Eksploatacija plina iz nekonvencionalnih ležišta

Škara, Roberta

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:169:308061

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

EKSPLOATACIJA PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA

Diplomski rad

Roberta Škara
N 174

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

EKSPLOATACIJA PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA

ROBERTA ŠKARA

Diplomski rad je izrađen : Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Potrošnja prirodnog plina će se u budućnosti sve više povećavati, dok će se s druge strane proizvodnja plina iz domaćih konvencionalnih ležišta sve više smanjivati. Upravo takva kretanja povećavaju važnost proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta prirodnog plina radi zadovoljavanja rastućih energetskih potreba. U radu je pobliže analizirana proizvodnja plina u pojedinim zemljama Europske Unije (EU) i Sjedinjenih Američkih Država (SAD) iz nekonvencionalnih ležišta, trenutne faze razvoja projekata nekonvencionalnih ležišta prirodnog plina te problemi u realizaciji planiranih projekata. Analiziran je utjecaj proizvodnje prirodnog plina iz nekonvenionalnih ležišta na uvoz, trgovinu i cijene plina.

Ključne riječi: nekonvencionalna ležišta, prirodni plin, hidrauličko frakturiranje, cijena plina

Diplomski rad sadrži: 38 stranica, 19 slika, 1 tablicu i 33 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, izvanredna profesorica RGNF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, izvanredna profesorica RGNF-a
Doc. dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF-a
Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNF-a

Datum obrane: 22. veljače 2018. godine , Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Masters's Thesis

EXPLOITATION OF GAS FROM UNCONVENTIONAL RESERVOIRS

ROBERTA ŠKARA

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Natural gas consumption will increase in the future, while on the other hand gas production from the domestic reservoirs will reduce further. This kind of dynamics increases the importance of production from unconventional natural gas reservoirs to satisfy the growing energy needs. This work analyzes the production from unconventional gas reservoirs in certain countries of the EU and USA, the current phase of project development of unconventional natural gas reservoirs and the problems in the realization of the planned projects. The influence of production of natural gas from unconventional reservoirs on the import, trade and gas prices is also analyzed.

Key words: unconventional gas reservoirs, natural gas, hydraulic fracturing, gas price

Thesis contains: 38 pages, 19 figures, 1 table and 33 references.

Original in: Croatian

Archived at The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierotijeva 6, Zagreb

Mentor: Associate Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD

Reviewers: Associate Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD
Assistant Professor Vladislav Brkić, PhD
Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD

Defense date: February 22, 2018., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

Sadržaj:

Popis slika..... I

Popis tablica.....II

Popis kratica.....III

1. **UVOD** 1

2. **NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA** 2

3. **TEHNOLOGIJA NEOPHODNA ZA EKSPLOATACIJU IZ NEKONVENCIONALIH LEŽIŠTA** 4

3.1. Hidrauličko frakturiranje 4

3.2. Horizontalne bušotine 5

4. **NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA U EUROPI** 7

4.1. Geografski smještaj nekonvencionalnih ležišta u zemljama EU 8

4.2. Rezerve prirodnog plina u nekonvencionalnim ležištima u EU 9

5. RAZVOJ PROIZODNJE PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA U EUROPI

.....11

6. **PROIZVODNJA PRIRODNOG PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA U ZEMLJAMA EU** 13

6.1. Nekonvencionalna ležišta plina u Francuskoj 13

6.1.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Francuskoj .. 14

6.2. Nekonvencionalna ležišta plina u Njemačkoj 14

6.2.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Njemačkoj 16

6.3. Nekonvencionalna ležišta plina u Poljskoj 17

6.3.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Poljskoj.....19

6.4. Nekonvencionalna ležišta plina u Rumunjskoj 20

6.4.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Rumunjskoj.....20

6.5. Nekonvencionalna ležišta plina u Ujedinjenom Kraljevstvu.....22

6.5.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Ujedinjenom Kraljevstvu.....23

6.6. Nekonvencionalna ležišta plina u Nizozemskoj 25

7. **NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA U SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA** 26

8. **UTJECAJ PROIZVODNJE PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA NA UVOZ, TRGOVANJE I CIJENU PLINA** 29

8.1. Utjecaj proizvodnje plina iz nekonvencialnog ležišta na uvoz prirodnog plina ... 29

8.2. Utjecaj proizvodnje plina iz nekonvencialnog ležišta na trgovinu plinom 30

8.3. Utjecaj proizvodnje plina iz nekonvencialnog ležišta na cijene plina 30

9. **NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA U HRVATSKOJ** 32

9.1. Murska depresija 32

9.2. Dravska depresija 33

10. **ZAKLJUČAK** 34

Popis slika

Slika 2-1. Prikaz konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta prirodnog plina 3
Slika 3-1. Hidrauličko frakturiranje nekonvencionalnih ležišta prirodnog plina 5
Slika 4-1. Geografska područja za eksploataciju plina iz nekonvencionalnih ležišta 9
Slika 4-2. Procijenjene rezerve prirodnog plina u nekonvencionalnim ležištima u Europi 10
Slika 6-1. Proizvodnja plina iz nekonvencionalih ležišta ugljena u Francuskoj 13
Slika 6-2. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u Njemačkoj 15
Slika 6-3. Baltički i Lublinski bazen 17
Slika 6-4. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u Poljskoj..... 18
Slika 6-5. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta ugljena u Rumunjskoj 20
Slika 6-6. Prosvjedi u Rumunjskoj protiv hidrauličkog frakturiranja 21
Slika 6-7. Prosvjedi lokalnih zajednica protiv Chevrona 21
Slika 6-8. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u Ujedinjenom Kraljevstvu 22
Slika 6-9. Prosvjed lokalnog stanovništva u Ujedinjenom Kraljevstvu 24
Slika 6-10. Proizvodnja iz nekonvencionalnih ležišta u Nizozemskoj..... 25
Slika 7-1. Geografska rasprostranjenost 'Marcellus' formacije šejla 26
Slika 7-2. Geografska rasprostranjenost 'Barnett' formacije šejla..... 27
Slika 7-3. Geografska rasprostranjenost ''Haynesville'' formacija šejla 28
Slika 7-4. Geografska rasprostranjenost 'Fayetteville' formacija šejla 28
Slika 9-1. Područje prostiranja dravske depresije 32

Popis tablica

Tablica 4-1. Rezerve prirodnog plina u Europi u pojedinim tipovima ležišta.....6

Popis kratica

EIA- Administracija za energetske informacije (engl. *U.S. Energy information administration)*

EU- Europska Unija

HUNIG- Hrvatska udruga naftnih inženjera

IEA- Međunarodna agencija za energiju (engl. *International energy agency)*

SAD- Sjedinjene Američke Države

RH- Republika Hrvatska

1. UVOD

Danas se veliki postotak potreba za primarnom energijom podmiruje iz fosilnih goriva (nafta, plin, ugljen) oko 87% u svijetu, te 82% u Europi (Zelenika, 2015.). U mnogim zemljama svijeta posebice u zemljama Sjeverne Amerike i Europe najveći udio u strukturi potrošnje primarne energije ima prirodni plin. Prema predviđanjima potrošnja prirodnog plina će se u budućnosti sve više povećavati, dok će se s druge strane proizvodnja plina u Europi iz domaćih ležišta sve više smanjivati. Posljedica ovakvih kretanja je povećanje energetske ovisnosti europskih zemalja o zemljama izvoznicama prirodnog plina i prirodni pad iz konvencionalnih izvora. Kako bi se smanjila energetska ovisnost o zemljama uvoznicama potrebno je obnovit rezerve prirodnog plina i okrenut se proizvodnji iz novih nekonvencionalnih ležišta. Upravo nekonvencionalna ležišta prirodnog plina imaju sve značajniju ulogu u zadovoljavanju rastućih energetskih potreba. Zbog geološke kompleksnosti nekonvencionalnih ležišta, proizvodnja prirodnog plina iz takvih je dosta zahtjevnija od proizvodnje plina iz konvencionalnih ležišta. Proizvodnja iz nekonvencionalnih ležišta zahtjeva puno veća početna ulaganja, primjenu vrlo skupih i sofisticiranih tehničkih i tehnoloških rješenja poput horizontalnog bušenja i masivnog hidrauličkog frakturiranja.

Republika Hrvatska (RH) svoje potrebe za prirodnim plinom namiruje velikim dijelom (oko 60%) iz domaće proizvodnje (Sarajlić, 2015.). Međutim, kao i u ostalim europskim zemljama, i u Hrvatskoj dolazi do smanjivanja proizvodnje iz domaćih polja zbog starosti i velike iscrpljenosti postojećih ležišta. Da bi se potrebe za plinom i dalje u tako velikom postotku podmirivale iz domaće proizvodnje potrebna su otkrića novih ležišta te privođenje proizvodnje nekonvencionalnih ležišta prirodnog plina.

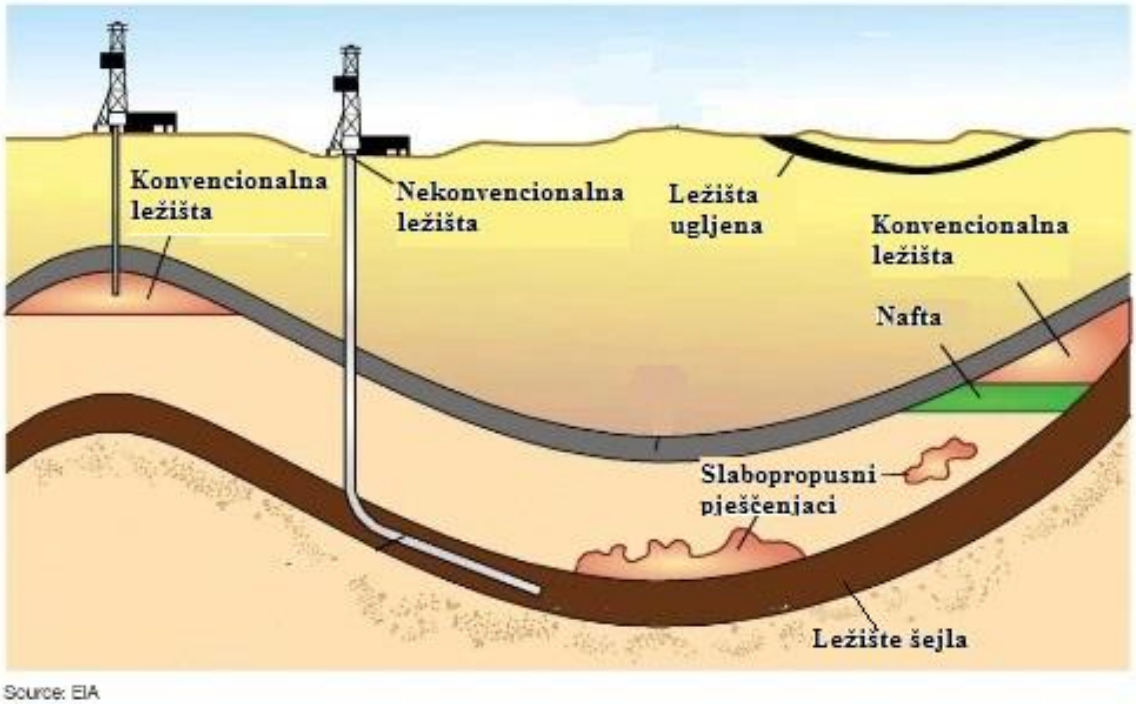
2. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA

Prema osnovnoj podjeli, ležišta ugljikovodika mogu se podijeliti na konvencionalna i nekonvencionalna (Slika 2-1.). U nekonvencionalna ležišta prirodnog plina ubrajaju se ležišta u slabopropusnim pješčenjacima (*engl. Tight Gas*), pretežito pelitnim sedimentima (*engl. Shale Gas*), ležištima ugljena (engl. *Coalbed Methane*), metan otopljen u dubokim akviferima te ležišta plinskih hidrataa (*engl. Gas Hydrate*).

Nekonvencionalna ležišta prirodnog plina se razlikuju po svojim fizikalnim svojstvima. Zbog različitog vremena nastanka, dubine na kojoj se ležišta nalaze, uvjeta tlaka i temperature svako je ležište jedinstveno. Prema tome, ekonomski isplativa proizvodnja moguća je tek primjernom suvremene tehnologije bušenja. Od svih petrofizikalnih svojstava ležišnih stijena (poroznost ležišnih stijena, zasićenje stijena, propusnost ležišnih stijena) na proizvodnju prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta najviše utjecaja ima propusnost. Iako sva nekonvencionalna ležišta prirodnog plina imaju veoma nisku propusnost (veličine manje od $0{,}1 \times 10^{-15} m^2$) i kod njih mogu postojati razlike u propusnosti o čemu će ovisiti i način dizajna frakture kod postupka hidrauličkog frakturiranja (Sarajlić, 2014.).

Hidrauličko frakturiranje, horizontalne bušotine i izrada većeg broja bušotina tehnološki su postupci neophodni za eksploatiranje nekonvencionalnih ležišta. Osim navedenih postupaka potrebno je i dobro razumijevanje međusobne ovisnosti geoloških, geokemijskih, geomehaničkih i petrofizikalnih parametara te njihovog utjecaja na proizvodnju.

Prema istraživanjima količine potencijalnih rezervi prirodnog plina u nekonvencionalnim ležištima procjenjuju se na oko $900 \times 10^{15} m^3$, od čega se 50% nalazi u pelitnim sedimentima, 23% u slabopropusnim pješčenjacima te 27% u ležištima ugljena. Potencijalne rezerve u metanskim hidratima procjenjuju se na $25 \times 10^{15} m^3$. Godišnja potrošnja prirodnog plina znosi $2{,}9 \times 10^{12} m^3$ što je svega 24% potrošnje ukupne primarne energije (Zelić, 2015.).



Slika 2-1. Prikaz konvencionalnih i nekonvencionalnih ležišta (EIA, 2014.)

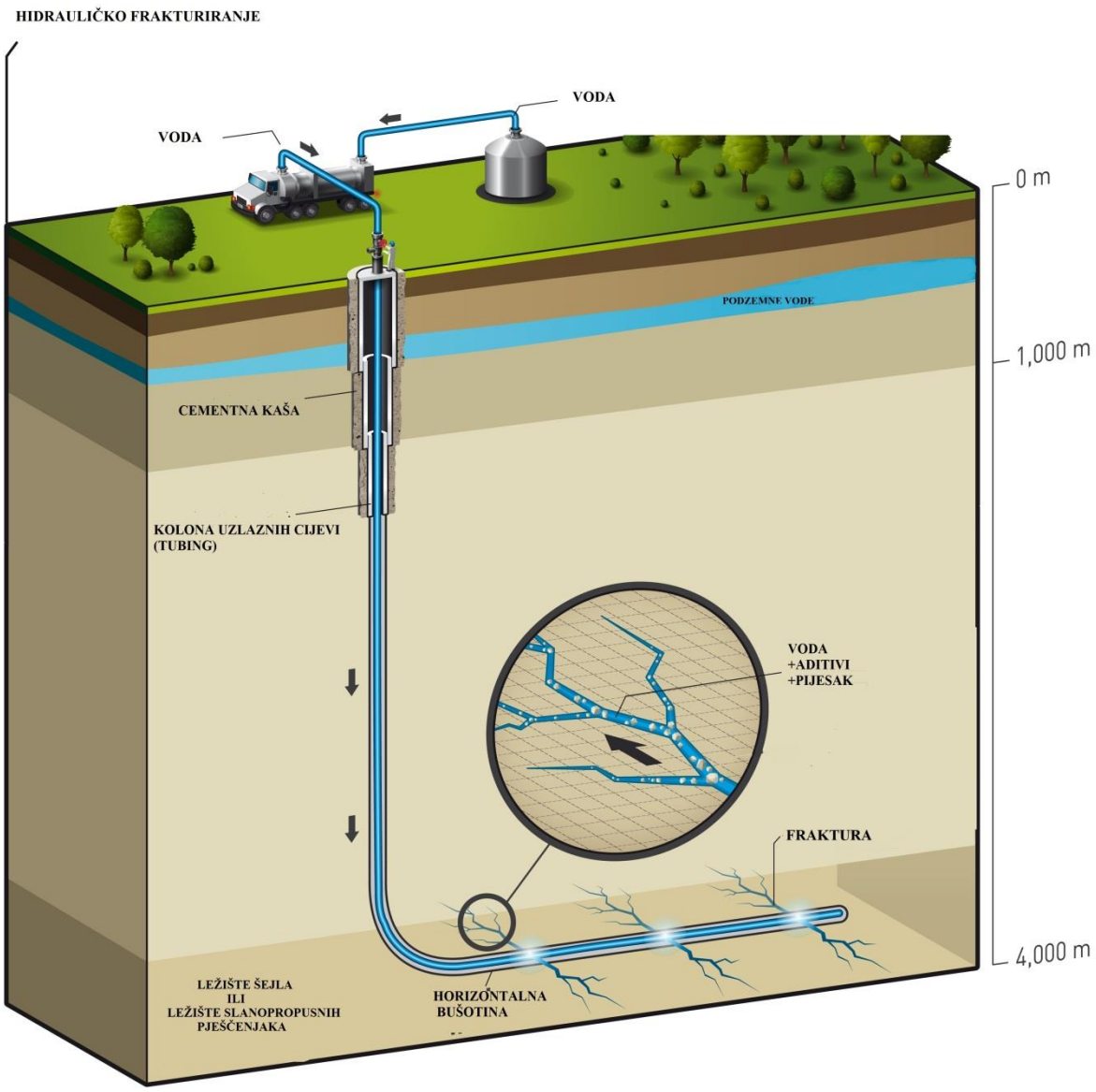
3. TEHNOLOGIJA NEOPHODNA ZA EKSPLOATACIJU IZ NEKONVENCIONALIH LEŽIŠTA

Nekonvencionalna ležišta zbog svojih svojstava poput mineralogije, niske propusnosti, tekstura stijena, promjene početnih i trenutnih tlakova predstavljaju izazov za eksploataciju. Ekonomski isplativu proizvodnju plina iz takvih ležišta nije moguće ostvariti primjenom standardnih metoda, stoga se eksploataciji pristupa upotrebom hidrauličkog frakturiranja. Hidrauličko frakturiranje, horizontalne bušotine te izrada većeg broja bušotina, nisu novi postupci u proizvodnji, ali su zbog šire primjene i smanjenja troškova izrade tek nedavno postali uobičajeni. Jedinstvene karakteristike svakog nekonvencionalnog ležišta zahtijevaju individualan pristup svakom ležištu.

3.1. Hidrauličko frakturiranje

Hidrauličko frakturiranje je metoda stimulacije bušotine s ciljem povećanja njene kontaktne površine između ležišta i bušotine, u kojoj se kroz kolonu uzlaznih (tubing) cijevi utiskuje fluid za frakturiranje, pod dovoljno visokim tlakom (do 1400 bara) i kapacitetom da se izazovu umjetne pukotine u ležišnoj stijeni. Cilj je stvoriti mrežu povezanih pukotina koje će omogućiti migraciju prirodnog plina u kanal bušotine (Slika 3.1). Ključna komponenta hidrauličkog frakturiranja je fluid za frakturiranje, ne samo zbog svojih karakteristika već i zbog utjecaja na okoliš (Gandossi i Estorff, 2015.). Izbor i sastav fluida za frakturiranje ovise o karakteristikama ležišta i stijene koja se frakturira. Uglavnom se fluidi za frakturiranje sastoje od tri komponente:

1) *Bazni fluid*- u najviše slučajeva se radi o vodi, to mogu još biti pjena, ulja, kiseline, alkoholi, emulzije,
2) *Aditivi*,
3) *Podupirač (propant)* –sitne kuglice pijeska.



Slika 3-1. Hidrauličko frakturiranje nekonvencionalnih ležišta (The truth about hydro fracking, 2014.)

3.2. Horizontalne bušotine

Izradom kanala bušotine usporedno s pružanjem stijena, izradom horizontalnih bušotina, ostvaruje se veća dodirna površina kanala bušotine s ležištima ugljikovodika. Na taj način dolazi do povećanja proizvodnosti bušotina čime se ujedno i ispunjava osnovna svrha izrade horizontalnih bušotina. Značajni napredak tehnologije bušenja doveo je do razvoja već dobro utemeljenog postupka izrade horizontalnog kanala bušotine, omogućeno je bušenje u svim smjerovima primjenom specijalnih alatki. Iako određeni problemi

prilikom horizontalnog bušenja još uvijek postoje, njegova primjena bilježi porast primjene u razradi i eksploataciji ležišta (El-Sayed et al., 1991).

4. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA U EUROPI

Prema potrošnji prirodnog plina na pojedinom kontinentu, Europa je s $531 \times 10^9 m^3$ (bez Ruske Federacije) na drugom mjestu iza Sjeverne Amerike s potrošnjom od $893 \times 10^9 m^3$(Global energy statistic yearbook, 2017.). Osim u Norveškoj, u cijeloj Europi se očekuje smanjenje rezervi i proizvodnje iz konvencionalnih ležišta prirodnog plina. Eksploatacija prirodnog plina u zemljama Europske unije je u padu otkad je dosegnula svoj maksimum 1996. godine. Povećanje proizvodnje u Norveškoj nije dovoljno da nadomjesti padove u ostalim državama. Potražnja za prirodnom plinom u Europi konstantno raste, mada nešto sporijim tempom u zadnje vrijeme zbog posljedica prethodne svjetske gospodarske krize ali i povećanja energetske učinkovitosti i povećanja udjela obnovljivih izvora energije. Kako bi se zadovoljile potrebe za prirodnim plinom u Europi potreban je razvoj eksploatacije prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta. Pogodni čimbenici za razvoj projekata proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta su:

1) Smanjenje energetske ovisnosti europskih zemalja o zemljama izvoznicama prirodnog plina,
2) Relativno visoke cijene prirodnog plina na europskom tržištu te sve manja ovisnost cijene prirodnog plina o cijeni nafte,
3) Količine procijenjenih rezervi: U Europi se nalazi $36 \times 10^{12} m^3$ potencijalnih rezervi plina, od čega se 16×10^{12} m^3 nalazi u pretežito pelitnim sedimentima, 12×10^{12} m^3 u slabo propusnim pješčenjacima, a ostalo u ugljenim ležištima (Tablica 4-1.) (Zelenika, 2015.),
4) Postojeća plinska infrastruktura, posebno zbog razgranate mreže plinovoda i procesnih postrojenja za obradu plina.

Tablica 4-2. Rezerve prirodnog plina u Europi u pojedinim tipovima ležišta (Zelenika, 2015.)

TIP LEŽIŠTA	**REZERVE ($\times 10^{12} m^3$)**
Pelitni sedimenti	16
Slabo propusni pješčenjaci	12
Ležišta ugljena	8

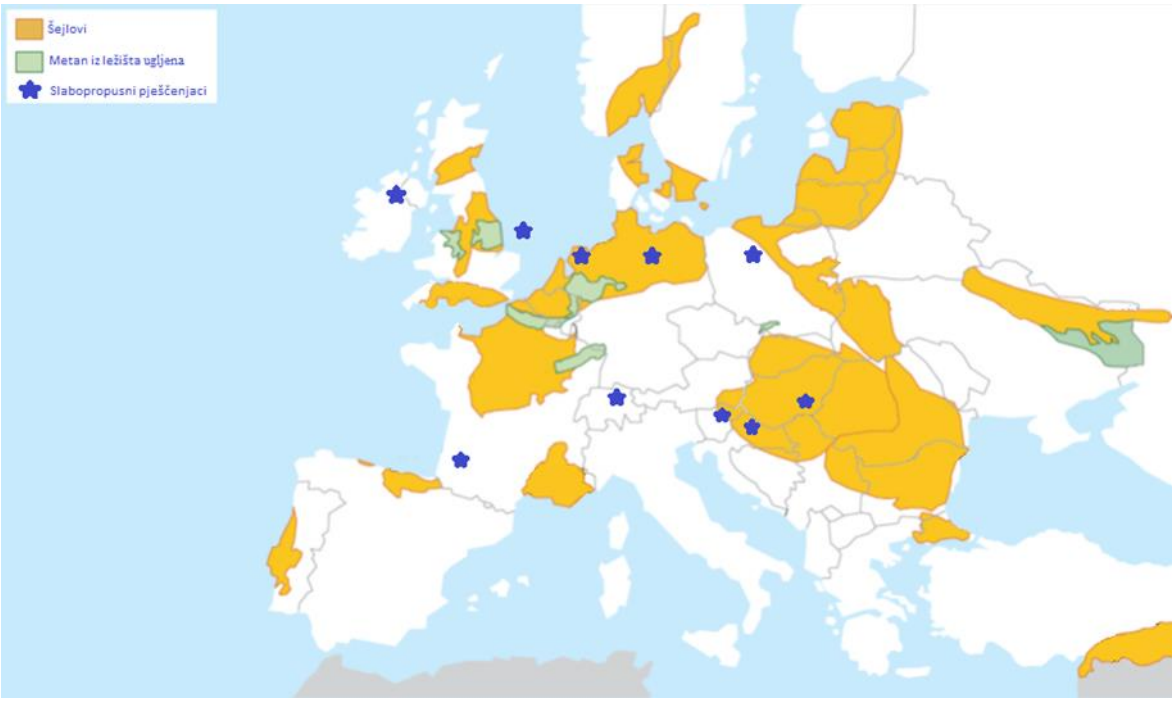
Prema predviđanju 2035. godine gotovo 60% potreba za prirodnim plinom podmirivat će se uvozom, dok će udio plina iz nekonvencionalnih ležišta iznositi manje od 10% (Zelenika 2015.).

4.1. Geografski smještaj nekonvencionalnih ležišta u zemljama EU

Mnogi dijelovi europskog kontinenta su potencijalna područja za eksploataciju plina iz nekonvencionalnih ležišta prirodnog plina. Najveće rezerve prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta se nalaze u srednjoeuropskim i istočnoeuropskim zemljama. Prirodni plin u slabopropusnim pješčenjacima pronađen je na području Njemačke, Nizozemske, Mađarske, Poljske, Slovenije, Hrvatske i Francuske (Gény, 2010.). Prirodni plin iz ležišta ugljena povezan je s dobro poznatim područjima gdje se u prošlosti eksploatirao ugljen. To su bazeni u Velikoj Britaniji, Francuskoj, Nizozemskoj, Belgiji, Njemačkoj, Italiji, Španjolskoj, Poljskoj, Češkoj, Mađarskoj, Bugarskoj, Rumunjskoj.

Najznačajnija ležišta za eksploataciju plina iz nekonvencionalnih ležišta rasprostiru se na tri velika dobro istražena područja te nekoliko manjih potencijalno bogatih područja. Na (slici 4-1.) prikazana su geografska područja s nekonvencionalnim ležištima prirodnog plina u Europi. Prvo veliko područje rasprostire se od istoka Danske do južne Švedske te sjeverne i istočne Poljske. Drugo veliko područje je karbonski marinski bazen koji se proteže od sjeverozapadne Engleske, preko Nizozemske i sjeverozapadne Njemačke do jugozapadne Poljske. Treće i ujedno posljednje veliko područje obuhvaća donjojursku bituminoznu pelitnu stijenu koja se rasprostire od južne Engleske, Pariškog bazena, sjeverne Njemačke do Švicarske (Gény, 2010.).
Važno je spomenuti i manja područja od kojih su najistaknutija :

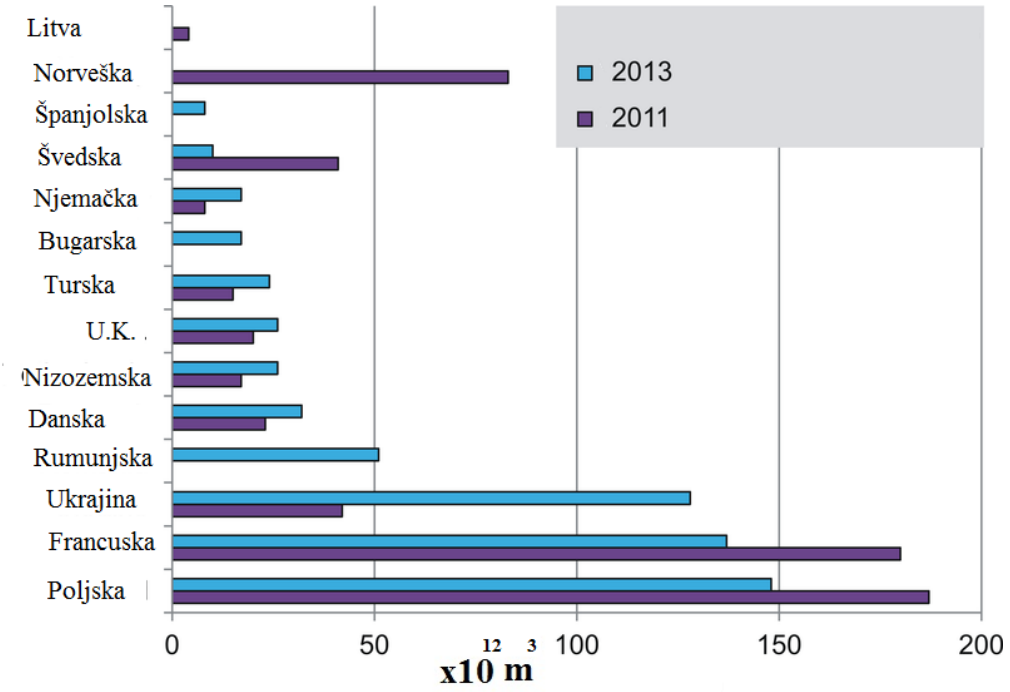
1) Područje Ukrajine gdje se nalaze dva bazena u kojima se nalaze pelitne stijene iz kojih bi se mogao proizvoditi prirodni plin. Prvi Lublinski bazen, koji zahvaća sjeverozapad Ukrajine, a većim dijelom se nalazi i u Poljskoj, te drugi Dnjeparsko – donjecki bazen koji se nalazi na istoku Ukrajine,
2) Panonski bazen obuhvaća velik dio srednje Europe i prostire se od Slovačke, Mađarske, Hrvatske i Srbije do Rumunjske,
3) Karpatsko – balkanski bazen se nalazi u Rumunjskoj i Bugarskoj,
4) Područje jugoistoka Francuske gdje se nalazi Akvitanijski bazen (pelitne stijene).



Slika 4-1. Geografska područja za eksploataciju plina iz nekonvencionalnih ležišta (IEA, 2012.)

4.2. Rezerve prirodnog plina u nekonvencionalnim ležištima u EU

Procjenjuje se da pridobivi dio potencijalnih rezervi prirodnog plina iz pelitnih sedimenata iznosi $18\times10^{12}m^3$, dok u rezervama plina u konvencionalnim ležištima iznosi $5{,}3\times10^{12}m^3$. Zbog nedostatka sustavnog istraživanja, a samim time i podataka o nekonvencionalnim ležištima, trenutno ne postoje objavljeni podatci o količini rezervi za svaku europsku državu. Podaci o procijenjenim rezervama služe samo kao relativni pokazatelji stanja među državama. Mnoge zemlje podatke svojih istraživanja o nekonvencionalinim ležištima ne objavljuju dok ne obave opsežnija istraživanja. Na slici 4-2. prikazani su rezultati procijene nekonvencionalnih rezervi plina u Europi na temelju podataka iz 2011. i 2013. godine Administracije za energetske informacije (EIA).



Slika 4-2 Procijenjene rezerve prirodnog plina u nekonvencionalnim ležištima u Europi (EIA, 2011.)

Kao što je već spomenuto najveće rezerve prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta se nalaze u srednjoeuropskim i istočnoeuropskim zemljama. Najveće rezerve prirodnog plina u slabo propusnim pješčenjacima nalaze se u Mađarskoj i Poljskoj, dok se najveće rezerve prirodnog plina iz ležišta ugljena nalaze u Poljskoj, Njemačkoj, Bugarskoj, Velikoj Britaniji, Nizozemskoj, Češkoj i Francuskoj. Napravljeno je nekoliko procjena rezervi plina u pelitnim sedimentima, te prema tim procjenama Francuska i Poljska su dvije europske zemlje s najznačajnijim potencijalnim rezervama prirodnog plina u pelitnim sedimentima. Rezerve u Poljskoj su procijenjene na $5{,}3 \times 10^{12} m^3$, a u Francuskoj na $5{,}09 \times 10^{12} m^3$ (EIA, 2011.) Prema provedenom istraživanju 2011. godine utvrđeno je da Europa ima znatno manji potencijal prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta od ostalih kontinenata. Međutim prema BP-evim izračunima procjenjuje se da bi prirodni plin iz pelitnih sedimenata mogao zadovoljiti sadašnju razinu potražnje za prirodnim plinom u sljedećih 35 godina (BP, 2011.).

5. RAZVOJ PROIZVODNJE PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA U EUROPI

Istraživanja nekonvencionalnih ležišta diljem Europe i svijeta, pokazala su da postoji budućnost u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta. Na temelju prikupljenih podataka napravljena su tri moguća modela razvoja proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta. Modeli su napravljeni na temelju mogućih odnosno pretpostavljenih prirodnih, društvenih te tehnoloških čimbenika razvoja proizvodnje. To su "Brzo rastući" (engl.*''Boom''*), "Uravnotežen" (engl. *''Balanced''*) i "Suzdržan" (engl. *''Restrained''*) (Pöyry, 2011.).

1) "Brzo rastući" model predstavlja idealan model s jako optimističnim predviđanjima. Kod ovog modela proizvodnja iz nekonvencionalnih ležišta ima veliku podršku od strane vlade i lokanog stanovništva, očekuje se napredovanje i razvoj tehnologije te sukladno tome smanjenje troškova istraživanja i proizvodnje. Osim navedenih, važni čmbenici razvoja takvog modela su izgradnja adekvatne infrastrukture, posjedovanje suvremene opreme i razvoja servisbih djelatnosti u Europi.Ostvarivanje svih navedenih čimbenika rezultiralo bi naglim i velikim povećanjem proizvodnje plina iz nekonvencionalnih ležišta plina na visokih $75 \times 10^3 m^3$ godišnje do 2030. godine. Najveći udio proizvodnje po predviđanjima bio bi u Poljskoj (30%), nešto manji postotci proizvodnje dobivali bi se u Njemačkoj, Nizozemskoj, Rumunjskoj, Francuskoj, Austriji i Mađarskoj. Dok bi najmanji udio dolazio iz Ujedinjenog Kraljevstva.

2) "Uravnotežen" model podrazumijeva podijeljena mišljenja vlade po pitanju razvoja rivođenja proizvodnji projekata nekonvencionalnih ležišta, pri čemu je lokalne zajednice potrebno upoznati s ekonomskim i socijalnim prednostimama razvoja proizvodnje. Problemi pitanja zaštite okoliša, s naglaskom na utjecaj na podzemne vode, usporavaju postupak dobivanja licenci. "Uravnotežen" model po svojim realističnijim predviđanjima ima veću vjerovatnost razvoja.

3) "Suzdržan" model za razliku od "Brzo rastućeg" modela ima jako pesimistična predviđanja. Karakteriziraju ga jako slaba politička podrška, te iznimno jaka protivljenja lokalnih zajednica te loša i zastarijela infrastruktura i tehnologija. Veliki

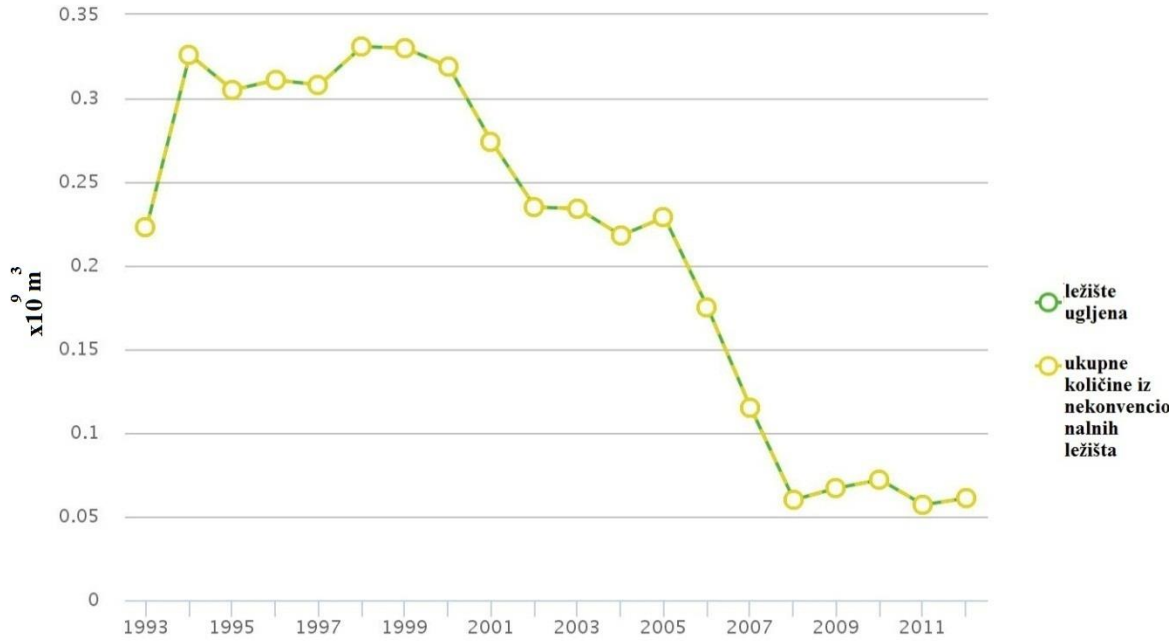
troškovi, te jako loše prirodne karakteristike ležišta. Ostvarivanjem navedenih predviđanja proizvodnja bi bila iznimno mala do 2030. godine. Iako "suzdržan" model ima izrazito loše pretpostavke zbog trenutnih polemika po pitanju hidrauličkog frakturiranja, njegovo ostvarenje ima jednako velike šanse poput "uravnoteženog" modela (Pöyry, 2011.).

6. PROIZVODNJA PRIRODNOG PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA U ZEMLJAMA EU

6.1. Nekonvencionalna ležišta plina u Francuskoj

Pariški bazen je područje na kojem je od 1950. godine otkriveno više od 35 konvencionalnih ležišta plina i nafte. Novijim geološkim istraživanjima pokazano je da osim velikih zaliha u konvencionalnim ležištima, Pariški bazen sadrži jako velike količine plina i u nekonvencionalnim ležištima, točnije u ležištima šejla. Prema podacima USG-a (U.S. Geological Survey) potencijalne zalihe plina u nekonvencionalnim ležištima su 3879,4 × $10^9 m^3$, čime je Francuska potvrdila da je jedna od zemalja Europe sa najznačajnijim rezervama u takvim ležištima.

Proizvodnja iz nekonvencionalnih ležišta u Francuskoj započela je 1993. godine iz ležišta ugljena.(slika 6.1). Te godine proizvodnja je iznosila 0,223 × $10^9 m^3$. Sljedećih godinu dana bilježi se nagli porast proizvodnje do svoje maksimalne vrijednosti od 0,326 × $10^9 m^3$ koja je zabilježena 1994. godine. Od 1994. godine došlo je do kontinuiranog pada proizvodnje, pri čemu se najveći pad bilježi u periodu od 2005. do 2008. godine, sve do 2012. godine kada je proizvodnja iznosila 0,061 × $10^9 m^3$.



Slika 6-1. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnog ležišta ugljena u Francusko (IEA, 2016.)

6.1.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Francuskoj

Iako Francuska ima najveće zalihe plina u ležištima šejla eksploatacija nije zabilježila značajne rezultate. Dozvole za istraživanje i proizvodnju dodijeljene su od strane Francuske vlade, međutim zbog velikih javnih prosvjeda svi procesi su stavljeni na čekanje. U lipnju 2011. godine odlukom Senata, Francuska je postala prva zemlja koja je u potpunosti zabranila hidrauličko frakturiranje. Istodobno su donešene dvije odluke kojima se želi pronaći rješenje nastalog problema (Pöyry, 2011.).

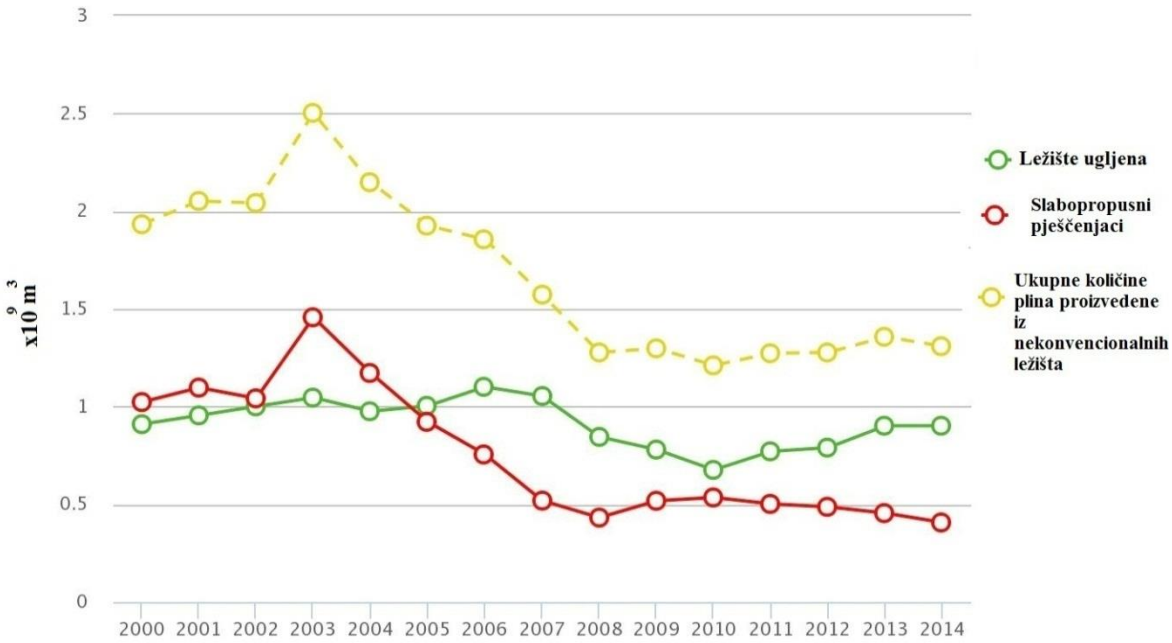
1. Korištenje frakturiranja u znanstvene svrhe i dalje je dopušteno,
2. Osnivanje komisije za regulaciju projekata istraživanja i proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta.

Prilikom novih predsjedničkih izbora 2012. godine ponovo se otvorilo pitanje istraživanja nekonvencionalnih ležišta. Najveći industrijski lideri okupili su se te u zajedničkom pismu vladi uputili apel za ponovnim provođenjem debate o ležištima šejla, naglašavajući da je za dobrobit ekonomije te energetske neovisnosti nužno pokrenut iskorištavanje tih ležišta. U siječnju 2014. godine Europska komisija objavila je minimalna načela za istraživanja i proizvodnju ugljikovodika korištenjem hidrauličkog frakturiranja. Sve do danas nisu postignute drastične promjene po pitanju dozvola i proizvodnje plina iz nekonvencionalnih ležišta, ponajviše zbog građanskih organizacija koje aktivno provode kampanje i prosvjede protiv hidrauličkog frakturiranja u Francuskoj.

6.2. Nekonvencionalna ležišta plina u Njemačkoj

Njemačke rezerve prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta pretežno se nalaze u ležištima šejla. Po zadnjim procjenama dokazane rezerve tehnološki pridobivog plina iz šejla iznose između 481,4 $\times$ $10^9 m^3$, što je skoro 3 puta više od količine plina u konvencionalnim rezervama odnosno 20 puta više od godišnje potrošnje prirodnog plina. Tim procjenama Njemačka se smjestila na 27. mjesto u svijetu po količinama prirodnog plina u nekonvencionalnim ležištima.

Kretanje proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta prikazano je na sljedećem grafu. (Slika 6.2.).



Slika 6-2. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u Njemačkoj (IEA, 2016.)

Kao što je slučaj u Francuskoj i u Njemačkoj se pretežno proizvodi iz ležišta ugljena, neovisno o tome što su zalihe najveće u ležištima šejla. U razdoblju od 1990. do 1998. godine prirodni plin se proizvodio iz slabopropusnih pješčenjaka. Proizvodnja je bila konstantna i iznosila je 0,001 × $10^9 m^3$ (IEA, 2016.). Od 2000. godine ponovo započinje proizvodnja plina iz slabopropusnih pješčenjaka te počinje rasti proizvodnja plina iz ležišta ugljena. Najznačajnija godina proizvodnje plina iz nekonvencionalnih ležišta bila je 2003. godine, te godine proizvedeno je ukupno 2,503 × $10^9 m^3$ plina. Iste godine zabilježene su najveće proizvedene količine iz slabopropusnih pješčenjaka u iznosu od 1,457 × $10^9 m^3$. Nakon 2003. godine proizvodnja iz slabopropusnih pješčenjaka naglo počinje padati sve do 2008. godine, nakon čeg slijedi period kontinuirane proizvodnje. Najmanje proizvedene količine plina zabilježene su 2014. od 0,407 × $10^9 m^3$. Za razliku od proizvodnje iz slabopropusnih pješčenjaka, kod proizvodnje iz ležišta ugljena nikad nije došlo do velikih oscilacija. Maksimalna proizvodnja plina iz ležišta ugljena zabilježena je 2006. godine u iznosu od 1,101 × $10^9 m^3$, dok je najmanja zabilježena 2010. godine u iznosu od 0,676 × $10^9 m^3$. Ukupna proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta bilježi nagli pad u periodu od 2003. do 2008. godine, što je direktna posljedica naglog pada proizvodnje plina iz slabopropusnih pješčenjaka dok je proizvodnja iz ležišta ugljena bila gotovo kontinuirana. Najmanje proizvedene količine prirodnog plina iz nekonvencijonalnih ležišta zabilježene su 2010. godine 1,211 × $10^9 m^3$ (IEA 2016.).

6.2.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Njemačkoj

U Njemačkoj se, radi povećanja proizvodnje, postupak hidrauličkog frakturiranja u konvencionalnim ležištima i ležištima slabopropusnih pješčenjaka provodi od 1950. godine. Od tad više od 300 postupaka frakturiranja uspješno je obavljeno, nekad i na dubinama većim od 5000 m, pri čemu nije zabilježen niti jedan incident (Milieu, 2015a.). Zbog svoje specifične geološke strukture i svojstava, ležišta šejla moraju se stimulirat frakturiranjem kako bi došlo do komercijalnog pridobivanja plina. U velikom broju tih postupaka koristi se znatno veći volumen utisnog fluida nego kod frakturiranja konvencionalnih ležišta, što je izazvalo snažnu reakciju mnogih građanskih udruga za zaštitu okoliša, medija i stručnjaka. Najveću zabrinutost među stanovništvom izaziva utjecaj fluida za frakturiranja na okoliš, posebice na kvalitetu izvore pitke vode i zdravlje ljudi Potencijalne opasnosti koje izdvajaju su sljedeće: kemikalije koje se nalaze u sastavu fluida za frakturiranje, zagađenje vodonosnika, potresi, odlaganje radnog fluida nakon frakturiranja i mogućnost izlijevanja fluida za frakturiranje na površini (Tomić, 2017.).

Ministri okoliša i ekonomije u suradnji s Europskom komisijom donose dokument (Milieu, 2015a.) kojim se uvodi regulacija hidrauličkog frakturiranja. Zaustavljeni su svi projekti hidrauličkog frakturiranja planirani isključivo radi ostvarivanja financijske dobiti, dopušteni su samo projekti u svrhu znanstvenih istraživanja. U rujnu iste godine ExxonMobile provodi kampanju pod nazivom "Let's talk about fracking" ("Pričajmo o frakturiranju"), kojom su željeli pobliže javnosti predstaviti sve postupke frakturiranja koje provode, fluide koje koriste te utjecaje na okoliš.

Nakon nekoliko godina rasprava, na ljeto 2016. godine njemački parlament donosi odluku o zabrani proizvodnje ugljikovodika iz nekonvencionalnih ležišta primjenom hidrauličkog frakturiranja. Jedina iznimka su maksimalno četiri testna bušenja koja se mogu provest koristeći frakturiranje. Svrha provođenja tih testova je dobivanje procijene utjecaja hidrauličkog frakturiranja na okoliš. Tokom provođenja testova stručnjaci iz državnih službi i istraživačkih institucija obavezni su nadzirati sve operacije i dostaviti godišnje izvješće parlamentu. Na temelju prikupljenih izvješća za vrijeme testiranja u 2021.godini parlament će ponovno preispitati i donijet odluku treba li se potpuna zabrana fraturiranja nastaviti dalje ili ne.

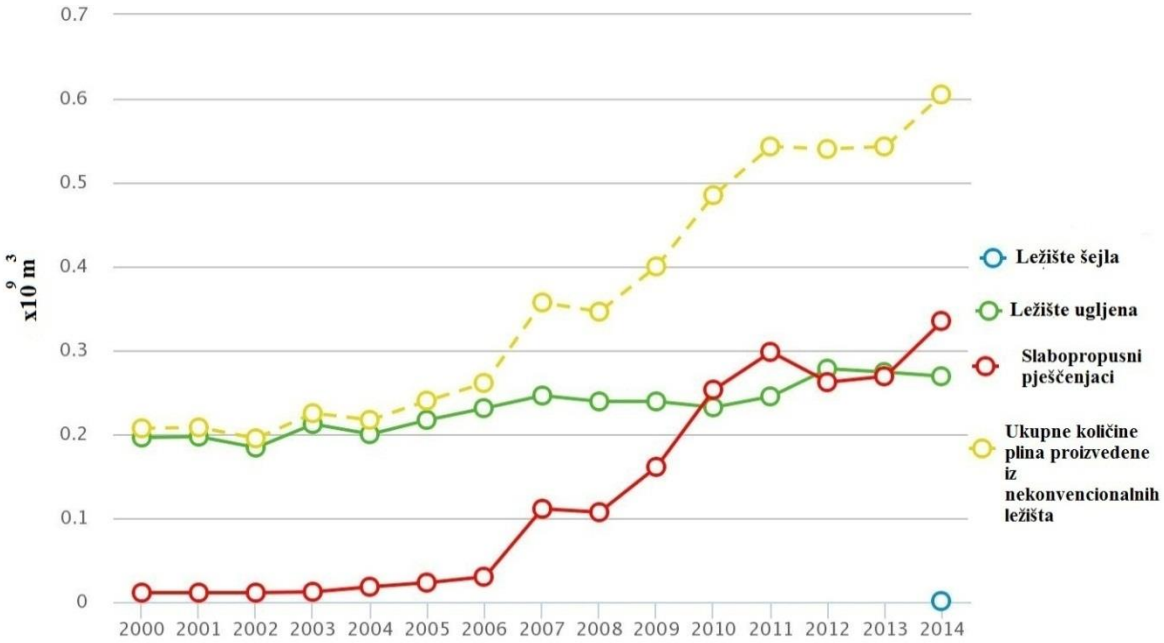
6.3. Nekonvencionalna ležišta plina u Poljskoj

Poljska je europska zemlja koja posjeduje najveće količine plina u nekonvencionalnim ležištima ugljena i šejla. Po zadnjim istraživanjima ukupne rezerve plina u nekonvencionalnim ležištima šejla su 4190,9 $\times 10^9 m^3$ (Karasalihović Sedlar, 2016.). Na temelju procijenjenih rezervi vjeruje se da Poljska posjeduje dovoljne količine plina ne samo da zadovolji svoje vlastite potrebe, već da izvozi plin i čak zamjeni ugljen u proizvodnji električne energije (PGNiG, 2013.). Najznačajnija područja s najvećim brojem nekonvencionalnih ležišta su Baltički i Lublinski bazeni (Slika 6-3.). Baltički bazen u sjevernoj Poljskoj najperspektivnija je regija s relativno jednostavnim strukturnim karakteristikama. Lublinski bazen ima potencijala, ali je strukturno kompleksniji što može predstavljati otežavajući čimbenik pri izvođenju procesa horizontalnog bušenja.

Slika 6-3. Baltički i Lublinski bazen (Oil and gas logistics, 2013.)

S osnovanom plinskom i naftnom proizvodnom industrijom iz konvencionalnih ležišta, te iskustvom u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta ugljena, Poljska ima najviše izgleda u Europi da razvije proizvodnju iz ležišta šejla. Poljska vlada donijela je određene uvijete za razvoj istraživanja i proizvodnje iz šejla. Standardni ugovor sadrži početni period istraživanja u trajanju od pet godina s mogućnošću produljenja, potom je moguće potpisati ugovor za eksploataciju na period od trideset godina. Maksimalna površina istražnog bloka može biti 1200 km^2. Do 2013. godine donešene odredbe izazvale

su pozitivne reakcije naftne industrije (Milieu, 2015b.). Dodjeljeno je više od 100 licenci za istraživanje plina iz ležišta šejla, obuhvaćajući više od 35 000 km^2 površine. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u Poljskoj započela je nešto kasnije nego u ostalim zemljama u Europi. Početak je bio 1997. godine iz slabopropusnih pješčenjaka, dok je godinu kasnije započela proizvodnja iz ležišta ugljena (IEA, 2016.).



Slika 6-4. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u Poljskoj (IEA, 2016.)

Na slici 6-4. prikazano je kretanja proizvodnje plina iz nekonvencionalnih ležišta. Proizvodnja iz slabopropusnih pješčenjaka kontinuirana je sve do 2004. godine (0,018 × $10^9 m^3$). Početkom 2005. godine proizvodnja počinje rasti pri čemu najveći rast bilježi u periodu od 2006.-2007. godine (0,03-0,111 × $10^9 m^3$). U periodu od 2008. do 2011. godine zabilježen je nagli rast proizvodnje s 0,107 × $10^9 m^3$ na 0,298 × $10^9 m^3$. Sljedeće dvije godine bilježi se manji pad proizvodnje, nakon kojeg dolazi do ponovnog povećanja proizvodnje do njene maksimalne zabilježene vrijednosti 2014. godine u iznosu od 0,335 × $10^9 m^3$(IEA, 2016.) Za razliku od proizvodnje iz slabopropusnih pješčenjaka, proizvodnja plina iz ležišta metana ne oscilira. Od samog početka bilježi se lagani porast, s povremenim, ne tako značajnim, padom proizvodnje. Maksimalna količina proizvedena je 2012. godine u iznosu od 0,278 × $10^9 m^3$. Ukupna proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u kontinuiranom je rastu, pri čemu se od 2006. do 2011. godine bilježi znatni godišnji rast s 0,27 × $10^9 m^3$ na 0,55 × $10^9 m^3$ (IEA, 2016.). Od 2011. do 2013. ukupna

proizvodnja stagnira. Proizvodnja iz ležišta šejla započela je tek 2014. u jako maloj količini od svega $0{,}001 \times 10^9 \mathrm{m}^3$ što nije značajno utjecalo na ukupne proizvedene količine plina iz nekonvencionalnih ležišta, iste godine zabilježena je maksimalna ukupna proizvodnja iz nekonvencionalnih ležišta u iznosu $0{,}605 \times 10^9 \mathrm{m}^3$ (IEA, 2016.).

6.3.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Poljskoj

Tokom zadnjih nekoliko godina Poljska je provodila najintenzivnije programe istraživanja nekonvencionalnih ležišta u Europi. Prva dozvola za istraživanje ležišta šejla izdana je 2007. godine. Od 2007. velike kompanije poput Chevron-a, Exxonmobil-a, PgNiG-a i TOTAL-a provode istraživanja, pri čemu je ukupno izbušeno 70 bušotina, od čega je 25 (12 horizontalnih i 13 vertikalnih) bušotina hidraulički frakturirano. Dobiveni rezultati bili su ispod svih očekivanja. Uvjeti i karakteristike ležišta pokazali su se jako nepovoljni za privođenje ležišta proizvodnji (Godec i Spisto, 2016.). Poljski ministar zaštite okoliša u suradnji s ostalim članovima uprave ministarstva pripremio je javnu web stranicu sa svim dostupnim informacijama o mogućim rizicima planiranih aktivnosti i utjecaju na okoliš (Milieu, 2015b.).

Poljska nije u potpunosti zabranila hidrauličko frakturiranje, ali je sastavila nekoliko dokumenata koji sadrže uvjete dobivanja dozvole za proizvodnju.

U 2013. godini broj licenci je iznosio 113, od tad se počeo kontinuirano smanjivati tako da je do listopada 2015. godine broj licenci pao na svega 33. Sve izdane licence odobrene su od strane Ministarstva zaštite okoliša. Dobivanjem licence kompanija ima sva prava provoditi aktivnosti u okviru licence. Svaka izdana licenca sadrži sljedeće elemente (Milieu, 2015b.) :

1) vrste dovoljenih aktivnosti,
2) detaljan opis,
3) područje provođenja,
4) vremenski period trajanja licence te datum početka predviđenih aktivnosti,
5) posebna ograničenja prilikom provođenja aktivnosti naročito u pogledu osiguravanja javne sigurnosti i zaštite okoliša.

6.4. Nekonvencionalna ležišta plina u Rumunjskoj

Rumunjska je zemlja s relativno malim dokazanim rezervama plina u nekonvencionalnim ležištima uspoređujući s ostalim zemljama u svijetu. Osim toga količina procijenjenih rezervi opadala je tokom godina, pa prema zadnjim istraživanjima ona iznose 1444,2 × $10^9 m^3$ (Karasalihović Sedlar, 2016.). Ležišta ugljena jedina su nekonvencionalna ležišta plina u Rumunjskoj. Proizvodnja je sve do 2012. Bila stalna u iznosu od 0,002 × $10^9 m^3$, nakon čega je zabilježen drastičan pad proizvodnje u 2013. na svega 0,001 × $10^9 m^3$ (Slika 6.5).

Slika 6-5. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta ugljena u Rumunjskoj (IEA, 2016.)

6.4.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Rumunjskoj

U srpnju 2010. godine Chevron je pobijedio u nadmetanju za tri bloka koja su ukupno obuhvaćala 2700 km^2. Godinu dana kasnije Chevron je zatražio dodatnu licencu za područje površine 6257 km^2 u sjevernoj Rumunjskoj. Uz političku potporu u svibnju 2013. godine započeta su istraživanja potencijalnih rezervi šejla. Nedugo nakon početka istraživanja Chevron se suočava s izrazito negativnim reakcijama lokalnih zajednica (Slika 6-6. i slika 6-7.). Negodovanja i protestiranja su eskalirala 2014. godine, zbog čega je velik

broj policijskih službenika bilo primorano štiti sve operacije i radnike. Nastala situacija primorala je Chevron na obustavu svih istraživanja u Rumunjskoj početkom 2015. godine (Mihalache, 2015.).

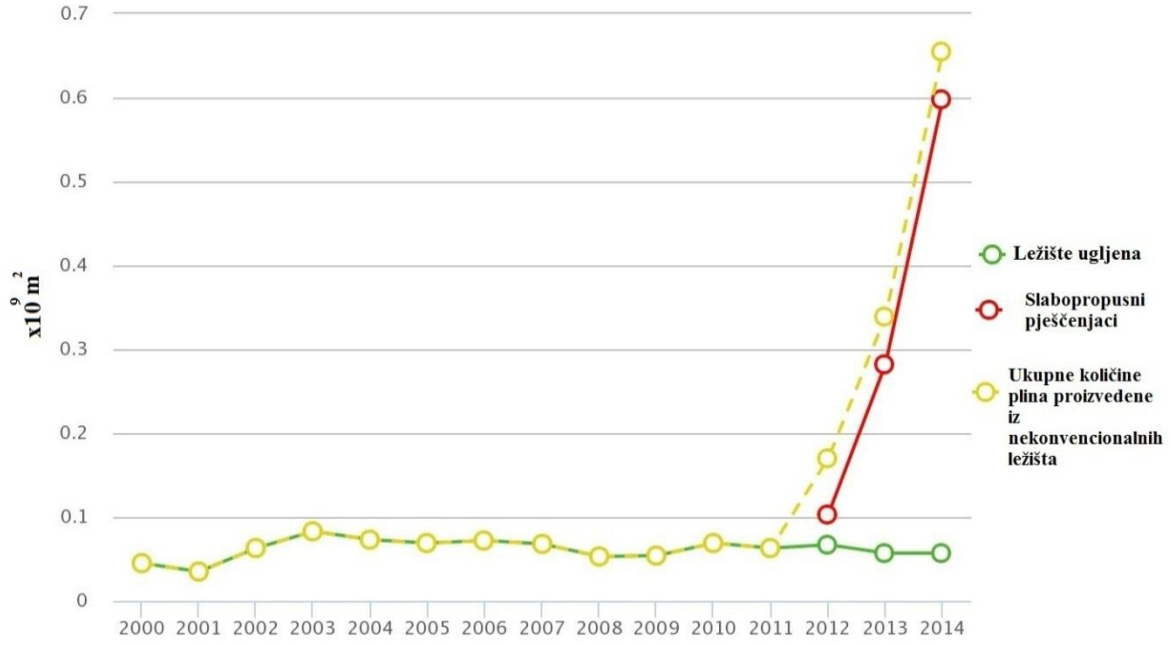
Slika 6-6. Prosvjedi u Rumunjskoj protiv hidrauličkog frakturiranja (Detisch, 2015.)

Slika 6-7. Prosvjedi lokalnih zajednica protiv Chevrona (Bernovici, 2016.)

6.5. Nekonvencionalna ležišta plina u Ujedinjenom Kraljevstvu

Sadašnja vlada Ujedinjenog Kraljevstva vjeruje kako će prirodni plin odigrati ključnu ulogu u procesu smanjenja primjene ugljena kao izvora energije, stoga pružaju veliku potporu razvoju nekonvencionalnih ležišta plin. U prosincu 2015. objavljeni su rezultati višegodišnjih istraživanja kojima je ustanovljeno kako je isplativo i sigurno proizvoditi plin iz šejlova. Zadnje procijene pokazuju da količina plina u šejlovima godišnje može zadovoljiti trećinu potreba stanovništva UK (IGas Energy, 2017.).

Na slici 6-8. prikazano je kretanje proizvodnje plina iz nekonvencionalnih ležišta. Dugi niz godina nekonvencionalna ležišta ugljena bila su primarni izvor plina u UK. U razdoblju od 2000. do 2014. godine proizvodnja nije prelazila iznad 0,1 × $10^9 m^3$. Ukupne proizvedene količine plina u 2012. godini naglo su porasle, te su do 2014. nastavile ubrzano rast do maksimalne zabilježene količine od 0,655 × $10^9 m^3$. Razlog naglog porasta ukupne proizvodnje je početak proizvodnje iz slabopropusnih pješčenjaka 2012. godine. Proizvodnja iz slabopropusnih pješčenjaka bilježila je jako veliki porast na godišnjoj razini, dokaz tome je činjenica da je u 2012. proizvedeno 0,103 × $10^9 m^3$ plina, dok je samo dvije godine kasnije zabilježeno 0,598 × $10^9 m^3$ (IEA, 2016.).



Slika 6-8. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u UK (IEA, 2016.)

6.5.1. Poteškoće u proizvodnji plina iz nekonvencionalnih ležišta u Ujedinjenom Kraljevstvu

Parlament Ujedinjenog Kraljevstva iskazao je veliku podršku svim idejama i projektima vezanim za istraživanje i proizvodnju plina iz ležišta šejla. Jako bitno je naglasiti da Škotska, Engleska i Wales imaju različite zakone vezane za zaštitu okoliša i planiranje projekata.

Engleska i Wales podržavaju istraživanja i proizvodnju pod nadzorom nadležnih institucija. Samim tim u prosincu 2015. godine 159 blokova na obali ponuđeno je na licenciranju. Za razliku od njih, Škotska je puno opreznije pristupila ideji o nekonvencionalnim rezervama. U listopadu 2015. godine Vlada potiče lokalne institucije i agenciju za zaštitu okoliša da poduzmu potrebne mjere za izdavanjem moratorija nad istraživanjima i proizvodnjom iz nekonvencionalnih ležišta. Uz preporuku da vrijeme trajanja moratorija traje dok se ne utvrdi potencijalni rizik planiranih aktivnosti. Utvrđivanje rizika provodi se sljedećim koracima (Shepherd; Wedderburn, 2016.):

1) Javnim raspravama o proizvodnji iz nekonvencionalnih ležišta,
2) Detaljnim izvješćem o potencijalnom riziku na zdravlje,
3) Daljnjim istraživanjima da bi se dodatno potvrdila prijašnja dva koraka,
4) Proširenjem propisa kojima bi se povećala zaštita okoliša.

Sve dok se navedeni koraci ne poduzmu i ne procijeni potencijalni rizik nema izdavanja licenci za procese koje uključuju hidrauličko frakturiranje (Milieu, 2015c.). Tom odlukom Škotska je uz Francusku i Nizozemsku postala još jedna zemlja u nizu koja je zabranila hidrauličko frakturiranje do daljnjeg.

Kako bi se lakše i jasnije nadzirali svi projekti, Vlada Ujedinjenog Kraljevstva je u prosincu 2012. godine osnovala ured za sve propise i projekte koji uključuju ležišta nekonvencionalnog plina. Osnovna zadaća ureda je što više pojednostavniti propise za nekonvencionalna ležišta, pri tome ne narušavajući sigurnost građana, okoliša te same industrije. Ured usko surađuje s agencijom za zaštitu okoliša i agencijom za zdravstvenu i sigurnosnu zaštitu, te zajedno izdaju točne naputke investitorima (Milieu, 2015c.).

Pravo korištenja zemljišta sljedeći je iznimno bitan faktor. Sve licence izdane od strane ureda za istraživanja nekonvencionalnih ležišta ne uključuju prava okupiranja zemljišta u svrhu istraživanja ili pak proizvodnje. Prava na korištenje moraju se zatražiti od

strane vlasnika zemljišta. Aktom objavljenim 2015. godine kompanija mora dobiti dozvolu suglasnu od strane svih vlasnika zemlje da bi se provodilo bušenje. U Engleskoj i Wales-u ukoliko se do ležišta dolazi horizontalnim bušenjem prava se ne trebaju zatražiti od vlasnika ispod čijeg se posjeda nalazi samo ležište. Neovisno o njima Škotska ne provodi tu odluku, već obvezuje kompaniju da dozvolu mora dobiti od vlasnika posjeda na kojem se provodi horizontalno bušenja te jednako tako od vlasnika ispod čijeg se posjeda nalazi samo ležište.

Još jedna od prepreka proizvodnji i istraživanju nekonvencionalnih ležišta je negodovanje i prosvjedi stanovništva. Svoju zabrinutost utjecaja hidrauličkog frakturiranja na zdravlje i okoliš iskazuju raznoraznim kampanjama i peticijama koje provodi lokalno stanovništvo (Slika 6-9.).

Slika 6-9 Prosvjed lokalnog stanovništva u Ujedinjenom Kraljevstvu (True Publica, 2017.)

6.6. Nekonvencionalna ležišta plina u Nizozemskoj

Nizozemska je jedna od plinom bogatijih zemalja zapadne Europe. Ukupne rezerve plina u šejlu procijenjene su na $4276 \times 10^3 m^3$, od čega se samo $736 \times 10^3 m^3$ smatra pridobivim (EIA, 2016.). Iako se na području Nizozemske nalaze potencijalno velike rezerve plina u šejlovima, još uvijek je veliki dio tih rezervi tehnički jako teško pridobiti. Ipak proizvodnja je ostvarena iz ležišta slabopropusnih pješčenjaka. Na slici 6-10. grafički je prikazano kretanje proizvodnje plina iz slabopropusnih pješčenjaka. U periodu od 2000. do 2003. godine zabilježen je prvi značajniji pad, 2003. godina ujedno je bila godina u kojoj su zabilježene najmanje proizvedene količine u iznosu od $0{,}043 \times 10^3 m^3$. Sljedeću godinu proizvodnja se polako počela oporavljati, no ne zadugo. Uslijedio je duži period u kojem je proizvodnja kontinuirano opadala. Nakon tog osmogodišnjeg pada proizvodnje, 2011. godine dolazi do naglog porasta proizvodnje sve do 2013. godine kada su zabilježene najveće proizvedene količine pilna ($0{,}467 \times 10^3 m^3$) (IEA, 2016.).

Slika 6-10. Proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta u Nizozemskoj (IEA, 2016.)

7. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA U SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA

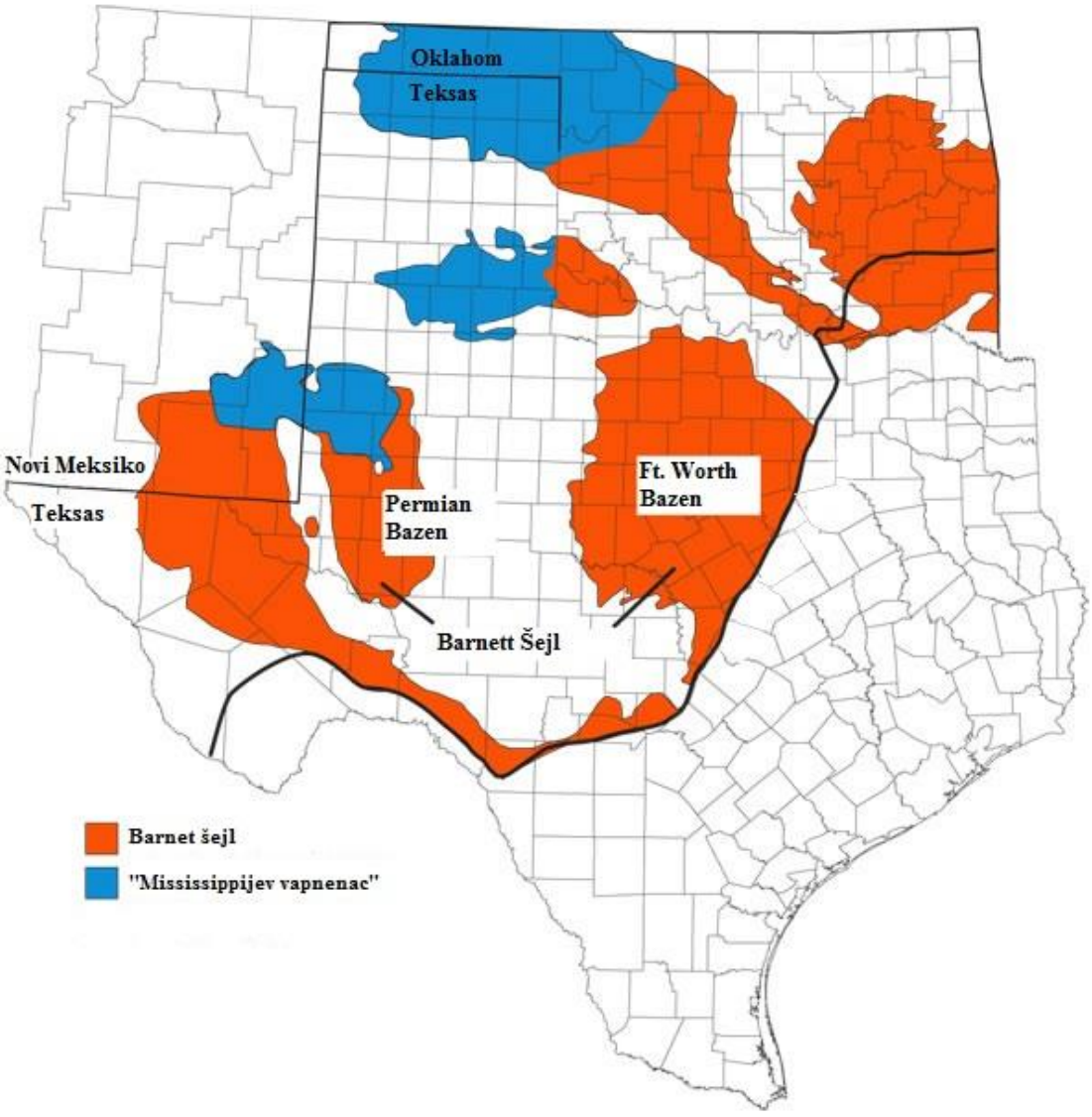
U SAD-u, operativna učinkovitost i tehnološka inovacija potaknuli su smanjenje troškova, povećali produktivnost i omogućili neobičnu revoluciju opskrbe plinom iz nekonvencionalnih ležišta brže nego što su mnogi političari i dioničari mogli zamisliti. Plin proizveden iz nekonvencionalnih ležišta čini više od 40% domaće plinske proizvodnje u SAD-u i više od 10% svjetske proizvodnje (Vossoughi, 2011.). U 2016. utjecaj proizvodnje plina iz šejla snažniji je nego ikad. Najnovija procjena ukupnih rezervi plina u SAD-u u naslagama šejla su 1,161 × $10^{12} m^3$. Najveće količine plina u šejlu u SAD-u nalaze se u četiri velika bazena: 'Marcellus' (Slika 7-1.), 'Barnett', 'Haynesville' i 'Fayetteville' (Vossoughi, 2011.).

'.

Slika 7-1. Geografska rasprostranjenost 'Marcellus' formacije šejla (Marcellus drilling news ,2015.)

'Barnett' formacija šejla nalazi se u Fort Worth bazenu u Texasu (slika 7-2.). Otkriven je 1950., a sve do 1980. nije došlo do komercijalne proizvodnje plina na tom području. To je prvo ležište šejla koje je privedeno komercijalnoj proizvodnji uz primjenu horizontalnog bušenja i hidrauličkog frakturiranja u SAD-u. Dubina naslaga šejla nalazi se

između 1900 m i 2400 m i obuhvaća 13 000 km^2. Naslage šejla izrazito su nepropusne te je praktički nemoguće bilo proizvest plin u komercijalnim količinama, dok naftne i plinske kompanije nisu naučile kako učinkovito primijeniti hidrauličko frakturiranje unutar formacije. Uvođenjem horizontalnog bušenja, uz primjenu hidrauličkog frakturiranja, dodatno se olakšala proizvodnja plina te se ujedno povećala i ekonomičnost proizvodnje na tom području. Od 2012. godine na području 'Barnett-a' bilo je 235 operatora, tvrtki koje upravljaju proizvodnjom.



Slika 7-2. Geografska rasprostranjenost 'Barnett' formacije šejla (Bohnen, 2016.)

'Hayneville' formacija šejla (Slika 7-3.) nalazi se u istočnom Texas-u i sjeverozapadnoj Louisiani, na dubini između 3300 m i 3900 m te izrazito male permabilnosti. Proizvodnja i istraživanje na ovom području još su u relativno ranoj fazi.

Slika 7-3. Geografska rasprostranjenost ’Haynesville’ formacija šejla (Marcellus drilling news, 2017.)

’Fayetteville’ je četvrto veliko područje naslaga šejla u SAD-u smješteno na području Arkansasa. Obuhvaća 15 160 km^2 površine, a pretpostavlja se količina rezervi iznosi 375 x $10^9 m^3$ plina (Slika 7-4.).

Slika7-4. Geografska rasprostranjenost ‘Fayetteville’ formacija šejla (Energy advance Arkansas)

8. UTJECAJ PROIZVODNJE PLINA IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA NA UVOZ, TRGOVANJE I CIJENU PLINA

8.1. Utjecaj proizvodnje plina iz nekonvencialnog ležišta na uvoz prirodnog plina

Utjecaj plina iz ležišta šejla na energetsku ovisnost velikim dijelom ovisi o stupnju proizvodnje i povećanju potražnje za plinom na pojedinom području. Trenutna proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta, na području Europe ne zadovoljava potrebe EU za prirodnim plinom. Čak i u najoptimističnijem scenariju s velikim rezervama i malim troškovima proizvodnje, europska proizvodnja plina iz nekonvencionalnih ležišta može jedino nadoknaditi pad proizvodnje plina iz konvencionalnih ležišta. Pod takvim okolnostima to podrazumijeva da će ovisnost Europe o uvozu plina još neko vrijeme biti kontinuirana. U najboljem slučaju razvoj proizvodnje iz ležišta šejla ima potencijal smanjiti ovisnost Europe o uvozu plina. Po provedenim istraživanjima pretpostavlja se da će u slučaju značajne proizvodnje iz šejla do 2040. godine ovisnost o uvozu pasti sa 79% na 57% (Chiodi et al., 2016.)

U pojedinim regijama, poput Indije, gdje dolazi do velike potrebe za rastom proizvodnje plina, čak i porast proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta ne može spriječiti povećanje uvoza radi zadovoljavanja potreba za plinom. S druge strane Kina, uz pretpostavku velikih rezervi i malih troškova proizvodnje, planira do 2040. godine smanjiti uvoz plina između tri četvrtine i polovice ukupnih potreba. Ukoliko se pokaže da je proizvodnja iz nekonvencionalnih ležišta puno skuplja i teže izvediva, ovisnost o uvozu plina će se povećati za 60%.

U SAD-u, plin proizveden iz nekonvencionalnih ležišta namjenjen je domaćem tržištu. Pretpostavlja se da će u slučaju povećanja proizvodnje iz ležišta šejla, proizvedeni plin preuzet vodeču na tržištu plina, a plin iz nekonvencionalnih ležišta postupno će se uvoditi kao zamjena za ugljen u elektroenergetskom sektoru (Vossoughi, 2011).

8.2. Utjecaj proizvodnje plina iz nekonvencialnog ležišta na trgovinu plinom

Trgovina nekonvencionalnim plinom trenutno se odvija isključivo na lokalnim tržištima. Inozemni izvoz je skup, zahtijeva razvijen sustav plinovoda ili proizvodnih pogona. Zbog visokih cijena međunarodnog transporta proizvođači često plin namijenjen inozemnom tržištu prodaju na lokalnim tržištima. Razvoj plina iz nekonvencionalnih ležišta doveo bi do porasta broja transportnih pravaca, modernizacije infrastrukture i plinovoda. Međutim, neizvjesnost oko tehničke i financijske održivosti mnogih planiranih projekata, politički otpor i industrijska lobiranja usporavaju razvoj trgovine plinom (Blackwill and O'Sullivan, 2014.).

8.3. Cijene plina

Budući da je plin iz ležišta šejla značajan faktor u domaćoj proizvodnji prirodnog plina SAD-a tek nekoliko godina, analitičari smatraju da je teško precizno odrediti učinke koji je plin iz šejla imao na cijene prirodnog plina. Nakon perioda relativno niskih cijena plina, očekuje se da će se cijena prirodnog plina na svim značajnim tržištima porasti do 2020. godine. Prema "Brzo rastućem" modelu očekuje se nastavak rasta američkog tržišta plina, pri čemu povećanje opskrbe prirodnim plinom ima tendenciju smanjenja cijena. S druge strane, niže cijene mogu smanjiti aktivnosti bušenja, što na kraju rezultira smanjenom proizvodnjom. Kako bi se izbjegla prekomjerna ponuda prirodnog plina na tržištu, proizvođači su smanjili aktivnosti bušenja. Međutim, usprkos usporavanju aktivnosti bušenja, ukupna proizvodnja nastavlja rasti, zbog povećanja primjene hidrauličkog frakturiranja i horizontalnog bušenja (Chiodi et al., 2016.). Velika većina električne energije proizvodi se iz ugljena i prirodnog plina. Kada se cijene konkurentnih goriva povećavaju u odnosu na trošak prirodnog plina, prebacivanje s tih goriva na prirodni plin može rezultirat povećanjem potražnje i cijena prirodnog plina (EIA, 2017.). Budući da je cijena prirodnog plina pala u odnosu na ugljen, sektor električne energije povećava potrošnju prirodnog plina i smanjenu potrošnju ugljena. U 2016. godini po prvi put je više električne energije proizvedeno korištenjem prirodnog plina u odnosu na ugljen, prirodni plin bio je najveći izvor proizvodnje električne energije (EIA, 2017.). Povećanje cijena plina na tržištu SAD-a očekuje se i kao posljedica sve veće upotrebe prirodnog plina

u energetskim sustavima u svrhu smanjenja emisija stakleničkih plinova u energetskom sustavu (tzv. dekarbonizacija energetskog sustava).

Kako će razvoj plina iz nekonvencionalnih ležišta utjecat na cijene plina u Europi, ne ovisi samo o proizvodnji u Europi, već i o proizvodnji van granica Europe. Ukoliko tržište plina ostane lokalno, zbog neophodnog transporta plinovodima, cijene plina će pretežno ovisiti o lokalnoj proizvodnji, dok će ostala fosilna goriva i energetska tržišta imati samo indirektan učinak na kretanje cijena plina. S druge strane ukoliko se plin iz nekonvencionalnih ležišta probije na globalno tržište, cijene plina biti će pod utjecajem proizvodnje, troškova transporta i stanja na globalnom tržištu plinom. Glavni utjecaj na cijene plina u Europi u sljedećem desetljeću, će na prvom mjestu ovisiti o daljnjem iskorištavanju nekonvencionalnih ležišta plina u SAD-u. Hoće li plin iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u postati globalno trgovačko dobro ne ovisi samo o razvoju proizvodnje i potrošnje plina u SAD-a, već ovisi o plitičkim odlukama. Izravan utjecaj proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta, na cijene plina pojavit će samo ukoliko SAD počne izvoz plina. Osim toga, zamjena ugljena plinom u proizvodnji električne energije može utjecati znatno na cijena plina. Povećanjem korištenja prirodnog plina u proizvodnji električne energije, dolazi do povećanja potražnje za prirodnim plinom što će uz stalnu proizvodnju rezultirati smanjenjem cijena plina.

9. NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA PLINA U HRVATSKOJ

Hrvatska ima dugu povijest proizvodnje ugljikovodika. Najznačajnija hrvatska plinska polja su polja duboke Podravine, prije svega Molve koje su dugi niz godina zadovoljavale hrvatske potrebe za prirodnim plinom. Obzirom na dugu povijest proizvodnje ugljikovodika proizvodnja se u Hrvatskoj, kao i ostalim zemljama, počela smanjivati zbog iscrpljenosti ležišta. Stoga je zadaća Hrvatske ispitati mogućnosti proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta. Prisutnost nekonvencionalnih ležišta otkrivena je u području Savske, Dravske i Murske depresije. Navedena područja obuhvaćaju sjeverni i istočni dio Republike Hrvatske, a čine ih naslage stijena neogenske i kvartarne starosti.

Slika 9-1. Područje prostiranja Dravske depresije (Malvić, Velić, 2008.)

9.1. Murska depresija

Murska depresija nalazi se u sjevernom dijelu Hrvatske, između rijeke Mure i Drave. U ovom području se pridobiva prirodni plin iz konvencionalnih ležišta na poljima Vučkovec i Vukanovec. Potencijalne rezerve prirodnog plina u nekonvencionalnim

ležištima nalaze se u obliku slabopropusnih pješčenjaka i dominantno pelitnih sedimenata. Karakteristike ležišta Murske depresije su:

- Ležišta se nalaze na dubini između 3000-4000 m s prosječnom debljinom od oko 500 m,
- Visoka temperatura i tlak (190ºC i 570 bar),
- Šupljikavost 3,2-19%,
- Propusnost 0,00017x$10^{-16}$$m^2$.

9.2. Dravska depresija

Dravska depresija pokriva otprilike 12 000 km^2 površine, od čega se 9100 km^2 nalazi u Hrvatskoj, a ostatak u Mađarskoj. U Dravskoj depresiji je otkriveno novo nekonvencionalno ležište prirodnog plina, u formaciji slabopropusnih pješčenjaka. Ležište se nalazi na dubini od 3500 do 4500 metara, a debljina stijene koja je zasićena ugljikovodicima varira između 200 i 600 metara (Malvić, Velić, 2008).

10. ZAKLJUČAK

Prema predviđanjima potrošnja prirodnog plina će se u budućnosti sve više povećavati, dok će se s druge strane proizvodnja plina u Europi iz domaćih ležišta sve više smanjivati. Upravo zbog toga, nekonvencionalna ležišta prirodnog plina imaju sve veću ulogu u zadovoljavanju rastućih energetskih potreba. No, takva ležišta su geološki vrlo kompleksna i tehnološki zahtjevna za privođenje eksploataciji pa se smatraju pravim tehnološkim izazovima. Da bi došlo do isplative proizvodnje plina iz nekonvencionalnih ležišta, potrebna su veća kapitalna ulaganja te razvoj i usavršavanje tehničkih i tehnoloških rješenja. Napredak industrije, šire razumijevanje tržišta, cijena, politike i geopolitike jednako su bitni u određivanju budućnosti plin iz nekonvencionalnih ležišta.

Upravo ta tehnološka rješenja poput hidrauličkog frakturiranja, dovode do velikih rasprava i prepreka vezanih za proizvodnju iz nekonvencionalnih ležišta. Mnoge Europske zemlje zabranile su procese hidrauličkog frakturiranja zbog potencijalnog štetnog učinka na okoliš. Isto tako veliki problem eksploataciji stvaraju i društvene udruge organizirajući razne prosvjede s ciljem stvaranja pritiska na vlast. Dugoročna očekivanja su da će u budućnosti iskorištavanje nekonvencionalnih rezervi plina imat veliku ulogu u Europi.

Proizvodnja plina iz ležišta šejla u SAD-u zadnjih par godina ubrzano se razvija. U 2016. godini proizvodnja iz šejlova veća je nego ikad,plin iz nekonvencionalnih ležišta čini više od 40% domaće plinske proizvodnje u SAD-u i više od 10% svjetske proizvodnje. Međutim proizvedene količine još uvijek su rezervirane za zadovoljavanje vlastitih potreba, veliki troškovi transporta i politka sprječavaju širenje plina iz nekonvencionalnih ležišta SAD-a s lokalnog na globalno tržište. Očekuje se da će se u skoroj budućnosti globalna trgovina prirodnim plinom povećati.

Cijena plina na tržištu ovisi o nizu čimbenika te je sklona promjenama. Proizvodnja, potražnja, troškovi transporta, politika sve su to čimbenici koji snažno utječu na kretanje cijena plina. Proizvodnja iz nekonvencionalnih ležišta još uvijek ne ostavlja snažan utjecaj na kretanje cijena plina, međutim očekuje se da će širenjem proizvodnje s lokanih na globalno tržište, prirodni plin iz nekonvencionalnih ležišta imat će veliku važnost pri određivanju cijena plina.

Hrvatska će ukoliko dođe do razvoja komercijalno isplative ekspolatacije rezervi, smanjiti ovisnost o uvozu plina, te će uz dosadašnju proizvodnju sa svojih starih ležišta osigurati povećanje energetske stabilnosti, a dugoročno gledajući takva istraživanja će utjecati pozitivno na gospodarski rast. Nužno je osigurati korištenje suvremene tehnologije kojima bi se osigurala ekonomski isplativa proizvodnja prirodnog plina.

11. LITERATURA

1. CHIODI, A., GARGIULO, M., GRACCEVA, F., DE MIGLIO, R., SPISTO, A., COSTESCU, A., GIACCARIA, S., 2016. Unconventional oil and gas resources in future energy markets: A modelling analysis of the economic impacts on globas energy markets and implication for Europe, Science for Policy report, Luxembour: Publications Office of the European Union, 10.2760/103731
2. EL-SAYED, A.H., KHALAF, F., GHZALY, S.M., 1991. Casing Design Considerations for Horizontal wells, Bahrain
3. GANDOSSI, L., ESTORFF, U., 2015. An overview of hydraulic fracturing and other formation stimulation technologies for shale gas production, European Union
4. GÉNY, F., 2010. Can unconventional gas be a game changer in european gas markets, Oxford: Oxford Institute for Energy Studies
5. GODEC, M., SPISTO, A., 2016. Economic impacts and frameworkconditions for potential unconventional gas and oil extraction in the EU, Luxembourg
6. KARASALIHOVIĆ SEDLAR, D., 2016. Proizvodnja ugljikovodika iz nekonvencionalnih ležišta- analiza EU prakse i RH potencijala, Sveučilište u Zagrebu
7. MALVIĆ, T., VELIĆ, J., 2008. Geologija ležišta fluida: fakultetska skripta. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet
8. MIHALACHE, A., 2015. No shale gas in Eastern Europe, after all: implications of Chevron's exit from Romania, Chamber of Commerce Amsterdam
9. Milieu, 2015a. Study on the application in relevant member states of the Commission recommendation on minimum principles for the exploration and production of hydrocarbons using high-volume hydraulic fracturing, National report: Germany, Brussels: Milieu Law and policy consulting, 070201/2014/690962/ETU/ENV.F.1
10. Milieu, 2015b. Study on the application in relevant member states of the Commission recommendation on minimum principles for the exploration and production of hydrocarbons (such as shale gas) using high-volume hydraulic fracturing, National report: Poland, Brussels: Milieu Law and policy consulting, 070201/2014/690962/ETU/ENV.F.1
11. Milieu, 2015c. Study on the application in relevant member states of the Commission recommendation on minimum principles for the exploration and production of hydrocarbons (such as shale gas) using high-volume hydraulic fracturing, National

report: The United Kingdom, Brussels: Milieu Milieu Law and policy consulting, 070201/2014/690962/ETU/ENV.F.1

12. PÖYRY, 2011. The impact of unconventional gas on Europe, Oxford
13. TOMIĆ, J., 2017. Fluidi za frakturiranje, Diplomski rad, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet
14. Unconventional gas in Scotland 2014. Scottish enviroment protection agency
15. Unconventional gas: Potential energy market impacts in the European union 2012. Petten: Joint Research Center of the European Commission
16. Unconventinal oil and gas resources in future energy markets 2016. Luxembourg: Ured za publikacije Europske unije
17. VOSSOUGHI, S., 2011. Unconventional gas resources in the U.S.A., University of Kansas
18. ZELENIKA, M., 2015. Ekonomičnost provođenja eksploataciji nekonvencionalnog ležišta prirodnog plina (analiza slučaja), Diplomski rad, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet
19. ZELIĆ, M., 2015. Energetska analiza u svijetu i u republici Hrvatskoj, Zagreb

Internet izvori:

20. BERNOVICI, A., 2016, Court of Auditors: Chevron left Romania leaving unpaid debts behind. The Romania journal.
    URL: http://www.romaniajournal.ro/court-of-auditors-chevron-left-romania-leaving-unpaid-debts-behind/ (07.12.2017.)
21. BOHNEN, J., 2016, Chesapeake Energy Said to be Considering Sale of Barnett Shale Holdings. OK energy today.
    URL: http://www.okenergytoday.com/2016/08/20424/ (16.12.2017.)
22. DETISCH, C., 2015, Fracking in Romania: Gone, but Hardly Forgotten. Global frackdown.
    URL: https://globalfrackdown.org/blog/2015/09/28/fracking-in-romania-gone-but-hardly-forgotten/ (07.12.2017.)
23. Enerdata,
    URL: https://www.enerdata.net/ (03.11.2017.)
24. Energy advance Arkansas,
    URL: http://www.energyadvancesarkansas.com/about/fayetteville-shale (05.01.2018.)
25. Global energy statistical yearbook, 2017.

URL: https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/world-natural-gas-production-statistics.html (15.10.2017.)

26. IGas Energy,
URL: https://www.igasplc.com/ (23.10.2017)
27. International energy agency (IEA)
URL: https://www.iea.org/ (27.09.2017.)
28. Marcellus drilling news, 2015.
URL: https://marcellusdrilling.com/2015/09/bentek-august-natgas-production-nearly-as-high-as-july-record/ (16.12.2017.)
29. Marcellus drilling news, 2017.
URL: https://marcellusdrilling.com/2017/08/haynesville-shale-tops-marcellus-rig-count-1st-time-since-2011/ (04.01.2018.)
30. Oil and gas logistics, 2013.
URL: https://oilandgaslogistics.wordpress.com/2013/09/05/the-state-of-shale-in-europe-poland (20.10.2017.)
31. The truth about hydro fracking, 2014.
URL: https://thetruthabouthydrofracking.wordpress.com/ (16.10.2017.)
32. True Publica, 2017.
URL: http://truepublica.org.uk/united-kingdom/fracking-in-the-uk-opposed-nationwide-overruled-by-westminster/ (09.12.2017.)
33. U.S. energy information administration
URL: https://www.eia.gov/tps (26.09.2017.)

IZJAVA

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

Roberta Škara