

60 godina polja Ivanić – prve sekundarne i prve tercijarne metoda proizvodnje nafte u Hrvatskoj

60 years of the Ivanić field – first secondary and first tertiary oil recovery methods in Croatia

Stefanija Novak-Zoroe
HUNIG
novak.zoroe@gmail.com

Želimir Šikonja
HUNIG
zelimir.sikonja@gmail.com



Ključne riječi: nafta, plin, Ivanić, sekundarne metode, EOR metode, istražni radovi, radovi razrade

Key words: oil, gas, Ivanić, secondary methods, EOR methods, exploration activities, development activities



Sažetak

Naftno polje Ivanić pušteno je u proizvodnju davne 1963. godine. Prostire se na površini od oko 20 četvornih kilometara. Najveća proizvodnja nafte ostvarena je 1966. godine kada je iz 40 bušotina pridobiveno 377 000 tona nafte.

Mali iscrpак iz ležišta i nagli pad slojnog tlaka, ali i podatak da bi nakon završetka primarne faze u ležištu mogle ostati znatne količine nafte, u početku 70-ih bili su signal stručnjacima da primijene novu tehnologiju kojom će se povećati proizvodnja, odnosno iscrpак iz ležišta. Prvi put u hrvatskoj naftaškoj povijesti u Ivaniću su, na bušotini Iva 58, 1972. godine primijenjene sekundarne metode. Njihov učinak bio je očigledan idućih nekoliko godina, poglavito 1977. kada se postiže maksimum od oko – 326 000 tona nafte. Zahvaljujući primjeni te metode iscrpак nafte je povećan s 10 na 40 posto ukupno utvrđenih geoloških zaliha.

Kada je riječ o projektiranju i implementacije EOR projekata INA posjeduje višegodišnje iskustvo koje je stekla laboratorijskim ispitivanjem na više polja, na temelju čega su izrađene i ležišne studije primjene pojedinih metoda.

Nakon opsežnih laboratorijskih ispitivanja uspješnosti istiskivanja nafte s CO₂ u razdoblju između 1978. i 1991. godine zaključeno je da su naftna polja Ivanić i Žutica najbolji kandidati za EOR te da WAG metoda naizmjeničnog utiskivanja CO₂ i vode postiže najveće povećanje iscrpka. Uspješan pilot projekt utiskivanja CO₂ proveden je na naftnom polju Ivanić, gdje se prvo u razdoblju od 2001. do 2003. u ležište utiskivala voda radi obnove slojnog tlaka, a nakon toga u vremenu od 2003. do 2006. se utiskivao CO₂. Brojne aktivnostima na EOR projektu intenzivno su trajale od 2007. do 2014.

Polje Ivanić je prvo hrvatsko naftno polje na kojem su 2014. godine primijenjene EOR metode. Od listopada 2014. do danas na tom polju ukupno je proizvedeno 455 388 m³ nafte i 80 431 078 m³ plina ili 3 529 399 boe. Od tih količina 247 187 m³ nafte i 61 553 037 m³ plina ili 2 063 750 boe treba zahvaliti primjeni EOR metoda. Dakle, zahvaljujući primjeni EOR metoda proizvodnja je povećana za 58 posto.

U proteklih šezdeset godina polje Ivanić je proizveo 9 633 995 m³ (8 265 968 t) nafte i još 1 376 646 087 m³ plina, odnosno ukupno 71 979 648 boe.



Abstract

The Ivanić oil field was put into production back in 1963. It covers an area of around 20 square kilometres. The largest production was achieved in 1966 when 377,000 tons of oil were recovered from 40 wells.

Low recovery efficiency and sharp reservoir pressure decline, but also the fact that after completion of the primary recovery phase, significant oil volumes could remain in the reservoir, in the early 70s were a signal to the oil experts to implement a new technology to increase recovery efficiency and production. For the first time in the Croatian oil history in 1972 secondary recovery methods were implemented at the Iva-58 well in the Ivanić field. The effects were noticeable in the next few years, particularly in 1977 when peak production was reached – around 326,000 tons of oil. Thanks to the secondary recovery method implementation recovery efficiency increased from 10 to 40 per cent of total determined hydrocarbons in place.

As regards EOR projects design and implementation INA has years of experience from laboratory testing carried out at several fields which was the basis for carrying out reservoir studies for implementation of different EOR methods. After comprehensive laboratory tests of oil displacement by CO₂ in the period from 1978–1991, it was concluded that the Ivanić and Žutica oil fields were the best candidates for EOR and that water alternating gas method resulted in the largest recovery increase. Successful CO₂ injection pilot project was implemented in the Ivanić oil field, where, first, in the period from 2001–2003, water was injected in the reservoir to restore the pressure, and then from 2003 to 2006 CO₂ injection was carried out. Numerous EOR project activities were intensively performed in the period from 2007–2014.

The Ivanić field is the first Croatian oil field where EOR methods were implemented in 2014. Since October 2014 total production from the field has amounted to 455,388 m³ of oil and 80,431,078 m³ of gas or 3,529,399 boe. Of these volumes 247,187 m³ of oil and 61,553,037 m³ of gas or 2,063,750 boe is a direct result of the EOR methods implementation. Therefore, due to the EOR methods implementation production increased by 58 per cent.

Over the past sixty years production from the Ivanić field amounted to 9,633,995 m³ (8,265,968 t) of oil and 1,376,646,087 m³ of gas, or in total 71,979,648 boe.

1. Uvod

Na trideset i pet kilometara istočno od Zagreba smjestio se pitomi gradić na Lonji – Ivanić-Grad. Bio je središte istoimene općine čije je podzemlje ispunjeno naftom i plinom, pa će cijelo područje početkom

šezdesetih godina prošloga stoljeća preplaviti naftaški tornjevi.

Područje Ivanić-Grada kao prostor lokalne samouprave sastoji se od 22 naselja: Caginec, Deanovec, Derežani, Donji Šarampov, Graberje Ivaničko, Greda Breška, Ivanić-Grad, Jalševac Breški, Lepšić, Lijevi Dubrovčak, Opatinec, Posavski Bregi, Prečno, Prerovec, Prkos Ivanički, Tarno, Topolje, Trebovec, Šemovec Breški, Šumečani, Zaklepica i Zelina Breška.

Ivanić-Grad obuhvaća područje prosječne dužine u smjeru sjever-jug od oko 25,5 km te prosječne širine u smjeru istok-zapad od 12,0 km do 21,0 km. Ukupna površina iznosi 173,57 četvornih kilometara.

Prema svom prostornom položaju u granicama Zagrebačke županije Ivanić-Grad zauzima područje njezinog jugoistočnog dijela, pri čemu svojim južnim rubom graniči sa Sisačko-moslavačkom županijom, a manjim dijelom sjeveroistočne granice prislanja se uz Bjelovarsko-bilogorsku županiju.

Ivanić-Grad se smjestio uz rijeku Lonju, u Moslavini, na 103 metara nadmorske visine, uz magistralnu prometnicu (autocestu D-4) Zagreb – Lipovac, državnu cestu (D-43) Bjelovar – Ivanić-Grad te regionalnu prometnicu i željezničku prometnicu Zagreb – Vinkovci.

Prvo pravo povijesno svjedočanstvo o upotrebi pečata slobodnog trgovišta Ivanić-Grada nalazimo u XVII. stoljeću. Simbolika i sadržaj pečata sačuvali su se na jednoj ispravi iz 1664. godine. Pečat je okrugao, a u sredini se nalazi kula od tesana kamena na proširenom temelju. Kula završava kruništem, a vrata su na njoj otvorena. S jedne i druge strane nalaze se po tri stabljike rascvjetalog ljiljana. Sadržaj pečata mogao bi se dovesti u usku vezu s položajem Ivanić-Grada na lonjskom otoku gdje je ovo staro naselje na tom močvarnom terenu moglo biti okruženo takvim biljkama. Kula je sasvim sigurno simbol obrambenog značenja Ivanić-Grada, koji je potvrđen već gradnjom



Slika 1. Ivanić-Grad sedamdesetih godina prošloga stoljeća



Slika 2. Ivanić-Grad danas

najstarijih utvrda zagrebačkih biskupa, pa do renesansne tvrđave koja je zaista bila neosvojena kula obrane u najkritičnijim godinama turskih provala i osvajanja.

Novi gradski grb i pečat u upotrebi su od 1792. godine kada se uredila nova gradska uprava te su isti prvo bili u upotrebi s njemačkim natpisom „Militar-Communitat Festung Ivanic“ (Carsko-kraljevska vojna općina Ivanić). Taj grb i pečat koristili su se do 1872. godine kada je natpis promijenjen na hrvatski jezik.

Prema popisu stanovnika iz 2011. godine Grad Ivanić-Grad ima 14 548 stanovnika, od toga u naselju Ivanić-Grad 9 379 stanovnika.

2. Nafta je preobrazila Ivanić-Grad

Kada je 1963. ondašnji Naftaplin pustio u rad prve proizvodne bušotine tada novog naftnog polja Ivanić, znao je da otvara novu stranicu razvoja i da na popis proizvodnih polja stavlja još jedno veliko naftno polje. Da se u tome nije prevario, potvrđuju brojke o ostvarenoj proizvodnji u proteklih šezdeset godina koja iznosi $9\,633\,995\text{ m}^3$ ($8\,265\,968\text{ t}$) nafte i $1\,376\,646\,087\text{ m}^3$ plina, odnosno ukupno $71\,979\,648\text{ boe}$.

Naftno polje Ivanić prostire se na više od 20 četvornih kilometara. Da je istraživački posao nepredvidljiv, složen i dugotrajan, pokazuje i podatak kako su prvi geofizički radovi u tom dijelu Hrvatske obavljani još 1954., da bi, na temelju podataka, izrada prve istražne bušotine Iva-1, južno od Ivanić-Grada, počela četiri godine kasnije, 1959. godine. Postojanje ležišta ugljikovodika unutar pješčenjaka potvrđeno je 1962. godine drugom istražnom bušotinom, da bi se ekonomski isplative količine ugljikovodika otkrile bušotinom Iva-4 na dubini $3\,046\text{ metara}$. Polje je pušteno u pokusnu proizvodnju u studenome 1963.

godine sa samo tri bušotine. Do kraja te godine proizvedeno je $6\,130\text{ tona}$ nafte.

U to vrijeme nafta i plin u Hrvatskoj se proizvodila na samo sedam polja – Gojlu, Križu, Bunjanima, Kloštru, Mramor Brdu, Dugom Selu i Stručcu. Proizvodnja nafte u 1963. je iznosila $1,159\text{ milijun tona}$, a plina $77,8\text{ milijuna kubika}$. Već sljedeće 1964. godine proizvodnja nafte je povećana na $1,285\text{ milijuna tona}$, a plina na $130,6\text{ milijuna prostornih metara}$.

Novootkriveno polje Ivanić bio je pun pogodak. Svi pokazatelji o ležištu upućivali su na bogato nalazište, pa se odmah krenulo u intenzivnu razradu. Već 1964. godine Ivanić se proširio za 17 novih bušotina, a sljedeće 1965. godine za još 15. Nije trebalo dugo čekati prve proizvodne rekorde. Iz 40 bušotina 1966. godine proizvedeno je golemih $377\,000\text{ tona}$ nafte (proizvodni maksimum polja).

Dakako, bušotine su u početnoj fazi radile samo eruptivno, a sadržaj vode u proizvedenoj kapljevini bio je neznatan. Pad ležišne energije, svojstven režimu otopljenog plina, kakav je na Ivaniću, upućivao je na potrebu uvođenja jedne od metoda mehaničkog podizanja kapljevine. Nakon temeljitih analiza, stručnjaci su za Ivanić odabrali dubinske sisaljke. U idućim godinama broj bušotina, koje proizvode eruptivno, smanjivao se, a onih koje rade pomoću dubinskih sisaljki se povećavao. Na polju Ivanić je do danas izrađeno 88 bušotina. Uz to je i 14 utisno-vodnih, 13 mjernih te jedna geotermalna bušotina. Najdublja



Slika 3. Zimski pejzaž Ivanić-Grada

proizvodna bušotina je Iva-4, čiji je kanal dubok 3 059 metara. Za potrebe proizvodnje nafte izgrađene su dvije sabirne stanice.

3. Istražni radovi

Regionalnim gravimetrijskim premjerom u razdoblju od 1940. do 1942. godine počeli su istražni radovi koji su nastavljeni 50-ih godina prošloga stoljeća. Detaljniji istražni radovi počeli su nakon otkrića naftnog polja Kloštar. Tako je 1954. godine počelo snimanje seizmičkih profila radi definiranja područja južno od polja Kloštar prema dubljem dijelu savske depresije. Rezultati dobiveni interpretacijom svih postojećih podataka 1959. godine, ukazivali su na izglednost tog područja.

Na području Posavskih Brega bilo je više izdanaka zemnog plina, pa i u seoskim zdencima. Godine 1954. počelo je seizmičko mjerenje od južnih kloštarskih bušotina preko Ivanić-Grada i Posavskih Brega do Martinske Vesi. Mjerenjima i interpretacijama do 1959. utvrđena je struktura Ivanić, slabo izražena antiklinala koja se nalazi na prijelazu strukture Križ u dublji dio savske potoline. Na temelju tih spoznaja locirane su spomenute bušotine PB-1 i Iva-1 te Iva-2 s kojom je naftno polje Ivanić 1962. otkriveno.

Već je bila dovršena prva bušotina na novom istražnom području koja je najavila otkriće velikog

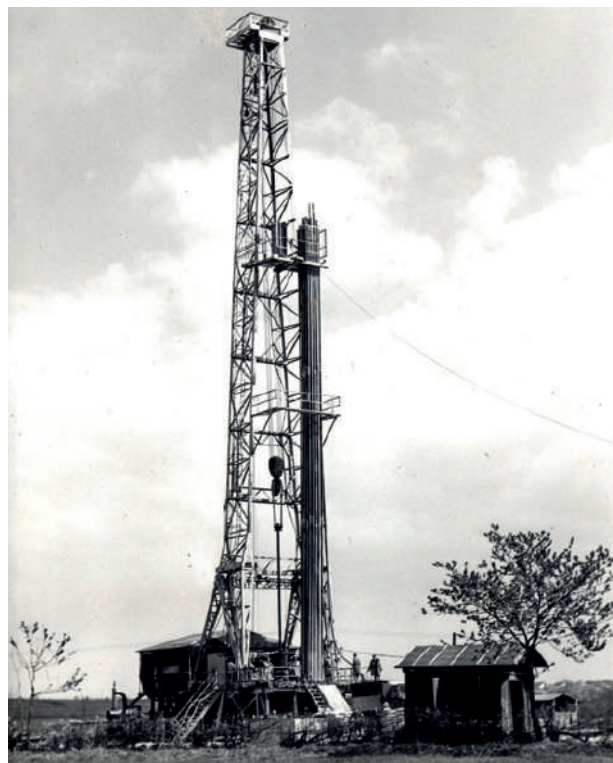
nalazišta nafte – petog u Hrvatskoj po utvrđenim rezervama i četvrtog po predviđenom iscrpku. Na pomolu je bila velika radost i slavlje. Ali slavlju će se ispriječiti tuga i bol – tragedija. Na Ivi-1 dogodit će se erupcija, a potom i požar. Vatra će zahvatiti postrojenja i razlivenu naftu, ali i ljude. Toga ljetnog dana 26. kolovoza 1959. bušači su – kako opisuje rukovoditelj radilišta Ivan Šindija u svojoj knjizi „Priče s radilišta, i sam stradalnik – doslovce gorjeli. Prva smjena šefa tornja Stjepana Novaka ostala je bez tri člana – vođe smjene Ivana Podhraškog, njegova pomoćnika Josipa Katića i motorista Ivana Božičevića. Strahovit događaj zavio je u crno obitelji, Naftaplina, mjesta odakle su stradalnici. Unatoč tomu, moralo se nastaviti na Ivi-2 i – uspjeti.

3.1. Naftno polje Ivanić otkriveno je bušotinom Iva-2 u kolovoza 1962.

Vratimo se na početak. Na temelju rezultata seizmičkih mjerenja 1954., koje je provela zagrebačka Geofizika, locirana je i tri godine kasnije dovršena bušotina Posavski Bregi-1, koja je utvrdila nosioce i tragove ugljikovodika. Ti su podaci, kao i oni dobiveni daljnjim seizmičkim mjerenjima, poslužili za lociranje prve bušotine na ivanić-gradskom području 16. siječnja 1959. Izabrano mjesto Ive-1 nalazi se zapadno od spomenutoga grada i zaseoka Jalševac, na



Slika 4. Terenska snimanja pedesetih godina prošlog stoljeća



Slika 5. Istražno bušenje na području Ivanić-Grada 60-ih godina prošlog stoljeća



Slika 6. Rad na bušačem tornju

sjeveroistočnom krilu savske sinklinale, između spomenute PB-1 i najjužnije kloštarske bušotine Klo-19.

Bušotina je dovršena u kolovozu 1959. do dubine od 2 721 m. Iako su ležišta zavodnjena i bušotina likvidirana kao negativna, u više intervala ustanovljene su pojave ili zasićenja naftom. Prilikom višednevnog ispitivanja dobiveno je 25 kubika nafte ali još više vode. No Iva-1 je bila korak bliže otkriću nalazišta koje će se utvrditi drugom bušotinom.

„Dvojka“ je locirana zapadno od Ive-1, u samom Ivanić-Gradu na katastarskoj čestici broj 633 u vlasništvu tadašnjeg Narodnog odbora Općine. Za bušotinu su pisane dvije geološke osnove: kraća i duže. U obje su autori naglasili kako je Iva-2 postavljena na viši dio strukture i bliže rasjedu, da bi se nabušio najpovoljniji interval u miocenu Ive-1 i donji pliocenski pijesci. Tom bušotinom utvrđena je prisutnost ugljikovodika unutar Iva pješčenjaka, odnosno pješčenjaka Gama serije, koji pripadaju naslagama gornjeg miocena.

Posada postrojenja Cardwell V počela je bušenje 22. lipnja i završila 30. kolovoza 1962. na 2 221 m, točno 500 m pliće od prve bušotine. Prve pojave nafte utvrđene su na 1 675 – 1 680, a jače na 1 680 – 1 696 m.

Dana 4. kolovoza 1962. smatra se datumom otkrića polja Ivanić. Tadašnji geolog na bušotini Branko Sruk u izvješću je uz ostalo zapisao: „Duboka istražna bušotina Iva-2 pokazala je opravdanost svih dosadašnjih istražnih radova na polju Ivanić-Grad“. Prema geološkom izvješću, najvažniji je interval od 1 680 – 1 696 m, iako su perspektivna i prethodna tri. Prilikom osvajanja bušotine napucana su dva intervala (1 684 – 1 691 i 1 693 – 1 695 m) iz kojih su 4. i 5. listopada 1962. do-

bivene znatne količine nafte. Prvog dana ispitivanja (na sapnicu 4,5 mm) dotok je bio oko dva kubika na sat ili 48 kubika na dan. Drugi dan ispitivano je devet sati i dobiveno 72 kubika nafte. Time je osvajanje završeno i bušotina eruptivno puštena u proizvodnju. Na bušotinu su 1972. godine otvorena još tri intervala. Povremeno je međutim zatvarana zbog taloženja parafina, pa je s vremenom i napuštena. Onda je početkom 80-ih godina osposobljena za ispitivanje ležišta termalnih voda. Temperatura dobivene vode kretala se na ušću bušotine od 55 do 60 °C. Tako je eto završilo s bušotinom kojom je otkriveno naftno polje Ivanić.

3.2. Najdublja bušotina je Iva-4 od 3 054 m

Istraživanje ivanić-gradskog područja nastavljeno je – kako piše u geološkoj osnovi – istražno-eksploatacijskom bušotinom Iva-3. Smještena je sjevernije od Ive-2, a izbušena je sredinom studenoga 1962. do 2 207 m. Očekivani nosioci nafte bili su međutim zavodnjeni, pa je likvidirana kao negativna.

Lociranju istražne bušotine Iva-4 prethodili su opsežni geofizički radovi, a koristili su se razumljivo i rezultati prethodnih bušotina. Smještena je u južnom dijelu strukture, 200 m ispod auto-cesta Zagreb – Lipovac. Bušenje je dovršeno polovicom ožujka 1963. do 3 054 m, te je najdublja na polju. Bušotina je 30. ožujka 1965. puštena u rad. Njome su utvrđene industrijske količine ugljikovodika u odlično razvijenim pješčenjacima Gama serije. Analizom podataka dobivenih bušenjem, ispitivanjem slojeva te interpretacijom geofizičkih podataka, daljnji radovi bili su usmjereni na definiranje granica i razradu ležišta Gama serije, odnosno ležišta unutar naslaga gornjeg Panona.

Peta bušotina nazvana je u pojedinim dokumentima istražno-eksploatacijska, a drugdje samo eksploatacijska. Nalazi se na sjeveru strukture, blizu Ive-2, a izbušena je početkom 1963. do 1 860 m. I njome su utvrđena znatna zasićenja naftom na gotovo istoj dubini kao i na susjednoj Ivi-2. U proizvodnji je od kolovoza 1964.

Zašto se Iva-6 vodi kao istražna, a prethodna je bila više eksploatacijska nego istražna. Iva-6 je locirana na zapadnom dijelu strukture, a izbušena je početkom svibnja 1963. do 1 829 m, ali nije ustanovila zasićenje naftom. To pak je postignuto istražnom bušotinom Iva-7, koja je locirana na području zaseoka Donji Šarampov, oko dva kilometra južno od Ive-2. Izbušena je koncem ožujka 1963. (dubine 1 849 m) i utvrdila više intervala zasićenih. Bušotina je ušla u proizvodnju koncem studenoga 1963. godine.

Kao istražna vodi se i Iva-12 koja je locirana na južnom dijelu polja, manje ispitivanom od sjevernog.



Slika 7. Jedna od proizvodnih bušotina smještenih u centru grada

Izbušena je 1963. do 2 647 m, ali je zavodnjena. U istražnu pripada još i bušotina Iva duboka 1 i 1 alfa, locirana na sjeveroistočnom rubu polja kako bi se na tom području istražili dublji horizonti. Prvi kanal izbušen je krajem 1984. do 2 565 m, a drugi iz iste bušotine početkom 1985. do 2 513 m. Kako nisu utvrđena zasićenja ugljikovodicima, obje su bušotine likvidirane.

3.3. Bušotine usred grada

Do 2005. izbušeno je deset istražnih kanala od kojih sedam pozitivnih a četiri su ušla u proizvodnju. S razradnima je izrađeno 89 kanala, od kojih su najplići Iva-51 i Iva-77 (1 736 m), a najdublji Iva-4 (3 054 m).

Njima je utvrđeno više od 24 milijuna kubika geoloških zaliha nafte, od kojih je pridobivo više od 10 milijuna ili blizu 43 posto iscrpka. Ivanić je peto polje u Hrvatskoj po geološkim zalihama, četvrto po pridobivim količinama i sedmo po konačnom iscrpku nafte.

Plina je u plinskoj kapi i otopljenog u nafti utvrđeno 1,85 milijardi prostornih metara, a pridobivo je više od 1,4 milijarde kubika.

Raskriveno je sedam ležišta iz koji se proizvodi od 1963. kada je polje pušteno u rad s pet bušotina. Prva je uključena Iva-7, druga Iva-16, treća Iva-11, četvrta Iva-19 i peta Iva-13. Iduće godine ih je radilo 40, među kojima i istražne Iva-2 kojom je polje otkriveno te najzdašnija Iva-4. Sve su u početku radile eruptivno, da bi se od 1972. naftu crpilo dubinskim sisaljicama,

što je bilo prvi puta u Hrvatskoj. Najviše je pridobiveno 1966. – blizu 400 tisuća kubika, a prethodne i još iduće dvije godine više od 300 tisuća m³.

Poslije uvođenja sekundarnih metoda opet se čak osam godina proizvodilo više od 300 tisuća kubika, a 1977. blizu 400 tisuća. Aktivnost polja predviđa se do 2032. godine.

Naftnog plina i onoga iz plinske kape otkriveno je oko 1,85 milijardi prostornih metara od kojih je pridobivo 1,4 milijarde kubika. Najviše je proizvedeno 1967. godine – 82,5 milijuna prostornih metara. Proizvodilo bi se do 2032.

4. Prikaz geološke građe

Naftno-plinonosna područja hrvatskog dijela Panonskog bazena pretežno su izgrađena od tercijarnih (neogenskih) i kvartarnih naslaga. Kompleks tercijarnih sedimenata znatne debljine transgresivno i diskordantno prekriva konsolidiranu podlogu tercijara na čitavom taložnom prostoru savske depresije. Taloženje tih naslaga odvijalo se uz tonjenje dna taložnog prostora.

Na osnovi podataka dobivenih iz dubokih bušotina na polju Ivanić, utvrđen je normalan slijed kronostratigrafskih jedinica savske depresije: kvartar, pliocen, gornji i srednji miocen.

Struktura Ivanić uklapa se u strukturni niz koji počinje na sjeverozapadu sa strukturom Kloštar, preko Ivanića, Žutice do Okolia. Od Kloštra, strukture tonu u dublji dio savske potoline.

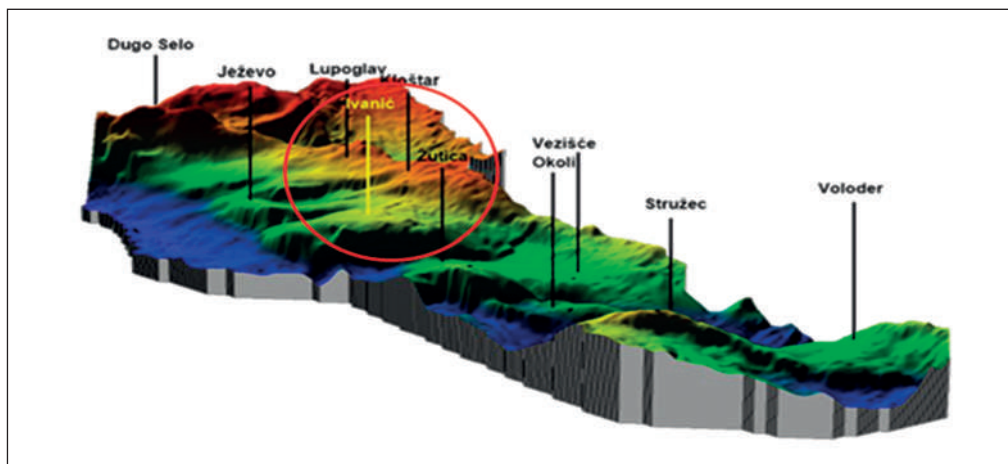
Strukturni oblik, prema karti izrađenoj po krovini pješčenjaka Gama serije, pokazuje asimetričnu brahiantiklinalu, čija se nešto dulja os pruža u smjeru sjeverozapad-jugoistok s blago naglašenim tjemenom na južnom dijelu strukture. U dubljim dijelovima Gama serije mjestimično su blago naglašena tri nadsvođenja.

Iako je na relativno malom prostoru veliki broj bušotina, odnosno raspolaže se značajnim podacima dobivenih bušenjem te podacima proizvodnje, na strukturi do sada nije bilo pouzdanih pokazatelja o prisutnosti značajne tektonike. Međutim, na tom je području snimljena i obrađena 3D seizmika, koja upućuje na zaključak da rasjedna tektonika ipak postoji.

5. Geološki opis ležišta

Na polju Ivanić jedine ležišne stijene za ugljikovodike su pješčenjaci gornjeg panona izdvojeni kao Gama serija.

Gama seriju čine sitnozrnasti kvarcni, srednje do čvrsto vezani pješčenjaci u čestoj izmjeni sa sivim



Slika 8. Geološki strukturalni model eksploatacijskih polja zapadnog dijela Savske depresije

srednjtvrđim laporima, odnosno njihovim prijelaznim formama. Ti međulapori imaju različito horizontalno i vertikalno rasprostiranje. Neki od njih imaju kontinuirano rasprostiranje, pa su analize karotažnih dijagrama omogućile izdvajanje pojedinih pješčenjaka ili grupu slojeva pješčenjaka. Unutar Gama serije na polju Ivančić izdvojene su dvije hidrodinamičke cjeline: dublja, s ležištima Gama₄ do Gama₁, i plića, s ležištem Gama₅.

Veći dio Gama serije pripada tom ležištu. Unutar ležišta izdvojeno je nekoliko intervala pješčenjaka, koji nemaju kontinuirani horizontalni i vertikalni razvoj. Ti pješčani slojevi se mjestimično spajaju, a neki mjestimično potpuno nestaju (prelaze u lapor). Tako je unutar grupe ležišta Gama₄ do Gama₁, a na osnovi karotažnih dijagrama, izdvojeno šest proizvodnih slojeva: Gama_{2/4}, Gama_{2/3}, Gama_{2/2}, Gama_{2/1}, Gama₃ i Gama₄.

Najdublji pješčani sloj Gama_{2/4}, ima i relativno najbolji razvoj. No taj interval zapravo predstavlja prijelazno zasićenje ugljikovodicima, odnosno završetak grupe ležišta Gama₄ do Gama₁ i sadrži relativno male zalihe nafte grupe ležišta Gama₄ do Gama₁.

Slojevi Gama_{2/3}, Gama_{2/2} i Gama_{2/1} su vrlo promjenljivog horizontalnog i vertikalnog razvoja. Ovisno o njihovom razvoju variraju i njihova kolektorska svojstva.

Ta tri izdvojena sloja nositelji su približno jedne trećine zaliha nafte grupe ležišta Gama₄ do Gama₁. Sloj Gama₃ je glavni nositelj ugljikovodika grupe ležišta Gama₄ do Gama₁. Ima gotovo kontinuirani horizontalni i vertikalni razvoj, a tek se mjestimično spaja sa slojevima pješčenjaka ispod (Gama_{2/1}) ili iznad njega (Gama₄). Debljina sloja veća je od 20 m. Taj sloj sadrži približno polovicu od ukupno otkrivenih zaliha nafte grupe ležišta Gama₄ do Gama₁.

Sloj Gama₄, najplići je sloj ovog ležišta. Promjenljivog je razvoja pješčenjaka i nositelj je približno četvrtine ukupno otkrivenih zaliha nafte ležišta Gama₄ do Gama₁.

Jedinstveni kontakt nafta-voda utvrđen je na dubini od -1600 m.

Ležište Gama₅ zauzima gornji dio Gama serije. Relativno je slabog kolektorskog razvoja. Ne javlja se kao jedan pješčani sloj, nego ga, ovisno o području, čini i po nekoliko slojeva. Debljina mu nije velika i kreće se oko 10 m, a maksimalna efektivna debljina iznosi 9.4 m.

S obzirom na to da je po čitavoj površini proslojkom lapora odvojeno od ostalih ležišta serije, čini posebnu hidrodinamičku cjelinu s odvojenim kontaktom nafta - voda na dubini od -1585 m. U vršnom dijelu strukture utvrđeno je zasićenje plinom, odnosno utvrđeno je postojanje male plinske kape s kontaktom plin - nafta na dubini od -1530,0 m.

6. Razrada polja Ivančić

6.1. Primarna faza razrade

Gama serija je višeslojni eksploatacijski objekt. U nje mu se svih sedam proizvodnih ležišta istovremeno eksploatira zajedničkom mrežom bušotina zbog sličnih karakteristika ležišne stijene i ležišnih fluida te identičnog tipa potencijalnog režima proizvodnje.

Polje je pušteno u proizvodnju u studenome 1963. godine. Razrađeno je trokutnom mrežom bušotina s razmakom od 300 m. Indeksi proizvodnosti kretali su se od 0,1 do 3,0 m³/dan/bar dok je raspon radnih depresija bio od 10 do 80 bar.

Prema prvom elaboratu iz 1964. godine za najnepovoljniji režim otopljenog plina procijenjen je iscrpak od svega 10 %. Pretpostavljalo se da će

analogno s istom litostratigrafskom jedinicom Iva pješčenjaci na polju Kloštar, prevladavajući režim biti vodonaporni. Uz takvu pretpostavku procijenjen je iscrpak od 15 %.

No ubrzo ju je opovrgnulo proizvodno ponašanje ležišta. Maksimalna proizvodnja postignuta je 1966. godine. Zatim slijedi nagli pad tlaka i proizvodnosti te porasta plinskog faktora, što definitivno potvrđuje dominantni utjecaj režima otopljenog plina. U konačnoj varijanti, za režim otopljenog plina iscrpak je procijenjen na 15,6 %, odnosno $3,4 \times 10^6$ m³ nafte.

6.2. Sekundarna faza razrade

Održavanje ležišnog tlaka utiskivanjem vode je postupak pri kojem se voda utiskuje u naftonosno ležište radi popunjavanja njegove prirodne energije i poboljšavanja proizvodnih osobina prije nego što se dosegne granica unosnosti njegova iskorištavanja.

Režim utiskivanja vode u ležište koristi se u onim ležištima gdje su ležišni energetski uvjeti nedostatni za postizanje većeg iscrpka i tamo gdje postoji mogućnost ovisno o geološko-fizikalnim karakteristikama ležišta i strukturalnim odnosima u ležištu, te ako nam tehno-ekonomska analiza pokazuje uspješno i brzo vođenje proizvodnog procesa.

Pri utvrđivanju pogodnosti razmatranog ležišta za primjenu zavodnjavanja tj. održavanja tlaka nužno je razmotriti: geometriju ležišta, litologiju, dubinu zalijeganja ležišta, šupljikavost stijena nosioca odnosno ležišta, propusnost, svojstva kapljevin i međusobni odnos relativnih propusnosti, neprekidnost ležišta po protezanju, te zasićenost i raspored po prostiranju ležišta.

Odabir utisnih bušotina unutar odabranog eksploatacijskog polja obavlja se na osnovi hidrogeološkog sastava ležišta, tehničke opremljenosti bušotine i režima rada pri proizvodnji polja.



Slika 9. Proizvodnja nafte pomoću dubinskih sisaljki

Pri proizvodnji nafte i plina neizostavni pratilac proizvodnje je i određena količina vode. Tu vodu djelom sačinjavaju slatka voda nastala kondenzacijom vodene pare koja se kod određenog tlaka i temperature nalazi u faznoj ravnoteži s ugljikovodicima u ležištu, a djelom je to slana (slojna) voda koja se pojavljuje u određenoj fazi crpljenja ležišta. Sve te vode nazivaju se otpadne vode koje se utiskuju preko utisnih bušotina natrag u ležišta. Na nekim proizvodnim poljima slojna voda izdvojena u procesu proizvodnje koristi se u svrhu podržavanja ležišnog tlaka, a negdje gdje nije potrebno deponira se u određena ležišta.

6.2.1. Prvi put u Hrvatskoj, u Ivaniću su 1972. primijenjene sekundarne metode

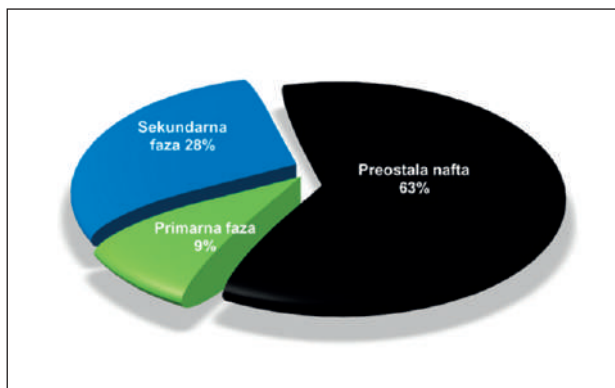
Vratimo se naftnom polju Ivanić. Mali iscrpak iz ležišta i nagli pad slojnog tlaka, ali i podatak da bi nakon završetka primarne faze u ležištu mogle ostati znatne količine nafte, u početku 70-ih bili su signal stručnjacima da primijene novu tehnologiju kojom će se povećati proizvodnja, odnosno iscrpak iz ležišta. Prvi put u hrvatskoj naftaškoj povijesti u Ivaniću su, na bušotini Iva 58, 1972. godine primijenjene sekundarne metode. Njihov učinak bio je očigledan idućih nekoliko godina, poglavito 1977. kada se postiže maksimum od oko – 326 000 tona nafte. Zahvaljujući primjeni te metode iscrpak nafte je povećan s 10 na 40 posto ukupno utvrđenih geoloških zaliha.

U početku se voda utiskivala u 10 bušotina, a kasnije u 14. Utisne bušotine su raspoređene u tri reda: dva su smještena uza sam rub ležišta, a jedan red prolazi kroz sredinu ležišta. Između svakog reda utisnih bušotina nalaze se po četiri reda proizvodnih.

Projekt povećanja iscrpka nafte podržavanjem tlaka utiskivanjem vode počeo se razmatrati nakon što se utvrdilo da će više od 5/6 otkrivene nafte ostati u ležištu. To je bio prvi projekt takve vrste kod nas. Uključeni su bili i strani stručnjaci koji su na osnovi svojih iskustava na takvim projektima pomogli pri rješavanju stručnih i tehnoloških problema i dali određena rješenja za izvođenje projekta konvencionalnog zavodnjavanja.

Za proračun iscrpka primijenjeno je više analitičkih metoda čiji su rezultati ukazivali na komercijalnu opravdanost istiskivanja nafte iz ležišta vodom tj. primjenu metode podržavanja zatečenog tlaka u ležištu, utiskivanjem vode. Izabran je tzv. linijski sistem zavodnjavanja sa četiri reda proizvodnih bušotina između dva rubna reda i jednog središnjeg reda utisnih bušotina.

Sekundarna faza razrade započela je polovicom 1972. godine kod zatečenog tlaka u ležištu od približ-



Slika 10. Grafički prikaz iscrpka nafte u primarnoj i sekundarnoj fazi iskorištavanja polja Ivanić

no 107 bar. Maksimalna proizvodnja nafte u toj fazi (jednako iz primarne faze razrade) bila je postignuta 1977. godine.

Krajem 2002. godine, kada je polje obilježavalo 50 godina proizvodnje ukupno je iscrpljeno $8,624 \times 10^6 \text{ m}^3$ nafte ili 39,9 % utvrđenih geoloških rezervi.

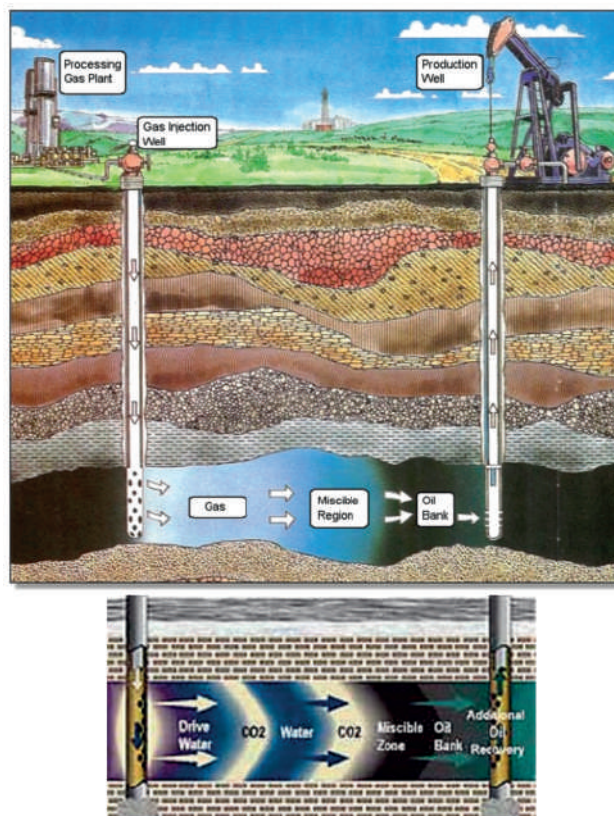
6.3. Tercijarna faza razrade

Protokol iz Kyota je protokol Okvirne konvencije UN-a o promjeni klime. Dodatak je međunarodnom sporazumu o klimatskim promjenama, potpisan s ciljem smanjivanja emisije šest stakleničkih plinova: CO₂, CH₄, NO₂, HFC, PFC, SF₆. Usvojen je na Trećoj konferenciji stranaka u Kyotu 1997. godine.

Kvota smanjenja emisija uvedene su u šest ključnih industrija: energetika, čeličane, cementare, staklana, ciglane, papir/ karton. Do sada ga je ratificirala i potpisala 181 država.

Hrvatska je potpisnica protokola kao zemlja iz Aneksa 1 iz 1999. godine. u kome su određeni emisijski plafoni za sve zemlje potpisnice. Za Republiku Hrvatsku (RH) je određeno obvezno smanjenje od 5 % u odnosu na baznu 1990. godinu. Hrvatski sabor ratificirao je Kyoto protokol u travnju 2007. godine, nakon čega je donešeno niz Uredbi vezanih za emisiju stakleničkih plinova.

U skladu s protokolom iz Kyota o smanjenju stakleničkih plinova, stručnjaci INA – Naftaplina omogućili su da upravo jedan takav projekt zaživi. Radi se o EOR projektu na poljima Ivanić i Žutica. Primarni cilj projekta je povećanje iscrpka nafte i produljenje vijeka naftnih polja koja u dosadašnjem režimu rada bilježe konstantan pad proizvodnje. Međutim, utiskivanjem CO₂ i njegovim trajnim zbrinjavanjem to je istovremeno i projekt smanjivanja utjecaja ugljičnog dioksida na okoliš. Njegovim utiskivanjem u ležište na ekološki najprihvatljiviji način smanjit će se i emisija tog stakleničkog plina, čime projekt pokazuje i velik sekvestracijski potencijal.



Slika 11. Proces naizmjeničnog utiskivanja vode i CO₂ tijekom EOR procesa

U Hrvatskoj najveće rezerve ugljikovodika otkrivene su do 1974. godine. Stupanj istraženosti Panonskog bazena je velik tako da se u daljnjim istraživanjima nije očekivalo otkrivanje novih ležišta s većim geološkim rezervama nafte. Primjenom sekundarnih metoda zavodnjavanja ležišta povećan je iscrpak nafte te on za naftna polja na kojim je primijenjen iznosi više od 35 do 40 posto.

Svjetska praksa ukazuje da nakon procesa zavodnjavanja u naftnim ležištima zaostaju značajne količine nafte, koje se mogu pridobiti primjenom tercijarnih metoda – EOR (eng. *Enhanced Oil Recovery*). U okviru EOR metoda jedan od „potisnih“ medija za istiskivanje nafte iz pornog prostora je ugljični dioksid.

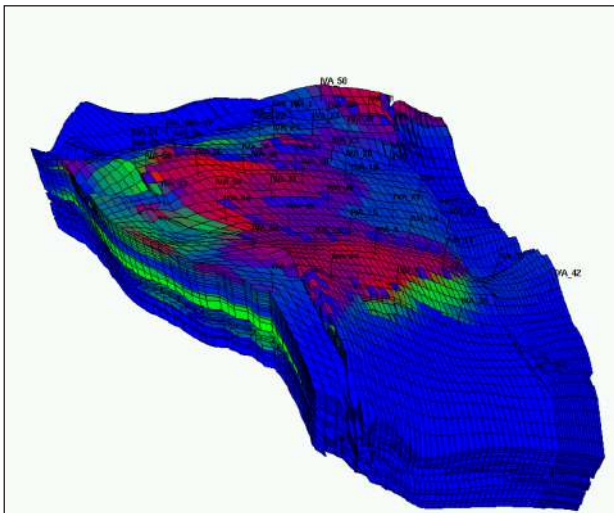
INA-ini stručnjaci posljednjih dvadesetak godina intenzivno su se bavili teoretskim proučavanjem i laboratorijskim istraživanjima kao i numeričkom simulacijom metoda povećanja iscrpka nafte kao i mogućom primjenom EOR metoda na nekim od domaćih naftnih polja.

Prirodni pad proizvodnje, potreba kontinuirane obnove rezervi nafte, mali istražni prostor u RH, dvadeset godina laboratorijskih ispitivanja na naftnim poljima RH te pozitivna svjetska iskustva na brojnim CO₂ EOR projektima glavni su razlozi strateškog opredjeljenja INA-inih stručnjaka na intenziviranju aktivnosti na domaćim EOR projektima.

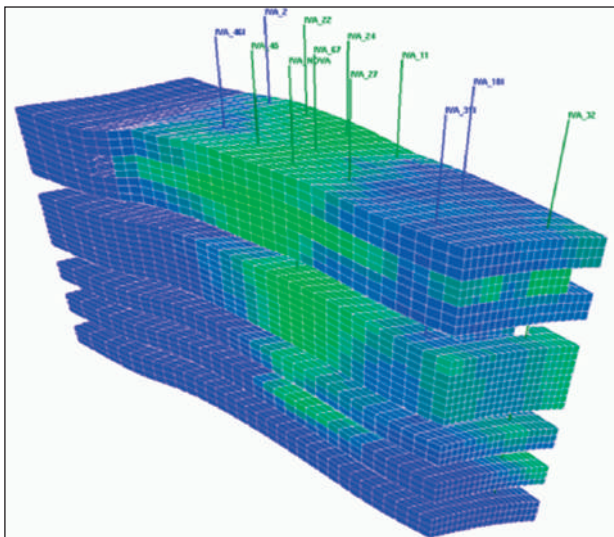
Na osnovi novog geološkog modela naftnog polja Ivanić, temeljenog na interpretaciji 3D seizmike snimljene na tom području, izgrađen je simulacijski model. Nakon uspješno provedenog usklađivanja historijata proizvodnje, simulirano je tercijarno utiskivanje CO_2 u ležišta 74 – 72/3 prema različitim scenarijima. Dobiveni rezultati upućuju na mogućnost dodatnog pridobivanja nafte u sljedećih 20 godina proizvodnog vijeka polja.

Naftno polje Ivanić je predloženo za izradu geološkog modela koji se temelji na rezultatima interpretacije 3D seizmike. 3D geološki model će se rabiti za dinamičko modeliranje – simulaciju pješčane serije Gama za potrebe projekta utiskivanja CO_2 . Proizvodnjom i kroz vrijeme utiskivanja vode geološkom razradom uočen je veći stupanj geološke složenosti ležišta. Cjelovitoj primjeni projekta prethodi projekt pokusnog utiskivanja ugljik dioksida u ležište Gama_{2/4}.

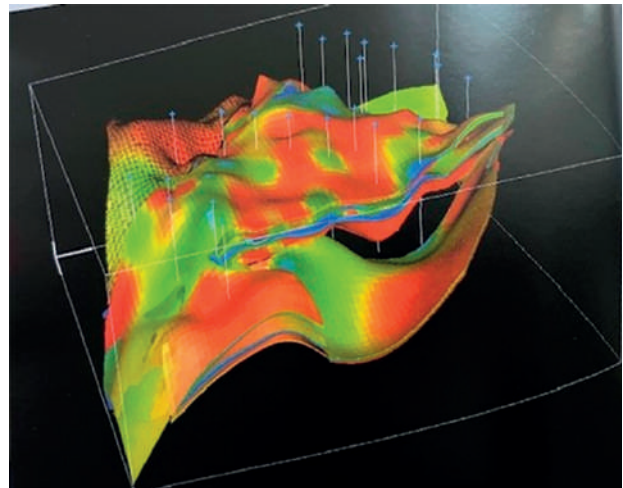
Od 3D seizmičke interpretacije se očekivalo da uspostavi glavne kriterije za karotažnu korelaciju, da



Slika 12. Full-field numerička simulacija polja Ivanić 2003.



Slika 13. Simulacija patern-modela Ivanić 2005.



Slika 14. 3D model ležišta na polju Ivanić

utvrdi i interpretira strukturno-tektonske elemente te da opiše varijacije i kvalitetu sedimentnog tijela (rezervoara). Pojedinačna pješčenjačka tijela definirana na karotažnim dijagramima su ispod rezolucije 3D seizmike. Stoga su odabrana samo 3 horizonta za interpretaciju: krovina i podina Gama- serije te podina Gama- 3 intervala.

Ovaj stručni napor rezultirao je izradom pred-investicijske studije – Projekt CO_2 za naftna polja Ivanić i Žutica. U okviru ovog projekta izrađen je i projekt Pokusnog istiskivanja nafte ugljičnim dioksidom na naftnom polju Ivanić (pilot projekt).

Prema laboratorijskim pokazateljima najbolji rezultati istiskivanja nafte utiskivanjem ugljičnog dioksida postižu pri uvjetima naizmjeničnog utiskivanjem vode i ugljičnog dioksida tzv. WAG proces (eng. *Water Alternating Gas*), pri tlaku miješanja od cca 180 bar. Pilot projektom istiskivanja nafte ugljičnim dioksidom, definirano je utiskivanje tekućeg ugljičnog dioksida u ležište Gama_{2/4} na bušotini Iva-28. Praćenje uspješnosti pilot projekta obavlja se mjerenjem proizvodnih pokazatelja na bušotinama Iva-11 i Iva-19, odnosno mjerenjima ležišnog tlaka na mjernim bušotinama Iva-30 i Iva-32.

6.4. Ivanić – prvo hrvatsko polje na kojem su primijenjene EOR metode

Kada je riječ o projektiranju i implementacije EOR projekata INA posjeduje višegodišnje iskustvo koje je stekla laboratorijskim ispitivanjem na više polja, na temelju čega su izrađene i ležišne studije primjene pojedinih metoda. Nakon opsežnih laboratorijskih ispitivanja uspješnosti istiskivanja nafte s CO_2 u razdoblju između 1978. i 1991. godine zaključeno je da su naftna polja Ivanić i Žutica najbolji kandidati za EOR

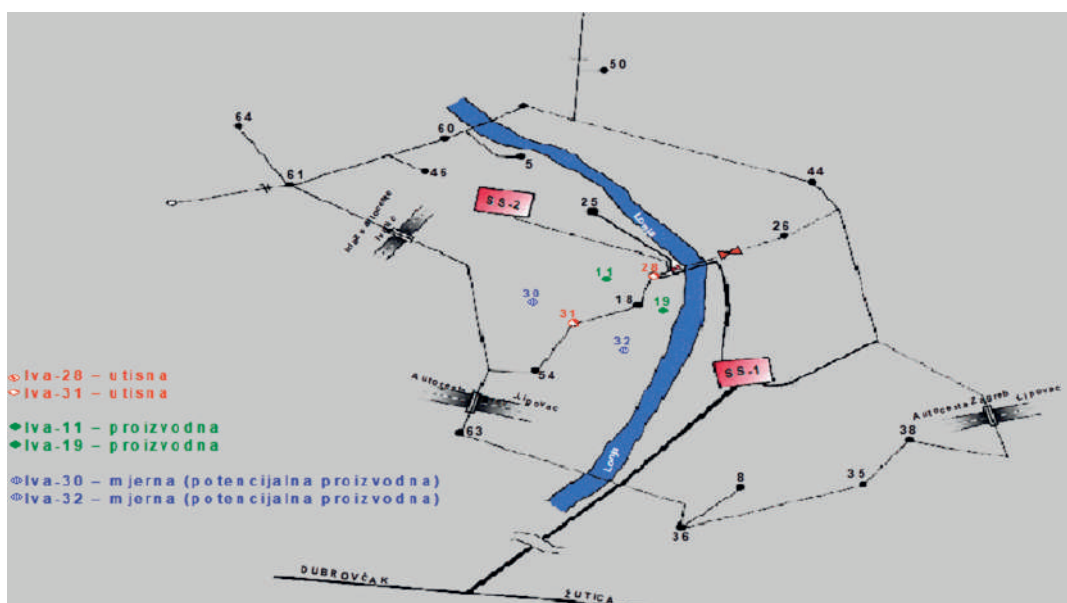
te da WAG metoda naizmjeničnog utiskivanja CO₂ i vode postiže najveće povećanje iscrpka. Uspješan pilot projekt utiskivanja CO₂ proveden je na naftnom polju Ivanić, gdje se prvo u razdoblju od 2001. do 2003. u ležište utiskivala voda radi obnove slojnog tlaka, a nakon toga u vremenu od 2003. do 2006. se utiskivao CO₂. Na temelju rezultata pilota, donesena je odluka o projektiranju i realizaciji prvog EOR projekta u Hrvatskoj. Primarni cilj tog EOR projekta je povećanje iscrpka nafte i naftnog plina na polju Ivanić. Sekundarni cilj projekta je sekvencijalno utiskivanje CO₂ u podzemlju i redukcija emisija stakleničkih plinova s CPS Molve.

Mehanizam istiskivanja nafte ugljičnim dioksidom se sastoji u značajnom povećanju volumnog faktora nafte (tzv. faktor bubrenja nafte) i smanjivanju viskoznosti zbog velike topljivosti CO₂ u nafti, te u efektima uzajamnog miješanja istiskivane nafte i injektiranog CO₂. Na osnovu opsežnih laboratorijskih ispitivanja, primjene pilot projekta i 3D numeričkog modela pokazalo se da je optimalna varijanta izvedbe procesa naizmjenično utiskivanje ugljičnog dioksida i vode tzv. WAG proces. Za utiskivanje CO₂ na polju Ivanić odabrano je pet od ukupno sedam ležišta gamma. U projektu sudjeluju 43 proizvodne bušotine, 14 WAG bušotina koje služe za naizmjenično utiskivanje ukapljenog CO₂ i vode u ciklusima te 5 bušotina za odlaganje vode. Za povećanje iscrpka nafte koristi se CO₂ sa CPS Molve, koji se komprimira, dehidrira i transportira cjevovodom do Etanskog postrojenja.

Brojne aktivnostima na EOR projektu intenzivno su trajale od 2007. do 2014., a uključivale su sljedeće:

Izrađen je Elaborat o rezervama ugljikovodika eksploatacijskih polja Ivanić i Žutica;

- Definirane su utisne bušotine EOR projekta;
- Definiran je bazni projekt te sustav obrade i transporta CO₂ za utiskivanje u naftna polja Ivanić i Žutica;
- Budući rad postrojenja Etana;
- Napravljena energetska bilanca EOR projekta;
- Ugovorena izrada glavnog i izvedbenog projekta za EOR;
- Izrađen dopunski rudarski projekt za pripremu i transport CO₂ s CPS Molve i Etan;
- Izrađen dopunski rudarski projekt za EOR na naftnom polju Ivanić;
- Obavljeni planirani rudarski radovi na bušotinama (kapitalni remont opreme i kapitalni remont sloja);
- Izrađen geodetski elaborat za sustav cjevovoda;
- Ishođena lokacijska dozvola za izgradnju sustava cjevovoda;
- Izrađen je dopunski rudarski projekt za EOR na naftnom polju Žutica;
- Riješeni imovinsko-pravni poslovi za izgradnju sustava cjevovoda za CO₂ (više od 350 katastarskih čestica);
- Temeljim tri dopunska rudarska projekta dobivene su koncesije za izvođenje rudarskih radova;
- Izrađeni su glavni i izvedbeni projekti za izgradnju sustava cjevovoda na naftnim poljima Ivanić i Žutica;
- Izvodili su se rudarski radovi na utisnim bušotinama naftnih polja Ivanić i Žutica;
- Pokrenuta je nabava i djelomično ugovorena ključna oprema s dugim rokom isporuke



Slika 15. Položaj bušotina uključenih u pilot projekt CO₂ na naftnom polju Ivanić



Slika 16. Utisna bušotina na polju Ivanić



Slika 17. Jedna od proizvodnih bušotina na polju Ivanić

– kompresori, cijevi, membranski separatori, separatori, dehidracija, blokadni ventili, elektromotori, energetska i signalni kabeli, instrumentacija i drugo;

- Krajem 2008. godine dobivene su četiri građevinske dozvole;
- Sredinom 2009. su počeli građevinski radovi;
- 2010. je završavalo polaganje 58 kilometara cjevovoda;
- Kontinuirana isporuka ugovorene opreme te njezina ugradnja;
- Izgradnja postrojenja na CPS Molve i Etan u Ivanić-Gradu te sustava cjevovoda za utiskivanje ugljičnog dioksida do svih utisnih bušotina na polju Ivanić i Žutica počela je sredinom 2012., a završena početkom 2014;
- Na Molvama je izgrađena nova kompresorska stanica za CO₂;
- Izgrađena je kompresorska i pumpna stanica sa sustavom za ukapljivanje ugljičnog dioksida u Ivanić-Gradu;
- U prvoj fazi, od 2013. do 2014., opremljeno je za utiskivanje CO₂ 14 utisnih WAG bušotina na EPU Ivanić i osam WAG bušotina na polju Žutica sjever.

Polje Ivanić je prvo hrvatsko naftno polje na kojem su 2014. godine primijenjene EOR metode. Tijekom pet godina primjene EOR projekta na polju Ivanić INA-in segment djelatnosti Istraživanje i proizvodnja nafte i plina ostvario je iznimno vrijedne rezultate. Tako je od listopada 2014. do listopada 2019. godine proizvedeno ukupno 1 579 429 boe, od čega je 677 129 boe isključivo doprinos EOR projekta. Istodobno, od listopada 2014. do danas proizvedeno je ukupno 455 388 m³ nafte i 80 431 078 m³ plina ili 3 529 399 boe, od čega je 247 187 m³ nafte i

61 553 037 m³ plina ili 2 063 750 boe doprinos primjene EOR metoda proizvodnje. Dakle, zahvaljujući EOR projektu proizvodnja ugljikovodika je povećana za 58 posto.

Važnost EOR projekta ne uključuje samo povećanje količina dodatnog iscrpka ugljikovodika, već i vrlo važan okolišni aspekt. Energetska i gospodarska strategija razvoja u Europskoj uniji, čiji je Hrvatska član, podrazumijeva osobit razvoj u području tehnologije zbrinjavanja emisije CO₂, bilo da je riječ o projektima izdvajanja i skladištenja CO₂ (*engleski: Carbone Capture and Storage, CCS*) ili projektima izdvajanja, upotrebe i skladištenja CO₂ (*engleski: Carbone Capture Utilization and Storage, CCUS*). INA-ina iskustva u tim područjima izdvajanja, upotrebe i skladištenja CO₂ mogu postati posebno važna ako i Hrvatska odluči potaknuti upotrebu tih kapaciteta pri provedbi niskougljične strategije razvoja.

7. Sabirno transportni sustav naftnog polja Ivanić

Početak razvoja sabirno – transportnog sustava naftnog polja Ivanić, započelo je u studenom 1963. godine kada je polje pušteno u proizvodnju s tri bušotine. U 1964. bilježimo intenzivan razvoj polja, tako da je krajem godine u proizvodnju bilo uključeno 40 bušotina.

Radi sabiranja nafte izgrađene su dvije istovjetne sabirne stanice – SS Iva-1 i SS Iva-2. Tipični elementi koji su sačinjavali te dvije sabirne stanice bili su:

- razdjeljivač bušotine
- separatorsko mjerna grupa
- četiri spremnika za suhu naftu, svaki zapremine 250 m³.

Uz naftu i plin se počela pojavljivati i slojna voda, pa je bilo potrebno izgraditi sustav dehidracije, od-



Slika 18. Sabirna stanica Iva-1

nosno odvajanja slojne vode od nafte. Primijenjena triterska dehidracija (*trofazni separatori*) na sabirnim stanicama uspješno je radila sve dok udjel vode u ukupnoj kapljevinu nije porastao iznad 20 %.

Utiskivanje vode u ležište kao izvoru djelotvornijeg režima eksploatacije započeo je u kolovozu 1972. izgradnjom utisno-vodovodnog prstena naftnog polja Ivanić.

Koncem 1981. godine izvršeni su manji konstrukcijski zahvati na sabirnim stanicama naftnog polja Ivanić. Naime, zbog učinkovitijeg odvajanja slojne vode od nafte na dva spremnika suhe nafte dograđeni su sifoni.

Rekonstrukcijom 1984., promijenjen je tehnološki tok na sabirnim stanicama te su ugrađeni novi elementi za sabiranje, separaciju i dehidraciju nafte.

Posljednja rekonstrukcija sabirnih stanica izvršena je 1992. godine, a tehnološki proces nadograđuje se taložnicima pijeska i postrojenjima za pročišćavanje slojne vode (*flotacija*) koja se kroz utisno-vodni prsten utiskuje u ležište.

Sabirne stanice naftnog polja Ivanić čine sljedeći tipski elementi:

- razdjeljivač bušotine RB
- separatorsko mjerna grupa SMG
- taložnik pijeska
- odvajač slobodne vode GS-8
- izmjenjivač separator IS
- dehidrator D-250 m³
- dekantator D-250 m³
- spremnik suhe nafte 2 × 250 m³
- spremnik slane vode RSV
- flotacija
- otpremna pumponica suhe nafte
- pumponica slane vode
- spremnik tehnološke kanalizacije RTK
- vijčani kompresor LMF

7.1. Tehnološki tok nafte

Na sabirnim stanicama naftnog polja Ivanić sabire se nafta i plin, odvaja naftni plin i voda od nafte te se mjere i otpremaju proizvedene količine nafte, naftnog plina i vode.

Sirova nafta, plin i slojna voda iz bušotina jednog dijela naftnog polja Ivanić i Ježevo priključnim naftovodima dolaze do razdjeljivača bušotina na sabirnoj stanici SS Iva-2. Preostale bušotine naftnog polja Ivanić spojene su priključnim naftovodima na razdjeljivač bušotina na sabirnoj stanici SS Iva-1.

Razdjeljivač bušotina izveden je tako da se proizvodnja svake bušotine može usmjeriti na mjernu ili zbirnu liniju. Bušotina kojoj se mjeri proizvodnja spojena je mjernom linijom razdjeljivača na mjerni separator S-4/3, gdje se obavlja odvajanje naftnog plina od mokre nafte te se mjeri proizvedena količina mokre nafte i naftnog plina. Proizvodnja bušotina, koje nisu na mjerenju, zbirnom linijom razdjeljivača usmjerava se u zbirne separatore nafte i plina S-3, u kojima se odvija prvostupanjska separacija naftnog plina.

Na sabirnoj stanici SS Iva-2, nafta s vodom, iz mjernog separatora i zbirnih separatora, odlazi u taložnik pijeska gdje se odvaja pijesak i ostale krutine iz mokre nafte koja očišćena odlazi u odvajač slobodne vode GS-8. Na sabirnoj stanici SS Iva-1, na taložniku pijeska, obavljen je rekonstrukcijski zahvat i prenamijenjen je u odvajač slobodne vode, u kojemu se odvaja slobodna voda od nafte s jednog dijela naftnog polja Ivanić. Iz odvajača slobodne vode, mokra nafta s određenim postotkom vezane vode te uz dodatak deemulgatora odlazi u izmjenjivače separatora IS, gdje se odvija drugostupanjska separacija plina. Zagrijana mokra nafta odlazi u dehidrator D-2, gdje se odvaja vezana voda od nafte kombiniranim djelovanjem topline, deemulgatora i sedimentacijom vode. Suha nafta, dobivena nakon dehidracije, preko preljeva dehidratora odlazi u spremnike suhe nafte R-1 ili R-2, i automatski se sisaljkama otprema naftovodom promjera 273 mm na OS Graberje.

7.2. Tehnološki tok slojne vode

Odvojena slobodna voda u odvajaču slobodne vode GS-8 prelijeva se u dekantator D-1, gdje se voda dekantira i zaustavlja proboj nafte nastao uslijed prevelikih brzina protoka u odvajačima slobodne vode. Odvojena vezana voda iz dehidratora D-2 prelijeva se također preko sifona u dekantator D-1. Slojna voda iz dekantatora prelijeva se preko sifona u spremnik slojne vode RSV i centrifugalnim sisaljkama otprema u utisno-vodovodnu mrežu, promjera 273 mm, izgrađenu za po-



Slika 19. Uređaj za dehidraciju nafte

trebe sekundarnih metoda na polju Ivanić. Podržavanje tlaka utiskivanjem vode na polju Ivanić, metoda je prvi puta primijenjena u Republici Hrvatskoj.

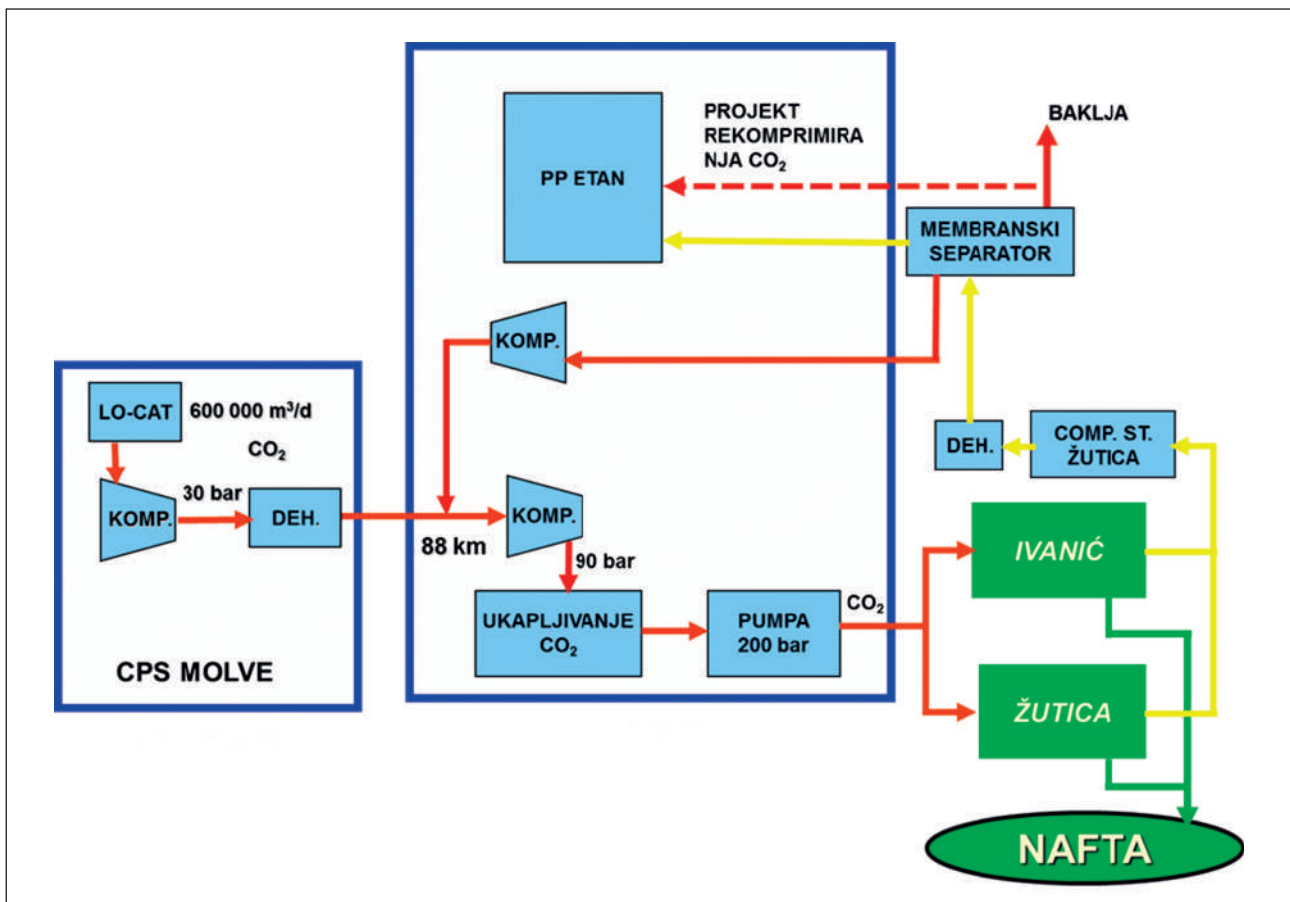
Debljina, kao i propusnost slojeva, smanjena je uzduž većeg dijela granice naftonosnosti te je shodno tome odabran kombinirani sustav rasporeda utisnih bušotina. Koriste se tri paralelna reda utisnih bušotina, dva prikonturna i jedan unutar polja. Između svakog para utisnih redova nalaze se četiri reda proizvodnih bušotina tzv. pomaknuti linijski sustav zavodnjavanja.

Tlakovi utiskivanja po bušotinama kreću se od 60 bar na *Iva-61* do 140 bar na *Iva-60*, a utisnute količine slojne vode u 14 injekcijskih bušotina dnevno se kreću oko 1300 m³.

7.3. Sustav za utiskivanje CO₂ i vode na polju Ivanić

Izvor ugljičnog dioksida za potrebe utiskivanja u naftna ležišta na proizvodnom polju Ivanić su podravska ležišta prirodnog plina – Molve, Kalinovac, Stari Gradac i Gola.

Nakon revizije investicijske studije i dobivanja potrebitih dozvola na polju Ivanić je počela izgradnja postrojenja i sustava za utiskivanje ugljičnog dioksida i vode. Sustav za utiskivanje ugljičnog dioksida sastoji

Slika 20. Prikaz sustava za utiskivanje CO₂ od CPS Molve do Ivanića i Žutice

se od izvora ugljičnog dioksida koji je na CPS Molve te cjevovoda DN 500 za transport CO₂ do Ivanić-Grada, kompresorske i pumpne stanice sa sustavom za ukapljivanje CO₂ na procesnom postrojenju Etan u Ivanić-Gradu te sustava cjevovoda za distribuciju ugljičnog dioksida i vode do utisnih bušotina na polju Ivanić.

Na procesnom postrojenju Etana obnovljena je kompresorska stanica koja je dopunjena sustavom za ukapljivanje CO₂ te novom pumpnom stanicom za transport CO₂ do utisnih bušotina na polju Ivanić.

Sustav cjevovoda za utiskivanje CO₂ od kompresorske stanice CO₂ u Ivanić-Gradu do utisnih bušotina na polju Ivanić i Žutica u ukupnoj dužini od više od 40 kilometara te sve ostale instalacije (kabeli, svjetlo vodi i slično) za kontinuirani monitoring utiskivanja ugljičnog dioksida i vode postavljeni su na površini od 30 četvornih metara.

8. Zaštita okoliša

Svijest o značenju i potrebi očuvanja okoliša naš je imperativ. Polazište je svih naših aktivnosti sprječavanje akcidenata na okoliš, a ako se akcident dogodi, tada smanjenje zagađenja na najmanju mjeru.

Stoga, posebice ističemo planska i preventivna djelovanja koja uključuju:

- redovno održavanje vodnih građevina za zaštitu voda,
- redovno održavanje svih ispusta u zrak,
- vođenje katastra emisija u okoliš na propisani način,
- tlačne probe cjevovoda koji se godinama koriste radi utvrđivanja kritičnih mjesta (koristi se obična voda neopasna za okoliš, pa ako cjevovod propusti prilikom tlačne probe – nema štetnog djelovanja),
- mjerenje debljina stijenki naftovoda i procesnih posuda radi dobivanja točnih informacija o stupnju korozivne nagriženosti,
- obnavljanje kritičnih cjevovoda plastificiranjem,
- zamjenu starih cjevovoda (ili kritičnih dijelova cjevovoda) novim cijevima,
- praćenje i evidentiranje količina proizvedenog i zbrinutog otpada,
- redovna mjerenja emisija u zrak iz malih i srednjih ložišta u skladu s planom ispuštanja štetnih tvari u okoliš iz stacionarnih izvora,
- izradu operativnih planova intervencija u zaštiti okoliša za slučaj zagađenja okoliša kako bi djelovanje bila maksimalno brza i uspješna.

Dosadašnji akcidenti usmjerili su nas na ciljane aktivnosti radi sprječavanja nedopustivog ponavljanja akcidenata:

- Izvršene su tlačne probe svih priključnih naftovoda polja Ivanić, koji su bili uzrokom većine zagađenja u prethodnom periodu.
- Na polju Ivanić ispitani su svi priključni naftovodi. Tim postupkom spriječilo se devet ekoloških akcidenata i isti broj skupih sanacija.

Budući da je većina polja smještena u Ivanić-Gradu te da cjevovodi prolaze kroz naselje i pored izvora pitke vode (obiteljski bunari), potvrđuje se nužnost i opravdanost tog postupka.

Izrađeno je također idejno rješenje zamjene starih naftovoda, novim kolektorskim naftovodima. Nekoliko susjednih bušotina će preko češlja biti spojeno u novi cjevovod većeg promjera. Planira se izgradnja 3 češlja odnosno 3 kolektorska naftovoda na polju Ivanić. Projekt iziskuje znatna financijska sredstva. Međutim, ostvarenje krajnjeg cilja – izgradnju novog i sigurnog transportnog sustava nafte i plina ispod samog grada – opravdava te investicijske troškove.

Na polju Ivanić posebna se pažnja pridaje zbrinjavanju tehnološkog otpada. Sav opasni tehnološki otpad vraća se u tehnološki proces, ako je moguće već na sabirnim stanicama, ili se odlaže u centralne otpadne jame (Stružec, Žutica) i nakon obrade ponovno vraća u tehnološki proces.

Sanacije zagađenja okoliša provode se na sljedeći način:

- po dojavi akcidenta odmah se odlazi na mjesto događaja kako bi se u najkraćem vremenu utvrdilo stanje i pristupilo sanaciji na najbolji mogući način,
- izrađuje se program sanacije u skladu s postojećom zakonskom regulativom te mišljenjem i napucima nadležnih inspekcijских službi,
- provodi se sanacija onečišćenog okoliša uzrokovano kvarovima i puknućima tehnoloških posuda i cjevovoda, prema utvrđenom programu,
- stručno se prati i nadgleda izvođenje svih radova na sanaciji zagađenja,
- izvještavaju se nadležne inspekcijske službe o nastanku iznenadnog onečišćenja okoliša i o završetku sanacije te traži stručno mišljenje o kvaliteti izvedene sanacije.



Slika 21. Naftaški objekti u okruženju prirode

Literatura

1. Goričnik B., Sarapa, M.: EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA MOGUĆNOSTI PRIMJENE CO₂ PROCESA, DIT broj 21, Zagreb, 1987.
2. Sarapa, M., Csisko, M., Perić, M., Kulenović, I., Goričnik, B., Zelensko, Z.: PROJEKT ISTISKIVANJA NAFTE UGLJIK DIOKSIDOM – LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA, SIMULACIJA I TEHNOLOGIJA PROCESA, Časopis NAFTAPLIN broj 1, Zagreb, 1993.
3. Goričnik, B., Domitrović, D.: KONTROLA POKRETLJIVOSTI PLINA PRI PROCESU POVEĆANJA PROIZVODNJE NAFTE UTISKIVANJEM UGLJIK DIOKSIDA, Časopis NAFTAPLIN broj 2, Zagreb, 1994.
4. Čubrić, S.; ODRAZ NEKIH TEORETSKIH PROBLEMA NA PRAKSU ZAVODNJAVANJA NAŠIH NAFTNIH LEŽIŠTA, DIT broj 9, Zagreb, 1982.
5. Berdon, L.: 10 GODINA ZAVODNJAVANJA NA POLJU IVANIĆ GRAD, DIT broj 11, Zagreb, 1982.
6. Sečen, J., Sariđa, V.: SEKUNDARNE METODE – OČEKIVANI I POSTIGNUTI EFEKTI ZAVODNJAVANJA LEŽIŠTA; DIT broj 23, Zagreb, 1988.
7. Perić, M., Kulenović, I.: TEHNOLOGIJA RADOVA ZA SELEKTIVNO INJEKTIRANJE I KONTROLU PROIZVODNJE VODE, DIT broj 23, Zagreb, 1988.
8. Tomić, M., Petrović, D.: KVALITETA VODE ZA UTISKIVANJE U LEŽIŠTA, DIT broj 23, Zagreb 1988.
9. Novačić, M., Babić, V., Milak, V.: VOĐENJE TEHNOLOŠKOG PROCESA DEHIDRACIJE NAFTE SA STANOVISTA KVALITETE ODVOJENE VODE I OPERATIVNIH TROŠKOVA, DIT broj 23, Zagreb, 1988.
10. Novačić Milan; Ostojić Željka i Tomica Vesna: TEHNOLOGIJA PRIPREME VODE ZA UTISKIVANJE, DIT broj 23, Zagreb, 1988.
11. Zelić, M.: ANALIZA I OPTIMALIZACIJA SUSTAVA ZA UTISKIVANJE VODE U VIŠESLOJNA LEŽIŠTA, DIT broj 23, Zagreb, 1988.
12. Berdon Ladislav; TERCIJARNE METODE EKSPLOATACIJE NA PRIMJERU POLJA IVANIĆ GRAD, DIT broj 10, Zagreb, 1982.

13. Perić Miroslav; ULOGA SEKUNDARNIH I TERCIJARNIH METODA U POVEĆANJU ISCRPKA UGLJIKOVODIKA IZ LEŽIŠTA, DIT broj 32(1992)
14. Čubrić, S., Vlaović, J.: MOGUĆNOST DALJNJEG POBOLJŠANJA EKONOMIČNOSTI POSTUPKA POVEĆANJA ISCRPKA NAFTE ZAVODNJVANJEM LEŽIŠTA NA PRIMJERU POLJA IVANIĆ GRAD, DIT broj 21, Zagreb, 1987.
15. Goričnik, B, Sarapa, M.: EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA MOGUĆNOSTI PRIMJENE CO₂ PROCESA, DIT broj 21, Zagreb, 1987.
16. Domitrović, D., Šunjerga, S., Jelić-Balta, J.: NUMERIČKA SIMULACIJA TERCIJARNOG UTISKIVANJA CO₂ NA NAFTNOM POLJU IVANIĆ, HUNIG, Knjiga 3, Zbornik radova, Zagreb, 2004.
17. Gaćeša, S., Kukavica, V.: NAFTNO POLJE IVANIĆ – 3D SEIZMIČKA INTERPRETACIJA (EOR PROJEKT UTISKIVANJA CO₂, POKUSNA POGONSKA PRIMJENA ISTISKIVANJA NAFTE), Knjiga 3, Zbornik radova, Zagreb, 2004.
18. Ilijaš, T., Đureković, M.: GEOLOGICAL MODEL OF THE IVANIC FIELD AS THE INPUT FOR CO₂ INJECTION SIMULATION, Knjiga 3, Zbornik radova, Zagreb, 2004.
19. Bosnić, i., Novosel, D., Golob, Z., Sinčić, D.: KONTROLA KOROZIVNIH PROCESA U PROIZVODNIM BUŠOTINAMA PILOT PROJEKTA CO₂ NA NAFTNOM POLJU IVANIĆ, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 17, Zagreb, 2006.
20. Novosel, D., Rančić, D.: DVOGODIŠNJI REZULTATI PILOT PROJEKTA UTISKIVANJA UGLJIKOVA DIOKSIDA U LEŽIŠTE GAMA_{2/4} NA NAFTNOM POLJU IVANIĆ, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 22, Zagreb, 2006.
21. Tuschl, M., Šunjerga, S., Domitrović, D.: CO₂ PILOT INJECTION AT IVANIĆ OIL FIELD: NUMERICAL SIMULATION, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 23, Zagreb, 2006.
22. Boškov-Steiner, Z., Steiner, I.: DJELOTVORNE EOR METODE ZA POSPJEŠIVANJE ISCRPKA NAFTNIH LEŽIŠTA, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 26, Zagreb, 2007.
23. Novosel, D.: ISKUSTVA U EOR PROJEKTIMA INA I MOL – PROŠLOST I SADAŠNJOST, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 29, Sažeci, Zagreb, 2007.
24. Mudrić, D.: STANJE PROJEKATA POVEĆANJA ISCRPKA NAFTE (EOR–projekata) U SVIJETU, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 47, Zagreb, 2009.
25. Novosel, D., Tuschl, M., Mudrić, D.: SINERGIJA REZULTATA PRIKUPLJENIH NA PILOT PROJEKTU CO₂ U FUNKCIJI POBOLJŠANJA DINAMIČKOG MODELA NAFTNOG POLJA IVANIĆ, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 29, Sažeci, Zagreb, 2007.
26. Simčik, N., Škrnjug, M., Čatović, D.: EOR TEHNOLOGIJOM DO EKONOMSKIH I EKOLOŠKIH BENEFITA U SKLADU SA CILJEVIMA KYOTO PROTOKOLA, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 62, Zagreb 2011.
27. Novak, K.: GEOLOŠKA SVOJSTVA I VOLUMENI GORNJOPANONSKIH LEŽIŠTA POLJA IVANIĆ POGODNIH ZA UTISKIVANJE UGLJIKOVOG DIOKSIDA, HUNIG, Naftaplin, Knjiga 74, Zagreb, 2013.
28. Novosel, D., Mudrić, D., Leonard, N., Mikulić, S.: POČETNI REZULTATI PRIMJENE UTISKIVANJA UGLJIČNOG DIOKSIDA ZA POVEĆANJE ISCRPKA NAFTE NA PROIZVODNOM POLJU IVANIĆ I ŽUTICA, Časopis Nafta i Plin, broj 153, Zagreb 2013.
29. Novosel, D., Babić, Đ., Leonard, N., Mikulić, S., Jelić-Balta, J.: PET GODINA UTISKIVANJA CO₂ ZA POVEĆANJE ISCRPKA NAFTE NA POLJU IVANIĆ I ŽUTICA – ISKUSTVA I REZULTATI, Časopis Nafta i Plin, broj 163–164, Zagreb, 2020.

Knjige

1. Hrvatski naftaši
2. Gretić, Z., Bobić, D.: OD PAKLINA DO NAFTNIH POLJA, Zagreb, 2002.
3. Šindija, I.: PRIČE S RADILIŠTA, Biblioteka INA, Zagreb, 2005.
4. „NAFTAPLIN“ – Povodom deset godina radničkog upravljanja, Zagreb, 1960.
5. INA – NAFTAPLIN 1952.-1972., Zagreb, 1972.
6. INA – NAFTAPLIN 1952.-1982., Zagreb, 1982.
7. INA – NAFTAPLIN 1952.-1987., Zagreb, 1987.
8. INA – NAFTAPLIN 1952.-2002., Zagreb 2002.

Ostalo

1. Arhiva DIT-a
2. Arhiva HUNIG-a
3. Prezentacija Projekt EOR, listopad 2028.