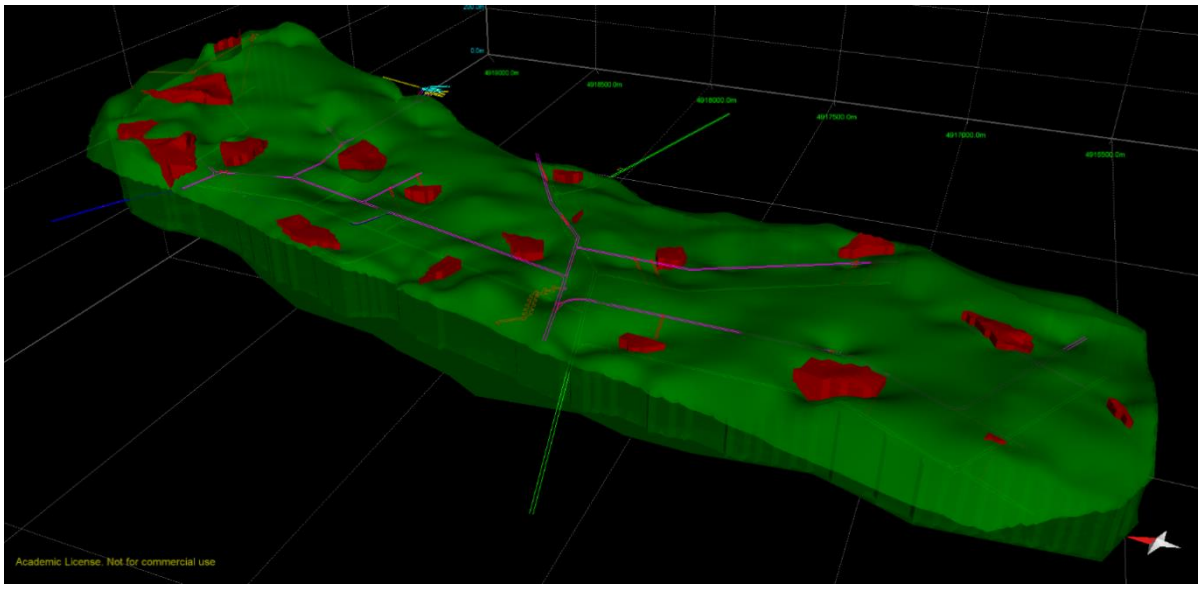
Za izradu 3D modela ležišta boksita korišteni su detaljni opisi jezgara istražnih bušotina za lokalitet *Crvene stijene*. Bušotine su prvenstveno napravljene za istraživanje ležišta boksita, a nedavno i u svrhu istraživanja arhitektonsko-građevnog kamena. Budući da su bušotine imale prvenstvenu namjenu za istraživanje ležišta boksita, detaljno su određene dubine krovine pojedinih ležišta te je bila omogućena izrada preciznih 3D modela ležišta boksita (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016) (Slika 7.14).

Podaci o dubinama krovine ležišta boksita za one bušotine koje su nabušile boksit zapisani su u Excel tablicu, kao i prilikom izrade plohe paleoreljefa. 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* koja je 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



Slika 7.13. Krovinske plohe ležišta boksita (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

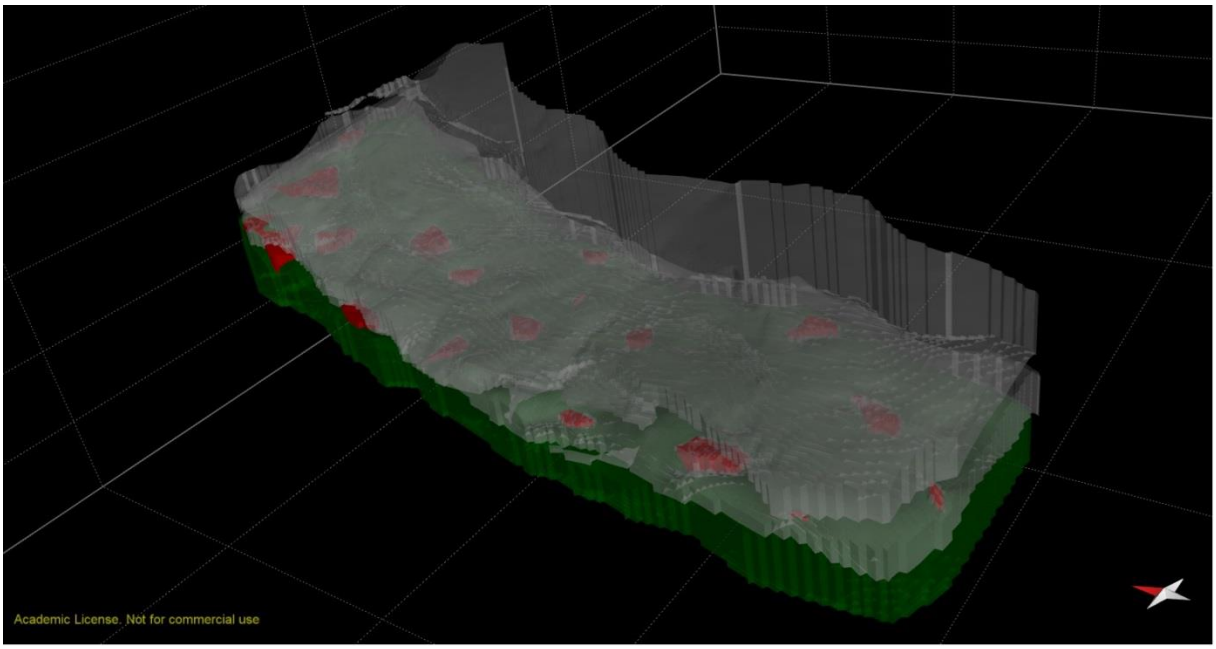


Slika 7.14. Dobiveni 3D modeli boksitnih tijela koja ispunjavaju udubljenja u paleoreljefu (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

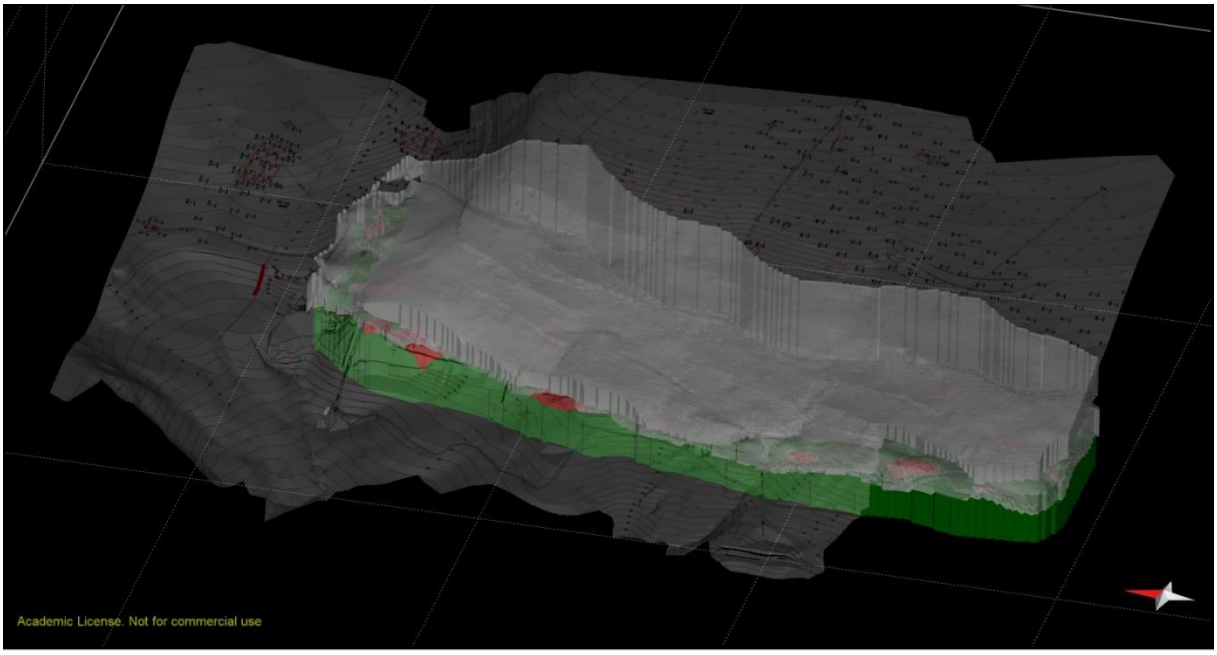
7.6. Izrada 3D modela krovinskih naslaga ležišta boksita

Karbonatne breče koje predstavljaju arhitektonsko-građevni kamen čine neposrednu krovinu ležišta 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 sitnijezrnate 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016). Načinjena je i ploha koja predstavlja površinu terena, pa volumen koji obuhvaća krovinske naslage ležišta boksita predstavlja jalovinu i prikazan je sivom bojom na Slikama 7.15 i 7.16.

U svrhu izrade ovog rada, čiji je cilj prikaz geometrije i volumena ležišta boksita, naslage koje se nalaze u krovini boksita promatrane su kao jalovina te se nije detaljnije ulazilo u njihovu interpretaciju i preciznu izradu 3D modela tih krovinskih ploha, već su one objedinjene u jedinstveni volumen i na taj način prikazane (Slike 7.15 i 7.16).



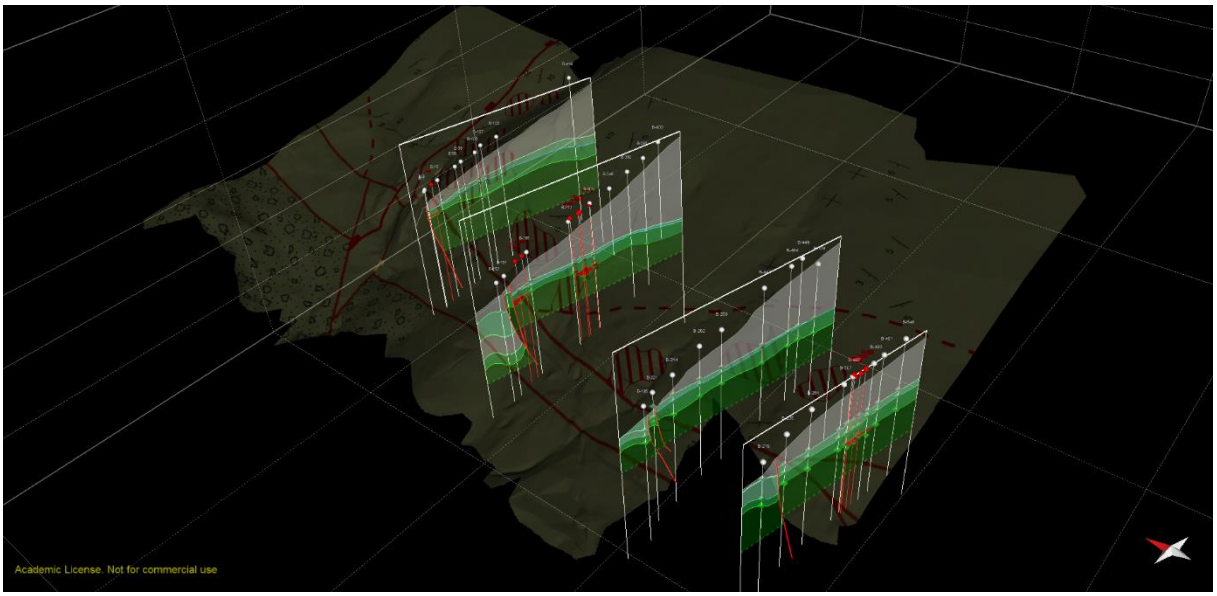
Slika 7.15. Dobiveni volumen naslaga u krovini ležišta boksita.



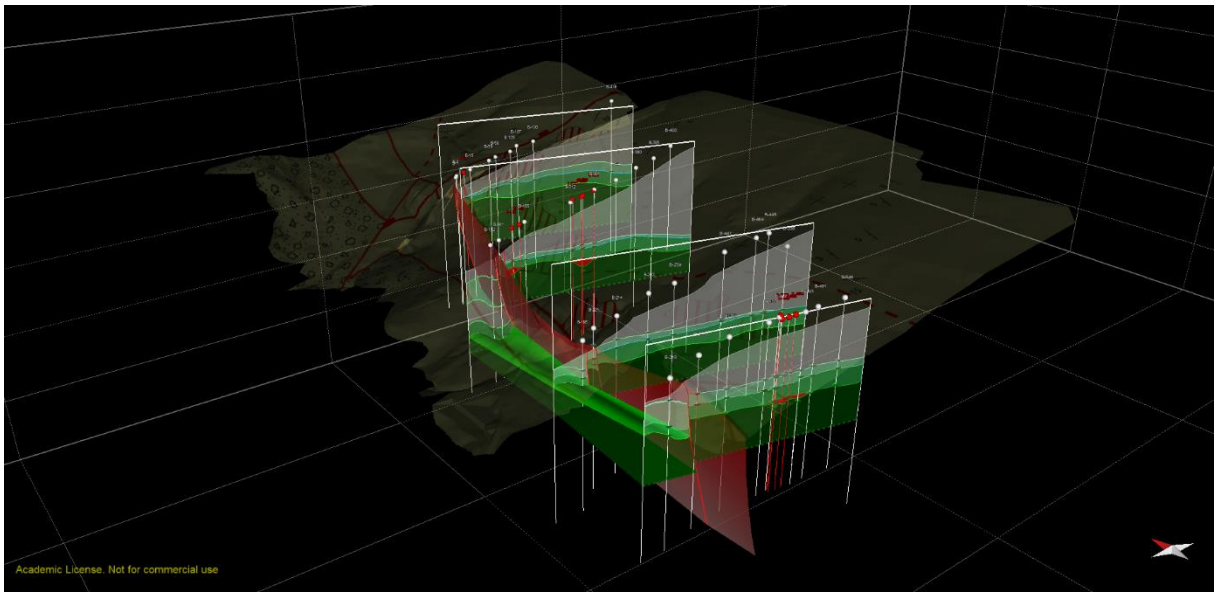
Slika 7.16. Volumen krovinskih naslaga ležišta boksita prikazan zajedno s digitalnim modelom reljefa.

7.7. Konačni 3D geološki model ležišta

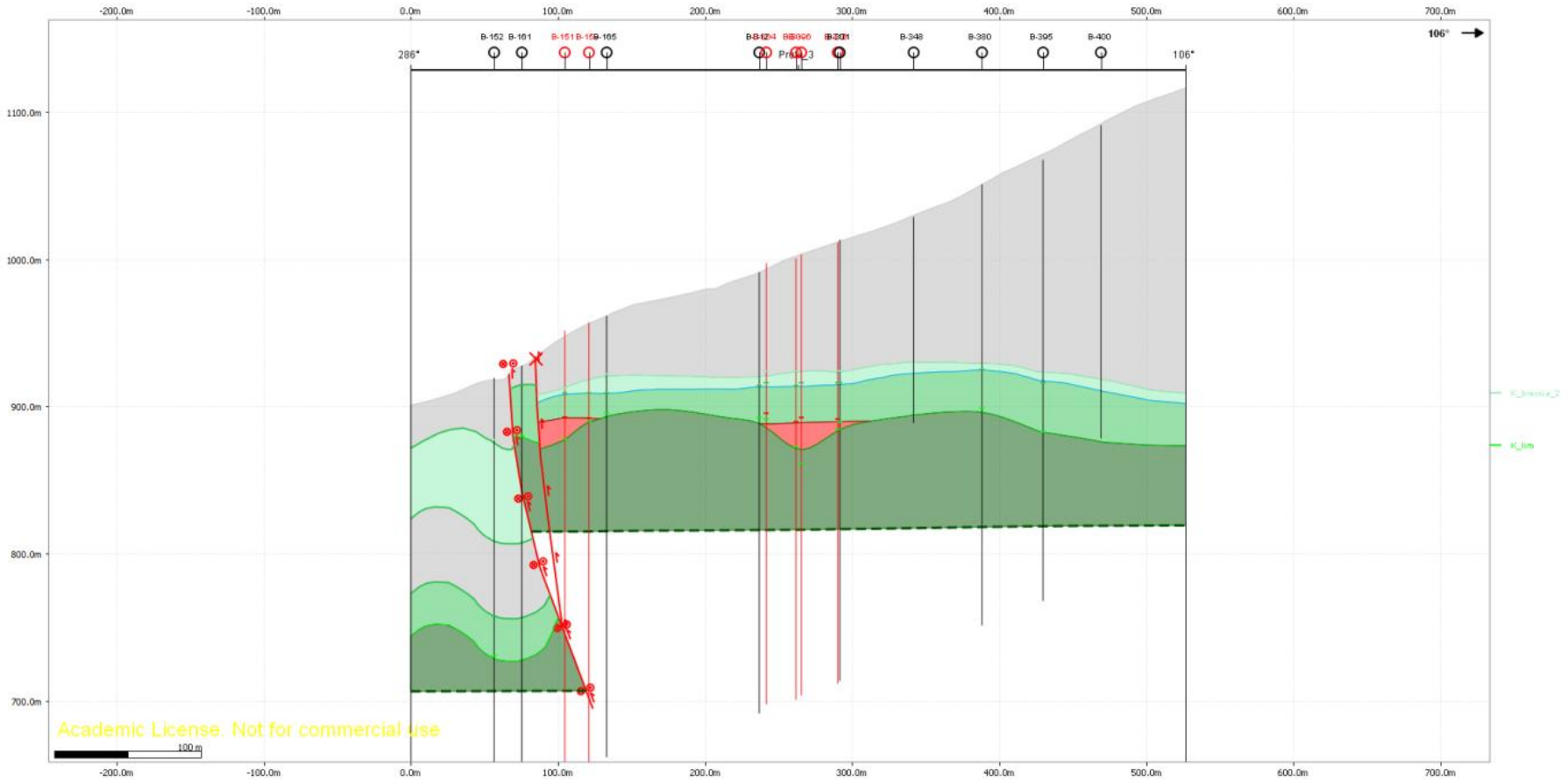
Konačni 3D geološki model ležišta *Crvene stijene* sastoji se od modela podine ležišta boksita, plohe paleoreljefa, modela ležišta boksita i modela krovinskih naslaga ležišta boksita koje predstavljaju jalovinu (Slika 7.20). Na temelju geološke karte na Slici 5.1, zapadnu granicu eksploatacijskog polja čini rasjed pružanja sjeveroistok-jugozapad. Kako bi definirali rasjed, bilo je potrebno na mjestima gdje postoje bušotine s istočne strane rasjeda (izvan ležišta) načiniti poprečne geološke profile kako bi se odredila trasa rasjeda (Slike 7.17, 7.18 i 7.19). Za preciznu interpretaciju karaktera pomaka rasjeda i određivanje iznosa pomaka trebalo bi izvršiti detaljno kartiranje terena istočno od rasjeda te dobivene podatke uključiti u model. Prema trenutnim podacima smatra se da je rasjed reversnog karaktera pomaka uz desni pomak po pružanju (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



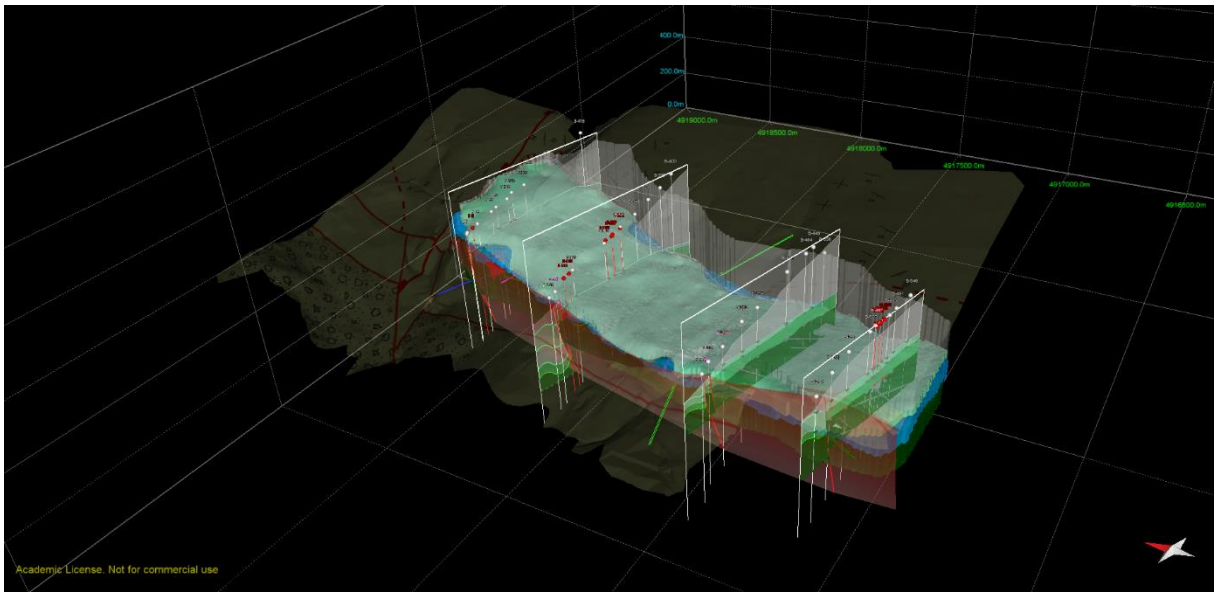
Slika 7.17. Poprečni geološki profili ležišta *Crvene stijene* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



Slika 7.18. Rasjed koji predstavlja zapadnu granicu eksploatacijskog polja (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).



Slika 7.19. Poprečni geološki profil 3 eksploatacijskog polja *Crvene stijene*.



Slika 7.20. Konačni 3D model eksploatacijskog polja *Crvene stijene* (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Konačni 3D geološki model je, osim za definiranje geometrije ležišta boksita u 3D, poslužio i za izračun rezervi pojedinog ležišta boksita te krovine ležišta boksita koja predstavlja jalovinu (Tablica 7.2).

Tablica 7.2. Volumeni ležišta boksita te krovinskih naslaga ležišta boksita.

Ležište	**Volumen (m^3)**	**Volumen (km^3)**
Krovina ležišta boksita	54 775 850	0,054776
Boksiti	341 016	0,00034

8. DISKUSIJA

Osmišljavanje metodologije i izrada 3D geološkog modela eksploatacijskog polja *Crvene stijene* na temelju velikog broja raznovrsnih podataka bili su osnovni zadaci ovog istraživanja. Ulazni podaci obuhvaćaju detaljnu topografsku podlogu s nanesenim konturama ležišta boksita u podzemlju, litološke stupove preko 500 bušotina na boksit te 5 novih bušotina na arhitektonsko-građevni kamen, digitalni model reljefa, detaljnu geološku podlogu te podatke kartiranja podzemnih rudarskih prostorija. Bilo je potrebno osmisliti metodologiju kojom bi se svi ulazni podaci objedinili te kako bi mogli na temelju tih podataka izraditi 3D geološki model ležišta. Za izradu 3D geološkog modela korišten je geološki računalni program Midland Valley Move^{TM} ustupljen RGN fakultetu od tvrtke Midland Valley (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Mnogobrojni ulazni podaci su prilagođeni i uneseni u program. Na temelju ulaznih podataka izrađeni su: volumen podinskih vapnenaca, ploha paleoreljefa, volumeni ležišta boksita te plohe i volumeni krovinskih naslaga koje predstavljaju jalovinu. Interpretacija je uglavnom temeljena na podacima dobivenih iz bušotina te popravljena novije prikupljenim podacima uglavnom iz DRAGIČEVIĆ et al. (2015). Za izradu ploha najbolje se pokazao *Ordinary Kriging* te su s njim dobivene najmanje anomalije koje su bile vezane za interpolaciju točkastih podataka (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Zbog pojave određenih anomalija koje nisu odgovarale realnoj geološkoj situaciji u istraživanom prostoru prilikom izrade 3D geološkog modela ležišta boksita načinjena je reinterpretacija ploha. Sve anomalije očitovale su se u preplitko ili 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 ležišta boksita prilikom bušenja. Breče koje se nalaze u neposrednoj krovini plohe paleoreljefa na mjestima gdje boksit nije prisutan mjestimično su izgrađene od klasta podinskih vapnenaca metarskih dimenzija, stoga je pri interpretaciji jezgre bilo teško odrediti točnu granicu vapnenaca i breča pa je granica ponekad određena preplitko (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Prilikom izrade volumena ležišta boksita također su se pojavile određene poteškoće. 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

Izrađeni 3D geološki model jasno prikazuje geometriju pojedinih ležišta, usprkos navedenim poteškoćama pri modeliranju 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 (IVANINIĆ & IVKIĆ, 2016).

9. ZAKLJUČAK

Dugogodišnja istraživanja i eksploatacija boksita te istraživanja arhitektonsko-građevnog kamena u zadnjih nekoliko godina kao rezultat su dali brojne geološke podatke 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 arhitektonsko-građevni kamen, detaljne topografske podloge, digitalni model reljefa i podzemne rudarske radove u 3D, detaljne geološke karte istraživanog područja, detaljne geološke profile ležišta arhitektonsko-građevnog kamena te mjerenja strukturnih elemenata iz podzemnih rudarskih radova.

Dobiveni 3D geološki model ležišta boksita na prostoru *Crvenih stijena* omogućio je detaljniji uvid u geometriju ležišta te predstavlja podlogu za daljnje istraživačke radove. Određen je optimalni algoritam interpolacije ploha paleoreljefa i ploha krovine ležišta boksita, *Ordinary Kriging*.

Ustanovljeno je da dobiveni 3D geološki model reprezentativno prikazuje stvarnu geološku situaciju u podzemlju te da se u budućnosti treba nadopunjavati novim strukturnim podacima iz podzemnih rudarskih radova i zasjeka. Nadalje, obilni ulazni podaci omogućuju u daljnjim fazama istraživanja detaljnije modele kojima bi se prikazala ležišta bokista. 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.

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

10. LITERATURA

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): 3D 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 Aqufers; 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.

IVANINIĆ, D. & IVKIĆ, I. (2016): 3D geološki model ležišta boksita i arhitektonsko-građevnog kamena „Crvene stijene“. Rad za rektorovu nagradu. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 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 1:100 000, 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. & DELJAK, 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.

Web izvori:

GOOGLE EARTH: URL: https://www.google.com/earth

MAPS OF WORLD: URL: http://www.mapsofworld.com (28.05.2016.)

WIKIPEDIA: Jajce. URL: https://hr.wikipedia.org/wiki/Jajce (22.02.2016.)