Razvoj nekonvencionalnih ležišta nafte i plina u svijetu

Mamula, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:572469

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Prijediplomski studij naftnog rudarstva

RAZVOJ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA NAFTE I PLINA U SVIJETU

Završni rad

Marko Mamula

N-4489

Zagreb, 2024.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Završni rad

RAZVOJ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA NAFTE I PLINA U SVIJETU

Marko Mamula

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U radu je prikazan razvoj nekonvencionalnih ležišta ugljikovodika u Poljskoj, Saudijskoj Arabiji, Argentini, Kini i zapadnoj Africi, analizirajući trenutno stanje i izazove u proizvodnji nafte i plina iz ovih ležišta. U Poljskoj je fokus na razvoju plina iz šejlova, s naglaskom na regulativne okvire i utjecaj na okoliš. Saudijska Arabija, kao vodeći svjetski proizvođač nafte, razvija strategije za diverzifikaciju izvora energije, s naglaskom na primjenu plina iz nekonvencionalnih ležišta. Argentina je usredotočena na ležište Vaca Muerta, jedno od najvećih nekonvencionalnih ležišta nafte i plina, ističući potrebu za ulaganjima i tehnološkim napretkom na ovom području. Kina provodi tranziciju prema obnovljivim izvorima energije, s velikim ulaganjima u solarnu i vjetro energiju, smanjujući svoju ovisnost o ugljenu, istovremeno povećavajući proizvodnju iz nekonvencionalnih ležišta. Afrika, bogata prirodnim resursima, ima značajan potencijal za razvoj nekonvencionalnih ležišta, kao i cijelog energetskog sektora, koji bi mogao potaknuti gospodarski rast i smanjenje siromaštva. U komparativnoj analizi ovih regija naglašeni su zajednički izazovi i prilike u razvoju nekonvencionalnih ležišta s preporukama za poboljšanje energetskih politika i poticanje međunarodne suradnje kako bi se osigurala energetska sigurnost i održivost.

Ključne riječi: nekonvencionalna ležišta, hidrauličko frakturiranje, zakonska regulativa, zaštita okoliša

Završni rad sadrži: 23 stranice 8 slika i 13 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Sonja Koščak Kolin, RGNF

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Sonja Koščak Kolin, RGNF
Izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić, RGNF
Prof. dr. sc. Katarina Simon, RGNF

Datum obrane: 23.9.2024., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Sadržaj

POPIS SLIKA I

POPIS KORIŠTENIH KRATICA II

1. UVOD 1

2. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U ARGENTINI 3

2.1. Geološke karakteristike ležišta Vaca Muerta 3

2.2. Razvoj i proizvodnja 5

2.3. Ekonomski i ekološki aspekti 6

3. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U SAUDIJSKOJ ARABIJI 7

3.1. Potencijal ležišta 7

3.2. Tehnološke inovacije 8

3.3. Regulatorni i ekološki aspekti 9

4. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U KINI 10

4.1. Procjena rezervi 10

4.2. Strategije razvoja i izazovi 11

4.3. Ekonomski aspekti 11

5. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U POLJSKOJ 13

5.1. Geološki pregled 13

5.2. Tehnološki i zakonski scenariji 13

5.3. Ekološki i društveni aspekti 15

6. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U ZAPADNOJ AFRICI 16

6.1. Potencijal ležišta i istraživanje 16

6.2. Izazovi i prilike 17

7. KOMPARATIVNA ANALIZA I GLOBALNE PERSPEKTIVE 19

8. ZAKLJUČAK 21

9. LITERATURA 22

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Prikaz rezervi plina u ležištima šejlova prema EIA 2
Slika 2-1. Distribucija termalne zrelosti (R_o) u ležištu Vaca Muerta..... 4
Slika 3-1. Konture ležišta Jafurah. 8
Slika 4-1. Prikaz konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta plina u Kini.....10
Slika 4-2. Dokazane rezerve plina u konvencionalnim i nekonvencionalnim ležištima u Kini.....11
Slika 5-1. Geološke karakteristike nekonvencionalnog ležišta plina u Poljskoj..... 14
Slika 6-1. Naftno i plinsko nekonvenvionalno ležište Nene Marin u Kongu 17
Slika 6-2. Petrofizikalne značajke ležišnih stijena u ležištu Nene Marin 18

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

KRATICA	OPIS
TOC	Ukupni organski ugljik
R_o	Termalna zrelost stijene

1. UVOD

Nekonvencionalna ležišta nafte i plina transformirala su globalni energetski sektor, pružajući nove mogućnosti za proizvodnju energenata. Ova ležišta se prema fizikalnim karakteristikama stijena i fluida mogu kategorizirati u nekoliko skupina i to: slabo propusna ležišta, ležišta nafte i plina u šejlovima, ležišta viskozne nafte, plin (metan) u ugljenim slojevima i plinski hidrati. Nekonvencionalna ležišta su karakterizirana niskom propusnošću i poroznošću stijena, što zahtijeva napredne tehnologije pridobivanja, poput hidrauličkog frakturiranja i horizontalnog bušenja.

Prema definiciji, to su ona ležišta iz kojih naftu i plin nije moguće crpiti pri ekonomičnom protoku niti u ekonomičnim količinama, ako se bušotinu ne stimulira hidrauličkim frakturiranjem, horizontalnom ili višestruko frakturiranim bušotinama, kako bi se povećala kontaktna površina između ležišta i bušotine (SPE-PRMS, 2007, Čikeš, 2015). Nekonvencionalna ležišta otkrivena su u mnogim područjima, a njihov razvoj ključan je za diversifikaciju svjetskog energetskog sektora, pružajući održivo rješenje za nadopunu opadajućih konvencionalnih rezervi nafte i plina. Razvoj ovih ležišta varira među regijama, odražavajući razlike u geološkim formacijama, regulatornim okvirima i ekonomskim prioritetima.

Sjeverna Amerika, posebno SAD i Kanada, predvodi u razvoju nekonvencionalnih ležišta. "Revolucija šejlova" u SAD-u učinila je zemlju vodećim proizvođačem ugljikovodika, zahvaljujući ležištima kao što su Marcellus, Permian i Bakken. Ovaj ekspanzivan razvoj stvorio je radna mjesta, smanjio troškove energije i ojačao energetsku sigurnost. Kanadska ležišta slabo propusnih pješčenjaka učinila su je važnim igračem na globalnom tržištu nafte i plina, s infrastrukturom i stručnošću koja podržava učinkovito pridobivanje i obradu.

U Latinskoj Americi se argentinsko ležište Vaca Muerta ističe kao jedno od najvećih rezervi ugljikovodika u šejlovima u svijetu. Razvoj ovog ležišta ključan je za energetsku neovisnost Argentine, pružajući ekonomske koristi kroz otvaranje novih radnih mjesta i povećani izvoz energije. Argentinska vlada i međunarodne energetske tvrtke intenzivno ulažu u tehnologiju i infrastrukturu.

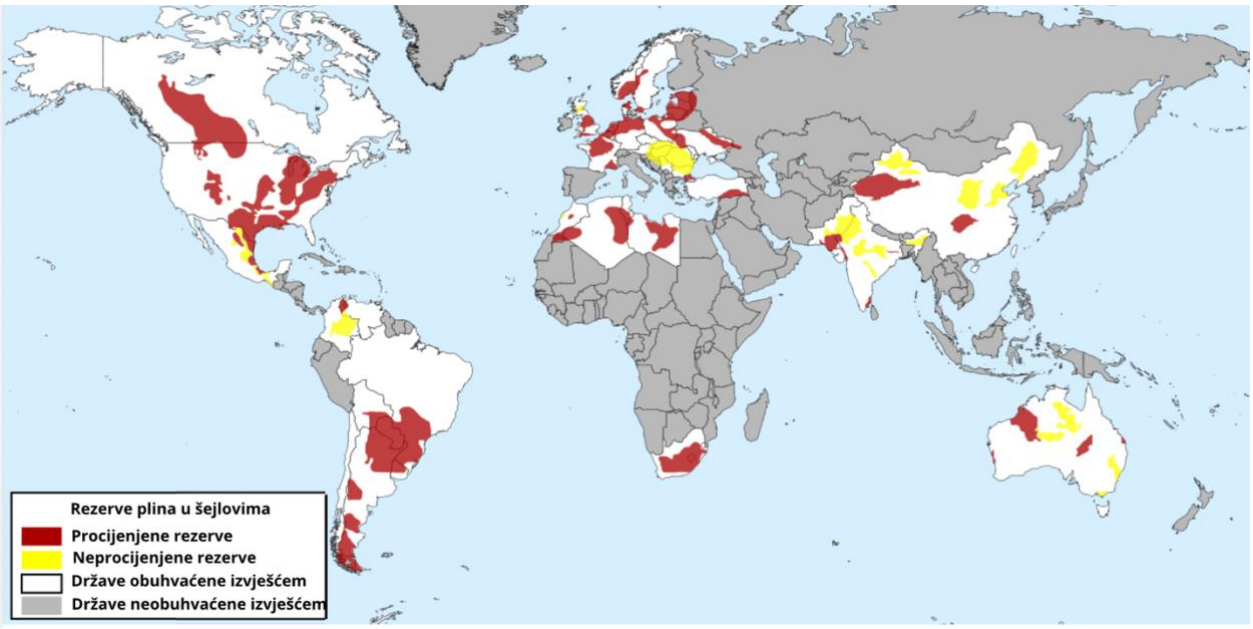
Kina razvija svoja nekonvencionalna ležišta, posebno plin iz šejlova, kako bi zadovoljila rastuću potražnju za energijom. Kineska vlada ulaže u tehnologiju i

infrastrukturu s ciljem prevladavanja izazova u projektiranju, opremanju i izradi pojedinih tipova stimuliranih bušotina (hidraulički frakturirane, horizontalne i višesturko frakturirane horizontalne bušotine).

U Europi se Poljska sve više fokusira na potencijal plina iz šejlova u Baltičkom bazenu, u skladu s nastojanjima Europske unije za energetskom sigurnošću i diverzifikacijom izvora energije.

U Africi su se mnoge zemlje odlučile na istraživanje nekonvencionalnih ležišta kako bi zadovoljile rastuće energetske potrebe i potaknule gospodarski razvoj, unatoč izazovima poput ograničene infrastrukture i regulacijskih prepreka.

Globalni utjecaj razvoja nekonvencionalnih ležišta općenito utječe na geopolitičku dinamiku, energetska tržišta i tehnološke inovacije, a svjetske rezerve plina u ležištima šejlova prikazane su na Slici 1-1.



Slika 1-1. Prikaz rezervi plina u ležištima šejlova prema EIA (engl. *Energy Information Administration*) (EIA report World Shale Gas Resources, 2013)

U radu je opisana važnost razvoja nekonvencionalnih ležišta u odabranim zemljama, naglašavajući njihovu ulogu u jačanju energetske sigurnosti, poticanju gospodarskog rasta i napretku tehnoloških inovacija uz rješavanje ekoloških i regulatornih izazova.

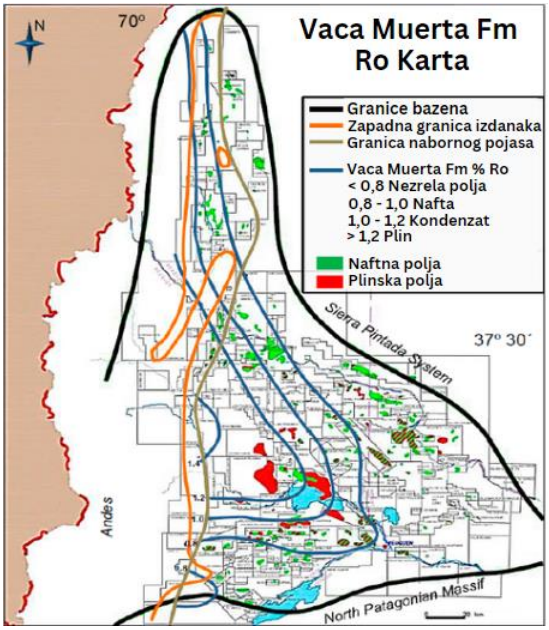
2. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U ARGENTINI

Argentina je trenutno u središtu globalne energetske pozornosti zbog svojih nekonvencionalnih ležišta, posebno zbog ležišta Vaca Muerta, koje je ključno za budući energetski razvoj zemlje. Ležište je smješteno u bazenu Neuquén, poznatom kao jednim od ležišta s najvećim rezervama nafte i plina u svijetu. Razvoj ovog ležišta značajno doprinosi energetskoj sigurnosti Argentine, potiče gospodarski rast i tehnološke inovacije, ali također nameće izazove vezane uz zaštitu okoliša i zakonsku regulativu. Ovdje je ukratko prikazan pregled geoloških karakteristika, razvoja i proizvodnje te ekonomskih i ekoloških aspekata ovog ležišta.

2.1. Geološke karakteristike ležišta Vaca Muerta

Ležište Vaca Muerta predstavlja složen geološki sustav s velikim potencijalom za istraživanje i proizvodnju ugljikovodika. Debljina ležišnih stijena varira od 60 metara na rubovima do 520 metara u središtu, a raznolikost debljine prati širok raspon propusnosti i poroznosti stijene. Poroznost se kreće u rasponu između 4 % i 14 %, s prosjekom od oko 9 %. Ova raznolikost petrofizikalnih svojstava naglašava heterogenost formacije Vaca Muerta, značajno utječući na strategiju istraživanja i proizvodni potencijal (Lu et al., 2024).

Sadržaj ukupnog organskog ugljika (engl. *Total Organic Carbon*, TOC) i termalna zrelost stijene (R_o) unutar ležišta (formacije) značajno variraju, dodatno naglašavajući složenost ovog geološkog područja, kao što je prikazano na Slici 2-1. Ove varijacije doprinose različitim kvalitetama ugljikovodika unutar formacije, u rasponu od teže crne nafte na jugoistoku do lakšeg suhog plina prema sjeverozapadu.



Slika 2-1. Distribucija termalne zrelosti (R_o) u ležištu Vaca Muerta (preuređeno prema Stinco et al., 2014)

Ležište Vaca Muerta sastoji se od mješavine šejlova, karbonata i pješčenjaka, s relativno niskim sadržajem gline i dominacijom kvarca i karbonata. S obzirom na heterogenost mineralne distribucije, vertikalno postoji trend smanjenja sadržaja kvarca i gline od vrha prema dnu, dok sadržaj TOC-a (ukupnog organskog ugljika) pokazuje uzlazni trend, krećući se u rasponu od 2 % do 15 %. Ova varijabilnost mineralnog i organskog sadržaja izravno utječe na proizvodni potencijal ugljikovodika u formaciji (Lu et al., 2024).

Osim ležišta Vaca Muerta, Argentina ima i druge značajne geološke formacije s nekonvencionalnim potencijalom, kao što su:

- Los Molles - ležište smješteno južno od Vaca Muerte s dodatnim potencijalom rezervi plina, koje su trenutno manje istražene;
- Agrio i Mulichinco - mogućnost istraživanja ovih ležišta planira se u budućnosti s ciljem daljnjeg povećanja proizvodnje nekonvencionalnih ugljikovodika u Argentini.

2.2. Razvoj i proizvodnja

Tehnološke inovacije u razvoju nekonvencionalnih ležišta u Argentini odigrale su ključnu ulogu u poboljšanju učinkovitosti proizvodnje ugljikovodika. U formaciji (ležištu) Vaca Muerta, su horizontalno bušenje i hidrauličko frakturiranje horizontalnih bušotina postali temeljni aspekti razvojnih strategija. Ovi napredni pristupi omogućuju bolju razradu ležišta i povećavaju proizvodnju ugljikovodika, posebno u složenim geološkim zonama.

Analizom proizvodnih podataka iz deset bušotina, a posebno iz dviju visoko produktivnih bušotina u La Cocina s područja Pad 3 u sjeverno-istočnoj Argentini, očekuju se značajne proizvodne količine. Osim toga, bušotine u drugim područjima, poput Pads 1 i 2, također pokazuju iznimne proizvodne mogućnosti, dodatno potvrđujući ulogu ovog ležišta u argentinskom sektoru ugljikovodika (Lu et al., 2024).

Tijekom bušenja u Vaca Muerta formaciji, pojavile su se dvije ključne geološke poteškoće, jer je stvarna litološka tvrdoća bila dvostruko veća od predviđene, a tlak u plićim slojevima je bio 5-20 % veći od početne procjene. Ovi izazovi dodatno su istaknuli potrebu za inovativnim tehnološkim rješenjima.

Stoga je kod bušenja odabrana tehnologija izrade horizontalnih dijelova kanala bušotine duljine od 2500 do 2800 metara, a na području Loma Campana su projektirane bušotine s lateralnim dionicama duljim od 4000 metara.

Tehnološki napredak u ležištu Vaca Muerta, uključujući postupak povećanja iscrpka EOR (engl. *Enhanced Oil Recovery,* EOR), je izrazito uspješan, jer je i u ovom slučaju potvrđeno opće prihvaćeno očekivanje da se primjenom višestruko frakturiranih horizontalnih bušotina konačan iscrpak nafte može značajno povećati.

Sve tehnološke inovacije, od naprednog upravljanja bušenjem do optimizacije proizvodnih procesa, značajno su doprinijele povećanju učinkovitosti i pouzdanosti eksploatacije ležišta Vaca Muerta, naglašavajući važnost kontinuiranog razvoja i prilagodbe novih tehnologija u industriji nafte i plina (Sanchez et al., 2021).

2.3. Ekonomski i ekološki aspekti

Razvoj nekonvencionalnih ležišta u Argentini donosi značajne ekonomske koristi i izazove povezane s utjecajem na okoliš. S ekonomskog stajališta, Vaca Muerta predstavlja velike mogućnosti za gospodarski rast i tehnološki napredak. S obzirom na sve navedene prednosti, ležište privlači domaće i strane investitore, čime se potiče zapošljavanje i doprinosi rastu BDP-a (Bruto domaći proizvod). Iako visoki operativni troškovi, potaknuti logističkim ograničenjima poput transporta i infrastrukture predstavljaju prepreke, investiranje u istraživanja ovog velikog potencijala se i dalje nastavlja.

Ekološki izazovi povezani su s potrošnjom vode koja je neophodna kod postupka hidrauličkog frakturiranja. Argentina implementira strategije za smanjenje potrošnje vode i osiguranje pravilne obrade otpadne vode, kao što je primjerice prethodno pročišćavanje prije ispusta u okoliš, a kako bi se spriječila kontaminacija podzemnih voda. Emisije stakleničkih plinova iz procesa koji se pritom moraju nužno provoditi također predstavljaju ekološki izazov, jer zahtijevaju primjenu naprednih tehnologija i postupaka za minimiziranje štetnog utjecaja na okoliš.

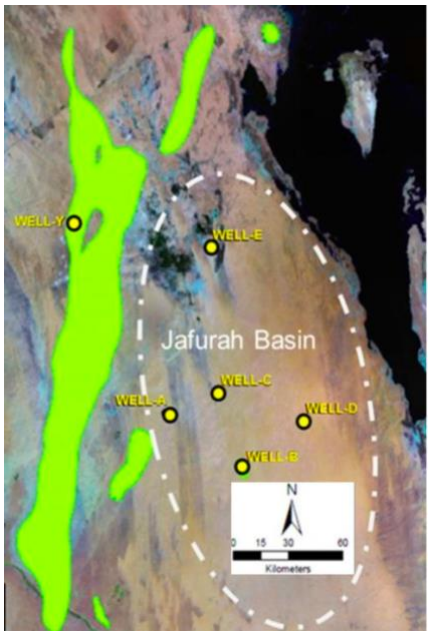
Regulatorni okvir u Argentini uključuje stroge standarde za zaštitu okoliša i osiguranje sigurnosti u industriji. Tvrtke koje djeluju u istraživanju i iskorištavanju ležišta Vaca Muerta obvezne su provoditi strogu zakonsku regulativu, uz stalnu provedbu procjene utjecaja na okoliš i izradu strategija za ublažavanje eventualnih negativnih posljedica na okoliš.

3. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U SAUDIJSKOJ ARABIJI

Razvoj nekonvencionalnih plinskih ležišta postao je strateški prioritet za vladu Saudijske Arabije. Kraljevina se suočava s rastućim zahtjevima za proizvodnjom električne energije, čemu nastoji odgovoriti kombinacijom elektrana na prirodni plin i obnovljivih izvora energije. Proizvodnja prirodnog plina u Saudijskoj Arabiji porasla je sa 70,7 milijardi kubičnih metara (bcm) 2007. godine na 114 milijardi m^3 u 2023. godini, što odgovara prosječnom godišnjem rastu od 4,4 % (Weijermars et al., 2021). Proizvedeni plin uglavnom se koristi u elektroenergetskim postrojenjima za proizvodnju električne energije i kao sirovina za petrokemijsku industriju. Iako je domaća proizvodnja plina ubrzano rasla, još uvijek ne zadovoljava rastuću domaću potražnju, jer se dnevno gotovo milijun barela nafte i dizela koristi za proizvodnju električne energije, pa se tekuća goriva planira zamijeniti ekološki prihvatljivijim prirodnim plinom. Ova situacija dodatno potiče potrebu za razvojem nekonvencionalnih ležišta plina, čime bi se osigurala dugoročna energetska sigurnost.

3.1. Potencijal ležišta

Ležište Jafurah, smješteno je na kopnu Saudijske Arabije i predstavlja jedno od najvećih nekonvencionalnih plinskih ležišta u zemlji. Kapitalno ulaganje u razvoj Jafuraha procjenjuje se na oko 110 milijardi USD, a očekuje se da će biti pušteno u proizvodnju 2025. godine. Obuhvaćajući eliptično područje duljine 170 km i širine 100 km, Jafurah je smješten istočno od golemog Ghawar naftnog polja. S obzirom na analogiju s ležištem Eagle Ford u SAD-u, Jafurah ima potencijal za proizvodnju prirodnog plina i kondenzata. Procjena ukupnih količina plina u ležištu Jafurah iznosi oko 200 trilijuna kubičnih stopa (5,6E+12 m^3), dok se procjene za količinu kondenzata kreću do 100 milijuna barela (28,32E+6 m^3) Na Slici 3-1 su prikazane konture ležišta Jafurah i nekoliko istražnih bušotina (Weijermars et al., 2021).



Slika 3-1. Konture ležišta Jafurah (Weijermars et al., 2021)

3.2. Tehnološke inovacije

Razvoj nekonvencionalnih ležišta u Saudijskoj Arabiji zahtijeva primjenu naprednih tehnoloških rješenja kako bi se povećala efikasnost i smanjili rizici cjelokupnog proizvodnog ciklusa. Korištenje metoda horizontalnog bušenja i hidrauličkog frakturiranja neophodno je za mogućnost proizvodnje plina iz ovog nekonvencionalnog ležišta. Bušenje se provodi u smjeru sjeverozapad-jugoistok kako bi se uskladilo s manjim horizontalnim naprezanjem u stijeni. Višestrukim frakturiranjem horizontalnih bušotina se, osim povećanja proizvodnih količina, u konačnici omogućuje i veći iscrpak ležišta.

Tvrtka Saudi Aramco primjenjuje napredne metode procjene rezervi, kako bi poboljšala preciznost procjene i optimizirala proizvodne strategije. Razrada Jafurah ležišta planirana je s oko 10 000 bušotina tijekom sljedećih 10 do 20 godina (Weijermars et al., 2021), koristeći horizontalne kanale bušotine duljine 3048 m (10 000 stopa), raspoređene u razmacima od 381 m (250 stopa). Ovaj pristup osigurava maksimalnu iskorištenost ležišnog potencijala uz minimalni hidrodinamički utjecaj među bušotinama. Bušotine će dosezati dubinu od oko 3050 metara, a višestruko frakturiranje horizontalnih kanala omogućuje stvaranje pukotina koje zajedno povećavaju površinu za dotok plina u bušotinu, što izravno omogućuje dotok fluida iz šireg područja ležišta u bušotinu. Petrofizikalna svojstva stijena u ležištu pogodna su za stvaranje stabilnih fraktura, koje ostaju otvorene i nakon duljeg

vremena proizvodnje, što je od posebne važnosti za dugoročnu produktivnost bušotine (Al-Sulami et al., 2017.)

3.3. Regulatorni i ekološki aspekti

Razvoj nekonvencionalnih ležišta u Saudijskoj Arabiji donosi značajne regulatorne i ekološke izazove. Vlada Kraljevine provodi stroge standarde za zaštitu okoliša i sigurnost u industriji kako bi osigurala održiv i odgovoran razvoj ležišta. Tvrtke koje se bave istraživanjem i razvojem ležišta Jafurah moraju provoditi procjene utjecaja na okoliš kako bi procijenile potencijalne utjecaje i razvile strategije za ublažavanje štetnih učinaka na okoliš. Jedan od glavnih ekoloških rizika je mogućnost onečišćenja podzemnih voda kemikalijama koje se koriste u fluidima za frakturiranje, vezana za slučajna propuštanja ili za nepravilno odlaganje otpadnih voda. Da bi se spriječilo prodiranje fluida u akvifere, važno je osigurati kvalitetnu cementaciju kanala bušotine.

Ekološki izazovi također uključuju potrošnju vode i emisije stakleničkih plinova. Hidrauličko frakturiranje zahtijeva velike količine vode, što se može negativno odraziti na održivost vodnih resursa. Saudijska Arabija provodi strategije za smanjenje potrošnje vode i osigurava pravilno upravljanje otpadnim vodama da bi se spriječila kontaminacija podzemnih voda. Dodatno, proces frakturiranja i kasnija proizvodnja plina mogu dovesti do ispuštanja metana u atmosferu, što doprinosi efektu staklenika. Osim metana, u atmosferu mogu dospjeti i drugi zagađivači, uključujući hlapljive organske spojeve, koji mogu pridonijeti stvaranju prizemnog ozona. Kako bi minimizirala utjecaj na okoliš, Saudijska Arabija primjenjuje čišće tehnologije i postupke u svim fazama proizvodnje ugljikovodika iz nekonvencionalnih ležišta.

Regulatorni okvir u Saudijskoj Arabiji uključuje i poticaje za razvoj nekonvencionalnih plinskih ležišta. Vlada je uspostavila cjenovne politike kako bi stimulirala proizvodnju iz nekonvencionalnih ležišta, uključujući postavljanje minimalnih cijena plina koje osiguravaju ekonomski isplativ razvoj.

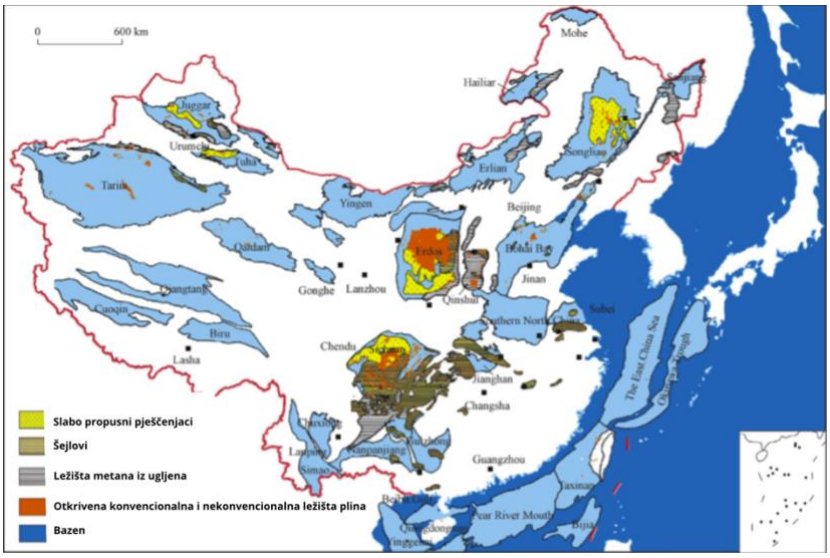
4. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U KINI

Razvoj nekonvencionalnih ležišta nafte i plina postaje sve važniji u energetskom sektoru Kine, osobito u kontekstu osiguravanja energetske sigurnosti, poticanja ekonomskog rasta i unaprijeđenja tehnoloških inovacija. Kina, kao jedna od najvećih svjetskih ekonomija, ulaže značajne napore u istraživanje i razvoj nekonvencionalnih ležišta plina kao što su šejlovi, slabo propusni pješčenjaci i ležišta plina (metana) u ugljenim slojevima (engl. *Coal Bed Methane*, CBM). U nastavku su ukratko prikazane procjene rezervi pojedinih geoloških formacija, strategije razvoja i izazovi te ekonomski aspekti povezani s razradom nekonvencionalnih ležišta u Kini.

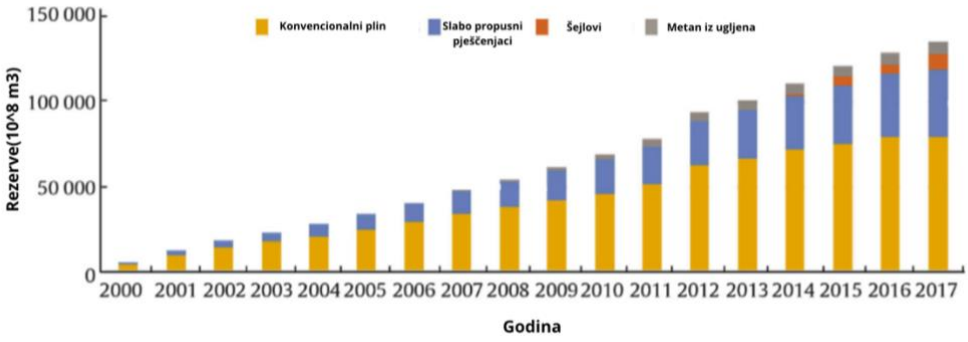
4.1. Procjena rezervi

Kina raspolaže velikim rezervama plina u nekonvencionalnim ležištima koja uključuju šejlove, slabo propusne pješčenjake i ležišta plina (metana) u ugljenim slojevima. Prema procjeni Ministarstva za zemljišne resurse Kine (engl. *Ministry of Land and Resources*) iz 2015. godine, pridobive rezerve slabo propusnih ležišta plina iznose 11,3E+12 m^3, pridobive rezerve plina u šejlovima su 21,81E+12 m^3 te plina u ugljenim slojevima 12,50E+12 m^3(Li et al., 2020).

Na Slici 4-2 prikazane su dokazane rezerve plina u konvencionalnim i nekonvencionalnim ležištima u Kini, dok Slika 4-1 ilustrira distribuciju ovih ležišta.



Slika 4-1. Prikaz konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta plina u Kini (Li et al., 2020)



Slika 4-2. Dokazane rezerve plina u konvencionalnim i nekonvencionalnim ležištima u Kini (Li et al., 2020)

4.2. Strategije razvoja i izazovi

Razvoj nekonvencionalnih ležišta plina u Kini povećao se nakon 2005. godine. U 2017. godini je ukupna proizvodnja plina iznosila 480E+8 m^3, uključujući 340E+8 m^3 plina iz slabo propusnih ležišta, 90E+8 m^3 plina iz šejlova i 49,5E+8 m^3 plina iz ležišta metana, što je bilo oko 32 % od ukupne godišnje proizvodnje plina u Kini. Najveća ležišta slabo propusnih pješčenjaka su Sulige i Daniudi u Ordosovom bazenu te Xujiahe u zapadnom Sichuanskom bazenu, najveća ležišta šejlova su Fuling, Changninge Weiyuan i Zhaotongu Sichuanskom bazenu, a Qinshui i Eastern Hubei su najveća ležišta metanskih ležišta u ugljenim slojevima.

Tehnološke inovacije, poput bušenja horizontalnih bušotina te višestrukog frakturiranja, omogućile su značajan napredak u povećanju proizvodnje plina (Li et al., 2020). Unatoč napretku, razvoj nekonvencionalnih plinskih ležišta suočava se s brojnim izazovima, uključujući visoke troškove i složene geološke uvjete.

4.3. Ekonomski aspekti

Razvoj nekonvencionalnih plinskih ležišta ima značajne ekonomske i političke utjecaje. S obzirom na rastuću potražnju za energijom i potrebu za diversifikacijom izvora energije, taj plin igra ključnu ulogu u jačanju energetske sigurnosti zemlje. Kina je uložila značajna sredstva u istraživanje i razvoj tehnologija koje mogu smanjiti troškove i povećati ekonomsku isplativost eksploatacije tih ležišta.

Osim ekonomske koristi, razvoj nekonvencionalnih ležišta plina u Kini donosi izazove i u smislu zaštite okoliša i zakonske regulative. Korištenje tehnologija kao što su

višestruko frakturiranje i horizontalno bušenje može imati negativan utjecaj na okoliš, uključujući potrošnju vode i potencijalno onečišćenje, kao što je spomenuto ranije. Stoga je važno razviti regulatorne okvire koji će osigurati održiv razvoj i minimalizirati ekološke rizike.

Kina je također prepoznala važnost primjene umjetne inteligencije i primjene informacijske tehnologije u cijelom procesu razvoja nekonvencionalnih ležišta plina. Te tehnologije mogu poboljšati efikasnost proizvodnje, smanjiti troškove i optimizirati procese donošenja odluka u stvarnom vremenu.

5. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U POLJSKOJ

U Poljskoj, zemlji bogatoj geološkim resursima, se istraživanje i eksploatacija nekonvencionalnih ležišta uglavnom odnosi na razvoj ležišta šejlova. Većim ulaganjem u razvoj ovih ležišta želi se doprinijeti energetskoj sigurnosti i gospodarskom razvoju, iako on donosi i izazove, poput rješavanja zakonske regulative i utjecaja na okoliš, kao što je slučaj u gotovo svim ostalim zemljama. U nastavku su ukratko prikazane geološke značajke, osnovni tehnološki i zakonodavni scenariji te ekološki i društveni utjecaji razvoja nekonvencionalnih ležišta.

5.1. Geološki pregled

Poljska je geološki raznolika zemlja s bogatim potencijalom ležišta šejlova, posebno u Baltičkom bazenu na sjeveru zemlje. Ovaj geološki bazen obuhvaća područje od oko 11 313 km² i smatra se jednim od najperspektivnijih regija za iskorištavanje plina iz šejlova u Europi. Procjene rezervi variraju, a prema Poljskom geološkom institutu (*engl. Polish Geological Institute,* PGI) kreću se od 23 do 1549 milijardi kubičnih metara te se očekuje da bi primjenom novih tehnologija u sljedećih 10-20 godina moglo biti pridobivo oko 380E+9 m^3 plina .

Geološke karakteristike ovog područja, kao što su debljina, dubina i termalna zrelost naslaga šejlova, čine ga posebno pogodnim za eksploataciju (Slika 5-1). Na području zemljišta kojeg čine oranice nalazi se 56 % ležišta, a 28 % je ispod šumskog područja. Ovo područje je pretežno ruralno, iako postoje veća urbana područja, kao što je grad Gdanjsk (Baranzelli et al., 2015).

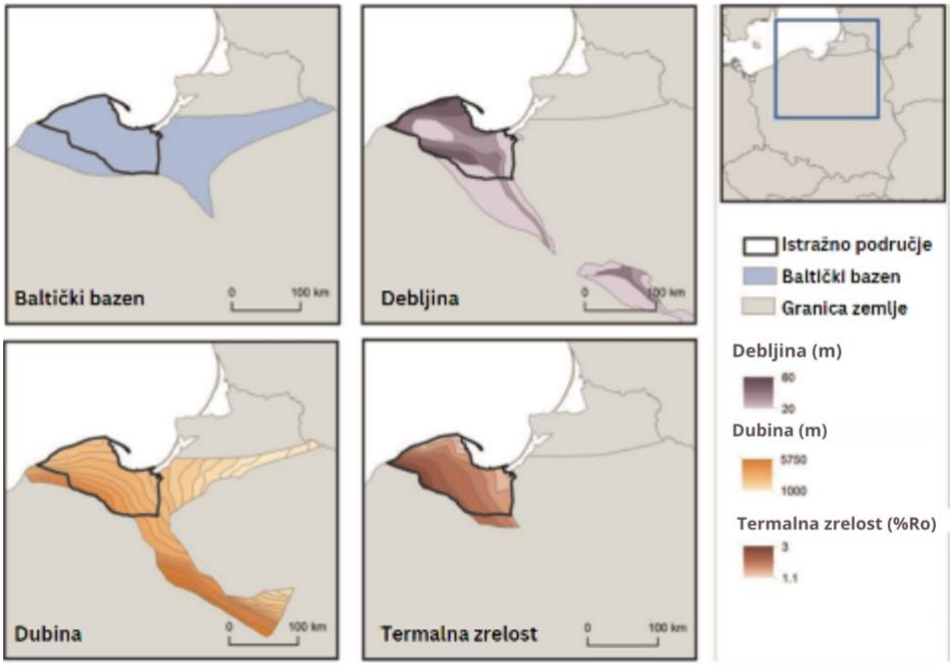
5.2. Tehnološki i zakonski scenariji

Tehnološki scenariji za eksploataciju plina iz šejlova u Poljskoj uključuju različite pristupe, ovisno o korištenim tehnologijama i legislativnom okviru. Prema istraživanjima, dva su glavna scenarija koja se razmatraju: scenarij s visokim i scenarij s niskim utjecajem na okoliš. U okviru scenarija visokog utjecaja, očekuje se uglavnom korištenje intenzivnih metoda bušenja s minimalnim ulaganjem u obradu otpadne vode, što rezultira većim utjecajem na okoliš. Podrazumijeva se primjena horizontalnog bušenje kako bi se povećao kontakt bušotine s ležištem, a zatim i izrada višestruko frakturiranih horizontalnih bušotina,

općenito neophodnih za postizanje ekonomski isplativijih količina plina iz nekonvencionalnih ležišta (King, 2012).

S druge strane, u scenariju niskog utjecaja na okoliš se u skladu sa zakonskom regulativom Europske unije pretpostavlja potpuna obrada velike količine otpadne vode, koja se u najvećem dijelu rabi kod postupka hidrauličkog frakturiranja uzduž horizontalnog dijela kanala bušotine. U ovom scenariju, tehnološke inovacije igraju ključnu ulogu u smanjenju ekološkog otiska kod procesa bušenja.

Zakonski okviri su izuzetno važni u razvoju i povećanju proizvodnje plina iz šejlova, jer Poljska nema posebno razvijenu zakonsku regulativu za nekonvencionalne resurse, već se primjenjuju zakoni za konvencionalne resurse. U scenarijima s restriktivnim zakonima, bi određena područja poput zaštićenih prirodnih zona, bila isključena za razvoj nekonvencionalnih ležišta, dok su u manje restriktivnim scenarijima dozvoljene veće slobode u izradi tzv. stimuliranih bušotina. Slika 5-1 prikazuje specifične geološke karakteristike područja istraživanja, bitne za eksploataciju plina iz šejlova, pružajući uvid u složenost ovih formacija i njihovu prilagodbu različitim tehnološkim pristupima.



Slika 5-1. Geološke karakteristike nekonvencionalnog ležišta plina u Poljskoj (preuređeno prema Baranzelli et al., 2015)

5.3. Ekološki i društveni aspekti

Razvoj nekonvencionalnih ležišta u Poljskoj ima značajne ekološke i društvene utjecaje. Jedan od glavnih izazova je utjecaj na korištenje zemljišta. Prema simulacijama, između 7 % i 12 % zemljišta predviđenog za industrijske aktivnosti trebalo bi biti korišteno za eksploataciju plina iz šejlova (Baranzelli et al., 2015).

Takav razvoj može izazvati sukobe s korisnicima zemljišta, posebno u područjima intenzivne poljoprivrede i šumarstva. Promjene krajolika i potencijalni utjecaji na bioraznolikost također su važni faktori koje treba uzeti u obzir s ekološkog stanovišta. Prema zakonskim scenarijima s restriktivnijim mjerama bi se utjecaji na okoliš morali znatno smanjiti. To bi primjerice značilo ograničiti broj bušotina po određenom dijelu površine zemljišta, kao i uspostaviti zaštitne zone na područjima s vodonosnicima, što bi smanjilo ukupni ekološki otisak pri izradi bušotina i proizvodnji plina iz ovog energetski vrlo potencijalnog nekonvencionalnog ležišta Poljske.

Razvoj tj. povećanje istražnih, a potom i proizvodnih aktivnosti iz šejlova donosi i društvene izazove, uključujući pitanja vezana uz javno zdravlje i sigurnost, utjecaj na lokalne zajednice i moguće socioekonomske koristi. U tom kontekstu se u Poljskoj počinju razvijati politike koje balansiraju gospodarske koristi s potrebom zaštite okoliša i očuvanja javnog interesa.

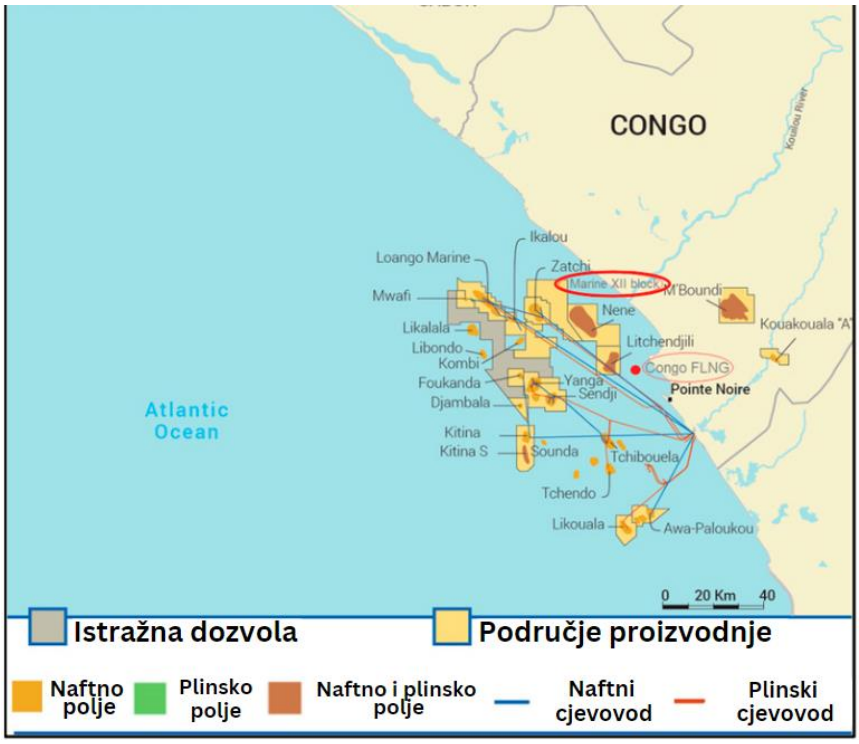
6. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA U ZAPADNOJ AFRICI

Razvoj nekonvencionalnih ležišta nafte i plina u zapadnoj Africi postaje sve važniji za zadovoljavanje rastućih energetskih potreba i poticanje gospodarskog rasta. Kontinent je bogat raznolikim geološkim resursima koji pružaju značajne mogućnosti za eksploataciju nafte i plina iz nekonvencionalnih ležišta. Ipak, i ovdje se razvoj ležišta suočava s izazovima kao što su ekološki aspekti, regulatorni okviri i društveni utjecaji (Gharavi et al., 2023). Stoga je u nastavku ukratko prikazan potencijal ležišta, te izazovi i prilike, naglašavajući važnost razvoja nekonvencionalnih rezervi ugljikovodika u Kongu, kao tipičnoj zemlji i mogućem primjeru za sličan razvoj u ostalim Afričkim regijama.

6.1. Potencijal ležišta i istraživanje

Afrika je bogata raznolikim geološkim formacijama koje sadrže značajne rezerve ugljikovodika u nekonvencionalnim ležištima. Ove formacije uključuju plin i naftu iz ležišta šejlova, plin iz slabo propusnih pješčenjaka i metan iz ugljičnih ležišta. Sa stajališta daljnjeg razvoja od posebnog značaja je područje zapadne Afrike, gdje su otkrivene veće rezerve plina u slabo propusnim ležištima. Prema istraživanju provedenom u zapadnoafričkom bazenu, slabo propusni pješčenjaci su karakterizirani složenim geološkim i petrofizikalnim svojstvima koja zahtijevaju napredne tehnike za procjenu i eksploataciju prirodnog plina. Unatoč složenosti, istraživanja pokazuju da ležišta sadrže značajne količine ugljikovodika, koje ih čine potencijalnim kandidatima za investiranje (Gharavi et al., 2023).

Slika 6-1 prikazuje zemljopisni položaj naftnog i plinskog nekonvencionalnog ležišta Nene Marine u Kongu. Nalazi se oko 17 km od obale. Dubina mora na ovom području je oko 28 metara, a ležište je na dubini od 2,5 kilometra.



Slika 6-1.. Naftno i plinsko nekonvenvionalno ležište Nene Marin u Kongu (preuređeno prema Gharavi et al., 2023)

6.2. Izazovi i prilike

Razvoj nekonvencionalnih ležišta se i u ovom području suočava s brojnim izazovima. Tehnički izazovi uključuju potrebu za naprednim tehnologijama za bušenje i hidrauličko frakturiranje, koje su neophodne s obzirom na nisku poroznost i propusnost ležišnih stijena. Slika 6-2 prikazuje osnovne petrofizikalne značajke stijena u ležištu Nene Marin, temeljem kojih se planira odabrati metodologiju za prvu procjenu ležišnih rezervi (Gharavi et al., 2023). Iz preliminarnih studija se očekuje izrazito niska propusnost, reda veličine od nekoliko nano darcyija. Ekološki izazovi i ovdje uključuju potencijalnu kontaminaciju podzemnih voda i utjecaj na bioraznolikost zbog tehničkih operacija i korištenja velikih količina vode.

Slika 6-2. Petrofizikalne značajke ležišnih stijena u ležištu Nene Marin (preuređeno prema Ma i Holditch, 2015)

Unatoč navedenim i opće poznatim izazovima, postoje značajne prilike za razvoj nekonvencionalnih ležišta u ovom području. Napredak u tehnologijama bušenja i frakturiranja općenito omogućava učinkovitiju i isplativiju eksploataciju nafte i plina, kao što je već navedeno. Osim toga, razvoj nekonvencionalnih ležišta ugljikovodika može značajno doprinijeti energetskoj sigurnosti ovog dijela Afrike, smanjujući ovisnost o uvozu nafte i plina te stvarajući nova radna mjesta i gospodarski rast. Regulatorni okviri koji podržavaju održivi razvoj i uključuju stroge ekološke standarde mogu dodatno potaknuti ulaganja i inovacije i u ovom energetskom sektoru. Kroz zajedničke projekte i partnerstva, zemlje Afrike mogu dijeliti iskustva i najbolje prakse u razvoju nekonvencionalnih ležišta, čime se poboljšava ukupna učinkovitost i smanjuju troškovi istraživanja i eksploatacije.

7. KOMPARATIVNA ANALIZA I GLOBALNE PERSPEKTIVE

Razvoj nekonvencionalnih ležišta nafte i plina u svijetu izražen je raznolikošću pristupa i izazova u različitim regijama. Iz globalne perspektive, zapadna Afrika, Saudijska Arabija, Argentina, Kina i Poljska na različite načine, ovisno o izazovima i prilikama karakterističnim za njihovo područje, ulažu u tehnologije koje povećavaju iskorištavanje njihovih rezervi. Usporedbom područja istraživanja na regionalnoj razini pruža se uvid u specifične izazove i prilike svake zemlje, dok daljnji razvoj iskorištavanja ovih ležišta ima globalni utjecaj u oblikovanju budućnosti energetskog sektora, kroz inovacije i međunarodnu suradnju.

Nekonvencionalne rezerve nafte i plina u Africi, poput onih u Kongu, predstavljaju značajan potencijal za povećanje energetske sigurnosti i ekonomskog rasta. Afrikanska naftna i plinska polja, kao što su ona u Alžiru i Južnoj Africi, karakterizira kompleksna geologija s velikim količinama ukupnog organskog ugljika (TOC). Ova ležišta zahtijevaju napredne tehnologije bušenja i frakturiranja kako bi se poboljšalo iskorištavanje ležišta.

Saudijska Arabija, koja ima dobro razvijenu naftnu infrastrukturu, fokusira se na razvoj nekonvencionalnog ležišta Jafurah. Ova formacija predstavlja jedno od najvećih ležišta nekonvencionalnog plina u regiji, s potencijalom za značajan doprinos u proizvodnji. Saudijska Arabija koristi svoje iskustvo u naftno-plinskoj industriji kako bi ubrzala tehnološki razvoj, usredotočujući se na inovacije koje smanjuju troškove i poboljšavaju efikasnost u razvoju ovog nekonvencionalnog ležišta.

Argentina se s naglaskom na Vaca Muerta ležište smatra liderom u razvoju nekonvencionalnih ležišta u Latinskoj Americi. Vaca Muerta je prepoznata po svojoj iznimnoj debljini proizvodnih slojeva i bogatom organskom sadržaju, što je čini jednim od najperspektivnijih područja za eksploataciju ugljikovodika u svijetu. U argentinskom kontekstu, tehnološki napredak, uključujući horizontalno bušenje i višestruko hidrauličko frakturiranje, ključan je za učinkovito iskorištavanje ovog ležišta.

U Kini je novi razvoj nekonvencionalnih ležišta posebice obilježen napretkom istraživanja u ležištu Sichuan, koje ima visoki prioritet zbog rastuće domaće potražnje za energijom i potrebe za smanjenjem emisija stakleničkih plinova. Kineska vlada snažno potiče razvoj kroz subvencije i regulatorne reforme, što čini Kinu jednom od najaktivnijih zemalja u proizvodnji plina iz šejlova na globalnoj razini. Prepoznavajući važnost šejlova za

nacionalnu energetsku strategiju, Kina nastavlja ulagati u istraživanje i razvoj, usredotočujući se na smanjenje troškova i poboljšanje ekološke održivosti.

Poljska, iako suočena s regulatornim izazovima i ograničenjima zbog visoke gustoće naseljenosti, vidi razvoj nekonvencionalnih ležišta kao priliku za smanjenje ovisnosti o uvozu energije i povećanje energetske sigurnosti.

Globalno, razvoj nekonvencionalnih ležišta nafte i plina značajno utječe na energetske i ekonomske sektore. Potencijal za smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima i diversifikaciju izvora energije čini ova ležišta ključnim dijelom energetske tranzicije. Kroz međunarodnu suradnju i razmjenu znanja, ove zemlje doprinose budućem oblikovanju svojih energetskih sektora, pokrećući inovacije i promovirajući održiv razvoj.

8. ZAKLJUČAK

Razvoj nekonvencionalnih ležišta nafte i plina ima ključnu ulogu u globalnoj energetskoj sigurnosti, gospodarskom rastu i tehnološkom napretku. Analiza regija poput zapadne Afrike, Saudijske Arabije, Argentine, Kine i Poljske pokazuje jedinstvene prilike i izazove u iskorištavanju ovih ležišta na pojedinim kontinentima. Afrika, s bogatim geološkim rezervama, nudi značajan potencijal za povećanje energetske sigurnosti, unatoč tehničkim izazovima. Saudijska Arabija koristi svoje iskustvo i infrastrukturu za prijelaz na održive izvore energije, fokusirajući se pritom i na razvoj nekonvencionalnog ležišta Jafurah. Argentina s ležištem Vaca Muerta može postati globalni lider u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta, unatoč logističkim izazovima. Kina, kroz subvencije i reforme za smanjenje emisija, posebno potiče razvoj ležišta šejlova, kako bi ojačala energetsku sigurnost. Poljska, iako suočena s regulatornim izazovima, vidi razvoj nekonvencionalnih ležišta plina kao priliku za smanjenje ovisnosti o uvozu energije.

Za uspješan razvoj nekonvencionalnih ležišta nafte i plina u svijetu potrebne su nove energetske politike koje strateški podržavaju istraživanje i razvoj, uz istovremenu zaštitu okoliša. Ulaganja u istraživanje i razvoj ključna su za ubrzanje tehnološkog napretka, osobito u područjima obrade i zbrinjavanje otpadne vode i smanjenja emisija. Osim toga, poželjno je da industrija što više surađuje s vladama i zajednicama kako bi se osigurala transparentnost provođenja novih strategija. Ovi napori trebali bi biti usklađeni s potrebama lokalnih zajednica, osiguravajući da svi sudionici imaju koristi od ovog napretka.

9. LITERATURA

1. BARANZELLI, C., VANDECASTEELE, I., BARRANCO, R. R., RIVERO, I. M., PELLETIER, N., BATELAAN, O., LAVALLE, C., 2015. Scenarios for shale gas development and their related land use impacts in the Baltic Basin, Northern Poland, Energy Policy,Volume 84, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.032.
2. ČIKEŠ, M., 2015. Proizvodno inženjerstvo nafte i plina. RGN fakultet, 524 str., Zagreb.
3. GHARAVI, A., ABBAS, K. A., HASSAN, M. G., HADDAD, M., GHOOCHANINEJAD, H., ALASMAR, R., AL-SAEGH, S., YOUSEFI, P., SHIGIDI, I., 2023. Unconventional Reservoir Characterization and Formation Evaluation: A Case Study of a Tight Sandstone Reservoir in West Africa. Energies, 16, 7572. https://doi.org/10.3390/en16227572
4. KING, G. E., 2012. Hydraulic fracturing 101: What every representative, environmentalist, regulator, reporter, investor, university researcher, neighbor and engineer should know about estimating frac risk and improving frac performance in unconventional gas and oil wells. In: SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference 2012 Society of Petroleum Engineers.
5. LI, Y., ZHOU, D., WANG, W., JIANG, T., XUE, Z., 2020. Development of unconventional gas and technologies adopted in China, Energy Geoscience, Volume 1, Issues 1–2, https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.04.004.
6. LU, X., LI, S., HAN, R., JIA, B., XIAN, C., DING, F., ZHANG, Y., ZHONG, S., XU, Q., ZUO, X., 2024. An Overview of Recent Developments and Understandings of Unconventionals in the Vaca Muerta Formation, Argentina. Appl. Sci., 14, 1366. https://doi.org/10.3390/app14041366
7. MA, Y. Z., HOLDITCH, S., 2015. Unconventional Oil and Gas Resources Handbook: Evaluation and Development; Gulf Professional Publishing: Houston, TX, USA
8. SANCHEZ, O., MELA, F. J., MARTIN, R., 2021. Azimuthal Hold Technology Implementation in Vaca Muerta. In Proceedings of the Asia Pacific, Unconventional Resources Technology Conference, Tulsa, OK, USA, 16‑18 November

9. SPE-PRMS 2007. Petroleum Resources Management System. Sponsored by: Society of Petroleum Engineers (SPE), American Association of Petroleum Geologists (AAPG), World Petroleum Council (WPC), Society of Petroleum Evaluation Engineers (SPEE).
10. STINCO, L. P., BARREDO, S. P., 2014. Vaca Muerta Formation: An Example of Shale Heterogeneities Controlling Hydrocarbon Accumulations. In Proceedings of the SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference, Denver, CO, USA, 25‑27 August .
11. WEIJERMARS, R., JIN, M., KHAMIDY, N. I., 2021. Workflow for Probabilistic Resource Estimation: Jafurah Basin Case Study (Saudi Arabia). Energies, 14, 8036. https://doi.org/10.3390/en14238036

Internet izvori:

12. AL-SULAMI, G., BOUDJATIT, M., AL-DUHAILAN, M., SALVATORE, D. S., 2017. The Unconventional Shale Reservoirs of Jafurah Basin: An Integrated Petrophysical Evaluation Using Cores and Advanced Well Logs. SPE 183771. Presented at the SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, 6–9 March, Available online: https://doi.org/10.2118/183771-MS (11.8.2024.).
13. EIA report World Shale Gas Resources, 2013. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EIA_World_Shale_Gas_Map-en.svg#file (07.08.2024.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom. .

Marko Mamula

KLASA: 602-01/24-01/95
URBROJ: 251-70-12-24-2
U Zagrebu, 03. 09. 2024.

Marko Mamula, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/95, URBROJ: 251-70-12-24-1 od 11.06.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

RAZVOJ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA NAFTE I PLINA U SVIJETU

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv. prof. dr. sc. Sonja Koščak Kolin nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Sonja Koščak Kolin

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Karolina Novak Mavar

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)