

# Novi smjer istraživanja ugljikovodika u eksternim Dinaridima

## New direction in hydrocarbon exploration of external Dinarides

mr. sc. Darko Tufekčić  
konzultant  
[darkotufekcic11@hotmail.com](mailto:darkotufekcic11@hotmail.com)



**Ključne riječi:** evaporitne naslage, solne strukture, Vanjski Dinaridi, zamke, direktno istraživanje ugljikovodika, magnetska rezonancija

**Key words:** Evaporite deposition, salt pillows, External Dinarides, traps, direct hydrocarbon exploration, magnetic resonance

### Sažetak

Rezultati istraživanja permo-trijaskih evaporita Jadranskog bazena dali su poticaj i za sistematsko proučavanje sjeveroistočnoga dijela ovog golemog evaporitnog područja. Na ponovni osvrt o distribuciji permo-trijaskih evaporita prisiljava nas identifikacija dijapirskih struktura u Vanjskim Dinaridima, s debljinom soli od preko 2 km. Rezultati regionalne analize seizmičkih mjerenja i podataka dubokog bušenja ukazuju da evaporiti Dinarida također pripadaju ovom enormno velikom salinarnom sustavu Jadranskog bazena.

Dijapirizam u Dinaridima je izrazito manji od solnih struktura u odobalnom području, međutim, uz pomoć seizmičkih podataka moguća je pouzdana identifikacija izrazitih solnih strukturnih formi. Mnogostuki izdanci anhidrita i gipsa u rubnoj zoni evaporitnog bazena idu u prilog tvrdnji, da ovaj prostrani evaporitni bazen pripada takozvanom centralno bazenskom modelu odlaganja evaporita.

Evaporiti igraju važnu ulogu u strukturnoj građi Dinarida. Oni su u kompresionom tektonskom režimu,

tokom Tercijara, odigrali dominantnu ulogu dekolmana, tektonski razdvajajući naslage taložene prije i poslije permo-trijaskih evaporita. Kao rezultat, sjeveroistočna rubna zona Dinarida je komprimirana i navučena prema jugozapadu u obliku imbrikacione strukturne forme. Suprotno tome, centralne dijelove evaporitnog bazena Dinarida karakterizira distinktivna solna-dijapirska tektonika, na što ukazuju i seizmički, i gravimetrijski geofizički podaci. Solna mobilnost je formirala kilometarske antiklinalne forme, koje mogu imati presudne implikacije u istraživanju ugljikovodika u Dinaridima.

U povoljnim strukturnim međuodnosima rezervoarskih, matičnih i izolacijskih-pokrovnih, stijena ovo područje ima značajan potencijal za istraživanje ugljikovodika. Za ilustraciju ovog novog koncepta petrolejskog sistema Vanjskih Dinarida, izvršena su inicijalna geofizička mjerenja na strukturi sjeveroistočno od Glamočkog polja. Rezultati mjerenja upotrebom direktne geofizičke metode su ohrabrujući i veoma kompatibilni s geološko-strukturnom građom ovog dijela Dinarida. Korištena je metoda elektromagnetske rezonancije (GEO-SPIN) u formi profiliranja i dubokog sondiranja. Rezultati mjerenja su u potpunom skladu s predloženim modelom petrolejskog sistema baziranim na solnoj tektonici. Iz ovog proizlazi, da novi koncept petrolejskog sistema Dinarida u kombinaciji sa ovom, direktnom i veoma ekonomičnom, geofizičkom metodom (GEO-SPIN) mogu imati pozitivne implikacije na buduća istraživanja ugljikovodika u Dinaridima.

## Abstract

The study results of the Permo-Triassic evaporite basin setting in the Adriatic Sea area gave a strong incentive to examine more systematically the northeastern margin of this huge evaporite basin. A major need to reconsider the setting of evaporite deposition arose with the identification of over 2 km of evaporite (salt) in the External Dinarides. My previous study of seismic and well information demonstrates that the External Dinarides region evaporites belong to an enormous saline Periadriatic Basin.

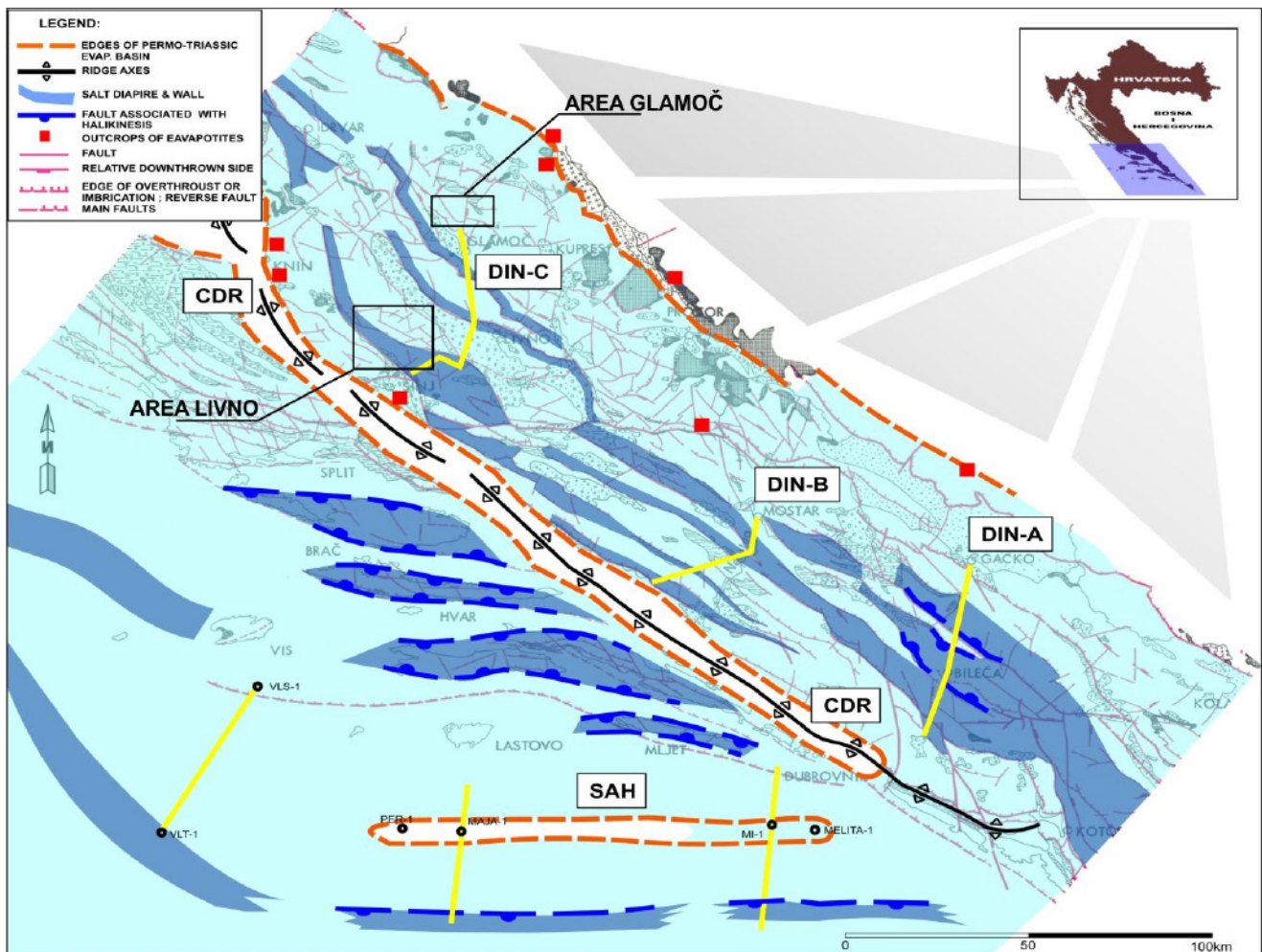
Diapirism in the Dinaric sub-basin is significantly less pronounced than in the offshore area, however, distinctive salt pillows could be mapped very reliably using seismic data. In addition, numerous outcrops of anhydrite and gypsum occupying the marginal zone of the basin support the assumption that the evaporite deposition of the whole basin could be classified as a basin–central evaporite deposition system.

Evaporites played an important role in structural development of the Dinarides. Compressions during the Tertiary were predominantly decoupled between pre and post-Permo-Triassic evaporites. As a result, the northeaster margin shortening was accommodated by south westerly-directed fan thrust system along associated Permo-Triassic evaporite decollement. In contrast to the imbricated fan zone, the central part of the sub-basin shows distinctive salt pillow tectonics clearly evidenced by geophysical data (gravity and seismic). Pulses of salt pillows controlled the location of kilometre-scale fold structures, which has important implications for hydrocarbon exploration in Dinarides.

With favourable juxtaposition of reservoir, source and seal, this area has significant potential for hydrocarbon accumulations. For illustration of a new exploration petroleum system concept a test survey was done across the structure northeast from Glamoč Polje. The method is using an innovative concept and technique based on the coherent spin precession of



Slika 1. Seizmo–stratigrafska karta Permo–Trijaskog evaporitnog bazena.



Slika 2. Osnovni solno-tektonski strukturni elementi Vanjskih Dinarida

the atomic particles (GEO-SPIN). Two survey geometries were used: electro-magnetic resonance profiling and sounding. The results of this direct geophysical method are very encouraging and compatible with geological framework of the area. Consequently, the proposed petroleum system together with the novel-direct geophysical method might play an important role in the future oil exploration in the Dinarides.

## 1. Uvod

Treba odmah naglasiti da najveći dio mezozojskih i tercijarnih sedimenata Jadranske karbonatne platforme ima u podlozi trijaskе evaporite (slika 1.). Halit/sol je dominantan facijes ovih evaporitnih taložina, i kao veoma pokretljiva evaporitna komponenta utjecala je značajno na tektoniku i uvjete sedimentacije u mezozoiku i kenozoiku. U fokusu ranijih publiciranih studija evaporita Dinarida (J. Tišljar, 1992) bili su izdanci anhidrita, taloženi primarno na sjeveroistočnom rubu ovog velikog salinarnog bazena. Međutim, pojave halita i

solnih diapira u širem Jadranskom bazenu su jasno zabilježene, a na bazi moderne reobrade seizmičkih podataka i u njenom rubnom pojasu (D. Tufekčić, 2005).

Rezultati sistematskog proučavanja sjeveroistočnog dijela ovog velikog evaporitnog područja dalo je osnovu i za klasifikaciju modela odlaganja evaporita, po takozvanom centralno bazenskom sistemu (D. Tufekčić, 2007). U središnjem dijelu bazena je pretežno taložen halit, dok na rubovima prevladava facijes anhidrita. Na osnovu reinterpretacije regionalnih seizmičkih podataka sa velikom sigurnošću je utvrđeno prisustvo solne tektonike u Vanjskim Dinaridima, (slika 2.). Na distribuciju evaporita ovog područja posebnu ulogu su odigrala dva distinkivna paleouzvišenja; Južni jadranski hrbat (SAH) i Centralni dinaridski hrbat (CDR). Paleomorfološko uzvišenje-CDR je samo djelomično separiralo Jadranski bazen od širokog paleo zaljeva u Vanjskim Dinaridima, u kojem je također precipitiran halit značajnog volumena. Rezultati regionalne analize geofizičkih mjerenja i podataka dubokog bušenja ukazuju da evaporiti Dinarida također pripadaju ovom

jedinstvenom salinarnom sustavu Jadranskog bazena (D. Tufekčić, 2013).

Evaporiti igraju važnu ulogu u strukturnoj građi Dinarida. Oni su u kompresionom tektonskom režimu, tokom Tercijara, odigrali dominantnu ulogu dekolmana, tektonski razdvajajući naslage taložene prije i poslije permo-trijaskih evaporita. Kao rezultat, sjeveroistočna rubna zona Dinarida je komprimirana i navučena prema jugozapadu u obliku imbrikacione strukturne forme. Suprotno tome, centralne dijelove evaporitnog bazena Dinarida karakterizira distinktivna solna- dijapirska tektonika, na što ukazuju i seizmički i gravimetrijski geofizički podaci. Solna mobilnost je formirala kilometarske strukture u obliku solnih zidova dinaridskog pružanja (označenim na slici 2. plavom bojom) i kadikad je debljina soli preko 2000 m. Detaljno poznavanje solne tektonike će imati presudnu ulogu u istraživanju ugljikovodika u Dinaridima.

U okviru ove studije testirana je direktna geofizička metoda, GEO-SPIN, na prospektu Slovinj u glamočkoj oblasti. Ova inovativna metoda omogućava dubinsko kartiranje, kako litoloških karakteristika stijena tako i sadržaja ugljikovodika u rezervoarskim stijenama. Ovo je geofizička metoda istraživanja ugljikovodika bez premca.

## 2. GEO-SPIN metoda

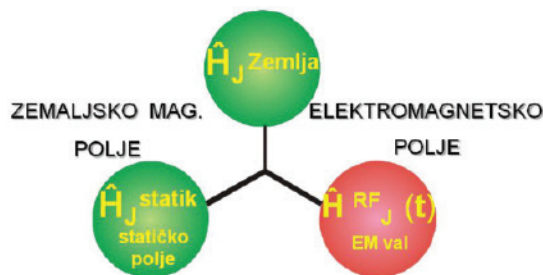
U razvoju ove nove geofizičke metode koriste se fizikalne osobine nuklearne magnetske rezonancije i dinamike spina. Koncept spina materijalnih čestica je bio dugo sporan i prihvaćen je nakon mnogobrojnih naučnih i uvjerljivih eksperimanata. Da spomenemo, E.M. Purcell je dobio Nobelovu nagradu za fiziku na polju nuklearne magnetske rezonancije 1952. godine. Spin elektrona i nuklida, u najjednostavnijem obliku, može se shvatiti kao posljedica vrtnje oko vlastite osi, u toku rotacije u prostoru, slično malom planetu. Spin je unutrašnje svojstvo čestica, opisano kvantno mehaničkim jednadžbama, i ne može se predočiti zornim slikama iz makrosvijeta (KULIŠIĆ et al., 2003). Osnova geofizičke metode elektromagnetske rezonancije, GEO-SPIN, se može sažeti kao interakcija rezonancije spina u konstruktivnoj-koherentnoj interferenciji s eksternim radio pulsom. Svojstvo svake elektromagnetske metode je interakcija električnog i magnetskog polja sa materijalom specifičnih fizikalnih osobina. Sve supstance su magnetične, što znači da imaju sposobnost interakcije s magnetskim poljem. Interakcija se uobičajeno izražava u formi magnetskog momenta i

magnetska energija atomskih čestica proizvod je interakcije magnetskog momenta i magnetskog polja, npr. zemaljskog magnetskog polja. Međutim, za nas je spin atomskih čestica od primarne važnosti. Fundamentalna teorija simetričnosti zahtijeva da su kutni moment spina i magnetski moment proporcionalni. GEO-SPIN metoda koristi izvor radio valova veoma specifičnih frekvencija (RF), tz. pseudo-Larmor frekvencije, koje uzrokuju koherentno/rezonantno spin-pokretanje atomskih čestica (slika 3). To međudjelovanje nam omogućavaju direktnu detekciju predmetne supstance.

Treba naglasiti da takvom emisijom radio valova dovodimo u rezonanciju astronomski broj atomskih čestica u podzemlju. Određivanje različitog litološkog sadržaja u podzemlju ili zasićenja fluidima (voda, nafta i plin) je u sprezi sa njihovom karakterističnom rezonantnom frekvencijom. Odziv na takvu elektromagnetsku pobudu omogućava nam registraciju signala na površini i primjenu ove metode za direktno istraživanje mineralnih sirovina. Nuklearna magnetska rezonancija se efikasno koristi u medicini, kemiji i karotaži bušotina, a odnedavno, i u primijenjenoj geofizici.

### 2.1. Proces istraživanja GEO-SPIN metodom

Vrijednosti relativnih Larmor frekvencija, koja dovodi molekularne čestice u rezonantno spinsko kretanje, dobijemo ekperimentalno. U slijedu GEO-SPIN procesa, laboratorijske analize uzoraka stijena i fluida su prva faza postupka (a). Sondiranje na parametarskim bušotinama je terenska-in situ kalibracija (b). Naredni postupak je sondiranje na skrivenim bušotinama, tj. usporedba rezultata GEO-EMR mjerenja s rezultatima bušenja (c). Slijede primarna terenska mjerenja primjenom postupka kartiranja i/ili sondiranja (d). Obrada podataka, interpretacija i integracija sa seizmičkim podacima, ukoliko su dostupni,



Slika 3. Eksterna interakcija spina sa zemaljskim i elektromagnetskim poljem

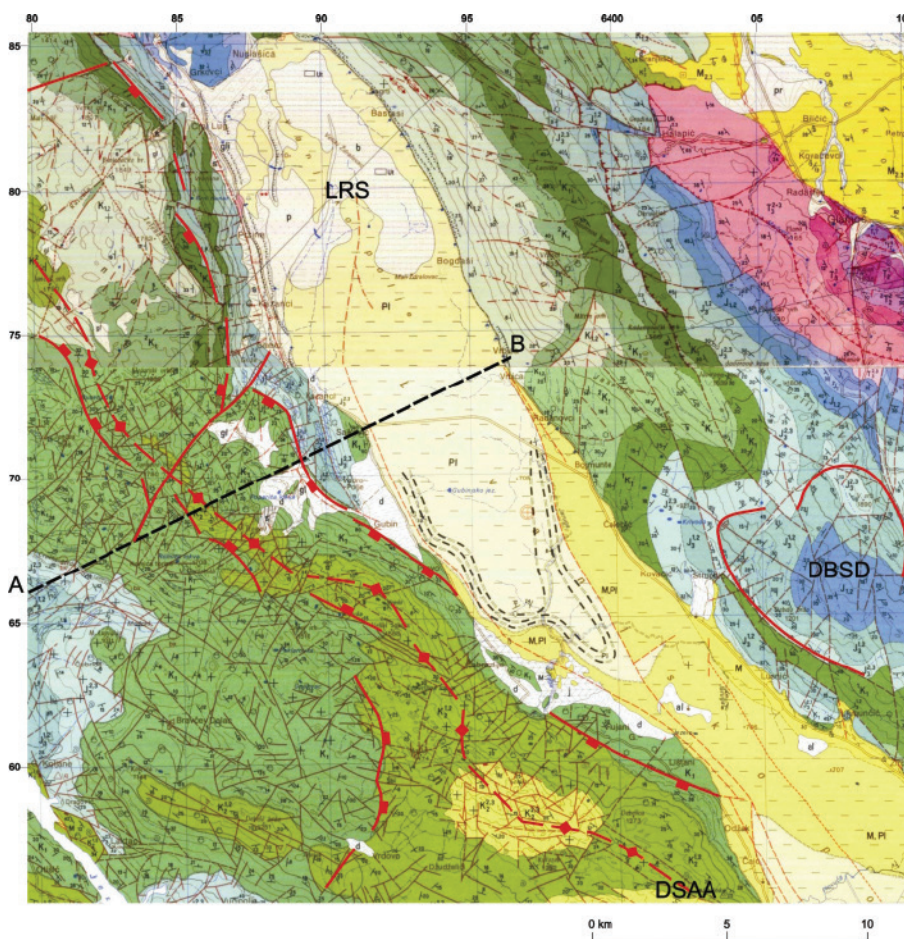
je peta faza (e) i konačno, izrada finalnog izvještaja (f). To su glavne faze postupka istraživanja GEO-SPIN metodom, međutim, često se koriste a priori podaci rezonantnih frekvencija za uobičajen fluide (voda, plin i nafta) ili standardnu i dominantnu litologiju, što znači da laboratorijske analize nisu uvijek nužne.

## 2.2. Solna tektonika i primjer potencijalnih zamki za ugljikovodike

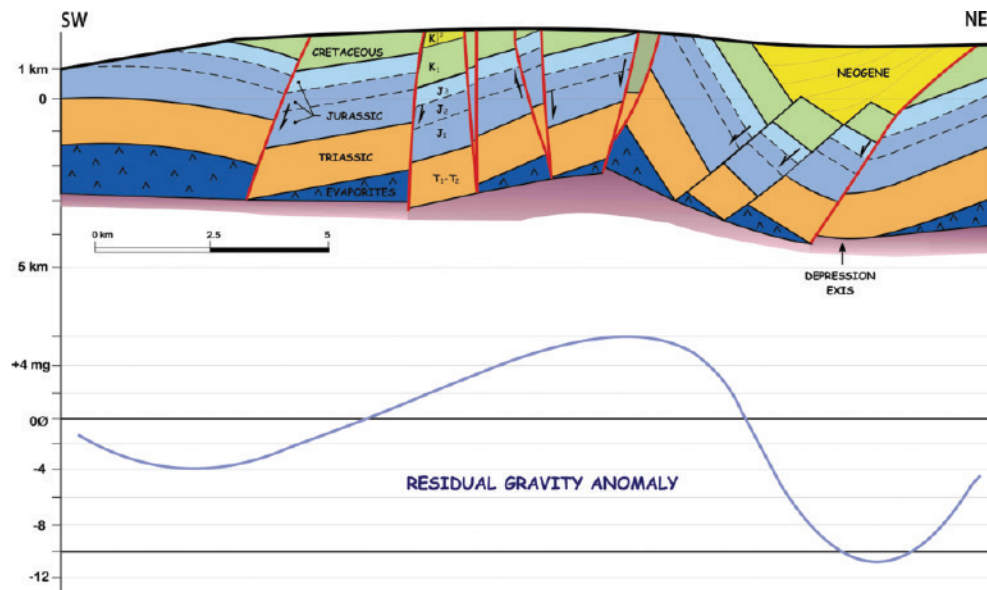
U centralnom dijelu Vanjskih Dinarida (slika 2.) odabrana su dva područja tipična za ilustraciju solne tektonike; (a) region Livanjskog polja i (b) Glamočko područje. U regiji Livanjskog polja dominiraju dvije strukturne forme pružanja SZ-JI, mega antiklinala Dinara i rim sinklinala Livanjskog polja. Nedavno publicirana studija (D.Tufekčić, 2014) klasificira strukturu Dinara kao solni diapir, generiran lateralnom migracijom soli u smjeru jugozapada, te istovremeno stvaranjem sedimentacionog prostora za odlaganje neogenih sedimenata u rubnoj potolini - rim sinklinala (Livanjski bazen). Detalji ovog predloženog tektonskog modela su prikazani na slici 4.

- interpretacija geološke karte Livno i slici 5. - poprečni geološki presjek s diagramom rezidualne gravimetrijske anomalije. Gravimetrijski podaci, premda samo grubog regionalnog mjerenja, daju veoma indikativnu sliku dubinskog rasporeda stijena male gustoće; kilometarski debelu sol na JZ strani profila i izraziti gravimetrijski minimum u SI dijelu, koji koincidira s neogenom rim sinklinalom. Površinski izdanci mezozojskih stijena na Dinari planini daju nam važne podatke o naravi i mehanizmu deformacija uzrokovane halokinezom. Predloženi strukturni model ne pretpostavlja značajne rasjede u bazi mezozoika, međutim, postojanje depresije u sjeveroistočnom dijelu profila je veoma naglašeno. U toj depresionoj zoni originalna debljina solne formacije je bila maksimalna, a njena lateralna migracija veoma intenzivnija. To je dovelo u direktni kontakt pri-evaporitne i post-evaporitne sedimente.

Na sjeveroistočnoj strani Livanjskog polja bilježimo također solni tektonizam u formi kružne diapirske strukture s izdancima jurskih sedimenata u njenoj jezgri, oznaka na karti DSDB, Diapirska Struktura Debelo Brdo, (slika 4.). Postojanje takvih sekundarnih diapirskih formi utvrđeno je u mnogim solnim bazenima. Vrlo malo diferencijalno opterećenje uzrokuje formiranje takve "jastučaste" strukture. Realizacija



Slika 4. Geološka karta područja Livno sa prikazom rasjednog sistema Dinara antiklinala, kolapsom njenog centralnog grebena (DSAA) i položajem geološkog profila A-B.



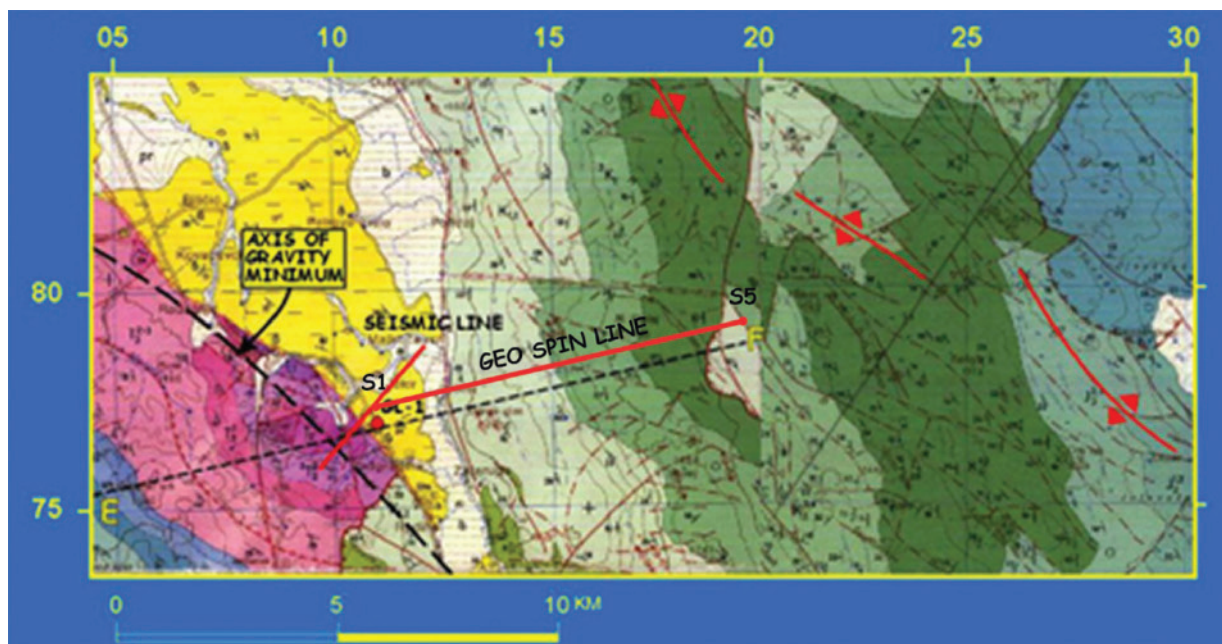
Slika 5. Strukturni geološki poprečni presjek A-B.

takve sekundarne solne forme ne zahtijeva dodatno tektonsko naprezanje, dovoljan poticaj je i dodatna agradacija sedimenata u rim sinklinali.

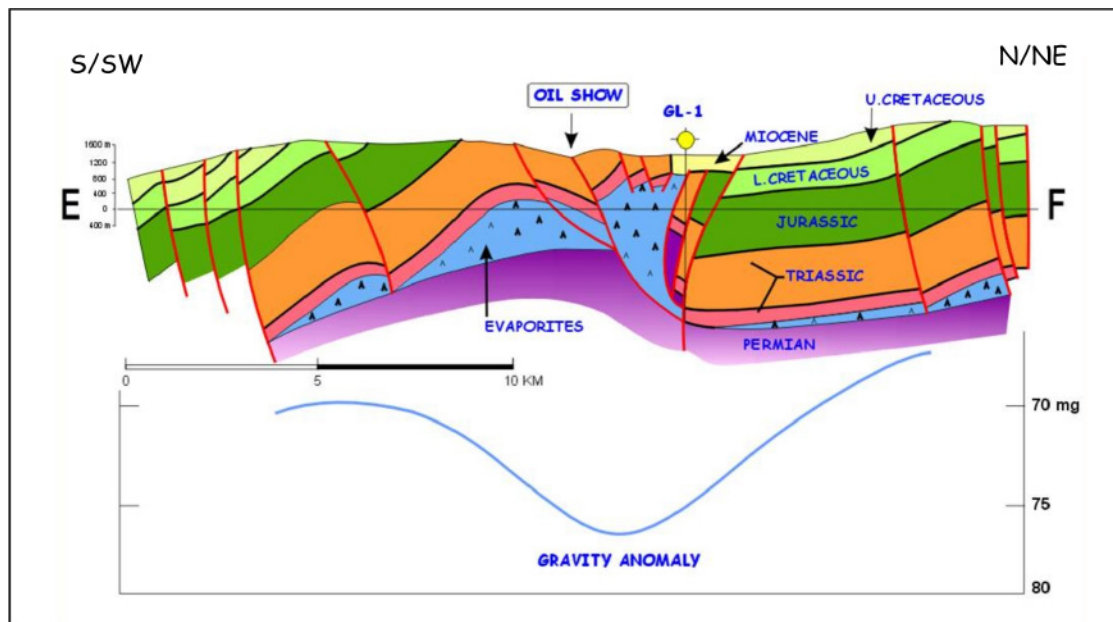
Ova sekundarna diapirska struktura, DSDB, ima nekoliko atributa koji joj daju karakter potencijalne zamke za ugljikovodike, a to su; (a) Postojanje izolatorskih i rezervoarskih stijena u geološkoj građi ove strukture (liasu-donja jura). (b) Blizina migracionih puteva uz sjeveroistočni rub rim sinklinale. (c) Značajna subsidencija trijaskih matičnih stijena u obližnjem Livanjskom bazenu, u kojem je akumulirano više od 2000 m neogenih sedimenata.

Međutim, rizik direktnog istraživanja i nadalje je veliki i dodatna geofizička istraživanja su od bitne važnosti za "dirisking" ovog naftnog prospekta. Direktna geofizička metoda, GEO-SPIN, je ekonomski najatraktivnija za istraživanje ovakvih kompleksnih područja, i u nastavku će biti više diskusije o primjeni ove inovativne metode i rezultatima test-mjerenja u oblasti Glamoča.

Razmotrimo i drugu potencijalnu strukturu, lociranu sjeveroistočno od Glamočkog polja, prospekt Slovinj. Glamočko područje je još prije pola stoljeća privuklo veliku pažnju istraživača ugljikovodika i 1965. godine izbušena je



Slika 6. Geološka karta područja Glamoč.

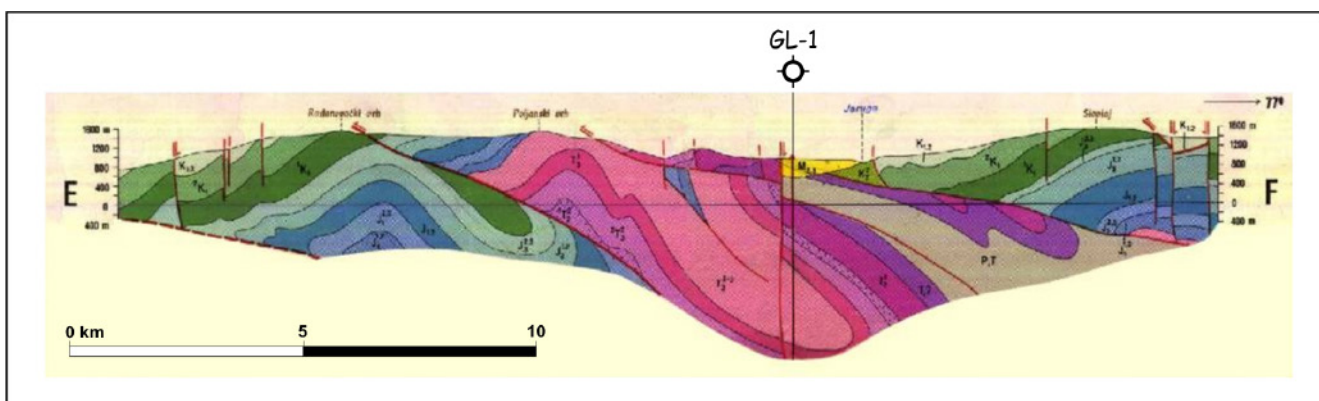


Slika 7. Strukturni geološki presjek na potezu E-F s ilustracijom novog tektonskog koncepta.

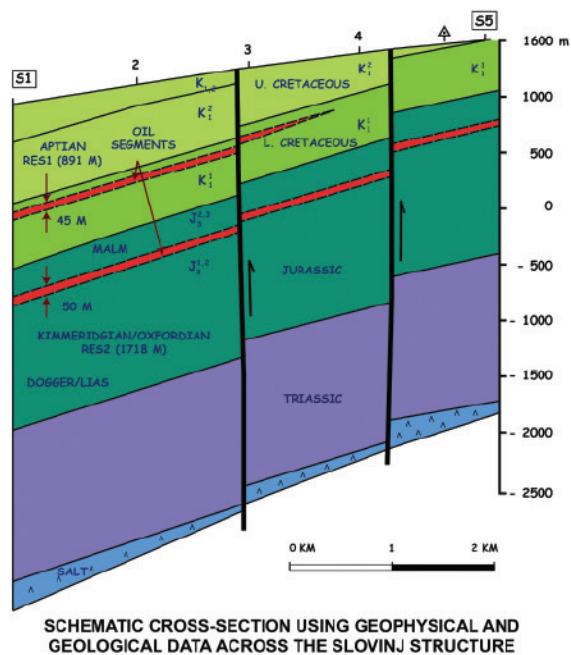
bušotina GL-1, tik uz jugozapadni rub Glamočkog polja (slika 6.). Dvogodišnje bušenje do dubine 4212 m je bilo, zaista, pionirski pothvat i za geologe i za bušače. Na osnovu veoma riskantnih geofizičkih podataka i prognozni geološki model je bio krajnje spekulativan. Bušotina je penetrirala kompleksnu rasjednu zonu, nedaleko od ruba solno-anhidritske serije, što je rezultiralo mnogostrukim gubicima isplake i zaglavama. Ovaj mukotrpan istraživački rad je ipak nagrađen, u trijaskim rezervoarskim stijenama utvrđeni su tragovi ugljikovodika (B. Omrčen., verbalna komunikacija). Interpretacijom svih dosadašnjih dostupnih podataka, a na bazi novog tektonskog koncepta, koji uključuje halokinezu-utjecaj soli, izrađen je novi geološki profil (slika 7.). Posebno se ističe perfektna sukladnost gravimetrijske anomalije i strukturne forme solnog diapira. Za usporedbu, na slici 8 je sekcija konvencionalne interpretacije, koja je bila prikazana na geološkoj karti, list Glamoč. Ova izazovna, imbricirana strukturna forma se

uklapa u mitološko uvjerenje da su u Dinaridima samo navlake dominantne.

U traženju potpore za ovu novu, solno-tektonsku strukturnu tezu u ovom području, koja je sa stanovišta rizika istraživanja ugljikovodika daleko manja, izvršena su inicijalna geofizička mjerenja korištenjem direktne geofizičke metode, GEO-SPIN. Neosporno je da regionalno geološko kartiranje ukazuje na postojanje široke antiklinalne forme sjeveroistočno od Glamočkog polja, struktura Slovinj (slika 6.). Ponovno, ona je produkt sekundarnog diapirizma, slično strukturi DBSD u Livanjskom regionu. Na potezu GEO-SPIN linije (slika 6.) izvršeno je profiliranje i sondiranje ovom direktnom metodom na jugozapadnom krilu antiklinalne. Kod profiliranja su određivane lateralne granice rasprostiranja soli i ugljikovodika, a sondiranjem su definirane dubine predmetnih sadržaja (soli i nafte), koji su korišteni za konstrukciju naftno-litološkog prognoznog profila (slika



Slika 8. Strukturni geološki presjek na potezu E-F, originalna interpretacija-osnovna geološka karta 1: 100000 Glamoč.



Sl. 9. Shematski poprečni profil Slovinj strukture na osnovu geoloških i geofizičkih podataka

9.). Na ovoj pet-kilometarskoj traverzi utvrđena su dva rezervoara ugljikovodika, jedan u donjoj kredi (aptian?) i drugi u gornjoj juri (malm), debljine 45 m odnosno 50 m. Na osnovu utvrđene promjene debljine soli, vjerujemo da je krilo antiklinale segmentirano sa dva reversna rasjeda, čiji je uzrok halokineza.

Posebna je značajka ove direktne geofizičke metoda da nam daje podatke u dubinskoj domeni i u stvarnom vremenu, što omogućava vrlo fleksibilnu promjenu programa istraživanja. Treba posebno istaći, radi ekonomskog aspekta, da su terenski radovi ekipe trajali samo tri dana.

## Literatura

1. Gaćeša, N., (1998): Geophysical Oil & Gas Explorations in Bosnia and Herzegovina. 1<sup>st</sup> Congress of Yugoslav Geophysicists, Belgrade. Zbornik, 203-218.
2. Kulušić, P. & Lopac, V. (2003): Elektromagnetske pojave i struktura tvari. -Školska knjiga, 433-438
3. Tišljarić, J., (1992): Origin and Depositional Environment of the Evaporite and Carbonate Complex (Upper Permian) from the Central Part of Dinarides (Southern Croatia and Western Bosnia). *Geologia Croatica*. 45, 115-126.
4. Tufekčić, D., (2005): Utjecaj soli na strukturne forme Dinarida. 3. Međunarodni Znanstveno-Stručni Skup o Naftnom Gospodarstvu, Zadar. Zbornik Radova., 16-06, 71-77.
5. Tufekčić, D., (2007): Permo-Triassic Evaporites of Southeastern Europe-the Search for Their Basin Setting. AAPG and SEG European Region Energy Conference and Exhibition, Athens.
6. Tufekčić, D., 2013. Impact of Permo-Triassic Evaporites on the Tectonic Structure of Dinarides. Proceeding of the 2<sup>nd</sup> Central and Eastern European Conference and Exhibition, Scientific and Professional Journal of the Croatian Association of the Petroleum Engineers and Geologists, Zagreb, Bulletin, 75/13, 71-79.
7. Tufekčić, D., (2014). Evidence for Halokinesis in Dinara Mountain and Adjacent Livno Basin, the External Dinarides. *NAFTA I PLIN Časopis*. 34, 29-35.
8. 1976. Osnovne geološke karte 1:100 000. Listovi Glamoč i Sinj.

## 3. Zaključak

Komparirajući Vanjske Dinaride i regione sa sličnim litološkim i solno-tektonskim karakteristikama, kao što je regija Zagros u Iranu, s etabliranom visokom proizvodnjom nafte i plina, prerano je dići ruke u istraživanju ovog našeg područja, površine od preko 27000 km<sup>2</sup>.

Najbolje uvjete za uspjeh imaju sekundarne diapirske strukture s dobrim izolatorskim stijenama u kredi i juri i popratnim karbonatnim rezervoarima. Na osnovu rezultata istraživanja u Jadranskom bazenu za očekivati je u Vanjskim Dinaridima ležišta većeg poroziteta i permeabiliteta. Srećom, bez velikih troškova, moguća su efikasna geofizička istraživanja solnih struktura korištenjem gravimetrijske i direktne geofizičke metode (GEO-SPIN). Ako nas iznevjeri nafta, solne strukture se mogu istraživati i koristiti kao ekonomski atraktivna plinska skladišta. Dobar primjer je Savezna Republika Njemačka, koja trenutno ima kapacitet plinskih skladišta u solnim diapirima više od 30 milijardi m<sup>3</sup>.

## Zahvala

Zahvaljujem se Općini Glamoč, koja je odmah prepoznala ekonomsku važnost direktne geofizičke metode (GEO-SPIN) i spremno podržala eksperimentalna (test) mjerenja u svojem području. Posebno se zahvaljujem glamočkom patriotu, i mom kolegi Botić Iliji, koji je s velikim entuzijazmom i dubinskim poznavanjem elektro-magnetske metode pomogao pri terenskim mjerenjima.

Rezultati ove studije su diskutirani na I Kongresu Geologa BiH, Tuzla, 2015.