

# Naftno–geološka jedinstvenost centralnog Jadranskog bazena

## Petroleum geology uniqueness in the Mid–Adriatic basin

mr. sc. Darko Tufekčić  
konzultant  
darkotufekcic11@hotmail.com



**Ključne riječi:** centralni Jadranski bazen, halokinetička depresija, naftna perspektivnost

**Key words:** Mid-Adriatic Basin, halokinetic depression, hydrocarbon perspectivity

### Sažetak

Tema ove geofizičko-geološke studije centralnog Jadranskog bazena nije samo od naučnog značaja, nego i od posebne ekonomske važnosti, kako za Hrvatsku tako i za Italiju. Premda su rezultati istraživanja ugljikovodika u vremenskom razdoblju od 1967. do 2017. bili doista skromni, treba potražiti nove modele za istraživanje.

Osnovne karakteristike naftnog potencijala ovog bazena su revalorizirane u svijetlu boljeg razumijevanja solne tektonike. Za ponovnu ocjenu njegove perspektivnosti korišteni su pretežno odobalni podaci iz Italije i neznatno iz Hrvatske. Ovaj stručni rad proučava međusobni utjecaj četiri važne domene petrolejskog sistema: (a) utjecaj solne tektonike, (b) seizmo-stratigrafsku analizu kanalskih detritskih rezervoarskih stijena Miocena, (c) distribuciju gornjemiocenskih anhidrita i njihovu ulogu kao izolatorskih stijena i (d) karbonatne rezervoarske stijene sa sniženim hidrostatskim tlakom. Proizlazi, da su solna tektonika i sedimentacija povezani procesi s kompleksnim međusobnim utjecajem, koji su generirali jedinstven petrolejski sistem.

Tektonska evolucija centralnog Jadranskog bazena je pod utjecajem deformacija gravitacijskog tipa, sintektonskom sedimentacijom i veoma aktivnom solnom mobilnošću. U takvom procesu tipične premiocenske strukture su spuštene, zadržavajući svoj primarni

hidrostatski tlak, što je rezultiralo formiranjem ležišta s neočekivano sniženim hidrostatskim tlakom. U ranijem istraživačkom bušenju učinkovita kontrola tlaka, MPD („Managed Pressure Drilling“) nije postojala i takvi rezervoari su jednostavno zacementirani bez testiranja.

U ovom bazenu, uz karbonatne rezervoare, otkriveni su i neslućeni podmorski kanali, uz pomoć visoko rezolutne seizmike. Ovaj konceptualni model ležišta u formi kanala predstavlja odličan istraživački prospekt, ne samo u centralnom Jadranskom bazenu, nego i u cijelom području Jadrana.

### Abstract

The results of the Mid-Adriatic Basin (MAB) geophysical and geological studies were not only of scientific importance, but also of significant interest for Italy and Croatia. Although petroleum exploration in this area during the period between 1967 and 2017 had not been too successful we need a new model for hydrocarbons exploration in this basin .

Principal features of the hydrocarbon prospecting potential of the MAB area are reevaluated in light of better understanding of the salt tectonics. The basin's geological re-appraisal was done using integrated exploration data predominantly from the Italian offshore area. This paper discusses four interlinked study domains which improve the understanding of the petroleum system of the MAB. These are: (a) Impact of salt tectonics, (b) Definition of an exciting Messinian channel system, which can be reliably identified using reflection seismic. (c) Distribution of the Messinian

anhydrite and its role as an additional potential seal rock and (d) Characteristics of the potential under-pressure carbonate reservoir

In fact, salt deformation and sedimentation are coupled processes with complex feedback mechanism that created this unique petroleum system. MAB evolution and formation of complex salt structures are controlled by the interaction of gravity-driven deformation, syntectonic sedimentation and salt mobilization. Typical pre-Miocen structures were buried with abnormally low hydrostatic pressure forming the underpressured carbonate reservoir. In previous exploration activities, MPD (Managed Pressure Drilling) didn't exist and such reservoirs were lost to brutal cementing, without performing drill stem testing.

Along with the carbonate reservoirs, huge submarine channel-hydrocarbon traps have been interpreted in this area using high resolution seismic. This conceptual model of detrital sediments in the form of channels presents an excellent exploration target not only for the MAB, but for the whole Adriatic Basin.

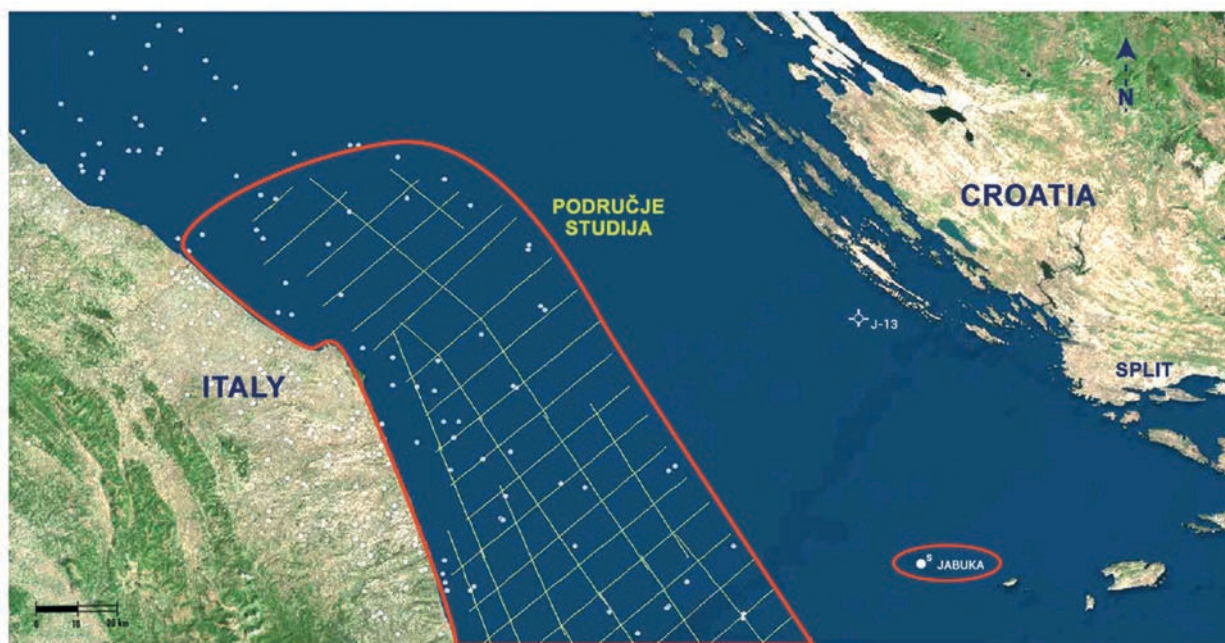
## Uvod

Trijaska sol i njeni prateći evaporiti zaliježu ispod mezozojskih stijena u cijelom centralnom Jadranskom bazenu (MAB). Solna tektonska aktivnost (halokineza) imala je dominantan i dugotrajan utjecaj na taloženje i rezervoarskih stijena. U ranijoj analizi facijesa trijaskih evaporita (5), na temelju bušotinskih podataka, utvr-

đeni su osnovni halokinetski procesi u ovom prostoru i njihov utjecaj na komponente petrolejskog sistema.

Za ilustraciju ovih procesa odabrano je područje koje obuhvaća jugozapadni dio MAB-a talijanskog odobalnog prostora, za koje postoje seizmički 2D podaci (1200 km) i bušotinska mjerenja 60 bušotina (Slika 1.), koji su dostupni putem interneta (ViDEPI Projekt). Regionalni seizmički podaci iz 1967. mjereni su s razmakom profila od 10 km. Unatoč starosti od 50 godina i jednostavnoj obradi, kvaliteta podataka je dobra. Svakako, da je tomu pridonio eksplozijski izvor, dinamit naboja 10 kg.

Mnogi sedimentni bazeni su pod utjecajem kompleksne solne tektonike i mogu biti veoma produktivni kada je u pitanju proizvodnja ugljikovodika, ali mogu uzrokovati i izuzetne teškoće pri istraživanju. Unatoč tomu što se Jadranski bazen istražuje već pola stoljeća, rezultati su skromni, upravo zbog kompleksne halokinetike uzrokovane neobičnim modelom odlaganja evaporita-centralno bazenski model (4). Ovaj model precipitacije je karakterističan po velikoj debljini soli u centralnom dijelu bazena, što je dalo veliki zamah njenoj vertikalnoj i lateralnoj migraciji tijekom Miocena. Solna tektonika značajno utječe i na genezu i na morfologiju podmorskih kanala, što je dokazano u istočnom Mediteranu (1). U našem slučaju uspješno istraživanje ugljikovodika kanalskog sedimentacijskog tipa nedvojbeno će ovisiti od pokrovnih impermeabilnih stijena anhidrita. Naime, Anhidriti Mesinana su u MAB-a prisutni i njihova distribucija je analizirana iz karotažnih podataka.



Slika 1. Prikaz područja istraživanja, seizmičkih regionalnih profila i istraživačkih bušotina

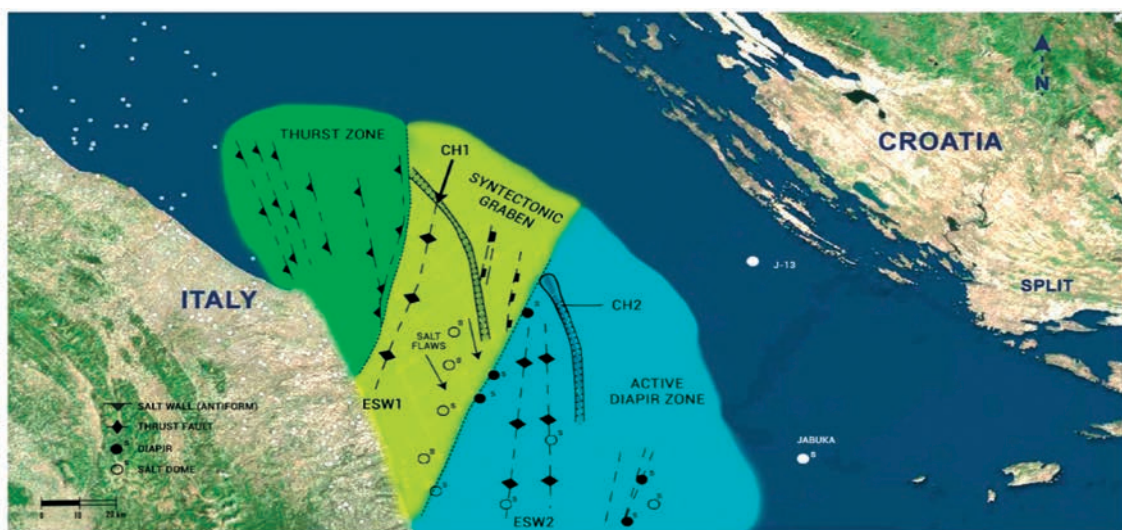
U budućnosti će biti neophodno kartirati anhidritski facijes u širem okviru korištenjem seizmičkih podataka i procijeniti parametre od kojih ovisi njihova nepropustnost. Upravo područje ove studije ističe se po genezi i arhitekturi sedimentacijskih kanala, što privlači pozornost i daje poticaj za daljnja istraživanja nafte i plina u Jadranskom bazenu.

## Halokinetske strukturne forme i sedimentacija

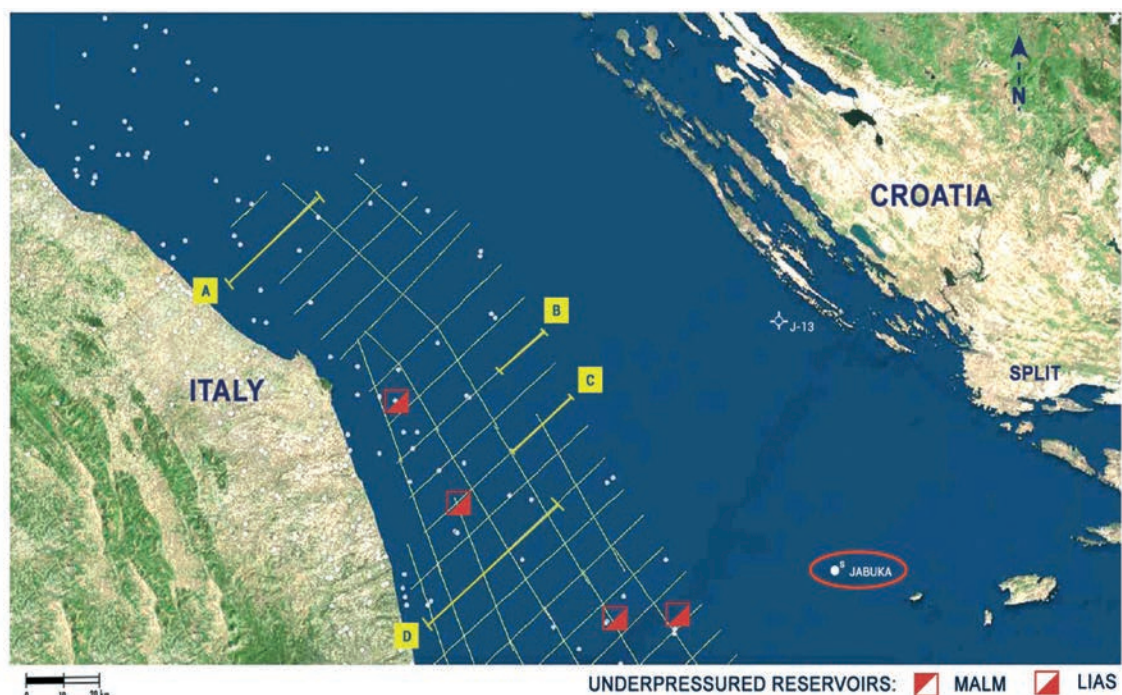
Područje studija možemo podijeliti u tri halokinetske jedinice (Slika 2.):

- Zapadna zona s imbriciranim navlakama i Mesinian anhidritom kao dekolmanom;
- Centralana zona sa sintektonskom uvalom ili halokinetskom depresijom;
- Aktivna diapirska zona.

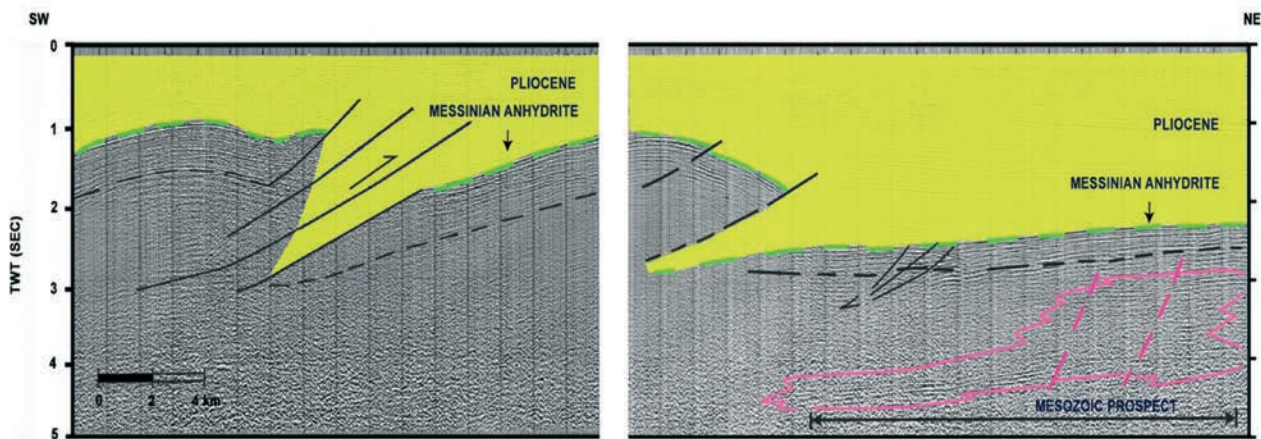
Interpretacija seizmičkih podataka nam je osigurala važne i pouzdane informacije za razumijevanje solnih formi, kao i međusobnih sustavnih djelovanja sol-sedimenti. U zoni navlaka karakteristična je uniformna orijentacija pružanja navlaka, azimuta od 340 do 350 stupnjeva. Unatoč nepovoljnoj azimutalnoj orijentaciji seizmičkih profila u zoni navlačenja, imbricirani



Slika 2. Karta tektonskih jedinica centralnog Jadranskog bazena



Slika 3. Karta lokacija tipičnih seizmičkih profila



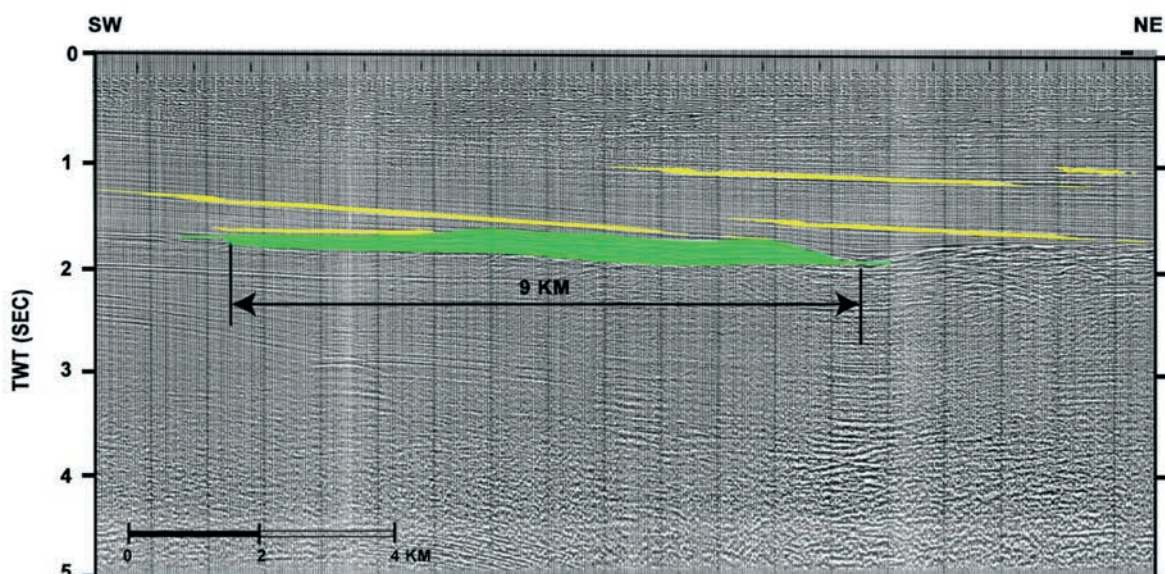
Slika 4. Prikaz geo-seizmičkog profila "A" u zoni navlačenja, ilustracija premesinian prospekta

kacijoni strukturni karakter je moguće interpretirati. Na seizmičkom profilu, lokacija "A" na Slici 3., izgled navlačnog pokrova, sa sigurnošću se odvađa od prospektivnog autohtonog strukturnog bloka-premesianian prospekt (Slika 4.). Na zapadnoj strani sintektonske zone dominira distingtivan solni zid ESW1 pružanja 15 stupnjeva. To je imalo neposredan utjecaj na prostornu orijentaciju kanala.

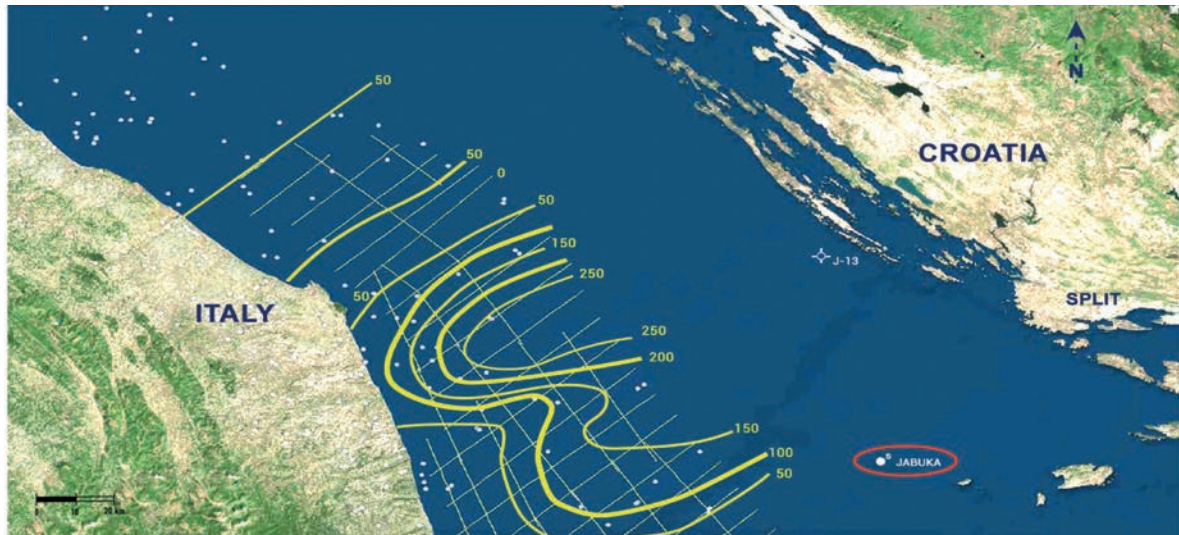
U ovoj analizi od posebnog interesa su sedimentacijski kanali kao potencijalne rezervoarske stijene. Prvi kanal (CH1) formiran je u sintektonskoj uvali i na njegovo pružanje je utijecao solni zid ESW1. Drugi kanal (CH2) je formiran u aktivnoj diapirskoj zoni, istočno od dva izdužena solna grebena ESW2, širina ovog kanala se povećava prema sjeveru, formirajući čelo kanala u formi agradacije, lokacija "C" na karti, (Slika 3.). Seizmički izgled ovog izvanrednog seizmostratigrafskog detalja prikazan je na Slici 5. U toj distal-

noj poziciji širina kanala je veća od 9 km, a ukupna dužina preko 50 kilometara.

Treba naglasiti da su deformacije oceanskog dna važan faktor u razumijevanju formiranja kanalskih taložnih sistema, koji su često prvorazredan rezervoarski potencijal. Visoko rezolutna seizmika ima u tome presudnu ulogu. Marinska seizmička mjerenja u Jadranu (1967.) su doista visoke rezolucije i dobra su osnova za seizmo-stratigrafsku analizu plićih sedimentacijskih sekvenci. Poznato je da su kanjoni i kanali preferencijalno orijentirani linearnom osi tektonskog pružanja antiformalni i taloženje sedimentata je neposredno pod djelovanjem gravitacijskog strujanja prema središtu bazena. Primaran utjecaj na taloženje kanalskih sedimentata ovog bazena imala je halokinetika trijasko solne formacije. Kanalski sedimenti Miocena istaloženi su između solnih zidova formirajući mini-bazenski sistem.



Slika 5. Prikaz geo-seizmičkog profila "C", ilustracije čelone kanalne agradacije



Slika 6. Karta debljina Mesinian anhidrita

Vjerojatno su mehanički oslabljeni pregibi između solnih zidova omogućili inicijalnu eroziju kanala, koji su u sljedećoj transgresivnoj sekvenci ispunjeni detritičnim sedimentima i u konačnoj fazi odlaganjem Mesinian anhidritom kao potencijalne izolacijske pokrovne stijene. Možemo zaključiti da je geneza sedimentacijskih kanala vezana za halokinetski proces i ulazi u domenu halokinetske sekvencijske stratigrafije.

## Miocenski Anhidriti

Anhidriti Miocena (Mesinian) su važan faktor za formiranje zamki za ugljikovodike i njegova prostorna distribucija je od prvorazredne važnosti za petrolejski sistem Jadranskog bazena. U području studija uključene su 64 vertikalne bušotine, koje su imale konvencionalna karotažna mjerenja solidne kvalitete. Na 30 bušotina nabušen je Miocenski anhidrit, a ostale bušotine su ili pliće ili su u zoni navlaka i anhidrit nije penetriran. Debljina anhidrita varira od 0 m do 262 m, (Slika 6.) i na karti isopaha ističu se dva submaksimuma debljina, prvi u zoni grebena, a drugi u aktivnom diapirskom području. Distribucija i debljina anhidrita u Jadranskom bazenu biti će sigurno predmet daljnjih analiza i to ponajviše uz pomoć seizmike. Povoljna je okolnost da anhidrit ima visoku seizmičku impedanciju, što će omogućiti pouzdanu lito-seizmostratigrafsku analizu ovog facijesa u MAB-u, uključujući i hrvatski odobalni pojas. U hrvatskom području do danas nisu nabušeni/utvrđeni Miocenski anhidriti (?). U cilju šireg poticanja istraživanja ugljikovodika u Jadranu neke stratigrafske-parametarske bušotine

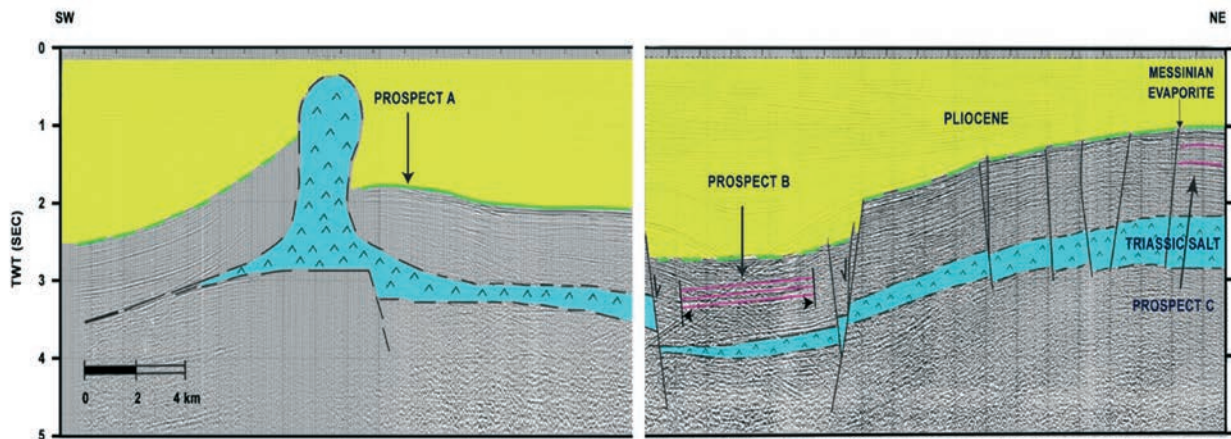
trebale bi biti javno dostupne po uzoru na talijanski internetski projekt ViDEPI.

## Solna tektonika i anomalije hidrostatskog tlaka

Rapidno spuštanje mezozojskih rezervoarskih stijena uzrokovano solnom lateralnom migracijom i izlučivanjem ostavilo je vidljiv trag na karbonatne rezervoare u cijelom Jadranskom bazenu. Pod određenim uvjetima ti rezervoari mogu održati hidrostatski tlak relevantan za raniju paleostrukturu poziciju, a rezultat je sniženi slojni tlak u takvim tektonski spuštenim blokovima. U nedostaku geološke terminologije za ovu halokinetsku sekvencu, nazvat ćemo ga halokinetska depresija. Više o ovoj pojavi bilo je riječi u ranijoj studiji (5). Ovom prilikom ilustrirat ćemo taj tektonski scenarij korištenjem seizmičkog profila "D", lociranom u južnom dijelu sintektonskog grabena (Slika 3.). Najvažnija stratigrafska granica na geo-seizmičkom profilu "D" (Slika 7.) je krovina Miocena-Mesinian anhidrit. Migracija trijasko soli je započela u gornjem Miocenu iz centralnog dijela bazena u oba smjera, formirajući široku domu na sjeveroistočnoj strani, mega diapir na jugozapadnoj i halokinetsku depresiju u sredini.

Na osnovu ovog halokinetskog modela stvorene su tri potencijalne zamke za ugljikovodike:

- (a) Uz sjeveroistočni obod diapira;
- (b) U centralnom dijelu grebena, gdje su utonuli blokovi karbonatnih stijena koje možemo komforno detektirati i seizmo-stratigrafski



Slika 7. Prikaz geo-seizmičkog profila "D". Ilustracija prospekta uz solni diapir, u halokinetskoj depresiji i solnoj domi

analizirati. Moguće su upravo u depresiji pojave rezervoarskih stijena sa sniženim tlakom;

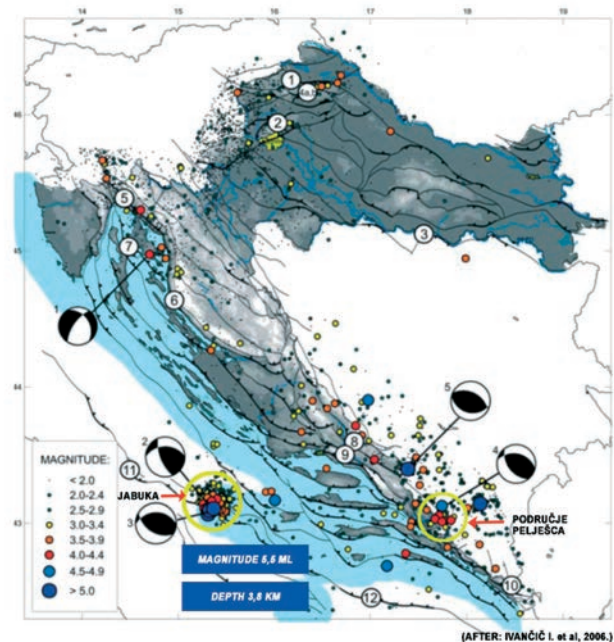
(c) Strukturna zamka formirana na mega-strukturalnoj solnoj domi.

Podaci iz 1967. nisu migrirani, što ne umanjuje njihovu vrijednost. Na profilu „D“ lako se zapaža povećanje debljine Pliocena za više od jedan kilometar u centru halokinetske depresije. To je rezultat lateralne migracije soli. Nadalje, rubni rasjedi depresije su vrlo interpretabilni s naglašenim refrakcionim nailascima. Međutim, unatoč tim organiziranim smetnjama zapažamo i primarne refleksije u potonulom bloku. Dakle, seizmički se mogu uspješno istraživati. Svakako da 3D seizmička mjerenja i dubinska migracija mogu značajno umanjiti geofizički rizik.

## Jabuka diapir

Preduga je dvojba seizmologa i geologa o postanku otočića Jabuke. Pitanje je da li je nastao prodorom vulkanskih stijena ili je to diapir. Usputno saznanje ove studije potvrđuje da se zaista radi o solnom diapiru. Na prikazu (Slika 3.) vidimo da je otok u neposrednom nastavku aktivne dijapirske zone i da je to najjača potresna zona u Hrvatskoj. Nadalje, iz obrade seizmoloških podataka Hrvatske za razdoblje od 2002. do 2006. (6) saznajemo da je hipocentar najjačeg potresa u zoni otoka Jabuke, 3,8 km (Slika 8.). Ta dubina je potpuno sukladna dubini zalijeganja rubnih rasjeda i dubini evaporitnog facijesa na seizmičkom profilu „D“.

Na Slici 8. također, zapažamo da je područje Malostonskog kanala, lokacija za Pelješački most, drugo na listi po intenzitetu potresa u Hrvatskoj. To je zona gdje se evaporiti Jadranskog bazena povezuju s Dinaridskim



Slika 8. Karta najjačih potresa u Hrvatskoj (2002–2006). Otok Jabuka i poluotok Pelješac

evaporitnim bazenom. Neosporno je da i regionalna geologija ne isključuje nestabilnost tla u tom kompleksu dijelu Dinarida. Dakle, rizik potresa postoji i treba ga pažljivo valorizirati prije gradnje mosta, naravno, ako to već nije učinjeno.

## Zaključak

U centralnom Jadranskom bazenu halokinetska aktivnost je rezultirala vrlo svojstvenim razvojem kanalnog sedimentacijskog sistema. Regionalna sezmo-stratigrafska analiza upućuje na arhitekturu kanala, koji u svojem distalnom dijelu formiraju agra-

dacijsku formu maksimalne debljine preko 200 m. Kanali su arbitrarno paralelni glavnim solnim antiformalnim zidovima.

Analiza karte izopaha Mesinian anhidrita ukazuje da njegova debljina prelazi 250 m na odobalnom dijelu Italije. Prostor hrvatskog odobalnog pojasa treba bezuvjetno seizmo-litološki analizirati kako bi se utvrđila kompletna distribucija ovog facijesa važnog kao krovinskog izolatora.

Rezervoari sa sniženim tlakom generirani su, također, halokinetskim procesom. Inicijalna lateralna migracija soli i naredno rapidno spuštanje premiocen-

skih stijena stvorili su uvijete za abnormalan hidrostatski tlak. Ovu halokinetsku sekvenciju nazvat ćemo halokinetska depresija.

Seizmička metoda se je pokazala vrlo učinkovitom i može smanjiti rizik istraživanja ovog kompleksnog bazena. Za očekivati je da nova seizmička mjerenja i posebna trodimenzionalna dubinska migracija dodatno oplemeni istraživanje ovog prostora. Vjerujem da rezultati ove inicijalne halokinetske sekvencijalne stratigrafije mogu pobuditi interes za intenzivnija istraživanja ugljikovodika u Jadranskom bazenu.

## Literatura

1. CLARK, I. R. & CARTWRITE, J. A. 2009, Interactions between submarine channel systems and deformation in deep water fold belts: examples from the Levant Basin, Eastern Mediterranean sea.
2. Marine and Petroleum Geology, 26, 1465-1482. Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity-Geological Society Special Publication 363, London, 2012, 289 p.
3. TUFEKČIĆ, D., (2005): Utjecaj soli na strukturne forme Dinarida. 3. Međunarodni Znanstveno-Stručni Skup o Naftnom Gospodarstvu, Zadar. Zbornik Radova., 16-06, 71-77.
4. TUFEKČIĆ, D., (2007): Permo-Triassic Evaporites of South-eastern Europe-the Search for Their Basin Setting. AAPG and SEG European Region Energy Conference and Exhibition, Athens
5. TUFEKČIĆ, D., (2015): Facijes trijaskih evaporita i njihov značaj u istraživanju ugljikovodika u centralnom dijelu Jadranskog bazena: 8. međunarodna konferencija i izložba o naftno--plinskom gospodarstvu, Šibenik. Zbornik radova., 143-144/2015, 79-86.
6. IVANČIĆ, I., HERAK, D., MARKUŠIĆ, S., SOVIĆ, I., HERAK, M. : Seismicity of Croatia in the period 2002-2005. GEOFI-ZIKA, 2006, 23, 88-103.