

Nafto-plinonost i strukturni elementi jadranskih otoka i poluotoka (vanjski Dinaridi) s posebnim osvrtom na anhidritno-karbonatni kompleks mezozoika i dijapirski pojas

V. Spaić

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Već dugi niz godina evaporitne naslage mezozojske starosti na području jadranskih otoka i poluotoka (vanjski Dinaridi) zaokupljaju pažnju geologa istraživača. Ovim radom su prikazani naftno-geološki podaci, koji omogućuju veću sigurnost kako bi se moglo točnije nego dosad planirati istraživačke radove u cilju lociranja novih, vrlo dubokih istraživačkih bušotina na pojedinim dijelovima jadranskih otoka i poluotoka (slike 1, 2, 3, 4 i 5).

To je područje anhidritno-karbonatnog kompleksa, a naročito u području južnootočkog mezozojskog bazena, gdje su bušotinom Brač-Iβ određene pojave ugljikovodika od C₁-C₅, te izmjeren tlak od 1 100 bara. Time se potvrđuju ranija saznanja, da naslage s anhidritnim pokrivačem (izolator) predstavljaju zatvorene naftno-geološke cjeline s visokim tlakom i temperaturom, te ekonomski značajnim količinama ugljikovodika.

Dano je mišljenje o pojavama sumporovodika u anhidritno-karbonatnom kompleksu i njegovom lošem djelovanju na ljudski organizam, a također i na razornu izmjenu kristalne rešetke u čeliku.

Prikazani su i dijapiri na južnom rubu južnootočkog mezozojskog bazena, njihov utjecaj na formiranje pojedinih otoka i mogući utjecaj na nafto-plinonosne odnose u tom bazenu (slika 5).

Ključne riječi: nafto-plinonost, vanjski Dinaridi, jadranski otoci, anhidritno-karbonatni kompleks

1. UVOD

Sedimentni bazen Dinarida, proteže se od SZ dijelova Slovenije prema JI u smjeru Albanije gdje prelazi u Albanide, odnosno Helenide. U tom bazenu, taložile su se heterogene: paleozojske, mezozojske i kenozojske taložine, čija debljina utvrđena geofizičkim mjerenjima iznosi i preko 15 000 m. Prema svojim litostratigrafskim, tektonskim i naftno-geološkim značajkama predstavljaju značajan objekt za istraživanje nafte i plina.

Pojave asfalta i bituminoznih stijena od Istre do krajnjih jugoistočnih Dinarida, još davno su pobuđivale rasprave o istraživanju nafte i plina, budući da asfalt i bituminozne stijene mogu biti važna indikacija za mogućnost prisutnosti ugljikovodika u dubljim dijelovima bazena.^{38,39,63}

Dinaridi su proučavani od mnogobrojnih domaćih i stranih geologa koji su u svojim radovima prilazili s različitim stajalištima. Radi toga postoje znatne razlike u interpretaciji strukturne građe Dinarida, kao i u tektonskoj rajonizaciji tog područja. Razlike se vide u različitoj terminologiji koja je korištena u prikazu pojedinih tektonskih shema.^{6,11,12,28,29,30, 31,44,45,47,49,55,56,62}

Dubokim i vrlo dubokim bušenjem u području Dinarida, došlo se do novih spoznaja o dubinsko geološkoj građi tog područja. Prva istraživanja dubinske

građe Dinarida na području Hrvatske, započela su 1959. dubokom istraživačkom bušotinom Ravni Kotari-1 (Rk-1), koja je izrađena sjeveroistočno od Zadra kod Murvice, a njena konačna dubina je 4 535,10 m. Na 2 000 m dubine određene su naslage anhidrita (CaSO₄), koje su uslijedile ispod mlađih krednih karbonatnih (CaCO₃) naslaga, što je predstavljalo veliko iznenađenje. Nakon toga nastavljeno je duboko istraživačko bušenje s kraćim ili duljim prekidima do 1975. kada u Dinaridima započinje vrlo duboko bušenje i to bušotinom Nin -1 (Nin-1) s konačnom dubinom od 5 600 m, zatim Brač-I beta (Brač-Iβ) s konačnom dubinom od 6 047 m. Bušotinom Poljica-1 (Polj-1) 1981., čija konačna dubina iznosi 5 515 m, prestalo se bušiti na području Dinarida. Tijekom dugogodišnjeg istraživačkog bušenja, izrađeno je na priobalnom području i na jadranskim otocima 17 istraživačkih bušotina (slika-1), što predstavlja mali broj bušotina u odnosu na površinu toga prostora.

U pojedinim bušotinama su registrirane pojave ugljikovodika i sumporovodika (H₂S). Najznačajnije pojave ugljikovodika bile su u bušotinama na području Ravnih Kotara, Dugog otoka, Oliba i Brača, i to u anhidritno-karbonatnom kompleksu stijena. Nafta je registrirana u bušotini Ravni kotari-1 i -3, te Dugi otok-1, a pojave plina u bušotinama Olib-1, Nin-1, a naročito u bušotini Brač-Iβ. Matične su stijene utvrđene na površini i u pojedinim bušotinama unutar naslaga: karbona,

perma, ladinika, karnika, malma, alba, cenomana, turona i senona. Iz rezultata geokemijskih analiza, vidljivo je da matične stijene variraju od nezrelih, do onih rane zrelosti, zrelih i prezrelih.^{8,9,19, 34,36,37,48,58,59,61,62}

Matične stijene, vjerojatno leže i dublje na području Jadranskog mora u paleozojskim, mezozojskim i kenozojskim stijenama iz kojih su ugljikovodici mogli migrirati u naslage anhidritno-karbonatnog kompleksa, a naročito u slojeve ispod nje ga. Prema tome, ustanovljeno je da priobalna zona i otočno područje od Istre do Crne Gore, predstavlja perspektivno područje za pronalaženje nafte i plina, a naročito u području gdje je utvrđen anhidritno-karbonatno-naftni kompleks stijena mezozojske starosti.^{12,21,26,29,34,37} Naročito tako izgleda nakon izrade vrlo duboke istraživačke bušotine Brač-1B na otoku Braču u blizini Milne, kojom je potvrđena pretpostavka, da te stijene čine zatvorene naftno-geološke sustave koji se odlikuju visokim tlakovima. Vrijednost tih tlakova u toj bušotini iznosila je 1 100 bara.^{33,34}

Na osnovi analize svih dosadašnjih geološko-geofizičkih istraživanja i rezultata dubokih istraživačkih bušotina, dobiven je opći uvid u dubinske geološke, tektonske i naftno-geološke značajke mezozojskih naslaga, priobalnog i otočnog područja. O tim značajkama želim pisati i prikazati ih u ovom radu.

Prema tome mogu se u tom području izdvojiti tri osnovna litološka kompleksa.^{10,14,16,17,19,20,33, 34,35,38,39,40,41, 44,49,52,58,59,60,61,66,67,72,73,75}

To su:

- karbonatni kompleks stijena kredne starosti;
- anhidritno-karbonatni kompleks stijena, donjokredne i gornjojurske starosti;
- klastično-evaporitno-karbonatni kompleks stijena permo-trijaske starosti.

Navedeni litološki kompleksi različitoga su stupnja istraženosti. Razlog tomu su njihova debljina, dubina i tehničke mogućnosti bušaćih postrojenja čiji je kapacitet bušenja do 1975. iznosio oko 4 000 m. Pored toga prikazani su i opisani dijapiri u području južnog Jadrana.

2. KARBONATNI KOMPLEKS STIJENA

Karbonatni kompleks stijena, proteže se od površine do anhidritno-karbonatnog kompleksa i taj je karbonatni kompleks stijena najistraženiji dio mezozojskih naslaga. Te su stijene otkrivene na površini ili su nabušene i probušene u svim bušotinama. Izgrađuju ih vapnenci, dolomiti, vapnene breče i boksit. Po starosti pripadaju kredi.

U vanjskim Dinaridima je do jačih izdizanja došlo krajem mezozoika, pod utjecajem Laramijske orogenetske faze. Glavna boranja, reverzno rasjedanje i navlačenje stijenskih masa, zbililo se u eocenu do oligocena u Pirenejskoj fazi, a horizontalne komponente kretanja su iz srednjeg miocena.

Reverzni rasjedi su uzdužni, pravca pružanja SZ - JI, a karakteristični su za tangencijalne potiske sa sjevera i sjeveroistoka. Ovim rasjedanjem i potiscima došlo je do stvaranja navlačnih struktura. Stvarale su se upravne,

kose, pogle i utonule bore. Došlo je do ponavljanja slojeva, do ljuskave građe i do strmog nagiba slojeva, zbog čega je debljina karbonatnih naslaga znatno povećana. (slika: 1, 2, 3, i 4).

U drugi sustav rasjeda spadaju oni koji su okomiti na pružanje Dinarida pravca SSI - JJZ. Oni su po postanku mlađi od reverznih rasjeda. Misli se da su iz razdoblja srednjeg miocena. Inače, ti rasjedi imaju zapažene horizontalne komponente kretanja. Jedan od njih je i rasjed koji ide Jabučkom depresijom. Okomita je na pružanje Dinarida. Zatim ide rijekom Krkom, te prelazi u dolinu rijeke Une i poprma karakter reverznog rasjeda.

Karbonatni kompleks stijena je uslijed tektonskih pokreta sa SI, klizao preko anhidrita (decollement) u smjeru juga te ga karakterizira tektonska poremećenost, karstifikacija i duboka infiltracija površinskih voda u podzemlje. Karbonati su se borali, ljuskali, lomili i drobili te su u njima nastale pukotine, kaverne, šupljine i špilje kroz koje cirkulira voda od površine do anhidrita.

Karakteristike karbonatnog kompleksa stijena su tangencijalni i radijalni rasjedi, navlačne strukture, duboki krš, relativno niže temperature i tlak te gubitak isplake i općenito cirkulacije prilikom bušenja. Stijena toga kompleksa obiluju prirodnim fenomenima specifičnim za krška područja.

To su:

- pukotine, kaverne i šupljine različitih veličina i oblika;
- njihova prostorna povezanost;
- veza pukotina, kaverni i šupljina u dubini s površinskim dijelovima;
- ispunjenost pukotina, kaverni i šupljina vodom;
- protjecanje vode kroz prostornu "mrežu" pukotina, kaverni i šupljina;
- gubici isplake, morske vode i cementne kaše tijekom bušenja;
- nizak geotermijski stupanj, kao posljedica podzemnog protjecanja vode i relativno dobre toplinske vodljivosti karbonatnih stijena.

Poremećenost karbonatnih naslaga, ponavljanje slojeva, pukotine, kaverne, šupljine, špilje i veliki nagib slojeva, uvjetuju velike poteškoće pri njihovom bušenju. To se negativno odražava na napredak bušenja. Često dolazi do pojava potpunih gubitaka isplake ili vode, zaglava te lomova bušaćih cijevi.

Dubina karstifikacije i s njom u vezi infiltracija površinskih voda, nisu na cijelom području priobalne zone isti. Ovisi o položaju anhidrita, koji se nalazi na različitim dubinama, kao npr. u bušotini Olib-1 na 1 664 m, u Ravnim kotarima-1 na 2 000 m, a u bušotini Brač-1B na dubini 3 850 m (prilozi 2, 3 i 4). Protjecanje površinskih voda kroz sustav pukotina, kaverni i šupljina, relativno dobra toplinska vodljivost karbonatnih naslaga i odsutnost klastita, uvjetovali su nizak geotermijski gradijent (1,5 °C/100 m). Izmjerena temperatura u ovom kompleksu stijena iznosi 40 °C.

Prema utvrđenim pokazateljima u karbonatnom kompleksu ne postoje uvjeti za formiranje ležišta nafte i plina.^{30,33,58,59,60}

Ondje su zabilježene tek veće ili manje pojave asfalta, tragova plinskih ugljikovodika, sumporovodika te ugljičnog dioksida.^{37,60,61}

U ovom je radu još jednom dan osvrt na moguću genezu lučnog savijanja jadranskih otoka i poluotoka te o tzv. "hvarskom pravcu" pružanja južno-jadranskih otoka.⁶⁰ Daljnjim spoznajama je utvrđeno, kako je na taj pravac pružanja imao značajan utjecaj i tektonski lom koji ide linijom Jabučke depresije i doline rijeke Krke, pružanja SSI – JJZ, a okomit je na Dinaride. Uz taj rasjed su se karbonatne i anhidritsko-karbonatne naslage spustile u odnosu na Ravnokotarski blok, a karbonatni kompleks stijena je klizao preko anhidrita (decollement) uz rasjed u smjeru juga (slika 1). To je jedan od niza dokaza o lučnom povijanju, koje je dovelo do tzv. hvarskog pravca pružanja južnojadranskih otoka.

3. ANHIDRITNO – KARBONATNI KOMPLEKS

Anhidritno-karbonatni kompleks stijena, prostire se od otoka Raba, preko Ravnih kotara i južnojadranskih otoka, te ponire pod Dinaride. Njegova dužina iznosi oko 300 km, a prosječna širina oko 60 km što ukupno iznosi oko 18 000 km² (slika 1). Bušotine: Olib-1, Ravni kotari-1, -3 i -4, Dugi otok-1 i Nin-1 zahvatile su anhidritno – karbonatni kompleks na "bloku" Ravni kotari, dok su bušotine: Brač-I β i Vis-1 zahvatile taj kompleks na "bloku" južnojadranskih otoka (slika-1). Bušotine Pula-1, Susak-1, Premuda-1, Ravni kotari-2, Poljica-1 i Lastovo-1 nisu zahvatile kalcijско-sulfatne naslage, jer se one vjerojatno nalaze na rubu tih naslaga. Prema spomenutim bušotinama okonturen je taj kompleks stijena te je na karti ucrtan njegov pretpostavljeni rub.

Strukturni maksimum ide približno sredinom tog kompleksa. Sjeverozapadni, Ravnokotarski "blok" je u odnosu na jugoistočni "blok" južnojadranskih otoka strukturno viši dok je jugoistočni spušten uz rasjed Jabuka - Krka, što se može vidjeti na uzdužnom shematskom profilu (slika-2), a i prema podacima bušotina koje su izrađene na tim "blokovima".

Najplića krovina anhidritno-karbonatnog kompleksa nabušena je u bušotini Olib-1 na otoku Olibu i to na dubini 1 664 m, a najdublja krovina anhidrita je zahvaćena u bušotini Brač-Iβ na otoku Braču, na dubini od 3 850 m.

Najveća debljina tog kalcijско-sulfatnog kompleksa izmjerena je bušotinom Nin-1, a iznosi 3 790 m, ali ni konačnom dubinom od 5 600 m nije u cijelosti probušen taj kompleks stijena. Stvarna debljina anhidritno-karbonatnog kompleksa nije do danas utvrđena. Njegova velika debljina najvjerojatnije je uvjetovana orogenetskim pokretima, što je dovelo do ustrmljenja slojeva, a djelomično može biti i utjecaj dijapirizma.^{34,35,58,59,60}

U bušotini Nin-1 izmjeren je njihov vrlo strmi nagib od 70° na dubini od 4 600 m. Najpouzdaniji su podaci pandažmetra iz bušotine Brač-I β s intervala 1 775-1 870 m, gdje je izmjeren nagib slojeva od 50°. Nagib ovih slojeva u toj bušotini zabilježen je i na dubini od 5 824 m, a iznosio je čak 70 - 80°.

Svake druge sedimentne stijene će lakše pratiti navlačna kretanja od anhidrita i zato sam mišljenja da anhidrit predstavlja kliznu plohu (Deccollement) po kojoj se klizao, borao i navlačio karbonatni kompleks stijena, što je dokazano u bušotinama: Boraja-1 i Brač-I β (prilozi 2, 3 i 4).

Područje vanjskih Dinarida u razdoblju od gornjega trijasa do gornje krede, predstavljalo je relativno stabilan karbonatni šelf s isključivo kalcijско-sulfatnim i karbonatnim režimom sedimentacije. Određena starost anhidritno-karbonatnog kompleksa je gornja jura i donja krede. Kompleks kalcijско-sulfatnih mezozojskih stijena, pretežno je izgrađen od anhidrita, a karbonatne stijene (vapnenci i dolomiti) javljaju se u obliku proslojaka: milimetarskih, centimetarskih i metarskih debljina.

Kada bušaće alatke uđu u taj kompleks, krški fenomeni nestaju pa gotovo nema gubitka isplake. Oni ovise o debljini i sekundarnoj poroznosti proslojaka karbonatnih stijena unutar anhidrita.^{14,16,17,44,49,50,59,60,61,62,63,66}

Unutar anhidritno-karbonatnog kompleksa registrirane su dosad najznačajnije pojave nafte i plina.

Najviša temperatura izmjerena je u bušotini Dugi otok-1. Na dubini od 3 950 m i iznosila je 71 °C. Temperaturni gradijent iznosi 1,06 /100 m, što odgovara geotermijskom stupnju od 94 m/1 °C. Tako niske temperature uvjetovane su debelom sedimentnom serijom karbonata u kojima nema stijena koje bi bile relativno dobri toplinski izolatori, kao što su gline i lapori. U bušotini Brač-I β temperaturni gradijent sporo raste te je nizak do 5 140 m. Od te dubine rastao je naročito u anhidritno-karbonatnom kompleksu. Time se potvrđuju ranija saznanja da stijene s anhidritskim pokrivačem predstavljaju zatvorene naftno-geološke cjeline s visokim tlakom i temperaturom. Temperatura u bušotini Brač-I β, zabilježena je na dubini od 5 000 m i iznosila je 60 °C s tendencijom porasta prema dubini.⁴⁹

Temperatura je u bušotini Brač-I β s dubinom stalno rasla, ali zbog zaglave i loma bušaćih cijevi nije se mogla izmjeriti na dnu bušotine.

Anhidrit u nafno-geološkom smislu predstavlja odličnu izolatorsku (pokrovnu) stijenu, dok karbonati unutar anhidrita, s obzirom na svoju sekundarnu šupljikavost, mogu biti izvrsni kolektori za ugljikovodike, kao što je i dokazano u pojedinim bušotinama. Mišljenje da je u anhidritno-karbonatnom kompleksu stijena moglo doći do formiranja ležišta ugljikovodika, temelji se na utvrđenim znatnim pojavama nafte i plina u nekim bušotinama. To osobito potvrđuje pronalazak plina u veoma dubokoj bušotini Brač-I β na otoku Braču kod Milne. Bušotina Brač-I β postigla je konačnu dubinu od 6 047 m. Plinoviti ugljikovodici utvrđeni su u anhidritno – karbonatnom kompleksu stijena, na dubini od 6 014 m pri vrlo visokom slojnom tlaku od oko 1 100 bar. Utvrđeni su ugljikovodici C₁-C₅, voda, H₂S i CO₂.

To dokazuje, da u tom kompleksu stijena, postoje zatvoreni hidrodinamički sustavi, kao i uvjeti za nastajanje ležišta ugljikovodika u njima.^{17,19,35,36,40,42,46,60,61,62}

Debljina mezozojskih naslaga u kojima su izgrađene bušotine, vrlo je velika. Ona u bušotini Brač-1 β iznosi 6 047 m. Od toga na naslage karbonatnog kompleksa otpada 3 850 m, dok naslagama anhidritno-karbonatne serije pripada 2 197 m. Niti postignutom konačnom dubinom bušotine Brač-1 β od 6 047 m nisu zahvaćeni slojevi koji bi upućivali na promjenu u sedimentacijskom ciklusu.

Velika debljina slojeva, a naročito karbonatni kompleks, najvjerojatnije je uvjetovana orogenim pokretima, koji su izazivali boranje, reverzno rasjedanje i navlačenje slojeva jednih na druge, što je dovelo do ustrmljenja i ponavljanja slojeva, a time i povećanja debljine.^{34,35,58,59,60}

U tom je području vjerojatno djelomično zastupljeno i dijapirsko izdizanje.

Evaporitne se naslage nalaze na svim kontinentima, a njihova je starost od prekambrija do danas. Dobar dio glavnih nafto-plinonosnih područja vezan je uz pojavljivanje tih naslaga.

Prema navedenim podacima o plinu i visokom tlaku u bušotini Brač-1β može se reći da je u anhidritno-karbonatnom kompleksu stijena južno-jadranskih otoka moglo doći do formiranja ležišta nafte i plina u karbonatima unutar anhidrita.

Moguće zrele matične stijene mogu biti u dubokim slojevima mezozoika i paleozoika u podmorju Jadranskog mora, iz kojih su ugljikovodici mogli migrirati u anhidritno-karbonatni i u klastično-evaporitno-karbonatni kompleks naslaga. Postojanje sumporovodika je određeno u gotovo svim bušotinama u vanjskim Dinaridima, kako u karbonatnom kompleksu, tako i u anhidritno-karbonatnom kompleksu mezozojske starosti. Njegova najveća koncentracija zabilježena je u anhidritno-karbonatnom kompleksu u bušotinama Ravni kotari-3 i na Dugom otoku, a naročito velike količine zabilježene su u bušotini Brač-1 β na otoku Braču. U bušotini Ravni kotari-3 sumporovodik je registriran na intervalu 2 713 – 3 013 m. Za vrijeme bušenja njegova je koncentracija u isplaci bila od 280 do 600 ppm, dok je kod testiranja iznosila i preko 1 500 ppm. Tako velika koncentracija sumporovodika uzrokovala je intenzivnu "koroziju" bušaće opreme i alata za testiranje. Sumporovodik je predstavljao i veliku opasnost za ljude, o čemu govore i dva slučaja trovanja. Međutim, najveća pojava sumporovodika uz izazvalo visok tlak od 1 100 bara, na dubini od 6 047 m u bušotini Brač-1 β, prva je takva pojava u vanjskim Dinaridima u južno-otočkom području. Tijekom izgradnje bušotine Brač-1β, zapažene su neznatne pojave sumporovodika. Međutim od 5 800 m u anhidritno-karbonatnom kompleksu stijena, pa dublje, te pojave su znatnije, tako da su uvjeti rada postajali sve složeniji. To je prva bušotina u kojoj su se pojavili visoki tlakovi uz koje je ostvaren prtok fluida iz stijena u kanal bušotine na dubini od 5 800 do 6 047 m. Bili su to ugljikovodici C₁-C₅, voda, H₂S i CO₂. Sumporovodik se je pojavljivao u sve većim količinama, te je na dubini od 6 047 m, na vibratoru toksimetrom izmjereno više od 4 000 ppm.

Izgradnja vrlo duboke bušotine Brač-1 β obustavljena je na dubini od 6 047 m. Obustavi su pridonijeli vrlo visoki

tlakovi u stijenama zasićenim plinovitim ugljikovodicima i visokom koncentracijom sumporovodika, koji je predstavljao veliku opasnost za radnike na bušačoj garnituri za bušaće postrojenje, ali i za stanovnike Milne te radi loma bušaćih šipki na dubini od 100 m.

Sumporovodik je bezbojan, vrlo otrovan plin, neugodnoga mirisa po pokvarenim jajima i gori na zraku. Mijenja krvnu sliku, a toksičan je radi njegova razarajućeg djelovanje na hemoglobin, koji u krvi služi za prenošenje kisika. Vrlo je toksičan kod malih koncentracija od svega 100 ppm, a nakon djelovanja u trajanju od 4 sata može izazvati smrt. Kod koncentracije od 800 ppm smrt nastupa trenutačno. Uništava i svu faunu i floru. Izaziva razornu izmjenu kristalne rešetke u čeliku, zbog čega čelik gubi elastična svojstva i postaje lomljiv. To je tzv. strukturna korozivnost, a ne površinska kao kod oksidacije. Sumporovodik je uglavnom vezan za sulfatne minerale, te ga na području vanjskih Dinarida možemo očekivati u svim sljedećim bušotinama, tj. ondje gdje se javlja anhidrit, što je već i dokazano u dosad izrađenim bušotinama. Na površini javlja se u Splitskim topicama i na otoku Pagu. Radi visokih tlakova i velike koncentracije sumporovodika, neophodno je ostvariti tehnički besprijekornu izradu buduće, veoma duboke istraživačke bušotine u anhidritno-karbonatnom kompleksu stijena mezozojske starosti u vanjskim Dinaridima.

Dubine do kojih su dosegle izrađene bušotine u Dinaridima, upućuju na zaključak o tehničkoj uspješnosti dosadašnjih radova. Prema tome, u budućoj istraživačkoj aktivnosti u priobalno otočnom dijelu, predstoji izrada vrlo dubokih bušotina od 6 500-7 000 m. Za uspješno obavljanje budućih radova na tako velikim dubinama, velikim tlakovima, pojavama plinovitih ugljikovodika i sumporovodika, potrebno je sljedeće: zaštitne cijevi, bušaće cijevi, bušotinska glava, spojevi, ventili i preventerski sklopovi moraju biti od čelika rezistentnog na djelovanje sumporovodika. Bušaća jedinica mora biti opskrbljena bentonitom, baritom, različitim aditivima, vodom i drugim. Mora biti osigurana zaštitnim sredstvima rada i tehničkom zaštitnom opremom kao što su indikatori sumporovodika, inhibitori i dr.^{34,38,62,63}

4. KLASTIČNO - EVAPORITNO - KARBONATNI KOMPLEKS

Ovaj kompleks naslaga dolazi ispod anhidritno-karbonatnog kompleksa, a izgrađen je od vapnenaca, dolomita, lapora, pješčenjaka, anhidrita, gipsa i soli. Kronostratigrafski ovaj kompleks naslaga najvjerojatnije pripada permotrijasu. Dubinski položaj i pretpostavljena višestruka izmjena, propusnih i nepropusnih stijena, ukazuje na mogućnost postojanja zatvorenih naftno-geoloških sustava, te da su temperature i slanost vodâ visoki, a u slojevima se mogu očekivati visoki tlakovi.

Vjerojatno, najpovoljniji uvjeti za akumulaciju ugljikovodika postoje ispod anhidrita u klastično-evaporitno-karbonatnom kompleksu stijena. U tom je kompleksu naslaga moglo doći do formiranja ležišta nafte i plina od ekonomske vrijednosti uz uvjet da postoje matične stijene.

Postoji mogućnost, da je već i bušotina Brač-Iš t ušla u taj kompleks naslaga, ali to nije dokazano.

S obzirom na veliku dubinu na kojoj se može očekivati klastično-evaporitno-karbonatni kompleks moguće ga je dosegnuti vrlo dubokom bušotinom od 6 500 do 7 000 m. Danas su se već stekli uvjeti za istraživanje dubokih klastično-evaporitno-karbonatnih sedimenata u otočnom i priobalnom dijelu vanjskih Dinarida s obzirom na tehničke mogućnosti bušenja.

5. DIJAPIRSKI POJAS

Dijapiri su rezultat vertikalnog prodora pojedinih tijela-naslaga prema površini. Takva su kretanja česta u ležištima soli, gipsa, anhidrita i drugih stijena pod djelovanjem uglavnom tektonskih sila. U zadnje se vrijeme raspravlja i o magmatskim dijapirima.

Najčešći je solni dijapirizam. Sol ima drukčija svojstva od ostalih sedimenata, budući da je relativno lagana i plastična. Obično krovinske naslage predstavljaju zapreku, otpor, pa ih dijapiri izdignu. U tom slučaju nastaju dijapirske bore (slika-5). Na dodiru dijapira i drugih stijena, često se pri prodoru istih formiraju tektonske breče. Dijapiri se stvaraju, nastaju na svim područjima kugle zemaljske i to u svim vremenima geološke starosti, od paleozoika do danas. Hrvatska je bogata velikim brojem, preko tisuću otoka, različite geološke građe. Većina je izgrađena od taložnih, karbonatnih stijena (vapnenca i dolomita). Jedan je otok izgrađen od eolskih sedimenata tzv. prapora (les), a to je Susak. Na južnom dijelu Jadrana dva su otoka (Jabuka i Brusnik) izgrađeni od vulkanskih stijena i to dijabaza. To je posljedica dijapirske aktivnosti. Dijapiri su izgurali (izdigli) na površinu Jabuku i Brusnik (slika: 3 i 5). Prema podacima seizmičkog snimanja Jadranskog podmorja, ustanovljeno je da Jabuka nema "korijena", nego leži na dijapiru. Otok je izgrađen od vulkanske žične stijene dijabaza, jurske starosti, što je dokazano analizom uzoraka.

Dijapir, vjerojatno permsko-trijaske starosti izgrađen od evaporita i klastita, prodirući prema površini "pokupio" je na svojem putu gromadu dijabaza u jurskim naslagama i jednostavno je izgurao na površinu (slika 3 i 5). Pretpostavka je da se isti scenarij dogodio i s otokom Brusnikom, koji je također izgrađen od dijabaza jurske starosti.

U dijapirskom pojasu, širine oko 20 km, koji se pruža od zapada prema istoku, nalaze se sljedeći otoci: Jabuka, Sveti Andrija (Svetac), Brusnik, Biševo, Vis, Sušac, Lastovo i Mljet. Pojas preko Elafitskih otoka tone ispod Dinarida. Pored Jabuke i Brusnika, na dijapirima leže i otoci Svetac, Biševo, Vis, Lastovo i Mljet (slika 5).

Kao dokaz tomu su klastično-evaporitne naslage dijapira permsko-trijaske starosti koje je probio i slomio te deformirao anhidritno-karbonatni kompleks i krovinske slojeve karbonata, jursko-kredne starosti kod Komiže na otoku Visu (slika-4). To je dokazano, dubokom istraživačkom bušotinom Vis-1, koja je izrađena kod Komiže. Ona je prvo probušila klastično-evaporitne permotrijaske naslage, zatim ušla u anhidritno-karbonatni kompleks stijena donje krede, a bušenje je završilo u gornjojurskim vapnencima zbog malog

kapaciteta bušačeg postrojenja (slika 4). Luka kod Komiže na otoku Visu je kružnog oblika, koju je oblikovao dijapir, a kasnije i erozija.

Otok Palagruža je izgrađen od vapnenaca i klastično-evaporitnih naslaga te je vjerojatno i taj otok dijapirski izdignut.

Bušotina Lastovo-1, na otoku Lastovu je zahvatila sličan tip facijesa na svojem dnu, pa se na osnovi tih podataka može zaključiti da se i ovdje radi o dijapiru (prilozi 1 i 5).

Vjerojatno je u procesu dijapirizma u području južnojadranskih otoka, imao utjecaj i gipsni dijapirizam, a naročito na južnom dijelu gdje se "dodiruje" dijapirski pojas s anhidritno-karbonatnim kompleksom, posebno na području otoka Visa. Tu je moglo doći do hidratizacije anhidrita i prelaska u gips.

Mišljenja sam da je gipsni dijapirizam u području dijapirskog pojasa slabijeg intenziteta i da nije mogao imati veći utjecaj na oblikovanje dijapira. Visina dijapira u dijapirskom pojasu varira, a ovisi o debljini mezozojskih naslaga iznad njih. Najviši dijapiri su oni koji su izdigli Palagružu i Vis, te Jabuku i Brusnik. Niži su oni na kojima leže samo naslage jure, kao na otoku Lastovu, a najniži je onaj iznad kojeg su naslage jure i krede kao na otoku Mljetu, gdje su mezozojske naslage, poprimile oblik bore (slika 5). Uz južni rub svih navedenih otoka u dijapirskom pojasu zabilježen je reverzni rasjed, koji je imao značajnu ulogu u formiranju opisanih dijapira i izbijanju na površinu (slika 1). O promjeru dijapira u dijapirskom pojasu teško je sa sigurnošću nešto točno reći. Budući da širina luke u Komiži iznosi oko 3 km, pretpostavljam da bi naši dijapiri mogli imati promjer od oko 3 do 5 km, a možda i više (slika 5).

Nekoliko riječi i o glavnim tektonskim pokretima u stvaranju ovih dijapira. Vjerojatno su oni kao i reverzni rasjedi vezani uz tangencijalne pokrete u vremenu eocen-oligocen.

Vjeruje se da južnootočki mezozojski bazen ima višu temperaturu u podzemlju od drugih dijelova anhidritno-karbonatnog kompleksa, zato što je na rubu tog bazena dijapirski pojas uz koji ide i povišenje temperature. Uz dijapire idu i tektonske breče na njihovim rubovima. Na bokovima dijapira obično se formiraju stratigrafska ležišta nafte i plina.^{40,67}

6. ZAKLJUČAK

U ovom su radu obrađeni:

- karbonatni kompleks stijena kredne starosti,
- anhidritno-karbonatni kompleks stijena, donjokredne te gornjojurske starosti s pojavama sumporovodika,
- klastično-evaporitno-karbonatni kompleks stijena, permsko-trijaske starosti,
- dijapirski pojas od otoka Jabuka do otoka Mljeta,
- zaključak.

Karbonatni kompleks stijena izgrađuju vapnenci, dolomiti, vapnene breče i boksit. Kretanje karbonatnog kompleksa preko anhidrita, koji predstavlja decollement u smjeru juga pod utjecajem tangencijalnih sila sa sjevera, izazvalo je stvaranje raznih tipova bora u tom kompleksu, od uspravnih, kosih, prebačenih, polegnutih

i utonulih. Došlo je do reverznog rasjedanja i stvaranja ljuskavih struktura, ponavljanja slojeva, a time i do zadebljanja toga kompleksa. Velika poremećenost karbonatnog kompleksa čini velike poteškoće pri izradi dubokih i vrlo dubokih bušotina kada dolazi do potpunih gubitaka cirkulacije, te lomova i zaglava bušačkih alatki. Budući da taj kompleks stijena intenzivno poremećen, u njemu nije moglo doći do akumulacije ugljikovodika, već samo do pojava asfalta i sumporovodika.

Anhidritno-karbonatni kompleks stijena izgrađuju anhidrit i karbonati (vapnenci i dolomiti). Ulaskom bušotine u taj kompleks naslaga krški fenomeni nestaju i gubici isplake se gotovo više ne pojavljuju. Ovaj kompleks naslaga se dosad pokazao kao najperspektivniji za nalaz ugljikovodika. U njemu je zabilježen plin $C_1 - C_5$, sumporovodik i CO_2 , pod vrlo visokim tlakom od 1 100 bara. Utvrđeno je da u njemu postoje zatvorene naftno-hidro-geološke cjeline s visokim tlakom i temperaturom. Prema tome u njemu je moglo doći do akumulacije ekonomski značajnih količina ugljikovodika. Uz ovaj kompleks stijena vezane su veće pojave sumporovodika, koji je bezbojan i vrlo otrovan plin, neugodnog mirisa po pokvarenim jajima, gori na zraku, otrovan je, mijenja krvnu sliku razorno djelujući na hemoglobin. Sumporovodik izaziva razornu izmjenu kristalne rešetke u čeliku, zbog čega čelik gubi elastična svojstva te postaje krhak i lomljiv.

Klastično-evaporitno-karbonatni kompleks stijena, dolazi ispod anhidrita. Vjerojatno je permo-trijaske starosti, a izgrađen je od vapnenca, dolomite, lapora, pješčenjaka, anhidrita, gipsa i soli. Očekuje se da u njemu vladaju zatvoreni naftno-hidro-geološki sustavi, da su temperatura i slanost voda visoki, a u slojevima se mogu očekivati visoki tlakovi. U ovom je kompleksu moglo doći do formiranja ležišta nafte i plina.

Dijapirski pojas, širine oko 20 km, proteže se od otoka Jabuka do otoka Mljeta. Karakterističan je po nizu dijapira koji su svojom silinom izbijanja iz dubine (podzemlja) utjecali na stvaranje pojedinih otoka.

Dosadašnjim istraživačkim radovima i podacima koji su prikupljeni došlo se do novih saznanja koja daju mogućnost i veću sigurnost da je na temelju naftno-geoloških podataka moguće točnije nego dosad, planirati istraživačke radove u cilju lociranja novih, vrlo dubokih istraživačkih bušotina na pojedinim dijelovima šireg područja jadranskih otoka i poluotoka, a to je područje južnojadranskih otoka.

Najveće izgleda za otkrivanje nafte i plina, očekuje se prvenstveno u anhidritno-karbonatnom kompleksu stijena jursko-kredne starosti i stijenama klastično-evaporitno-karbonatnog kompleksa permo-trijaske starosti. Postoji mogućnost da je u tim dijelovima podzemlja najpovoljnija sačuvanost odgovarajućih i potrebnih naftno-geoloških uvjeta kao što su matične, rezervoarske i pokrovne stijene, tlak i temperatura.

Prema tome, nužno se nameće potreba za novim, modernijim geofizičkim mjerenjima, posebno seizmičkim, koja predstavljaju uvjet za uspješno prikupljanje podataka, te njihovu geološku interpretaciju za kvalitetnije izvođenje istraživanja nafte i plina. Prilikom

izrade programa seizmičkih mjerenja, mora se voditi računa o mogućem povezivanju izrađenih bušotina sa seizmičkim profilima. Na taj će se način omogućiti njihova realnija i kvalitetnija korelacija i interpretacija.

Ako pretpostavimo da se ležišta ugljikovodika nalaze i dublje i ispod anhidritno-karbonatnih naslaga u permotrijasu, izrada kanala bušotine mora biti u tehničkom smislu besprijekorna, radi mogućih visokih tlakova i sumporovodika.

Budući da je došlo do loma bušačkih šipki na 100 m dubine, nije bilo moguće u potpunosti ispitati pojave plina u bušotini Brač-Iß. Zbog toga u daljnjim istraživanjima treba razmišljati o lokaciji još jedne vrlo duboke bušotine od 6 500 m na Braču, koja bi dosegla podinu anhidritno-karbonatnog kompleksa stijena i zahvatila potencijalne starije, permo-trijaske nafto-plinonosne sedimente, te ispitala utvrđene količine plina u podzemlju otoka Brača s preporukom da lokacija bušotine treba biti dalje od naselja zbog sumporovodika.

Litofacijsni sastav anhidritno-karbonatnog i klastično-evaporitno-karbonatnog kompleksa stijena, njihov strukturni položaj, površina prostiranja, debljina naslaga, moguće matične, rezervoarske i pokrovne stijene, plin $C_1 - C_5$, tlak od 1 100 bara, ukazuju da postoji mogućnosti pronalaska ekonomski značajnih količina ugljikovodika u području južnojadranskih otoka.

Karta područja anhidritno-karbonatnog kompleksa mezozojskih stijena (slika-1) i shematski geološki profili (prilozi 2,3,4 i 5), mogu poslužiti u kompleksnoj ocjeni perspektivnosti razmatranog područja.

ZAHVALA

Zahvaljujem dr.sc. Josipu Sečenu na potpori. Posebno se zahvaljujem dr.sc. Zvonimiru Hernitzu na recenziji te stručnom poboljšanju tekstualnog dijela ovog rada. Zahvaljujem i dipl.ing. Bogumiru Jambrošiću na pomoći pri računalnom uređenju teksta i slika.



Autor:

Vjekoslav Spaić, dipl. ing. geol., N. Nalješkovića 27/V, 10000 Zagreb
tel. 01 6116-280
mob. 099/7222997

UDK : 550.8 : 553.98 : 553.28 (497.5)

550.8	geološka istraživanja
553.98	ležišta nafte i plina
553.28	vrste ležišta
(497.5)	R. Hrvatska, vanjski Dinaridi, jadranski otoci