

# Izrada geoloških profila i 3D prikaza središnjeg dijela Velebita pomoću aplikacije Move

---

Žrvnar, Vjeran

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*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:169:824960>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**IZRADA GEOLOŠKIH PROFILA I 3D PRIKAZA SREDIŠNJEG DIJELA  
VELEBITA POMOĆU APLIKACIJE MOVE**

Diplomski rad

Vjeran Žrvnar  
GI 123

Zagreb, 2015.

IZRADA GEOLOŠKIH PROFILA I 3D PRIKAZA SREDIŠNJEG DIJELA VELEBITA  
POMOĆU APLIKACIJE MOVE

VJERAN ŽRVNAR

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Tema ovog diplomskog rada bila je izrada geoloških profila, njihovo učitavanje u program Move i digitalizacija, usporedba s profilima s Osnovne geološke karte lista Gospić, te 3D prikaz podzemlja na području središnjeg dijela Velebita. Početne informacije i podloga za rad preuzete su s Osnovne geološke karte lista Gospić. Prvi korak rada bio je odabir i izrada pet geoloških profila. Nakon toga karta je učitana u program Move, digitalizirane su joj geološke značajke, digitalizirani su prethodno napravljeni profili te su ispravljene uočene pogreške. Na temelju pet digitaliziranih profila, kreiranjem rasjednih ploha i ploha granica kronostratigrafskih jedinica dobiven je 3D model podzemlja pomoću opcije *Surface*. Za provjeru modela, njegovim presijecanjem napravljena su još četiri dijagonalna te tri uzdužna profila. Na kraju su opisane prednosti rada na 3D modelu u odnosu na klasični rad na geološkim profilima te su digitalizirani profili uspoređeni s profilima na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100.000 lista Gospić.

Ključne riječi: Midland Valley Move, geološki profil, 3D prikaz, središnji dio Velebita

Diplomski rad sadrži: 44 stranice, 32 slike i 8 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski.

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

Voditelj: prof. dr. sc. Igor Vlahović, RGNF

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Igor Vlahović, RGNF  
prof. dr. sc. Bruno Tomljenović, RGNF  
doc. dr. sc. Dario Perković, RGNF

Datum obrane: 20. svibanj 2015.

CONSTRUCTION OF CROSS-SECTIONS AND 3D MODEL OF THE CENTRAL PART  
OF THE VELEBIT MOUNTAIN USING THE APPLICATION MOVE

VJERAN ŽRVNAR

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

The topic of this thesis was handmade geological profiles, their upload in a program Move and digitalization, comparison with geological profiles from Basic Geological Map Sheet Gospić and their 3D display of underground of central part of Velebit area. Initial information and a basis for the work are taken from the Basic Geological Map Sheet Gospić. The first step of the study was the selection and preparation of five geological profiles. After that, map was uploaded into the program Move, her geological features were then digitized, previously made profiles have also been digitized and any errors have been corrected on digitized profiles. Based on five digitized profiles, creating fault surfaces and surface boundaries of chronostratigraphic units, using the option *Surface*, 3D model of the underground was created. To verify the model, it was cut by the four diagonal and three longitudinal profiles. In the end, thesis outlines the benefits of working on a 3D model as compared to manual work on geological profiles and the comparison between the profiles taken from General Geological Map and digitized profile.

Keywords: Midland Valley Move, cross-section, 3D model, central part of the Velebit mountain

Thesis contains: 44 pages, 32 figures and 8 references.

Original language: Croatian

Thesis deposited in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
University of Zagreb, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Professor Igor Vlahović, PhD

Reviewers: Professor Igor Vlahović, PhD  
Professor Bruno Tomljenović, PhD  
Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defense: May 20, 2015

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	2
2. GEOLOŠKA GRAĐA SREDIŠNJEG DIJELA VELEBITA .....	4
2.1. Pregled kronostratigrafskih jedinica središnjeg dijela Velebita .....	4
2.1.1. Karbon (C).....	4
2.1.2. Perm (P).....	4
2.1.3. Donji trijas (T <sub>1</sub> ) .....	6
2.1.4. Srednji trijas (T <sub>2</sub> ).....	7
2.1.5. Gornji trijas (T <sub>3</sub> ) .....	8
2.1.6. Donja jura (J <sub>1</sub> ) .....	9
2.1.7. Srednja jura (J <sub>2</sub> ).....	9
2.1.8. Gornja jura (J <sub>3</sub> ) .....	10
2.1.9. Donja kreda (K <sub>1</sub> ) .....	10
2.1.10. Gornja kreda (K <sub>2</sub> ) .....	10
2.1.11. Paleogen (E,O <sub>1</sub> ) .....	11
2.1.12. Kvartar (pr,al).....	11
2.2. Tektonska građa središnjeg dijela Velebita.....	11
3. METODE RADA .....	14
3.1. Midland Valley Move- softver za strukturno modeliranje i analizu.....	14
3.1.1. Izrada trodimenzionalnog modela .....	16
3.1.2. Izrada geoloških profila presijecanjem 3D modela.....	17
4. IZRADA GEOLOŠKIH PROFILA I 3D PRIKAZA SREDIŠNJEG DIJELA VELEBITA.....	18
4.1. Priprema karte za rad u programu Move .....	18
4.2. Digitalizacija karte.....	20
4.3. Učitavanje ručno izrađenih poprečnih profila 1–5 te njihova digitalizacija.....	21
4.3.1. Profil 1–1' .....	23
4.3.2. Profil 2–2' .....	24
4.3.3. Profil 3–3' .....	25
4.3.4. Profil 4–4' .....	26
4.3.5. Profil 5–5' .....	27
4.4. Izrada 3D modela geološke građe podzemlja.....	29
4.5. Izrada uzdužnih i dijagonalnih profila korištenjem 3D modela podzemlja središnjeg dijela Velebita. ....	32

4.5.1.	Dijagonalni profili .....	32
4.5.1.2.	Profil 6–6' .....	33
4.5.1.2.	Profil 7–7' .....	34
4.5.1.3.	Profil 8–8' .....	35
4.5.1.4.	Profil 9–9' .....	36
4.5.2.	Uzdužni profili .....	37
4.5.2.1.	Profil 10–10' .....	38
4.5.2.2.	Profil 11–11' .....	39
4.5.2.3.	Profil 12–12' .....	40
5.	RASPRAVA .....	41
6.	ZAKLJUČAK .....	43
7.	LITERATURA .....	44

## Popis slika

Slika 3-1 2D prikaz geoloških profila na karti .....	15
Slika 3-2 Digitalizirani geološki profil.....	15
Slika 3-3 3D model geološke građe podzemlja.....	16
Slika 3-4 Koraci izrade 3D modela geološke građe podzemlja. ....	16
Slika 3-5 Neke od metoda izrade geološkog profila presijecanjem 3D modela. ....	17
Slika 4-1 Položaj područja istraživanja– OGK lista Gospić (SOKAČ et al., 1974) .....	18
Slika 4-2 Digitalni model visine u 3D view modu.....	19
Slika 4-3 Osnovna geološka karta istraživanog područja prevučena preko digitalnog modela visine.....	19
Slika 4-4 Digitalizacija geoloških značajki Osnovne geološke karte lista Gospić.....	20
Slika 4-5 Poprečni profili na području središnjeg dijela Velebita iscrtani na karti funkcijom <i>Trace</i> .....	21
Slika 4-6 Ručno izrađen Profil 1–1' na području središnjeg dijela Velebita.....	22
Slika 4-7 Ručno izrađeni profili integrirani u digitalne profile u obliku slika.....	22
Slika 4-8 Digitalizirani Profil 1–1' na području središnjeg dijela Velebita.....	23
Slika 4-9 Digitalizirani Profil 2–2' na području središnjeg dijela Velebita.....	24
Slika 4-10 Digitalizirani Profil 3–3' na području središnjeg dijela Velebita.....	26
Slika 4-11 Digitalizirani Profil 4–4' na području središnjeg dijela Velebita.....	27
Slika 4-12 Digitalizirani Profil 5–5' na području središnjeg dijela Velebita.....	28
Slika 4-13 Rasjedne plohe generirane funkcijom <i>Surface</i> .....	29
Slika 4-14 Granične površine jedinica generirane na jugozapadnom dijelu istraživanog područja .....	30
Slika 4-15 Granične površine jedinica generirane na jugozapadnom i središnjem dijelu istraživanog područja. ....	30
Slika 4-16 Nastavak generiranja graničnih površina jedinica prema sjevernijim dijelovima geoloških profila.....	31
Slika 4-17 Završetak generiranja graničnih površina jedinica .....	31
Slika 4-18 3D model podzemlja središnjeg dijela Velebita .....	32
Slika 4-19 Dijagonalni profili na području središnjeg dijela Velebita.....	33
Slika 4-20 Generirani dijagonalni Profil 6–6' u području središnjeg dijela Velebita.....	34
Slika 4-21 Generirani dijagonalni Profil 7–7' u području središnjeg dijela Velebita.....	35
Slika 4-22 Generirani dijagonalni Profil 8–8' u području središnjeg dijela Velebita.....	36

Slika 4-23 Generirani dijagonalni Profil 9–9' u području središnjeg dijela Velebita.....	37
Slika 4-24 Uzdužni profili na području središnjeg dijela Velebita .....	38
Slika 4-25 Generirani uzdužni Profil 10–10' na području središnjeg dijela Velebita .....	39
Slika 4-26 Generirani uzdužni Profil 11–11' na području središnjeg dijela Velebita .....	40
Slika 4-27 Generirani uzdužni Profil 12–12' na području središnjeg dijela Velebita .....	41



## 1. UVOD

Geološki profili su najčešći način prikaza geoloških struktura u podzemlju prilikom njihove interpretacije, a predstavljaju dvodimenzionalni prikaz podzemlja kao glavni izvor informacija o tektonici i stratigrafskim odnosima nekog područja. Međutim, izrada geoloških profila može biti dugotrajan i mukotrpan posao, a strukture na profilu mogu biti nepotpuno ili netočno prikazane zbog loše odabrane trase profila ili kompleksnosti struktura. Osnovna značajka geološkog profila je da se trodimenzionalne strukture prikazuju na dvodimenzionalnoj površini. Ako profil nije postavljen poprečno na geološke strukture može se dobiti iskrivljena slika strukture a krivo postavljen profil može mimoći ključne strukture u podzemlju. Sliku podzemlja teško je vizualizirati čak i ako se interpretiraju dobro postavljeni geološki profili. Razvojem računalnih programa danas je moguće geološke strukture prikazati virtualno u trodimenzionalnom okružju, a programski paket Move kompanije Midland Valley jedan je od programa koji nudi takvu mogućnost. To je jedan od najkvalitetnijih računalnih programa za strukturno modeliranje i analizu, koji nudi mogućnosti izrade geoloških profila, 3D geoloških modela, kinematičko modeliranje, modeliranje sloma, analizu stresa, te sedimentološko modeliranje.

U sklopu ovog rada su u programskom paketu Move korištene opcije za izradu geoloških profila, te trodimenzionalni prikaz geoloških struktura. Izrada profila i 3D modela temeljena je na informacijama dobivenim s pet ručno izrađenih poprečnih profila te profila prikazanih na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ, lista Gospić (SOKAČ et al., 1976). Pet poprečnih profila učitano je u program, digitalizirani su, te su na temelju njih pomoću funkcije *Surface* trodimenzionalno generirane rasjedne plohe i površine geoloških granica. Na temelju tih rezultata dobiven je 3D model geoloških struktura te su pomoću njega generirana četiri dijagonalna te tri uzdužna profila. Na kraju su digitalizirani geološki profili uspoređeni s profilima s Osnovne geološke karte lista Gospić.

## 1.1 Pregled dosadašnjih istraživanja

Podaci o prvim geološkim istraživanjima na području središnjeg dijela Velebita, koji su navedeni u uvom poglavlju, preuzeti su iz tumača Osnovne geološke karte SFRJ lista Gospić (SOKAČ et al., 1976).

Prva istraživanja koja se odnose na područje lista Gospić obavili su austrijski geolozi (F. Foetterle, F. Stoliezka, G. Stache, R. Schubert i dr.) početkom druge polovice 19. stoljeća prilikom izrade geološke karte Austro-Ugarske Monarhije. Ti podaci služili su F. Haueru (1868.) da izradi preglednu geološku kartu na kojoj su izdvojeni stratigrafski članovi: karbon, trijas (donji, srednji i gornji), kreda i eocen. F. Foetterle (1862., 1863.) je prvi spomenuo vulkanske stijene u području Donjeg Pazarišta. 1889. godine G. Stache je detaljnije podijelio eocen na svojoj geološkoj karti, a detaljniji prikaz geologije opisan je u radovima R. Schuberta (1907., 1908., 1909.). 1909. godine F. Koch je opisao rasjed Gračac–Medak–Gospić uz kojeg je istočno krilo antiklinale usjelo i dovelo u dodir različite stratigrafske članove. R. Schubert i L. Waagen su 1913. godine izradili geološku kartu otoka Paga.

Na geološkoj karti Medak–Sv. Rok s pripadajućim tumačem koji prikazuje jugoistočni dio lista Gospić izdvojeni su sljedeći članovi: u karbonu kao niži član crni vapnenci i vapnenački škriljavci, kao viši neošvagerinski dolomiti; u permu dolomiti; u trijasu se razlikuju donjotrijaski škriljavci, mušalk, klimenta vapnenci i hauptdolomiti; u juri litiotis slojevi s flekenkalkom i kladokoropsis vapnenci; u kredi breče i vapnenci, dolomiti u bazi rudistnih vapnenaca i rudistni vapnenci. Tercijar obuhvaća razvoj foraminiferskih vapnenaca, fliša, prominskih naslaga i neogena. U tumaču i karti Karlobag–Jablanac (1929.), paleozoik je označen kao karbon, jedan njegov dio definiran kao perm, te je prikazana detaljna podjela trijasa. Temeljna podjela paleozoika Velebita i Like iznesena je u izvještajima M. Salopeka (1937., 1938., 1939., 1940., 1941.). Na temelju velikog broja flore i faune te litoloških karakteristika naslaga detaljno je podijelio karbon, perm i donji trijas. Karbon je zastupljen auerniškim slojevima, perm je raščlanjen na vapnenačke naslage ratendorfa, klastične naslage i vapnenačko–dolomitne naslage, trijas je podijelio na granične dolomite, donjovefenske i gornjovefenske dolomite. Simić je 1936. godine opisao tektonsko podvlačenje Velebita. Mikrofaunu paleozoika obradila je V. Kochansky–Devide i tako objasnila detaljnu podjelu karbona i perma. Tektoniku Velebita proučavali su K. Petković (1958.) i B. Sikošek & S. Uccellini (1960.) koji su zaključili da Velebit pripada navlaci Zone visokog krša. M. Malez (1960.) je proširio listu fosilnih nalaza na području Tatinje Drage te je 1967. godine dao

sistematski i stratigrafski položaj u odnosu na ostala donjopleistocenska nalazišta u Dinaridima.

Bahun (1963) je opisao paleogenske naslage vapnenačkih breča u okolici brda Jelar kod Kosinja, te su sve te naslage koje se nalaze na području između Pazarišta, Perušića i Otočca prozване jelarskim naslagama. Bahun 1974. s obzirom na molasni karakter jelarskih naslaga, način njihova postanka i vrijeme, breče usko povezuje uz orogenetske pokrete tijekom kojih su strukture formirane u dvije faze. U kontinentalnom dijelu nastali su manji bazeni Jelar naslaga a na jugozapadnoj strani Velebita prostraniji bazeni Promina naslaga. Herak & Bahun (1979) su objavili rad u kojem navode da su breče paleogenske starosti te da se ne nalaze samo u kontaktu s prominskim naslagama već i s naslagama fliša pa su definirali dva tipa breča, šarene prominske breče i prominske breče s ulomcima iste starosti i veličine koje leže transgresivno na starijim naslagama. Tari-Kovačić & Mrinjek (1994) su definirali postanak i taloženje jelarskih breča, te su za njihov sastav utvrdili da pomaže u tumačenju struktura. Raznolikost klasta u jelarskim brečama uzrokovan je erozijom strmih padina koje su nastale tektonskim izdizanjem različitih naslaga. Vlahović et al. (2012) su opisali breče kao erozijske ostatke puno većeg izdanka a nazivaju ih Velebitske breče. Ustvrdili su da postoji više generacija breča, dvije, mjestimice čak i tri, koje ukazuju na njihovu polifaznu prirodu te da su bile izložene brzom i snažnoj tektonici na što ukazuje velika količina karbonatnog materijala koji je mehanički dezintegriran. Breče su opisali kao masivne, bez vidljivih sedimentnih struktura, sivog, žućkastog do crvenkastog matriksa i zrsne potpore. Starost Velebitskih breča je definirana na temelju najmlađih klasta sadržanih u njima. Maksimalna kompresija i izdizanje Dinarida zabilježeno je od srednjeg do mlađeg eocena te su ti događaji uzrokovali značajne tektonske deformacije koje su važne za formiranje breča. Prema tome Velebitske breče su prema Vlahović et al. (2012) mlađe od srednjeg eocena i starije od ranog miocena.

Novija istraživanja pokazuju da su izdanci Velebitskih breča u različitim strukturnim položajima, te ih treba detaljno proučavati kako bi im se što točnije utvrdilo podrijetlo.

## **2. GEOLOŠKA GRAĐA SREDIŠNJEG DIJELA VELEBITA**

Geološka građa istraživačkog područja Velebita opisana je na temelju podataka pretežito iz tumača Osnovne geološke karte SFRJ lista Gospić (SOKAČ et al., 1976).

### **2.1. Pregled kronostratigrafskih jedinica središnjeg dijela Velebita**

Na istraživanome području utvrđeno je dvanaest stratigrafskih jedinica u rasponu od karbona do kvartara. Prevladavaju vapnenci, dolomiti, dolomitizirani vapnenci, pješčenjaci, tufovi, breče i konglomerati.

#### **2.1.1. Karbon (C)**

Najstarije naslage na promatranom području pripadaju gornjem karbonu (SOKAČ et al., 1976). Sastoje se od pješčenjaka i glinenih škriljavaca, vapnenaca i kvarcnih konglomerata. Vapnenačkih naslaga na promatranom području ima malo, a pojavljuju se kao leće i proslojci unutar klastične terigene serije. Najčešći litološki članovi karbonske asocijacije sedimenata su glineni škriljavci i pješčenjaci, a klasificirani su kao kvarcgrauvake ili litoidne grauvake. Sadrže brojne mikrofosile poput *Velebitella simplex*, *Schubertella* sp., *Triticites pseudosimplex*, *Anthracoporella spectabilis*, *Archeolithophyllum* sp. i mnoge druge. Kvarcni konglomerati pojavljuju se kao tanje leće, a sadrže rezistentni detritus u kojem dominira kvarc. Vapnenci sadrže brojne fosilne ostatke (brahiopode, školjkaše, krinoide) te su slabo očuvani. Biogenog su porijekla, uz mjestimičnu dolomitizaciju. Karbonske naslage najviše su zastupljene na središnjem dijelu promatranog područja, i to na području Gušte, Rizvanuše, Trnovca, Brezika i Orlje. Pružanje im je sjeverozapad–jugoistok, a pretežito su u kontaktu s naslagama permske starosti te kvartarnim naslagama. Debljina jedinice nije utvrđena jer nisu nigdje zastupljene u cijelosti.

#### **2.1.2. Perm (P)**

Naslage permske starosti nalaze se na više lokaliteta uzduž sjevernog podnožja Velebita (SOKAČ et al., 1976), a sadrže klastične i karbonatne stijene. Donji perm karakteriziraju

vapnenci u kojima je zabilježena fosilna zajednica tipična za tzv. ratendorfske naslage. Srednji perm karakteriziraju srednjozrnaste i krupnozrnaste klastične naslage. Gornji perm karakteriziraju dolomiti s lećama fosilifernih vapnenaca u kojima prevladavaju karbonatne naslage. Vapnenci donjeg perma zastupljeni su u području južno od Divosela, a litološki su skoro identični vapnencima karbonske starosti. Razlikuju se po fosilnim ostacima, jer sadrže brahiopode i krinoide, te sljedeće vrste algi: *Anthracoporella spectabilis*, *Emipastopora likana*, *Zellia galathea* i *Schubertella kingi*.

Kao rezultat brze erozije novonastalog reljefa u srednjem permu su taloženi krupnozrnasti i srednjozrnasti klastični sedimenti. Sadrže karakter molase a akumulirani su u morskim depresijama. Prevladavaju piritični pješčenjaci, pješčenjaci gredenskog tipa te rjeđe kvarcni kglomerati. Najstariji član su sivozelena pješčenjaci klasificirani kao grauwake, koji se nalaze uz karbonske naslage na području jugoistočno od Crnog Vrha i Brušana. Po sastavu i strukturi slični su pješčenjacima gredenskog tipa a karakterizira ih zelena boja. Pješčenjake gredenskog tipa obilježava crvena boja te su oni najrasprostranjeniji. Nalaze se na tri lokaliteta: okolini Rizvanuše i Divosela, području jugoistočno od Počitelja te području od Brušana do Baških Oštarija. Ti su pješčenjaci srednjozrnaste do krupnozrnaste, mikrobrečaste grauwake, a sadrže dvovalentno željezo koje im daje crvenu boju. Kvarcni konglomerati nalaze se na području Crnog Vrha i Brušana, u obliku malih leća i litološki su slični karbonskim kvarcnim konglomeratima. Uz kvarcne konglomerate nalaze se još i petromiktni konglomerati koji su još poznati i pod nazivom Košna-naslage a zastupljeni su na lokalitetima Košna vrelo i u okolici Rizvanuše.

Gornjem permu pripadaju naslage vapnenaca i dolomita s lećama fosilifernih vapnenaca u području Baških Oštarija te su podijeljene u tri zone. Prva zona sadrži sljedeće mikrofosile: *Velebitella triplicata*, *Mizzia velebitana*, *Vermiporella serbica* i *Permocalculus tenellus*. U drugoj zoni, u nižem dijelu prevladavaju gastropodi i ostrakodi dok su u središnjem dijelu najčešće alge (među kojima su najznačajnije *Anthracoporella spectabilis*, *Vermiporella serbica*, *Mizzia velebitana*, *Permocalculus tenellus*) i mikroforaminifere. Fosilni sadržaj treće zone vrlo je sličan drugoj zoni uz dodatak fosila: *Vermiporella nipponica*, *Parmocalculus fragilis* i *Reichelina cribroseptata*. Vapnenci prve zone su crni, bioklastični, izgrađeni od fosilnog detritusa. Vapnenci druge zone vrlo su slični vapnencima prve zone a razlika je u većoj zbijenosti fosilnog detritusa. Vapnenci treće zone slični su kao i vapnenci druge zone, a karakterizira ih višestruka izmjena deblje i tanje slojevitih crnih biokalkarenita. Dolomiti se nalaze u području Baških Oštarija i Brušana, tamnosive su boje a poznati su i kao micijski ili

točkasti dolomiti. Karakteriziraju ih bogate fosilne zajednice, prije svega ostaci koralja, brahiopoda i školjkaša. Od mikrofosila sadrže vrste: *Mizzia velebitana*, *M. yabei*, *M. cornuta* i *Velebitella triplicata*. Uz micijske ili točkaste dolomite nalaze se još glinoviti dolomiti, koji su siromašni fosilima, te neošvagerinski dolomiti koji su gromadasti, te sadrže rijetke uloške tamnih i slojevitih dolomita. Iako su genetski slični micijskim dolomitima sadrže znatno rjeđe fosilne ostatke. Najviši dio gornjeg perma izgrađuju svijetlosivi dobroslojeviti dolomiti, nepravilne građe, s rijetkim fosilnim ostacima, dobre slojevitosti i visokog stupnja dolomitiziranosti koji postupno prelaze u dolomite donjeg trijasa.

Ukupna debljina permskih naslaga na promatranom području je oko 1200 m.

### **2.1.3. Donji trijas (T<sub>1</sub>)**

Naslage donjeg trijasa nalaze se na području Velike Paklenice, Brušana, Baških Oštarija, te na sjeveroistočnim padinama Velebita. Na temelju fosilnih ostataka i litoloških osobina izdvojena se tri superponirajuća člana: dolomiti i klastiti unutar sajskih naslaga te dolomiti koji predstavljaju ekvivalent kampilskih naslaga (SOKAČ et al., 1976).

Dolomiti su najniži član u donjem trijasu a kontinuirano slijede na permskim dolomitima. Nalaze se u Velikoj Paklenici, u uskoj zoni u području Baških Oštarija te na najjužnoistočnijim padinama Velebita. Od permskih dolomita razlikuju se po debljini slojeva, drugačijoj boji te pojavi terigenih primjesa. Karakterizira ih sitnokristalinična mozaična struktura. Sadrže proslojke u kojima se nalaze fosilni ostaci školjkaša *Anodontophora fassaensis*. Debljina im je oko 80–100 m.

Slijed donjeg trijasa nastavlja se razvojem tinjčastih pješčenjaka i škriljavih tinjčastih silita sajskog tipa. Prevladavaju na lokalitetu Velika Paklenica, zapadno od Trnovca te zapadno od Ličkog Čitluka. U ovim naslagama nalaze se fosili školjkaša *Anodontophora fassaensis* i *Pseudomonotis cf. tridentata*. Pješčenjake i siltite karakteriziraju tanki slojevi i sitnozrnasti detritus. Horizont kvarcnih pješčenjaka debljine 1–2 m razvijen je u vršnom dijelu tih naslaga. Dolomiti donjeg trijasa također se nalaze na već ranije spomenutim lokalitetima. Ne sadrže fosilne ostatke a debljina im varira od 100–140 m. Imaju dobro izraženu slojevitost, a debljina pojedinačnih slojeva je do 80 cm, sive su do žućkastosive boje. Ponegdje sadrže male količine terigenih primjesa. Sitnokristalinični su te sadrže pjeskoviti detritus, a imaju dva tipa

struktura: strukturu predstavljenu sitnokristaliničnim dolomitnim mozaikom te strukturu u kojoj se vide ostaci sferičnih vapnenačkih čestica te su na taj način okarakterizirani kao kalkareniti. Naslage donjeg trijasa su ukupne debljine oko 410 m.

#### **2.1.4. Srednji trijas (T<sub>2</sub>)**

Srednjotrijaske naslage se na površini nalaze na području Velebita i Ličkog polja. Izgrađene su od sedimentnih stijena te predstavljaju najrasprostranjenije naslage trijasa. Na temelju sastava klastita i karakteristika vapnenačkih partija izdvojeni su dolomiti i vapnenci anizika, te sitnozrnasti klastiti, vapnenci i dolomiti, tufovi, tufiti i šejlovi, tufovi i rožnjaci, pločasti vapnenci s rožnjacima i bazalti ladinika (SOKAČ et al., 1976).

Dolomiti i vapnenci anizika nalaze se na lokalitetu Velika Paklenica. Sadrže ostatke vapnenačkih alga (*Macroporella alpina*, *Physoporella pauciforata*, *Teutloporella tabulata*), bentičkih foraminifera, gastropoda i koralja. Među dolomitima nalaze se dva strukturalna tipa: svijetli kristalinični dolomiti, koji imaju sitnokristaliničnu do krupnokristaliničnu mozaičnu građu bez tragova organskih struktura, te porozni drobljivi rekristalizirani dolomiti. Sitnozrnasti klastiti se nalaze na području Divosela te sjeverno od Badnja, ne sadrže fosile, sivi su i crvenkasti.

Vapnenci i dolomiti izgrađuju najveći dio ladinčkog kata, a nalaze se na obroncima Velebita sve do sjeverozapadno od Visočice, te sjeverozapadno od Trnovca i V. Plane. I te naslage sadržavaju vapnenačke alge iako su fosilno siromašnije od naslaga anizika, a karakterizira ih *Diplopora annulata*. Litološki su te naslage vrlo slične anizičkima.

Unutar klastičnih stijena ladinika utvrđeni su tufovi, tufiti, šejlovi, bazalti te pločasti vapnenci s rožnjacima. Tufiti i šejlovi nalaze se jugozapadno od Donjeg Pazarišta, a sadrže i ostatke amonita *Halilucites haugi* i *Dinarites dinaricus*. Serija crnih klastita predstavlja cjelovitu litološku asocijaciju obilježenu ritmičkim izmjenama psamitskih i pelitskih članova, jer je sedimentacija bila fliškog tipa. Naslage variraju po veličini zrna te mineralnom sastavu. Pločasti vapnenci s rožnjacima slijede na klastima donjeg ladinika, sive su boje i bez fosilnih ostataka. Tufovi, tufiti i rožnjaci predstavljaju najmlađi član klastičnog razvoja u području jugozapadno od Donjeg Pazarišta. Ne sadrže fosilne ostatke i isklinjavaju u diplopornim vapnencima. Slojevi čistih tufova male su debljine te se nalaze u više razina. U gornjim

horizontima pojavljuju se raznobojni rožnjaci u izmjeni s tankim proslojcima tufova, a karakteristično je da sadrže radiolarije. Na lokalitetu Jovanović Draga jugozapadno od Donjeg Pazarišta nalaze se bazalti u obliku vulkanskih kupa, sivozelene i tamnosive boje te porfirne strukture. Ukupna debljina naslaga srednjeg trijasa je oko 1400 m, a u područjima gdje nisu taložene ladiničke naslage (Baške Oštarije, Velika Paklenica) oko 700 m.

### **2.1.5. Gornji trijas (T<sub>3</sub>)**

Naslage gornjeg trijasa nalaze se na više odvojenih područja na velebitskom dijelu lista Gospić te u području sjeveroistočno od Ribnika. Na temelju razvedenosti reljefa te količine terigenog materijala definirani su boksiti, brečokonglomerati, tufovi i tufitični klastiti te dolomitizirani vapnenci i dolomiti (SOKAČ et al., 1976).

Najstarija jedinica gornjeg trijasa su crveni brečokonglomerati, razvijeni u bazi tufitičnih klastičnih naslaga te u bazi dolomitiziranih naslaga. Debljine su od 1–3 m a nalaze se na lokalitetu sjeverozapadno od Visočice te podno Debeljaka. Predstavljaju transgresivni element s fragmentima tamnih i svijetlih vapnenaca koji mjestimice sadrže vapnenačke alge. Tufovi i tufitični klastiti slijede na konglomeratima. Tamnocrvene su boje, promjenjive debljine, oblika izduženih leća ili zona. Nalaze se uzduž transgresivnih granica gornjeg i srednjeg trijasa, te na južnom krilu antiklinale Velike Paklenice, protežu se ispod Velikog Vrhca i Debeljaka, a ima ih i na području Klepine Dulibe. Sadrže oskudan ali značajan fosilni materijal, najvažniji fosilni ostatak je *Myophoria kefersteini*. Ove su naslage taložene pod utjecajem vulkanske aktivnosti. Kontinuirano slijedi kompleks dolomita gornjeg trijasa, debljine oko 220–250 m, obilježen dobrom slojevitošću. Nalaze se na području jugozapadnog krila Velike Paklenice, te na sjeveroistočnom dijelu Velebita sve do Brušansko-oštarijskog rasjeda. Najznačajniji fosilni ostatak u tim naslagama je vapnenačka alga *Gyroporella vesiculifera*. Dolomiti gornjeg trijasa mogu se podijeliti u dolomite s organogenom valovito-trakastom teksturom, dolomitizirane biokalkarenite ili pseudooolitične kalkarenite, te kristalične dolomite koji imaju homogenu sitnokristaliničnu strukturu. Ukupna debljina gornjotrijaskih dolomita je do 350 m.



### 2.1.6. Donja jura (J<sub>1</sub>)

Jurske naslage izgrađuju više dijelove Velebita, u obliku dvije neprekinute zone. Predstavljaju najmarkantniji mezozojski član Velebitskog masiva (SOKAČ et al., 1976). Jurske naslage su razvijene u karbonatnom facijesu, a taložene su u sličnim uvjetima. U donjoj juri nalaze se bioakumulirani vapnenci, mrljasti vapnenci te sekundarni dolomiti. Najniži dio donje jure predstavljen je izmjenom vapnenaca i dolomita. Nalaze se u jugozapadnom krilu Pakleničke antiklinale, na obronku Crljenog Kuka te sve do Brušansko–oštarijskog rasjeda. Od fosila sadrže gastropode te vapnenačke alge: *Palaeodasyllacuds barrabei*, *Petrascula heraki* i *P. illyrica*. Naslage donjeg dijela donje jure izgrađene su od sitnozrnastih alohtonih karbonatnih stijena tipa litokalkarenita, a dolomiti se pretežito izmjenjuju s vapnencima. Naslage srednjeg dijela donje jure nalaze se na području Radlovca i Mliništa, te od Ribnika do Donjeg Pazarišta. Tu spadaju razni tipovi vapnenaca bogati fosilima, prije svega školjašima iz skupine litiotida, vapnenačkim algama, brahiopodima te foraminiferama. Najvažnije foraminifere su *Orbitopsella praecursor*, *Haurania deserta*, *O. acutimargo* i *Lituosepta recoarensis*. To su tamnosivi slojeviti vapnenci unutar kojih prevladavaju bioakumulirani vapnenci (litiotis vapnenci). Na njima slijede mrljasti vapnenci, rjeđe dolomiti (poznati u literaturi pod nazivom *fleckenkalk*) a nalaze se na ranije spomenutim lokalitetima. U ovim naslagama, osim slabo očuvanih gastropoda i miliolida, nisu nađeni značajniji fosilni ostaci. Naslage su sitnozrnaste, imaju mrljasti izgled, te je dolomitizacija izražena osobito u gornjim dijelovima. Ukupna debljina donjojurskih naslaga na promatranom području je oko 580 m.

### 2.1.7. Srednja jura (J<sub>2</sub>)

Srednjojurske naslage se nalaze na području koje se od Crljenog Kuka pruža duž Velebita u pravcu sjeverozapada. Prekida se kod Brušansko–oštarijskog rasjeda, te se ponovno pojavljuje sjeverozapadno od Brušana, a također se nalaze i na području Mliništa i Radlovca. U ovom slijedu dominiraju svijetli vapnenci s rijetkim ulošcima dolomitiziranih vapnenaca (SOKAČ et al., 1976). U višim razinama utvrđena je mikrofosilna zajednica koju čine *Selliporella donzellii*, *Teutloporella gallaeformis* i *Meyendorffina bathonica*. Debljina srednjojurskih naslaga je oko 600 m.

### 2.1.8. Gornja jura (J<sub>3</sub>)

Najmlađi član jure na ovom dijelu Velebita i Like predstavljaju naslage gornje jure (SOKAČ et al., 1976). Nalaze se na istim područjima kao i naslage iz starijih razdoblja jure u obliku uske zone pružanja sjeverozapad–jugoistok. U ovim naslagama nalaze se mikroforaminifere *Kurnubia palastiniensis*, *K. wellingsi*, *Labyrinthina mirabilis* i *Protopenneroplis striata*. Gornjojurske naslage su uglavnom predstavljene sivim i svijetlosivim vapnencima, a ukupna debljina naslaga je oko 250 m, iako su mjestimice debljine i nešto veće.

### 2.1.9. Donja kreda (K<sub>1</sub>)

Donjokredne naslage nalaze se na području Like, primorskog dijela Velebita, te na otoku Pagu. Uglavnom su to karbonatne naslage, prije svega različiti tipovi vapnenaca, vapnenačkih breča te dolomita (SOKAČ et al., 1976). Naslage donje krede nalaze se u okolici Vrebca, Ličkog Osika, Perušića te Gornjeg Pazarišta. U ovim naslagama nalazi se mikrofosilna zajednica s *Nummoloculina heimi*, *Favreina salevensis*, *Thaumatoporella parvovesiculifera*, kao i brojne druge foraminifere, školjkaši i ostrakodi. Prevladavaju sivi, smeđi i sivosmeđi pločasti vapnenci, a debljina naslaga je oko 250 m.

### 2.1.10. Gornja kreda (K<sub>2</sub>)

Naslage gornje krede predstavljene su vapnencima, dolomitiziranim vapnencima, dolomitima i brečama, razvijenim u obliku tankih i uskih zona u krilima krednih bora (SOKAČ et al., 1976). Najstarije naslage gornje krede nalaze se sjeverno od Vrebca, preko Ličkog Osika i Perušića, do Gornjeg Pazarišta. Uslijed izrazite rekristalizacije fosilni ostaci su potpuno uništeni. U srednjem dijelu gornje krede prevladavaju naslage grebenskog facijesa u obliku bioakumuliranih vapnenaca, biokalkarenita, prigrbenskih breča, kalkarenita te dolomita. Mikrofosilne zajednice sadržavaju vrste *Nezzazata simplex*, *Nummoloculina heimi*, *Pseudolituonella reichelli*, *Dicyclina schlumbergeri*, a od makrofosila sadrže *Ichthyosarcolithes tricarinatus*, *I. bicarinatus* i *Neocaprina gigantea*. Dolomitne stijene se nalaze u obliku leća. Najmlađi dio gornje krede sadrži vapnence, najčešće na otoku Pagu, koji sadrže brojnu zajednicu rudista karakterističnih za razdoblje nižeg senona. Rudistna fauna obuhvaća *Radiolites cf. trigeri*, *R. radiosus*, *Praeradiolites anatolicus* i *Hippurites*

*canaliculatus*. Uz prethodno navedene vapnence prevladavaju još i dolomitični vapnenci i dolomiti, najčešće u obliku malih uložaka. Vapnenci su smeđi i dobroslojeviti, a debljina naslaga je između 350–400 m.

#### **2.1.11. Paleogen (E, Ol)**

Naslage paleogena izgrađene su od vapnenačkih breča, nešto rjeđe konglomerata i vapnenaca. Nalaze se na tri veća područja u Lici između Vrebca i Gornjeg Pazarišta, na padinama Velebita sjeverozapadno od Baških Oštarija i duž primorske strane Velebita, te na području otoka Paga. Klasti sadrže fragmente rudista, miliolida, numulita, ostrakoda i alveolina. Na području uz grad Gospić te na priobalnom dijelu Velebita uočena je česta pojava prominskih konglomerata razvijenih u formi nepravilnih leća koji su u izmjeni s vapnenačkim brečama. Breče su masivne, bez vidljivih sedimentnih struktura, sivog, žućkastog do crvenkastog matriksa, neslojevite su, a na nekim mjestima mogu se pronaći i do tri generacije klasta. Debljina naslaga poznatih pod nazivom Jelar ili Velebitske breče nije definirana.

#### **2.1.12. Kvartar (pr, al)**

Kvartarne naslage najčešće su u nizinskom dijelu lista Gospić, a predstavljaju ih sedimenti pleistocena i holocena (SOKAČ et al., 1976). Od pleistocenskih naslaga prevladavaju proluvijalne naslage. Nalaze se na području Gospića, Perušića, Donjeg i Gornjeg Pazarišta a predstavljene su raznim glinama, pijescima i šljunkom čija je debljina do 15 m. Najčešća su kisela, smeđa tla prekrivena humusnim sedimentima. Naslage holocena predstavljaju aluvijalne tvorevine koje nalazimo na Ličkom polju. Razvijene su na niskim dijelovima terena vezanog u riječne tokove a čine ih šljunčane, muljevite i pješčane naplavine.

### **2.2. Tektonska građa središnjeg dijela Velebita**

Područje središnjeg dijela Velebita dio je Jadranske karbonatne platforme, jedne od najvećih mezozojskih karbonatnih platformi (VLAHOVIĆ et al., 2005). Cijelo to područje vrlo je geološki kompleksno i tektonski aktivno. Prema Bahunu (1974) su postojale dvije koncepcije o tektonskoj građi Velebita. Prema jednoj koncepciji Velebit predstavlja autohton poremećen

rasjednom tektonikom, dok je prema drugoj koncepciji Velebit pokrenut prema jugozapadu i prema tome predstavlja alohton u okviru tektonske jedinice višeg reda. Detaljniji podaci o tektonici preuzeti su iz Tumača Osnovne geološke karte SFRJ za list Gospić (SOKAČ et al., 1967).

Promatrano područje središnjeg dijela Velebita može se opisati u obliku dvije strukturne jedinice: Ličko sredogorje i Velebit, te Istra–Dalmacija. Strukturna jedinica Ličkog sredogorja od Velebita je odijeljena značajnim uzdužnim rasjedom koji se proteže od Velike Plane do Brušana koji je poznat još pod nazivom „Lički rasjed“. Tektonski pokreti rezultirali su postankom većeg broja bora od kojih su najznačajnije antiklinale Perušić–Široka kula i Oštra–Novi Lički Osik, te sinklinale Nikšići–Lipova Glava i Vujanovac–Kaluđerovac koje su dinarskog pružanja. Antiklinala Perušić–Široka Kula normalna je uspravna bora sa strmim sjeveroistočnim krilom. Njezina velika širina vjerojatno je posljedica pružanja lokalnih vertikalnih uzdužnih rasjeda. Sjeverno od Široke Kule nalazi se poprečni rasjed koji presijeca antiklinalu, dok se istočno antiklinala postupno sužava i zatvara. Antiklinala Oštra–Novi Lički Osik postupno gubi oblik antiforme te nestaje pod kvartarnim naslagama prema istočnom rubu lista. Najizrazitija sinklinalna forma je sinklinala Vujanovac–Kaluđerovac koja nema jasno izražene strukturne elemente zbog sekundarnih boranja i slabo izražene slojevitosti. Sinklinala Nikšić–Lipova Glava slična je prije opisanoj te je ispresijecana brojnim manjim vertikalnim rasjedima. Prema rasporedu stratigrafskih jedinica uočena je i sinklinala jugoistočno od Široke Kule, te antiklinala sjeverozapadno od Podova. Sve opisane strukture dinarskog su smjera pružanja s blagim nagibom krila.

Unutar strukturne jedinice Velebit mogu se izdvojiti sekundarne antiklinalne forme. Velebit predstavlja reaktiviranu antiformu koja je omeđena „Ličkim rasjedom“ pružanja sjeverozapad–jugoistok, te je razlomljen na niz manjih rasjeda koji su paralelni pružanju stratigrafskih članova, pri čemu valja istaknuti dva rasjeda: Brušansko–oštarijski i Paklenički rasjed. Ti su rasjedi vrlo slični, te od vertikalnih polako prelaze u blaže nagnute. Posljedica su tektonskog suženja u krilima antiforma koje su dalje prekinute. Uz ova dva rasjeda nalaze se još vertikalni rasjed u području Jadovna, rasjed zapadno od Debeljaka te niz manjih uzdužnih i poprečnih rasjeda koji su koncentrirani uz glavne rasjede. Od sekundarnih elemenata treba spomenuti Brušansko–oštarijsku razlomljenu antiklinalu, antiklinalu Radlovac–Mlinište te antiklinalu Velike Paklenice. Bruško–oštarijska razlomljena antiklinala glavna je tektonska struktura ove jedinice. Sa sjeverne strane je prati najznačajniji rasjed na ovom području,

Brušansko–oštarijski rasjed, uz kojeg se nalaze paleogenske breče koje su dokaz da su glavni tektonski pokreti postpaleogeni.

Geotektonskoj jedinici Istra–Dalmacija na istraživačkom području pripada samo otok Pag. Treba naglasiti da u ovom diplomskom radu ovaj dio lista Gospić nije detaljnije obrađen. Ta je strukturno-tektonska jedinica predstavljena uspravnim, blagim borama dinarskog pružanja. Najizrazitiji element je gotovo pravilna Paška sinklinala pružanja sjeverozapad–jugoistok, koja se spuštanjem antiklinalne strukture naglo proširuje i veže sa sinklinalom Paških vrata. Uz ovu sinklinalu treba spomenuti još i antiklinalu Grabovac na sjeveroistočnom dijelu otoka koja je presječena nizom dijagonalnih rasjeda smjera sjeverozapad–jugoistok i sjeveroistok–jugoistok. Uz njih se pojavljuje još niz manjih rasjeda pružanja paralelnog pružanju struktura.

### 3. METODE RADA

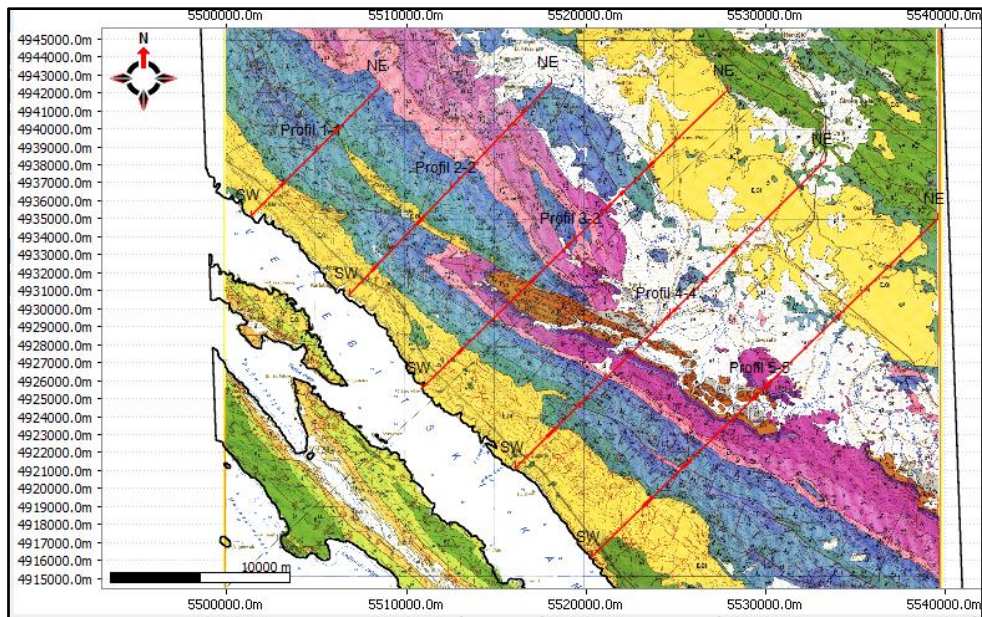
#### 3.1. Midland Valley Move–programski paket za strukturno modeliranje i analizu

Praktični dio ovoga diplomskog rada najvećim je dijelom izrađen u računalnom programu Move. Move je program britanske kompanije Midland Valley koji je trenutno jedan od najpotpunijih računalnih programa za strukturno modeliranje i analizu. Koristi se među ostalim u geološkom kartiranju, strukturnoj geologiji, geotehnici i naftnoj industriji. Pomoću njega se mogu interpretirati podaci, izraditi geološki profil, izraditi 3D geološki modeli, a može se koristiti i za kinematičko modeliranje, geomehaničko modeliranje, modeliranje sloma, analizu stresa, te sedimentološko modeliranje.

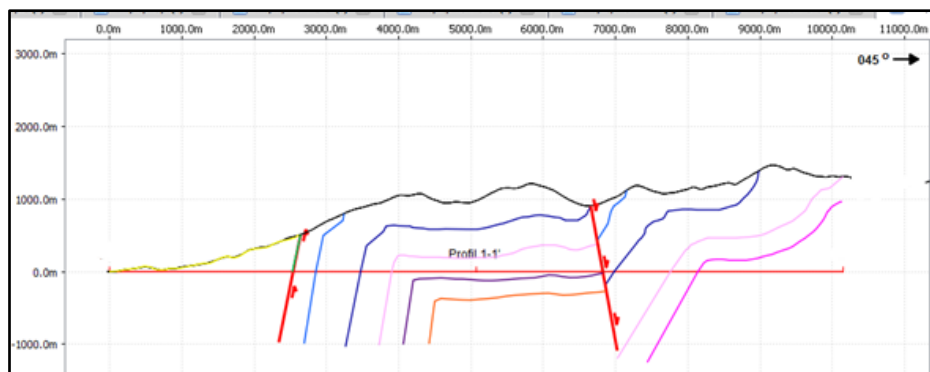
Aplikacija Move služi kao baza za naprednije funkcije, u obliku više modula. Aplikacija sadrži osnovne funkcije potrebne za izradu geoloških profila i 3D modela podzemlja, podržava velik broj različitih vrsta formata uključujući digitalne modele površine terena odnosno reljefa, razne formate slika, seizmičke podatke, bušotinske podatke i dr. Omogućuje integraciju podataka iz drugih programa kao što su GIS, Petrel, Eclipse, Surfer i EarthVision, te prikaz promatranog terena i struktura u 2D i 3D obliku, pomoću profila i karata. Prigodom izrade model se ažurira u realnom vremenu, što olakšava uočavanje grešaka i nepravilnosti a postojeće greške se mogu lako ispraviti pomoću dostupnih funkcija.

Jedan od osnovnih modula u aplikaciji Move je 2D Move (Slika 3-1). To je programski modul za dvodimenzionalno kinematičko modeliranje koji sadrži niz mogućnosti za izradu, analizu i restauraciju geoloških profila (Slika 3-2). Pomoću modula 2D Move mogu se interpretirati seizmički podaci te podaci iz bušotina kako bi se dokazala ispravnost konstruiranog profila. Dodatne mogućnosti uključuju konverziju dubine, izravnjavanje slojeva i pomaka po rasjedu i uravnoteženja područja i dužina, dekompakciju, izračun dubine do podine te analizu paralelnog klizanja po slojevitosti.

2D Move omogućuje rad u 2D prostoru i dodatno u geološkom vremenu, a micanjem modela naprijed ili nazad kroz vrijeme mogu se vidjeti strukturne promjene kroz vrijeme te pretpostaviti vrijeme ključnih događaja. Može se provjeriti i valjanost interpretacije modela te izraditi balansirani profil. Modul koristi niz kinematičkih algoritama: *flow*, *trishear*, *fault bend fold*, *fault parallel*, *simple shear move on fault* te *simple shear unfold*. Rezultate je moguće prikazati pomoću niza profila ili u obliku animacije kako bi se lakše prikazali geološki događaji kroz vrijeme.

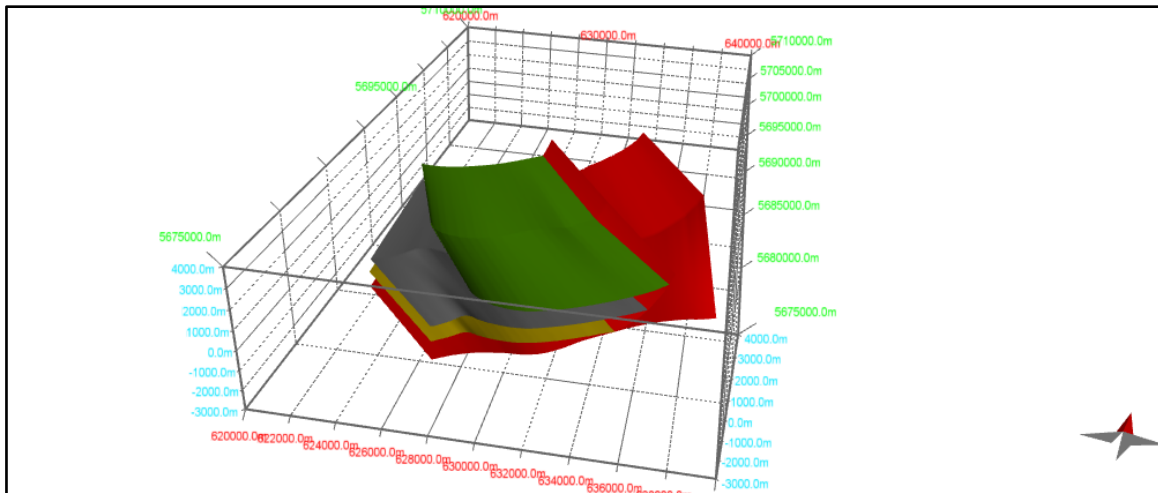


Slika 3-1. 2D prikaz geoloških profila na karti.



Slika 3-2. Digitalizirani geološki profil.

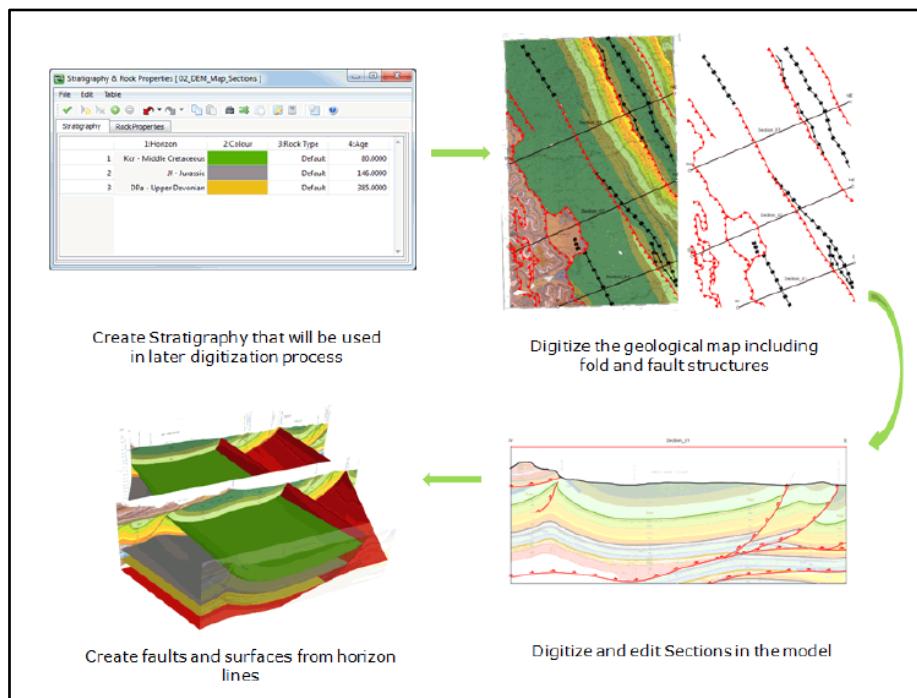
Modul koji koristi kinematičke algoritme za restauraciju i provjeru trodimenzionalnog geoloških modela je 3D Move (Slika 3-3). 3D Move modul pruža i mogućnost manipulacije geološkog vremena na modelu. To omogućuje da se kompleksne geološke strukture mogu restaurirati u originalne položaje te da se otkriju strukture koje se ne pojavljuju na originalnim modelima. Promatranjem promjena na 3D modelu i mijenjanjem vremena mogu se dobiti jasnija saznanja o geologiji promatranog područja, te se dobivene informacije mogu kasnije primijeniti u eksploataciji mineralnih sirovina, naftnom inženjerstvu, geotehničkom inženjerstvu te skladištenju ugljičnog dioksida. Kinematički algoritmi koji su sastavni dio 3D Move modula su *trishear*, *flexural slip*, *fault parallel flow*, *simple shear unfold*, *simple* i *shear move on fault*.



**Slika 3-3.** 3D model geološke građe podzemlja.

### 3.1.1. Izrada trodimenzionalnog modela

Jedna od važnijih funkcija programa Move je izrada trodimenzionalnog modela. Model može služiti kao početna informacija za niz naprednijih funkcija programa Move te kao grafički prikaz za lakšu vizualizaciju geoloških struktura u podzemlju. Izrada 3D modela sastoji se od četiri koraka (Slika 3-4).



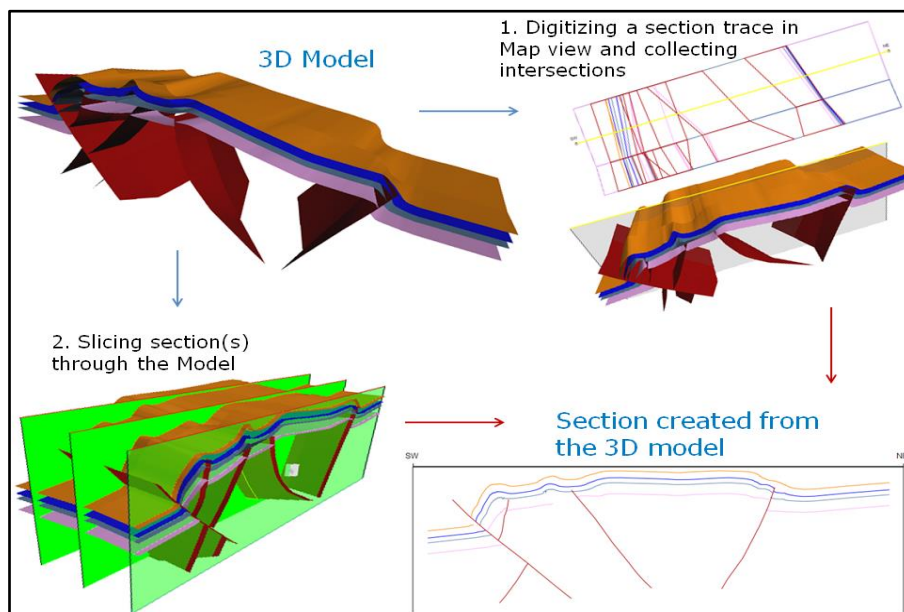
**Slika 3-4.** Koraci izrade 3D modela geološke građe podzemlja.



Izrada modela započinje učitavanjem već poznate stratigrafske tablice. Tablica sadrži podatke o stratigrafskim jedinicama na promatranom području kao što su naziv, relativna starost, boja i debljina naslaga. Ponekad može sadržavati i detaljnije podatke o jedinicama kao što su specifična svojstva stijena. Prilikom korištenja algoritama unutar programa debljine naslaga i relativna starost se koriste automatski. Digitalizacija karte predstavlja drugi korak, u kojem se digitaliziraju najvažniji podaci vidljivi na karti, kao što su rasjedi, granice jedinica, smjer i kutovi nagiba slojeva, osi bora itd. Treći korak predstavlja digitalizaciju postojećih profila ili izradu novih geoloških profila. Digitaliziraju se svi strukturni elementi profila kao što su granice jedinica i rasjedi. Ako postoji potreba za izradom novih profila, mogu se izrađivati na temelju površinskih podataka te uz učitavanje dodatnih podataka kao što su podaci dobiveni iz geofizičkih profila ili bušotina. Izrada 3D modela predstavlja četvrti korak, pri kojem se povezuju površine struktura koje se nalaze na susjednim profilima na karti.

### 3.1.2. Izrada geoloških profila presijecanjem 3D modela

Nakon izrade 3D modela moguća je automatska izrada novih geoloških profila presijecanjem dobivenog 3D modela. Nove profile moguće je izraditi na više načina. Jedna od metoda je postavljanje trase profila na karti u 2D pregledu karte te nakon toga korištenje funkcije *Slice 3D* (Slika 3-5). Nakon digitalizacije i postavljanja profila drugim je funkcijama moguće dobiti presjeke 3D površina s trasom profila, čime nastaje novi profil.

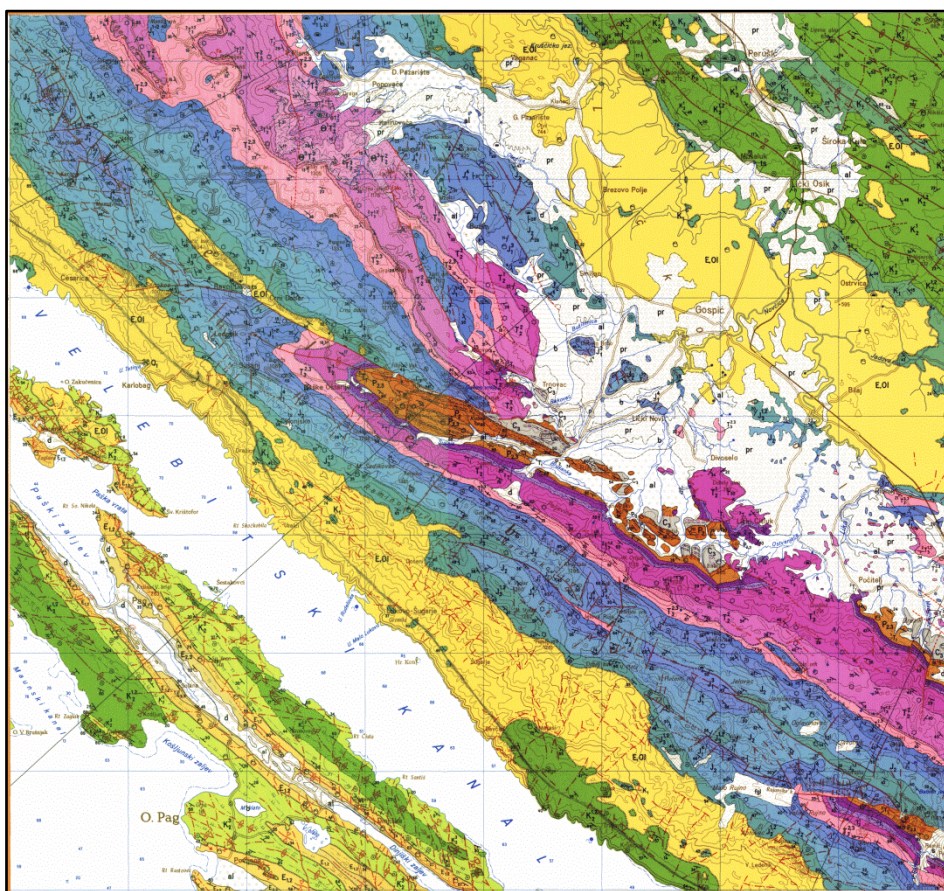


**Slika 3-5.** Neke od metoda izrade geološkog profila presijecanjem 3D modela.

## 4. IZRADA GEOLOŠKIH PROFILA I 3D PRIKAZA SREDIŠNJEG DIJELA VELEBITA

### 4.1. Priprema karte za rad u programu Move

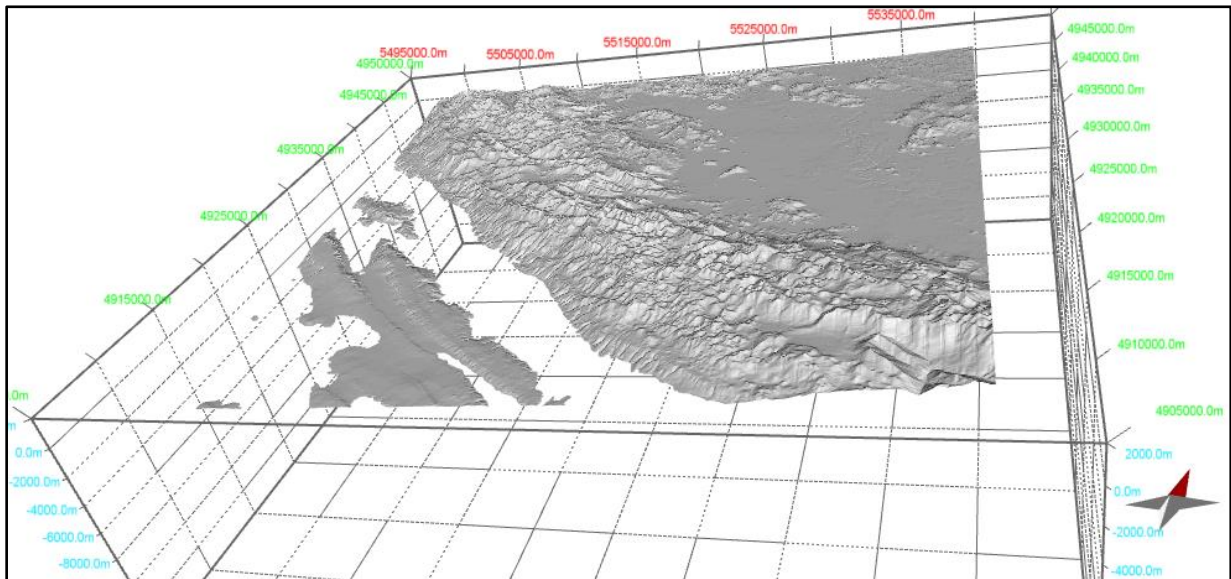
Područje istraživanja predstavlja dio lista Gospić Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000 (SOKAČ et al., 1974; Slika 4-1). Na listu je prikazan sjeveroistočni dio otoka Paga, središnji dio planine Velebit od Mliništa do Malog Rujna, te dio Ličkog polja u okolici grada Gospića. Karta je preuzeta u georeferenciranom digitalnom .tif formatu (Tagged Image File Format).



Slika 4-1. Položaj područja istraživanja – OGK lista Gospić (SOKAČ et al., 1974)

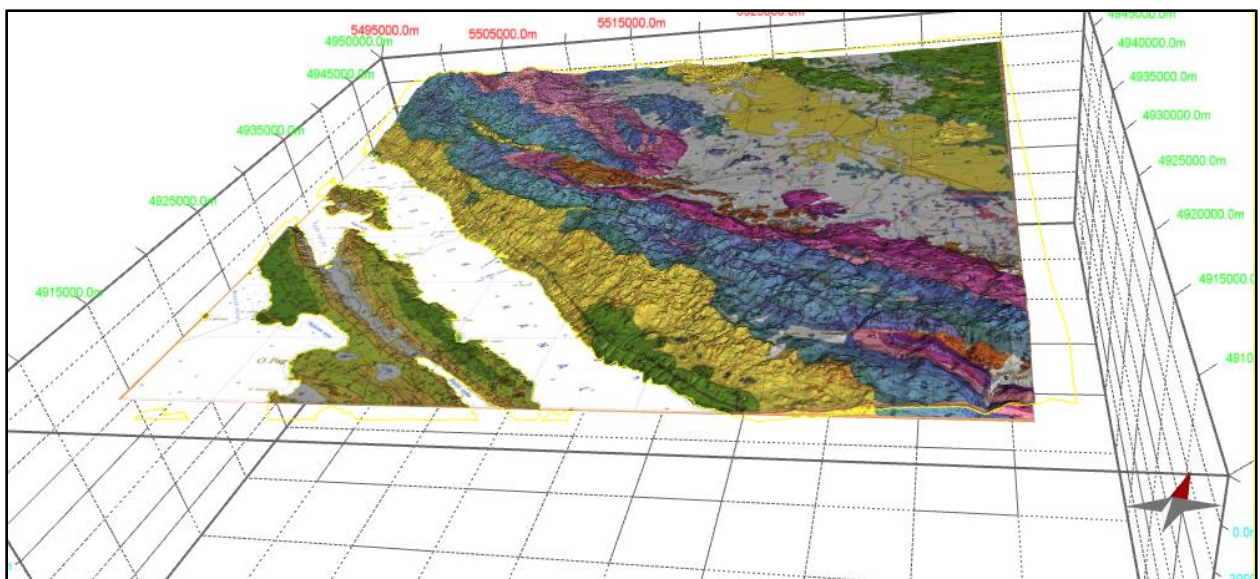
Dobivena karta je učitana u program Move gdje je georeferencirana, tj. pridodane su joj koordinate zabilježene prilikom izrezivanja. Nakon toga u Move je učitani trodimenzionalni prikaz reljefa OGK lista Gospić u formatu .dem (*Digital Elevation Model*) te je pridodan georeferenciranoj karti kako bi se dobio trodimenzionalni prikaz promatranog terena.

Dobiveni digitalni model visine poklapa se preko karte područja ali bez vidljivih geoloških i geografskih značajki (Slika 4-2).



**Slika 4-2.** Digitalni model visine u 3D view modu.

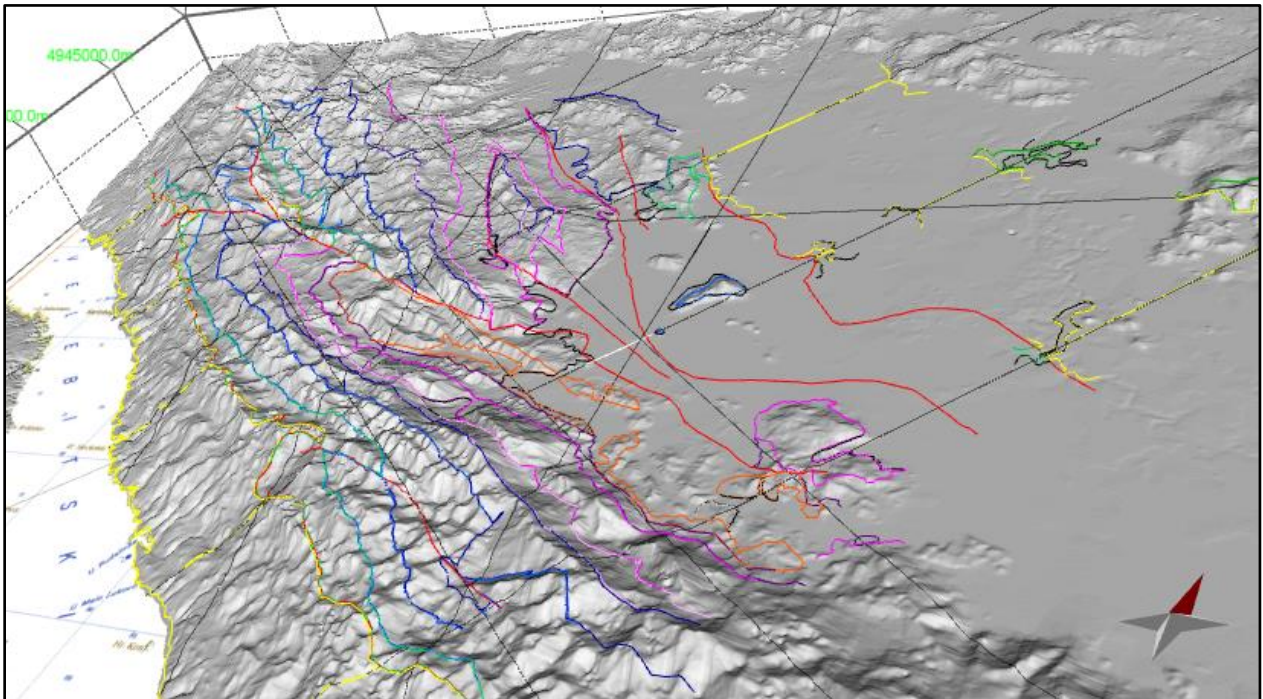
Pomoću opcije *Overlay* preko površine je nakon toga prevučena geološka karta istraživanog područja (Slika 4-3).



**Slika 4-3.** Osnovna geološka karta istraživanog područja prevučena preko digitalnog modela visine.

## 4.2. Digitalizacija karte

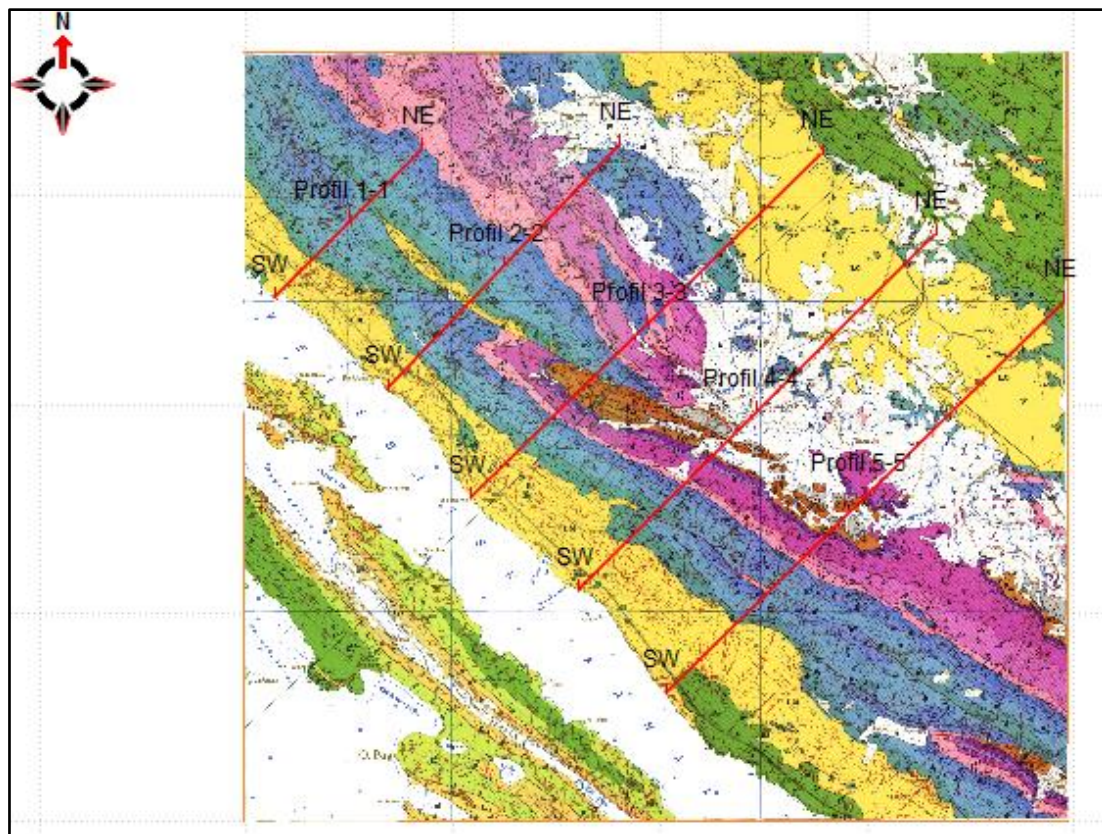
Nakon dobivanja trodimenzionalnog prikaza reljefa te prevlačenja geološke karte preko njega uslijedila je digitalizacija karte. Digitalizirane su sve granice jedinica, rasjedi, osi bora te smjerovi i kutovi nagiba slojeva s karte (Slika 4-4). Rasjedi, granice slojeva i osi bora čine linijske podatke, dok smjerovi i kutovi nagiba čine točkaste podatke. Prigodom iscrtavanja linijskih i točkastih podataka vrijednost visinske koordinate  $z$  automatski je dobivena s obzirom na vrijednost  $z$  .dem površine. Iscrtavanjem je dobiven prikaz linijskih i točkastih podataka u trodimenzionalnom prostoru. Funkcija *Horizon* služi za digitaliziranje granica jedinica, funkcija *Fault* služi za digitaliziranje rasjeda, funkcija *Line* za osi bora te *Dip* za smjerove i kutove nagiba. Prije digitalizacije granica jedinica trebalo je ispuniti stratigrafsku tablicu. U tablicu su unesene osnovne informacije o jedinicama kao što su oznake jedinica, boja na karti i relativna starost.



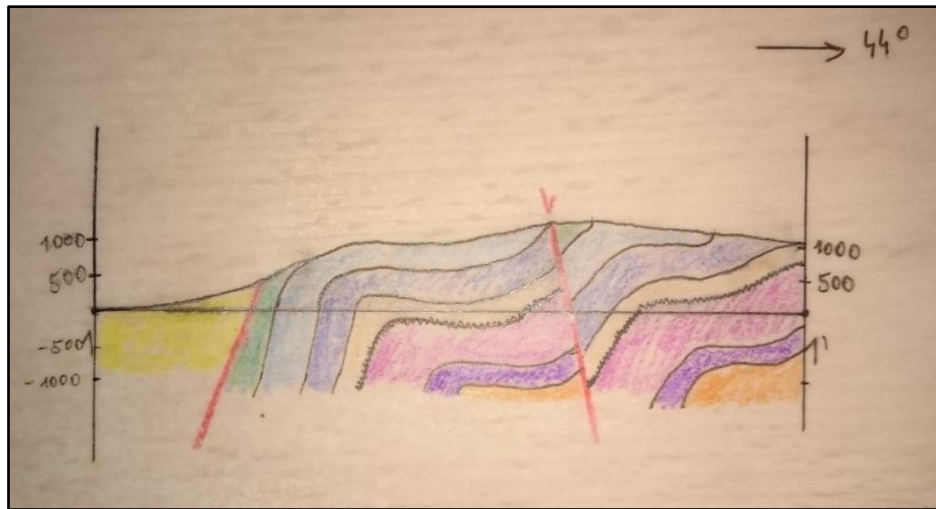
**Slika 4-4.** Digitalizacija geoloških značajki Osnovne geološke karte lista Gospić (SOKAČ et al., 1974).

### 4.3. Učitavanje ručno izrađenih poprečnih profila 1–5 te njihova digitalizacija

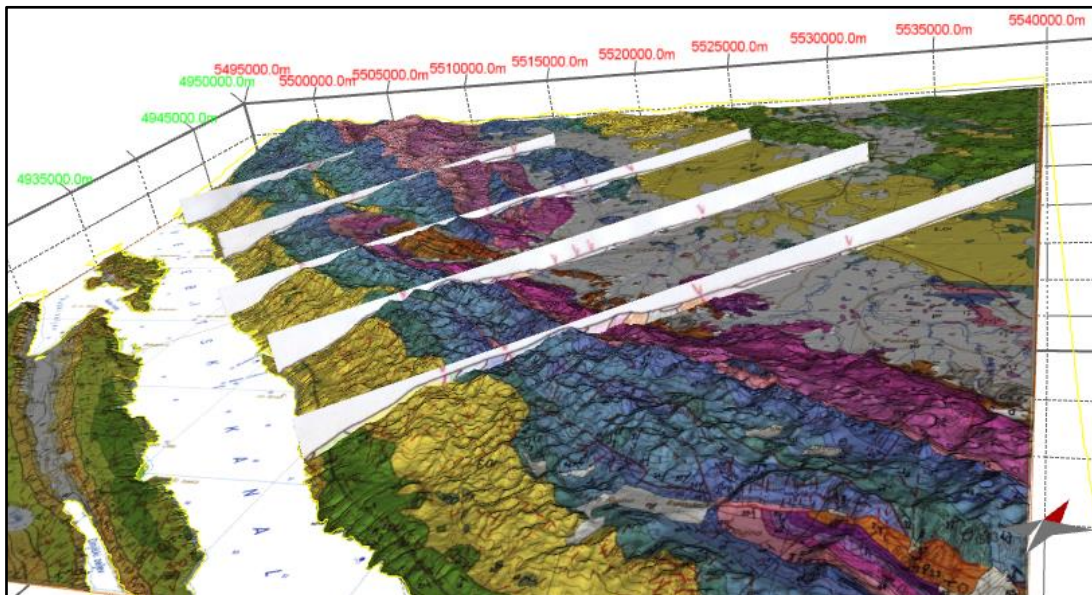
Digitalizacija profila započela je izradom pet poprečnih međusobno približno paralelnih geoloških profila. Izrađeni su poprečno na pružanje središnjeg dijela Velebita (Slika 4-5), pa im je pružanje jugozapad–sjeveroistok. Funkcija *Trace* služi za izradu profila, pri čemu treba naglasiti da su prije digitalizacije geoloških profila u računalnom programu Move ti profili ručno izrađeni (Slika 4-6) te su integrirani u digitalizirane profile kao slike pomoću funkcije *Insert Vertical Image* u program Move (Slika 4-7). Ručno izrađeni profili služe da bi se nakon digitalizacije dobila jasnija slika podzemlja te olakšala digitalizacija.



**Slika 4-5.** Poprečni profili na području središnjeg dijela Velebita iscrtani na karti funkcijom *Trace*.



**Slika 4-6.** Ručno izrađen Profil 1–1' na području središnjeg dijela Velebita.

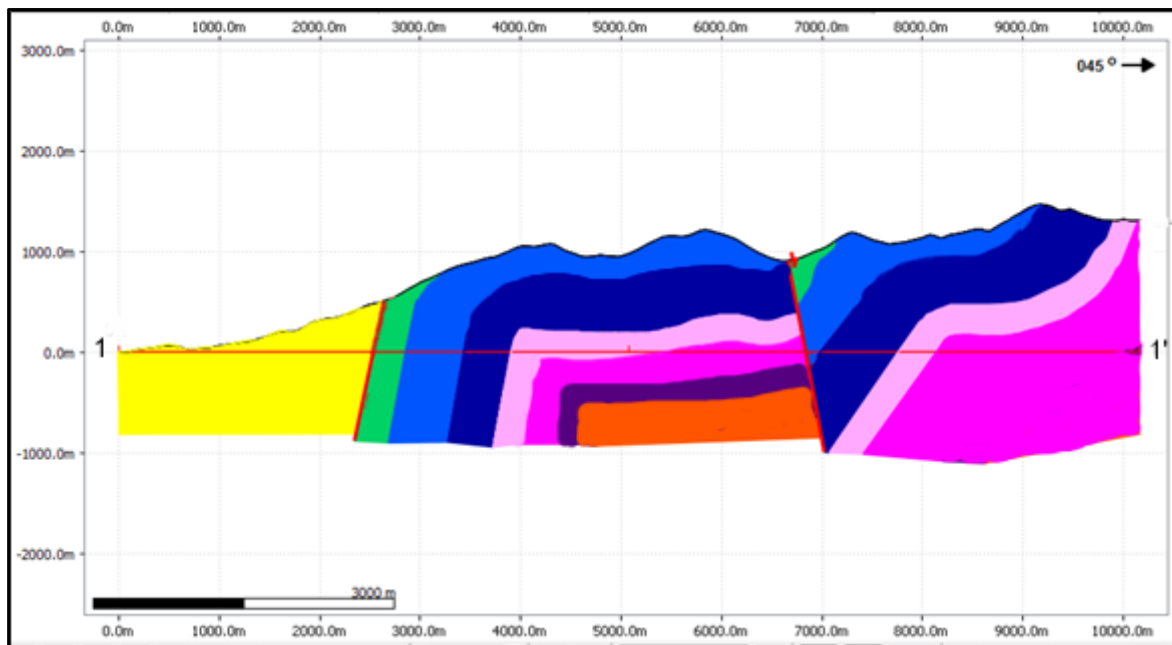


**Slika 4-7.** Ručno izrađeni profili integrirani u digitalne profile u obliku slika.

Nakon integracije slika profili su digitalizirani. Uočene su manje greške u topografiji na ručno izrađenim profilima i topografiji na .dem-u. Opcija *Collect Surface Intersections*, automatski generira presjek površine terena s profilom što omogućava dobivanje reljefa na profilu. Opcija *Collect Line Intersections* daje točke gdje profil presijeca prethodno digitalizirane granice slojeva, rasjede i osi bora na karti. Pomoću funkcija *Fault* i *Horizon* precrtani su rasjedi i granice uz poneke modifikacije zbog razlika u reljefu dobivenog ručnom izradom i reljefa dobivenog .dem-om.

### 4.3.1. Profil 1–1'

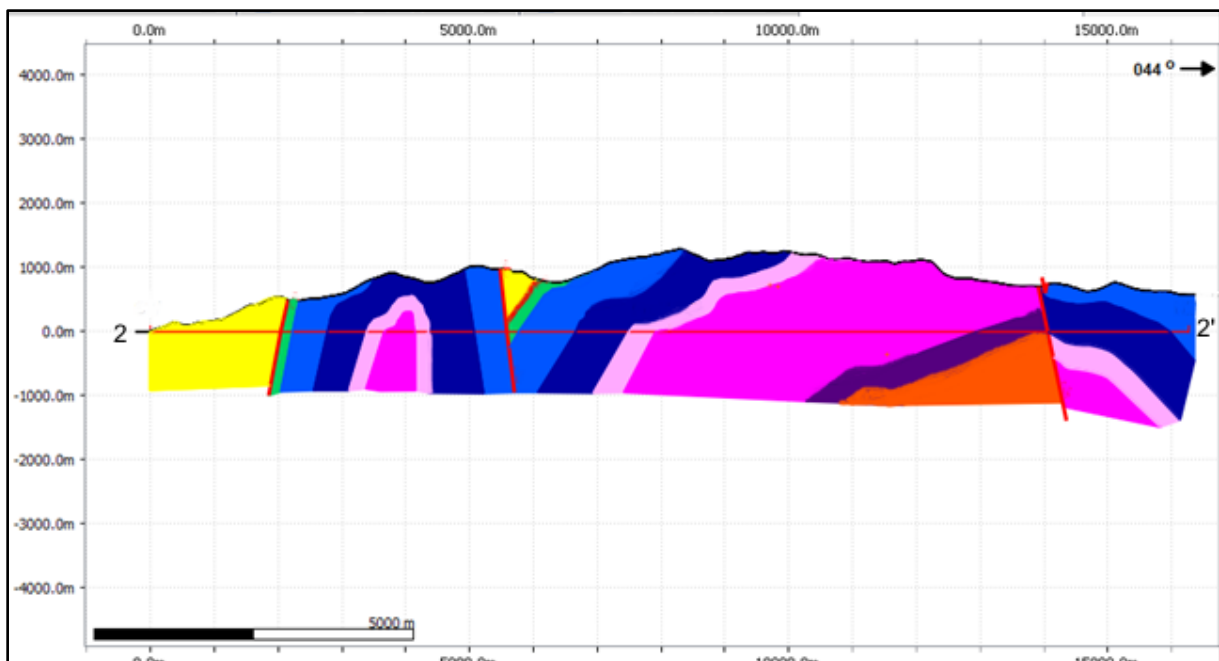
Profil 1–1' najsjeverniji je i najkraći poprečni geološki profil (Slika 4-8). Pruža se jugozapad–sjeveroistok od Cesarice do Debeljaka. Azimut profila je  $45^\circ$ , tako da je okomit na promatrane strukture. Nagib slojeva je strm prema jugozapadu. Karakteriziraju ga dva normalna strma rasjeda koji se protežu duž cijelog promatranog područja, pružanja sjeverozapad–jugoistok. Na jugozapadnom dijelu profila nalaze se paleogenske Velebitske breče koje se pružaju do južnijeg rasjeda, strmih slojeva nagiba prema jugozapadu. Nakon njih duž profila protežu se naslage gornje i srednje jure, vapnenci i dolomitizirani vapnenci gornje jure te vapnenci s ulošcima dolomita srednjojurske starosti koji se nalaze na površini antiklinale. Nagibi slojeva gornjojurskih naslaga su strmi prema jugozapadu, a nagibi slojeva srednjojurske starosti su razmjerno blagi, također prema jugozapadu. Naslage srednje jure se protežu do sjevernog rasjeda na profilu, a sjevernije od rasjeda slijed stratigrafskih jedinica se ponavlja sve do pojave naslaga donje jure, od kojih prevladavaju vapnenci s ulošcima dolomita, litiotis i mrljasti vapnenci, te vapnenci u izmjeni s dolomitima, čiji su slojevi strmo nagnuti prema jugozapadu. U podzemlju profila se mogu pretpostaviti naslage gornjeg i srednjeg trijasa, prije svega dolomitiziranih vapnenaca, brečokonglomerata i tufova.



Slika 4-8. Digitalizirani Profil 1–1' u području središnjeg dijela Velebita.

### 4.3.2. Profil 2–2'

Profil 2–2' (Slika 4-9) istog je pružanja kao i Profil 1–1', jugozapad–sjeveroistok. Proteže se od Karlobaga do Kalinovače, azimut profila je  $44^\circ$ , Nagib slojeva varira od strmih do blaže nagnutih, uz generalan nagib slojeva prema jugozapadu. Na profilu su vidljiva četiri normalna rasjeda, dva značajnija strma, koji se protežu uz cijelo područje središnjeg dijela Velebita, a nalaze se i na Profilu 1–1', pružanja sjeverozapad–jugoistok, te dva rasjeda manjeg pružanja. Rasjed manjeg pružanja u središnjem dijelu profila, koji se nastavlja na značajniji rasjed, blaže je nagnut a pružanja je zapad–istok. Najsjeverniji rasjed na profilu također je manjeg pružanja, sjeverozapad–jugoistok. Geološka građa Profila 2–2' je vrlo slična građi Profila 1–1'. Naslage na profilu su starosti od donjeg trijasa do paleogena. Na južnom dijelu profila, u primorskom dijelu padina Velebita nalaze se paleogenske breče i konglomerati. Na području između dva značajnija rasjeda nalaze se naslage jurske starosti strmog nagiba. Prevladavaju dolomitizirani vapnenci gornje jure, vapnenci s ulošcima dolomita srednje jure te mrljasti i litiotis vapnenci donje jure, koji zajedno čine antiklinalu. U središnjem dijelu profila ponovo se pojavljuju naslage jurske starosti, a na njih se nastavljaju naslage trijasa blažeg nagiba koje izgrađuju dolomitizirani vapnenci, tufovi, šejlovi te ulošci pločastih vapnenaca. Profil završava naslagama vapnenaca s ulošcima dolomita blagog nagiba.

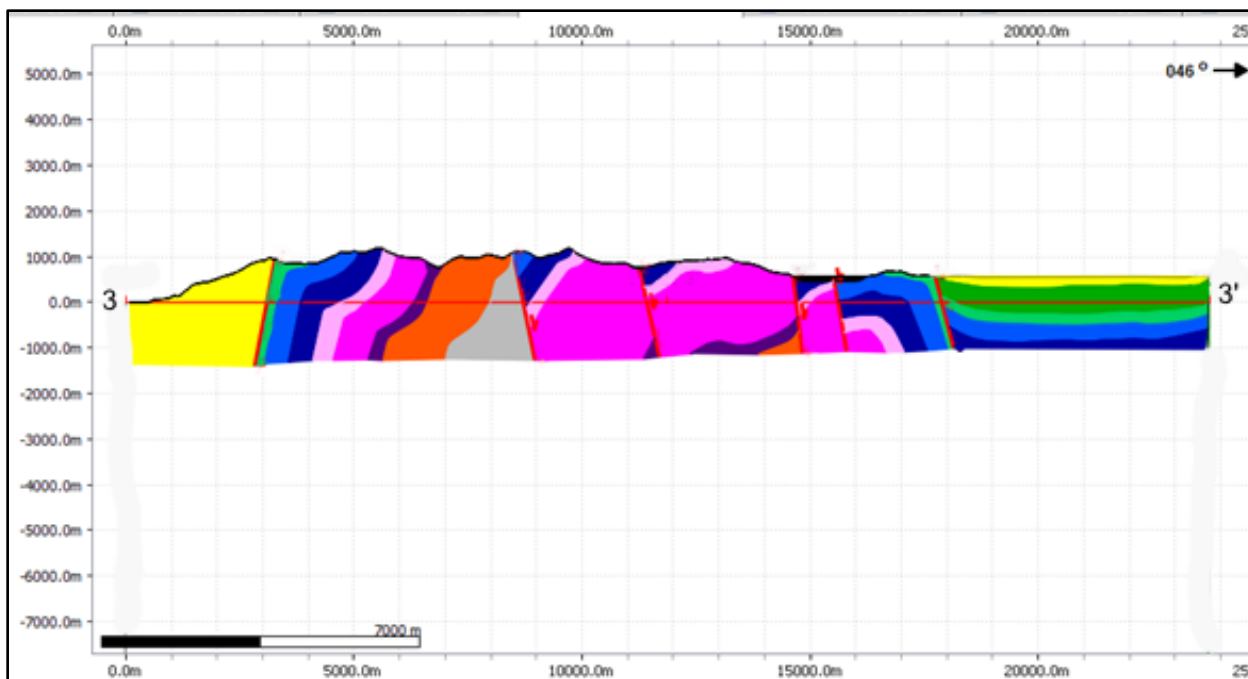


Slika 4-9. Digitalizirani Profil 2–2' u području središnjeg dijela Velebita.



### 4.3.3. Profil 3–3'

Profil 3–3' središnji je poprečni geološki profil (Slika 4-10), nešto duži od prethodna dva profila. Pružanje profila je jugozapad–sjeveroistok, a azimut mu je 46°. Proteže se od Uzelca do Brezovog polja. Nagib slojeva uzduž većeg dijela profila je strm, a na sjeveroistočnom dijelu je sve blaži. Smjer nagiba slojeva je u većem dijelu profila prema jugozapadu, uz par iznimaka na sjeveroistočnom dijelu profila koji su nagnuti prema sjeveroistoku. Na profilu je prikazano šest normalnih, strmih do vertikalnih rasjeda, dva velikog pružanja, koji se protežu duž svih pet poprečnih profila, te tri manjeg pružanja koji se nalaze u središnjem i istočnom dijelu promatranog područja. Rasjedi su svi istog pružanja, sjeverozapad–jugoistok. Profil 3–3' sadrži sve stratigrafske jedinice koje su opisane u ovom diplomskom radu, jer je starost naslaga stratigrafskog raspona od karbona do kvartara. Na jugozapadnom dijelu profila prevladavaju paleogenske naslage Velebitskih breča, a nakon pretpostavljene rasjedne zone slijede naslage gornje jure, vapnenci i dolomitizirani vapnenci, srednje jure, vapnenci s ulošcima dolomita, te litijski vapnenci i mrljasti vapnenci donje jure. Slijed se nastavlja naslagama trijasko starosti: dolomitiziranim vapnencima, tufovima, tufitima, pločastim i slojevitim vapnencima te pjeskovitim dolomitima. Naslage jure i trijasa u ovom dijelu profila su strmo nagnute. U središnjem dijelu profila nalaze se naslage permske i karbonske starosti. Perm obuhvaća leće vapnenaca, dolomita, petromiktnih i kvarcnih konglomerata, dok je karbon zastupljen pješčenjacima i glinenim škriljancima. Na profilu se na površini dalje izmjenjuju naslage trijasa i jure, blagog nagiba, uz uloške kvartarnih naslaga da bi na kraju profil završio paleogenkim vapnenačkim brečama.

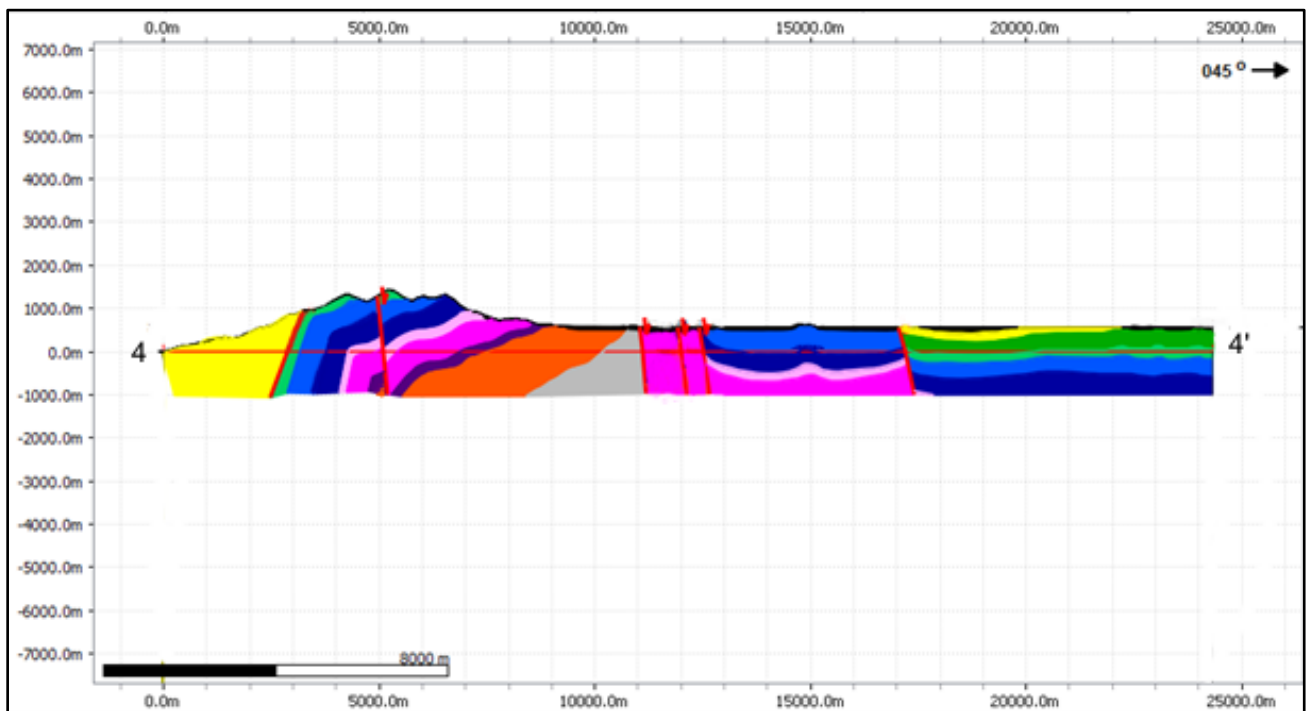


**Slika 4-10.** Digitalizirani Profil 3–3' u području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.3.4. Profil 4–4'

Profil 4–4' (Slika 4-11) se pruža jugozapad–sjeveroistok pod azimutom od 45° od Lukovog Šugarja do Ličkog Osika. Nagib slojeva je na jugozapadnom dijelu profila strm dok su na sjeveroistočnom dijelu profila naslage sve blažeg nagiba. Smjer nagiba slojeva je najčešće prema sjeverozapadu i jugoistoku. Profil 4–4' kao i Profil 3–3', sadrži šest normalnih, strmih do vertikalnih rasjeda. Dva rasjeda velikog pružanja se protežu duž cijelog istraživanog područja, a tri su rasjeda manjeg pružanja. Svi su pružanja sjeverozapad–jugoistok. Osim rasjeda, na profilima 3–3' i 4–4' su zastupljene i iste stratigrafske jedinice, raspona starosti od karbona do kvartara. Na jugozapadnom dijelu profila se nalaze paleogenske Velebitske breče, a sjeveroistočno od rasjednog kontakta slijede naslage jurske starosti. Prevladavaju vapnenci i dolomitizirani vapnenci gornje jure te vapnenci s ulošcima dolomita srednje jure, čiji su slojevi strmi. Nakon drugog rasjednog kontakta ponovo dolazi do ponavljanja slojeva jurske starosti uz pojavu naslaga donje jure koje sadrže litiotis vapence, mrljaste vapence te vapence i dolomite u izmjeni. Niz se nastavlja blaže nagnutim slojevima trijasa koje izgrađuju dolomitizirani vapnenci, tufovi, tufiti, pločasti i slojeviti vapnenci te pjeskoviti dolomiti. U središnjem dijelu profila nalaze se karbonske naslage koje sadrže pješčenjake i glinene škriljavce te permske naslage koje sadrže leće vapnenaca, dolomita, petromiktinih i

kvarcnih konglomerata. Sjeveroistočno od karbonskih i permskih naslaga na površini profila dominiraju kvartarne naslage u kontaktu s naslagama blagog nagiba srednje jure i paleogena. Profil na kraju sadrži kredne naslage blagog nagiba koje obuhvaćaju bioakumulirane vapnence, kalkarenite i dolomite.

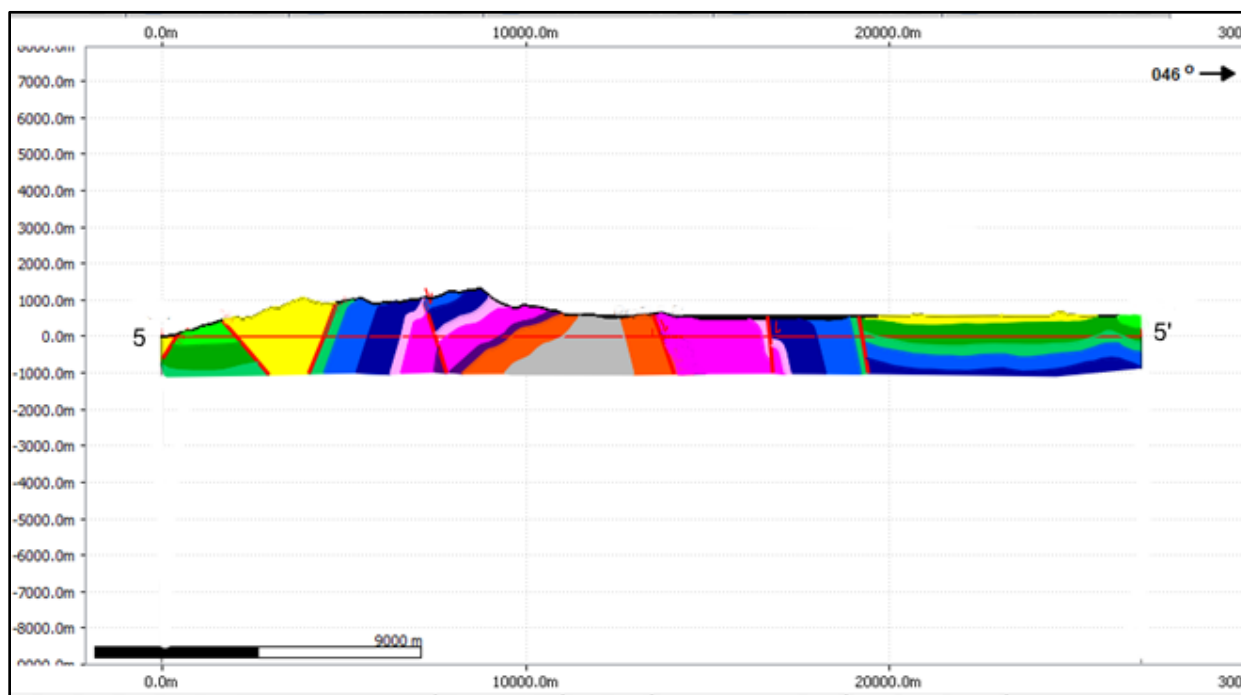


**Slika 4-11.** Digitalizirani Profil 4–4' u području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.3.5. Profil 5–5'

Profil 5–5' najjužniji je profil na promatranom području (Slika 4-12). Pružanja je jugozapad–sjeveroistok s azimutom od 46°, a proteže se od Baričke Drage do Ostrvice. Nagib slojeva varira, u jugozapadnom dijelu su nagibi strmi a prema sjeveroistoku su blaži. Smjer nagiba slojeva je najčešće prema jugozapadu uz par iznimaka suprotne orijentacije, tj. nagiba prema sjeveroistoku. Na Profilu 5–5' nalazi se šest normalnih, strmih do vertikalnih rasjeda. Dva rasjeda značajnog pružanja pojavljuju se na svim profilima, a orijentirani su sjeverozapad–jugoistok. Rasjed manjeg pružanja koji se nalazi na jugoistočnom dijelu profila, na granici paleogenskih i krednih naslaga, blago je nagnut uz pružanje zapad–istok. Ostala tri pružanjem manja rasjeda također zahvaćaju i Profile 3–3' i 4–4', i nalaze se na središnjem i sjeveroistočnom dijelu istraživanog područja, a pružanja su sjeverozapad–jugoistok.

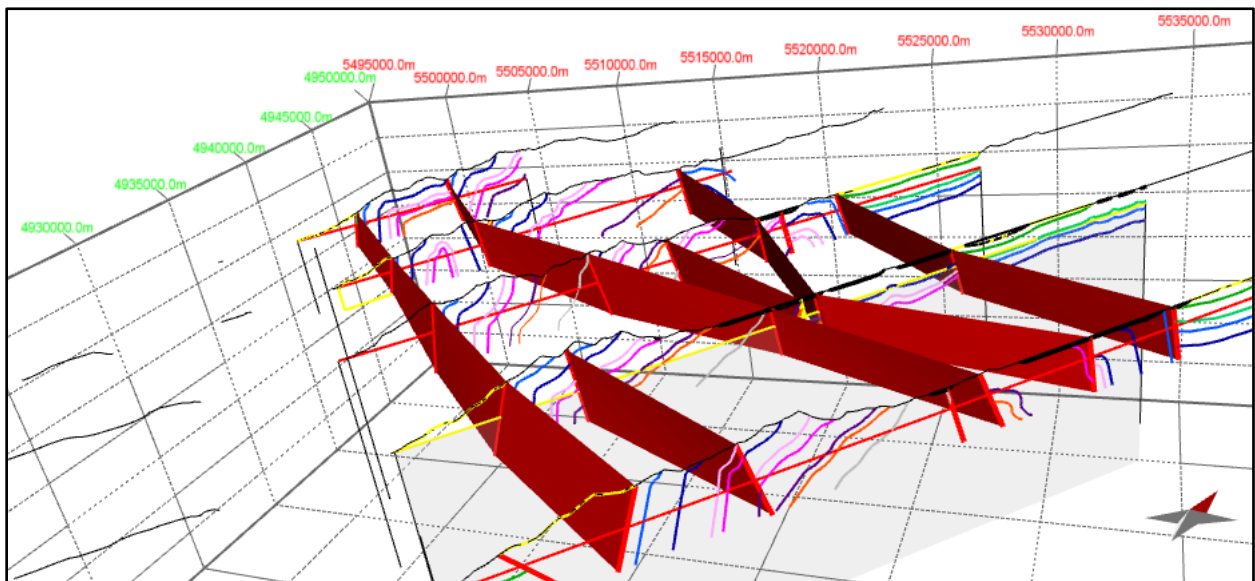
Zastupljene su iste stratigrafske jedinice kao i kod Profila 4–4'. Na Profilu 5–5' nalaze se jedinice starosti od karbona do kvartara. Na jugoistočnom dijelu profila nalaze se paleogene Velebitske breče koje su u pretpostavljenom rasjednom kontaktu s krednim naslagama bioakumuliranih vapnenaca i kalkarenita. Nakon drugog rasjednog kontakta prema sjeveroistoku nalaze se jurske naslage strmog nagiba slojeva u kojima prevladavaju dolomitizirani vapnenci gornje jure, vapnenci s ulošcima dolomita srednje jure, te litiotis vapnenci i mrljasti vapnenci donje jure. Niz se nastavlja naslagama blažeg nagiba trijaskе starosti, predstavljenim dolomitiziranim vapnencima, tufovima, tufitima, pločastim i slojevitim vapnencima te pjeskovitim dolomitima. U središnjem dijelu profila nalaze se naslage permske i karbonske starosti, te kvartarne naslage koje završavaju na kontaktu s paleogenim naslagama zastupljenim vapnenačkim brečama i konglomeratima. Perm sadrži leće vapnenaca, dolomita, petromiktne i kvarcne konglomerata, dok je karbon zastupljen pješčenjacima. Profil 5–5' u sjeveroistočnom dijelu sadrži kredne naslage predstavljene vapnenačkim brečama, bioakumuliranim vapnencima i kalkarenitima blagog nagiba slojeva.



**Slika 4-12.** Digitalizirani Profil 5–5' u području središnjeg dijela Velebita.

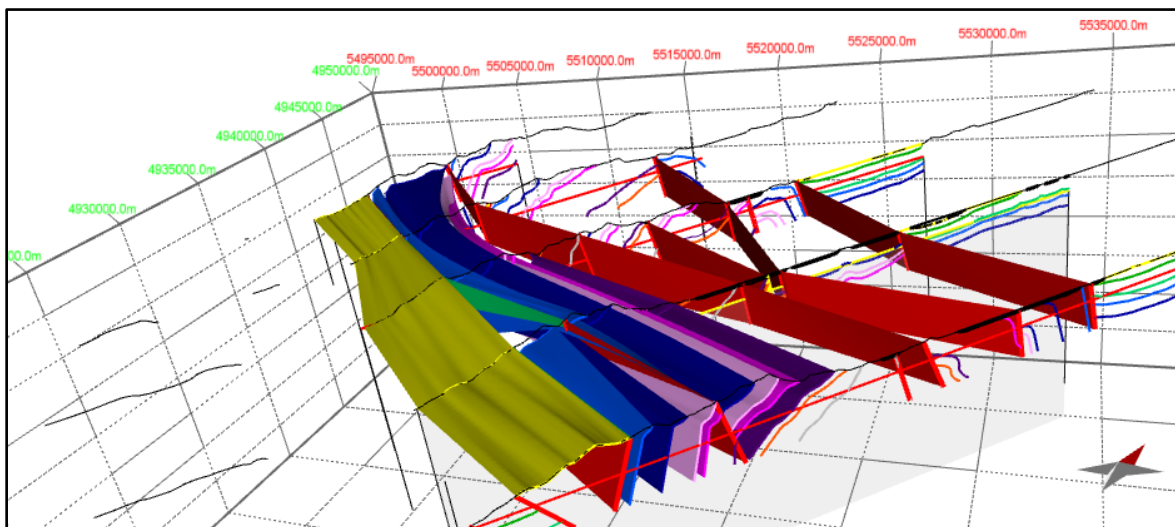
#### 4.4. Izrada 3D modela geološke građe podzemlja

Nakon izrade pet poprečnih profila započela je izrada 3D modela. Za postojeće rasjede uočene na profilima konstruirane su rasjedne plohe, te granice između jedinica. Funkcija *Surface* služi za izradu površina. Za izradu modela korištene su dvije metode. Prilikom izrade rasjednih ploha korištena je metoda *Linear*, a za granične površine jedinica korištena je metoda *Spline Curves*. Linearna metoda izrade površina daje preciznije rezultate jer generirane površine prolaze točno kroz digitalizirane rasjede na profilima, međutim problem je što površine mogu izgledati neprirodno. Metoda *Spline Curves* omogućuje aproksimaciju te dobivene površine izglađuje, zbog čega izgledaju prirodnije ali su i manje precizno generirane. Prvi korak pri izradi modela bilo je generiranje rasjednih ploha na karti (Slika 4-13). One su izrađene prije radi lakše preglednosti modela, tj. da bi kasnije bilo lakše odabrati istovrsne granice kronostratigrafskih jedinica na profilima. Generiranje je u ovom slučaju počelo od Profila 1–1' pa prema južnim profilima, iako je svejedno iz kojeg se smjera kreće.



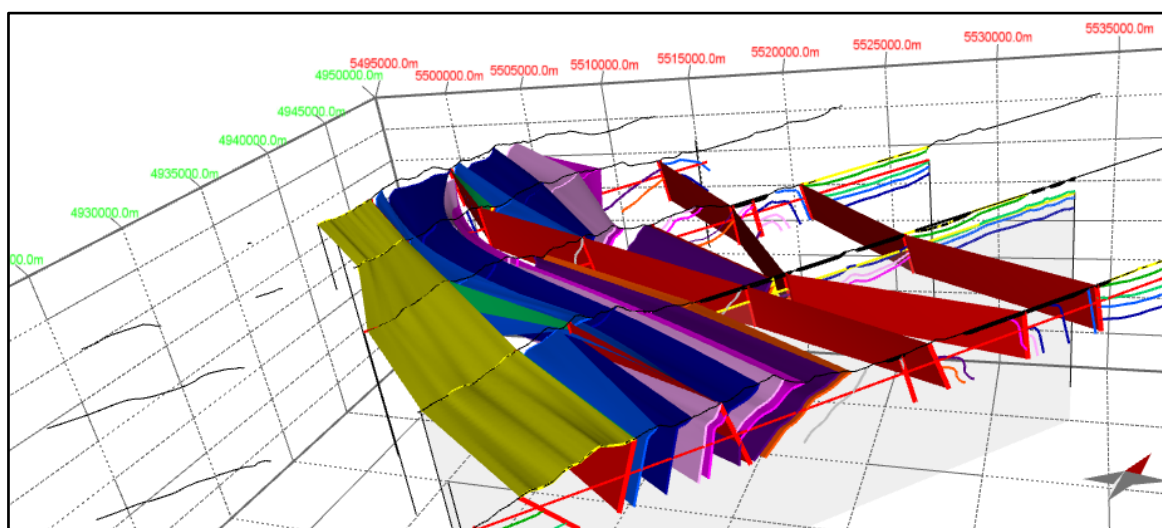
Slika 4-13. Rasjedne plohe generirane funkcijom *Surface*.

Nakon rasjednih ploha sljedeći korak bio je generiranje graničnih površina jedinica. Također radi lakšeg pregleda su generirane od najsjevernijeg profila prema južnijima, te od dubljih jedinica prema plićima. Prvo su generirane geološke granice jedinica na jugozapadnim dijelovima svakog profila (Slika 4-14).

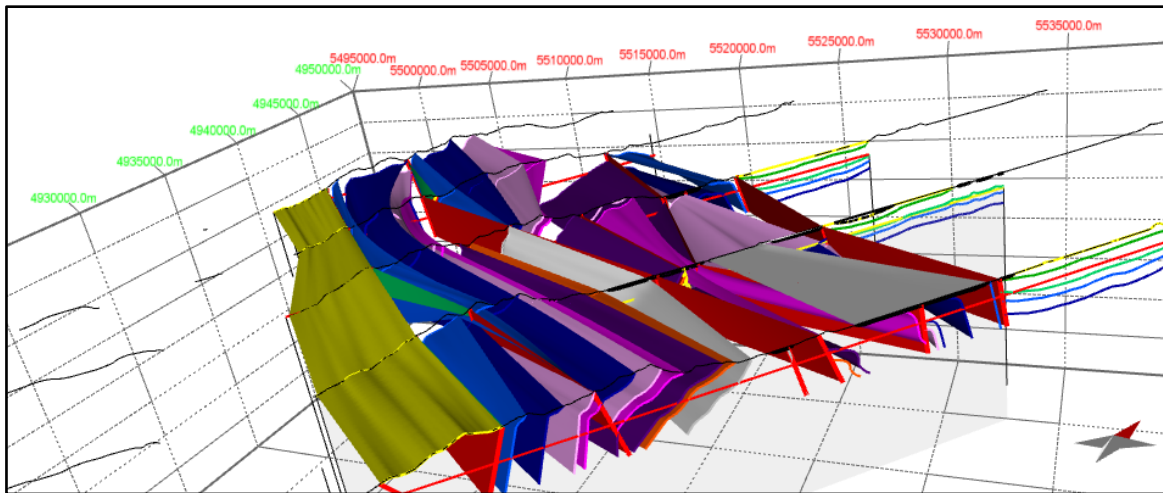


**Slika 4-14.** Granične površine jedinica generirane na jugozapadnom dijelu istraživanog područja.

Nastavljeno je generiranjem granica od jugozapada profila u smjeru sjeveroistoka (Slika 4-15).

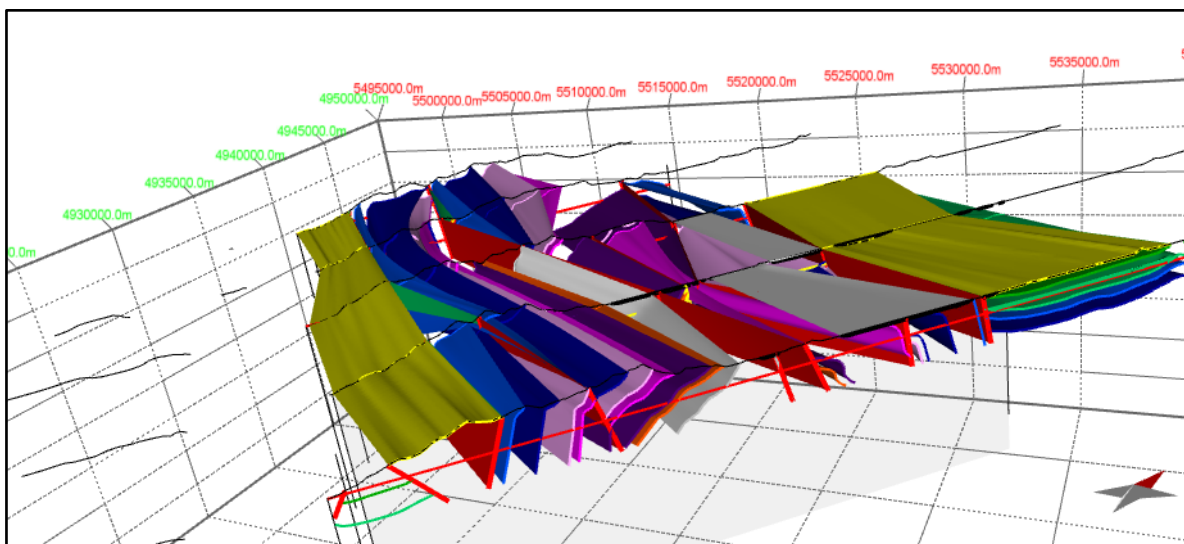


**Slika 4-15.** Granične površine jedinica generirane na jugozapadnom i središnjem dijelu istraživanog područja.

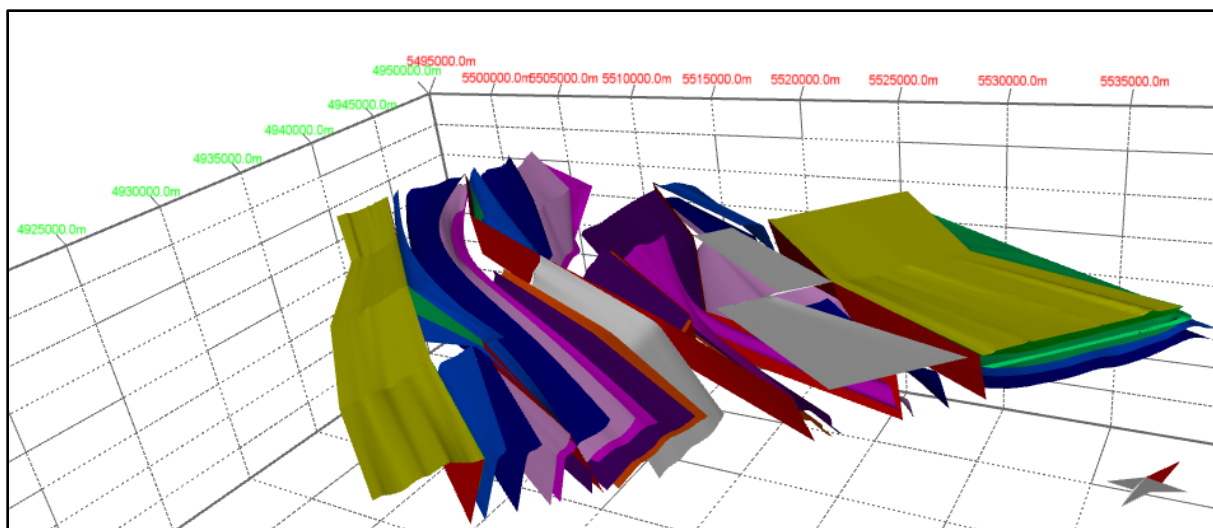


**Slika 4-16.** Nastavak generiranja graničnih površina jedinica prema sjeveroistočnijim dijelovima geoloških profila.

Za kraj su generirane granične površine jedinica na sjeveroistočnim profila (Slika 4-17), te je dobiven 3D model podzemlja promatranog područja (Slika 4-18).



**Slika 4-17.** Završetak generiranja graničnih površina jedinica.



**Slika 4-18.** 3D model podzemlja središnjeg dijela Velebita.

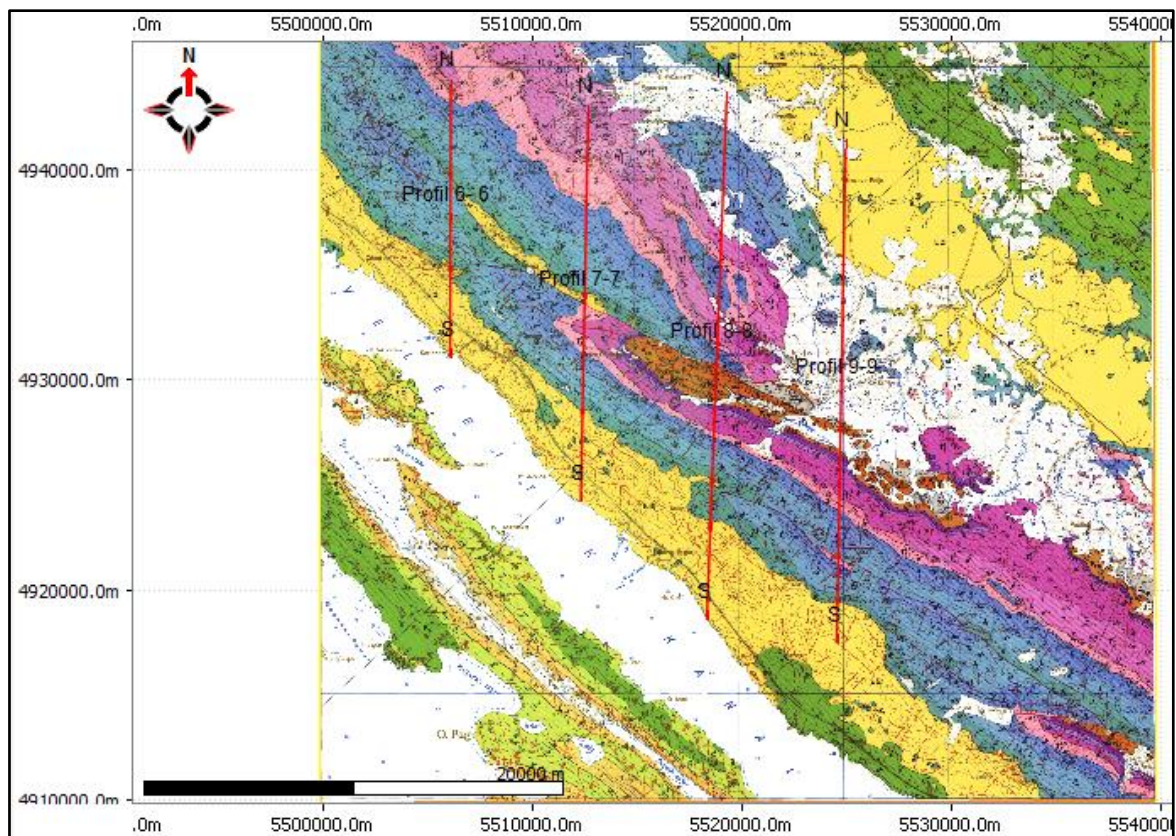
#### **4.5. Izrada uzdužnih i dijagonalnih profila korištenjem 3D modela podzemlja središnjeg dijela Velebita.**

3D model podzemlja osim lakše vizualizacije podzemnih struktura omogućuje i korištenje niza naprednih opcija računalnog programa Move. Njegovim presijecanjem mogu se automatski izraditi geološki profili. Pomoću toga napravljena su četiri dijagonalna i tri uzdužna profila.

##### **4.5.1. Dijagonalni profili**

Pomoću 3D modela na promatranom području generirana su četiri dijagonalna profila: Profil 6–6', Profil 7–7', Profil 8–8' i Profil 9–9' (Slika 4-19). Profili su približno paralelni, pružanja otprilike sjever–jug.

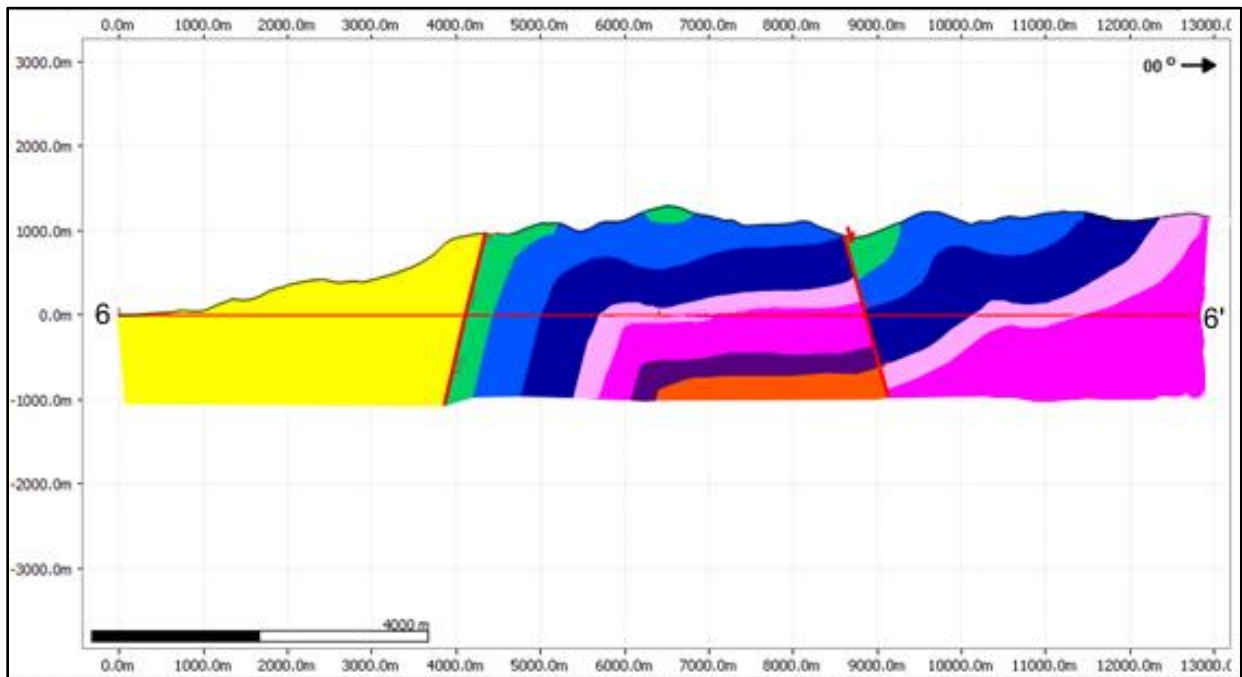




Slika 4-19. Dijagonalni profili na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.1.1. Profil 6–6'

Profil 6–6' najzapadniji je dijagonalni profil (Slika 4-22), a pruža se sjever–jug (pod azimutom od 0°). Proteže se od Javornika do Karlobaga, uglavnom su na njemu slojevi strmi sa smjerom nagiba prema jugozapadu. Na profilu se nalaze dva normalna rasjeda velikog pružanja koji se protežu duž cijelog istraživanog područja, pružanja sjeverozapad–jugoistok. Na južnom dijelu nalaze se paleogenske Velebitske breče koje su u rasjednom kontaktu s vapnencima i dolomitiziranim vapnencima gornje jure. Na površini profila prema sjeveru zatim slijede naslage vapnenaca s ulošcima dolomita srednjojurske starosti te mrljasti i litiotis vapnenaci donjojurske starosti, uz pojavu male sinklinale u čijoj se jezgri nalaze vapnenci i dolomitizirani vapnenci gornje jure. Nakon rasjednog kontakta na središnjem dijelu profila stratigrafski slijed se ponavlja sve do sjevernog dijela profila, koji završava u naslagama dolomitiziranih vapnenaca i dolomita gornjojurske starosti.

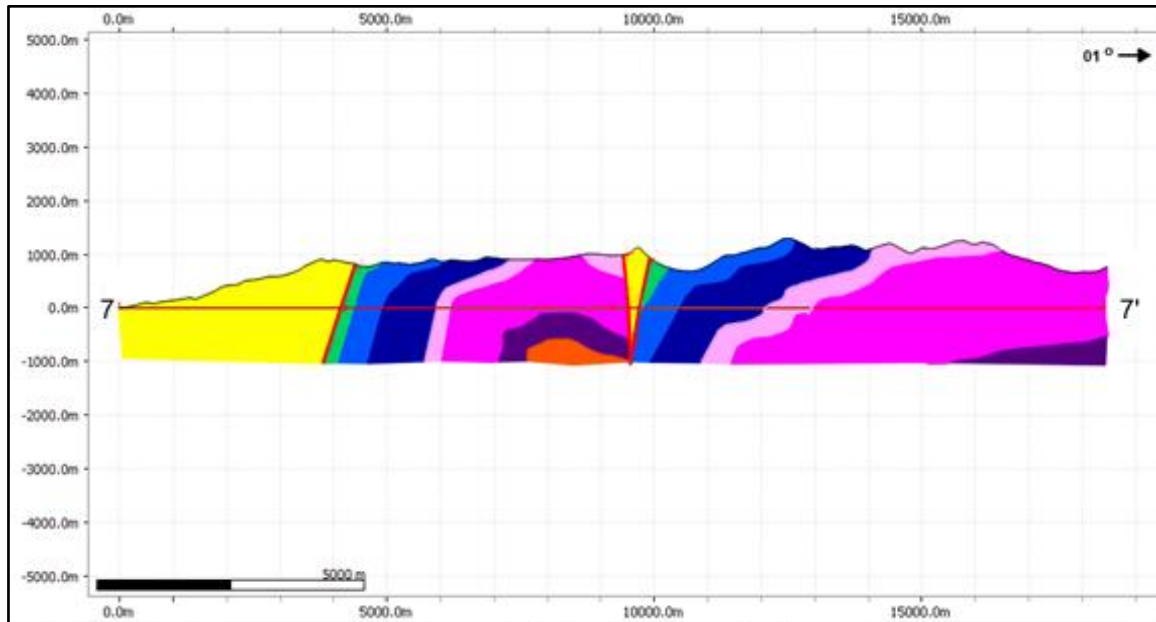


**Slika 4-20.** Generirani dijagonalni Profil 6–6' na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.1.2. Profil 7–7'

Profil 7–7' (Slika 4-21) pružanja je sjever–jug pod azimutom od 1°. Proteže se od Jovanović Drage do Uzelaca. Slojevi su uglavnom blago nagnuti uz nekoliko strmijih, a smjer nagiba je prema istoku i jugozapadu. Na profilu se nalaze tri normalna, strma do vertikalna rasjeda, od kojih se dva većeg pružanja protežu duž cijelog istraživanog područja, a jedan rasjed manjeg pružanja se nastavlja na njih. Rasjedi su pružanja sjeverozapad–jugoistok. Geološka građa Profila 7–7' slična je geološkoj građi Profila 6–6'. Na južnom dijelu profila nalaze se paleogenske Velebitske breče koje su u rasjednom kontaktu s naslagama vapnenaca i dolomitiziranih vapnenaca gornje jure. Na površini profila nakon naslaga gornje jure slijede vapnenci s ulošcima dolomita srednje jure i mrljasti i litiotis vapnenci donje jure. Niz se nastavlja blaže nagnutim naslagama gornjeg i srednjeg trijasa. Gornji trijas sadrži dolomitizirane vapnence i dolomite, a srednji trijas tufove, tufite, pločaste i slojevite vapnence. Trijaskе naslage na ovom dijelu profila izgrađuju antiklinalu. Nakon rasjednog

kontakta prema sjevernom dijelu profila ponavlja se slijed jurskih i trijaskih naslaga koje su blažeg nagiba.

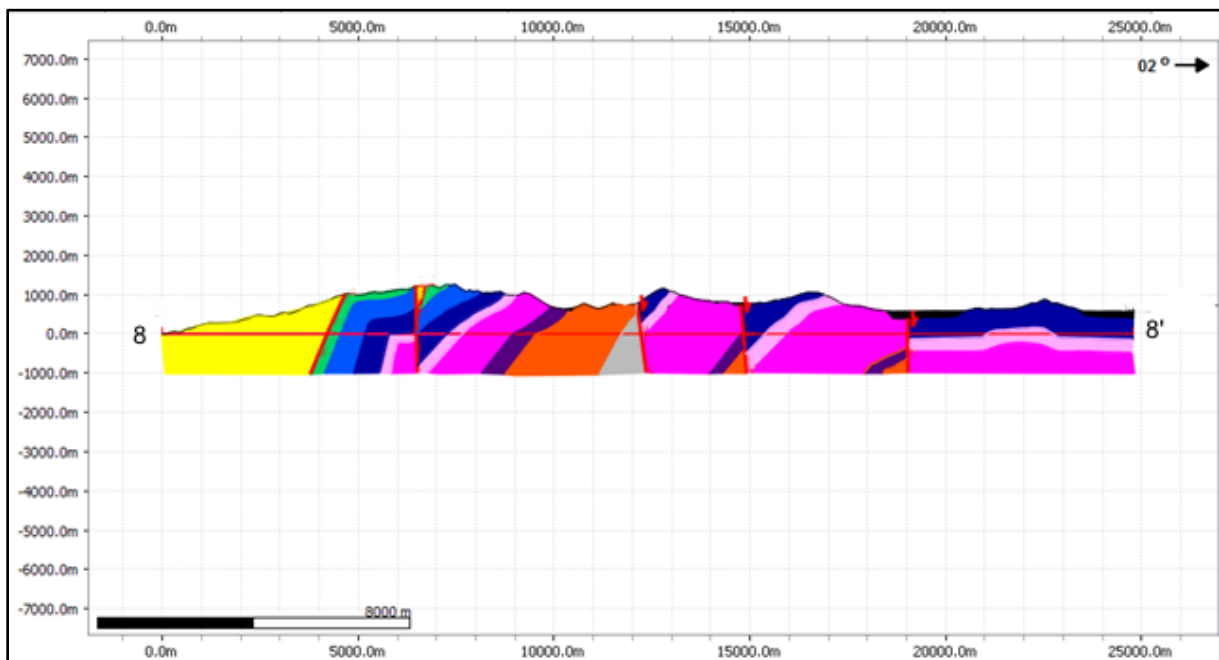


**Slika 4-21.** Generirani dijagonalni Profil 7–7' na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.1.3. Profil 8–8'

Profil 8–8' (Slika 4-20) pruža se približno sjever–jug (pod azimutom od 2°). Proteže se od Gornjeg Pazarišta do Šugarja. Slojevi su strmi do blago nagnuti a smjer nagiba slojeva je najčešće prema jugozapadu uz par iznimaka nagiba prema sjeveroistoku. Na profilu se nalaze četiri normalna, strma do vertikalna rasjeda, dva koji se protežu duž cijelog istraživanog područja te dva manjeg pružanja koji se nalaze na sjevernom dijelu područja. Rasjedi su pružanja sjeverozapad–jugoistok. Na južnom dijelu profila nalaze se paleogenske breče koje su u rasjednom kontaktu s vapnencima i dolomitiziranim vapnencima gornjojurske starosti. Na površini profila nakon naslaga gornje jure slijede naslage srednje i donje jure – masivni vapnenci s ulošcima dolomita srednje jure te mrljasti i litiotis vapnenci uz izmjenu vapnenaca i dolomita donje jure. Prema sjeveru slijede blaže nagnute naslage trijaskе starosti, u kojima prevladavaju dolomitizirani vapnenci, tufovi, tufiti, pločasti i slojeviti vapnenci. U središnjem dijelu profila nalaze se permske naslage zastupljene dolomitima i lećama vapnenaca. Nakon rasjednog kontakta ponavljaju se naslage jurske i trijaskе starosti. Na sjevernom dijelu nalaze

se blago nagnuti slojevi litiotis vapnenaca i mrljastih vapnenaca donjojurske starosti, koje su u kontaktu s kvartarnim naslagama.

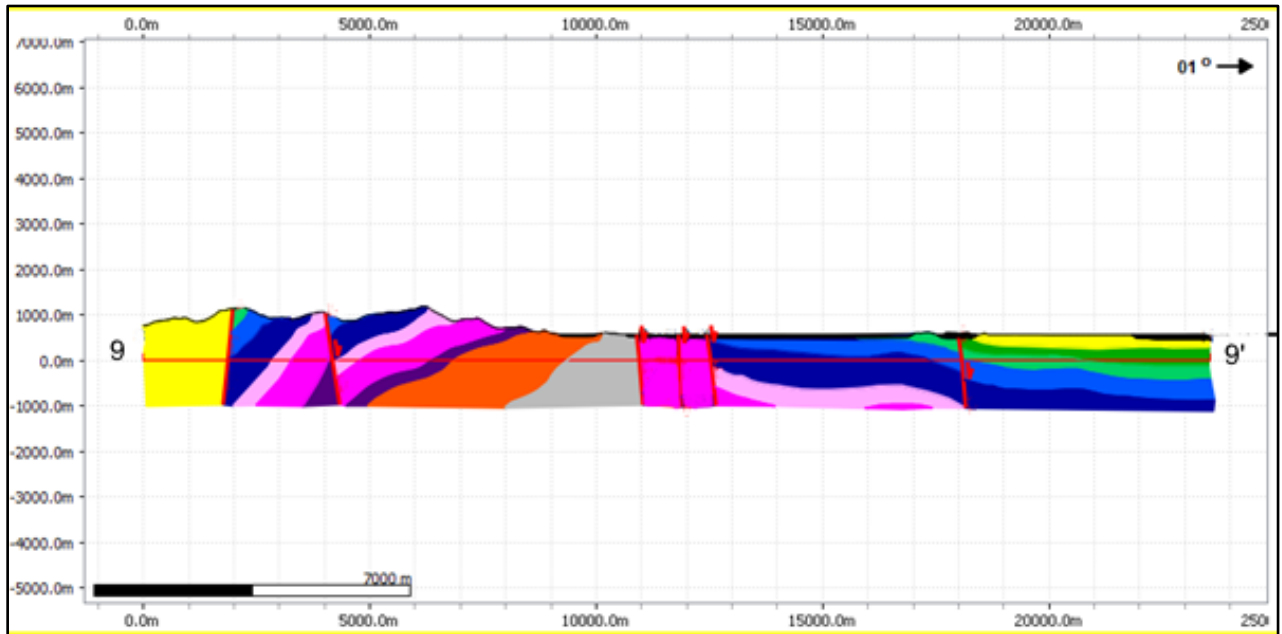


**Slika 4-22.** Generirani dijagonalni Profil 8–8' na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.1.4. Profil 9–9'

Profil 9–9' najistočniji je dijagonalni profil (Slika 4-23), a pruža se pod azimutom od 1°. Proteže se od Brezovog polja do Marasa, sa strmim do blago nagnutim slojevima prema jugozapadu, zapadu i istoku. Na profilu se nalazi šest normalnih rasjeda, dva značajnija se protežu duž cijelog istraživanog područja, te četiri pružanjem manja rasjeda od kojih se tri nalaze na središnjem dijelu karte te jedan koji se nalazi na južnom dijelu. Rasjedi imaju pružanje sjeverozapad–jugoistok. Profil 9–9' sadrži sve stratigrafske jedinice utvrđene na istraživanom području, od karbona do kvartara. Južni i sjeverni dio profila obuhvaćaju paleogenske naslage vapnenačkih breča, a nakon rasjednog kontakta slijede naslage jurske starosti strmog nagiba slojeva. Prevladavaju vapnenci i dolomitizirani vapnenci gornje jure, vapnenci s ulošcima dolomita srednje jure te mrljasti i litiotis vapnenci donje jure. Niz se nastavlja naslagama dolomitiziranih vapnenaca gornjeg trijasa koje se nalaze u rasjednom kontaktu s naslagama gornje jure nakon kojih slijedi ponavljanje stratigrafskog slijeda sve do pojave naslaga donjeg trijasa. Donjotrijaske naslage su blagog nagiba a sadrže pjeskovite dolomite i dolomite s proslojcima tinčastih škriljavaca. U središnjem dijelu profila nalaze se

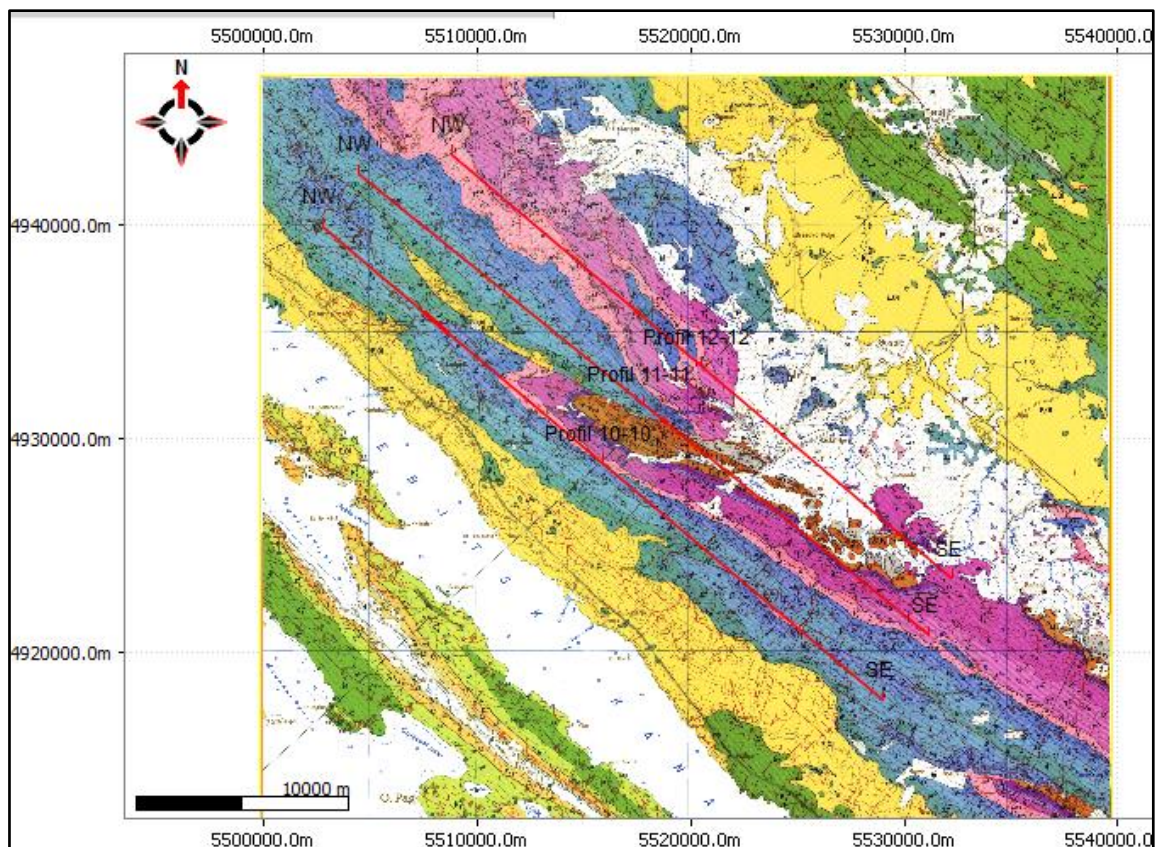
blago nagnute naslage perma i karbona. Perm obuhvaća kvarcne konglomerate, dolomite i leće vapnenaca, a karbon obuhvaća pješčenjake i glinene škriljavce. Kvartarne naslage zastupljene su na velikoj površini središnjeg i sjevernog dijela profila a u kontaktu su s jurskim i eocenskim naslagama koje su blago nagnute. Na kraju profila pretpostavljeno je da se u podzemlju nalaze kredne naslage bioakumuliranih vapnenaca i kalkarenita.



**Slika 4-23.** Generirani dijagonalni Profil 9–9' na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.2. Uzdužni profili

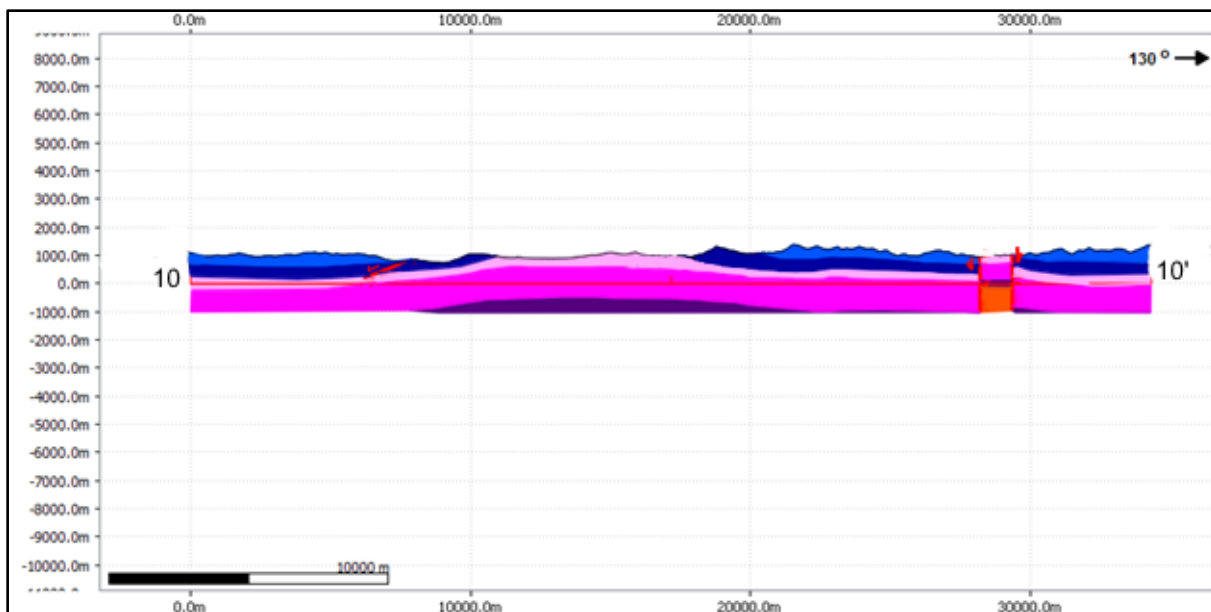
Nakon dijagonalnih profila, pomoću 3D modela na promatranom području generirana su tri uzdužna profila, Profil 10–10', Profil 11–11', Profil 12–12' (Slika 4-24). Približno su paralelni te imaju pružanje sjeverozapad–jugoistok.



**Slika 4-24.** Uzdužni profili na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.2.1. Profil 10–10'

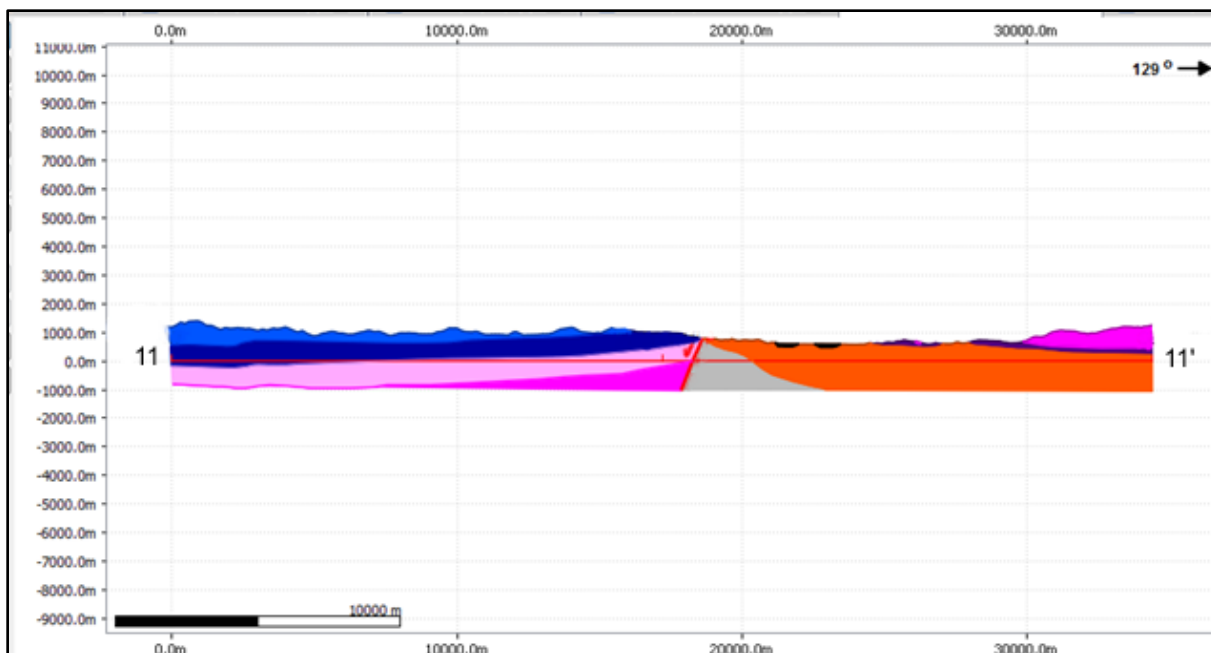
Profil 10–10' najjugozapadniji je uzdužni profil (Slika 4-25), a pruža se sjeverozapad–jugoistok pod azimutom od  $130^\circ$ . Proteže se od Radlovca do Kozjaka, s blago nagnutim slojevima smjera nagiba prema zapadu i jugozapadu. Na profilu se nalaze dva normalna rasjeda, manjeg pružanja, od kojih je jedan razmjerno blago nagnut, a drugi strm do približno vertikalno. Pružanjem manji rasjed se nalazi na sjeverozapadnom dijelu karte a pruža se zapad–istok. Pružanjem veći rasjed se nalazi na jugoistočnom dijelu i pruža se sjeverozapad–jugoistok. Na sjeverozapadnom dijelu profila nalaze se vapnenci s ulošcima dolomita srednje jure, te mrljasti vapnenci, litotis vapnenci i izmjena vapnenaca i dolomita donjojurske starosti. U središnjem dijelu zastupljene su naslage gornjeg trijasa u obliku dolomitiziranih vapnenaca i dolomita nakon kojih slijede ponovo naslage donje i srednje jure koje se protežu prema jugoistoku sve do kraja profila.



**Slika 4-25.** Generirani uzdužni Profil 10–10' na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.2.2. Profil 11–11'

Profil 11–11' središnji je uzdužni profil (Slika 4-27), a pruža se sjeverozapad–jugoistok pod azimutom od 129°. Proteže se od Lisca do Visočice, a slojevi su blago nagnuti sa smjerom nagiba prema jugu i jugozapadu. Na profilu se nalazi jedan normalni strmi do vertikalni rasjed velikog pružanja, koji se proteže duž cijelog promatranog područja, a orijentiran je sjeverozapad–jugoistok. Na sjeverozapadnom dijelu profila nalaze se naslage donje i srednje jure koje su blagog nagiba. Srednja jura sadrži vapnence s ulošcima dolomita, dok donja jura sadrži mrljaste vapnence, litiotis vapnence te vapnence i dolomite u izmjeni. Nakon rasjednog kontakta zastupljene su permske naslage izgrađene od kvarcnih konglomerata i dolomita s lećama vapnenca, također pod blagim nagibom. Profil 11–11' završava u naslagama donjeg i srednjeg trijasa, koje su izgrađene od dolomita s proslojcima škriljavaca i pjeskovitih dolomita donjeg trijasa, te tufova i slojevitih vapnenaca srednjeg trijasa.

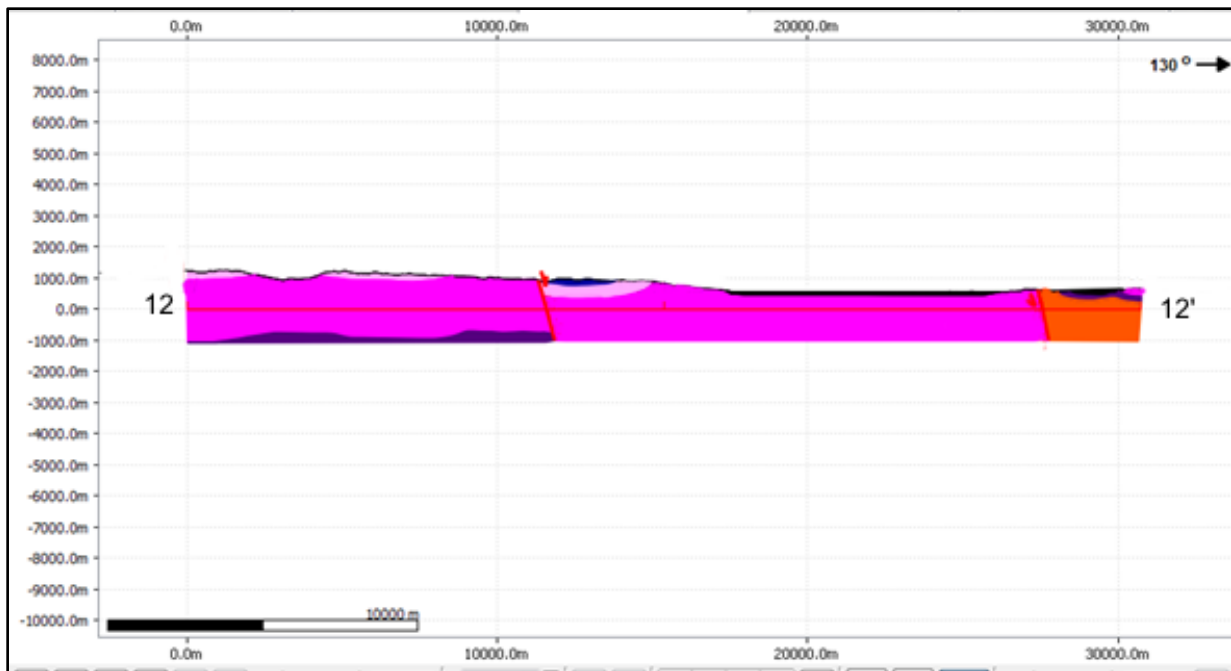


**Slika 4-26.** Generirani uzdužni Profil 11–11' na području središnjeg dijela Velebita.

#### 4.5.2.3. Profil 12–12'

Profil 12–12' najsjeveroistočniji je uzdužni profil (Slika 4-26) a pruža se sjeverozapad–jugoistok pod azimutom od 130°. Proteže se od Debeljaka do Gradine, a slojevi su su blago nagnuti sa smjerom nagiba prema zapadu i jugozapadu. Na profilu se nalaze dva normalna, strma do vertikalna rasjeda. Pružajem veći rasjed se proteže duž cijelog promatranog područja, dok se drugi nalazi samo na središnjem dijelu karte. Rasjedi su pružanja sjeverozapad–jugoistok. Profil 12–12' u najvećem dijelu sadrži tufove, tufite, uloške pločastih vapnenaca i slojevitih vapnenaca srednjojurske starosti. Na sjeverozapadnom dijelu profila nalaze se gornjojurske naslage blagog nagiba koje obuhvaćaju dolomitizirane vapnence i dolomite. Na središnjem dijelu nakon rasjednog kontakta nalaze se prostorno ograničene naslage mrljastih vapnenaca i litiotis vapnenaca donjojurske starosti. Na jugoistočnom dijelu profil završava u pješčenjacima, lećama vapnenaca te dolomitima permske starosti. Na profilu se u jugoistočnom dijelu nalaze i tanke kvartarne naslage koje leže na trijaskima.





**Slika 4-27.** Generirani uzdužni Profil 12–12' na području središnjeg dijela Velebita.

## 5. RASPRAVA

U programu Move izrađeno je ukupno dvanaest geoloških profila te je dobiven 3D model podzemlja središnjeg dijela Velebita. Dobiveni profili omogućuju usporedbu s profilima preuzetim s Osnovne geološke karte SFRJ lista Gospić (SOKAČ et al., 1974).

OGK lista Gospić (SOKAČ et al., 1974) sadrži tri geološka profila. Uspoređivanjem profila s OGK i profila izrađenih ručno koji su kasnije digitalizirani uočeno je nekoliko važnijih razlika. Na profilima preuzetim s OGK, eocenske Velebitske breče su prikazane u transgresivnom odnosu s ostalim naslagama te su predočene kao slojevi tanke debljine iako im debljina u tumaču Osnovne geološke karte SFRJ za list Gospić nije definirana. Također je i nagib tih slojeva na padinama Velebita prikazan kao vrlo blag. Profili s OGK sadrže veći broj rasjeda manjeg skoka, koji su pretpostavljeni ili utvrđeni unutar istih stratigrafskih jedinica, a zanemareni su na digitaliziranim profilima.

Na digitaliziranim profilima su naslage Velebitskih ili Jelarskih breča odvojene od ostalih naslaga strmim rasjedima. Debljina također nije definirana pa su na južnim dijelovima (padinama Velebita) digitaliziranih profila eocenske naslage predočene kao debeli paket naslaga dok su na sjevernim dijelovima, koji se nalaze oko Ličkog polja, pretpostavljene debljine naslaga znatno manje, kao što su i na profilima OGK.

Prilikom automatskog generiranja dijagonalnih profila neke debljine slojeva stratigrafskih jedinica na generiranim profilima se nisu poklapale s debljinama slojeva stratigrafskih jedinica definiranim na OGK lista Gospić. U nekoliko slučajeva je dobivena puno veća debljina slojeva nego što je trebala biti. Razlike u debljinama kasnije su izmijenjene i popravljene.

Profil A–B najsjeverniji je profil preuzet s OGK lista Gospić i vrlo je sličan digitaliziranom Profilu 1–1'. Istog je pružanja sjeverozapad–jugoistok ali pod različitim azimutima s vrlo sličnim odnosima stratigrafskih jedinica. Sadrži niz manjih rasjeda koji su zanemareni na Profilu 1–1'.

Profil C–D najduži je profil na promatranom području a uz središnji dio Velebita obuhvaća i otok Pag te dio Ličkog polja koji nisu obuhvaćeni ovim radom. Različitog su azimuta a pružanje im je sjeveroistok–jugozapad. Sadrže iste stratigrafske jedinice čiji su slojevi istog nagiba i debljine. Razlika na profilima je u granicama između naslaga breča eocenske starosti: na Profilu C–D s OGK granica je prikazana kao transgresivna dok je na Profilu 3–3' prikazana rasjedom. Također, debljina eocenskih breča različita je na oba profila.

Profil E–F najjužniji je profil na OGK te približno odgovara digitaliziranom Profilu 5–5'. Razlika je u položaju eocenskih naslaga na južnom dijelu profila, prije svega u njihovim granicama te u debljini i nagibu. Nagib ostalih slojeva stratigrafskih jedinica i njihovo pružanje približno je podjednako u oba profila, a sadržaj jedinica je identičan za oba profila.

Izrada 3D modela podzemlja u računalnom programu Move je vrlo jednostavna nakon digitalizacije profila, što olakšava interpretaciju geoloških struktura u podzemlju. 3D model prilikom intepretacije struktura štedi vrijeme i pruža mogućnosti koje nisu moguće kod ručne izrade geoloških profila. Model omogućava bolju vizualizaciju promatranog podzemlja te automatsku izradu geoloških profila. Izrada profila na temelju 3D modela vrlo je brza a profili mogu biti postavljeni po potrebi bilo gdje i pod željenim azimutom. Interpretacija 3D modela

osim za geološko kartiranje može se primijeniti i kod istraživanja ležišta nafte ili vode, istraživanja ležišta mineralnih sirovina, za ekološke projekte i sl.

## 6. ZAKLJUČAK

U području središnjeg dijela Velebita je na temelju Osnovne geološke karte SFRJ lista Gospić (SOKAČ et al., 1974) utvrđeno deset značajnijih normalnih rasjeda koji variraju po veličini i nagibu. Pružanje im je većinom sjeverozapad–jugoistok osim dva koji se pružaju zapad–istok. Na istraživanom području je izdvojeno ukupno dvanaest kronostratigrafskih jedinica stratigrafskog raspona karbona do kvartara. Pružanje granica kronostratigrafskih jedinica je uglavnom dinaridsko, sjeverozapad–jugoistok, kao i pružanje većine spomenutih rasjeda. Nagib slojeva je najčešće prema jugozapadu, a manjim dijelom prema sjeveroistoku. Postoje dvije glavne strukturne jedinice: Ličko sredogorje i Velebit, te geotektonska jedinica Istra–Dalmacija. Treba naglasiti da području geotektonske jedinice Istra–Dalmacija pripada samo otok Pag koji nije bio dio istraživanja u ovom diplomskom radu.

Najvažniji izvor informacija o istraživanom području bila je OGK list Gospić (SOKAČ et al., 1974). Ručno napravljeni poprečni profili 1–5 predstavljali su bazu za izradu 3D modela područja te za daljnje automatsko generiranje geoloških profila. Prilikom digitalizacije profila došlo je do manjih izmjena zbog razlika u reljefu kreiranom pomoću digitalnog modela visine u odnosu na reljef dobiven ručnom izradom profila iz OGK. Manje su izmjene obavljene i zbog drugačije interpretacije granica pojedinih jedinica.

Nakon digitalizacije profila uslijedila je izrada 3D modela istraživanog područja. Model podzemlja je dobiven digitaliziranjem granica geoloških jedinica na profilima. Dobiveni 3D model omogućuje automatsku izradu novih profila te su na temelju njega napravljena tri uzdužna te četiri dijagonalna profila.

Cilj rada bio je prikazati geološke strukture pomoću karte, geoloških profila i pomoću 3D modela podzemlja, te usporediti rad u aplikaciji Move s ručnom izradom profila i 3D modela. Rad u aplikaciji Move omogućuje bolji pregled struktura, olakšava interpretaciju i analizu, a moguća je i automatska izrada profila presijecanjem 3D modela. Zbog svih tih razloga rad je znatno brži i efikasniji od ručne izrade geoloških profila. Računalni programi kao što je Move predstavljaju budućnost rada u geološkom kartiranju, prije svega u izradi i interpretaciji geološke građe podzemlja.

## 7. LITERATURA

- Bahun, S. (1963): Geološki odnosi okolice Donjeg Pazarišta u Lici (trijas i tercijarne Jelar naslage).– Geološki vjesnik, 16, 161–170.
- Bahun, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar naslaga.– Geološki vjesnik, 27, 35–51.
- Herak, M. & Bahun, S. (1979): Uloga vapnenačkih breča u tektonskoj interpretaciji zone visokog krša u Dinaridima.– Geološki vjesnik, 31, 49–59.
- Sokač, B., Nikler, I., Velić, I. & Mamužić, P. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. List Gospić L 33–127.– Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- Sokač, B., Ščavničar, B. & Velić, I. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Gospić K 33–127.– Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd. 54 str.
- Tari-Kovačić, V. & Mrinjek, E. (1994): The role of Paleogene clastics in the tectonic interpretation of northern Dalmatia (southern Croatia).– *Geologia Croatica* 47/1, 127–138.
- Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I. & Matičec, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: palaeogeography, main events and depositional dynamics.– *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 330–360.
- Vlahović, I., Mandić, O., Mrinjek, E., Bergant, S., Cosović, V., De Leeuw, A., Enos, P., Hrvatović, H., Matičec, D., Mikša, G., Nemeč, W., Pavelić, D., Pencinger, V., Velić, I. & Vranjković, A. (2012): Marine to continental deposition systems of Outer Dinarides foreland and intra-montane basins (Eocene-Miocene, Croatia and Bosnia and Herzegovina).– *Field Trip Guide, 29th IAS Meeting of Sedimentology, Schladming/ Austria*, 405–470.