

# Rezerve i proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta u Sjedinjenim Američkim Državama

---

Hribar, Nika

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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:169:997036>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij naftnog rudarstva

**REZERVE I PROIZVODNJA NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA U  
SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA**

Završni rad

Nika Hribar

N4414

Zagreb, 2023.

REZERVE I PROIZVODNJA NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA U SJEDINJENIM  
AMERIČKIM DRŽAVAMA

Nika Hribar

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

Sažetak

Naftna industrija je dugi niz desetljeća glavni pokretač američkog gospodarstva. SAD su bile veliki uvoznik nafte te je svaka promjena na svjetskom naftnom tržištu imala veliki utjecaj na američko gospodarstvo. Posljednja dva desetljeća rezerve nafte iz konvencionalnih ležišta u SAD-u se smanjuju, a potrebe za energijom sve više rastu. To je usmjerilo industriju na razvoj i primjenu novih tehnologija kojima bi se nafta mogla pridobivati iz nekonvencionalnih ležišta. Na engleskom jeziku nafta pridobivena iz ovakvih ležišta zajednički se naziva tight oil, gdje riječ tight sugerira malu propusnost stijena iz kojih nije moguće proizvoditi naftu u zadovoljavajućim količinama bez primjene tehnologija horizontalnog bušenja i hidrauličkog frakturiranja. Hidrauličko frakturiranje je postupak utiskivanja fluida za frakturiranje u ležište radi stvaranja pukotina čime se može povećati proizvodnja. Razvoj proizvodnje nafte iz slabo propusnih ležišta značajno je utjecao na tržište nafte tako da su SAD postale velesila u proizvodnji nafte u 21. stoljeću i od velikog uvoznika postale izvoznik nafte. Dokazane rezerve nafte u SAD su se tijekom 21. stoljeća gotovo udvostručile zahvaljujući velikom udjelu nekonvencionalne nafte. Najveća područja proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta su Bakken, Eagle Ford i ležišta Permskog bazena.

Ključne riječi: nekonvencionalna nafta, nafta iz slabo propusnih ležišta, Bakken, Eagle Ford, Permski bazen, nekonvencionalna ležišta, rezerve

Završni rad sadrži: 35 stranica, 19 slika i 17 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: Dr.sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF-a

Ocjenjivači: Dr.sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNF-a  
Dr.sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF-a  
Dr.sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA .....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. NAFTNO TRŽIŠTE SAD-a TIJEKOM 21.STOLJEĆA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Proizvodnja nafte .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Rezerve nafte .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Cijene nafte.....</b>	<b>5</b>
<b>3. PROIZVODNJA NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA – SHALE REVOLUTION.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Tehnologija razrade i proizvodnje.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Izazovi tijekom razrade i proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.1 Pad proizvodnje i potreba za novim bušenjem .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.2 Troškovi i ulaganja .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3 Zaštita okoliša.....</b>	<b>14</b>
<b>4. GLAVNA PODRUČJA PROIZVODNJE NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Bakken područje .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2. Eagle Ford područje .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Permski bazen .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3.1 Spraberry područje .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3.2 Wolfcamp područje.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.3 Bone Spring područje .....</b>	<b>27</b>
<b>5. BUDUĆNOST PROIZVODNJE NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA .....</b>	<b>30</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>32</b>
<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>34</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Proizvodnja nafte u SAD-u u 21.stoljeću .....	2
<b>Slika 2-2.</b> Dokazane rezerve nafte u SAD tijekom 21. stoljeća .....	4
<b>Slika 2-3.</b> Kretanje WTI Spot cijena nafte tijekom 21. stoljeća.....	6
<b>Slika 3-1.</b> Grafički prikaz tehnologije proizvodnje.....	10
<b>Slika 3-2.</b> Denver – Texas .....	11
<b>Slika 3-3.</b> Bliži prikaz bušaćih postrojenja usred grada Denver .....	11
<b>Slika 3-4.</b> Trend aktivnih bušaćih postrojenja u SAD i WTI Spot cijena nafte .....	13
<b>Slika 4-1.</b> Ilustracija glavnih područja proizvodnje nekonvencionalne nafte i plina iz škriljevaca.....	15
<b>Slika 4-2.</b> Dnevna proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u.....	16
<b>Slika 4-3.</b> Distribucija bušotina u Bakken području .....	17
<b>Slika 4-4.</b> Dnevna proizvodnja nafte na Bakken području .....	18
<b>Slika 4-5.</b> Distribucija bušotina Eagle Ford području.....	19
<b>Slika 4-6.</b> Dnevna proizvodnja nafte na Eagle Ford području .....	20
<b>Slika 4-7.</b> Distribucija bušotina na Spraberry području .....	22
<b>Slika 4-8.</b> Dnevna proizvodnja nafte na Spraberry području .....	23
<b>Slika 4-9.</b> Distribucija bušotina u Wolfcamp području .....	25
<b>Slika 4-10.</b> Dnevna proizvodnja nafte na Wolfcamp području .....	25
<b>Slika 4-11.</b> Distribucija bušotina na Bone Spring području.....	27
<b>Slika 4-12.</b> Dnevna proizvodnja nafte na Bone Spring području.....	28

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
-	Bbl	barel = 0.16m <sup>3</sup>
-	MMBbl	milijun barela
-	MMBbl/d	milijun barela dnevno
-	BnBbl	milijarda barela
-	°API	stupnjevi API - specifična težina nafte prema Američkom naftnom institutu (engl. <i>American Petroleum Institute</i> )
-	OPEC	organizacija zemalja izvoznica nafte (engl. <i>Organization of the Petroleum Exporting Countries</i> )

## 1. UVOD

Nafta i prirodni plin igraju ključnu ulogu u pokretanju aktivnog američkog gospodarstva i održavanju visoke kvalitete života u Sjedinjenim Američkim Državama. SAD su sve do nedavno bile veliki uvoznik nafte te je svaka promjena na svjetskom tržištu nafte imala veliki utjecaj na američko gospodarstvo. A takvih je promjena tijekom 21. stoljeća bilo nekoliko, od globalne financijske krize 2008. godine, preko „Arapskog proljeća“ 2011. godine, reguliranja tržišta utjecajem proizvodnih kvota OPEC-a, do pandemije COVID-19 i nedavne invazije Rusije na Ukrajinu.

Uz kontinuirane promjene na svjetskom naftnom tržištu, tijekom ovog stoljeća je intenziviran utjecaj novih politika i propisa o zaštiti okoliša kroz kontrole kako nad proizvodnjom i preradom nafte, tako i nad upotrebom naftnih proizvoda. Problem klimatskih promjena i emisija CO<sub>2</sub> te drugih štetnih plinova i tvari nastalih u industriji fosilnih goriva predstavlja još veće izazove za naftnu industriju u SAD-u. Početak ere napuštanja potrošnje nafte i naftnih proizvoda i okretanja prema alternativnim i obnovljivim izvorima energije prijeto negativnim utjecajima na tržište nafte uz smanjenu potražnju za naftom u budućnosti. Prilagodba zakonskih okvira i konačna odluka američke administracije da, ili nastavi ovim tempom ili obuzda proizvodnju nafte radi postizanja svojih klimatskih ciljeva, zasigurno će imati velike lokalne i globalne posljedice.

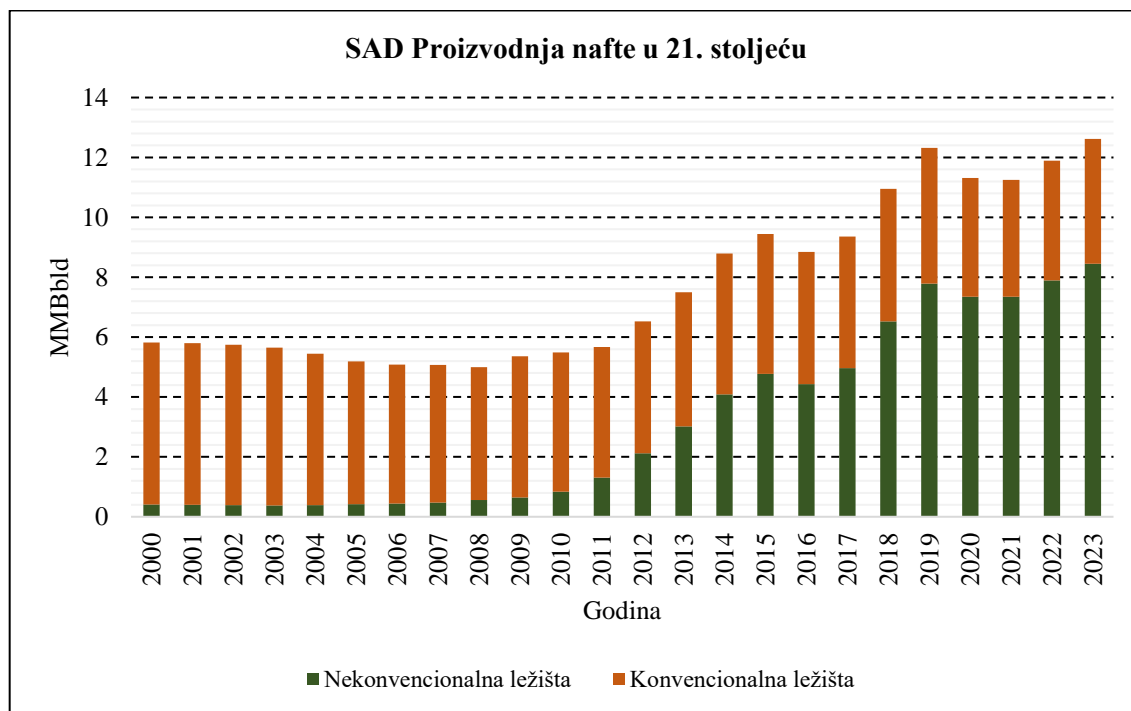
SAD su vodeći potrošač nafte u svijetu. Tijekom 2023. godine razina potrošnje nafte i drugih tekućih goriva kreće se iznad 20 milijuna barela dnevno (  $Bbl=0.16m^3$  ). To iznosi više od zbroja potrošnje Kine i Indije koji se nalaze kao 2. i 3. država na ljestvici najvećih svjetskih potrošača nafte.

Nekoliko ključnih napredaka u naftnoj tehnologiji te njihova primjena u proizvodnji nafte iz nekonvencionalnih ležišta omogućile su značajno povećanje proizvodnje nafte, postavile SAD u poziciju izvoznika nafte prvi puta od sredine prošlog stoljeća te osigurale energetske sigurnost i ekonomsku korist cijeloj zemlji. Danas, proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD čini više od 65% ukupne proizvodnje nafte i svaka promjena na naftnom tržištu će svakako utjecati na takvu proizvodnju. Isto tako, svaka promjena, pogotovo negativna, u sferi proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta će zasigurno imati veliki utjecaj na gospodarstvo i ekonomiju SAD-a a i na globalno tržište.

## 2. NAFTNO TRŽIŠTE SAD-a TIJEKOM 21.STOLJEĆA

### 2.1. Proizvodnja nafte

Početak 21. stoljeća su gotovo svi energetske analitičari smatrali da je proizvodnja nafte i plina u SAD-u u konačnom padu. Proizvodnja nafte, koja dosegla je vrhunac 1970. godine s deset milijuna barela dnevno (MMBbl/d), pala je na manje od 5 MMBbl/d.



**Slika 2-1.** Proizvodnja nafte u SAD-u u 21.stoljeću ( U.S. Energy Information Administration, 2023.)

Ukupna proizvodnja nafte u SAD-u (Slika 2-1.) svoju najnižu razinu dostigla je 2008. godine kada je proizvedeno manje od 5 MMBbl. Završetkom globalne ekonomske i financijske krize, oporavkom gospodarstva te intenziviranjem investiranja i primjene novih tehnologija u proizvodnji nafte iz nekonvencionalnih ležišta rezultiralo je postupnim povećanjem proizvodnje nafte u SAD. Trend rasta proizvodnje bio je nakratko zaustavljen uslijed globalne pandemije 2020. godine ali je ubrzo nastavio rasti tako da je tijekom prvih šest mjeseci 2023. godine prosječna proizvodnja nafte u SAD bila na dnevnoj razini od 12,6 MMBbl, što je više nego ikad. Nafta proizvedena iz nekonvencionalnih ležišta danas čini 66% ukupne proizvodnje nafte u SAD.



Uz kontinuirani razvoj tehnologije, nekoliko je ključnih razloga takvog porasta proizvodnje nafte:

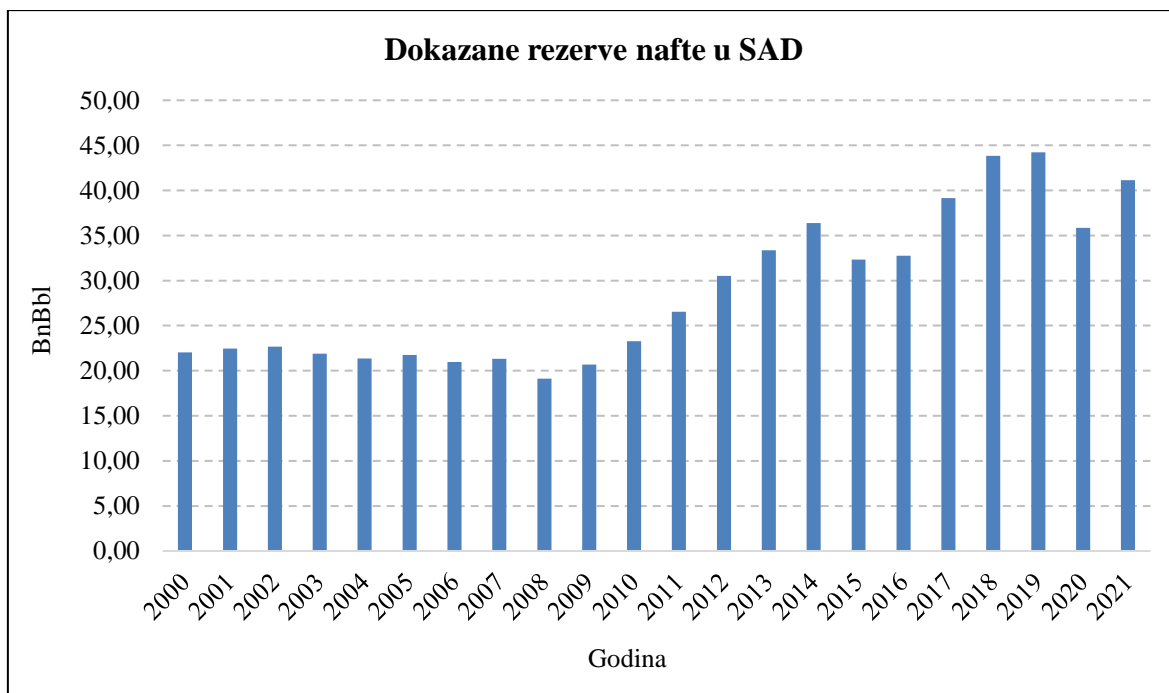
- Sjedinjene Države su jedinstvene po tome što vlasnik zemlje posjeduje resurse ugljikovodika ispod svoje imovine - za razliku od drugdje u svijetu gdje vlade posjeduju prava na ugljikovodike pod zemljom,
- Industrija nafte i plina ima pristup kapitalu,
- Naftne i plinske kompanije imaju bogato stručno znanje o geologiji Sjeverne Amerike,
- Propisi u Sjedinjenim Državama promiču razvoj nafte i plina i osiguravaju stabilan i predvidljiv postupak izdavanja dozvola i
- SAD ima koristi od velike infrastrukturne mreže koja može podnijeti širenje sektora nafte/plina.

Iako su ti čimbenici pridonijeli uspjehu i razvoju naftne industrije u SAD, svaka nova geološka i politička situacija zahtijevat će jedinstveni i drugačiji pristup iskorištavanju resursa iz slabo propusnih ležišta drugdje u svijetu.

## **2.2. Rezerve nafte**

Rezerve nafte i sposobnost održavanja razine tih rezervi te povećanja globalne opskrbe naftom temelj je američke industrije i gospodarstva. Naftna industrija je uvjerljivo najveći pokretač američkog gospodarstva i podržava milijune radnih mjesta u SAD, osigurava niže troškove energije za potrošače te osigurava energetske sigurnost države i rast gospodarstva.

Dokazane rezerve nafte su procijenjene količine sirove nafte za koje geološki i inženjerski podaci s razumnom sigurnošću pokazuju da se mogu proizvesti u budućim godinama iz poznatih ležišta pod postojećim ekonomskim i proizvodnim uvjetima, tj. uz cijene i troškove na dan izrade procjene.



**Slika 2-2.** Dokazane rezerve nafte u SAD tijekom 21. stoljeća (U.S. Energy Information Administration, 2023.)

Kontinuirani porast dokazanih rezervi nafte u SAD (Slika 2-2.) nakon 2008. godine i oporavka gospodarstva nakon globalne financijske krize je u najvećoj mjeri rezultat visoke aktivnosti bušenja novih bušotina na nekonvencionalnim ležištima. Od tada, dokazane rezerve nafte iz nekonvencionalnih ležišta predstavljaju sve značajniji udio u ukupnim rezervama nafte u SAD. Na dan 31. prosinca 2021. godine dokazane rezerve nafte iz nekonvencionalnih ležišta iznosile su 24 milijarde barela (BnBbl) što čini gotovo 60% ukupnih dokazanih rezervi u SAD.

2021. godine su dokazane rezerve nafte u SAD-u porasle 15% u odnosu na 2020. godinu, na ukupno 41,15 BnBbl. Dokazane rezerve nafte smanjile su se za 19% tijekom 2020. zbog ograničene potražnje i proizvodnje nafte povezane s pandemijom. Međutim, tijekom 2021. godine potražnja za naftom se povećala, cijene su porasle, a dokazane rezerve nafte su ponovo prešle granicu od 40 BnBbl.

Prema zadnjim podacima SAD su ušle u vodećih 10 zemalja u svijetu po dokazanim rezervama nafte.

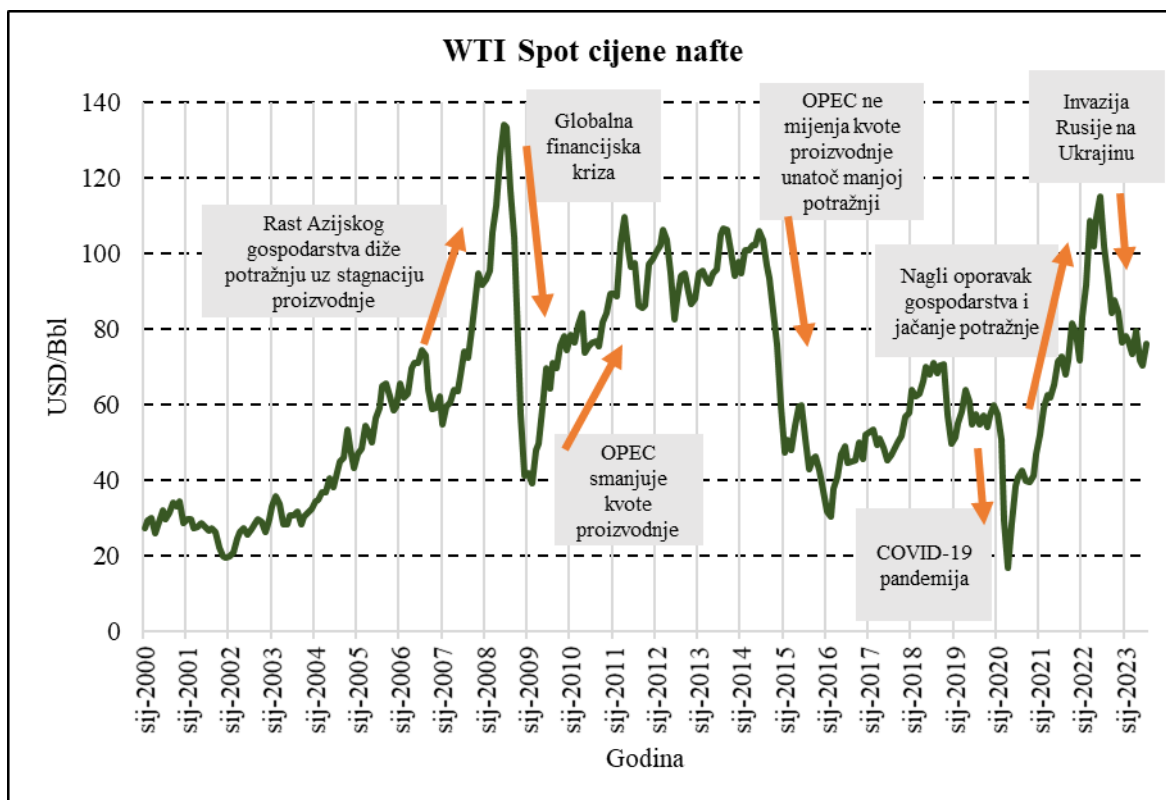
### 2.3. Cijene nafte

Cijena nafte općenito se odnosi na trenutnu cijenu barela za kupce i prodavače referentne sirove nafte što su:

- West Texas Intermediate (WTI) – laka (40°API) *slatka* (0,50% sumpora) nafta,
- Brent Crude – laka (38°API) *slatka* (0,37% sumpora) nafta ,
- Dubai Crude – srednje laka (31°API) *kisela* (eng. Sour) (2,00% sumpora) nafta,
- OPEC Reference Basket – mješavina 13 nafti proizvedenih u zemljama članicama OPEC-a - srednje laka (33°API) *kisela* (1,80% sumpora) nafta,
- Tapis crude - laka (43-45°API) *slatka* (0,04% sumpora) nafta,
- Bonny Light – srednje laka (32,9°API) *slatka* (0,14-0,16% sumpora) nafta,
- Urals oil - srednje laka (31-33°API) *kisela* (1,35-1,60% sumpora) nafta,
- Isthmus - srednje laka (32-33°API) *kisela* (1,80% sumpora) nafta ili
- Western Canadian Select (WCS) - teška (19-22°API) *kisela* (2,80-3,50% sumpora) nafta.

Cijene nafte u najvećoj mjeri određuju globalna ponuda i potražnja, a u manjoj mjeri razina domaće proizvodnje bilo koje zemlje.

U SAD-u referentna cijena odnosi se na trenutnu cijenu „West Texas Intermediate“ (WTI), također poznatu kao „Texas Light Sweet“, vrste sirove nafte koja se koristi kao referentna vrijednost u određivanju cijena nafte (Hussain, 2023.) WTI je laka sirova nafta, lakša od „Brent Crude“ nafte. Sadrži u pravilu manje od 0,50% sumpora, što ga smatra slatkom (engl. *Sweet*) sirovom naftom (nafte sa više sumpora su kisele (engl. *Sour*)). Svojstva takve nafte i mjesto proizvodnje čine ga idealnim za rafiniranje u Sjedinjenim Državama, uglavnom u regijama Srednjeg zapada i obale Meksičkog zaljeva.



**Slika 2-3.** Kretanje WTI Spot cijena nafte tijekom 21. stoljeća (Federal Reserve Bank of Dallas, 2023)

Na Slici 2-3. vidi se da u razdoblju od nekoliko godina početkom 21. stoljeća kontinuirani rast Azijskog gospodarstva uz povećanu potražnju za naftom je, uz stagnaciju proizvodnje, omogućio porast cijene do razine od preko 130 USD/Bbl. Taj porast je naglo prekinut globalnom ekonomskom i finansijskom krizom.

U razdoblju do 2015. godine OPEC (engl. *Organization of the Petroleum Exporting Countries*) je kvotama proizvodnje regulirao cijene nafte na razinama između 80 i 100 USD/Bbl. Tijekom razdoblja od 2012. do 2015. godine nova američka proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta kontinuirano je povećavala globalnu ponudu nafte. Do 2016. godine povećanje ponude je spustilo globalne cijene nafte na razinu od oko 26 USD/Bbl. OPEC je tada reagirao smanjenjem kvota proizvodnje i podigao cijene koje su se do 2020. godine kretale na razini od 60 USD/Bbl kada je negativni utjecaj globalne pandemije COVID-19 na cjelokupno svjetsko gospodarstvo snizio cijene nafte na rekordno niske razine.

Usljedio je oporavak gospodarstva uz povećanu potražnju i porast cijena nafte iznad 100 USD/Bbl. Invazija Rusije na Ukrajinu 2022. godine uz porast globalne geopolitičke nesigurnosti snizio je cijene nafte na tržištu na oko 75 USD/Bbl na kojoj se razini kreće i tijekom 2023. godine.

### 3. PROIZVODNJA NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA – *SHALE REVOLUTION*

Pojam nekonvencionalne formacije odnosi se na različite geološke strukture koje su sitnozrnate, organski bogate, sedimentne stijene - obično škriljevci, slabo propusni pješčenjaci i slične stijene. Takve formacije čine nekonvencionalna ležišta nafte i prirodnog plina, za razliku od konvencionalnih ležišta. Na engleskom jeziku nafta pridobivena iz ovakvih ležišta zajednički se naziva *tight oil*. Gdje riječ *tight* sugerira nisku propusnost stijena.

U Hrvatskom jeziku koriste se pojmovi nafta iz šejlova, škriljevaca i nekonvencionalnih ležišta koji nisu istoznačnice, dok se u Američkoj terminologiji koristi jedan pojam *tight oil*, čiji je najbolji Hrvatski prijevod nafta iz nekonvencionalnih ležišta.

Uljni škriljevac (engl. *Oil shale*) i nafta iz škriljevca (engl. *Shale oil*) sadrži mnogo proturječja. Znanstvenici i stručnjaci diljem svijeta dugo raspravljaju o korištenju ispravnih termina, ali još uvijek se nije uspjela uspostaviti usklađena terminologija tih pojmova. Brojne stijene i sedimenti sadrže sirovu naftu u svojoj poroznoj strukturi čiji je tehnički naziv *tight oil*. Nažalost, sve više se nafta iz nekonvencionalnih ležišta naziva naftom iz škriljevca, što je izazvalo dosta zabune među zainteresiranim istraživačima i stručnjacima te u industriji uljnog škriljevca u cjelini (Aarna i Reinsalu, 2015).

Uljni škriljevac je sedimentna stijena bogata organskom tvari koja se može industrijski preraditi u naftu. Karakteristična značajka uljnog škriljevca je prisutnost kerogena (organska tvar) iz koje se dobiva ulje toplinskom obradom u odsutnosti kisika. Ulje iz škriljevca je glavni proizvod termičke obrade ili prerade uljnog škriljevca. Iskorištavanje uljnog škriljevca tehnički je i ekonomski izvedivo samo ako se barem 20% kerogena u njemu može termičkom preradom pretvoriti u naftu.

Zemljani materijali koji sadrže naftu nazivaju se naftonosne stijene/sedimenti (engl. *oil-bearing rocks/sediments*), koji također uključuju naftni pijesak (engl. *Oil sands*). Stoga bi se za opisivanje ove nafte trebao koristiti izraz "nafta iz nekonvencionalnih ležišta", a za definiranje ovih škriljevca trebao bi se koristiti izraz "naftni škriljevac ili stijena". Nafta iz nekonvencionalnih ležišta u ovim stijenama i sedimentima je prirodna sirova nafta. Čak i ako je nafta dobivena iz sedimenata sličnih škriljevcu toplinskom obradom ili zagrijavanjem

(npr. izravnim zagrijavanjem vodenom parom u slučaju naftnog pijeska), to nije nafta iz škriljevca.

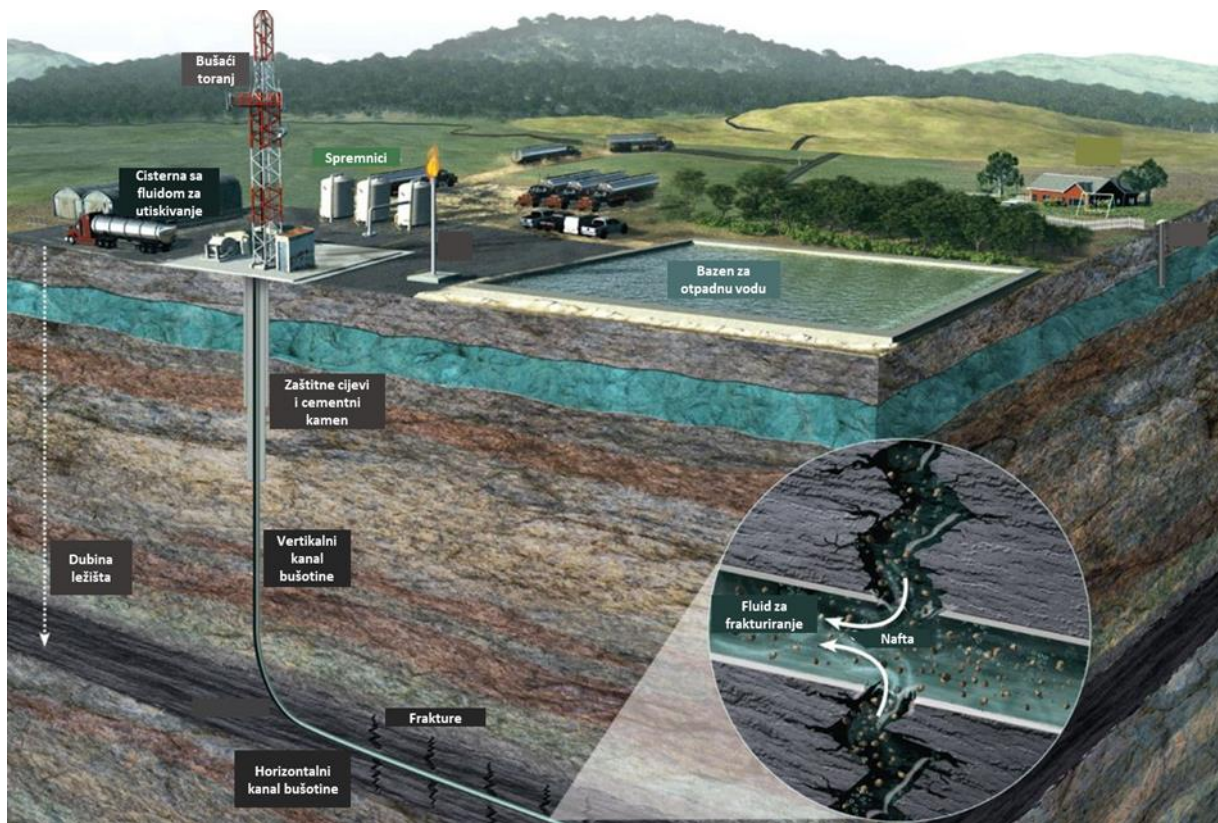
Svjetska udruga naftnih inženjera (SPE) definira "nekonvencionalne formacije" kao zalihe ugljikovodika koje se prostiru velikim područjem uz neznatan hidrodinamički utjecaj. Iako nekonvencionalne formacije mogu biti porozne kao i druge sedimentne ležišne stijene, njihovi iznimno mali promjeri pora i male propusnosti čine ih slabo propusnima za protjecanje ugljikovodika tijekom razrade polja. Nedostatak propusnosti rezultira tome da nafta i plin obično ostaju u matičnoj stijeni osim ako ne dođe do prirodnih ili umjetnih pukotina - fraktura.

### **3.1. Tehnologija razrade i proizvodnje**

Hidrauličko frakturiranje, tradicionalno bez horizontalnog bušenja, desetljećima se koristi za poticanje i povećanje proizvodnje iz postojećih naftnih bušotina (Beattie, 2022). Razvoj novih tehnologija bušenja, odnosno korištenja hidrauličkog frakturiranja u kombinaciji s horizontalnim bušenjem promijenilo je stanje rezervi nafte jer se tom primjenom omogućio pristup nafti iz nepropusnih matičnih stijena koje su prije bile nedostupne (Strauss Center, 2014).

Hidrauličko frakturiranje podrazumijeva utiskivanje mješavine vode, kemijskih dodataka i propanta (pijeska, keramičkih kuglica ili drugih malih nestlačivih čestica) pod visokim tlakom kroz kanal bušotine u ciljano ležište nafte. Ovaj postupak otvara i povećava frakture (pukotine) unutar formacije stijene a frakture se mogu protezati i do stotinjak metara dalje od kanala bušotine. Čestice propanta koje se koriste u postupku hidrauličkog frakturiranja drže otvorenima novonastale frakture.

Nakon što je proces utiskivanja završen, unutarnji tlak formacije stijene uzrokuje povratak tekućine na površinu kroz bušotinu. Ova tekućina je poznata i kao "povratna" ili "otpadna voda" i obično sadrži ubrizgane kemikalije uz prirodne materijale kao što su slana voda, metali, radionuklidi te ugljikovodici. Povratna tj. otpadna voda obično se pohranjuje na lokaciji bušotine u spremnicima ili bazenima prije obrade, odlaganja ili njenog recikliranja (United States Environmental Protection Agency, 2023).



Slika 3-1. Grafički prikaz tehnologije proizvodnje (Ehrenberg, 2012)

Metode i tehnologije bušenja i frakturiranja (Slika 3-1.) značajno su napredovale tijekom vremena jer su se primjenjivale na sve zahtjevnije formacije, uvelike povećavajući količinu vode koja se utiskuje, fluida za frakturiranje i tlakove u bušotinama prilikom operacija frakturiranja iz nekonvencionalnih ležišta.

Ove tehnologije su primijenjene na proizvodnju nafte iz nekonvencionalnih ležišta, uslijed čega je tijekom ovog stoljeća proizvodnja nafte u SAD-u, potaknuta prvenstveno proizvodnjom iz nekonvencionalnih ležišta, dramatično porasla te prekinula ovisnost države o uvozu nafte iz inozemstva i brigu o nestašici izvora energije. Taj nagli porast proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta mnogi nazivaju „*Shale Revolution*“ tj. revolucijom škriljevaca.





**Slika 3-2.** Denver – Texas (Google Earth, 2023)



**Slika 3-3.** Bliži prikaz bušaćih postrojenja usred grada Denver (Google Earth, 2023)

Na Slici 3.-2. i Slici 3-3. se vidi kako se aktivna bušača postrojenja nalaze čak i usred naseljenog dijela Denvera u Texasu. Velika potreba za kontinuiranim bušenjem i postavljanjem bušaćih postrojenja među stambene i gospodarske jedinice narušila je vizualni dojam grada. Povrh toga, takva dinamika bušenja je uzrokovala velike ekološke probleme uz devastaciju prirode. Čak i ako naftne tvrtke napuste ta područja, mogu proći desetljeća prije nego što se priroda sasvim oporavi.

## **3.2. Izazovi tijekom razrade i proizvodnje iz nekonvencionalnih ležišta**

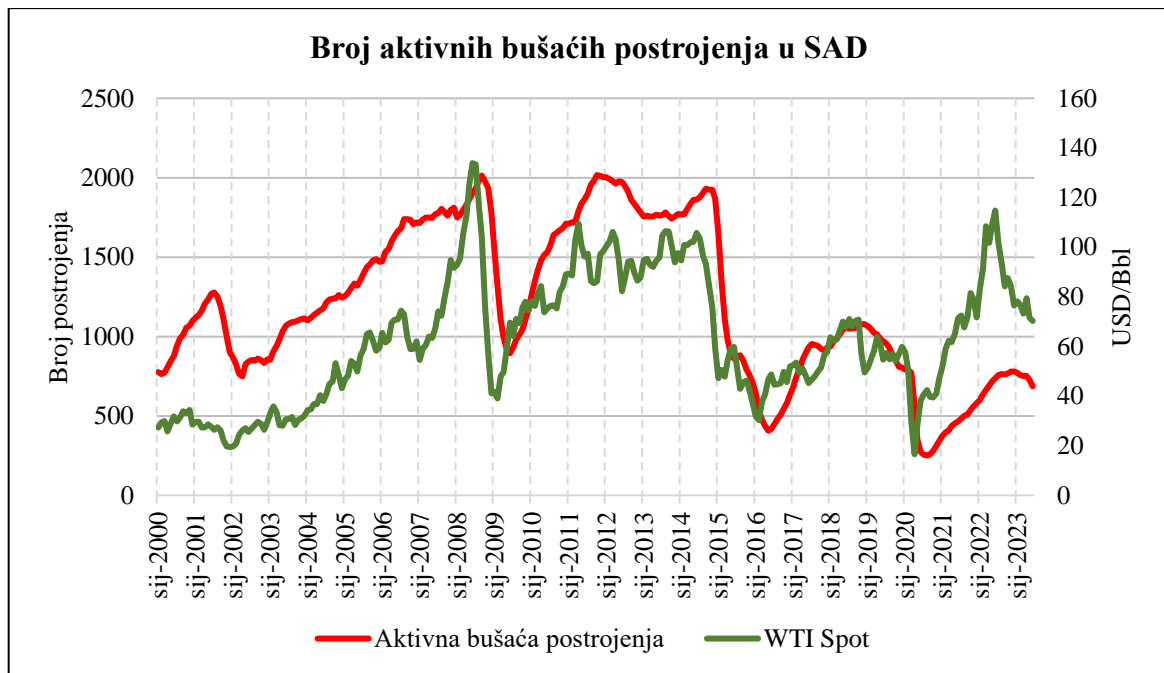
### **3.2.1 Pad proizvodnje i potreba za novim bušenjem**

Priroda nekonvencionalnih ležišta nafte je da proizvodnja iz pojedinačnih bušotina vrlo brzo smanjuje, obično u rasponu od 30-45% godišnje odnosno od 70-90% u prve tri godine, što se mora zamijeniti intenzivnim dodatnim bušenjem kako bi se održala razina proizvodnje. Za usporedbu, na glavnim konvencionalnim naftnim poljima pad proizvodnje kreće se u rasponu od 5-6% godišnje (Hughes, 2021).

Krivulje pada proizvodnje bušotina su tipično hiperbolične, s najstrmijim padom u ranoj fazi života bušotine. Neconventionalna naftna polja s visokim razinama novog bušenja, tj. novih bušotina, pokazuju visoke stope ukupnog pada proizvodnje polja što je kombinacija novih bušotina u fazi visokog pada i starijih bušotina čija proizvodnja opada sporije.

Sva nekonvencionalna naftna ležišta uvijek imaju perspektivna područja ili slatka mjesta (engl. *Sweet spots*), gdje je pojedinačna proizvodnja bušotine najveća i stoga je ekonomika proizvodnje najbolja. Ona obično čine do 20% ukupne površine ležišta. Slatka mjesta se ciljano eksploatiraju rano u vremenskom ciklusu naftnog polja, ostavljajući manje kvalitetne dijelove ležišta za bušenje u kasnijoj fazi, kako se ležište sve više iskorištava. Ta perspektivna područja, koja daju ekonomski najisplativije bušotine, neizbježno će vremenom postati zasićena bušotinama i bušenje će se nužno morati preseliti u područja s nižom produktivnošću bušotina koja zahtijevaju intenzivnije bušenje i veći broj bušotina pa onda i više cijene nafte na tržištu kako bi bile ekonomski opravdane.

2017. godine u SAD je izbušeno oko 8500 bušotina na nekonvencionalnim poljima, a gotovo 70% od njih bilo je potrebno samo kako bi se nadoknadili padovi proizvodnje na postojećim bušotinama. Veliki dio ukupnog pada proizvodnje nafte u SAD od 12% tijekom 2020. godine u odnosu na razine iz 2019. godine posljedica je pada ulaganja i bušenja uslijed smanjene ekonomske aktivnosti tijekom pandemije COVID-19.



Slika 3-4. Trend aktivnih bušačih postrojenja u SAD i WTI Spot cijena nafte

Cijena nafte na svjetskom tržištu uvelike utječe i na neki način diktira aktivnosti bušenja novih bušotina svugdje u svijetu pa tako i u SAD. Kada je cijena nafte raste, potreba za povećanjem ponude nafte na tržištu i ostvarenjem dodatne zarade dovodi do intenziviranja bušenja novih bušotina i povećanja broja aktivnih bušačih postrojenja, što se vidi na Slici 3-4. Najveći broj aktivnih bušačih postrojenja u SAD zabilježen je oporavkom gospodarstva nakon globalne financijske krize 2008. godine te u razdoblju od 2012. do 2015. godine potaknut sniženim proizvodnim kvotama OPEC-a i izuzetno dobrim proizvodnim rezultatima iz nekonvencionalnih ležišta. Broj aktivnih bušačih postrojenja je u tim periodima prelazio je brojku od 2000.

### 3.2.2 Troškovi i ulaganja

Dakle, jedan od ključnih izazova u razradi nekonvencionalnih ležišta je sam broj bušotina koje su potrebne za postizanje i održanje komercijalnih razina proizvodnje i, sukladno tome, potreban je i veliki broj bušačih postrojenja, opreme, materijala i ljudskih resursa za izradu takvih bušotina što zahtijeva visoka kapitalna ulaganja i troškove. Uz sve navedeno, izrada horizontalne bušotine i primjena tehnologije hidrauličkog frakturiranja nadalje povećava razinu potrebnih ulaganja. Prosječna točka rentabilnosti (engl. *break-even point*) za nove nekonvencionalne bušotine kreće se od 56 do 61 USD/Bbl, ovisno o lokaciji, pri čemu točka rentabilnosti skupljih bušotina može doseći i do 90 USD/Bbl.

Iako su tehnološke inovacije, uključujući povećanje učinkovitosti bušaćih postrojenja, korištenje više faza frakturiranja, učinkovitije fluide koji se utiskuju i druge, povećale produktivnost bušotine u ranim fazama razrade nekonvencionalnih ležišta i donekle smanjile potrebna ulaganja i troškove proizvodnje, povrati kapitala su i nadalje manji tijekom vremena i takve inovacije ne mogu nadoknaditi lošiju kvalitetu ležišnih stijena u kasnijoj fazi razrade.

S visokom razinom ulaganja u izradu bušotine na nekonvencionalnom ležištu koji se plaćaju unaprijed za relativno kratak proizvodni vijek u usporedbi s konvencionalnom bušotinom, ima smisla da industrija proizvodnje nafte iz slabo propusnih ležišta smanjuje broj novih bušotina kada svjetske cijene nafte padnu i povećava njihov kada su cijene nafte visoke. To znači da postoji mnogo nekonvencionalnih ležišta nafte koja miruju dok se cijene sirove nafte kreću oko 60 USD/Bbl.

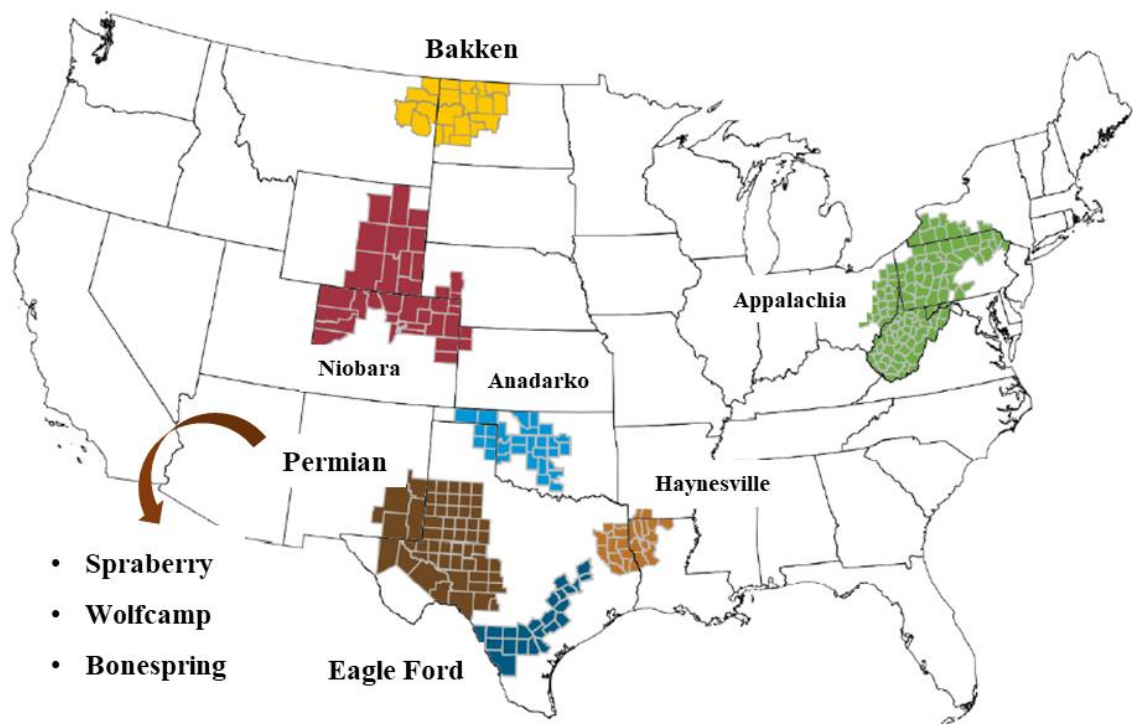
### **3.2.3 Zaštita okoliša**

Kao i kod drugih izvora energije ili proizvodnje goriva, razrada nekonvencionalnih ležišta nafte i plina može predstavljati izravne i neizravne rizike za okoliš. Potencijalni izravni rizici mogu uključivati negativne utjecaje na kvalitetu podzemnih i površinskih voda, vodoopskrbe i na kvalitetu zraka. Povrh toga, izražena je zabrinutost zbog potencijalnih dugoročnih i neizravnih učinaka ovisnosti o fosilnim gorivima i posljedičnih emisija stakleničkih plinova. Mogući izravni rizici i negativni utjecaji na okoliš mogu se ublažiti odgovarajućim mjerama zaštite, postojećom tehnologijom i kontinuiranom primjenom najbolje prakse (Congressional research service, 2015).

#### 4. GLAVNA PODRUČJA PROIZVODNJE NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA

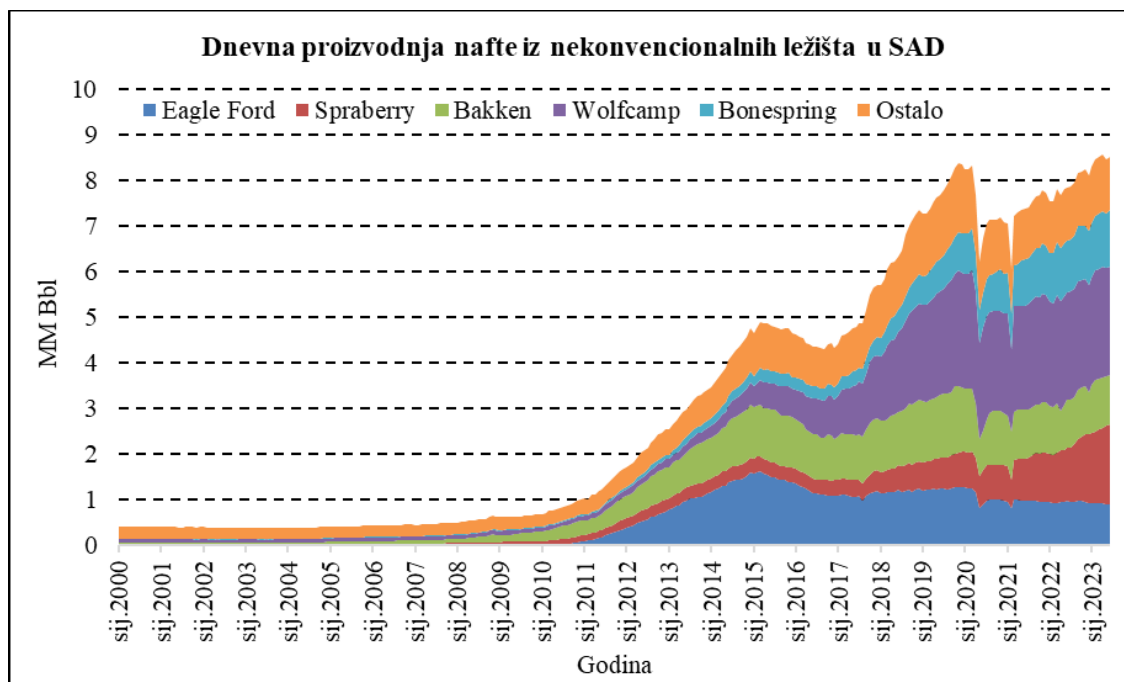
U Sjedinjenim Američkim Državama nalazi se 13 glavnih područja za proizvodnju nafte iz nekonvencionalnih ležišta i plina iz škriljevaca, a to su:

- na samom sjeveru SAD-a Bakken područje,
- Niobrara područje koje zauzima države Colorado, Wyoming i jugozapadni dio države Nebraska,
- Permski bazen na sjeverozapadnom Teksas-u i jugoistočnom Novom Meksiku, te Eagle Ford područje na samom jugu,
- Haynesville područje u jugozapadnom Arkansas-u, sjeverozapadnom dijelu Louisiane i istočnom Texas-u,
- Appalachia na samom istoku i
- Anadarko područje koje pokriva zapadni dio države Oklahoma, Texas Panhandle, regiju američke države Texas koja se sastoji od 26 najsjevernijih okruga u državi, jugozapadni dio države Kansas te jugoistočni dio države Colorado (Slika 4-1.).



Slika 4-1. Ilustracija glavnih područja proizvodnje nekonvencionalne nafte i plina iz škriljevaca (U.S. Energy Information Administration, 2019)

Američka uprava za energetske informacije (EIA) procjenjuje da je 2022. godine oko 2,84 BnBbl (ili oko 7,79 MMBbl/d) sirove nafte proizvedeno izravno iz nalazišta nafte u slabo propusnim slojevima u Sjedinjenim Državama. To je jednako oko 66% ukupne proizvodnje sirove nafte u SAD-u 2022.

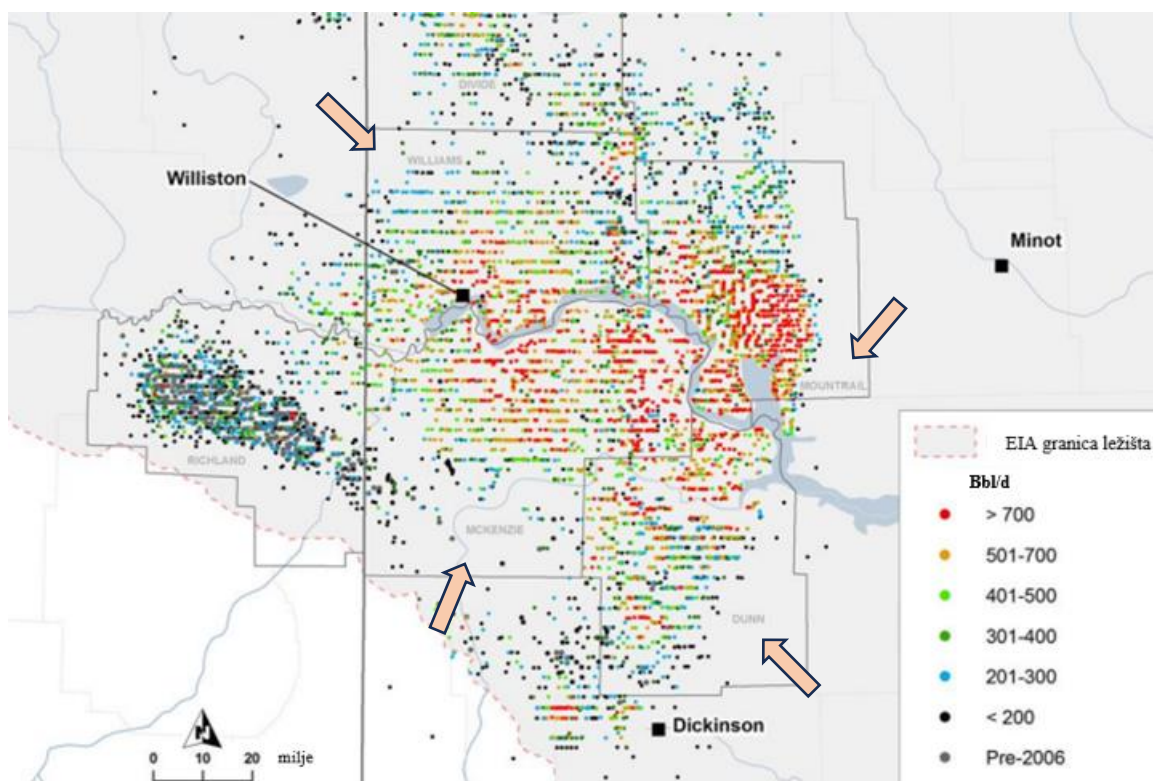


**Slika 4-2.** Dnevna proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u (U.S. Energy Information Administration, 2023)

Slika 4-2. ilustrira proizvodnju nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u, uključujući i pet glavnih područja procijenjenih u ovom završnom radu. Proizvodnja iz nekonvencionalnih naftnih ležišta dosegla je vrhunac u studenom 2019., a u srpnju 2021. pala je 12,2% u odnosu na vrhunac. Sva specifična naftna polja osim Spraberry područja su prošla vrhunac proizvodnje, iako bi neke mogle doseći nove vrhunce kako se gospodarstvo oporavlja od posljedica pandemije COVID-19. Permski bazen, koji se sastoji od Spraberry, Wolfcamp, Bone Spring i manjih područja, bio je odgovoran je za veći dio prošlog rasta proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u i proizveo je 57% ukupne američke nafte u srpnju 2021. Početkom 2023. godine proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta prestigla je razinu vrhunca proizvodnje iz studenog 2019. od 8,4 MMBbl/d.

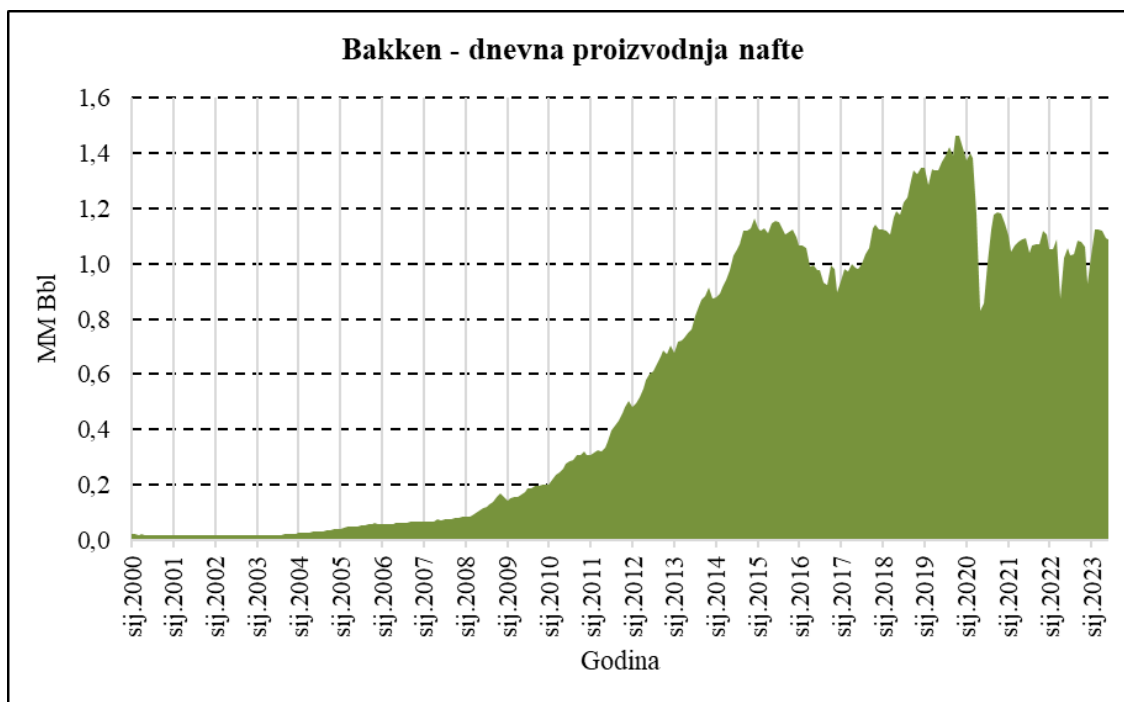
#### 4.1. Bakken područje

Bakken područje, koje zauzima dio Sjeverne Dakote i istočne Montane, bilo je prvo veliko nalazište nekonvencionalne nafte.



Slika 4-3. Distribucija bušotina u Bakken području (Hughes, 2014)

Kao i kod svih nalazišta iz slabo propusnih ležišta, najproduktivnije i najekonomičnije bušotine nalaze se na relativno malom dijelu ukupne površine područja. U slučaju Bakken-a, bušotine s najvećom produktivnošću zauzimaju dijelove okruga McKenzie, Mountrail, Williams i Dunn (Slika 4-3.).



**Slika 4-4.** Dnevna proizvodnja nafte na Bakken području (U.S. Energy Information Administration, 2023)

Proizvodnja na Bakken području (Slika 4-4.) imala je dva vrhunca. Prvi je bio kada je porasla proizvodnja od takoreći nule s početka 21.stoljeća do jedne od najvećih područja proizvodnje u SAD-u 2014.godine. Tada je dosegla prvi privremeni vrhunac zbog smanjenja bušaćih aktivnosti. Uz povećanje bušenja, Bakken je nastavio rast i dosegao drugi vrhunac krajem 2019.godine. Nakon vrhunca slijedio je pad zbog pada stope bušenja povezanog s pandemijom COVID-19, ali i u određenoj mjeri zbog prenatrpanosti bušotina na slatkim mjestima (visokoproduktivnim dijelovima ležišta). Tijekom prve polovine 2023. godine proizvodnja nafte iz područja Bakken čini 13% ukupne proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD.

EIA je značajno precijenila potencijalno područje za proizvodnju u usporedbi s trenutno uspješnim izbušenim područjem. Nekoliko niskoproduktivnih bušotina izbušenih izvan trenutno uspješno izbušenog područja sugerira da je održivi opseg budućeg polja prilično dobro definiran na 33 385 km<sup>2</sup>. EIA-ina procjena područja Bakken, na 67 156 km<sup>2</sup>, precjenjuje uspješno izbušeno područje za 101%. S obzirom na to, procjene EIA-e za nedokazane tehnički nadoknadleive resurse mogle bi biti precijenjene sličnim iznosom što implicira da postoje golemi dodatni resursi koji se trebaju oporaviti nakon 2050. godine. kako bi se ispunila predviđanja. Također, to bi zahtijevalo bušenje ogromnih količina novih

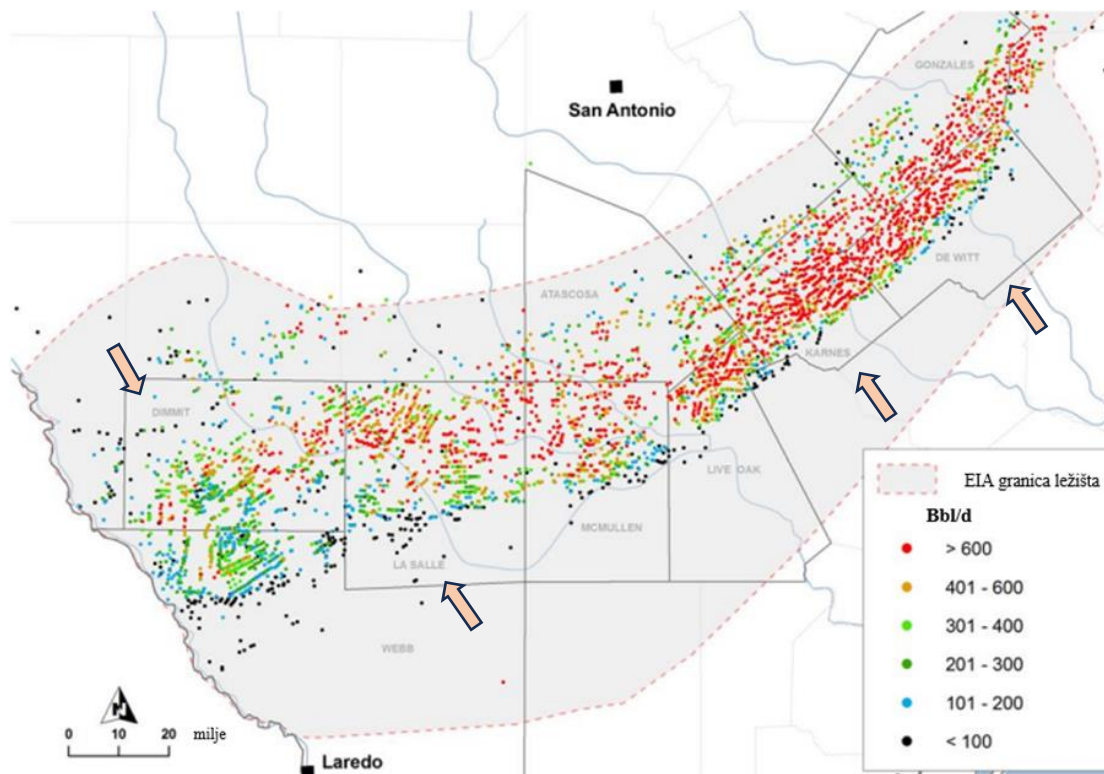


bušotina što bi malo vjerojatno bilo ekonomično s obzirom da bi se povećala i ovako već upitna efektivna gustoća bušotina te ukazuje i na činjenicu da ponestaje mjesta za bušenje na visokoproduktivnim lokacijama s obzirom na opadajuću produktivnost bušotina uzrokovanu zasićenjem bušotina na tim slatkim mjestima.

S obzirom na sve gore navedeno, EIA-na prognoza proizvodnje za Bakken do 2050. godine ocijenjena je kao krajnje optimistična.

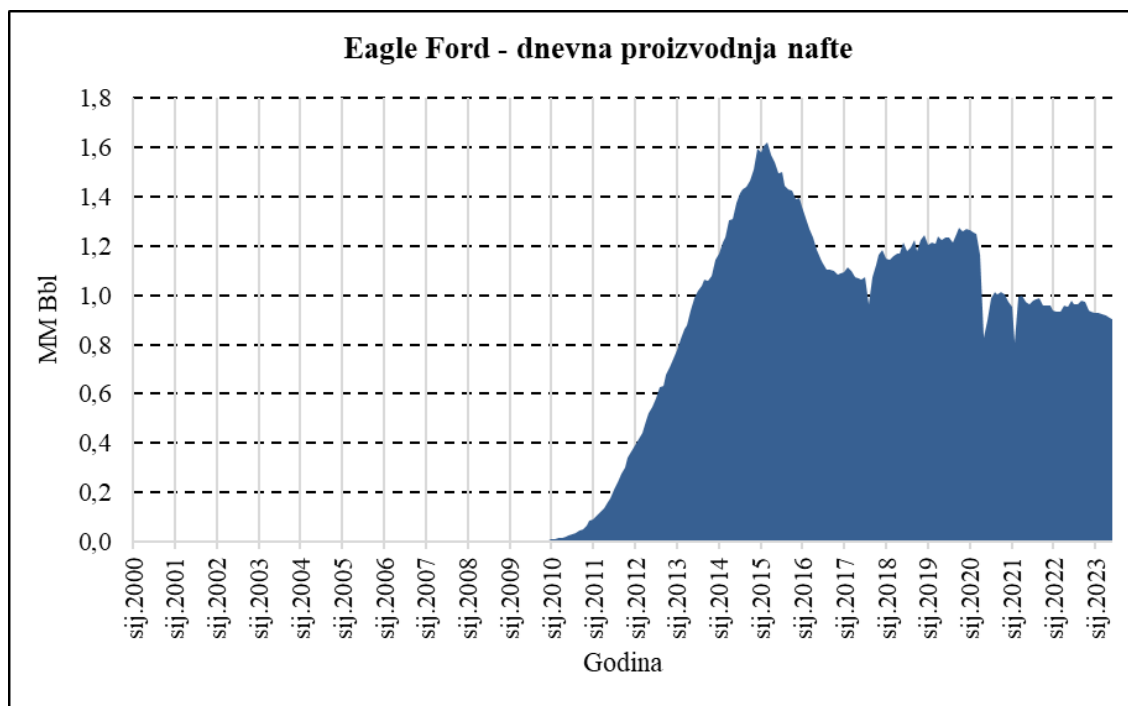
#### 4.2. Eagle Ford područje

Eagle Ford područje je najviše aktivno područje na svijetu s više od 100 bušaćih postrojenja u radu.



Slika 4-5. Distribucija bušotina Eagle Ford području (Hughes, 2014)

Bušotine s najvećom produktivnošću zauzimaju dijelove okruga Karnes, Dewitt, La Salle i Dimmit (Slika 4-5.).



**Slika 4-6.** Dnevna proizvodnja nafte na Eagle Ford području (U.S. Energy Information Administration, 2023)

Područje Eagle Ford se nalazi u južnom Teksasu, te se naglo uzdigao 2008. godine i postao najveći nekonvencionalni naftni pogon u SAD-u te je dosegao svoj vrhunac proizvodnje u ožujku 2015., proizvodivši 1,65 MMBbl/d, manje od sedam godina kasnije (Slika 4-6.). Zbog posljedica pandemije COVID-19 i pada produktivnosti povezanog s prenapučenosti bušotina na visokoproduktivnim mjestima, 2021. godine proizvodnja je bila manja za čak 41% od dosegnutog vrhunca. Tijekom prve polovine 2023. godine proizvodnja nafte iz područja Eagle Ford čini 11% ukupne proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD.

Eagle Ford zona je procijenjena od strane EIA na 37 982 km<sup>2</sup> u usporedbi s perspektivnim izbušenim područjem od 25 573 km<sup>2</sup>. EIA područje stoga precjenjuje područje koje je pokazalo produktivne bušotine za 49%. To implicira da je dugoročna prognoza EIA-e za Eagle Ford vjerojatno optimistična.

Pad produktivnosti bušotina posljednjih godina u tri od četiri vodeća okruga implicira da je zasićenje bušotina u nekim područjima već dosegnuto. Može se očekivati da će se taj trend nastaviti i u drugim okruzima jer bi bilo potrebno izbušiti 54 400 bušotina za ispunjavanje predviđanja EIA. S obzirom na to da su smetnje u bušotinama već evidentne pri trenutnom

razmaku bušotina, produktivnost bušotine će vjerojatno dodatno padati kako se gustoća bušotine povećava, čineći prognozu EIA vrlo teškom za postizanje osim ako se ne izbuši mnogo dodatnih bušotina i/ili ne pronade dodatna produktivna površina.

S obzirom na gore navedeno, EIA-ina AEO2021 prognoza proizvodnje za Eagle Ford ocijenjena je kao iznimno optimistična (Nalley i LaRose, 2021).

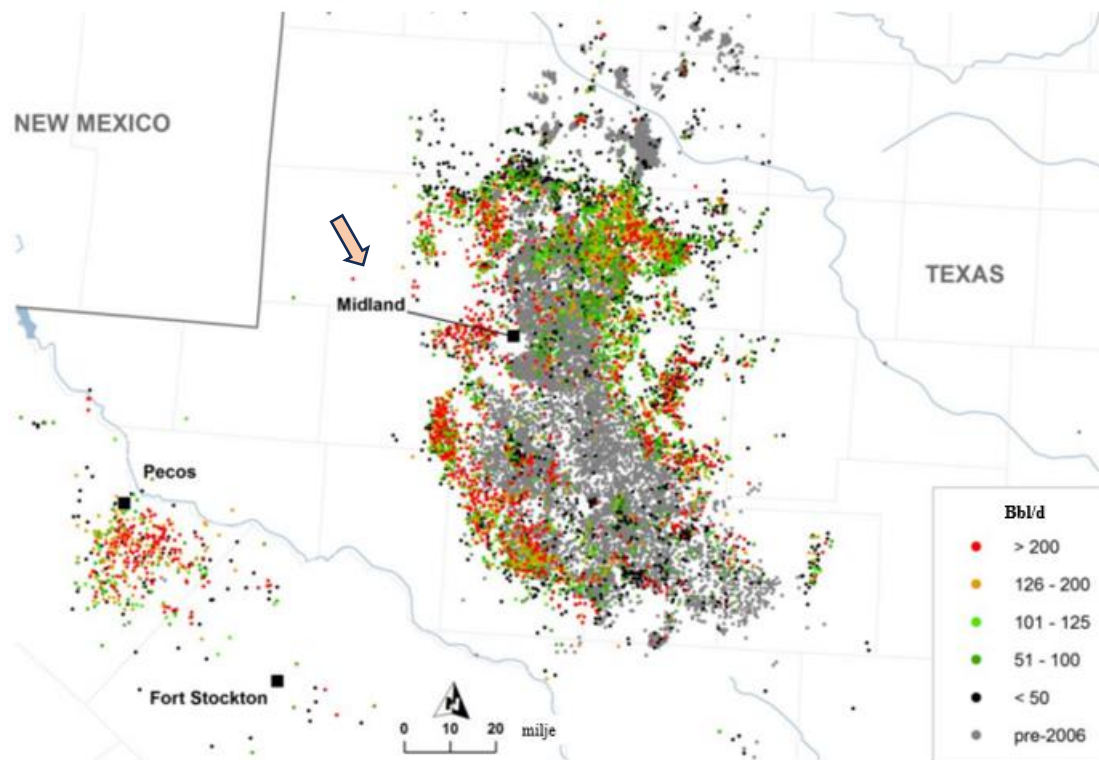
### **4.3. Permski bazen**

Granice Permskog bazena obuhvaćaju sjeverozapad Teksasa i jugoistočni Novi Meksiko. Vrlo je velika regija za proizvodnju nekonvencionalne nafte koja proizvodi velike količine gotovo jedno stoljeće. Više od 422 300 bušotina je izbušeno u konvencionalnim i nekonvencionalnim ležištima unutar bazena, od kojih više od 145 300 još uvijek proizvodi.

82% proizvodnje nekonvencionalne nafte Permskog bazena dolazi iz tri područja: Spraberry, Wolfcamp i Bone Spring. Iako su ta područja proizvodila desetljećima, primjena metoda modernog frakturiranja i bušenja horizontalnih bušotina uvelike je povećala njihovu proizvodnju i zaslužna je za gotovo cjelokupno povećanje proizvodnje od 2011. godine. Ukupni broj proizvodnih bušotina smanjio se od 2015. godine zbog zaustavljanja starijih bušotina koje su završile svoj proizvodni vijek, ali upravo zbog primjene modernih tehnologija povećala se proizvodnja sve dok nije dosegla vrhunac u ožujku 2020. Nakon toga je zbog smanjenih stopa bušenja kao rezultat pandemije COVID-19 proizvodnja počela opadati. Proizvodnja nafte u Permskom bazenu pala je za 12,7% u odnosu na svoj vrhunac u prosincu 2020. Tijekom prve polovine 2023. godine proizvodnja nafte iz ta tri područja Permskog bazena čini 62% ukupne proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD.

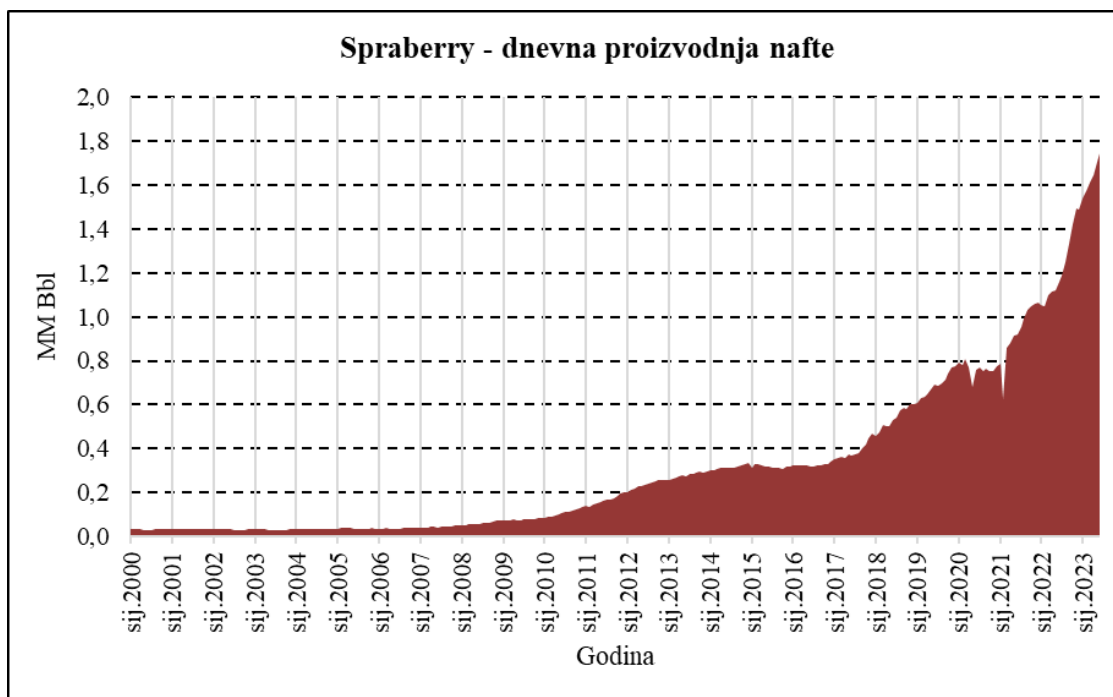
#### **4.3.1 Spraberry područje**

Spraberry područje u pod bazenu Midland Permskog bazena proizvodio je naftu i plin desetljećima. Međutim, primjena hidrauličkog frakturiranja u velikim razmjerima 2011. revolucionirala je razvoj Spraberry-a, a proizvodnja nafte od tada se povećala sedam puta. Sada je najveće pojedinačno područje u Permskom bazenu, sa preko 30 000 bušotina koje su još u radu.



Slika 4-7. Distribucija bušotina na Spraberry području (Hughes, 2014)

Više od polovice proizvodnje nafte dolazi iz tri okruga: Midland, Martin i Upton, a 83% iz prvih šest okruga. Ta *slatka mjesta* čine relativno mali dio ukupnog područja prikazanog na Slici 4-7.



**Slika 4-8.** Dnevna proizvodnja nafte na Spraberry području (U.S. Energy Information Administration, 2023)

Proizvodnja iz Spraberry-a (Slika 4-8.) dosegla je prvi vrhunac u siječnju 2020. Prvenstveno kao rezultat smanjenja stope bušenja zbog pandemije COVID-19, pala je za 12% od prosinca 2020. Horizontalne bušotine izbušene nakon 2011. godine činile su samo 26% proizvodnih bušotina u prosincu 2020., ali su davale 88% ukupne proizvodnje. Vertikalne usmjerene bušotine izbušene nakon 2011. činile su 17% ukupnog broja proizvodnih bušotina, ali su činile samo 2% proizvodnje. Stoga će budući rast proizvodnje biti uvelike vezan uz horizontalno bušenje, korištenjem najnovijih tehnologija. Tijekom prve polovine 2023. godine proizvodnja nafte iz područja Spraberry čini 19% ukupne proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD.

EIA je postala manje optimistična u svojim prognozama za buduću proizvodnju Spraberry-a, te očekuje pad proizvodnje do 2050.godine iako još uvijek predviđa da će se do 2050. godine proizvoditi više nafte od svojih ranijih procjena. Referentna prognoza slučaja EIA-e poziva na proizvodnju od 9,3 BnBbl u razdoblju od 2020. do 2050., dok ukupna procjena dokazanih i nedokazanih rezervi iznosi 9,08 BnBbl. Proizvodnja 9,3 BnBbl, pod pretpostavkom da će biti pronađeni, zahtijevala bi 56 660 dodatnih bušotina po cijeni od 425 milijardi dolara. Također, 2017.godine Američki geološki zavod proveo je ispitivanje koliko zapravo postoji nedokazanih rezervi na Spraberry području. Procijenili su srednje,

neotkrivene, tehnički nadoknadive resurse u Spraberry području na samo 4,2 BnBbl što je u usporedbi s procjenom EIA-e o nedokazanim resursima od 8 BnBbl 48% manje.

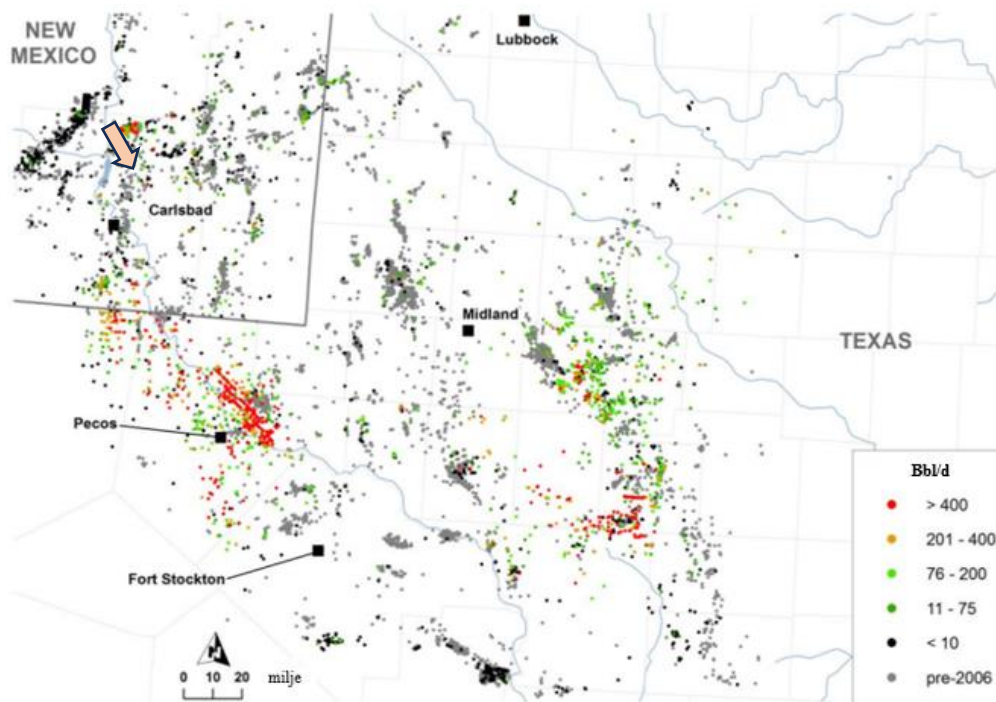
Produktivnost novih bušotina je u padu u svim okruzima osim u dva. Ovo je vjerojatno rezultat bušenja izvan visokoproduktivnih mjesta i/ili smanjene proizvodnje bušotina kao rezultat njihove prenatrpanosti. To će svakako povećati broj bušotina potrebnih za obnavljanje preostalih resursa i time povećati troškove i ugroziti ekonomiku.

EIA pretpostavlja da će proizvodnja 2050. godine biti na razini od 0,35 MMBbl/d, što implicira da će u 2050. godini ostati na raspolaganju još znatni dodatni resursi. To ukazuje na prekoračenje vlastitih procjena dokazanih resursa plus nedokazanih rezervi što takvu pretpostavku čini još manje vjerodostojnom.

Uzimajući gore navedeno zajedno, prognoza proizvodnje AEO2021 za Spraberry područje ocijenjena je kao iznimno optimistična (Nalley i LaRose, 2021).

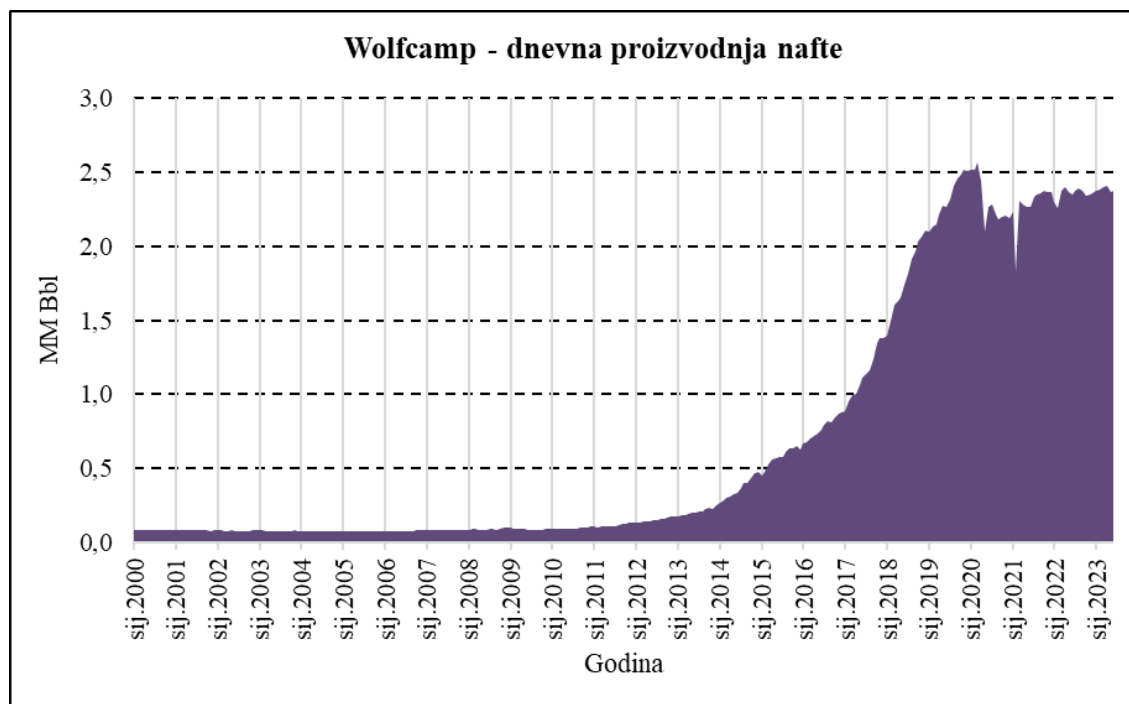
#### **4.3.2 Wolfcamp područje**

Wolfcamp područje stratigrafski leži ispod polja Spraberry i Bone Spring i nalazi se u bazenima Delaware i Midland Permskog bazena gdje se desetljećima proizvodila nafta. Primjena novih tehnologija u velikim razmjerima revolucionirala je razvoj Wolfcamp-a 2011.godine i proizvodnja nafte se od tada povećala dvadeset pet puta. To je sada drugo najveće proizvodno polje u Permskom bazenu i predviđa se da će EIA osigurati 58% Permske proizvodnje u periodu od 2020. do 2050.



Slika 4-9. Distribucija bušotina u Wolfcamp području (Hughes, 2014)

Bušotine s najvećom produktivnošću nakon 2011. koncentrirane su u bazenu Delawarea u zapadnom dijelu polja (Slika 4-9.).



Slika 4-10. Dnevna proizvodnja nafte na Wolfcamp području (U.S. Energy Information Administration, 2023)

Važnost horizontalnog bušenja i hidrauličkog frakturiranja u Wolfcamp području vidi se na Slici 4-10., u činjenici da su horizontalne bušotine izbušene nakon 2011. godine činile 71% proizvodnih bušotina, ali su pridonosile sa 98% proizvodnje u prosincu 2020. godine. Tijekom prve polovine 2023. godine proizvodnja nafte iz područja Wolfcamp čini 28% ukupne proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD.

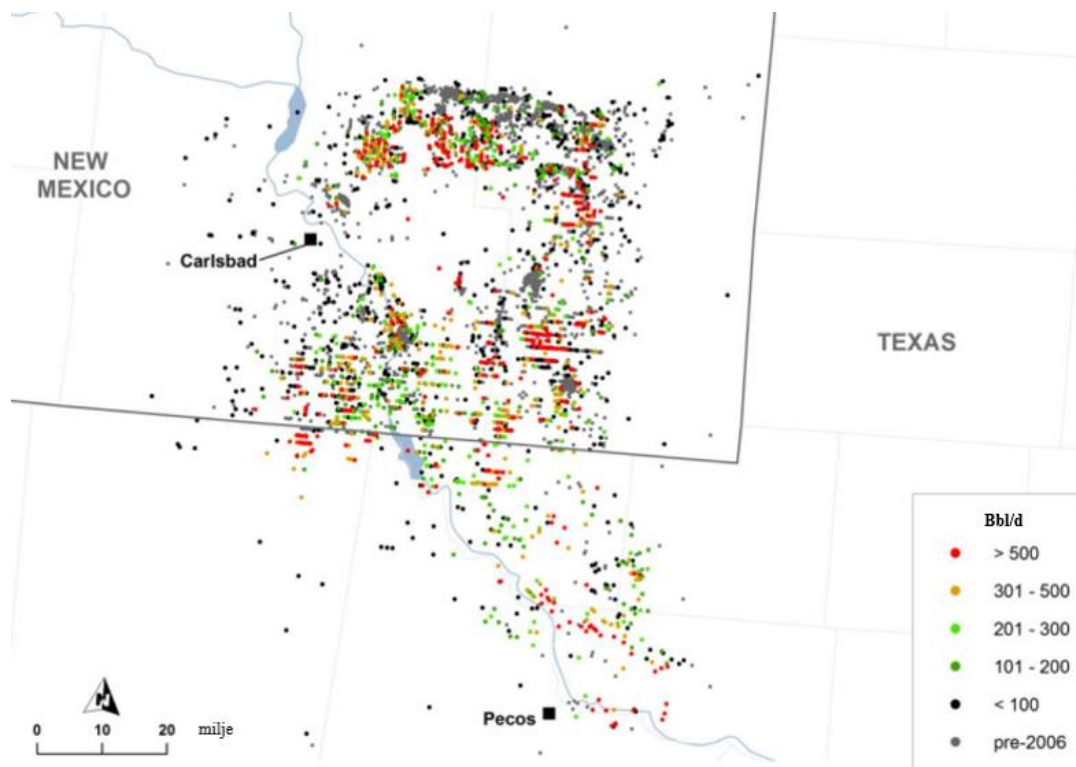
EIA pretpostavlja da će proizvodnja Woolfcamp-a nastaviti rasti tijekom cijelog razdoblja i 2050. godine biti na 87% iznad sadašnjih razina. To bi zahtijevalo proizvodnju 28,5 BnBbl nafte u razdoblju od 2020. do 2050., što je četrnaest puta više nafte nego što je proizvedeno iz Wolfcamp područja od početka 21.stoljeća. Također EIA-ina procjena nedokazanih resursa od 62,3 milijarde barela za područje Wolfcamp premašuje srednju procjenu nedokazanih rezervi Američkog geološkog zavoda od 49,4 BnBbl. Nijedna od ovih procjena nije pokazala jesu li resursi ekonomski opravdani. Obnavljanje 40,3% dokazanih rezervi plus nedokazanih resursa do 2050. godine, kako se zahtijeva u prognozi EIA, zahtijevalo bi područje za bušenje od 107 585 km<sup>2</sup> dok na mapi površine područja ima na raspolaganju samo 56 156 km<sup>2</sup>. Upitno je je li to moguće ili ne, s obzirom na to da je u pod-bazenu Delaware gustoća bušotina već vrlo velika, a produktivnosti bušotina su općenito niže u mnogo većem pod-bazenu Midland.

Obzirom na gore navedena razmatranja, EIA-ina prognoza proizvodnje za Wolfcamp područje ocijenjena je kao vrlo optimistična.



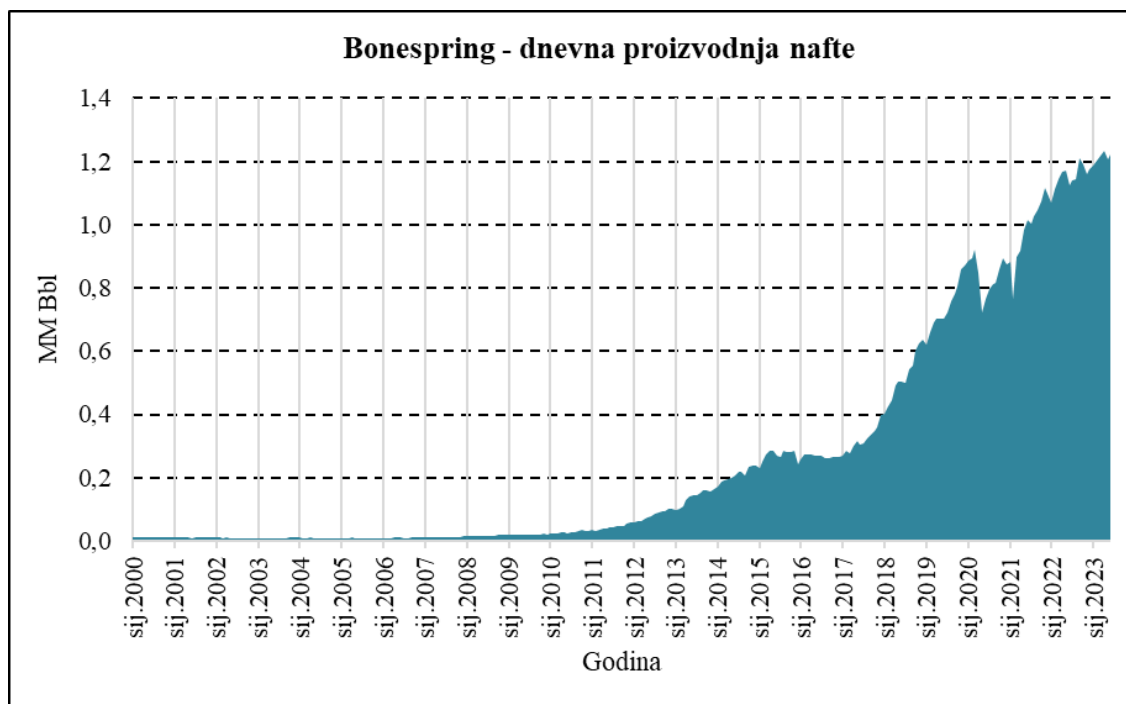
### 4.3.3 Bone Spring područje

Bone Spring je relativno malo područje smješteno u sjevernom dijelu pod bazena Delaware koje je desetljećima proizvodilo naftu i plin.



Slika 4-11. Distribucija bušotina na Bone Spring području (Hughes, 2014)

Dva najveća okruga, oba u Novom Meksiku (Slika 4-11.), čine 85% kumulativne proizvodnje i 82% sadašnje proizvodnje. Do prosinca 2020. godine izbušene su 12 474 bušotine. Trogodišnje stope pada proizvodnje na bušotinama Bone Spring područja su u prosjeku 92%, a na razini polja u prosjeku 46,4% godišnje bez novog bušenja.



**Slika 4-12.** Dnevna proizvodnja nafte na Bone Spring području (U.S. Energy Information Administration, 2023)

Primjena tehnologija frakturiranja u velikim razmjerima od 2011. godine rezultirala je razvojem Bone Spring područja, a proizvodnja nafte se od tada povećala petnaest puta (Slika 4-12.). Sada je ono treće najveće područje u Permskom bazenu. Bušotine izbušene nakon 2011. godine činile su 82% kumulativne proizvodnje, gotovo sve iz horizontalnih bušotina. Tijekom prve polovine 2023. godine proizvodnja nafte iz područja Bone Spring čini 14% ukupne proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD.

EIA u svojim procjenama navodi da je moguće izbušiti 32 633 km<sup>2</sup> pri gustoći od 5,3 bušotine po 2,56 km<sup>2</sup>, za ukupno 66 780 bušotina, ali stvarne granice ovog područja su procijenjene na ukupno 21 810 km<sup>2</sup>, što, uz 5,3 bušotine po 2.56 km<sup>2</sup>, daje ukupno 44 631 bušotinu, odnosno značajno manji broj bušotina. Bušotine s najvećom produktivnošću izbušene su na području od 7770 km<sup>2</sup> koje se uglavnom nalazi u Novom Meksiku, odakle dolazi većina dosadašnje proizvodnje. USGS je 2018. godine proveo studiju o nalazištima Avalon-Bone Spring i Bone Spring područja u kojoj je srednja procjena neotkrivene nafte na oba područja bila 16,8 BnBbl (Hughes, 2021). U usporedbi s EIA-inom procjenom ukupnih dokazanih i nedokazanih resursa nafte od 21,11 BnBbl to iznosi 20% manje. EIA-ina procjena Avalon-Bone Spring-a i Bone Spring-a stoga se smatra optimističnom, obzirom na distribuciju i kvalitetu postojećih bušotina, veću procijenjenu površinu raspoloživu za bušenje i precijenjena je u usporedbi s USGS-ovom procjenom ukupnih resursa.

EIA očekuje da će se proizvodnja nastaviti povećavati do vrhunca 2033. godine, na 140% iznad razine iz 2020., te biti na 132% iznad sadašnjih razina 2050. godine. To bi zahtijevalo proizvodnju 11,3 BnBbl nafte u razdoblju od 2020. do 2050., što je dvanaest puta više nafte nego što je proizvedeno iz područja Bone Spring od 2000. godine. Prognoza proizvodnje EIA zahtijevala bi proizvodnju 53,5% procijenjenih dokazanih rezervi plus nedokazanih resursa do 2050. godine.

S obzirom na gore navedena razmatranja prognoza AEO2021 za Bone Spring područje ocijenjena je kao umjereno optimistična.

## **5. BUDUĆNOST PROIZVODNJE NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA**

EIA-ina godišnja energetska perspektiva 2019. (AEO2019) predviđa da će proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u, koja je postala uobičajeni oblik proizvodnje nafte početkom 21. stoljeća, nastaviti rasti do 2030. godine, i dosegnuti svoj vrhunac na razini više od 10 MMBbl/d. Proizvodnja nafte iz nekonvencionalnih ležišta dosegla je 6,5 MMBbl/d 2018. godine, što je činilo 61% ukupne proizvodnje nafte u SAD-u. EIA predviđa daljnji rast proizvodnje nafte iz slabo propusnih ležišta budući da industrija nastavlja poboljšavati učinkovitost bušenja, razvijati tehnologiju hidrauličkog frakturiranja i smanjivati troškove, što razvojne resurse nafte iz nekonvencionalnih ležišta čini manje osjetljivima na cijene nafte nego u prošlosti.

Nedavni rast proizvodnje nafte u SAD-u potaknut je razvojem ograničenih izvora nafte, prvenstveno u Permskom bazenu u zapadnom Teksasu i istočnom Novom Meksiku. Tri velika nekonvencionalna nalazišta nafte u Permskom bazenu, Spraberry, Bone Spring i Wolfcamp područja, činila su 41% američke proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta tijekom 2018. godine. U referentnom slučaju AEO2019, očekuje se da će otprilike polovina kumulativne proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta do 2050. dolaziti iz ova tri ležišta (Dyl i dr., 2019). Bakken i Eagle Ford također ostaju jedni od glavnih nositelja opskrbe SAD-a naftom iz slabo propusnih ležišta do 2050. godine, čineći 17% kumulativne proizvodnje nekonvencionalne nafte u 2018. godini.

Poboljšanje produktivnosti bušotina tijekom vremena u većini područja je neporecivo. Kao što je ranije navedeno, to je djelomično zbog znatno većih količina vode i propanta koji se koriste po bušotini, te upotrebe dužih horizontalnih bočnih kanala bušotine, pri čemu oboje učinkovito povećavaju volumen ležišne stijene koju svaka bušotina drenira. Ovo smanjuje broj dostupnih lokacija za bušenje kao i činjenicu da bušotine moraju biti više razmaknute kako bi se izbjegle međusobni negativni utjecaji. Dakle, ležište se može iscrpiti s manje bušotina uz bitno nepromijenjeno krajnje iskorištenje. Drugi glavni razlog poboljšanja produktivnosti bušotina je to što su stručnjaci i kompanije definirali najpovoljnije lokacije za bušenje i koncentriraju bušenje na geološki najpovoljnijim dijelovima polja. To je jasno vidljivo u Bakken području.

Buduće kretanje razina proizvodnje nafte iz slabo propusnih ležišta u SAD ovisi o nizu čimbenika, uključujući kvalitetu resursa, daljnji razvoj tehnologije i operativna poboljšanja koja povećavaju produktivnost i smanjuju troškove (U.S. Department of Energy, 2020). Važan čimbenik će svakako biti i raspoloženje investitora koji moraju osigurati visoka kapitalna ulaganja koja prate razradu nekonvencionalnih ležišta. U konačnici, cijene nafte na svjetskom tržištu će također značajno utjecati na budućnost proizvodnje.

## 6. ZAKLJUČAK

Velika međunarodna potražnja za naftom dovodi do kontinuiranog rasta proizvodnje u SAD-u, a u kombinaciji s relativno malim rastom domaće potrošnje, osigurava uvjete Sjedinjenim Američkim Državama da ostanu neto izvoznici nafte do 2050. godine.

Kao što je vidljivo iz prethodnih poglavlja, budućnost proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD-u svakako ima potencijal daljnjeg razvoja. SAD imaju dovoljno dokazanih rezervi iz nekonvencionalnih ležišta da mogu pratiti promjene cijena nafte i potražnje za naftom na tržištu. Što je potražnja veća, cijene nafte su veće i ima više dokazanih rezervi. No, svakako je vidljivo i da je EIA precijenila svih pet najznačajnijih područja nekonvencionalnih ležišta u SAD-u, i da sigurno neće dostići sva predviđanja EIA do 2050. godine.

Jedan od razloga za to je činjenica da bi se trebalo intenzivnije bušiti, odnosno, trebalo bi se pronaći što više novih lokacija za bušenje na perspektivnim područjima ležišta s najvećom kvalitetom proizvodnje. Obzirom na procjenu najvjerojatnijeg scenarija za Bakken i Eagle Ford, preostala značajna nekonvencionalna naftna polja u SAD-u trebala bi proizvesti više nego dvostruko više od Bakken i Eagle Ford područja zajedno. Proizvodnja tolike količine nafte iz ovih polja zahtijevat će intenzivnije bušenje i puno više cijene nafte od današnjih do 2050. godine. Sa stajališta energetske sigurnosti najviše zabrinjava to što se većina proizvodnje nafte u slabo propusnim formacijama dogodila u prvim godinama *shale revolution*-a, što će opskrbu kasnije učiniti još problematičnijom. Veliki dio proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta izvan Bakken-a i Eagle Ford-a dolazi iz dugotrajnih aktivnosti i primjene novih tehnologija, a ne novih otkrića. Deseci tisuća bušotina izbušeni su u tim područjima tijekom proteklih 50 ili više godina i one su proizvele velike količine nafte i plina. Predviđanje EIA-e govore da će proizvesti 4 do 5 puta više od povijesne proizvodnje u sljedećih 17 godina, što se čini malo vjerojatnim.

Prepreka daljnjem rastu proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta je i trenutna politika zaštite okoliša američkog predsjednika Joe Biden-a i sadašnje američke administracije kojom zabranjuje nova bušenja na državnoj zemlji tj. neće se više izdavati dozvole za bušenje na zemlji pod državnom vlašću (Stevens, 2023). Znanstvenici koji se bave klimatskim promjenama kažu da je ključno smanjiti emisije iz industrije fosilnih goriva

koje zagrijavaju planet i na kraju odviknuti svijet od nafte. Već je započela era laganog napuštanja potrošnje nafte i okretanja prema alternativnim izvorima energije, npr. električnoj energiji kao što je slučaj kod sve veće proizvodnje i potražnje za električnim automobilima.

Iscrpljenost trenutnih ležišta i potreba za visokim kapitalnim ulaganjima uz neizvjesnu geopolitičku situaciju i prilagodbu zakonodavstva klimatskim promjenama znatno će diktirati budućnost proizvodnje nafte iz nekonvencionalnih ležišta u SAD. Cijene nafte na tržištu ovise o raspoloženju najvećih svjetskih sudionika naftne industrije, što svakako sugerira kako američku proizvodnju iz slabo propusnih formacija, bez obzira na još uvijek veliki potencijal, čeka neizvjesna budućnost.

## 7. LITERATURA

1. AARNA I., REINSALU E., 2015. *About technical terms of oil shale and Shale oil*. Oil Shale, 32(4), str. 291–292.
2. DYL K., PRECAIDO J., VAN WAGENER D., 2019. *AEO2019 Review and AEO2020 Plans*
3. FEDERAL RESERVE BANK OF DALLAS, 2023. *Energy slideshow*
4. HUGHES D.J., 2014. *Drilling Deeper: A Reality Check on U.S. Government Forecasts for a Lasting Tight Oil & Shale Gas Boom*
5. HUGHES D.J., 2021. *Shale Reality Check 2021: Drilling into the U.S. Government's Optimistic Forecasts for Shale Gas & Tight Oil Production Through 2050*.
6. NALLEY S., LAROSE A., 2021. *Annual Energy Outlook 2021(AEO2021)*
7. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2020. *U.S. oil and natural gas: Providing Energy Security and Supporting Our Quality of Life*
8. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2014. *Liquid Fuels and Natural Gas in the Americas*. Washington: U.S. Department of Energy

### Web izvori

9. BEATTIE A., 2022. Shale Oil vs. Conventional Oil: What's the Difference? URL: <https://www.investopedia.com/articles/active-trading/051215/cost-shale-oil-versus-conventional-oil.asp> (28.08.2023.)
10. CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE, 2015. *An Overview of Unconventional Oil and Natural Gas: Resources and Federal Actions*. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R43148> (01.08.2023.)
11. EHRENBERG, R., 2012. *The facts behind the frack*. URL: <https://www.sciencenews.org/article/facts-behind-frack> (28.08.2023.)
12. GOOGLE EARTH, 2023. *Denver city*. URL: <https://earth.google.com/web/search/denver+city/@39.7642816,-104.8552032,1618.12476991a,57182.56386668d,35y,359.99947501h,0t,0r/data=CnYaTBJGciUweDg3NmI4MGFhMjMxZjE3Y2Y6MHgxMThlZjRmODI3OGEzNmQ2GSWEWEef3kNAITTTlukVgPlrAKgtkZW52ZXIgy2l0eRgCIAEiJgokCTi1FziD3UNAERFd3N0T00NAGbyyTmVENlrAlfBf-3ZyRVrA> (27.08.2023.)



13. HUSSAIN N., 2023. *Specifications of Russian Crude Oil URALS*. URL: <https://thepetrosolutions.com/russian-crude-oil-specifications-urals/> (21.08.2023.)
14. STEVENS H., 2023. *Why Biden's oil policies upset both oil companies and environmentalists*. URL: <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/interactive/2023/biden-oil-drilling-permits-willow-project/> (28.08.2023.)
15. STRAUSS CENTER, 2014. *The U.S. Shale Revolution*. URL: <https://www.strausscenter.org/energy-and-security-project/the-u-s-shale-revolution/> (28.07.2023.)
16. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2023. *Hydraulic Fracturing*. URL: <https://www.epa.gov/uog/process-unconventional-natural-gas-production> (20.08.2023.)
17. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019. *Tight oil development will continue to drive future U.S. crude oil production*. URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=38852> (24.07.2023.)

## IZJAVA

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



---

Nika Hribar



KLASA: 602-01/23-01/64  
URBROJ: 251-70-12-23-2  
U Zagrebu, 05.09.2023.

**Nika Hribar, studentica**

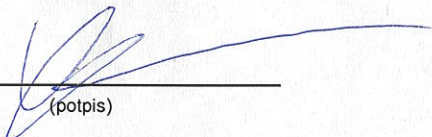
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/64, URBROJ: 251-70-12-23-1 od 22.05.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### REZERVE I PROIZVODNJA NAFTE IZ NEKONVENCIONALNIH LEŽIŠTA U SJEDINJENIM AMERIČKIM DRŽAVAMA

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

Mentorica:

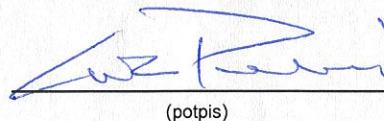


(potpis)

prof. dr. sc. Tomislav Kurevija

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

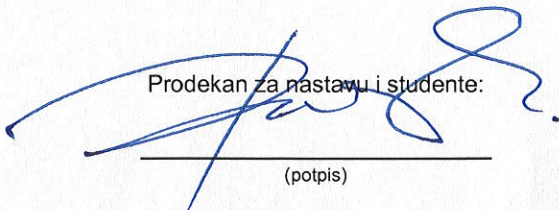


(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)