

Novo izdvojeni potencijal unutar konvencionalnih plinonosnih pijesaka pleistocena (Prospekt Ida D - Sjeverni Jadran)

Newly identified potential within conventional gas bearing Pleistocene sands (Ida D Prospect - North Adriatic)

Barbara Nagl, Laura Feher Lončar, Vesna Hrženjak, Snježana Blažeković Smojić, Ines Vlahov, Augustin Krešić i Josip Bubnić
INA-Industrija nafte, d.d., Zagreb

Davorin Balić
INA-Industrija nafte, d.d., Zagreb
davorin.balic@ina.hr



Ključne riječi: Sjeverni Jadran, biogeni plin, formacija Carola, turbiditni pijesci, seizmički atributi, seizmička anomalija

Key words: North Adriatic, biogenic gas, Carola Formation, turbidic sands, seismic attributes, seismic anomaly

Sažetak

Istraživanje ugljikovodika u hrvatskom dijelu Jadrana traje gotovo 50 godina. Prvo plinsko otkriće, polje Ivana ostvareno je 1973. godine u turbiditnim pijescima pleistocena. Sljedeća komercijalna otkrića potvrdila su veliki potencijal ležišta biogenog plina. Gotovo sva otkrivena plinska polja na hrvatskoj strani Jadrana nalaze se u njegovom sjevernom dijelu, odnosno u istočnom dijelu Padske depresije. Do sada je snimljeno 6500 km² 3D seizmike visoke kvalitete čije su interpretacije i analize dovele do novih otkrića plina i bolje definicije postojećih polja. Intenzivnim

istraživanjem izrađeno je 112 istražnih bušotina te je otkriveno je 20 plinskih akumulacija, od kojih je 11 privedeno proizvodnji. Preko 90% otkrivenog plina nalazi se u turbiditnim pješćanim ležištima formacije Carola po talijanskoj, odnosno formacije Ivana po hrvatskoj nomenklaturi. Iako se činilo da su sve značajnije akumulacije već otkrivene, uzimajući u obzir činjenicu da eksploatacija plina osjetno pada te da u recentnom razdoblju nije bilo značajnih istražnih radnji, pokrenut je istraživački projekt uz upotrebu najsuvremenijih geofizičkih metoda. Detaljnom interpretacijom i analizom seizmičkih podataka pokušalo se pronaći moguće preostale akumulacije plina koje ranije nisu uočene ili izdvojene unutar formacije Carola kao glavnog *play*-a te unutar pleistocenskih deltnih kanala i lobova formacije Ravenna kao sekundarnog *play*-a. Jedan od rezultata istraživanja je izdvajanje prospeka Ida D koji je udaljen 7 km jugoistočno od polja Ida. Potencijalna su ležišta u korelaciji sa ležištima polja Ida i Marica te predstavljaju tipične turbiditne pijeske sjevernoga Jadrana zasićene

plinom. Prospekt je strukturiran iznad karbonatnog uzdignuća poput većine jadranskih plinskih polja. Na seizmičkim podacima uočeni su direktni indikatori ugljikovodika (eng. DHI – *direct hydrocarbon indicators*) *pull down*, *bright spot*, *dim spot* i *phase reversal*, a također je dobiven vrlo dobar odziv seizmičkih atributa koji indiciraju sadržaj ugljikovodika – RMS (*Root Mean Square*) amplituda, *Instantaneous Amplitude*, *Instantaneous Frequency* i *Sweetness*. Izdvojena je seizmička anomalija površine 17 km², izduženog oblika pružanja SZ-JI s dvije kulminacije. Pronalazak prospekta Ida D, kao i više manjih prospekata unutar formacija Carola i Ravenna daje dodatni poticaj za daljnje istraživanje te je shodno tome pokrenuta reobrada seizmike koja će omogućiti i korištenje *pre-stack* seizmičkih podataka u svrhu umanjivanja geološkog rizika izdvojenih prospekata.

Abstract

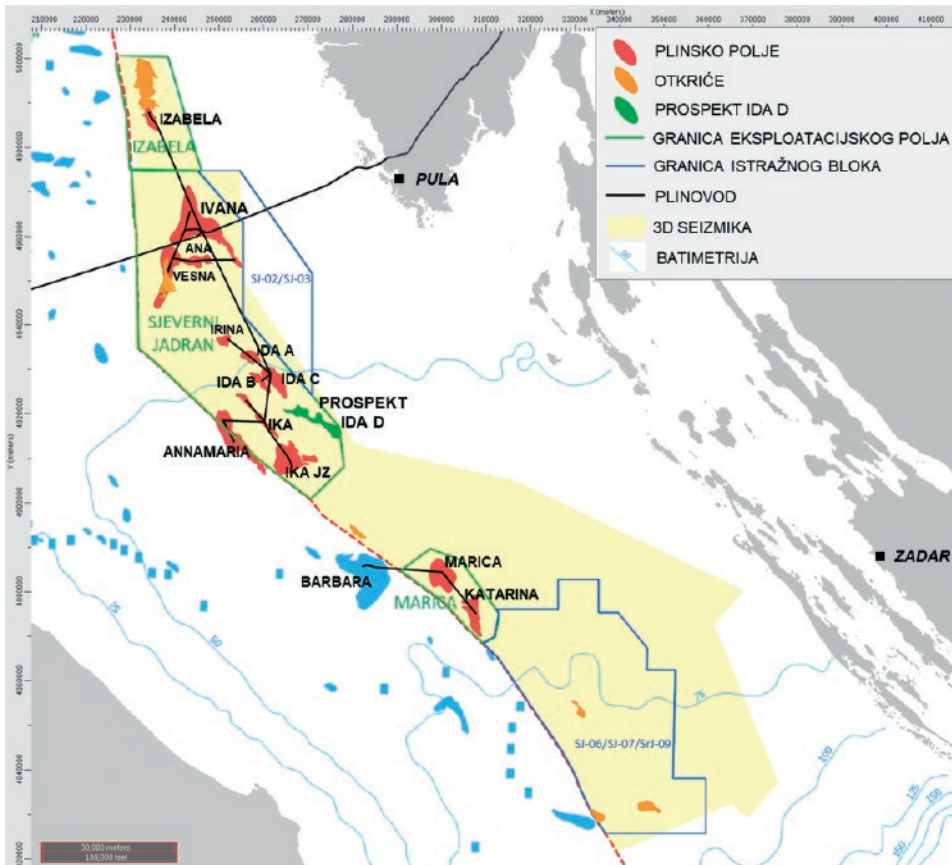
The exploration of hydrocarbons in the Croatian part of the Adriatic has been ongoing for almost 50 years. The first gas discovery, Ivana field, was realized in 1973 in turbiditic sands of the Pleistocene age. Following commercial discoveries confirmed great potential of biogenic gas deposits. Almost all of the discovered gas fields on the Croatian side of the Adriatic are located in its northern part, i.e. in the eastern part of Po depression. Total of 6500 sqkm of high quality 3D seismic was acquired so far. Quality 3D seismic enabled interpretation and analyses subsequently leading to new discoveries and a better definition of existing fields. Intense exploration revealed a total of 20 gas accumulations, of which 11 fields are in production. Over 90% of the discovered gas is found in turbiditic sands of the Carola Formation (Italian nomenclature), i.e. Ivana Formation (Croatian nomenclature). Although it seemed that all significant quantities were already found, taking into account the fact that exploitation activity reduced notably and that there was no recent exploration activities, the new project was conducted with the use of state-of-the-art methods. With detailed seismic interpretations and attribute analysis an attempt was made to find possible remaining prospects that were omitted in previous exploration activities within Carola Formation, as a main play and also within Pleistocene deltaic channels and lobes of Ravenna Formation, as a secondary play. One of the newly defined prospects is Ida D located 7 km southeast of Ida Field. Potential reservoirs are

correlative with Ida and Marica field gas producing layers. They represent a typical stacked turbidite gas bearing sands of Carola Formation. The prospect is draping over above Mesozoic carbonate basement high like most of the North Adriatic gas fields. On seismic data DHI (Direct Hydrocarbon Indicators) like pull down, bright spot dim spot and phase reversal were observed, very good seismic attributes response was obtained and elongated seismic anomaly in NW-SE direction was extracted. Prospect area is 17 sqkm with two culminations defined. Finding of the Ida D prospect and others within the Carola and Ravenna Formations encourages the further exploration and has triggered a seismic reprocessing of entire 3D volume that will enable the use of pre-stack seismic data for the purpose of the further prospect de-risking.

1. Uvod

Nedavnom revizijom plinskog potencijala sjevernog Jadrana, unutar koncesije „Sjeverni Jadran“ na njenom jugoistočnom rubu otkrivena je značajna seizmička anomalija iznad strukturnog uzdignuća udaljenog 7 kilometara jugoistočno od plinskog polja Ida, odnosno 35 km od polja Marica (Slika 1.1). Polje Ida je udaljeno oko 50 km od Pule, odnosno oko 30 km od najvećeg jadranskog plinskog polja Ivana. Plinsko polje Ida sastoji se od tri strukturna uzdignuća imenovanih A, B i C. S obzirom na blizinu, korelaciju horizonata i strukturnu povezanost, u tom kontekstu se četvrto strukturno uzdignuće nazvano Ida D može smatrati dijelom spomenutog plinskog polja Ida. Plinsko polje Ida otkriveno je istražnom bušotinom Jadran-15/1 1978. godine unutar slabo vezanih pijesaka formacije Carola.

Tijekom druge istražne faze između 1980. i 1989. godine u području polja Ida izrađeno je osam bušotina od kojih su pet pronašle plin unutar turbiditnih taložina formacije Carola u dubinama od 550 do 1100 m. Dodatna istražna bušotina Ida-2 (2000. godine) potvrdila je ležišta PLQ1-D4 i PLQ1-D7 kao najvažnija na strukturnom uzdignuću Ida C. Na temelju interpretacije bušotinskih podataka i seizmike snimljene 1997. godine izrađeni su geološki i dinamički modeli i načinjen je optimalni razradni scenarij. Polje Ida podijeljeno je na tri zasebne cjeline A, B i C na temelju strukturnih, sedimentoloških i hidrodinamskih obilježja. 2004. i 2005. godine izbušeno je šest razradnih bušotina te se s pridobivanjem započelo 2006. godine. Trenutno se proizvodi plin s tri bušotine iz pet ležišta.



Slika 1.1. Položajna karta prospekta Ida D

Interpretacijom anomalije iznad strukturnog uzdignuća imenovanog Ida D, na temelju bušotinskih i seizmičkih podataka utvrđena je korelacija sa ležištem PLQ1-D3 iz kojega se proizvodi na susjednoj strukturi Ida C te na polju Marica.

Površina izdvojene seizmičke anomalije iznosi 17 km². Bušenjem prospekta može se očekivati pronalazak biogenog plina (>99% metana) unutar slabo vezanih turbiditnih pijesaka. Ispod predviđenog ležišta PLQ1-D3 nije isključena prisutnost dodatnih plinom zasićenih ležišta koji zbog nedovoljno jasne seizmičke slike ne pokazuju izraženu anomaliju. Dubina mora u području prospekta je oko 60 m, dok se prospekt nalazi na dubini od 790 m.

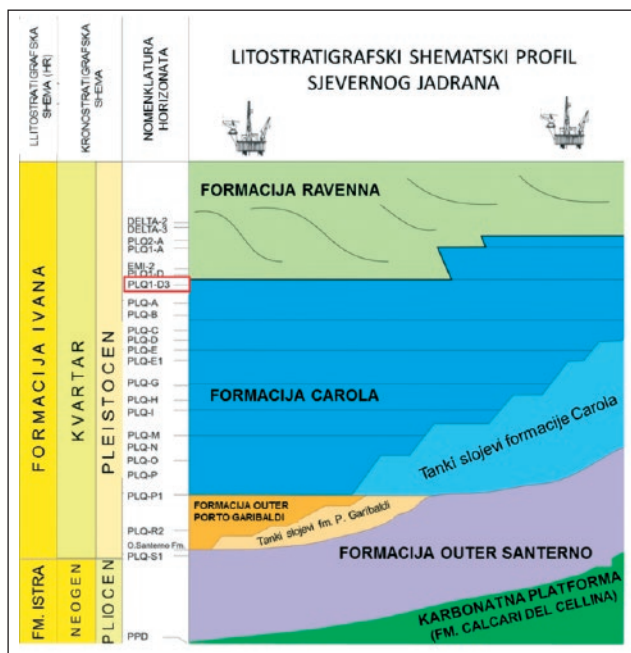
2. Geologija istražnog područja

2.1. Stratigrafski odnosi

Najstarije utvrđene stijene u ovom istražnom području su raspucani karbonati mezozojske starosti istaloženi u plitkomorskom okolišu. Uslijed laramijske orogeneze mezozojski karbonati su izdignuti te je kopnena faza trajala od krede do miocena (BUCKOVIĆ, 2006). Klastični sedimenti pliocena i pleistocena čije se podrijetlo, donos i taloženje vezuje uz paleo tok rijeke

Po diskordantno naliježu na karstificiranu karbonatnu platformu. Sa sedimentološkog stajališta, turbiditni taložni kompleks pliocenske i pleistocenske starosti podijeljen je u nekoliko taložnih sekvencija. Taložine pliocenske formacije Outer Santerno (formacija Istra po hrv. nomenklaturi, prema MALVIĆ i dr., 2011.) sastavljene od hemipelagičkih glina, lapora i šejlova čine transgresivnu sekvencu.

Tijekom donjeg pleistocena dolazi do produbljenja marinskog okoliša te se u dubljem moru talože turbiditni pijesci formacije Outer Porto Garibaldi (CAZZINI i dr., 2015.) koja je u hrvatskom dijelu sjevernog Jadrana samo djelomično zastupljena te distalni turbiditni tanki pješčani slojevi formacije Carola (formacija Ivana po hrv. nomenklaturi, prema MALVIĆ i dr., 2011.). Slijed sedimentata nadalje čini progradacijsku sekvencu, proksimalne turbiditne pješčane lepeze formacije Carola istaložene u plićem marinskom okolišu. Turbiditne sekvencije su karakterizirane frekventnim gravitacijskim tokovima, dočim se u periodu između gravitacijskih tokova talože nepropusni hemipelagički sedimenti – gline debljine 2-5 metara. Na pleistocenske turbidite formacije Carola nastavlja se progradacija klastita taloženih u deltnom i prodeltnom okolišu tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena (formacija Ravenna, odnosno gornji dio formacije



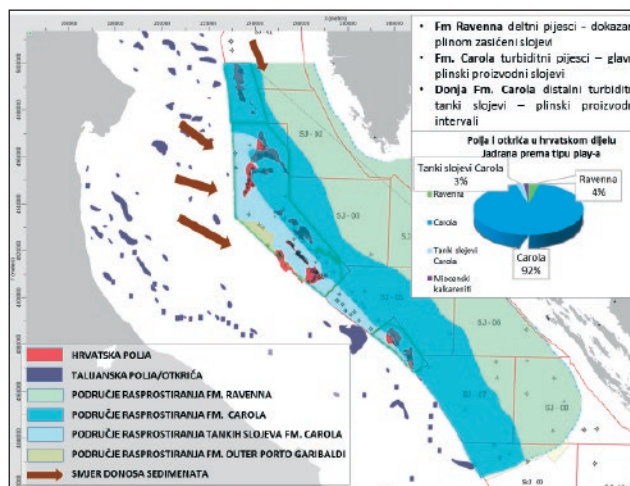
Ivana po hrv. nomenklaturi) i te taložine konačno završavaju punjenje i prekrivanje tog područja. Litostratigrafski shematski profil sjevernog Jadrana prikazan je na slici 2.1.

Glavnina plinskih ležišta otkrivena je u nevezanim do slabo vezanim turbiditnim pijescima formacije Carola primarne poroznosti od 20 do 38%. Proizvodnja iz ovih ležišta čini 92% ukupne proizvodnje plina sjevernog Jadrana (Slika 2.2)

2.2. Strukturno tektonski odnosi

Prospekt Ida D nalazi se unutar pleistocenskih naslaga istaloženih preko mezozojske Istarske karbonatne platforme (Slika 2.3).

Sistem normalnih rasjeda aktivnih još od donje jure odvojili su mezozojsku karbonatnu platformu na istoku, dok se kasnije istaložene oligo-miocenske i eocenske taložine nalaze na zapadu i jugozapadu. Za vrijeme laramijske orogeneze u gornjoj kredi dolazi do izdizanja i erozije. Tijekom paleocena, eocena i oligocena traje kompresijska tektonska faza tijekom koje započinje zapunjavanje bazena i padine platforme hemipelagičkim vapnencima i klastitima. Intenzivna tektonika i snažna erozija tijekom mesina utječu na kreiranje paleoreljefa. Niz rasjeda presijeca Karbonatnu platformu u podlozi plio-pleistocenskih taložina. Ta karbonatna strukturna uzdignuća uvjetovala su formiranje strukturnih zamki mlađih pleistocenskih naslaga što je u pravilu slučaj sa gotovo svim sjevernojadranskim plinskim poljima. Neposredna veza između stijena u podlozi i plinskih polja može se uočiti na slici 2.4 koja prikazuje interpretirani regionalni seizmički



Slika 2.2. Karta rasprostiranja pleistocenskih formacija

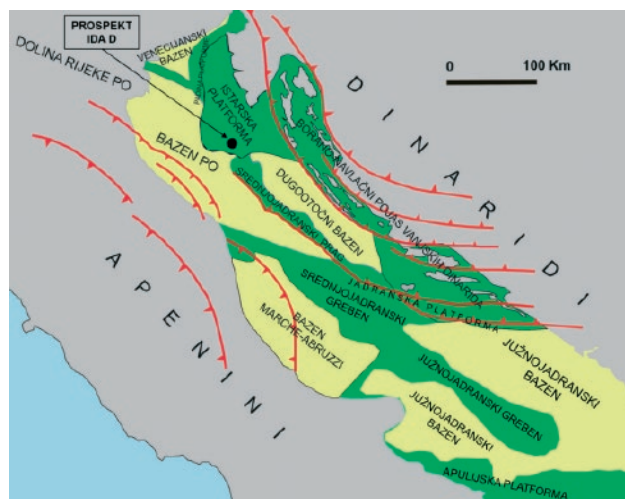
Slika 2.1. Litostratigrafski shematski profil sjevernog Jadrana (prema Offshore Croatia, Geological Homogenization of the Plio-Pleistocene Sequences, 2008.)

profil kroz glavne strukturno tektonske jedinice sjevernoga Jadrana.

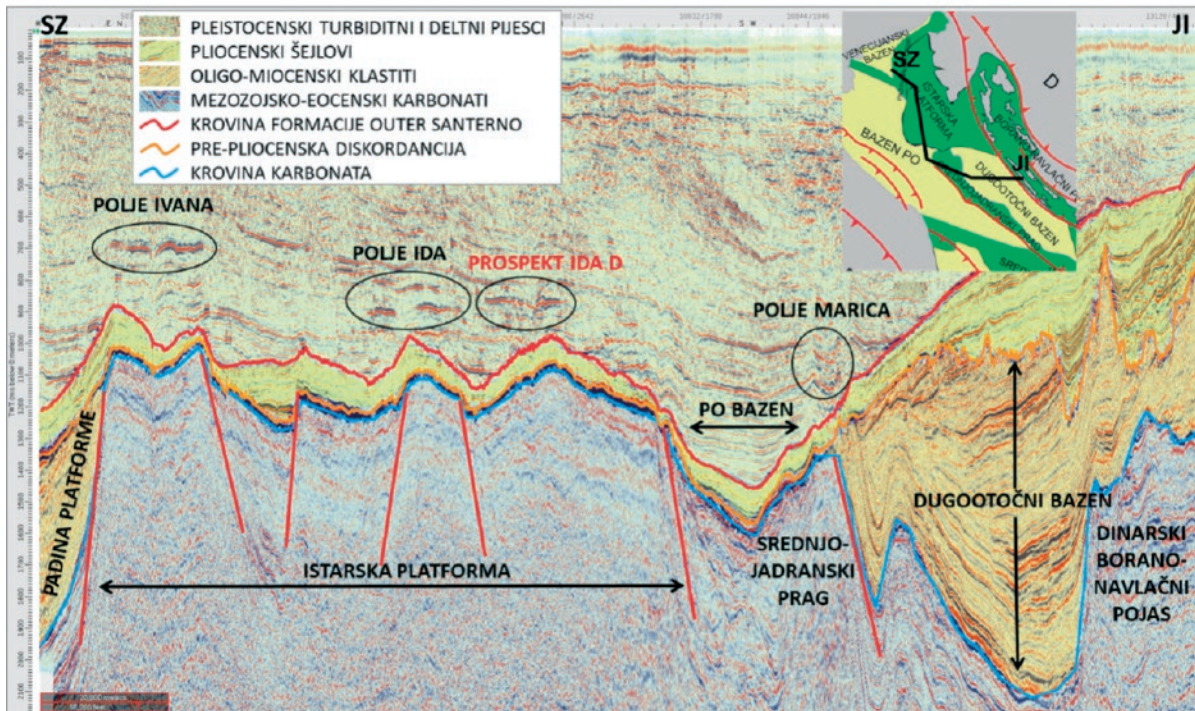
Generalno, u gornjem dijelu taložnih sekvencija zamke su strukturne, nastale procesima diferencijalne kompakcije povezane sa strukturnim uzdignućima u rasjednutoj karbonatnoj podlozi. U dubljim dijelovima turbiditni pijesci isključuju na nepropusne taložine formacije Outer Santerno i tako čine strukturno-stratigrafske zamke.

2.3. Uglijkovodični sustav

U području sjevernog Jadrana do sada su potvrđena četiri tipa *play*-a (Slika 2.5): 1.) Plio-pleistocenski pijesci formacije Ravenna – *play* potvrđen otkrićem Irena i za sada se iz njega ne pridobiva plin. Izvjestan broj izdvojenih prospekata i *lead*-ova unutar ovoga



Slika 2.3. Položaj prospekta Ida D u kontekstu strukturno-tektonskih jedinica Jadrana

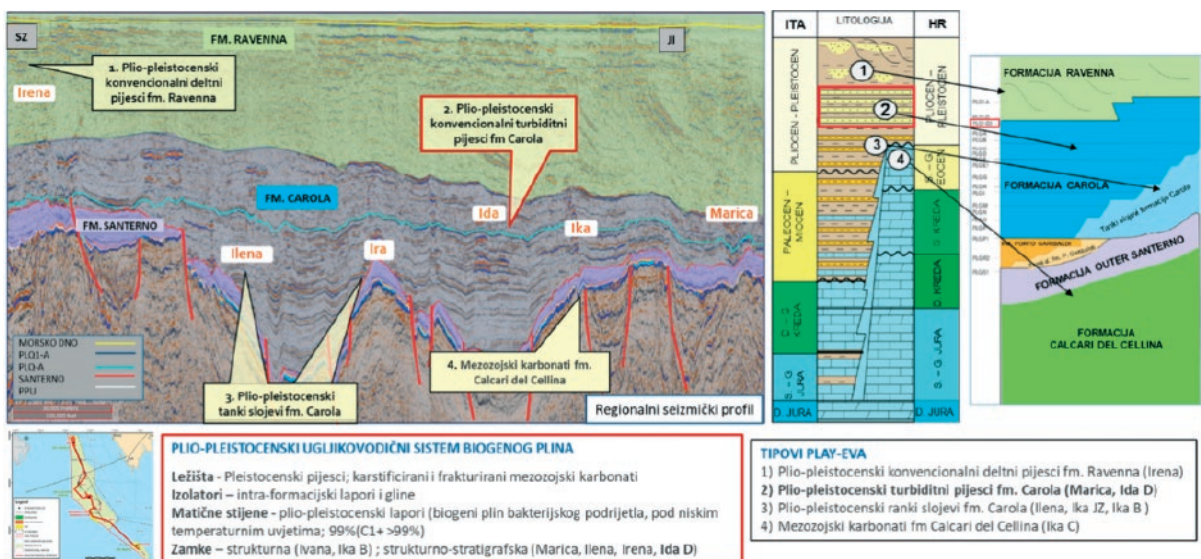


Slika 2.4. Interpretirani regionalni seizmički profil kroz glavne strukturno tektonske jedinice sjevernog Jadrana

play-a predstavljaju značajan plinski potencijal sjevernoga Jadrana u budućnosti; 2.) Plio-pleistocenski turbiditi formacije Carola – najznačajniji plinski *play* kako u hrvatskom, tako i u talijanskom podmorju. Većina pridobivog plina u hrvatskom Jadranu je iz ovih pješčanih ležišta. Ida D prospekt također pripada ovome *play*-u, kao i polja Ivana, Izabela, Ida, Annamaria, Marica, Katarina i dr.; 3.) Plio-pleistocenski tanki slojevi formacije Carola – slojevi koji se zbog male debljine prepoznaju jedino specijanim petrofizikalnim

metodama. Za sada se iz tankih slojeva pridobiva plin na poljima Annamaria i Ika JZ. Razrada nekoliko otkrića i izdvojenih prospekata trebala bi pokazati stvarni potencijal *play*-a u budućnosti; 4.) Mezozojski karbonati – raspucani karbonati u koje je migrirao biogeni plin iz plio-pleistocenskih naslaga, pridobiva se na polju Ika.

Plio-pleistocenski biogeni plin je suh, po sastavu metan ($C_{1+} > 99\%$) i bakterijskog je podrijetla (srednji $\delta^{13}C$ od $-73,7$ do $-76,1\%$; δD od -188 to -192%).



Slika 2.5. Ugljikovodični sustav sjevernog Jadrana

Generiranje plina je „*in situ*“, atipično iz laporovitih međuslojeva unutar turbiditnih i deltnih sekvencija. Lapori sadrže uglavnom nezrelu organsku tvar kopnenog podrijetla (odgovara kerogenu tipa III) i plin nastaje pod uvjetima niske temperature i uz djelovanje mikroorganizama.

3. Interpretacija prospekta

U svrhu istražnog projekta za pronalazak mogućih preostalih zaliha plina i koji obuhvaća cijelo područje sjevernog Jadrana, sedam zasebnih 3D seizmičkih volumena objedinjeno u jedinstveni 3D seizmički volumen što je omogućilo kvalitetniji regionalni pregled i analizu podataka. Seizmički volumeni snimljeni su i obrađeni u razdoblju između 1996. i 1999. godine, s iznimkom jednog volumena reobrađenog 2018. godine, ali koji ne pokriva područje prospekta Ida D. Kvaliteta seizmike je vrlo dobra i do sada je korištena za interpretacije i analize postojećih jadranskih plinskih polja Ivana, Ana, Vesna, Ida, Ika, Irina, Annamaria, Marica i Katarina. Prije interpretacije načinjeno je kalibriranje seizmičkih i bušotinskih podataka na temelju sintetskih seizmograma izrađenih iz karotažnih mjerenja brzine i gustoće.

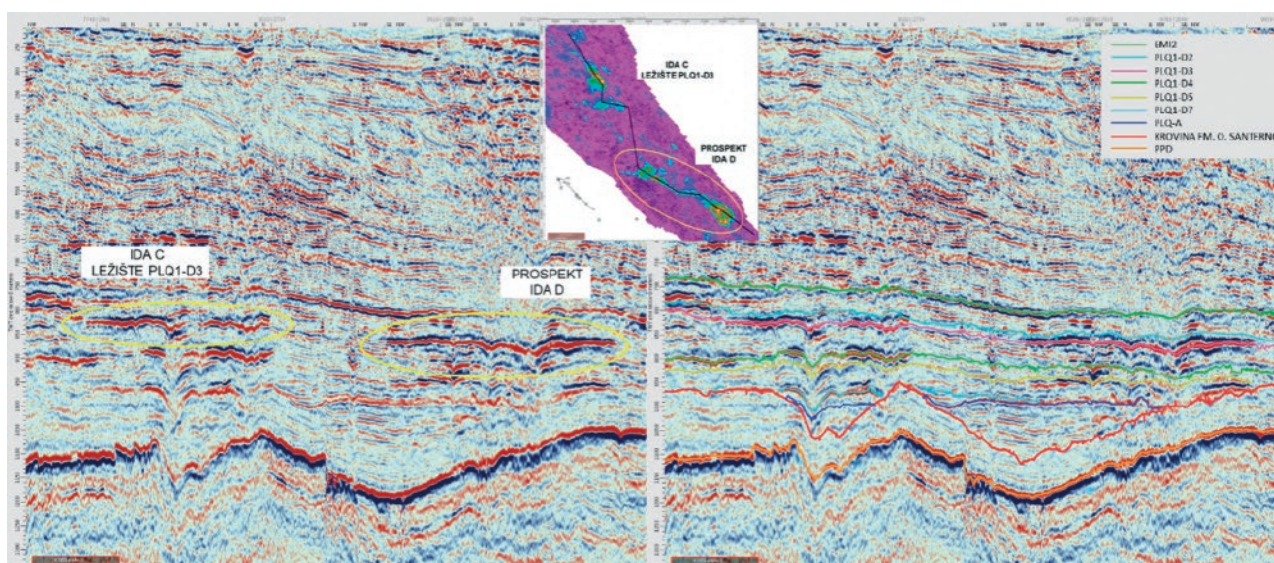
Interpretacijom i analizom seizmičkih podataka izdvojena je izdužena anomalija oko 7 km jugoistočno od strukture Ida C i koja u ranijim istražnim fazama nije bila zasebno izdvajana i procijenjivana (Slika 3.1).

Iz interpretiranog horizonta kojemu anomalija pripada izrađena je vremenska strukturna karta koja obuhvaća šire područje prospekta te strukturna

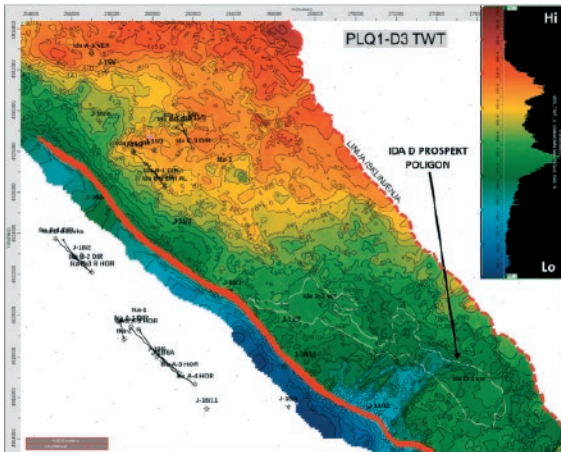
uzdignuća A, B i C polja Ida (Slika 3.2). Korelacijom s poljem Ida i obuhvaćenim bušotinama Ida-1, Ida-2, Ida A-1 VER, Ida C-1 DIR, Ida C-2 DIR, Ida C-3 DIR, J-15/1, J-15/2, J-15/3, J-15/4, J-15/5, J-15/6, J-15/7, J-17/2, J-18/1, J-18/5, J-18/9, J-18-10 i J-18/12 utvrđeno je da se radi o horizontu PLQ1-D3, jednom od ležišta strukture Ida C.

Ida A, B, C i D predstavljaju blaga strukturna uzdignuća izdužena u smjeru SZ-JI. Cijelo područje Ida odvojeno je normalnim rasjedom smjera pružanja SZ-JI od područja polja Ika. Horizont je kontinuiran, bez prekida na cijelom interpretiranom području. U smjeru sjeveroistoka isklinjava na formaciju Outer Santerno. Na temelju strukturne karte može se zaključiti da je prospekt strukturnim sedlom razdvojen na dva dijela, sjeverozapadni i jugoistočni. Prospekt je struktura vrlo blagog nagiba smještena iznad karbonatne paleostrukture poput gotovo svih jadranskih plinskih polja. Zbog nedostatka bušotinskih podataka u neposrednom okruženju izdvojene anomalije te *pull down* efekta (usporevanje brzine uslijed prisutnosti plina) izrađena dubinska strukturna karta je upitne vjerodostojnosti. Stoga se na temelju dostupnih podataka može zaključiti da prospekt Ida D predstavlja kombiniranu strukturno-stratigrafsku zamku kakve su prepoznate na strukturama A i B, međutim s ležištima koji pripadaju dubljoj seriji formacije Carola te predstavljaju analog zamke kakva se očekuje za prospekt Ida D, dok je za očekivano ležište prospekta analog ležište strukture Ida C.

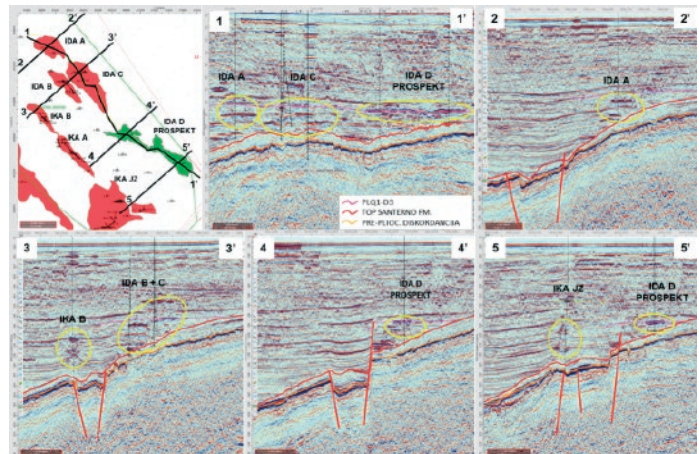
Analogija u odnosu na najbliže strukture Ida A, B i C iz kojih se pridobiva plin vidljiva je na slici 3.3 gdje su prikazani seizmički profili kroz svaku od tih



Slika 3.1. Neinterpretirani i interpretirani seizmički profil preko struktura Ida C i Ida D



Slika 3.2. Vremenska strukturalna karta interpretiranog horizonta sa unesenim predloženim bušotinama



Slika 3.3. Uzdužni profil i poprečni seizmički profili preko struktura Ida A, B, C i D

struktura te kroz prospekt Ida D. Vidljive su rasjednute strukture karbonatne podloge koja oplićava u smjeru sjeveroistoka. Takva podloga uvjetovala je nasljedne vrlo blage strukture pliocenskih ležišnih pješčanih slojeva koji lateralno isklinjuju u smjeru sjeveroistoka.

Slikom 3.4 prikazana je strukturalna karta karbonatne podloge na kojoj su naznačeni poligoni polja Ida i prospekta Ida D. Osim glavnoga normalnog rasjeda koji dijeli područja polja Ida i Ika, prisutan je niz manjih normalnih rasjeda pružanja SZ-JI relativno maloga skoka koji su utjecali na strukturiranje mlađih naslaga. Takav strukturalni preduvjet kao indikator za moguće plinsko ležište prisutan je i u području prospekta Ida D.

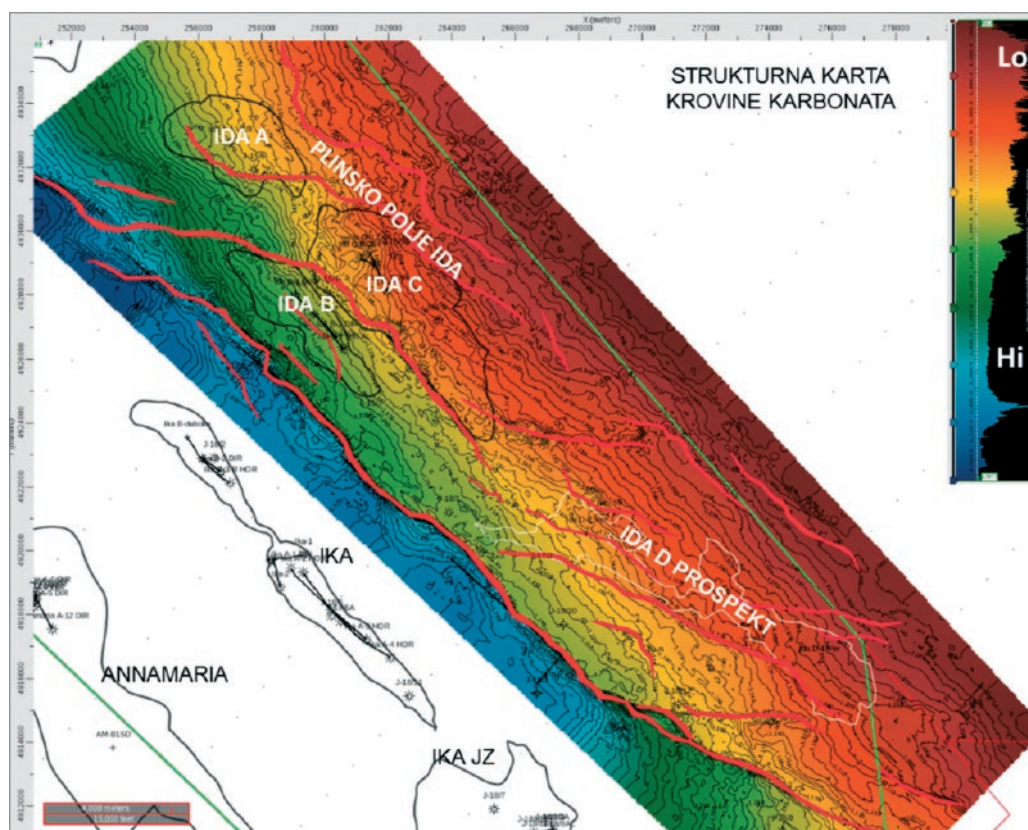
Na interpretiranom horizontu načinjene su brojne analize seizmičkih atributa. Prospekt Ida D, kao i najbliži analog Ida C pokazali su jako dobar odziv tijekom analize, odnosno dobivene su atributne anomalije koje indiciraju plinsko zasićenje. Na slici 3.5 prikazani su atributi *RMS (Root Mean Square)* amplituda, *Instantaneous Amplitude*, *Instantaneous Frequency* i *Sweetness*. Istraživanje i otkrivanje konvencionalnih plinom zasićenih pješčanih ležišta formacije Carola na sjevernom Jadranu vodilo se DHI pristupom odnosno pronalaženjem *bright spot*, *dim spot* i *pull down* anomalija kao indikatora plinskog zasićenja te izdvajanjem anomalija dobivenih analizom seizmičkih atributa. Prospekt Ida D sadržava sve navedene parametre.

Osim atributa horizonta, na 3D seizmičkim podacima primijenjeni su i volumni atributi. Analiza je pokazala također vrlo dobar odziv prospekta, odnosno anomalija je jasno izražena. Na slici 3.6 prikazano je nekoliko tipova atributa sa izraženom anomalijom te nanesenim predloženim bušotinama.

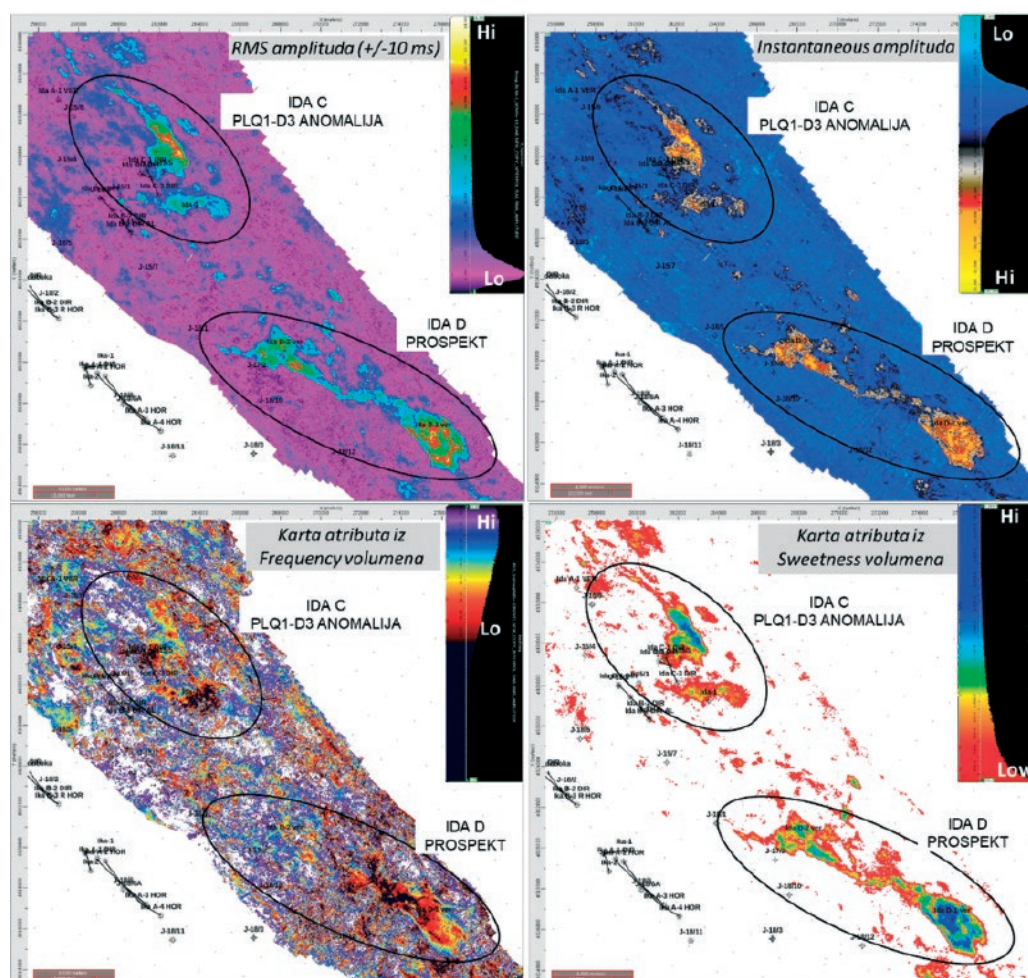
Na strukturi Ida C ležište PLQ1-D3 probušeno je u zasićenju plinom sa četiri bušotine. Sve su probušile ležište u području sa prigušenim seizmičkim signalom gdje je plinska anomalija slabije izražena. Bušotine su dizajnirane na način da probuše sve planirane ciljeve odnosno ležišta. Na strukturi Ida C glavni su ciljevi bili dublja ležišta, te ležište PLQ1-D3 nije bušeno u području najizraženije anomalije. Na slici 3.7 prikazani su seizmički profili kroz Ida C i prospekt Ida D. Profil kroz Ida C prikazuje bušotine koje su probušile PLQ1-D3 u plinskom zasićenju i u zoni slabe anomalije, što je vidljivo i na karti amplituda. U području prospekta također je uočljiv *pull down* efekt te slabljenje seizmičkog signala. Iznad prospekta uočena je i zona plitkih plinova koji dodatno utječu na prigušenje signala. Zbog dokazanog plina na analognoj strukturi Ida C te sličnih primjera sa drugih jadranskih plinskih polja unutar istog *play-a*, plin se na prospektu Ida D može očekivati i u zoni slabije izražene seizmičke anomalije.

U blizini prospekta Ida D interval PLQ1-D3 prepoznat je i analiziran u 22 bušotine čije su zonacije korištene tijekom interpretacije. Osim na polju Ida, iz spomenutog ležišta proizvodi se i na polju Marica. Na slici 3.8 prikazana je korelacija bušotina polja Ida i Marica, te bušotina između ta dva plinska polja. Također su prikazane dvije predložene bušotine prospekta označene crvenom bojom. Iz prikazane korelacije vidljiva je kontinuiranost intervala PLQ1-D3, koji se idući prema Marici stanjuje.

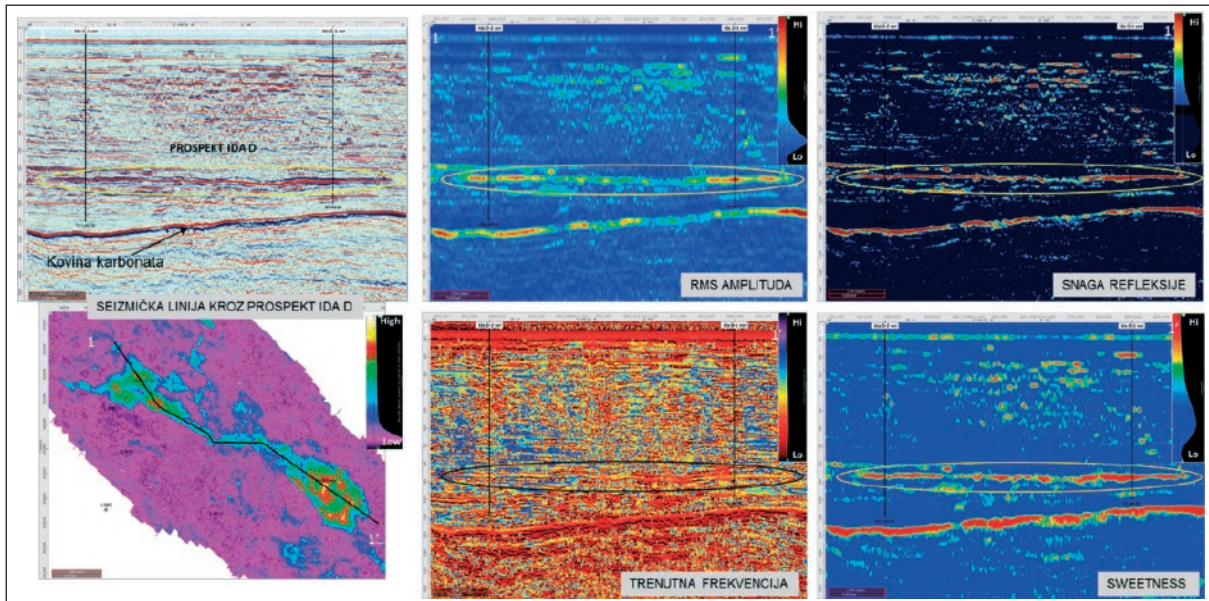
Prema podacima analize jezgara bušotine Ida-2, deblji pješčani slojevi PLQ1-D serije formacije Carola su pretežno masivni, vrlo rijetko pokazuju unakrsnu laminaciju i istaloženi su iz gravitacijskih struja visoke gustoće. Ti slojevi su karakterizirani poroznošću od 32



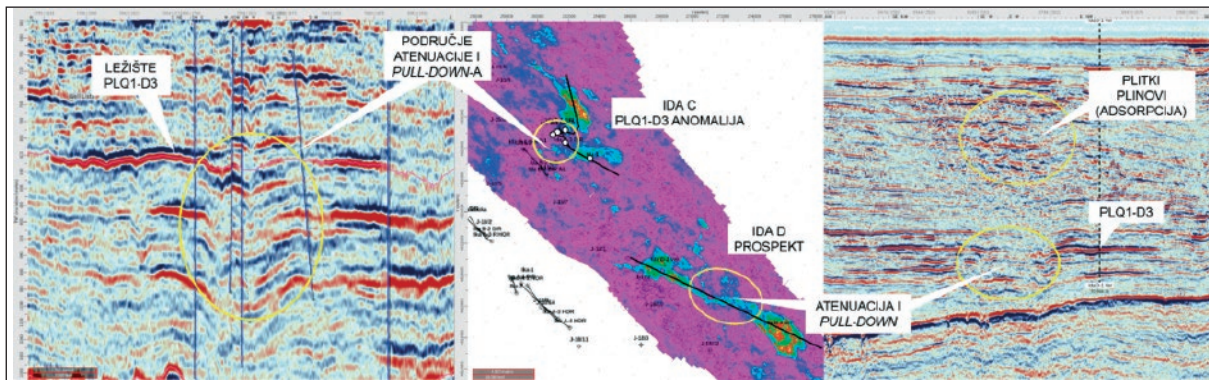
Slika 3.4. Strukturna karta krovine mezozojskih karbonata u području polja Ida i prospekta Ida D



Slika 3.5. Karte seizmičkih atributa horizonta PLQ1-D3



Slika 3.6. Volumni seizmički atributi prospekta Ida D



Slika 3.7. Područja prigušenja seizmičkog signala na strukturi Ida C i prospektu Ida D

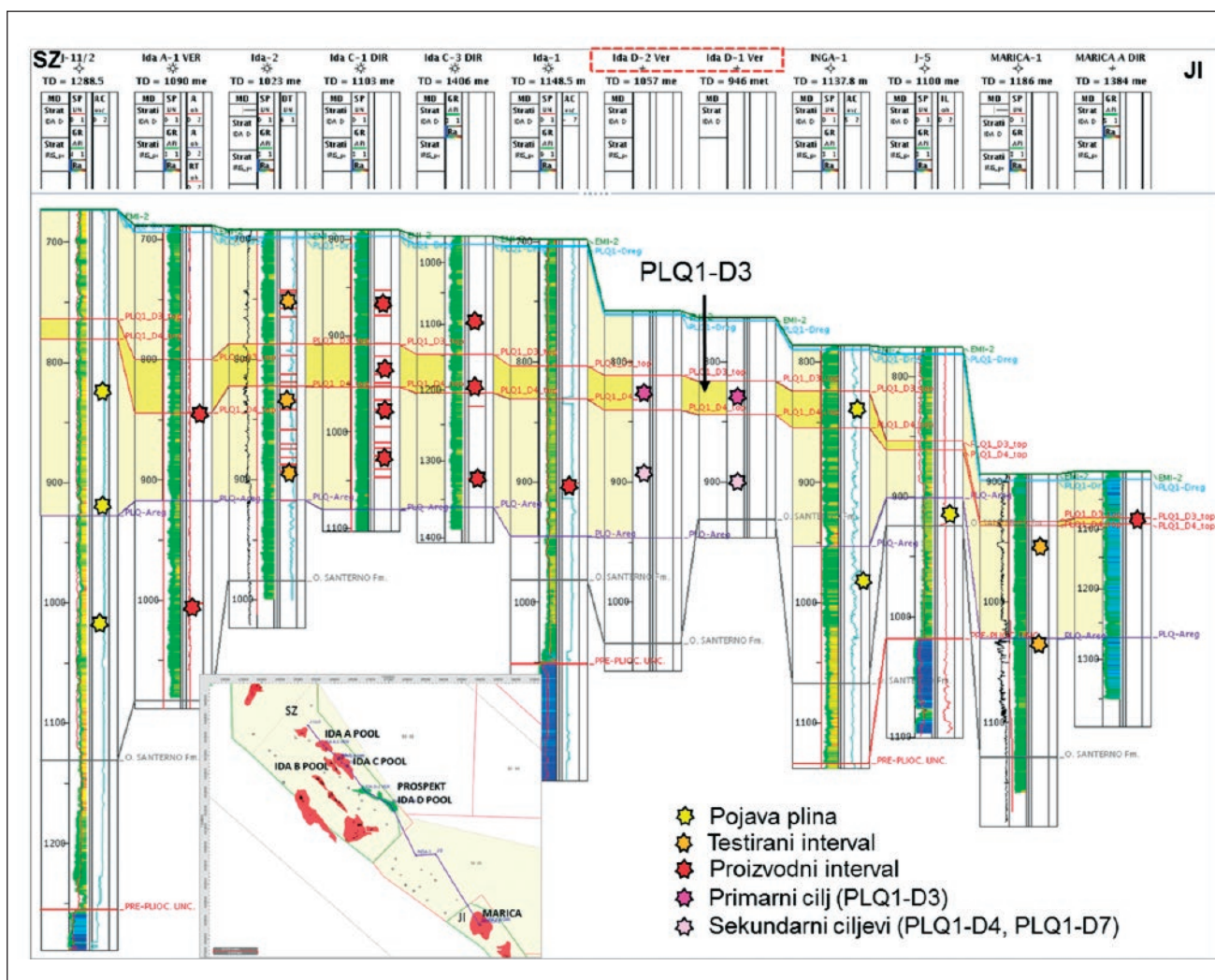
do 36%, slabe do srednje sortiranosti i sa propusnošću višom od 100 mD.

Petrofizikalne analize analognih bušotina polja Ida i polja Marica, koje su probušile ležište PLQ1-D3 u plinskom zasićenju, bile su temelj za izračun resursa prospekta Ida D. Obzirom na seizmičku interpretaciju i korelaciju s okolnim bušotinama, ukupne debljine intervala PLQ1-D3, na prospektu Ida D, iznose oko 40 m dok se u zasićenju s plinom očekuju debljine pijesaka od 5 do 13 m. Srednje vrijednosti poroznosti na analognim poljima variraju od 30% u polju Marica do 32% u polju Ida, dok srednje vrijednosti zasićenja fluidima iznose od 40 do 60%. Na slici 3.9 prikazana je usporedba petrofizikalnih analiza analognih bušotina strukture Ida C i polja Marica koje su probušile ležište PLQ1-D3 u plinskom zasićenju.

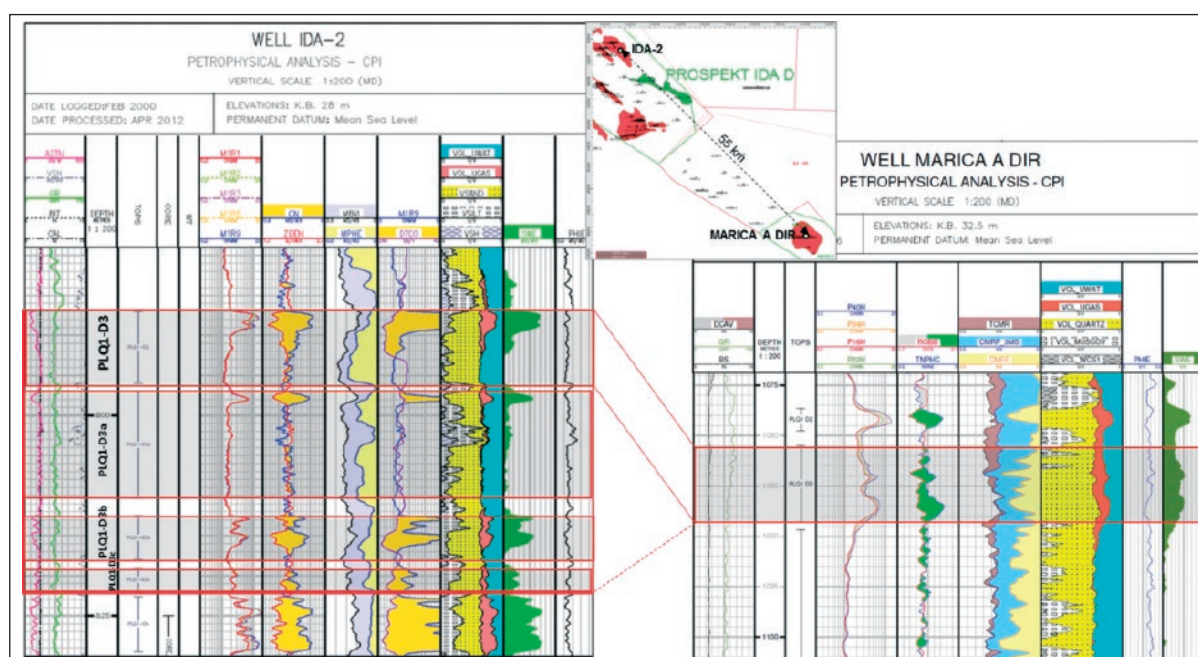
Za procjenu geoloških resursa plina na izdvojenom prospektu IDA D ekstrahirani su razni seizmički atributi i uzeti u razmatranje za određivanje rasprostiranja

seizmičke anomalije koja predstavlja prostiranje potencijalne plinske akumulacije. Za maksimalnu površinu zatvaranja uzet je krajnji doseg seizmičke anomalije. Simulacijom su dobiveni rezultati kao minimum (90% vjerojatnosti), maksimum (10% vjerojatnosti) i *mean* (prosječna vrijednost) kao najvjerojatnija površina u slučaju potvrde otkrića. Maksimalna površina zatvaranja od 17 km² uključuje i područje nešto slabije atenuirane energije vjerojatno uzrokovane adsorpcijom seizmičkog signala, ali sa prisutnim *pull down* efektom te niskofrekventnim odzivom, slično kao i na analognoj strukturi Ida C. Zbog boljeg i snažnijeg odziva seizmičkih atributa, te nešto boljeg strukturnog položaja, južni dio prospekta Ida D određen je za minimalnu površinu zatvaranja (Slika 3.10).

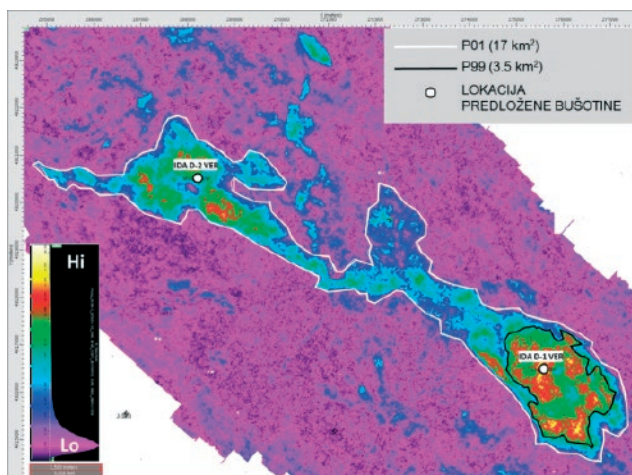
Procjena ukupnih geoloških i pretpostavljenih, uvjetno pridobivih resursa ugljikovodika izvršena je *Monte Carlo* metodom u programu *Multi Method Risk Analysis* (MMRA). Osim vrijednosti površina, varirane



Slika 3.8. Korelacija bušotina između polja Ida i Marica



Slika 3.9. Usporedba petrofizikalnih CPI analiza analognih bušotina polja Ida C (Ida Gas Field Reservoir Study and Field Revitalisation, 2013.) i Marica (Marica Gas Field Reservoir Study Revision, 2017.)



Slika 3.10. Površine zatvaranja prospekta Ida D

su i vrijednosti efektivnih debljina (*Net Pay*), zasićenja ugljikovodicima te vrijednosti poroznosti.

Distribucija i raspon predviđenih petrofizikalnih parametara na prospektu IDA D (poroznost, efektivna debljina i zasićenje vodom) procijenjeni su na temelju analiza bušotina sa polja Ida C i Marica.

4. Zaključak

Tijekom posljednjeg istraživačkog projekta na području sjevernog Jadrana koji ima za cilj utvrditi preostali potencijal biogenog plina, izdvojen je veći broj prospekata i istražnih objekata unutar pleistocenskih

formacija Carola i Ravenna. Činjenica da su ekonomski čimbenici u vidu troškova izrade bušotina i privođenja proizvodnji novootkrivenih plinskih polja na moru znatno veći od onih na kopnu, za jadranske istraživačke timove predstavlja dodatni izazov u pronalazanju adekvatnih objekata koji bi zadovoljili kriterije potencijalno komercijalnog otkrića. Prospekt sadržava većinu elemenata po kojima su otkrivana dosadšnja jadranska plinska polja – DHI *bright spot* i *pull down* efekt, atributnu anomaliju, strukturni položaj te analogna plinska polja u neposrednoj blizini. Prospekt je interpretiran i analiziran na 3D seizmičkim podacima snimljenim i obrađenim krajem 90-tih godina prošloga stoljeća. Iako je kvaliteta podataka vrlo dobra, u svrhu dodatnog smanjenja geološkog rizika započeta je reobrada postojećih 3D seizmičkih podataka. Reobradom će se dobiti *pre-stack* seizmički podaci te dodatna poboljšanja kvalitete primjenom najsuvremenijih softvera. Reinterpretacijom i AVO analizom (*Amplitude vs Offset* – analiza seizmičkog signala s udaljenošću od izvora vala) na reobrađenim podacima očekuje se potvrda indikacije plinskog zasićenja, što bi značajno smanjilo geološki rizik komercijalnog otkrića plina.

Otkriće plina u prospektu Ida D svakako bi bio poticaj za daljnja istraživanja i razmatranje nekih drugih prospekata kao kandidata za bušenje, kako unutar formacije Carola, tako i unutar još nedovoljno istražene formacije Ravenna.

Literatura

1. Ida Gas Field Reservoir Study and Field Revitalisation, 2013 g., INA, Fond stručne dokumentacije
2. Marica Gas Field Reservoir Study Revision, 2017 g., INA, Fond stručne dokumentacije
3. Offshore Croatia, Geological Homogenization of the Plio-Pleistocene Sequences Phase 1, 2008. g., INAGIP, Fond stručne dokumentacije
4. Well Ida 2 (Croatia), Sedimentological, Petrographical and Petrophysical Study on Bottom Hole Core sand Interpretation of Well Logs, 2000 g., ENI/INA, Fond stručne dokumentacije
5. Elaborat o rezervama ugljikovodika eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran, plinsko polje Ida, 2015 g., INA, Fond stručne dokumentacije
6. Elaborat o rezervama ugljikovodika eksploatacijskog polja Marica, plinsko polje Marica, 2015 g., INA, Fond stručne dokumentacije
7. Geokemijska studija kvartarni i terciarni sedimenti na proširenom prostoru Aiza-Laura bloka, 2001. g., INAGIP, Fond stručne dokumentacije
8. TOMLJENOVIĆ, B. (2014): a Contribution to the Reconstruction of Tectono-sedimentary Evolution in a part of the Southern Adriatic Offshore, RGNF/INA, Fond stručne dokumentacije
9. BUCKOVIĆ, D. (2006): EBook Historijska geologija 2. - Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu – Manualia universitatis studiorum Zagrabienis
10. CAZZINI, F., DAL ZOTTO, O., FANTONI, R., GHIELMI, M. RONCHI, P. & SCOTTI, P. (2015): Oil and Gas in the Adriatic Foreland, Italy.- Journal of Petroleum Geology 38 (3), 255-279.
11. MALVIĆ, T., ĐUREKOVIĆ, M., ŠIKONJA, Ž., ČOGELJA, Z., ILIJAŠ, T. & KRULJAC, I. (2011): Exploration and production activities in northern Adriatic Sea (Croatia), successful joint venture INA (Croatia) and ENI (Italy). - Nafta 62 ((9-10) 293-296.