

# Računalno 3D modeliranje geološke građe okolice Drniša

---

**Novak, Laura**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:436612>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-31**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Laura Novak

**Računalno 3D modeliranje geološke građe okolice  
Drniša**

Seminar III

Voditelj:  
Doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Zagreb, 2022.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

## RAČUNALNO 3D MODELIRANJE GEOLOŠKE GRAĐE OKOLICE DRNIŠA

**Laura Novak**

**Rad je izrađen:** Geološko-paleontološki zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb

**Sažetak:** Cilj ovog rada bio je, kroz izradu računalnog 3D modela kompleksne strukturne geološke građe okolice Drniša, objasniti rad u softveru *MOVE*. Model je izrađen u četiri koraka: unos podataka, vektoriziranje položaja slojeva i geoloških granica, konstrukcija i digitalizacija profila te na kraju spajanje profila i izrada 3D prikaza. Dobiveni model prikazuje dio rasjeda Split-Karlovac koji odjeljuje regionalnu tektonsku jedinicu Visokog krša na dvije podjedinice odnosno Donji visoki krš i Gornji visoki krš. Na njihovom kontaktu nalazi se kao dekolmanski horizont naslaga evaporita koja je dijapirskim kretanjama aktivirala njihovo navlačenje i time izmijenila tektonski režim duž južnog dijela rasjeda.

**Ključne riječi:** 3D modeliranje, Visoki krš, evaporiti, rasjed Split-Karlovac

**Rad sadrži:** 27 stranica, 17 slika, 0 tablica, 13 literaturnih navoda, 0 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

**Mentor:** doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Katarina Gobo, mr. sc. Dražen Kurtanjek, doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

**Datum završnog ispita:** 22. rujna 2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Seminar III

## GEOLOGICAL 3D MODELING OF DRNIŠ AREA

**Laura Novak**

**Thesis completed in:** Division of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb

**Abstract:** The aim of this study was to explain how to use software MOVE through 3D modeling of the complex geological structure of the Drniš area. The model was made in four steps: data input, vectorization of layers and geological boundaries, construction and digitalization of cross-sections and finally combining sections and making the 3D model. The model is a representation of the southern part of the Split-Karlovac fault that dissects the regional tectonic unit of High Karst into two subunits called Upper High Karst and Lower High Karst. The contact between these two subunits is marked by a decollement horizon generated by evaporite diapirs, which caused the activation of the tectonic regime along the southern part of the Split-Karlovac fault.

**Keywords:** 3D modeling, High Karst, evaporites, Split-Karlovac fault

**Seminar contains:** 27 pages, 17 figures, 0 tables, 13 references, and 0 plates

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science

**Supervisor:** doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

**Reviewers:** doc. dr. sc. Katarina Gobo, mr. sc. Dražen Kurtanjek, doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

**Date of the final exam:** September 22, 2022

## Sadržaj

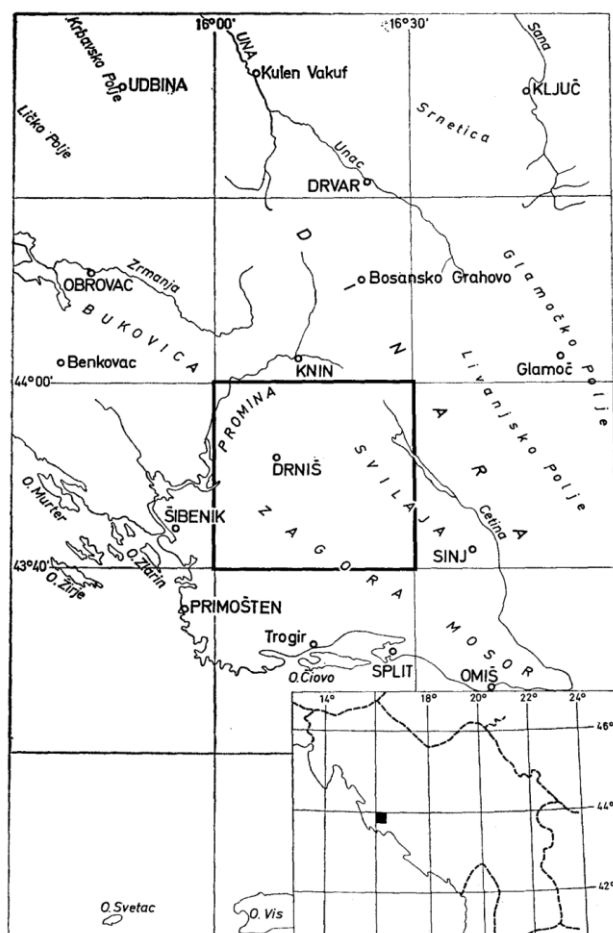
1.	Uvod.....	2
2.	Geografski i geološki smještaj.....	3
3.	Strukturni sklop rasjedne zone Split-Karlovac.....	5
4.	Pregled dosadašnjih geoloških istraživanja.....	8
5.	Korišteni materijali.....	11
6.	Metode istraživanja.....	12
6.1.	Unos podataka.....	12
6.2.	Vektoriziranje položaja slojeva i geoloških granica.....	12
6.3.	Konstrukcija i digitalizacija profila.....	14
6.4.	Spajanje profila i konstrukcija 3D prikaza.....	17
7.	Rezultati.....	19
8.	Uloga evaporita u deformacijskim događajima rasjeda Split-Karlovac.....	21
9.	Zaključak.....	24
10.	Literatura.....	25
11.	Popis slika u tekstu.....	27

## 1. Uvod

U ovom seminarskom radu bit će opisan postupak izrade računalnog 3D modela izrađenog korištenjem softvera *MOVE* na temelju prikupljenih podataka geološke građe okolice Drniša. Svrha ovog rada je upoznavanje s radom programa i stvaranje detaljnog računalnog 3D modela koji je upotrebljiv za lakše razumijevanje kompleksnog geološkog područja i provedbu daljnjih istraživanja. Zbog napretka tehnologija te jeftinijeg i lakšeg pristupa podacima kao što su satelitske snimke visoke rezolucije, digitalni modeli terena (DMT) i informacije prikupljene optičkim radarima te uz dostupnost sve naprednijih alata za 3D geološko modeliranje, lako je izraditi takve modele koji su danas neizostavan alat mnogih istraživanja (e.g. PATON et al., 2007). Također, upoznavanje i integracija s digitalnim alatima igra važnu ulogu u procesima učenja jer se u kombinaciji s tradicionalnim načinima učenja, kao što su terensko kartiranje i interpretacija geoloških karata, mogu postići bolje razvijene vještine prostornog razmišljanja.

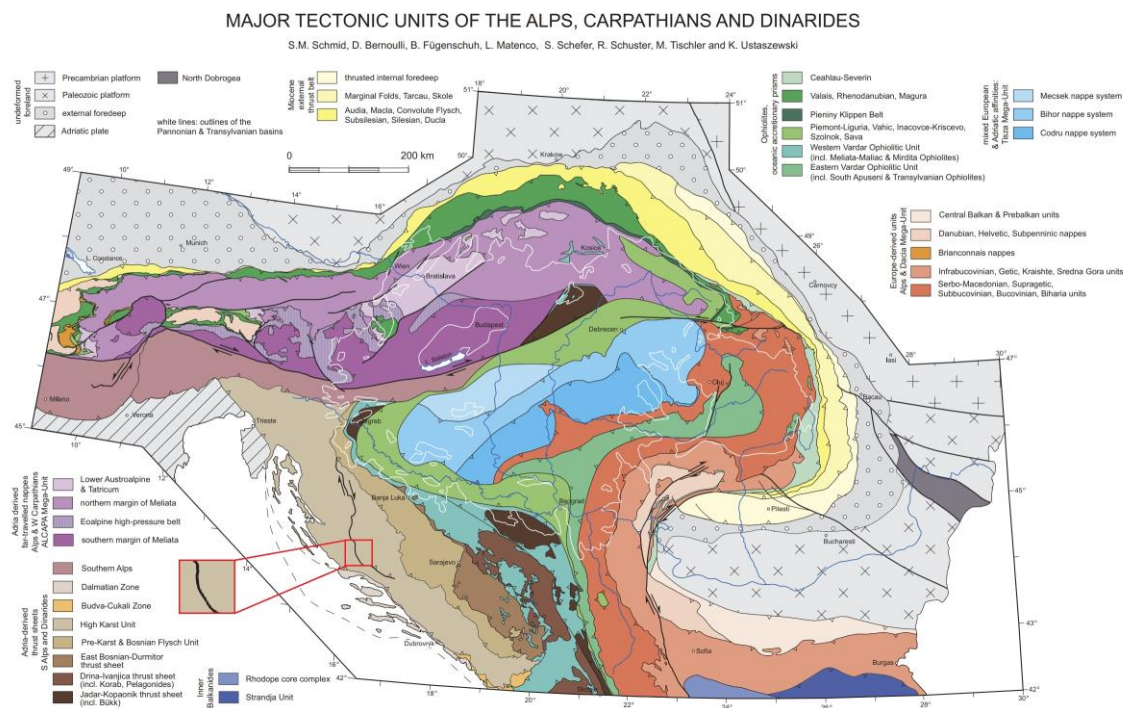
## 2. Geografski i geološki smještaj

Područje lista Drniš (Slika 1) geografski je definirano koordinatama između  $16^{\circ}00'$ - $16^{\circ}30'$  istočne geografske dužine i  $43^{\circ}40'$ - $44^{\circ}00'$  sjeverne geografske širine te u potpunosti pripada teritoriju Republike Hrvatske. Glavne morfološke jedinice pružaju se u smjeru sjeverozapad-jugoistok i odlikuju ih izrazite krške karakteristike (IVANOVIĆ et al., 1978). Kao glavne morfološke jedinice ističu se planina Dinara, na sjeveroistoku lista, ispred koje se nalaze dolina Cetine te planine Svilaja i Kozjak. Idući prema jugu, nastavlja se planina Moseć koja uz navedene planine okružuje Petrovo i Kosovo polje. Sjeverozapadni nastavak Moseća je planina Promina čije padine postupno prelaze u kršku Prominsku zaravan.



Slika 1 Pregledna geografska skica lista Drniš (Izvor: IVANOVIĆ et al., 1978)

Prema SCHMID et al. (2008), Alpsko-karpatko-dinarski orogenetski sustav podijeljen je u osam velikih tektonostratigrafskih grupa od kojih se svaka sastoji od manjih regionalnih tektonskih jedinica. Jedna od grupa su Vanjski Dinaridi izgrađeni od paleo-mezozojskih karbonata jugoistočnog ruba Jadranske karbonatne platforme (AdCP). Oni se izdižu početkom mlađeg eocena kada Jadranska mikroploča i prostor nekadašnje AdCP kolidiraju sa strukturama Euroazije. Jadranska karbonatna platforma predstavlja odijeljeni dio Jadranske mikroploče koji je nastao fragmentiranjem superkontinenta Gondwane. Vanjski Dinaridi podijeljeni su na Dalmatinsku jedinicu, jedinicu Visokog krša i Budva-Cukali jedinicu. Njihovim trošenjem se tijekom paleogena formiraju klastični karbonatni sedimenti koji popunjavaju prostor dinarskog predgorskog bazena. Jedinica Budva-Cukali odvaja vanjsku Dalmatinsku jedinicu od one unutarnje, odnosno Visokog krša. Dalmatinska jedinicu i Visoki krš razdvojeni su navlakom koja može biti praćena sve do okolice Splita gdje postupno prelazi u rasjednu zonu Split-Karlovac. Istraživano područje Drniša nalazi se, u potpunosti, unutar jedinice Visokog krša (Slika 2).

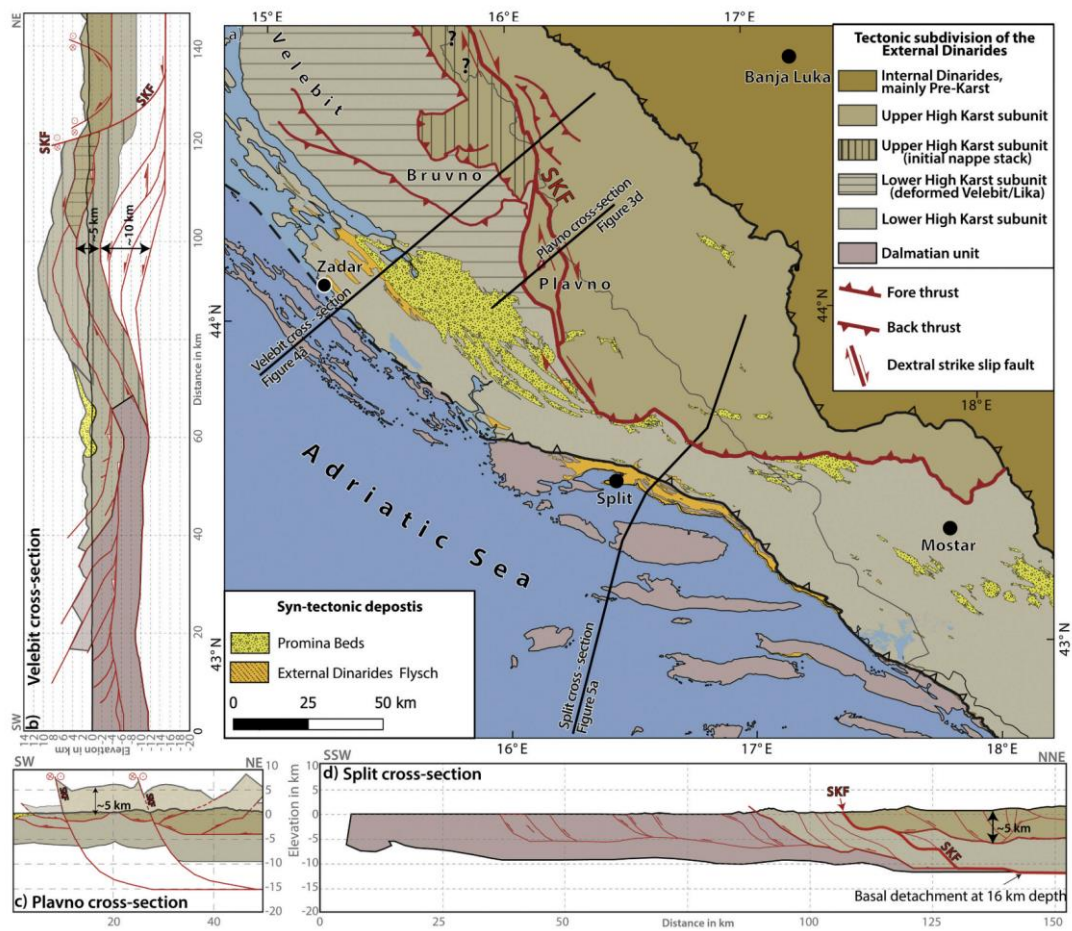


Slika 2 Prikaz tektonskih jedinica Alpsko-karpatko-dinarskog sustava sa područjem istraživanja označenim crvenim kvadratom (Izvor: prilagođeno iz SCHMID et al., 2008)



### 3. Strukturni sklop rasjedne zone Split-Karlovac

Duž cijele jedinice Visokog krša (Slika 3) pruža se preko 350 kilometara dug reversni rasjed čije se pružanje može pratiti sjeverno od Karlovca preko Bihaća pa sve do okolice Splita. Duž rasjeda se izmjenjuju dva navlačna režima (BALLING et. al., 2021), odnosno *thin skinned* tektonika, karakteristična za njegov južni dio, i *thick skinned* tektonika, karakteristična za njegov sjeverni dio. Sjeverni dio rasjeda koji prelazi preko planine Velebit karakteriziraju trokutaste strukture, poznatije kao antiklinala Bruvno načinjene od seta složenih dupleks struktura koje napreduju prema jugozapadu, a formiraju se kao posljedica imbrikacije. Za takve strukture je karakteristično da su sastavljene od naslaga velikih debljina i da generalno nastaju na većim dubinama gdje je utjecaj plastične deformacije i metamorfizma izraženiji. Na njih naliježu starije paleozojske do mezozojske naslage odvojene od paleozojske podine tvoreći *backthrust* strukturu. Ovdje je uočeno skraćenje rasjeda za otprilike 44 km. U centralnom dijelu rasjeda, dolini Plavno, nalazi se tektonsko okno gdje izdanjuje krovina Donjeg visokog krša koja se inače nalazi ispod Gornjeg visokog krša, odnosno izdanjuju gornjokredni karbonati koji su mlađe stijene strukturno niže jedinice. Ovo okno dokazuje da se rasjed Split-Karlovac normalno rasjedao te da se zadebljanje/dupliciranje Visokog krša dogodilo prije formiranja rasjeda. Južni dio rasjeda, sjeverno od Splita, skraćen je za čak 127 km. Skraćenje sjevernog dijela rasjeda odvijalo se uz dva istovremena događaja, prvi je bio lateralni desni pomak zadebljanih trokutastih struktura Bruvna, a drugi taloženje Prominskih naslaga. Velebit je služio kao zaštita od daljnje propagacije deformacije prema jugozapadu. S druge strane, skraćenje se događalo na južnoj strani prema predgorskom bazenu pogađajući donjomiocenske, srednjemiocenske i gornjokredne stijene. Različiti stilovi deformacije duž suprotnih strana rasjeda tokom eo-oligocena rezultat su reaktivacije rasjeda kao posljedica utjecaja evaporitnog kompleksa.



Slika 3 Prikaz poprečnih profila rasjeda Split-Karlovac (Izvor: BALLING et al., 2021)

Cijelom dužinom lista u smjeru sjeverozapad-jugoistok pruža se rasjed Split-Karlovac koji prema BALLING et al. (2021) dijeli list na dvije podjedinice, a to su Gornji visoki krš i Donji visoki krš. Dvije podjedinice se razlikuju ne samo u različitim strukturnim pozicijama, već i stratigrafski. Navlačni kompleks sastoji se od navlaka podjedinice Gornjeg visokog krša navučenih preko navlaka podjedinice Donjeg visokog krša što ujedno ukazuje na kompresijski tektonski režim. Ono što je specifično za dio rasjeda koji prolazi baš ovim listom su površinske pojave permsko-trijaskih evaporita, gipsa i anhidrita te pratećih sedimenata, za koje se smatra da su posljedica dijapirskih kretanja. Oni ujedno čine i sloj koji služi kao glavni horizont razdvajanja dviju navučenih podjedinica, odnosno dekolmanski horizont. Gornji visoki krš smješten je sjeveroistočno od rasjeda Split-Karlovac te se razlikuje od Donjeg visokog krša time što sadrži evaporite koji izbijaju uzduž i blizu rasjeda i čine bazu podjedinice. Razlika je uočena i u debljini gornjojurskih

sedimenata koji ovdje dosežu i do 1500 m debljine, za razliku od Donjeg visokog krša gdje su tanji i dosežu svega 200 m debljine.

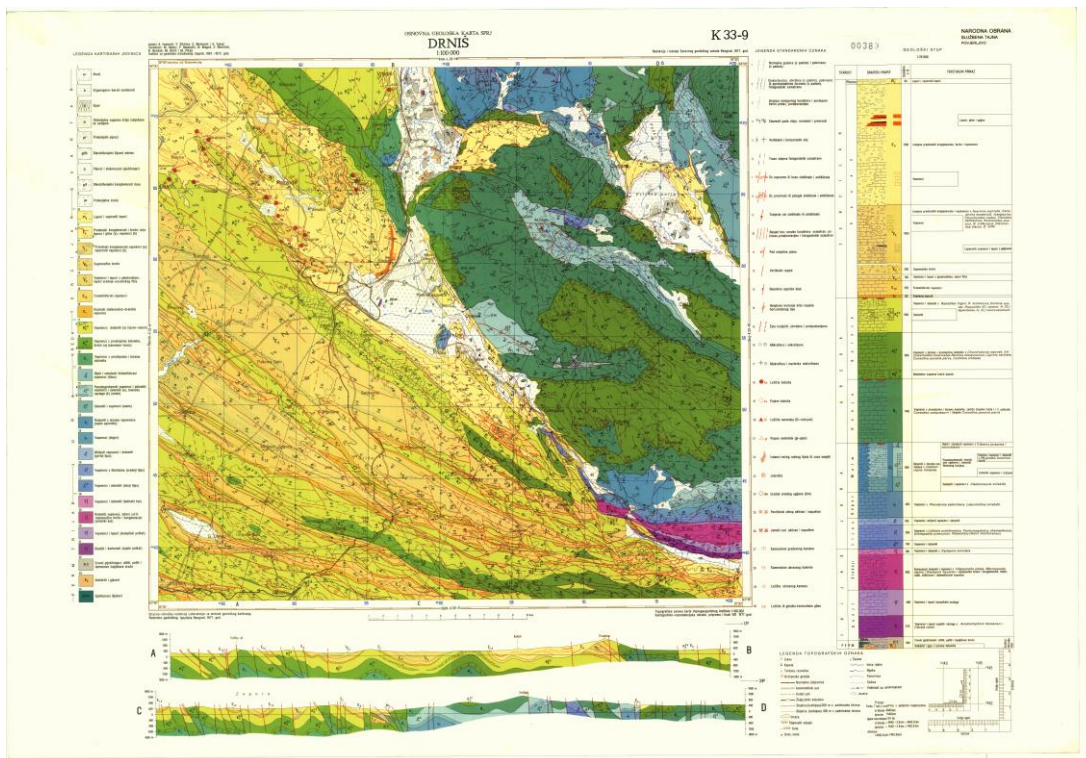
#### 4. Pregled dosadašnjih geoloških istraživanja

Istraživanja na području Drniša započinju sredinom 19. stoljeća i odnose se na ugljene i boksite planine Promine i okolice Drniša. Prvu kartu tog područja izdao je austrijski geolog F. Hauer 1868. godine kao dio Pregledne geološke karte Austro-Ugarske Monarhije. Najveću vrijednost imaju radovi geologa F. Kenera koji je korigirao mnoge ranije pogrešne interpretacije tog područja i na čijoj se osnovi kasnije baziraju sva istraživanja.

Tijekom I. i II. Svjetskog rata najviše su u fokusu istraživanja Prominskih naslaga za koje O. Kühn (1934) prvi spominje kutnu diskordanciju u bazi te utvrđuje gornjoeocensku starost koju kasnije potvrđuje R. Pavlovec (1959). Paralelno, W. Quitzow daje prikaz dinamike razvoja prominskog bazena s mnogo paleogeografskih detalja.

Iza II. Svjetskog rata provode se većinom namjenska istraživanja, odnose se na istraživanja nafte u Dinaridima pa je tako dan prikaz geologije južnog krednopaleogenskog dijela lista Drniš, kao osnova za istraživanje ugljena i boksita Promine i Moseća ili u svrhu hidroloških i hidroenergetskih istraživanja Cetine.

Najveće provedeno istraživanje 20. stoljeća na ovom području je napravljeno u sklopu izrade Osnovne geološke karte SFRJ M 1:100000. Za područje Drniša (Slika 4) istraživanja provodi Institut za geološka istraživanja u Zagrebu te izrađuje list Drniš (IVANOVIĆ et al., 1977) zajedno sa pripadajućim tumačem (IVANOVIĆ et al., 1978).



Slika 4 Osnovna geološka karta 1:100000, list Drniš (Izvor: IVANOVIĆ et al., 1977)

ŠUŠNJARA et al. (1992) određuju gornjopermsku starost evaporitnog kompleksa te pratećih stijena središnjeg dijela Vanjskih Dinarida među koje se ubrajaju i oni sa područja Drniša te njihove superpozicijske i tektonske odnose. Iste godine, na rad se nadovezuje TIŠLJAR (1992) čija istraživanja ukazuju na postojanje plitkog epikontinentalnog mora sa diferenciranom obalnom linijom, zaljevima i lagunama koje prate regresivne tendencije, a što dovodi do toga da su istovremeno na različitim područjima mogli postojati lagunski i međuplimni sedimenti te sabhke i nadplimi sedimenti.

GABRIĆ et al. 2002. detaljno analiziraju ležišta gipsa u Republici Hrvatskoj pa dolaze do zaključka da se pojavljuju u velikim krškim poljima (Petrovo i Kosovo polje) te da je današnji položaj naslaga gornjeg perma rezultat kompleksnih tektonskih, a posebice neotektonskih pokreta i dijapirskih kretanja.

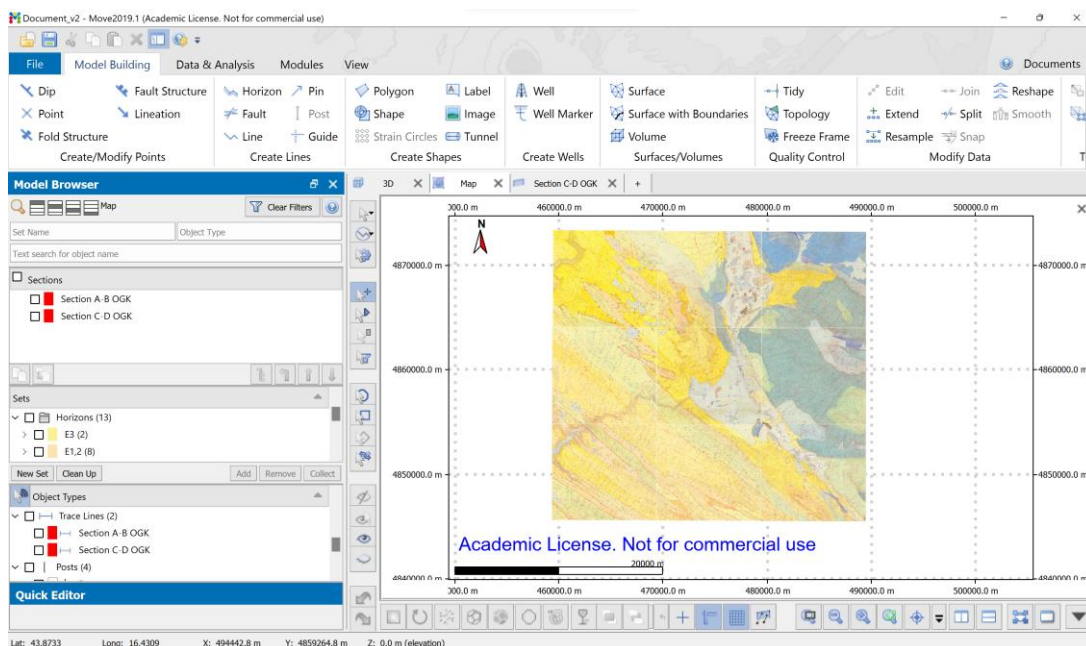
Na planini Promini se dalje provode istraživanja Prominskih naslaga koje ZUPANIĆ & BABIĆ (2011) dijele u osam litostratigrafskih jedinica koje se razlikuju prema facijesima i facijesnim asocijacijama, odnosno taložnim okolišima i sustavima. Dolaze do zaključka da nema jednog dominantnog faktora koji utječe na evoluciju sedimenata već da je razvoj unutarnjeg ruba predgorskog bazena karakteriziran kombinacijom strukturnih i

stratigrafskih događaja. Među događaje ubrajaju sintektonske naslage, kutnu diskordanciju, sinsedimentacijsko boranje, rasjedanje i uzdizanje unutar formacija, preklapanje morskog i aluvijalnog sedimenta na deformiranu podinu te tektonski uzrokovane proksimalne i distalne varijacije u vrsti i debljini facijesa.

Pri pisanju ovog seminarskog rada, najviše je korišten recentni istraživački članak BALLING et al. (2021) koji govori da su se u središnjem dijelu Vanjskih Dinarida duž rasjeda Split-Karlovac odvijala dva različita deformacijska događaja te da se zbog toga regionalna tektonska jedinica Visokog krša može podijeliti na, već spomenute dvije podjedinice, Donji visoki krš i Gornji visoki krš.

## 5. Korišteni materijali

U dogovoru s mentorom odlučeno je da će se prilikom istraživanja koristiti softver MOVE u koji će se digitalizirati podaci prethodno obrađeni u programu QGIS gdje su karte georeferencirane. Preuzeta je verzija MOVE 2019.1 te je program pokrenut akademskom licencom Sveučilišta u Zagrebu koju je dodijelila tvrtka Petroleum Experts. U radu je korišteno devet radnih karata Osnovne geološke karte (OGK) SFRJ lista Drniš 1:100000 (Slika 5), a to su Oklaj, Uzdolje, Kijevo, Širitovci, Drniš, Otavice, Konjevrate, Planjane i Umljanović, sve u mjerilu 1: 25000. Također, korišten je list Drniš OGK SFRJ 1:100000 (IVANOVIĆ et al., 1977). Karte su dodijeljene u digitalnom obliku od strane Hrvatskog geološkog instituta.



Slika 5 Devet radnih karata (prikaz iz programa MOVE)



## 6. Metode istraživanja

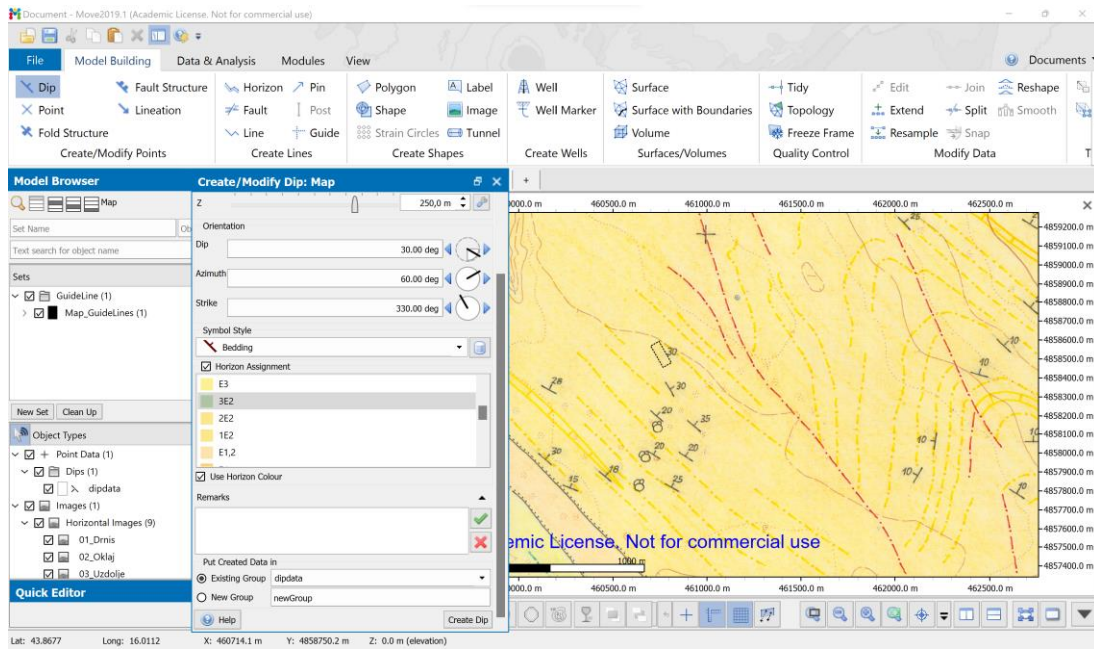
### 6.1. Unos podataka

Kada je program pokrenut, kako bi se započelo s projektom, potrebno je unijeti georeferencirane karte. To se izvodi na način da se putem opcije *Insert* odabere željena datoteka koju program već sam prepoznaje s obzirom da su korišteni standardni podaci. U projekt je dodano devet radnih geoloških karata u mjerilu 1:25000 i list Drniš Osnovne geološke karte SFRJ 1:100000, sve u rasterskom *.tiff* formatu.

### 6.2. Vektoriziranje položaja slojeva i geoloških granica

Prvi korak obuhvaća vektoriziranje položaja slojeva ucrtanih na radnim kartama OGK Drniša 1:25000. Kako bi postupak započeo, potrebno je na vrpici pronaći *tab Model Building* te klikom otvoriti alatnu traku. Na alatnoj traci se odabere rubrika *Create/Modify points* (Slika 6) koja u sebi sadrži opciju *Dip*. Klikom na opciju *Dip* u lijevom kutu ekrana otvori se izbornik kojim se vektoriziraju položaji slojeva. Na karti se odabere željeni položaj sloja uz koji piše brojka koja označava njegov nagib. Nagib je potrebno upisati u izbornik pod *Dip*, a azimut se zatim određuje zakretanjem na karti ili u izborniku dok se ne poklopi sa ucrtanim položajem. Nakon toga, potrebno ga je dodati pripadajućem horizontu, tj. jedinici, kojeg se može pronaći na karti i na kraju kreirati klikom na *Create Dip*. Horizonti (slika 7) su prethodno definirani u skladu s nazivima jedinica na OGK List Drniš 1: 100000 (IVANOVIĆ et al., 1977) unutar opcije *Stratigraphy* koja se nalazi na alatnoj traci u rubrici *Data & Analysis*.





Slika 6 Vektoriziranje položaja slojeva (prikaz iz programa MOVE)

	Horizon	Colour	Rock Type	Age	Thickness	Active	Code	Oznaka	Naziv
1	al		Default	0.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	1	al	Aluvij
2	b		Default	10.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	2	b	Organogeno-bar...
3	s		Default	20.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	3	s	Sipar
4	d		Default	30.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	4	d	Deluvijalno v...
5	pr_p		Default	40.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	5	pr_p	Proluvijalni pijesci
6	glfs		Default	50.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	6	glfs	Glaciofluvijaln...
7	p		Default	60.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	7	p	Pijesci i slabovez...
8	glf		Default	70.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	8	glf	Glaciofluvijalni k...
9	pr_b		Default	80.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	9	pr_b	Proluvijalne brece
10	P13		Default	90.0 Ma	80.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	10	P13	Lapori i laporovit...
11	E3		Default	95.0 Ma	2100.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	11	E3	Prominski kongl...
12	3E2		Default	97.5 Ma	1000.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	12	3E2	Prominski kongl...
13	2E2		Default	98.8 Ma	200.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	13	2E2	Vapnacke brece
14	1E2		Default	99.4 Ma	100.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	14	1E2	Vapnenci i lapori...
15	E1.2		Default	99.7 Ma	250.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	15	E1.2	Foraminifersk...
16	E1		Default	99.8 Ma	50.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	16	E1	Kozinski slatkovo...
17	K2_2,3		Default	99.9 Ma	600.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	17	K2_2,3	Vapnencj dolom...
18	K2_1,2		Default	100.0 Ma	800.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	18	K2_1,2	Vapnenci s prosli...
19	K1		Default	100.0 Ma	1100.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	19	K1	Vapnenci s prosli...
20	J3_3		Default	100.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	20	J3_3	Bijeli i smeđasti...
21	J3_2,3		Default	100.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	21	J3_2,3	Pseudogrebnski...
22	J3_1,2		Default	100.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	22	J3_1,2	Dolomiti i vapne...
23	J3		Default	100.0 Ma	890.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	23	J3	Dolomiti s lecam...
24	J2		Default	100.0 Ma	450.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	24	J2	Vapnenci (doger)
25	J1_4		Default	100.0 Ma	100.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	25	J1_4	Mijasti vapnenci...
26	J1_3		Default	100.0 Ma	280.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	26	J1_3	Vapnenci s litioti...
27	J1_1,2		Default	100.0 Ma	140.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	27	J1_1,2	Vapnenci i dolo...
28	T2_2		Default	100.0 Ma	100.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	28	T2_2	Vapnenci i dolo...
29	T2_1		Default	100.0 Ma	600.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	29	T2_1	Dolomiti, vapnen...
30	T1_2		Default	100.0 Ma	460.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	30	T1_2	Vapnenci i lapori...
31	T1_1		Default	100.0 Ma	370.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	31	T1_1	Klastiti i karbona...
32	P,T		Default	100.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	32	P,T	Crveni pjesčenja...
33	P3		Default	100.0 Ma	200.0 m	<input checked="" type="checkbox"/>	33	P3	Anhidriti i gipsevi
34	bbab		Default	110.0 Ma	0.0 m	<input type="checkbox"/>	34	bbab	Spilitizirani djab...

Slika 7 Stratigrafske jedinice (prikaz iz programa MOVE)

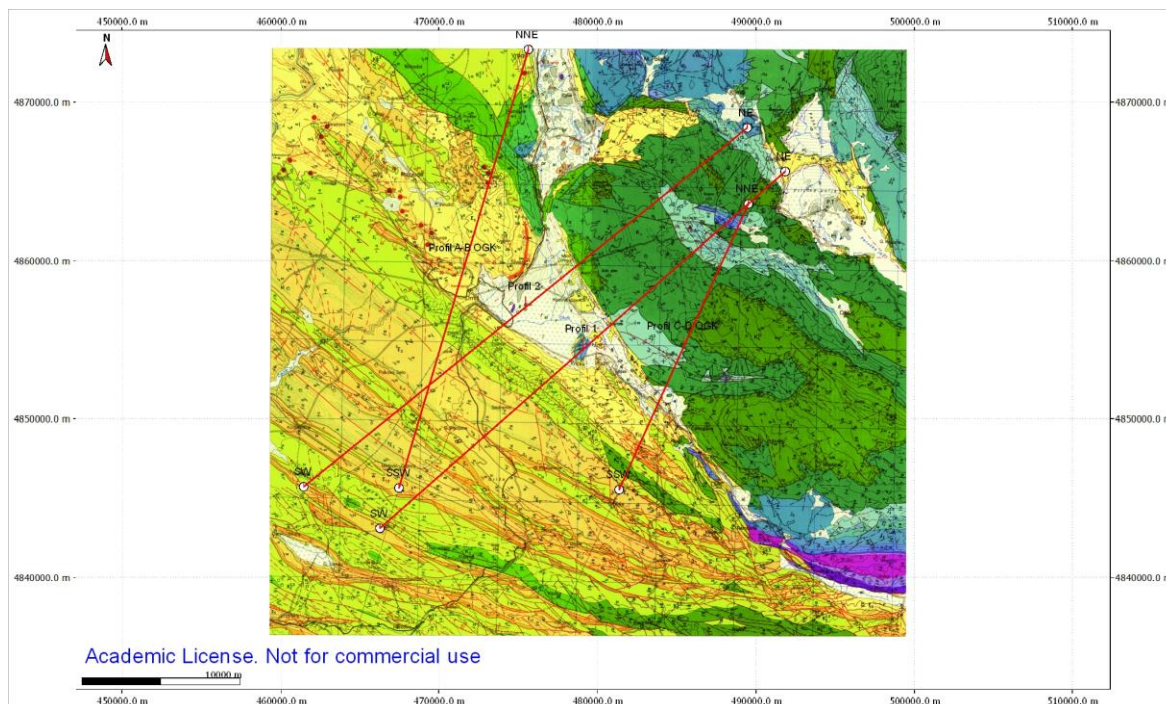
Nakon što su svi položaji slojeva vektorizirani na 2D prikazu karte, potrebno im je definirati prave nadmorske visine. To je provedeno unosom digitalnog modela terena (DMT). Državna geodetska uprava (<https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podaci-topografske-izmjere/digitalni-model-reljefa/180>, 1.9.2022.) definira DMT kao skup

položajno i visinski određenih točaka i geometrijskih elemenata potrebnih za prikaz Zemljine površine koji se izrađuju podacima skupljenim fotogrametrijskim kartiranjem. DMT se u *MOVE* unosi opcijom *Insert* gdje se u padajućem izborniku odabere kao oblik podataka GIS data (raster). Za pridodavanje i korigiranje nadmorske visine Z se koristi alat *To surface* iz rubrike *Project*. Njenim pokretanjem se položaji slojeva pomiču vertikalno na površinu terena.

Geološke granice i rasjedi su digitalizirane pomoću opcija *Horizon* i *Fault* koje se nalaze pod rubrikom *Create Lines*. Linije su vektorizirane s geoloških karata samo na mjestima gdje one presijecaju geološke profile koji su korišteni u daljnjem radu, te je svakoj granici također pridružena stratigrafska pripadnost. Pri tome pridodana stratigrafska pripadnost svake linije predstavlja krovinu jedinice.

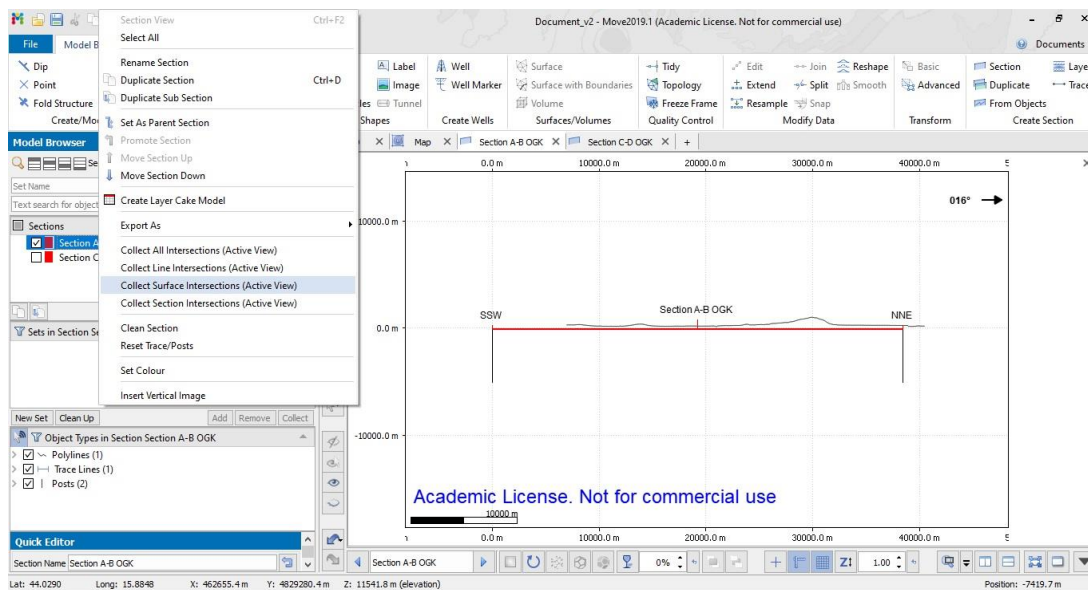
### 6.3. *Konstrukcija i digitalizacija profila*

Za kreiranje modela odabrana su četiri profila, od kojih su dva OGK Drniš koja su skraćena kako bi odgovarala području karata tj. sekcija 1:25000 na kojima je rad rađen. Nakon što je prilagođena karta Drniša ubačena u *MOVE*, u rubrici *Create Section* odabran je alat *Trace* kojim se kreiraju pojedini profili u dokumentu te oni mogu biti vidljivi u 3D prikazu, na dvodimenzionalnoj karti ili kao pojedinačni profili, u ovom slučaju su to *Profil A-B OGK* i *Profil C-D OGK* (slika 8). Kako bi u kasnijim koracima bilo lakše spojiti profile i napraviti trodimenzionalni prikaz, odlučeno je da se izrade i dva nova profila, *Profil 1* i *Profil 2*. Profili su interpretirani koristeći kombinaciju poprečnog profila južnog dijela rasjeda Split-Karlovac (BALLING et al., 2021) i površinskih podataka koji su vektorizirani sa korištenih geoloških karata (vidi poglavlje 6.2.).

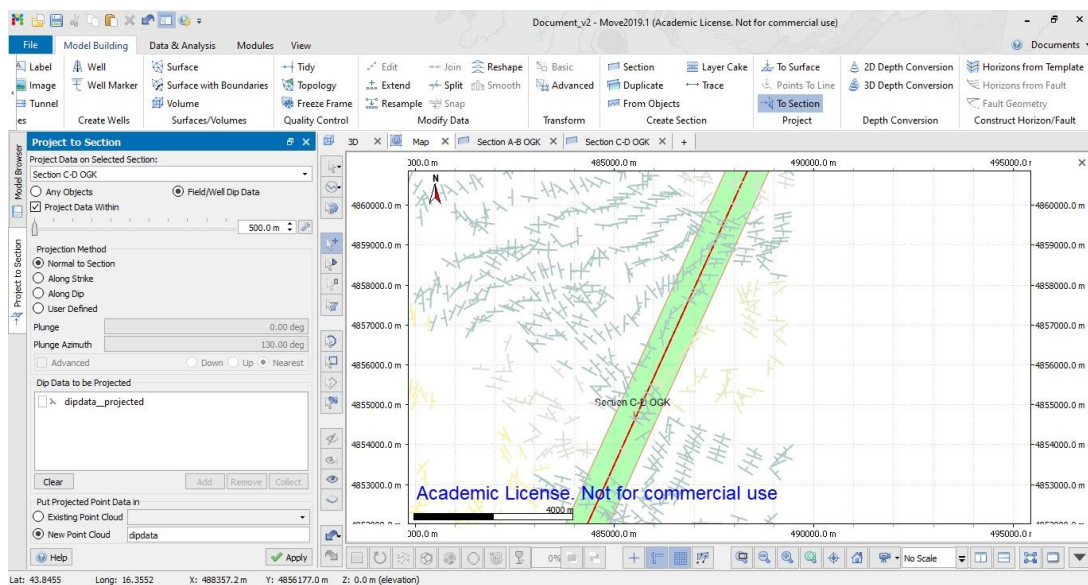


Slika 8 Postupak izrade profila (prikaz iz programa MOVE)

Topografija, odnosno linija terena, izrađuje se desnim klikom na pojedini profil u odjeljku dvodimenzionalne karte kojim se otvori izbornik u kojem se nalazi alat *Collect Surface Intersection* (slika 9). Njime program automatski izradi topografski profil, tj. liniju koja je presjek profila i DMT-a. Također, u profil se automatski projiciraju prethodno vektorizirani položaji slojeva i postavljaju presjeci sa vektoriziranim linijama geoloških granica, tj. rasjeda. Položaji slojeva se projiciraju pomoću alata *To Section* unutar rubrike *Project* (slika 10). Izabrana je zona od 500 metara sa svake strane profila unutar koje program uzima položaje slojeva za projiciranje. Presjeci linijskih objekata (granica i rasjeda) i profila izrađuju se desnim klikom na pojedini profil u odjeljku dvodimenzionalne karte kojim se otvori izbornik u kojem se nalazi alat *Collect Line Intersection*.



Slika 9 Izrada topografije profila (prikaz iz programa MOVE)

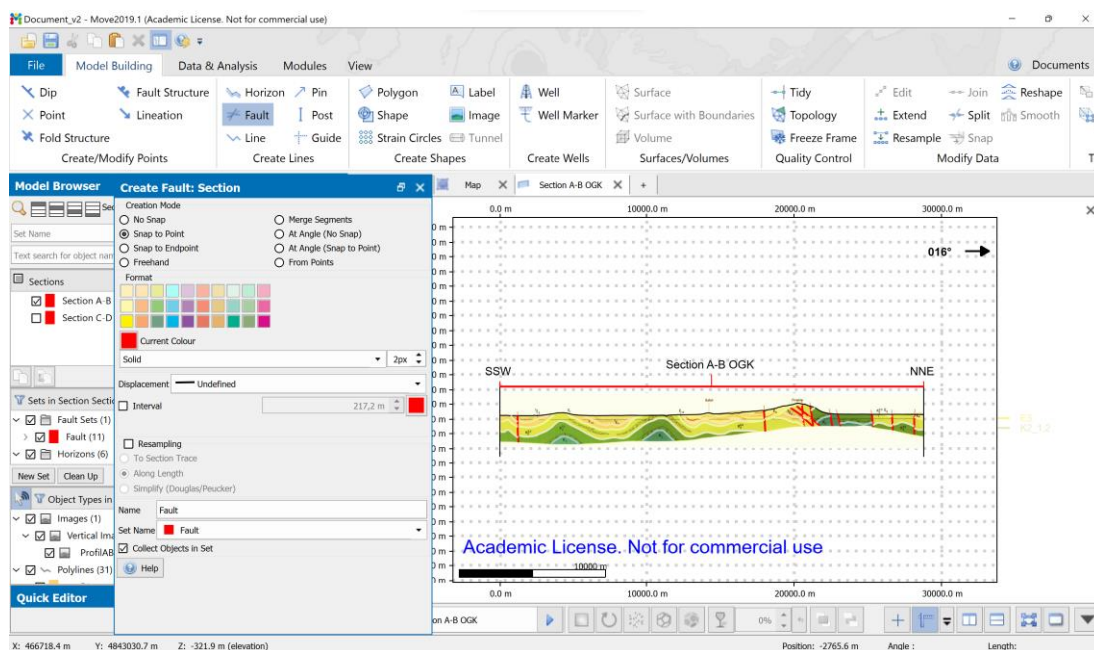


Slika 10 Projiciranje položaja slojeva na profil (prikaz iz programa MOVE)

Unos već spomenutih profila izrezanih iz OGK Drniš izvodi se desnim klikom na profil te odabirom opcije *Insert vertical image*. Nakon toga je potrebno podesiti sliku profila sa topografijom profila s obzirom da dolazi do odstupanja usred razlike u mjerilu i pogrešaka koje se potkradu pri ručnom crtanju, a koje su u digitalnom obliku uvećane. To se izvodi naredbom *Basic* koja omogućava interaktivno skaliranje, rotiranje i pomicanje objekta unutar modela, a nalazi u rubrici *Transform*. Zatim je potrebno konstruirati profil na način



da se ucrtaju geološke granice, koje pripadaju pojedinim horizontima, i rasjedne linije. Na alatnoj traci unutar rubrike *Create line* nalaze se opcije *Fault* (slika 11) koja služi za crtanje rasjeda i *Horizon* koja služi za crtanje geoloških granica. Klikom na opciju *Fault* u desnom kutu ekrana otvori se izbornik u kojem je moguće odabrati redom način izrade, boju, debljinu i ispunu linije te tip rasjeda. Opcija *Horizon* također sadrži način izrade, boju, debljinu i ispunu linije te još sadrži padajući izbornik u kojem se geološkoj granici određuje pripadnost horizontu (stratigrafska pripadnost) te automatski dodjeli odgovarajuća boja. Uz dva profila preuzeta sa OGK lista Drniš 1:100000, izrađena su dva potpuno nova profila, pri čemu je za konstrukciju kao predložak poslužio južni „Splitski“ profil preuzet iz rada BALLING et al. (2021) temeljen na nepubliciranom profilu kompanije Amoco.

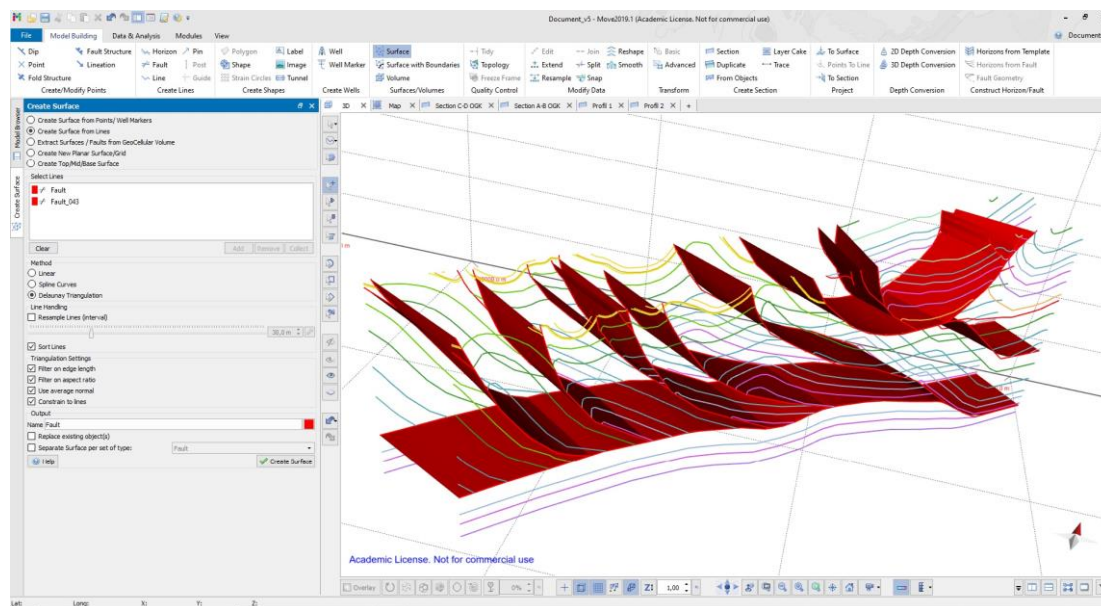


Slika 11 Vektorizacija rasjednih linija na profilu A-B OGK u 2D prikazu (prikaz iz programa MOVE)

#### 6.4. Spajanje profila i konstrukcija 3D prikaza

Nakon što su sva četiri profila konstruirana i digitalizirana slijedi izrada površina koje će tvoriti trodimenzionalni model. Svaka površina se kreira u trodimenzionalnom prikazu gdje se odaberu odgovarajuće granice sa svakog profila te se iz rubrike *Surface/Volumes*

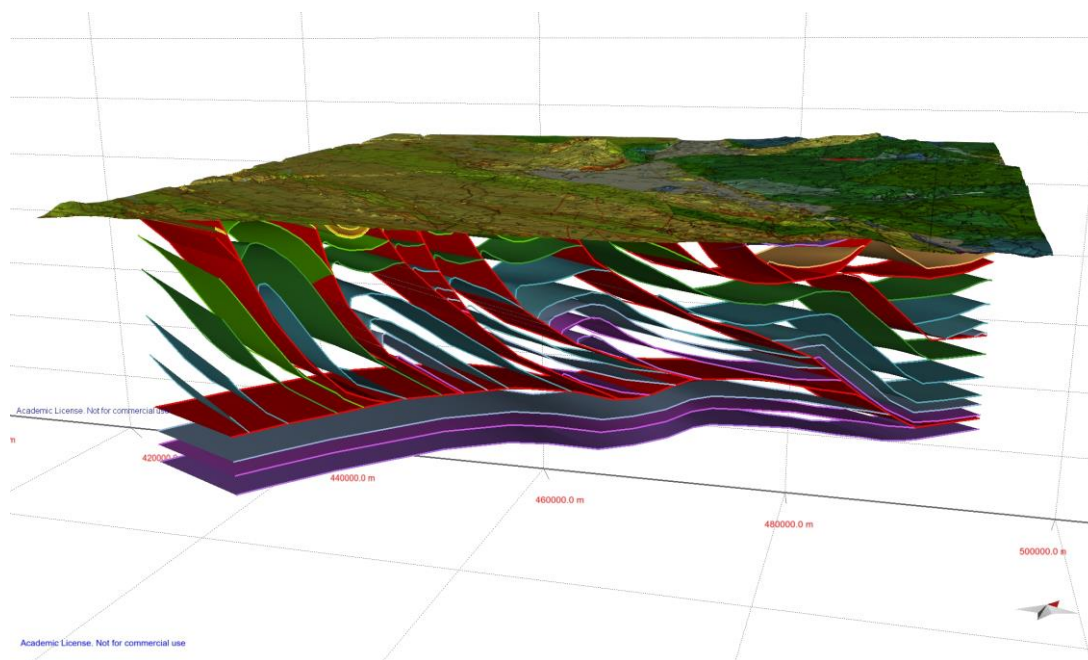
(slika 12) odabere opcija *Surface*. One se formiraju na način da se u svakom profilu pronađe istovjetni rasjed ili granica koja se može povezati na barem dva profila.



Slika 12 Prikaz izrade rasjednih površina (prikaz iz programa MOVE)

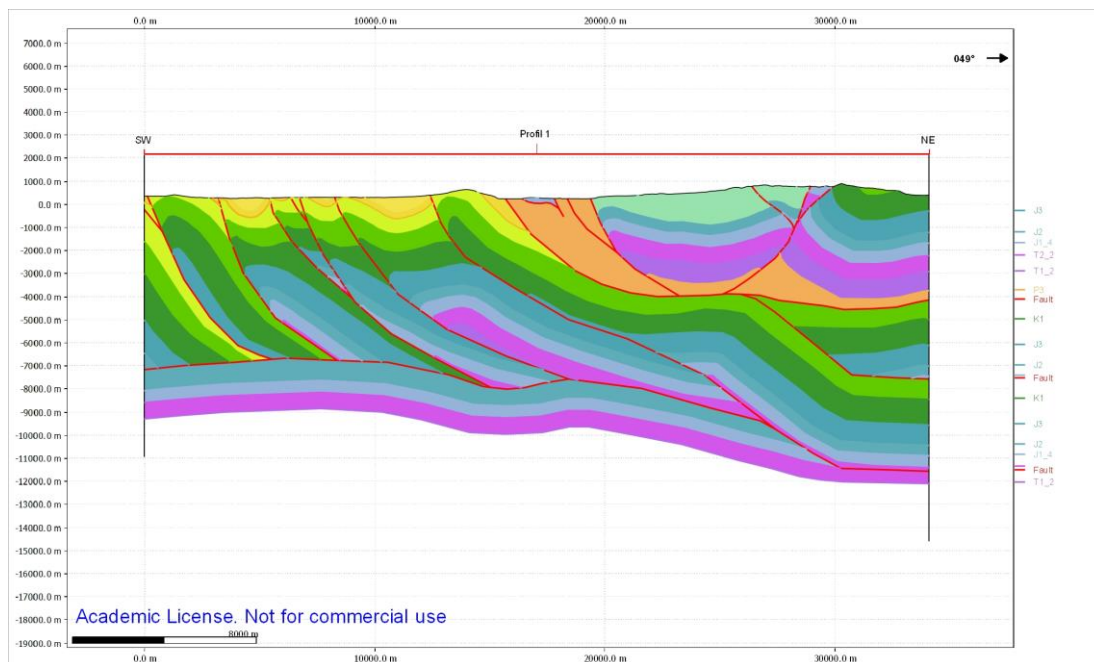
## 7. Rezultati

Pod pojmom 3D modeliranje podrazumijeva se proces razvijanja matematičke reprezentacije bilo kojeg trodimenzionalnog objekta pomoću specijaliziranog softvera, a produkt tog razvijanja je 3D model koji se, u ovom slučaju, koristi kao računalna simulacija kako bi se bolje shvatile pojave u prirodi (UGARKOVIĆ, 2016). Konačni trodimenzionalan geološki model (slika 13) daje bolji uvid u kompleksnu strukturnu građu područja okolice Drniša te se njegova interpretacija usko veže uz istraživanja evaporitnog dijapirizma sa područja Albanije gdje je takav utjecaj na razvoj tektonike dominantan. Model se sastoji od 15 rasjednih ploha i 69 ploha horizonata.

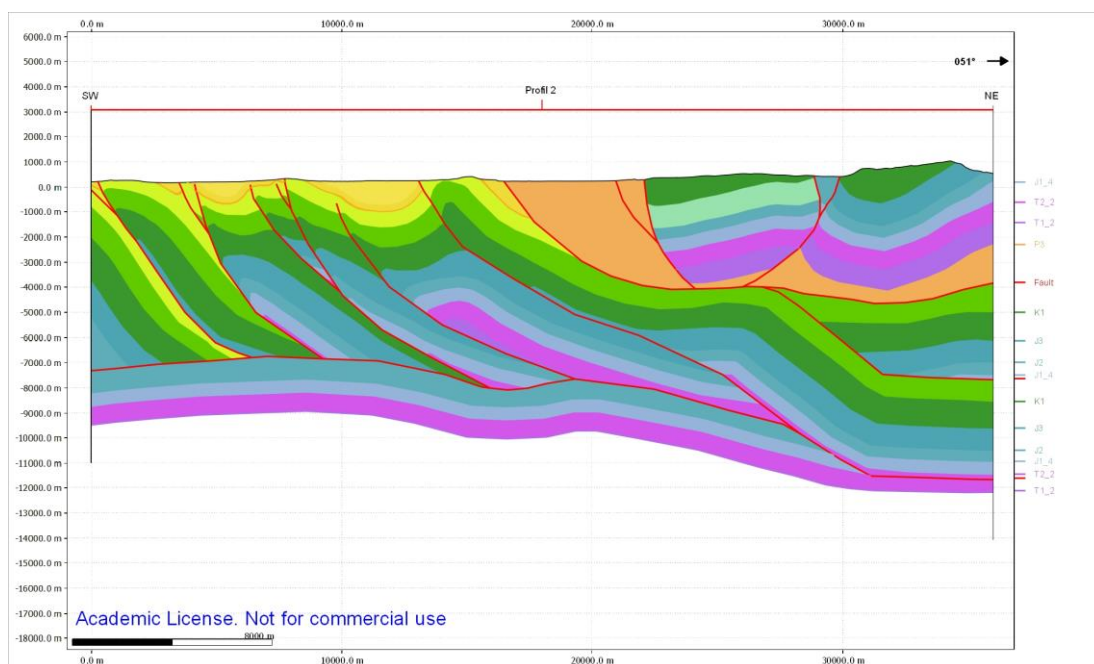


**Slika 13** Konačni računalni 3D model okolice Drniša sa prikazom rasjeda i horizonata (prikaz iz programa MOVE)

Slika 14 i Slika 15 prikazuju interpretaciju profila (vidi poglavlje 6.2.), poprečnih na rasjed Split-Karlovac, koji imaju orijentaciju jugozapad-sjeveroistok. Dosadašnji pokušaji izrade profila istraživanog područja su evaporite smještali plitko uz površinu jer se njihova baza istraživanjima nije otkrila, a na površini su većinom prekriveni kvartarnim stijenama.



Slika 14 Profil 1 (prikaz iz programa MOVE)



Slika 15 Profil 2 (prikaz iz programa MOVE)

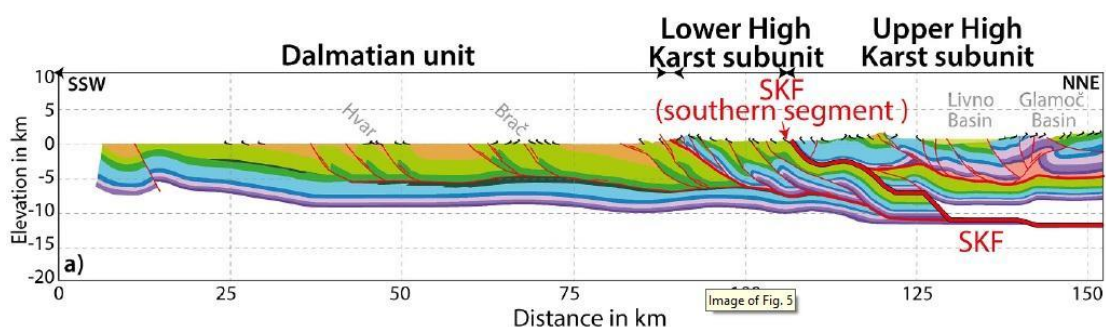


## 8. Uloga evaporita u deformacijskim događajima rasjeda Split-Karlovac

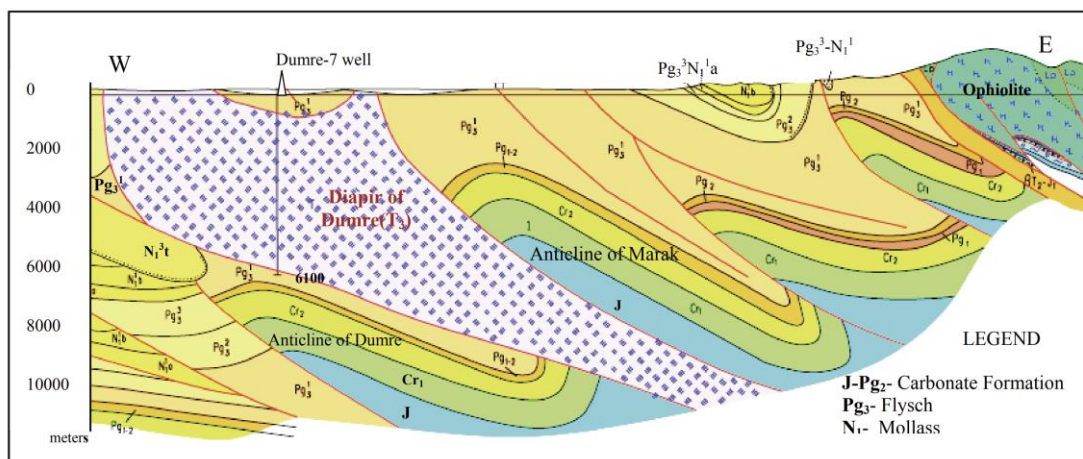
Najstarije stijene lista Drniš su gornjopermske-donjotrijaske naslage evaporita i pratećih sedimenata (IVANOVIĆ et al. , 1978). U pravilu se gips nalazi u bazi crvenih klastita i često je okružen kvartarnim naslagama. Gips nastaje hidratacijom anhidrita pri površinskim uvjetima, a dublje oštro prelazi u anhidrit koji je ujedno najstarija poznata stijena tog područja. Karbonatne stijene čine dolomiti, vapnenci i karbonatne porozne breče poznate kao „rauhwacke“, dok klastične stijene čine peliti, siltiti, pješčenjaci te vrlo rijetko konglomerati (ŠUŠNJARA et al., 1992). Naslage evaporita, iako se facijesno razlikuju, čine jedinstveni kompleks strukturno i tektonski različit od naslaga mezozoika i starijeg paleogena, a prekrivaju ih u transgresivnom kontaktu Prominske naslage. Kasnije je taj kontakt poremećen dijelovanjem dijapirizma i tektonike. Gips i anhidrit se duž rasjeda Split-Karlovac pojavljuju u vidu naslaga te dijapirskih proboja kilometarskih dimenzija. Dijapirizam nastaje kada se u bazi stijene nalazi materijal manje gustoće i viskoznosti koji uzgonom biva istisnut prema površini tijekom različitih epizoda taloženja sedimenata i evolucije kontinentalnih rubova. Kada se stvore uvjeti visokog tlaka uslijed prevelikog pritiska krovinskih naslaga, otvaraju se putevi kroz rasjede i pukotine koji pokretnim evaporitima omogućuju vertikalnu migraciju (RAJPUT & THAKUR, 2016). Već je ranije spomenuto da evaporiti čine dekolmanski horizont između podjedinica Gornjeg visokog krša i Donjeg visokog krša. Evaporitski horizont predstavlja navlačni rasjed u čijoj se bazi nalazi podjedinica Donjeg visokog krša. Do pomaka dolazi zbog kompresijskog tektonskog režima koji uzrokuje sažimanje evaporita u horizontalnom smjeru te dovodi do toga da se krovinsko krilo transportira preko podinskog. U tom slučaju dolazi do imbrikacije odnosno stvaranja zone manjih, slično orijentiranih, nagnutih rasjeda koji zajedno čine podinski navlačni rasjed. Zbog svojih slabih mehaničkih svojstva vrlo brzo podliježu pritisku i zato služe kao dobra navlačna podloga. Upravo je taj pomak bio pokretač toga da su se na dvije strane rasjeda istodobno odvijala dva različita deformacijska događaja. Rasjed koji je bio paralelan orogenu, na svojoj južnoj strani, uključujući podjedinicu Gornjeg visokog krša, doživio je zakretanje suprotno smjeru kazaljke na sat za čak 30 stupnjeva te skraćenje za oko, već spomenutih, 127 km.

PRIFTI et al. (2013) dolaze do zaključka da su tokom geološke evolucije procesi evaporitnog dijapirizma različitim brzinama djelovali na intenzitet tektonskih sila i porast tlakova te da su se probijali kroz regionalne rasjede, lokalne rasjede ili gotovo vertikalno pa su se kao rezultat njihovih kretnji Jonska i Kruja jedinica značajno i ubrzano navlačile

prema zapadu, odnosno prema Apulijskoj platformi. Pretpostavka je da se na području jedinice Visokog krša događalo isto, odnosno da su evaporiti inicirali navlačenje koje je dovelo do značajnog skraćivanja rasjeda na njegovom južnom dijelu. Koristeći se poprečnim profilom rasjeda Split-Karlovac (slika 16), tj. *Split cross section* (BALLING et al., 2021) i poprečnim profilom pojasa Berati i jedinice Kruja (slika 17), tj. *Diapir of Dumra* (PRIFTI, 2013) predloženo je da se na području Drniša evaporiti nalaze u većoj mjeri no što su dosadašnja istraživanja pokazala te da njihovo postojanje igra ključnu ulogu u skraćivanju i zakretanju južnog dijela rasjeda Split-Karlovac.



Slika 16 Prikaz južnog profila rasjeda Split-Karlovac (Izvor: prilagodeno iz BALLING et al., 2021.)



Slika 17 Profil koji prikazuje evaporitski dijapir u Albaniji (Izvor PRIFTI et al., 2013)

Usporedbom profila iz Albanije sa modelom izrađenim u programu MOVE, može se zaključiti da se utjecaj evaporita ne odražava samo lokalno, na mjestu gdje se dogodio proboj, već da njihov proboj uzrokuje lančanu reakciju koja se odražava na daljnji tijek

deformacija na mnogo širem području. Utjecaj evaporitskog dijapirizma mijenja uvjete postojećeg tektonskog režima.

## 9. Zaključak

Cilj ovog seminarskog rada bio je upoznati se s radom i primjenom programa *MOVE* na temelju geološke građe okolice Drniša. Geološki model izrađen je u četiri koraka koja podrazumijevaju unos podataka u softver, vektoriziranje položaja slojeva i granica, konstrukciju i digitalizaciju profila te na kraju spajanje površina i samu konstrukciju geološkog modela. Model ima mogućnost prilagođavanja potrebama istraživanja, bilo to dodavanjem ili uklanjanjem pojedinih segmenata ili nadograđivanjem i povezivanjem sa već postojećim ili budućim modelima. Ostavlja mjesta za vlastitu interpretaciju i za detaljniji uvid u geološki sklop.

## 10. Literatura

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

BERRA, F., FELLETTI, F., ZUCALI, M. (2014): 3D geological modelling and education: teaching geological cross sections with a 3D modelling software to improve spatial thinking skills in geoscience students. – *Rend. Online Soc. Geol. It.*, 30, 5-11.

GABRIĆ, A., ŠINKOVEC, B., SAKAČ, K., KULJAK, G. (2002): Ležišta gipsa u Republici Hrvatskoj. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 14, 21-36

IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S., SAKAČ, K. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Drniš K 33-9, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

IVANOVIĆ, A., SIKIRICA V., MARKOVIĆ, S., SAKAČ, K. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tumač za list Drniš – Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

PATON, D., CRABAUGH, M. C., TRUDGILL, B., ORTNER, H. & MEDWEDEFF, D. A. (2007): Alpine-scale 3D geospatial modeling: Applying new techniques to old problems. – *Geosphere*, 3, 527–549.

PRIFTI, I., CERCIS, D., PIRO, D., ARBEN, B. (2013): Evaporite diapirism and its contribution to the tectonical regime of Albania. *Oltenia-Studii și comunicări, Științele naturii*, 29, 19-27.

RAJPUT, S., THAKUR, N. K. (2016): *Geological Controls for Gas Hydrates and Unconventionals*. Elsevier, 384 str.

SCHMID, S.M., BERNOULLI, D., B. FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. – *Swiss J. Geosci.*, 101, 139–183.

ŠUŠNJARA, A., SAKAČ, K., JELEN, B., GABRIĆ, A. (1992): Upper Permian Evaporites and Associated Rocks of Dalmatia and Borderline Area of Lika and Bosnia – *Geologia Croatica*, 45, 95-114.

THORNTON, J. M., MARIETHOZ, G., BRUNNER, P. (2018): A 3D geological model of a structurally complex Alpine region as a basis for interdisciplinary research. – *Nature, Scientific Data* 5, 180238.

TIŠLJAR, J. (1992): Origin and Depositional Environments of the Evaporite and Carbonate Complex (Upper Permian) from the Central Part of the Dinarides (Southern Croatia and Western Bosnia) – *Geologia Croatica*, vol 45, 115-126 str.

UGARKOVIĆ, N. (2016): 3D modeliranje i 3D printanje, Završni rad, Filozofski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka.

## 11. Popis slika u tekstu

Slika 1 Pregledna geografska skica lista Drniš (Izvor: IVANOVIĆ et al., 1978).....	3
Slika 2 Prikaz tektonskih jedinica Alpsko-karpatko-dinarskog sustava sa područjem istraživanja označenim crvenim kvadratom (Izvor: prilagođeno iz SCHMID et al., 2008)..	4
Slika 3 Prikaz poprečnih profila rasjeda Split-Karlovac (Izvor: BALLING et al., 2021).....	6
Slika 4 Osnovna geološka karta 1:100000, list Drniš (Izvor: IVANOVIĆ et al., 1977).....	9
Slika 5 Devet radnih karata (prikaz iz programa MOVE).....	11
Slika 6 Vektoriziranje položaja slojeva (prikaz iz programa MOVE) .....	13
Slika 7 Stratigrafske jedinice (prikaz iz programa MOVE) .....	13
Slika 8 Postupak izrade profila (prikaz iz programa MOVE) .....	15
Slika 9 Izrada topografije profila (prikaz iz programa MOVE) .....	16
Slika 10 Projiciranje položaja slojeva na profil (prikaz iz programa MOVE) .....	16
Slika 11 Vektorizacija rasjednih linija na profilu A-B OGK u 2D prikazu (prikaz iz programa MOVE).....	17
Slika 12 Prikaz izrade rasjednih površina (prikaz iz programa MOVE).....	18
Slika 13 Konačni računalni 3D model okolice Drniša sa prikazom rasjeda i horizonata (prikaz iz programa MOVE) .....	19
Slika 14 Profil 1 (prikaz iz programa MOVE) .....	20
Slika 15 Profil 2 (prikaz iz programa MOVE) .....	20
Slika 16 Prikaz južnog profila rasjeda Split-Karlovac (Izvor: prilagođeno iz BALLING et al., 2021.).....	22
Slika 17 Profil koji prikazuje evaporitski dijapir u Albaniji (Izvor PRIFTI et al., 2013) ...	22