

# Istraživačke i proizvodne aktivnosti INE d.d. u Siriji, primjer uspješnih otkrića i razrade ležišta ugljikovodika

T. Malvić, M. Đureković, Ž. Šikonja, Z. Čogelja, T. Ilijaš, I. Kruljac

PREGLEDNI ČLANAK

Tvrtka INA-Industrija nafte d.d. nazočna je u Siriji od 1998. godine, gdje se bavi istraživanjem i razradom ležišta ugljikovodika unutar bloka Hayan. Nedavno su također započete istraživačke aktivnosti i unutar bloka Aphamia. Sve istraživačke aktivnosti vodi INA-Branch Office, dok se djelatnostima razrade i proizvodnje (zasada samo u bloku Hayan) bavi operativna tvrtka Hayan Petroleum Company, koja je zajednička tvrtka Ine i Sirijske naftne kompanije (engl. *Syrian Petroleum Company*, abbr. *SPC*). Od 1998. godine prijavljeno je šest komercijalnih otkrića unutar bloka Hayan, a poimence to su polja Jihar, Al Mahr, Jazal, Palmyra, Mustadira i Mazrur. Najveće rezerve otkrivene su u polju Jihar, gdje su ležišta smještena u heterogenim, no najvećim dijelom u frakturiranim karbonatnim ležištima srednjotrijaske starosti koja litostratigrafski pripadaju formaciji dolomiti Kurrachine (engl. *Kurrachine Dolomites Formation*). Složeni litoški odnosi podrazumijevali su karakterizaciju ležišta temeljenu na integraciji svih dostupnih geoloških i inženjerskih podataka. To znači da su unutar modela načinjeni: (1) procjena rezervi ugljikovodika (engl. *Original Hydrocarbon In Place*, abbr. *OHIP*) kroz nekoliko scenarija proizvodnje, (2) strukturna interpretacija 3D seizmičkih podataka, (3) procjena petrofizikalnih vrijednosti iz podataka jezgara, karotaže i testiranja u bušotinama. Također, u nekim ležištima je raspodjela facijesa prikazana uporabom stohastičkih simulacija. Napredni računalni algoritmi uporabljeni su za modeliranje geometrije fraktura, a na temelju podataka iz "slikovne" karotaže (engl. *image log*) te "klasičnih" jezgara. Stohastikom su razvijena dva diskretna frakturna modela, iz kojih su dobiveni parametri za izvođenje dinamičkih simulacija. Kroz više proizvodnih scenarija dobivena je osnova za sljedeću razradnu fazu.

*Ključne riječi:* Sirija, blok Hayan, blok Aphamia, trijaska ležišta, formacije Kurrachine Dolomites, ugljikovodici

## 1. UVOD U ISTRAŽIVAČKU I RAZRADNU POVIJEST BLOKA HAYAN TE ISTRAŽIVANJE BLOKA APHAMIA

Tvrtka INA-Industrija nafte d.d. aktivna je u Siriji od 1998. godine. Trenutno tamo samostalno istražuje unutar bloka Aphamia te razrađuje ležišta u bloku Hayan (slika 1.1). Područni ured INE u Damasku otvoren je također 1998. godine te je odgovoran za istraživanje u toj zemlji. Naftna tvrtka Hayan (engl. *Hayan Petroleum Company*) je zajednička tvrtka INE i sirijske naftne tvrtke (engl. *Syrian Petroleum Company*) - SPC (sada preimenovane u GPC). Ta zajednička tvrtka odgovorna je za razradu i proizvodnju unutar bloka Hayan.

Od 1998. godine do danas INA je prijavila šest komercijalnih otkrića ugljikovodika u bloku Hayan, tj. u poljima Jihar, Al Mahr, Jazal, Palmyra, Mustadira i Mazrur. Razrada se, u tehnološkom pogledu, odvija u dva područja: (1) unutar zapadnog dijela bloka Hayan (engl. *Hayan Block West*) u kojem su prijavljene rezerve nafte, plina i kondenzata u poljima Jihar, Jazal, Al Mahr i Mazrur; (2) unutar istočnog dijela bloka Hayan (engl. *Hayan Block East*) s rezervama plina i kondenzata u poljima Palmyra i Mustadira (slika 1.2).

Proizvodnja nafte započela je u kolovozu 2005. godine (bušotinom Jihar-2), a plina u prosincu 2006. (bušotine Palmyra-1 i 3). Trenutna proizvodna oprema dopušta održavanje prosječne proizvodnje u iznosu 1,2 MMm<sup>3</sup>/d (42 MMft<sup>3</sup>/d) plina te 1200 m<sup>3</sup>/dan (7550 bbl/d) nafte. Ti iznosi bit će značajno povećani nakon puštanja u rad novoga postrojenja za prihvat ugljikovodika (engl. *gas treatment plant*) koje će biti dovršeno i pušteno u rad tijekom 2011. godine. Tako uvećani kapaciteti iznosit će 1800 m<sup>3</sup>/dan (11 320 bbl/d) nafte i kondenzata te 4 MMm<sup>3</sup>/dan (141 MMft<sup>3</sup>/d) plina te 350 m<sup>3</sup>/d (2,200 bbl/d) ukapljenog plina (LPG).

**Blok Aphamia** smješten je sjeverozapadno od bloka Hayan (slika 1.1). Trenutne aktivnosti u tom bloku obuhvaćaju drugo produženje početne istraživačke faze (engl. *Initial Exploration Phase*), koja je započela 2004. i trajala četiri godine. Prvo produženje toga razdoblja trajalo je sljedeće dvije godine, kada je snimljeno 270 km<sup>2</sup> 3D seizmičkih profila te su izrađene dvije istraživačke bušotine. Tijekom drugoga produžetka izbušena je još jedna bušotina. Istraživački rezultati u tom bloku ukazali su na nekoliko pojava ugljikovodika dobivenih u bušotinama, a opaženih na lokalitetima Salamiah, Jaddua, Mudawara te Beer As Sib.

## 2. GEOLOŠKA GRAĐA BLOKA HAYAN

Blok Hayan pripada tektonskoj "provinciji" sjevernog dijela Arapske platforme, smještene u Siriji. Najveći dio središnje Sirije, uključujući blokove Hayan i Aphamia, dio je planinskog lanca Palmirida (engl. *Palmyrides*), koji predstavlja intrakontinentalni, transpresivni planinski lanac (lit.<sup>7</sup>), topografski uzdignuti dio s maksimalnog visinom od 1385 metara. Taj masiv pruža se od rasjedne zone Mrtvoga mora pa do grabena Eufrata, te je dužine 400, a širine 100 kilometara. Na sjeverni i južni dio dijeli ga rasjed Jihar, koji se dalje pruža u depresiju Al Dawn (npr. lit.<sup>7,8</sup>). Kao glavni tektonski događaji, sažeto prema lit.<sup>7</sup>, mogu se izdvojiti, uz približno trajanje izraženo u milijunima godina, sljedeći:

- (a) Rani kambrij do rani silur (560-420 mil. god.) - ekstenzija te rifting, termalno tonjenje i spuštanje razine mora;
- (b) Rani silur do rani karbon (420-360 mil. god.) - slaba kompresija, izdizanje te erozija;
- (c) Rani karbon do kasni perm (360-245 mil. god.) - obnavljanje ekstenzije i tonjenje;
- (d) Rani trijas do rana kreda (245-135 mil. god.) - ekstenzija, tonjenje te rifting duž glavnih rasjednih zona (tektonski jarak Palmirida);
- (e) Rana kreda do početak kasne krede (hauterivij do cenoman; 135-94 mil. god.) - obnovljena ekstenzija i tonjenje u unutarnjost razlomljenih bazena duž jaraka Palmirida, Sinjara i Eufrata, uključujući aptsku i albsku transgresiju;
- (f) Kasna kreda do kasni paleogen (kraj oligocena; 94-23 mil. god.) - kompresijsko razdoblje, nastavak tonjenja u jarcima Palmirida, Sinjara i Eufrata;
- (g) Miocen do danas (23-0 mil. god.) - kontinentalna kolizija između Arabijske i Euroazijske ploče, inverzija jaraka Palmirida i Eufrata.

Detaljna evolucija Palmirida i Sjevernoarapske platforme u Siriji može se proučiti u lit.<sup>1,2</sup>, a evolucija Istočnog Mediterana u lit.<sup>6</sup>. Trijasko sekvencije (slika 2.1) vrlo su važan dio sustava ležišta ugljikovodika u cijeloj Siriji, jer sadrže matične, ležišne i izolatorske stijene, što je opisano u lit.<sup>4</sup>.

Općenito, dokazano je nekoliko dominantnih litofacijesa od paleozoika do kenozoika koji su glavni stratigrafski intervali s matičnim, ležišnim i izolatorskim stijenama (npr. lit.<sup>3</sup>). Stijene koje se nalaze u tom dugotrajnom kronostratigrafskom rasponu uglavnom su karbonati, lapori, glinenci i pješčenjaci (slika 2.1). Prve tri litologije uglavnom predstavljaju matične i izolatorske stijene, no karbonati mogu biti vrlo raspucani pa su tada to ležišne stijene sa sekundarnom poroznošću. Pješčenjaci su ponekad "čisti", a ponekad u prijelaznim litofacijesima, no uglavnom su to potencijalne ležišne stijene. Takva svojstva se također mogu raspoznati na litostratigrafskom stupu opisanom u lit.<sup>7</sup>, a prikazanog

formacijama koje čine sustave ležišta ugljikovodika (slika 2.1) unutar bloka Hayan.

U najstarijoj formaciji Afandi (ordovicij) su pretpostavljene ležišne stijene koje se uglavnom sastoje od silita i pješčenjaka s proslojcima šejla. Sljedeća, mlađa, formacija Tanf (silur) sadrži izolatorske stijene za moguća starija ležišta. Sastoji se od šejlova, djelomično silitnih, te glinenaca, djelomično vapnenackih. Karbonska formacija Markada sadrži, vrlo vjerojatno regionalne, izolatorske stijene, no koje uključuju proslojke ili slojeve pješčenjaka, šejlova, vapnenaca i dolomita. Ti pješčenjaci su dokazana ležišta ugljikovodika u nekoliko sirijskih polja (Arak, Soukhne, Al Hail, Najeeb i Doubayat). Najmlađa paleozojska formacija Amanus Sandstones, također se može regionalno korelirati u Siriji, a sastavljena je od pješčenjaka, silita te, ponekad, šejlova. Pješčenjaci te formacije mogu se smatrati ležišnim stijenama.

### 2.2. Formacije i ležišni sustavi ugljikovodika mezozojske starosti

Mezozojske stratigrafske sekvencije uključuju nekoliko litostratigrafskih jedinica koje se mogu opisati kao matične, ležišne i izolatorske stijene (slika 2.1). Najstarija je formacija Amanus Shale (donji trijas), u kojoj prevladavaju glinenci i šejlovi, uz tek rijetke proslojke karbonata i pješčenjaka. Sljedeća je formacija Kurrachine Dolomites (srednji trijas) važna jer sadrži matične, ležišne i izolatorske stijene. Sastavljena je uglavnom od različitih vrsta karbonata, evaporita i šejlova. Ležišta unutar te formacije, u području Palmirida, uglavnom su zasićena plinom. Zbog značajnih količina ugljikovodika, ta je formacija podijeljena u tri ležišne zone koje mogu biti smatrane kao neformalne jedinice u rangu člana. One su imenovane, počevši s najstarijom, kao D2 (anizik), D1 (anizik) i C2 (ladinik). Svaka od njih je dalje razdijeljena u "podzone". Slijedi formacija Kurrachine Anhydrite (srednji trijas) koja se smatra izolatorskom, a zastupljena je solima, anhidritima, glincima i vapnencima. Sol nije regionalna pojava, jer u južnom dijelu su te naslage vrlo male debljine ili ih nema.

U jurskim stijenama formacija Moun se smatra intervalom koji sadrži ležišne stijene, a općenito je predstavljena karbonatima (vapnencima i dolomitima). Ponegdje su jurske stijene bile izložene na površini te okršene. Formacija Rutbah (donja kreda) predstavljena je sekvencijama koje odgovaraju izolatorskim stijenama, iako su u značajnim debljinama utvrđeni pješčenjaci, proslojeni ili u krovini praćeni silitima, glincima, dolomitima i pjeskovitim laporima. Sljedeća je formacija Hayane (donja i gornja kreda) uglavnom zastupljena dolomitima. No, jugozapadno od Palmirida dominiraju laporoviti dolomiti sa slojevima gipsa i anhidrita. Formacija Judea je opisana uglavnom sekvencijama izolatorskih stijena, tj. laporima, dolomitima i vapnencima. Najmlađa je formacija Soukhne (gornja kreda) koja obuhvaća sekvencije matičnih stijena. Sastoji se od različitih vapnenaca i dolomita, lapora,

glinenaca, ali također i čertova te pjeskovitih i konglomeratičnih intervala.

### 3. LEŽIŠTA, RAZRADA I PROIZVODNJA U BLOKU HAYAN

Prva otkrića ugljikovodika INA je ostvarila u travnju 2002. godine u ležištima strukture Jihar. Iste godine otkrivene su i dvije druge strukture - Palmyra te Al Mahr. Proizvodnja nafte s polja Jihar (bušotinom Jihar-2) započela je 25. kolovoza 2005. godine, kao dio ranog proizvodnog razdoblja. Otprilike godinu dana kasnije, 13. prosinca 2006. godine, krenula je proizvodnja plina iz polja Palmyra (bušotinama Palmyra-1 i 3), a otkriveno je i polje Jazal. Godine 2007. otkrivena su polja Mustadira i Mazrur, a počela je i proizvodnja iz polja Jazal. U veljači 2008. u proizvodnju je pušteno polje Mustadira, a u 2009. Mazrur.

Danas na tom području postoji izgrađena značajna nadzemna proizvodna i transportna oprema, a većina tih kapaciteta smještena je na polju Jihar gdje su razvijeni:

- Nafta stanica Jihar izgrađena u prvoj fazi projekta,
- Odlazni cjevovod Jihar,
- 10 kV OHL za polje Jihar,
- Naftnoplinska stanica Jihar izgrađena u drugoj fazi projekta,
- Stanica za obradbu plina načinjena u trećoj fazi,
- Sustav za odlaganje vode Jihar.

Preostala, manja, polja imaju izgrađen vlastiti distribucijski sustav i drugu potrebnu opremu za transport ugljikovodika da glavnih naftnih i plinskih stanica na polju Jihar. Od te opreme postoje:

- Kolektorska jedinica od polja Jazal do polja Jihar,
- Transport od bušotine Mazrur-1 do polja Jazal,
- Transport od bušotina Palmyra-1 i 3 do mjesta prikupljanja plina na Palmyri,
- Plinovod od polja Palmyra do polja Arak,
- Transport od bušotine Mustadira-1 do mjesta prikupljanja plina na Mustadiri,
- Plinovod do transportnog sustava na Palmyri.

### 4. GEOLOŠKI ODNOSI U BLOKU APHAMIA

Blok Aphamia, prema značenju za naftnoplinski potencijal unutar Sirije, može biti opisan kao "umjereno istražen". Brojna su naftna, plinska i plinsko-kondenzatna polja otkrivena jugoistočno od bloka Aphamia (slika 4.1), na primjer u bloku Hayan (slika 1.2).

Matične stijene unutar toga bloka određene su na temelju bušotinskih uzoraka. Kronostratigrafski i litostratigrafski pripadaju:

- Donjotrijaskoj seriji, tj. formaciji Amanus (debljine 50-150 metara),
- Srednjotrijaskoj seriji (donji dio formacije Kurrachine Dolomites, debljine oko 400 m),

- Gornjokrednoj seriji (formaciji Soukhne, debljine 100-250 m).

Može se pretpostaviti i kako silurski "vrući" šejlovi lokalno predstavljaju matične stijene i to u široj okolini bloka Aphamia, no još uvijek nisu utvrđeni migracijski putovi iz tih stijena.

Ležišne stijene pripadaju:

- Trijaskom sistemu (formacije Kurrachine Dolomites, no samo unutar frakturnog sustava),
- Jurskom sistemu, tj. formaciji Moun. Unutar tih stijena dokazana su zasićenja naftom i plinom u bloku Aphamia.
- Krednom sistemu (formacija Hayan) u kojem su otkrivena ležišta nafte unutar toga istraživačkog bloka.

Također i stariji, ordovicijski i permski (formacije Amanus Sand) pješčenjaci općenito se smatraju potencijalnim ležišnim stijenama, što uglavnom ovisi o migracijskim putovima. Izolatorske stijene uglavnom su predstavljene glinovitim karbonatima, laporima i šejlovima koji se nalaze u krovinama ležišnih sekvencija svih starosti. Frakturirana ležišta formacije Kurrachine Dolomites mogu također biti prekrivena i anhidritom ili soli.

### 5. ZAKLJUČCI

INA je proizvela značajne količine ugljikovodika iz šest polja smještenih na bloku Hayan, u središnjoj Siriji. Danas su to najznačajnije utvrđene rezerve tvrtke u inozemstvu. Njihova proizvodnja započela je 2005. godine te još raste, zahvaljujući otkrićima novih polja, ali i uspješnoj razradi postojećih ležišta. Velika proizvodnja potakla je izgradnju značajnog nadzemnog proizvodnog, transportnog i kolektorskog sustava za ugljikovodike (posebno plin) kao i povezivanje sa susjednim, velikim sirijskim poljem Arak na jugoistoku.

Buduće aktivnosti odvijat će se u dva smjera. Prvi obuhvaća održavanje sadašnje razine proizvodnje razradom postojećih polja. Drugi se odnosi na istraživanje potencijalnih prospekata i stratigrafskih jedinica. Istraživačka faza odvijat će se na dva načina:

- Prvi obuhvaća istraživanje lokacija unutar bloka Hayan, unutar stratigrafskih intervala u kojima je pretpostavljen mali geološki rizik za otkrivanje novih rezervi ugljikovodika. Postoje tri takva intervala. Prvi je silurske i ordovicijske starosti (vjerojatno u formacijama Tanf i Afandi), unutar granica strukture Palmyra. Drugi su karbonski (pješčenjaci formacije Markada Sandstone) sjeverno i sjeverozapadno od strukture Mustadira te južno od strukture Palmyra. Treći je trijaski, pretpostavljen sjeveroistočno od strukture Mazrur te zapadno od strukture jihar (formacije Kurrachine Dolomites).
- Druge aktivnosti bit će usmjerene na cjelokupni blok Aphamia, u kojem INA trenutno istražuje. Utvrđene su pojave ugljikovodika na nekoliko lokaliteta. Tako su opaženi nafta i plin na lokalitetu Salamiyah, nafta na Jaddui, nafta, plin i kondenzat na Mudawari te nafta i

plin na lokaciji Beer As Sib. Zahvaljujući geografskoj blizini blokova Aphantia i Hayan, razmatrani stratigrafski intervali u bloku Aphantia vjerojatno su litološki slični dokazanim ležišnim intervalima u bloku Hayan.



Autori:

**Tomislav Malvić**, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, INA-Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i geološko inženjerstvo, Šubićeva 29, 10000 Zagreb.

Dopisni autor, e-adresa: tomlav.malvic@ina.hr

**Miro Đureković**, INA-Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i geološko inženjerstvo, Šubićeva 29, 10000 Zagreb.

**Želimir Šikonja**, INA-Industrija nafte d.d., Sektor za proizvodnju nafte i plina u JI Europi, Šubićeva 29, 10000 Zagreb.

**Zoran Čogelja**, INA-Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i geološko inženjerstvo, Šubićeva 29, 10000 Zagreb.

**Tomislav Ilijaš**, INA-Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i geološko inženjerstvo, Šubićeva 29, 10000 Zagreb.

**Igor Kruljac**, INA-Industrija nafte d.d., Sektor za geologiju i geološko inženjerstvo, Šubićeva 29, 10000 Zagreb.

UDK : 550.8 : 553.98 : 519.876.2 (569.1)

550.8	geološka istraživanja
553.98	ležišta nafte i plina
519.876.2	simulacije, modeliranje
(569.1)	Sirija (blok Hayan, blok Aphantia)