

# Transformacija naftnih tvrtki tijekom energetske tranzicije i iskustva u revitalizaciji iscrpljenih naftnih i plinskih polja u geotermalna polja

---

Matijaš, Tomislava

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*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:169:314284>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**TRANSFORMACIJA NAFTNIH TVRTKI TIJEKOM ENERGETSKE TRANZICIJE I  
ISKUSTVA U REVITALIZACIJI ISCRPLJENIH NAFTNIH I PLINSKIH POLJA U  
GEOTERMALNA POLJA**

Završni rad

Tomislava Matijaš

N4398

Zagreb, 2021.

TRANSFORMACIJA NAFTNIH TVRTKI TIJEKOM ENERGETSKE TRANZICIJE I  
ISKUSTVA U REVITALIZACIJI ISCRPLJENIH NAFTNIH I PLINSKIH POLJA U  
GEOTERMALNA POLJA

TOMISLAVA MATIJAŠ

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

Sažetak

Nafta i plin su neobnovljivi izvori energije koji se u 21. stoljeću nastoje zamijeniti s obnovljivim izvorima energije jer ne spadaju u ekonomiju održivog razvoja. U ovom završnom radu ukratko je prikazana proizvodnja i potrošnja nafte i plina te razlozi zbog kojeg su naftne kompanije započele s ulaganjem u obnovljive izvore energije. Srž rada odnosi se na prenamjenu naftnih i plinskih polja u geotermalna polja. Prikazani su različiti projekti u svijetu gdje su se upravo naftne bušotine prenamijenile za dobivanje geotermalnih izvora energije. Vodeći se projektima drugih država, istu iskoristivost geotermalne energije može ostvariti i Republika Hrvatska s obzirom da se količina iscrpljenih ugljikovodika godišnje smanjuje, a potencijal za pridobivanje geotermalne energije iz starih naftnih i plinskih polja je velik.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, kaskadni sustav, geotermalna energija, geotermalni potencijal, geotermalni gradijent, revitalizacija naftnih i plinskih bušotina

Završni rad sadrži: 35 stranica, 1 tablicu, 26 slika, i 20 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNf-a  
Komentor: Dr. sc. Marija Macenić

Ocjenjivači: : Dr. sc. Tomislav Kurevija, redoviti profesor RGNf-a  
Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNf-a  
Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNf-a  
Dr. sc. Marija Macenić

Datum obrane: 21.9.2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>II</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KRIZE KOJE SU ZAHVATILE NAFTNI SVIJET.....</b>	<b>4</b>
2.1. Prvi naftni šok.....	4
2.2. Drugi naftni šok.....	4
2.3. Svjetska kriza 2007. godine.....	5
<b>3. POLITIKA ZELENE EUROPE I SVIJETA.....</b>	<b>6</b>
3.1. Europski paket 20-20-20.....	6
3.2. Pariški sporazum.....	6
3.3. Europska politika dekarbonizacije.....	7
<b>4. ULAGANJA STRANIH TVRTKI U OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE.....</b>	<b>10</b>
4.1. BP (British Petroleum).....	10
4.2. Shell.....	10
4.3. ExxonMobil.....	11
<b>5. GEOTERMALNA ENERGIJA.....</b>	<b>12</b>
5.1. Pojam učinkovitosti.....	13
<b>6. REVITALIZACIJA NAFNIH I PLINSKIH BUŠOTINA U GEOTERMALNE U SVIJETU.....</b>	<b>14</b>
6.1. Mađarska.....	14
6.2. Nizozemska.....	16
6.3. Francuska.....	17
6.4. Italija.....	20
6.4.1. <i>Villafortuna - Trecate</i> .....	20
6.4.2. <i>Gaggiano</i> .....	20
6.5. Sjedinjene Američke Države (SAD).....	22
6.6. Kina.....	24
<b>7. POTENCIJAL REVITALIZACIJE NAFTNIH I PLINSKIH BUŠOTINA U REPUBLICI HRVATSKOJ.....</b>	<b>26</b>
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>33</b>
<b>9. LITERATURA.....</b>	<b>34</b>

## POPIS SLIKA

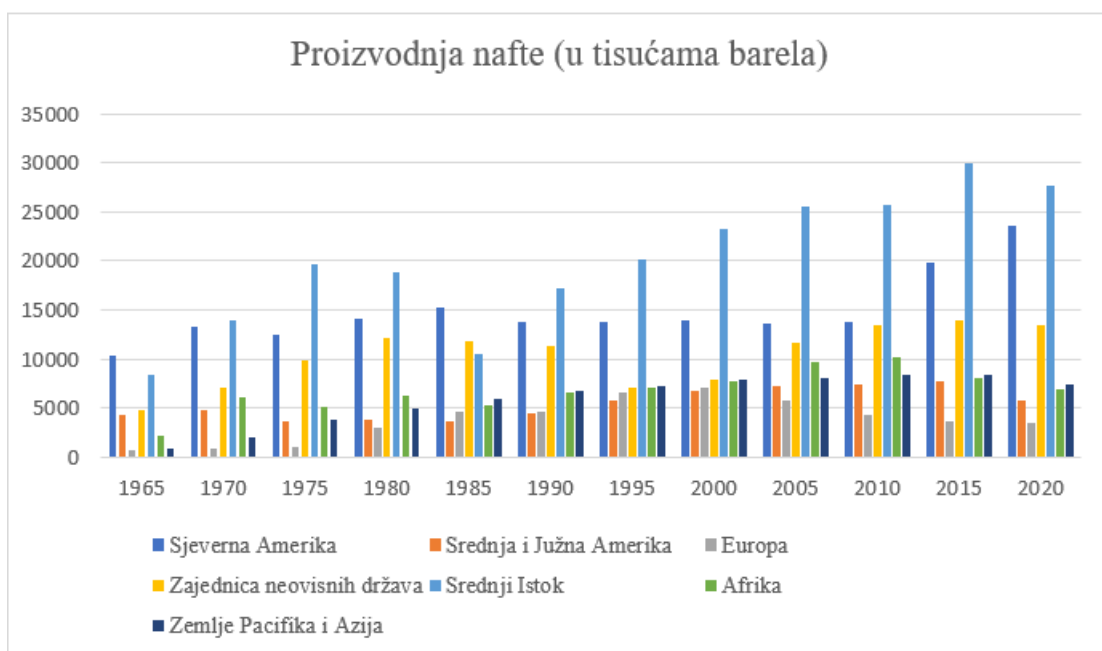
<b>Slika 1-1.</b> Proizvodnja nafte u svijetu od 1965. do 2020. godine. ....	1
<b>Slika 1-2.</b> Proizvodnja plina od 1970. do 2020. godine .....	2
<b>Slika 1-3.</b> Potrošnja nafte od 1965. do 2020. godine .....	2
<b>Slika 1-4.</b> Potrošnja plina od 1965. do 2020. godine .....	3
<b>Slika 3-1.</b> Grafički prikaz ciljeva Europske Unije .....	6
<b>Slika 3-2.</b> Neposredna potrošnja energije prema energentima .....	7
<b>Slika 3-3.</b> Neposredna potrošnja energije u prometu .....	8
<b>Slika 3-4.</b> Neposredna potrošnja energije u poljoprivredi .....	8
<b>Slika 3-5.</b> Cijena WTI nafte 20.04.2020. ....	9
<b>Slika 4-1.</b> Shellova vjetrenjača na moru .....	10
<b>Slika 5-1.</b> Prikaz područja na kojima je izražen geotermalni potencijal .....	12
<b>Slika 5-2.</b> Prikaz kaskadnog korištenja geotermalne energije .....	13
<b>Slika 6-1.</b> Geotermalni potencijal Mađarske pri temperaturi od 60°C .....	14
<b>Slika 6-2.</b> Slika lijevo prikazuje geotermalne bušotine, dok desna prikazuje naftne bušotine koje mogu biti revitalizirane u geotermalne bušotine .....	15
<b>Slika 6-3.</b> EOR proces utiskivanja vode .....	16
<b>Slika 6-4.</b> Staklenici na naftnom polju Moerkaplle u kojima se može primjenjivati geotermalna energija .....	17
<b>Slika 6-5.</b> Prikaz naftnih / plinskih bušotina koje mogu biti revitalizirane u geotermalne bušotine.....	18
<b>Slika 6-6.</b> Prikaz proizvodnih bušotina (žute točka) i utisne bušotine (ljubičasta točka) ...	21
<b>Slika 6-7.</b> Geotermalni potencijal SAD-a pri mjerenju na dubini od 6 kilometara.....	22
<b>Slika 6-8.</b> Prikaz bušotina u Kaliforniji (SAD) .....	23
<b>Slika 6-9.</b> Naftno ležište LB kao sastavni dio Hubei ležišta .....	24
<b>Slika 7-1.</b> Dozvole za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika iz 2014. ....	27
<b>Slika 7-2.</b> Dozvole za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika iz 2019. ....	28
<b>Slika 7-3.</b> Pregled eksploatacijskih polja s lokacijama istraženih bušotina i snimljenim seizmičkim podacima .....	29
<b>Slika 7-4.</b> Karta eksploatacijskih polja u RH .....	30
<b>Slika 7-5.</b> Karta geotermalnih gradjenata .....	31

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 6-1.</b> Popis bušotina naftnih bušotina koje su već revitalizirane u geotermalne bušotine i njihova namjena.....	19
--	----

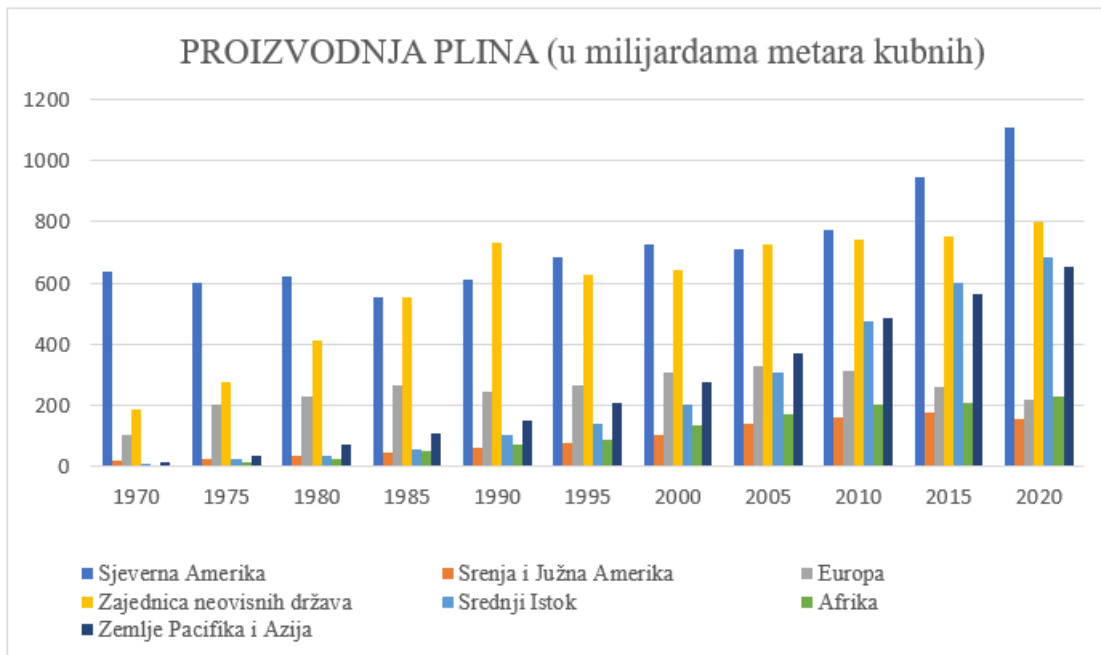
## 1. UVOD

Nafta i plin neizostavni su energenti koji se koriste već više od jednog stoljeća u svakodnevnom životu. Međutim njihova upotreba kakva je danas, nije uvijek bila ista. Ona se mijenjala ovisno o potrebama društvene zajednice. Tako se prema podacima iz 1965. godine vidi kako se proizvodnja nafte povećava. U 2020. godini proizvelo se oko 88,3 milijuna barela na dan (BP). Ovisno o naftnim poljima, njihovoj veličini, opremi koja se koristi za bušenje i opremanje bušotina, gospodarskim i političkim prilikama, ovisi koliko će se nafte iscrpiti. Ovakvim načinom crpljenja i tempom predviđeno je kako će se svjetske rezerve kroz nešto manje od pola stoljeća iscrpiti.



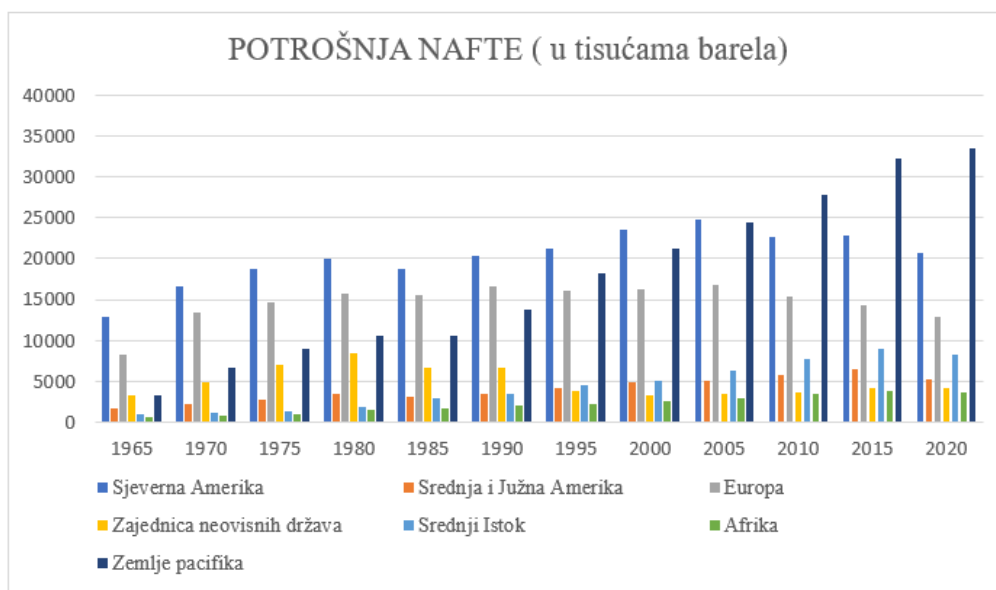
**Slika 1-1.** Proizvodnja nafte u svijetu od 1965. do 2020. godine (BP statistic, 2021)

Uz proizvodnju nafte najčešće slijedi i proizvodnja plina te se prema podacima u 2020. godini proizvelo oko 3,8 bilijuna metara kubnih plina (BP statistic, 2021).



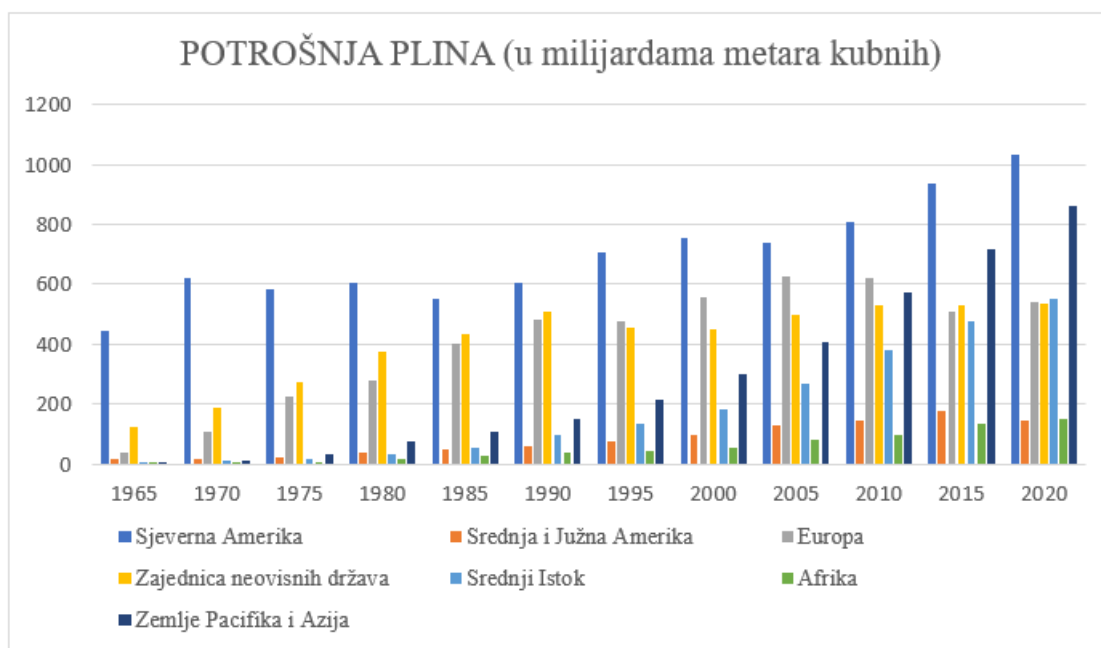
**Slika 1-2.** Proizvodnja plina od 1970. do 2020. godine (BP statistic, 2021)

Prema prikazanim podacima jasno je vidljivo kako se proizvodnja nafte i plina tokom pola stoljeća učeterostručila što dokazuje ljudsku potrebu za energentima koje može primjenjivati u raznim aspektima života. Potreba za fosilnim gorivima se može prikazati i prema njenoj potrošnji. U 2020. godini potrošnja nafte iznosila je 88,4 milijuna barela na dan, dok se potrošnja plina procjenjuje na 3,82 bilijuna metara kubnih (BP statistic, 2021).



**Slika 1-3.** Potrošnja nafte od 1965. do 2020. godine (BP statistc, 2021)





**Slika 1-4.** Potrošnja plina od 1965. do 2020. godine (BP statistic, 2021)

Prema prikazanim podacima uočavamo kako se proizvodnja i potrošnja fosilnih godina mijenja te se na nekim kontinentima smanjuje dok se na nekim povećava. Uzrok toga mogu biti razni ekološki, ekonomski i politički aspekti koji su naveli na razmišljanje mogu li se nafta i plin zamijeniti nekim drugim energetske resursima. Rješenje se pronašlo u obnovljivim izvorima energije gdje svaka pojedina država može iskoristiti svoj potencijal. To može biti energija vjetra, sunca, hidroenergija ili pak geotermalna energija. Potencijal geotermalne energije posebno je zanimljiv jer je po prirodi točkasti izvor energije koji se može skupljati u vodonosnicima koji se gotovo uvijek nalaze ispod naftnih i plinskih bušotina. U nastavku bit će prikazano u koje se sve svrhe može iskoristiti napušteno naftno i plinsko polje koje će biti u korist obnovljivom izvoru energije.

## **2. KRIZE KOJE SU ZAHVATILE NAFTNI SVIJET**

### **2.1. Prvi naftni šok**

Krize koje su ostavile jaki utjecaj na naftnu industriju mogu biti krize koje se direktno povezuju sa naftnom industrijom ili pak one koje su nastale kao posljedica neke druge krize. Prvi naftni šok dogodio se u jesen 1973. godine kao posljedica monopolske vladavine OPEC-a nad cijenama nafte. OPEC su tvorile zemlje izvoznice nafte. Sjedinjene Američke Države (SAD) uplele su se u Jomkipurski rat tako što su Izraelu pomogle u protunapadu. Arapske zemlje izvoznice nafte nakon toga su svoje nezadovoljstvo izrazile tako što su proglasile embargo na izvoz nafte u SAD i Nizozemsku, a reducirale su isporuku nafte za po 5% svakog mjeseca za zemlje na zapadu Europe. Prema podacima (BP) cijena nafte u 1972. godini iznosila je 2,48 američkih dolara po barelu, 1973. godine 3,29 američkih dolara barelu, a cijena nafte na koncu 1974. godine je iznosila 11,58 američkih dolara po barelu. Prema prikazanim podacima, posljedica krize uzrokovala je rast cijene nafte. Nagli rast cijena doveo je do povećane inflacije, porasta broja nezaposlenih u razvijenim zemljama koje uvoze naftu (Dekanić, 2003).

### **2.2. Drugi naftni šok**

Slična situacija drastičnog rasta cijena nafte bila je na prijelazu iz 1979. godine na 1980. godinu kada je uslijedio Drugi naftni šok pri kojem je cijena nafte porasla s 14,02 dolara po barelu na 36,61 američkih dolara po barelu. (BP) . Povod se krio u pregovorima između British Petroleuma (BP) i Iranske vlade o obnovi koncesijskih ugovora. Tijekom tih pregovora BP je iranskoj vladi ponudio drastično smanjenje iranske proizvodnje i izvoza nafte. To iranska vlada nije mogla prihvatiti jer bi to značio smanjenje prihoda. S vremenom povećavao se broj štrajkova iranskih radnika u naftnim kompanijama i jačao je socijalni bunt protiv tadašnje iranske vlade. Ponajprije zbog vjerskih, a kasnije zbog političkih razloga, iranska vlada je smijenjena. Nova vlast na čelu Irana odlučila je prekinuti bilo kakav oblik suradnje sa zapadom. Zatvorene su granice i prekinut je izvoz nafte. Zbog toga, proizvodnja nafte izvan OPEC-a je porasla, a OPEC je izgubio svoju monopolsku moć na svjetskom tržištu (Dekanić, 2003).

### **2.3. Svjetska kriza 2007. godine**

Početak 21. stoljeća bili smo suočeni s Svjetskom financijskom krizom koja je započela početkom ljeta 2007. godine. Glavni krivac svjetske ekonomske krize bile su Sjedinjene Američke Države (SAD), a kriza je bila potaknuta krizom tržišta nekretnina. Cijena kamatnih stopa nekretnina su dugo vremena bile niske te su omogućavale novčanu štednju i isplativo ulaganje na tržištu. Razvile su se i nove inačice poslovanja s dionicama (futures, swaps, otipons), ali najveći je utjecaj ostavila činjenica da su se vrijednosnice mogle kupiti na kredit te je njihova vrijednost mogla vrtoglavo narasti u nekom periodu vremena. Međutim krajem godine 2007. a početkom 2008. kamatne su stope narasle i onemogućile otplatu kredita i uzrokovane su kreditne kontrakcije i pada vrijednosti dionica na svjetskom tržištu. Te su se posljedice osjetile vremenski jako dugo (Mlikotić, 2010). Cijena nafte početkom 2007. godine iznosila je 72,39 dolara po barelu dok je tijekom svjetske krize porasla na maksimalnih 111,67 dolara po barelu (BP statistic, 2021).

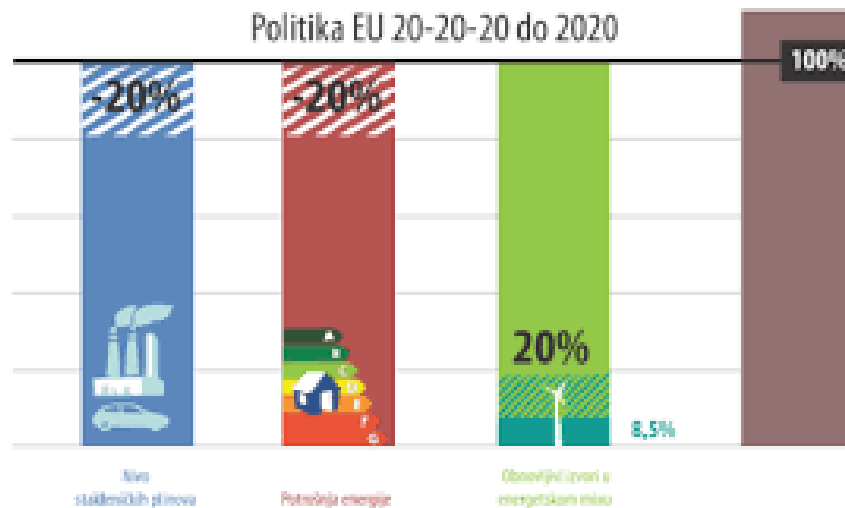
Ovim posljedicama se čovječanstvo suočilo s činjenicom da bilo kakva politička nadmetanja ili neslaganja mogu uzrokovati neke veće ekonomske posljedice i uzrokovati nepristupačnost glavnom energentu i porastu njegove cijene. Zavladao je osjećaj nesigurnosti u dosadašnja uvjerenja kako će korištenje fosilnih goriva biti konstantno i dostupno po istim cijenama i količinama.

### 3. POLITIKA ZELENE EUROPE I SVIJETA

Zato se počelo razmišljati o upotrebi obnovljivih izvora energije. Dostupnost obnovljivih izvora energije je konstantna, a njihovom upotrebom može se smanjiti utjecaj na klimatske promjene.

#### 3.1. Europski paket 20-20-20

Potaknuta klimatskim promjenama i ekonomskoj krizi, Europska unija je donijela Energetsko-klimatski paket zakona koji bi do 2020. godine trebao smanjiti za 20% emisije stakleničkih plinova u usporedbi sa 1990. godinom, da se poveća za 20% udio obnovljivih izvora energije u energetskej potrošnji i da se općenito za 20% poveća energetska učinkovitost (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020).



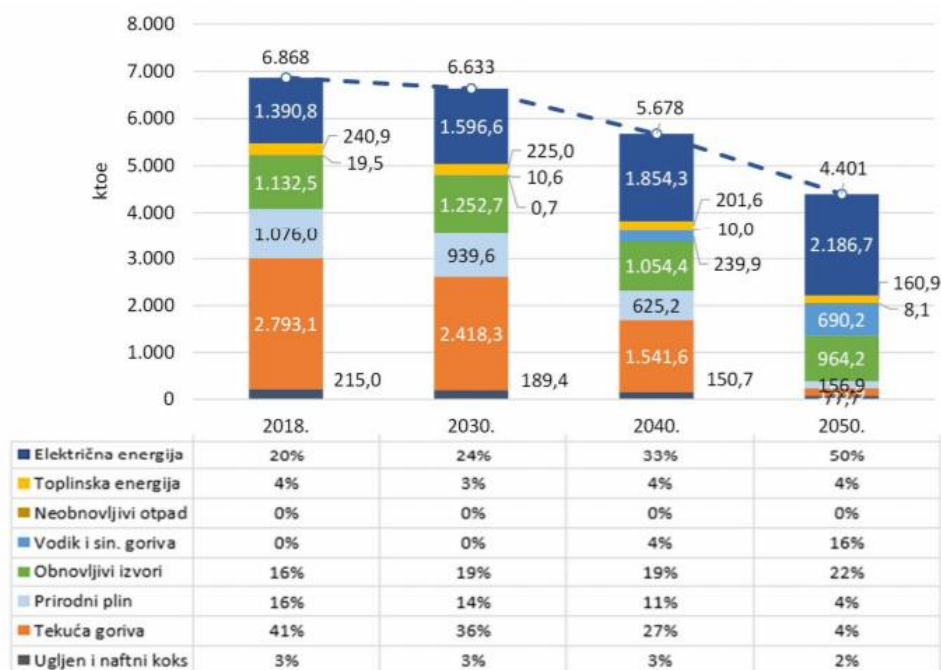
Slika 3-1. Grafički prikaz ciljeva Europske Unije (Borković, 2010)

#### 3.2. Pariški sporazum

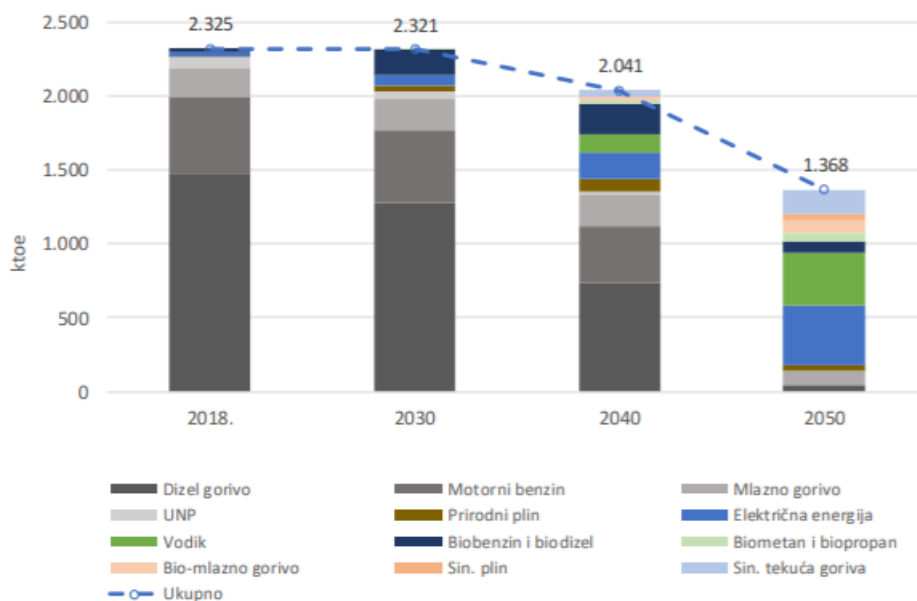
Uz paket 20-20-20, veliki udio u smanjenju potrošnje nafte i plina ima i Pariški sporazum. Pariški je sporazum postignut 12. prosinca 2015. godine, a njegov glavni cilj je da se ograniči globalno zatopljenje na temperature ispod 2°C, poticati smanjenje emisija stakleničkih plinova, te da potaknu države da započnu s razvijanjem novih „zelenih“ tehnologija. Cilj je također pomoći državama koje taj cilj u potpunosti ne mogu ostvariti same. Mnoge su zemlje potpisale ugovor među kojima se najviše ističu Kina i SAD koje svojom upotrebom nafte i plina ostvaruju najveće emisije stakleničkih plinova (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020).

### 3.3. Europska politika dekarbonizacije

Međunarodne zajednice su na mnogo načina pokušale ubrzati proces tranzicije na obnovljive izvore energije uz već spomenute odredbe i sporazume, a EU je krenula i u daljnje planiranje. Razvila je ideju o klimatsko neutralnom scenariju do 2050. godine. Osnovne su odrednice da se poveća udio električne energiji u neposrednoj potrošnji, a da se električna energija proizvodi iz obnovljivih izvora energije te da se elektrificira cestovni promet pri upotrebi osobnih vozila.

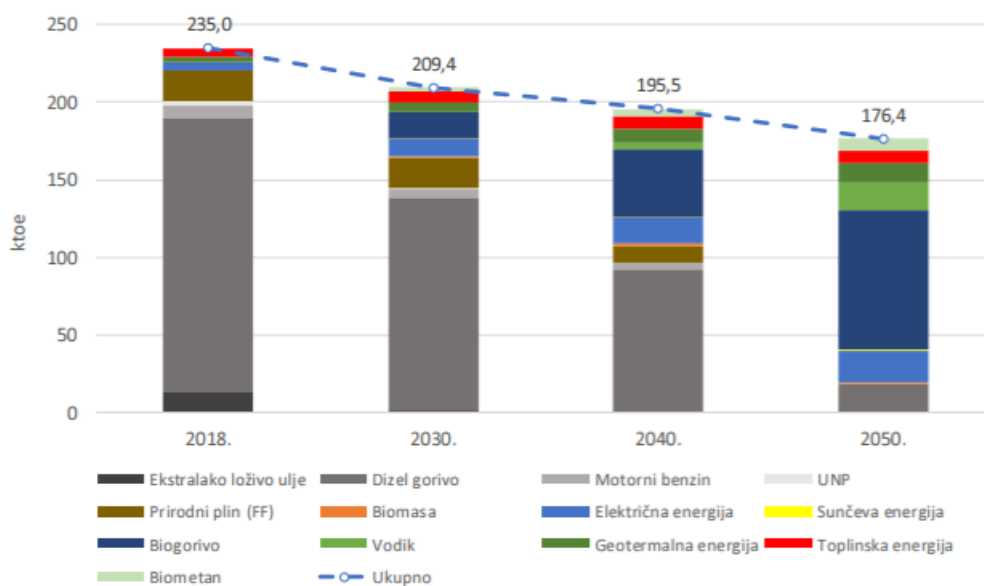


**Slika 3-2.** Neposredna potrošnja energije prema energentima (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020)



**Slika 3-3.** Neposredna potrošnja energije u prometu (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020)

Dodatni izazov je i upotreba obnovljivih izvora energije u poljoprivredi. Udio je fosilnih goriva u 2018. godini iznosio 90%, a planirano je kako će se do 2050. godine taj udio smanjit na minimalnih 10%. Upotreba ovolike količine fosilnih goriva je zbog toga što se ona koriste kao pogonsko gorivo poljoprivrednih strojeva. Zamjena upotrebe fosilnih goriva će biti upotrebom električne energije, biogoriva, vodikom i posebno za naglasiti geotermalnom energijom (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020).



**Slika 3-4.** Neposredna potrošnja energije u poljoprivredi (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2020.)

Ova odluka EU je bila ubrzana s posljedicama pandemije COVID-19. Pojava bolesti potkraj 2019. godine uzrokovala je prekid normalnog načina života što se odrazilo na cijenu nafte. Krah koji se dogodio dana 20.04.2020. kada se prvi put u povijesti dogodilo da je cijena nafte WTI (West Texas Intermediate) prodavala po cijeni od -37 dolara po barelu za buduće isporuke u svibnju. Uzrok tome je bila činjenica da se nafta i njeni derivati nisu koristili u istoj količini kao i prethodnih mjeseci jer je zbog pandemije došlo do zatvaranja dućana, obrta te putovanja nisu bila moguća, te se tako potražnja za naftom drastično smanjila (<https://www.investing.com/equities/w-t-offshore-inc>).



**Slika 3-5.** Cijena WTI nafte 20.04.2020. (Investing.com, 2021)

## 4. ULAGANJA STRANIH TVRTKI U OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE

Upravo zbog ovakvih situacija u kojem se svijet našao 2020. godine i kao posljedica prethodnih kriza, neke su naftne kompanije odlučile ulagati u obnovljive izvore energije i prihvatiti politiku održivog razvoja kroz potpisivanje različitih sporazuma.

### 4.1. BP (British Petroleum)

Jedan od primjera je BP ( British Petroleum ) koji je uložio u obnovljive izvore energije vjetra i sunca. U zadnjih nekoliko godina uložio je preko 200 milijuna dolara kompaniju Lightsource kako bi zadržao nad njom 43% udjela. Lightsource se bavi razvojem projekata solarne energije. Također uložio je u projekte koji pogoduju nisko ugljičnom razvoju, a riječ je o kompanijama koje se bave tehnologijom električnih vozila i baterija (Petrović, 2020).

### 4.2. Shell

Potom Shell koji je pokazao značajan interes za obnovljivim izvorima energije kao što su solarna energija, energija vjetra. Osim toga potiče razvoj vozila na vodikove gorive ćelije. U 2018. godini Shell je postao suvlasnik dviju kompanija. Jedna od njih je Silicon Ranch za koju je postao suvlasnik s 44% udjela koje je isplatio s 200 milijuna dolara te Husk Power Systems u koju je uložio 20 milijuna dolara. Osim toga postao je suvlasnik u Australskoj kompaniji za solarnu energiju i također kupio udio u francuskoj kompaniji Eolfi koja se bavi plutajućim vjetroelektranama. Shellov je cilj ulagati u obnovljive izvore energije kako bi svejedno ostao na svjetskom tržištu i prikazao prilagodbu koju je moguće učiniti prilikom dolaska energetske tranzicije (Petrović, 2020).



**Slika 4-1.** Shellova vjetrenjača na moru (Shell, 2021)



### **4.3. ExxonMobil**

Naravno svaka naftna kompanija ne razmišlja isto i ne želi ulagati u obnovljive izvore energije. Primjerice ExxonMobil nema planirani budžet za ulaganje u obnovljive izvore energije, ali strategija naftne kompanije je smanjenje stakleničkih plinova na temelju hvatanja i skladištenja ugljikova dioksida i utilizacije. Osim skladištenja ugljikova dioksida i utilizacije moguće je korištenje naftnih bušotina za crpljenje geotermalne energije odnosno vode koja se može upotrijebiti na više načina (Petrović , 2020).

## 5. GEOTERMALNA ENERGIJA

Geotermalna energija je općenito točkasti izvor koji se u jako velikim količinama nalazi na granicama tektonskih ploča gdje se nalazi i većina aktivnih vulkana. Najaktivnije područje geotermalnog područja jest Pacifički vatreni prsten koji se nalazi oko Tihog oceana.



**Slika 5-1.** Prikaz područja na kojima je izražen geotermalni potencijal (Energy education, 2021)

Osim područja koje okružuje krajeve tektonskih ploča, geotermalnu energiju moguće je pronaći na istim mjestima gdje i naftu i plin, tj. sedimentacijskim bazenima. Najčešći izgled ležišta plina, nafte i vode izgleda tako da se njihov raspored u prostoru oblikuje prema gustoći fluida. Kako je plin laka komponenta njegova se migracija kod poroznih i propusnih stijena očituje da se izdiže u vrh ležišta, dok je razdjelnicu nafte i vode teško uočiti zbog približno istih gustoća i ponašanja fluida. Tijekom proizvodnje nafte u cilju nam je koristiti energiju ležišta koja proizlazi i iz energije podinskih akvifera.

Nakon što se većina nafte iscrpi i upotrijebe se sve metode crpljenja, od primarnih gdje se koristi energija ležišta, sekundarnih u kojim se crpljenju pristupa uz pomoć različitih mehaničkih sisaljki i tercijarnih gdje se u bušotinu može utiskivati plin ili kemikalije, ostaje podinski akvifer s geotermalnom energijom odnosno vodom. Najčešće se dogodi da naftne kompanije ne žele koristiti energiju koja je preostala jer se ne radi o nafti.

Likvidacija naftnih bušotina složen je postupak u kojem se treba prvo zacementirati unutrašnjost bušotine s cementnom kašom i sve se zaštitne cijevi moraju se odrezati na dubini od 1,5 do 2 metra od površine. Bušotinska glava i erupcijski se uređaj moraju ukloniti s površine kako bi mogla omogućiti uređenje radnog prostora kao što je bilo prije crpljenja

nafte (Macenić, 2020). Troškovi likvidacije i napuštanja bušotine ovise o lokaciji i karakteristikama bušotine te potrebnoj opremi za izvedbu. U Ujedinjenom Kraljevstvu primjerice likvidacija bušotine može iznositi od 2 do 10 milijuna američkih dolara (INA, 2018).

Geotermalna energija predstavlja nove načine iskorištenja već starih naftnih i plinskih polja koja potencijalno mogu biti pretvorena u geotermalna polja. Njihova će funkcionalnost bit predočena u različitim projektima koji se temelju na iskorištavanju obnovljivih resursa energije.

### 5.1. Pojam učinkovitosti

Najučinkovitije korištenje geotermalne energije bilo bi preko kaskadnog iskorištavanja. Geotermalna energija bi se pretvorila u električnu energiju preko geotermalnih elektrana. Rad elektrane ovisi o temperaturi ležišta. Ako temperatura ležišta ide preko  $220^{\circ}\text{C}$  koristi se parna turbina ili kombinirani proces koji uključuje parnu turbinu i binarni proces. Ukoliko se temperatura ležišta kreće između  $100^{\circ}\text{C}$  i  $200^{\circ}\text{C}$  koristi se binarni proces. Poželjno bi bilo kako bi temperatura na izlazu iz sustava bila oko  $200^{\circ}\text{C}$  i kako bi dalje mogla opskrbiti energijom za primjerice za preradu hrane ili za rashlađivanje postrojenja. Daljnje spajanje u sustav bi omogućilo da kućanstva i plastenici/staklenici imaju raspodjelu energije od  $100^{\circ}\text{C}$ , a ostatak od  $50^{\circ}\text{C}$  može se koristiti za grijanje ribnjaka ili ponovno utisnuti u bušotinu (Energetski institut Hrvoje Požar, 2010).



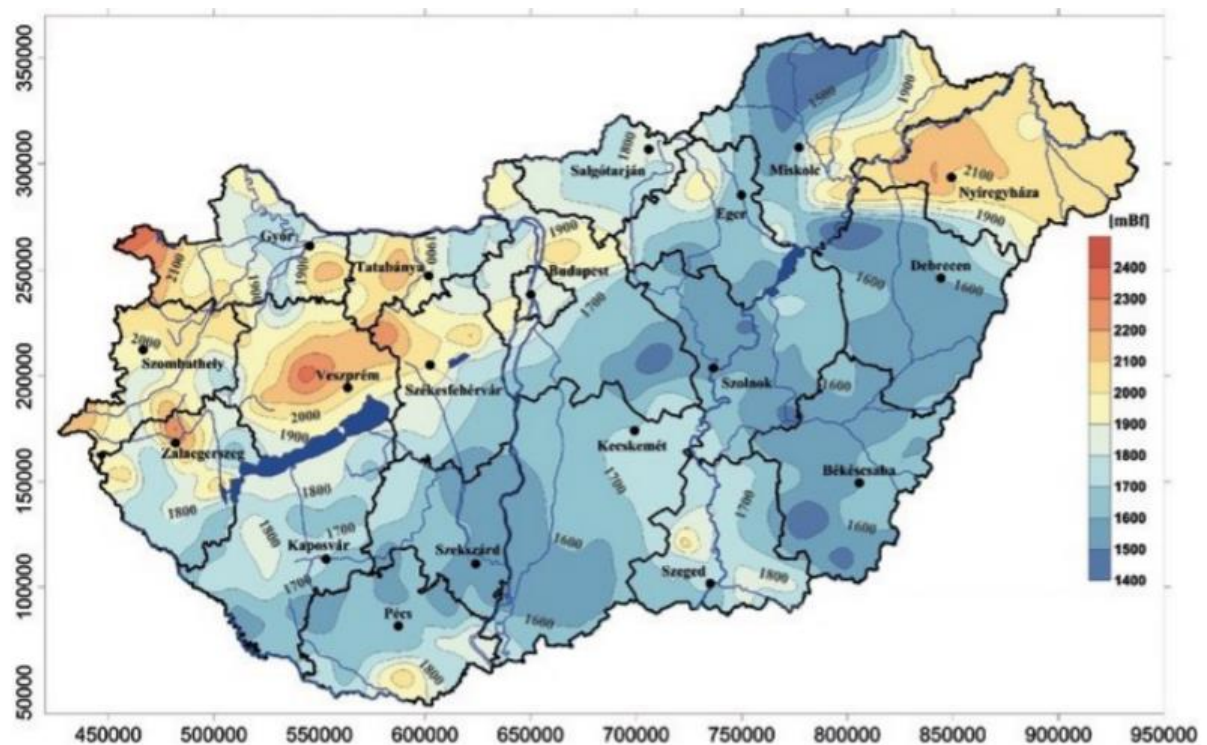
**Slika 5-2.** Prikaz kaskadnog korištenja geotermalne energije (Energetski institut Hrvoje Požar, 2010)

## 6. REVITALIZACIJA NAFNIH I PLINSKIH BUŠOTINA U GEOTERMALNE U SVIJETU

### 6.1. Mađarska

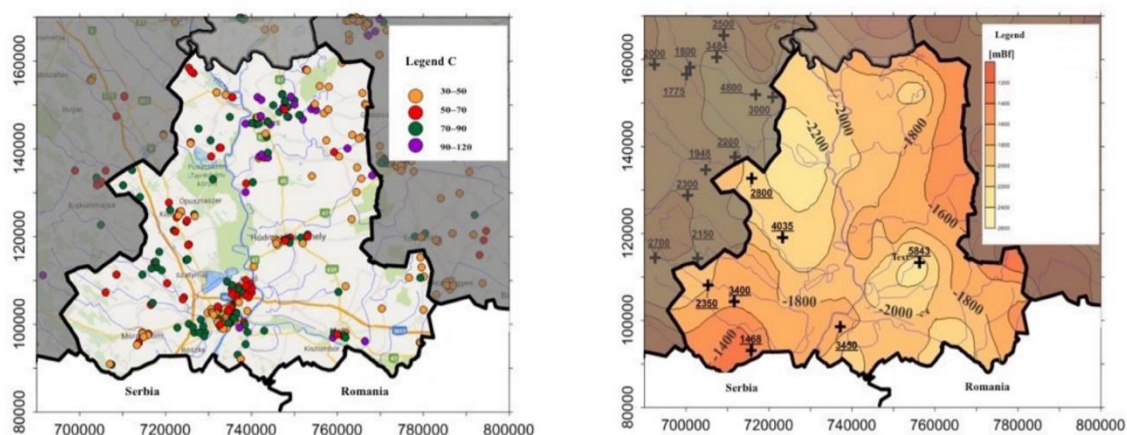
Mađarska se smatra zemljom koja ima veliki potencijal za proizvodnju geotermalne energije. Cijela zemlja leži na Panonskom bazenu koji prema istraživanjima ima veći gradijent temperature nego li ostatak Europe. Tradicija bušenja i proizvodnje nafte i plina seže u dvadeseto i trideseto desetljeće prošloga stoljeća. Potaknut činjenicom da bi se tijekom pronalaska nafte i plina pronašao i izvor geotermalne vode, T. Boldizsár (1958, 1967), je prepoznao potencijal geotermalnog značaja. Uz traganjem za fosilnim energentima, dodatno se bušilo za geotermalne izvore koji su naposljetku bili korišteni za poljoprivredne svrhe.

Temperatura se stijena mijenja s dubinom te prema istraživanjima većina stijena pri dubini od 700 do 900 metara može emitirati toplinu od 50°C na cijelom području Panonskog bazena što je većinom iskorišteno u poljoprivredne svrhe, dok pri dubini od 1600 do 1700 metra temperatura može dosegnuti do 90°C na jugoistoku Mađarske što može biti dovoljno da se geotermalna energija, pretvorbom u električnu energiju koristi za pogon industrijske zone ili grada (Toth, 2017).



Slika 6-1. Geotermalni potencijal Mađarske pri temperaturi od 60°C (Toth, 2017)

Prema navedenim podacima odlučeno je kako će se u devetnaest županija analizirati 1620 bušotina koje su već postojeće i izbušene u korist geotermalnih izvora te 168 napuštenih naftno plinskih bušotina koje se ističu kao bušotine iz kojih je moguća proizvodnja geotermalne energije. Tako se u županiji Csongrád (Čongrad-čanadska županija), nalazi 282 geotermalne bušotine i 7 napuštenih naftno plinskih bušotina koje se mogu prenamijeniti za crpljenje geotermalne energije. Jedna od 282 geotermalne bušotine bila prenamijenjena za dobivanje nafte i plina nakon drugog svjetskog rata, nakon što je potražnja za naftom i plinom bila veća nego upotreba bušotine za geotermalnu energiju. Sada se ponovno ta ista bušotina prenamijenila za geotermalni rad (Nador, 2019).

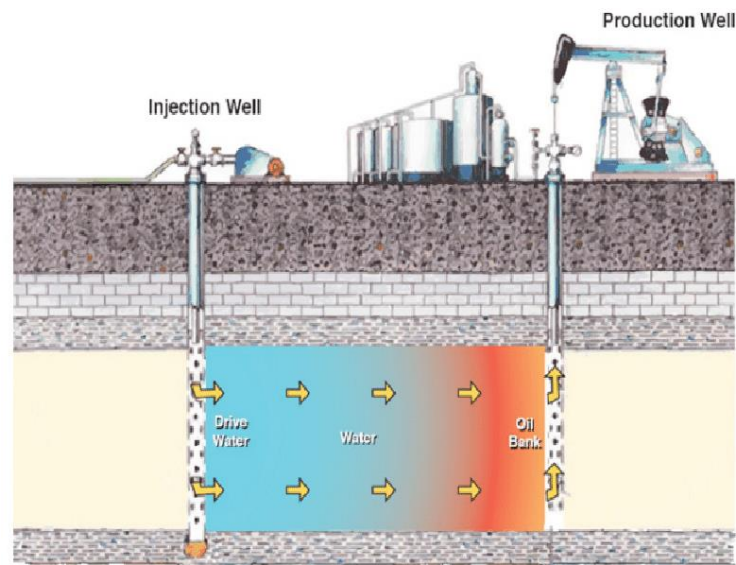


**Slika 6-2.** Slika lijevo prikazuje geotermalne bušotine, dok desna prikazuje naftne bušotine koje mogu biti revitalizirane u geotermalne bušotine (Toth, 2017)

Geotermalni gradijent je  $37 - 45 \text{ }^\circ\text{C/km}$ . Geotermalne rezerve se ove županije mogu podijeliti u tri razreda, ovisno o tome na što možemo iskoristiti dobivenu energiju. Ova županija proizvodi oko  $25 - 30$  miliona  $\text{m}^3$  termalne vode što je ukupno  $1/6$  proizvodnje u cijeloj zemlji, a svaki grad ju koristi za grijanje (Toth, 2017). Geotermalna se energija ne koristi samo u ovom dijelu zemlje, već i na drugim mjestima, a ovisno o temperaturnom gradijentu njena se iskoristivost razlikuje. Ona može biti u gospodarske svrhe, zdravstvene i turističke (Nador, 2019).

## 6.2. Nizozemska

Nizozemska već pola stoljeća crpi naftu i plin, a njihova potreba za fosilnim gorivima iznosi više nego li je oni sami proizvode. Prema podacima iz 2016. godine oko 400 plinskih bušotina crpilo je plin, dok je broj naftnih bušotina manji i ima ih 48 koje proizvode naftu. (NLOG). Neke se naftne ili plinske bušotine mogu prenamijeniti za proizvodnju geotermalne energije ili se može primijeniti EOR projekt – oporavak naftne bušotine grijanjem uz pomoć termalnog izvora. U Nizozemskoj glavni geotermalni akviferi su vruće sedimentne stijene koje su na dubini od oko 2 kilometra s temperaturnim rasponom od 70°C do 100°C, a njihov potencijal se otkrio tako što su to ujedeno naftna ili plinska polja iz kojih se još uvijek crpi nafta ili su pak napuštena. Tako se provelo istraživanje na Moerkapelle naftnom polju koje se nalazi u zapadnom nizozemskom bazenu, gdje se nalazi napuštena naftna bušotina na dubini od 850 metara. Ona se napustila zbog ne ekonomičnosti proizvodnje jako viskozne nafte (Ziabaskhshganji, 2016).



**Slika 6-3.** EOR proces utiskivanja vode (Office of Fossil energy and carbon management, 2021)

Za bolju proizvodnju bušotine pokušao se primijeniti uz EOR projekt utiskivanja pare ili vruće vode kako bi se smanjila viskoznost nafte i povećao iscrpak kao što je bio slučaj s bušotinom u Oklahomi ili Kanadi. Ta se vruća para ili voda pridobivala iz vodenog akvifera koji se nalazio ispod naftne zone. Zatvorene poljoprivredne površine na naftnom polju Moerkapelle odnosno staklenici, godišnje za grijanje i održavanje normalnih klimatskih uvjeta zahtijevaju oko 126 miliona metara kubnih plina, a svojim izgaranjem stvara snagu od 3,97 PJ godišnje. Ta se energija djelomično može zamijeniti s geotermalnom

energiom podinskog akvifera. Temperatura vodonosnika iznosi 100°C a energija se može izračunati po formuli  $\Delta E = m_i c_p \Delta T_i$ , temperatura utiskivanja unutar bušotine je 30°C, a ukupna dobivena snaga koju mogu staklenici trošiti je 0,51 PJ godišnje (Ziabaskhshganji, 2016).

Iako nije dobivena energija iz izračuna nije ni približno jednaka kao potrebna koja se trenutno koristi od izgaranja plina, svejedno se može upotrijebiti kako bi smanjila potrebu za prirodnim plinom te krenula s unapređenjem i razvojem obnovljivih izvora energije čija će se upotreba moći koristiti u ovakve svrhe.

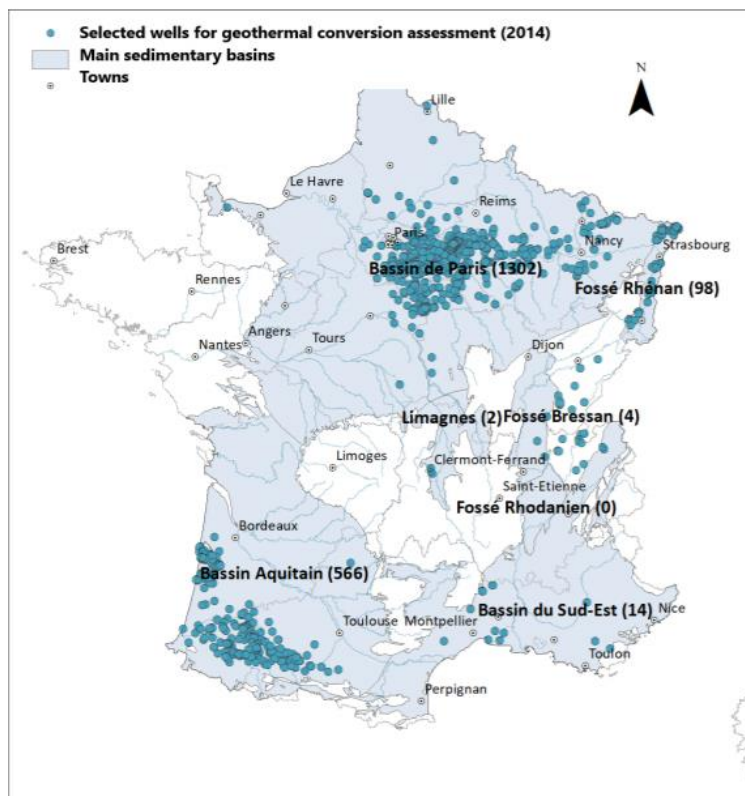


**Slika 6-4.** Staklenici na naftnom polju Moerkapelle u kojima se može primjenjivati geotermalna energija (Google Maps, 2021)

### 6.3. Francuska

U Francuskoj je do 2017. godine ukupno bilo izbušeno oko 12 500 bušotina na području Akvitanije, Pariškog bazena i jugoistoka države. Prema zagovoru Europske Unije, Francuska do 2040. godine planira prestati s istraživanjem naftnih i plinskih ležišta te pokušati osvijestiti koncesionare da razmisle o prenamijeni naftnih i plinskih bušotina u geotermalne svrhe. Željom da se prepozna značaj geotermalne energije, Francuska Agencija za okoliš i energetske menadžment (ADEME, Agency for environment and energy

management) je provela i financirala istraživanje za revitalizaciju naftnih i plinskih polja u geotermalna. Cilj joj je bio da postojeće bušotine, koje su nastale nakon 1970. godine, dublje su od 200 metara, imaju praćen radni vijek te su na kopnu, se identificiraju kao potencijal za pretvorbu bušotina u geotermalne bušotine koje svoju energiju mogu preuzimati u obliku otvorenog ili zatvorenog sustava (Maurel, 2019).



**Slika 6-5.** Prikaz naftnih / plinskih bušotina koje mogu biti revitalizirane u geotermalne bušotine (Maurel, 2019)

Potencijal otvorenog sustava konverzije se temelji na procjenama već postojećih bušotina i analizama geoloških i hidrogeoloških podataka, dok se potencijal zatvorenog sustava konverzije temelji na analizi podataka koaksijalnih izmjenjivača topline i procjenom potrošnje godišnje energije iz numeričkog i analitičkog modeliranja.

Otvoreni sustav konverzije proizvodi vodu iz dubokih akvifera pri visokim temperaturama kako bi proizvodili toplinu ili električnu energiju. Ako se koristi proizvodna i utisna bušotina radi se o dvostrukom sustavu. Ovakav način rada osigurava održivost i smanjuje se mogućnost crpljenje vodonosnika u potpunost. Većinom je korišten sustav samo jedne bušotine, proizvodne gdje se voda ne utiskuje ponovno u akvifer. Ovakvim su sustavima rada je revitalizirano 5 bušotina na području Francuske koje se danas koriste kao



sustavi za grijanje kućanstava, zgrada, ribnjaka, poljoprivrednih površina (staklenika) te termalnih bazena.

**Tablica 6-1.** Popis bušotina naftnih bušotina koje su već revitalizirane u geotermalne bušotine i njihova namjena

Lokacija	Ime bušotine	Geografsko područje	Godina bušenja i konverzije	Temperatura vode	Dubina revitalizirane bušotine	Korištenje
Merkwille	Hélions 1	Područje rijeke Rhine	1910. 1925.	65°C	1157	Grijanje naselja
Argelouse	Sore 1A	Akvitanija	1954. 1964.	48°C	1646	Grijanje ribnjaka
Pézenas	Pézenas	Sjeveroistočna nizina	1949. 1947.	37,4°C	735	Akvakultura i bazeni
Saint-Paullès-Dax	Sébastopol 1 bis	Akvitanska nizina	1954. 1975.	46°C	865	Termalne toplice
Le Teich	Mios Le Teich	Akvitanska niszina	1964. 1983.	74°C	2491	Akvakultura

Zatvoreni sustav konverzije se većinom koristi kod dubljih geotermalnih bušotina koje nemaju dobar protok. U bušotini se stvara princip koaksijalnog izmjenjivača topline gdje zaštitne cijevi preko cementnog kamena u dodiru sa stijenom, od koje preuzimaju toplinu ležišta, predaju toplinu tubingu (uzlaznom nizu cijevi) gdje prolazi radni fluid odnosno geotermalna voda. (Kvaternik,2015). Ovakvim principom rada ostvareno je crpljenje geotermalnih bušotina koje nisu nužno proizašle iz revitalizacije naftnih i plinskih bušotina.

## **6.4. Italija**

U Italiji trenutno je se nalazi 2166 naftnih i plinskih bušotina od kojih se 898 nalaze na kopnu i moguće ih je razmatrati za revitalizaciju u geotermalne bušotine. Većina bušotina koje bi bile kompatibilne za crpljenje geotermalnih izvora se nalaze na dubini od 2000 do 3000 metara, a temperatura na toj dubini u prosjeku iznosi 70°C iako ima iznimaka čija temperatura doseže i veće temperature (Soldo, 2020).

### **6.4.1. Villafortuna - Trecate**

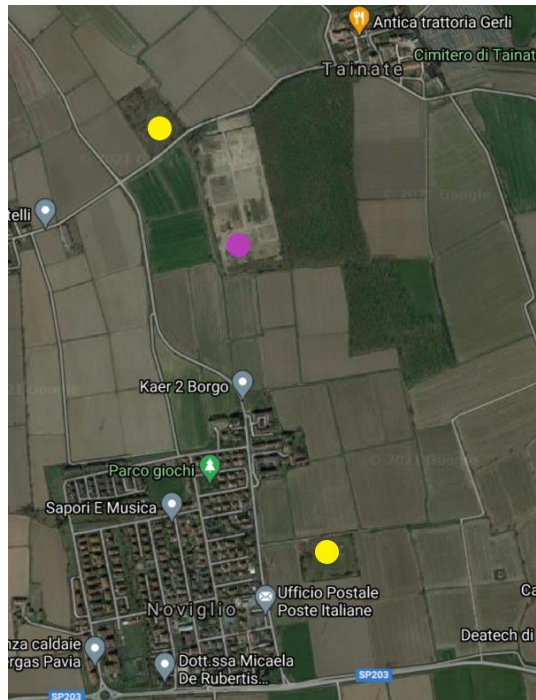
Villafortuna-Trecate je naftno polje koje se nalazi u Pijemontu. Napravio bi se sustav kaskadnih postrojenja sastavljen od elektrane s organskim Rankin ciklusom (ORC), postrojenje za daljinsko grijanje i grijanje u svrhu akvakultura. Bušotine koje se nalaze oko gradova Romentina i Galliatea, a ima ih 6, bi omogućile rad cijelog sustava. Svaka pojedina bušotina ima potencijal da proizvede 100kg/s tople vode koja u akviferu postiže temperaturu od 130°C. Geotermalna voda bi prvo omogućila rad elektrane, koja bi proizvodila 1400 kWh godišnje po glavi stanovnika. Nakon toga, fluid bi pri temperaturi od oko 80°C omogućio daljinsko grijanje koje bi iznosilo 2kW po kućanstvu. Potom bi ostatak vode koja izlazi iz sustava daljinskog grijanja bila pri temperaturi od 50°C. Kako su planirana posebna uzgajanja određenih morskih i riječkih vrsta, temperatura koja bi se doista iskoristila bila bi 35°C (Soldo, 2020).

Cjenovno, ulaganje za svaki pojedini sustav (jer svako naselje će dobiti svoj kaskadni sustav), ovisi o broju stanovnika, veličini akvamarinskog bazena i snazi koju može proizvesti elektrana. Za Galliate kaskadni plan procjenjuje se kako će se uložiti 53,197 M€, a povratak uloženog novca, koji ovisi o korištenju svakog pojedinog dijela sustava, u prosjeku bi se trebao isplatiti nakon 6 godina. Što se tiče troškova za Romentino, oni iznose ukupno 28,056 M€, a povratak uloženog sredstva isplatio bi se također nakon 6 godina (Soldo, 2020).

### **6.4.2. Gaggiano**

Naftno polje Gaggiano se nalazi jugozapadno od milanske provincije. Bušotine koje su izabrane za revitalizaciju iz naftnih u geotermalna polja se nalaze u blizini Tainata i Noviglia. Temperatura vodonosnika se procjenjuje na 125°C. Uzimajući u obzir dostupnost dviju proizvodnih bušotina, koje su udaljene jedna od druge oko 1,5 kilometar, i jedne utisne bušotine te da se naftno polje nalazi na poljoprivrednoj površini a ne u gradu, predlaže se kaskadna shema sustava. Sustav se sastoji od postrojenja za daljinsko grijanje (naseljenog

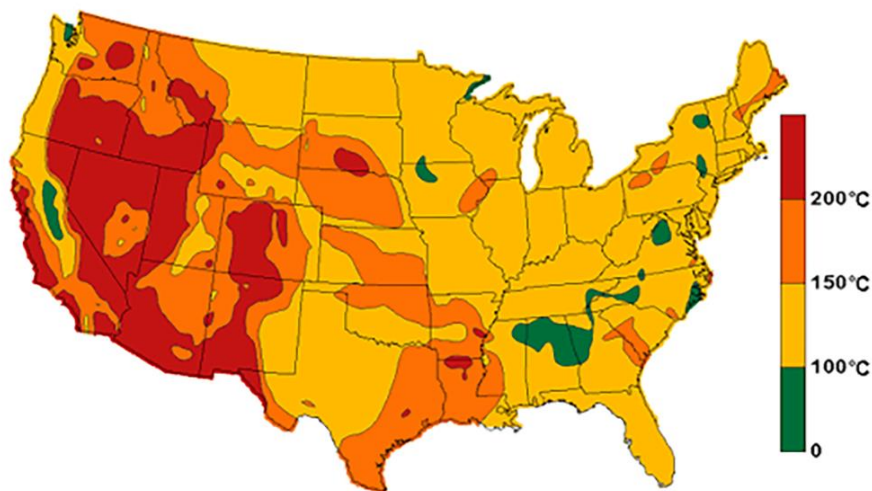
mjesta preko distribucijske mreže), staklenika i postrojenja za akvakulturu. Predviđa se kako će se iz proizvodnih bušotina moći ostvariti snaga od 6MW, od kojih će 4MW pripasti daljinskom grijanju, a 2 MW upotrijebljeno za staklenike. Izlazna temperatura vode trebala bi biti oko 70°C koja će se uz miješanje s vodom od 20°C biti pogodna za zahtjeve akvakulture. Cijena izrade kaskadnog procesa iznosila bi oko 330 000 €. Povratak uloženog novca ovisi o korištenju pojedinog sustava (Soldo, 2020).



**Slika 6-6.** Prikaz proizvodnih bušotina (žute točka) i utisne bušotine (ljubičasta točka) (Google Maps, 2021)

## 6.5. Sjedinjene Američke Države (SAD)

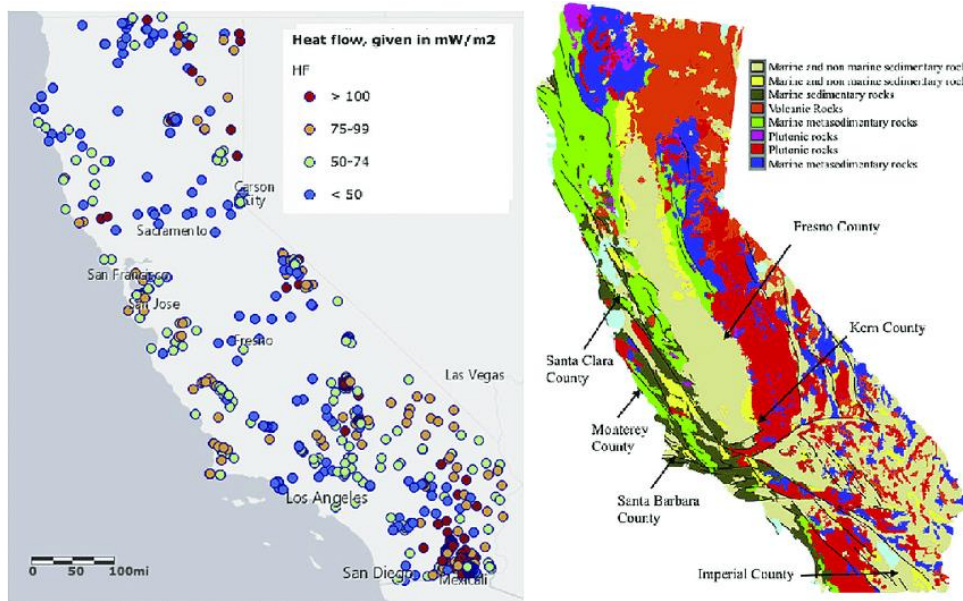
Sjedinjene Američke Države (SAD) imaju jako dugu povijest crpljenja nafte, gotovo jedno stoljeće. Iako se u SAD-u svakodnevno rade hidraulička frakturiranja i pokušava se na mnogo načina održati proizvodnja fosilnih goriva, bilo to iz konvencionalnih ili ne konvencionalnih ležišta, svejedno se radi na razvoju geotermalne energije kao sekundarnog potencijalnog energenta.



**Slika 6-7.** Geotermalni potencijal SAD-a pri mjerenju na dubini od 6 kilometara (U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2021)

Prva se geotermalna elektrana u SAD-u otvorila na području savezne države Kalifornije 1960. te godišnje se proizvede oko 15 milijardi kilovat sati gdje se nalazi ujedino najveće polje suhe nafte, Geysers. Znajući kako država ima jako veliki geotermalni gradijent, odlučeno je da će se napraviti istraživanje na koji način se mogu iskoristi stare napuštene plinske i naftne bušotine i prenamijeniti ih u geotermalne.

Prema istraživanjima u Kaliforniji se ukupno nalazi 147 127 bušotina. Neke od tih bušotina crpe naftu ili plin, neke su napuštene i zatvorene, a neke se nikada nisu koristile jer su bile istražne. Većina njih je zatvorena posljedicom niske proizvodnje nafte. Bušotine iako možda nikada nisu bile korištene, nose svoju vrijednost jer upravo iz podataka koji su dobiveni tijekom bušenja i istraživanja možemo saznati vrijedne informacije o litološkom sastavu, poroznosti stijena i temperaturi (Caulk, 2017).



**Slika 6-8.** Prikaz bušotina u Kaliforniji (SAD) (Caulk, 2017)

U Kaliforniji, razmatra se o upotrebi dva sustava geotermalnih sistema. Jedan od njih je poboljšani geotermalni sistem (EGS) čiji se trošak za izgradnju, ako se izostavi bušenje, može smanjiti i do 50% ukupnog troška. On se temelji zapravo na proizvodnji termalne vode koja je sama po sebi pri visokoj temperaturi. Osim EGS-a koriste i bušotinski izmjenjivači topline (BHE) koji poprimaju energiju stijene u obliku topline i prenose na fluid koji cirkulira unutar bušotine (Caulk, 2017).

Bušotine koje se nalaze u Santa Barbari, Santa Clari i Montereyu, variraju po svojoj dubini. Mogu biti od 1000 do 5000 metara dok se temperaturni gradijent, prateći dubinu bušotine, mijenja od 4,7°C do 7°C svakih 100 metara. Protok fluida je od 1 l/s do 10 l/s, a temperatura izlaznog fluida uz pomoć BHE iznosi može iznositi do 130°C ako se radi o bušotinama koje su do 1000 metara dubine. U slučaju dubljih bušotina (3000 metara) tada se temperatura gradijenta povećava i stvara se brži protok koji može iznositi 4,4l /s. Navedena metoda je sigurnija nego li EGS metoda (Caulk, 2017).

EGS metoda može dobiti približno iste rezultate istraživanja, ali glavni problem se javlja kod toga što bi se vodonosnik morao frakturirati zbog litološkog sastava kako bi propusnost fluida mogla biti bolja. Iako se radi o hidrauličkom frakturiranju, gdje se voda utiskuje u vodonosnik i nema gubitaka, svejedno se mora razmotriti mogućnost posljedica. Dobivena energija iz revitaliziranih bušotina mogla bi se koristiti u poljoprivredne svrhe kao što je grijanje staklenika tijekom cijele godine jer ovisno o položaju bušotine ovisi i njena

daljnja svrha. Mogućnost daljinskog grijanja objekta je jako mala, ali na koncu to ovisi o protoku i temperaturi fluida kojeg bi dobili iz bušotine.

## 6.6. Kina

Kina je jedna od država koja uvelike koristi geotermalnu energiju. Najčešće ju koristi u zdravstvene, poljoprivredne svrhe, ali i za industrijske procese zagrijavanja. Shvativši geotermalni potencijal, Kina je 2012. godine na naftnom polju u provinciji Hubei odlučila odraditi testna istraživanja kako povećati proizvodnju preostale nafte iz ležišta, ali i napraviti geotermalnu elektranu koja će opskrbiti cijelo polje energijom. Veličina LB naftnog polja (dio Hubei naftnog polja) je 44,9 km<sup>2</sup>, a najdublja bušotina se nalazi na dubini od 3216 metara. S polja se crpila nafta od 1978. godine, a utiskivanje vode, za bolje održavanje tlaka u bušotini i za veću proizvodnju, počelo je nakon 4 mjeseca rada bušotine. Temperatura proizvedene vode iz bušotina kretala se oko 120°C, a geotermalni gradijent za svakih prijeđenih 100 metara bi iznosio 3,5°C. Nakon što se obavilo nekoliko testova na bušotinama ustanovljeno je kako s povećanjem temperature, povećava se i proizvodnja fluida, a uz to su se još koristile i električne potopne pumpe. Idealna temperatura i za proizvodnju nafte i vode bila je 100°C (Xin, 2012).



**Slika 6-9.** Naftno ležište LB kao sastavni dio Hubei ležišta (Xin, 2012)

Na naftnom polju izgradila se geotermalna elektrana snage 400 kW koja je koristila geotermalnu vodu i naftu kao pogonsko sredstvo iz 8 bušotina. Kada bi se koristila puna snaga elektrane mogla bi proizvesti 2700 MWh godišnje. Svrha elektrane je što je povećala

proizvodnju nafte za 12 000 tona godišnje, a uštedila dodatnih 4 100 tona godišnje što bi se potrošilo na cijeli sustav proizvodnje nafte. Geotermalna voda, osim što služi za pokretanje elektrane, služi za zagrijavanje sirove nafte tijekom transporta. Sveukupno je reducirano ispuštanje ugljikova dioksida za 6 000 tona. Izgradnja nisko temperature elektrane bio je prvi slučaj u Kini ikada zabilježen, a postignuta je proizvodnja dvaju fluida , nafte i vode (Xin, 2012).

## **7. POTENCIJAL REVITALIZACIJE NAFTNIH I PLINSKIH BUŠOTINA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

Republika Hrvatska ima bogatu povijest iskorištavanja nafte i plina, a prvo plinsko polje u RH otkriveno je 1917. godine u Bujavici, dok je prvo naftno polje, Gojlo u Moslavini, RH otkriveno 1941. godine. Povijesno gledano, istraživanje i eksploatacija ugljikovodika u Republici Hrvatskoj je oduvijek bila važna gospodarska grana. Od 1955. u Hrvatskoj počinje organizirana proizvodnja nafte u Peklenici, Voloderu-Mikleuški, a zatim u Bačindolu, Starom Petrovom Selu i dr. Gospodarski uspon istraživanja i proizvodnje nafte počinje 1952. godine, osnutkom tvrtke Naftaplin, sa sjedištem u Zagrebu. Spajanjem Naftaplina, Rafinerije nafte Rijeka i Rafinerije nafte Sisak tijekom 1964. godine osnovan je Kombinat nafte i plina, a tijekom iste godine Kombinat mijenja ime u INA – Industrija nafte.

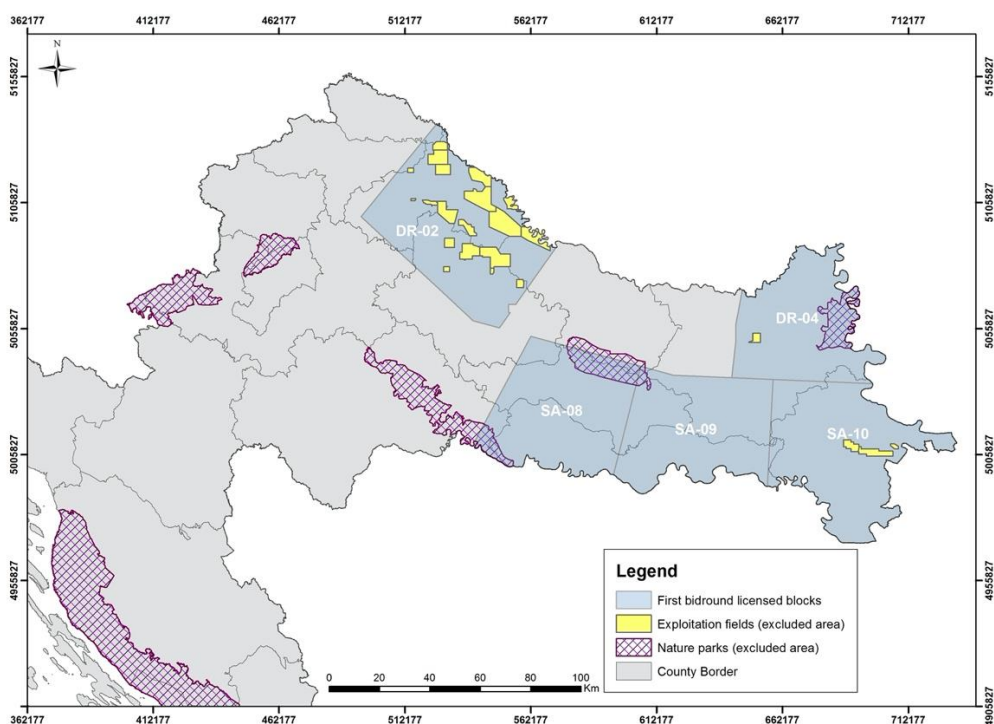
Od osnutka Naftaplina, uz geološke metode istraživanja, primjenjuju se i geofizičke metode. U početku su to gravimetrijska, geomagnetska i geoelektronička mjerenja. Seizmička se mjerenja uvode već 1953. na kopnu, odnosno 1968. godine na moru. U Panonskom bazenu je snimljeno više od 30 tisuća kilometara 2D seizmike i više od 2 tisuće četvornih kilometara 3D seizmike te izrađeno oko 960 istražnih bušotina koje danas pružaju odličan stručni uvid u klasifikaciju ležišta i potencijale geotermalne energije.

Od 1952. godine do danas u Hrvatskoj je u radu 45 naftnih i 30 plinskih polja. Ukupno je do sada proizvedeno otprilike 106 milijuna tona nafte, oko 9 milijuna tona kondenzata te 74 milijarde prostornih metara prirodnog plina. Izrađeno je oko 4.500 istražnih i razradnih bušotina, te oko 1.200 proizvodnih naftnih bušotina i oko 200 proizvodnih plinskih bušotina. Najveća kopnena naftna polja su: Beničanci, Stružec, Žutica, Šandrovac, Ivanić, Lipovljani, Jamarice, Đeletovci, Jagnjedovac, Bilogora itd. Najveća kopnena plinska polja su: Molve, Bokšić, Kalinovac, Stari Gradac, Okoli itd. Hrvatska trenutno ima 60 eksploatacijskih polja ugljikovodika (57 na kopnu i 3 na moru). Iako je energetska tranzicija u punom tijeku u EU, te se polako zakonodavno ide k napuštanju istraživanja novih naftnih i plinskih polja, u Hrvatskoj se i dalje pokreće istraživanje novih eksploatacijskih prostora. Iskorištavanje domaćih resursa ugljikovodika je gospodarski ipak dobro promišljen potez, obzirom da RH ionako uvozi velik udio potreba za ugljikovodikom. Dok god postoji potreba za fosilnim izvorima energije, gospodarski je opravdano proizvoditi dio tih potreba na tlu RH, što potiče razvoj općina (koncesijske naknade) i osigurava radna mjesta. Proces energetske tranzicije naftne industrije u geotermalnu industriju nesumnjivo će se u budućnosti u potpunosti desiti,



no trenutno naftni i geotermalni sektor čine jedinstvenu rudarsku praksu, obzirom na identičnost tehnologija i stručnih znanja neophodnih za razvoj tog sektora.

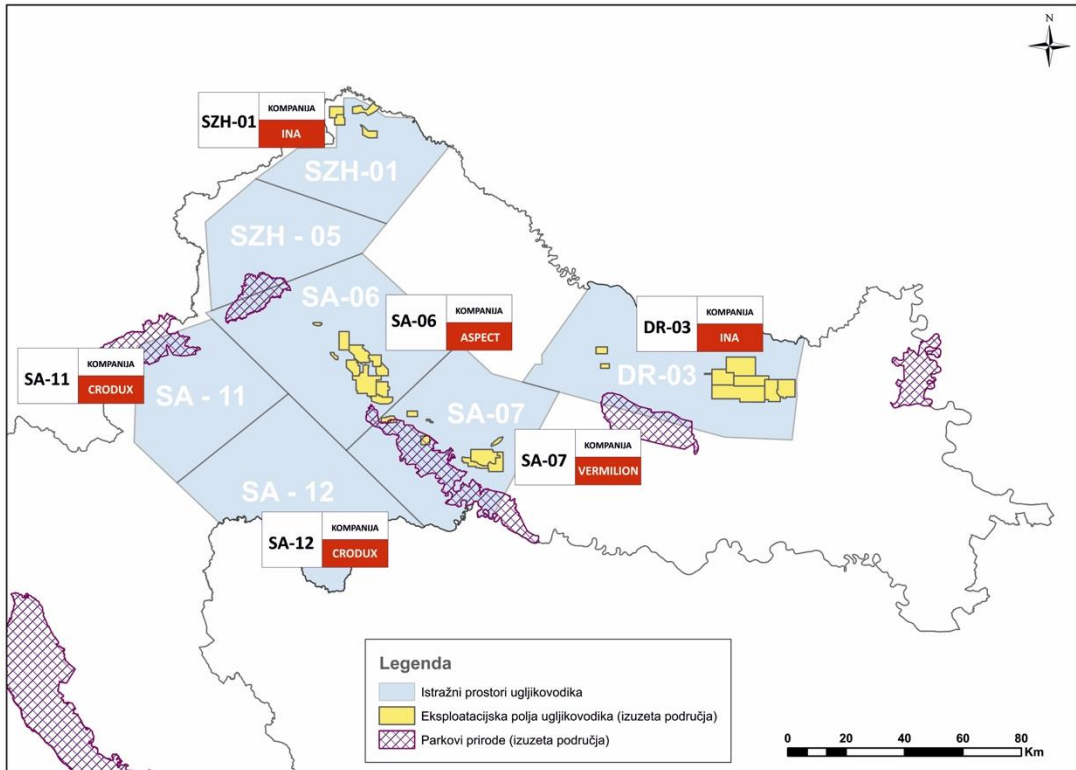
Prvo javno nadmetanje za izdavanje novih dozvola za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika na kopnu otvoreno je 18. srpnja 2014. godine. Zainteresirani ponuđači mogli su aplicirati za šest istražnih prostora. Ugovore o istraživanju i podjeli eksploatacije ugljikovodika na kopnu s Vladom Republike Hrvatske, potpisali su predstavnici kanadske kompanije Vermilion Energy za istražne prostore DR-04, SA-08, SA-09 i SA-10 i predstavnici INA-Industrija Nafta d.d za istražni prostor DR-02 ([www.azu.hr](http://www.azu.hr)).



**Slika 7-1.** Dozvole za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika iz 2014. (AZU, 2014)

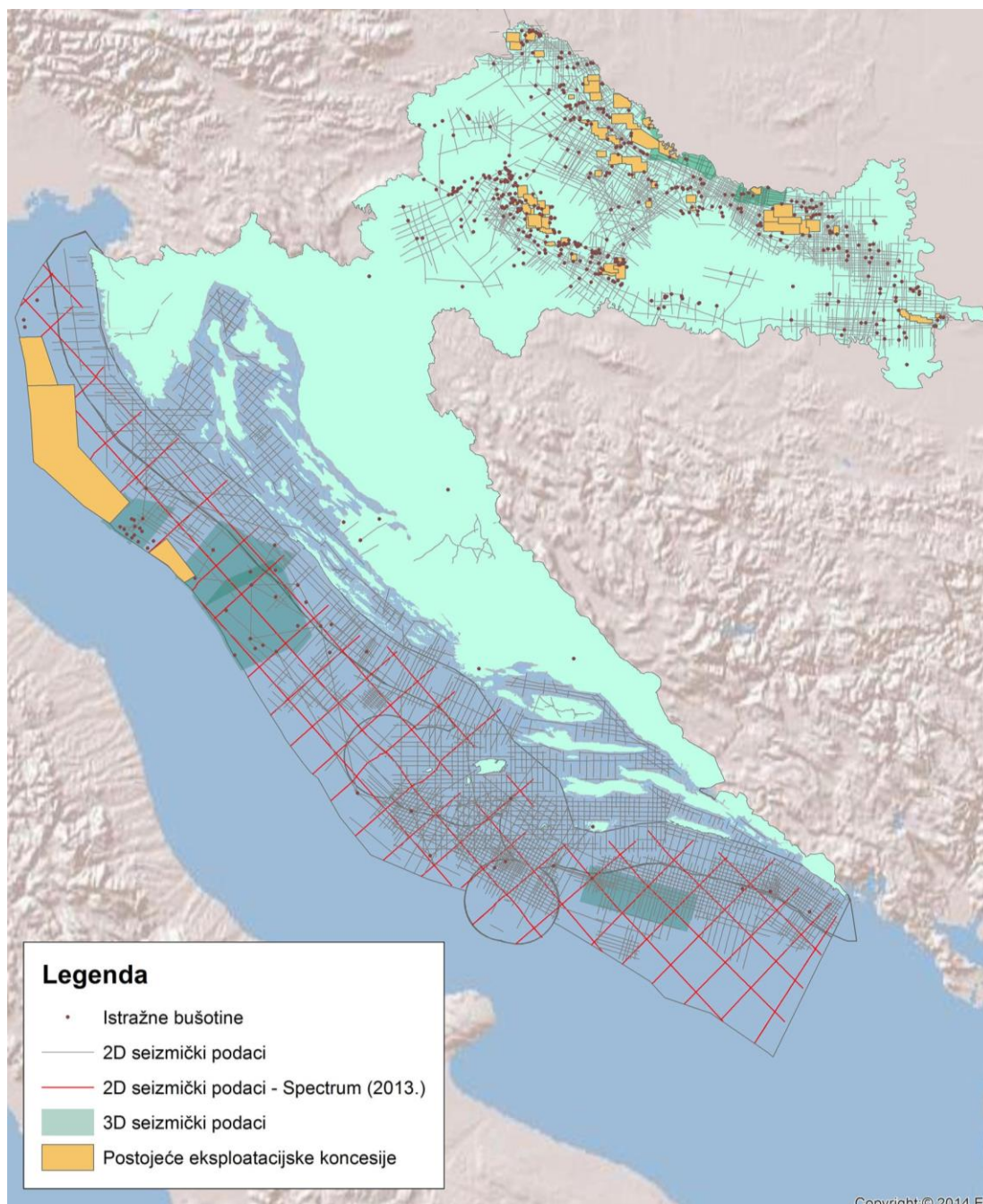
Drugo nadmetanje za izdavanje dozvola za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika na kopnu otvoreno je 31. listopada 2018. godine. Zainteresirani ponuđači mogli su aplicirati za sedam istražnih prostora koji se protežu na području preostalog dijela Panonskog bazena na preko 14.000 km<sup>2</sup>. U rujnu 2019. godine Vlada Republike Hrvatske dodijelila je dozvole za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika na šest istražnih prostora u kontinentalnom dijelu Hrvatske. Dozvolu za istraživanje i eksploataciju na istražnom prostoru Sava-07 dobila je kanadska kompanija Vermilion Zagreb Exploration d.o.o. koja već istražuje na području istočne Slavonije. INA – Industrija nafte d.d. dobila je dozvole za istraživanje na dva istražna prostora i to Drava-03 te Sjeverozapadna Hrvatska-01. Dvije nove kompanije ulaze u projekte istraživanja u Republici Hrvatskoj, a radi se o američkoj naftnoj kompaniji

Aspect Holdings, LLC koja je sa svojom podružnicom Aspect Croatia dobila dozvolu za istraživanje na istražnom prostoru Sava-06, te hrvatskoj naftnoj kompaniji Crodux derivati dva d.o.o. koja će istraživati na dva istražna prostora Sava-11 i Sava-12. ([www.azu.hr](http://www.azu.hr))

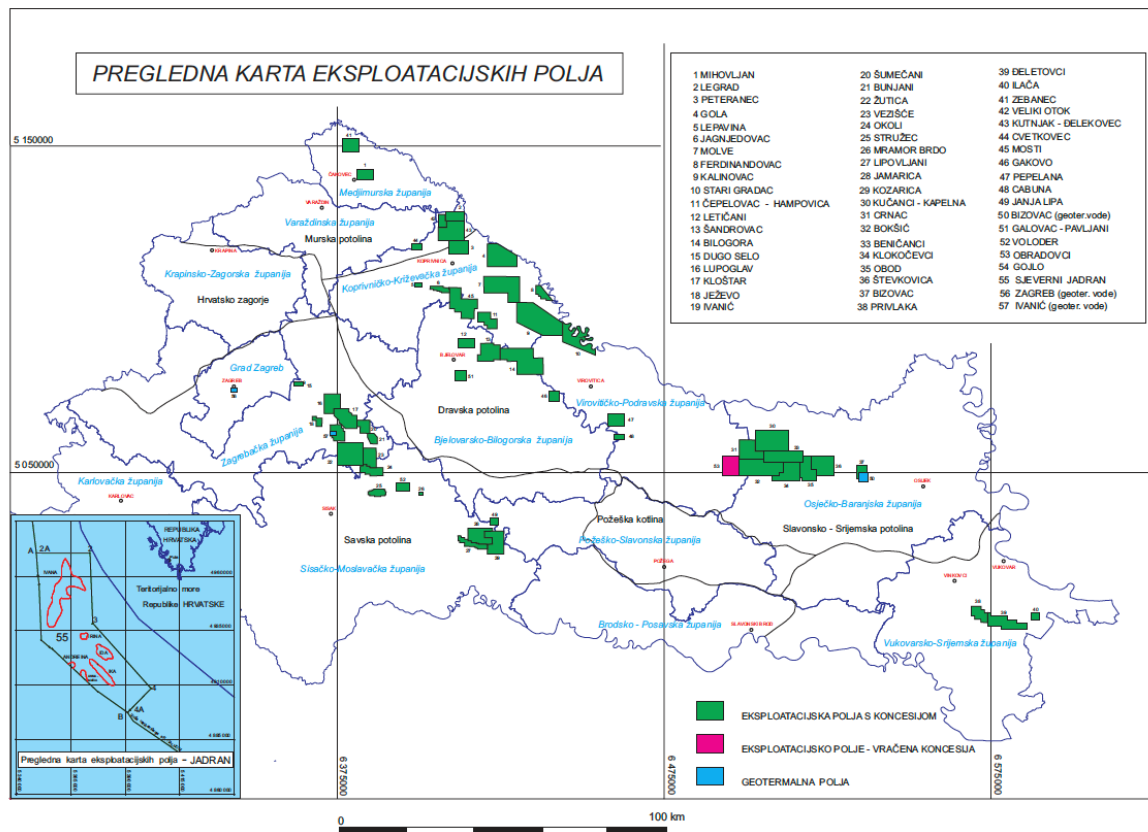


**Slika 7-2.** Dozvole za istraživanje i eksploataciju ugljikovodika iz 2019. (AZU, 2019)

Trenutna eksploatacija nafte i plina u Republici Hrvatskoj ovija se na 57 kopnenih polja i 3 u Jadranu. Neka od ovih polja klasificirana su i kao plinska i kao naftna polja.



**Slika 7-3.** Pregled eksploatacijskih polja s lokacijama istraženih bušotina i snimljenim seizmičkim podacima (AZU, 2019)



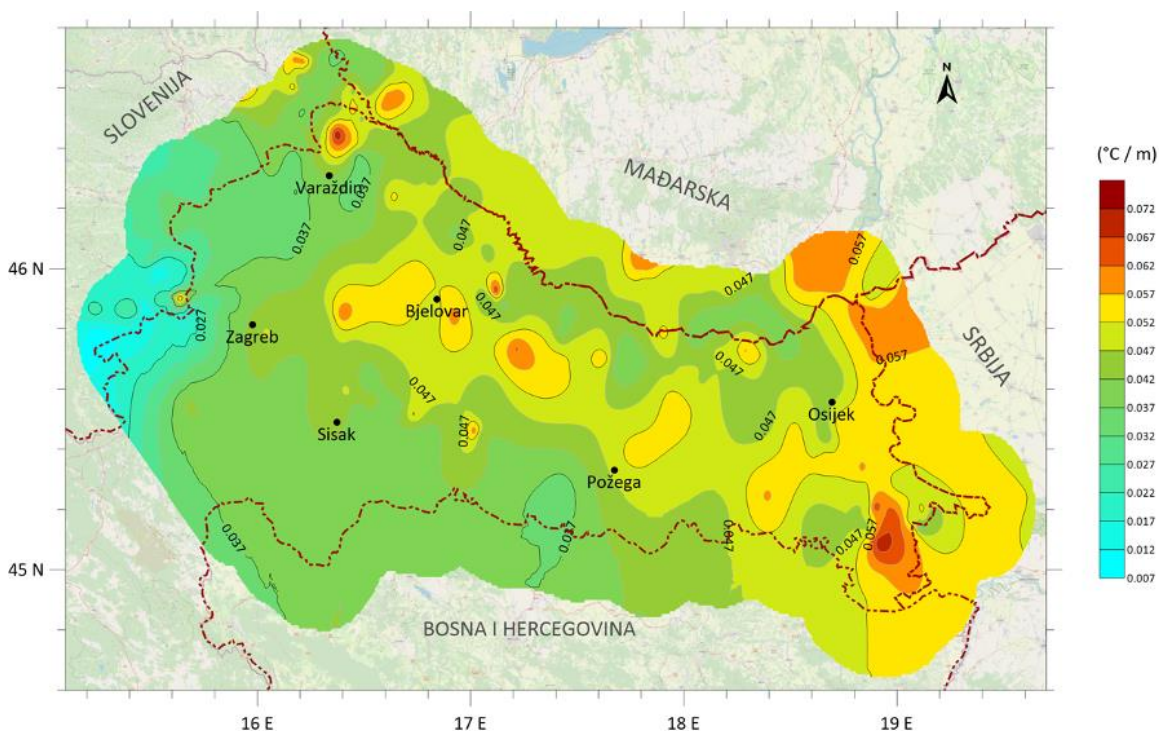
**Slika 7-4.** Karta eksploatacijskih polja u RH (AZU, 2018)

Prema Ministarstvu gospodarstva RH i godišnjaku Energija u Hrvatskoj 2019. trenutne dokazane bilančne rezerve nafte iznose 10,23 milijuna tona za 2017.godinu. Proizvodnja nafte u istoj godini iznosila je 0,744 milijuna tona. Stupanjem na snagu novog Pravilnika o rezervama (NN95/18) i te novoj kategorizaciji i klasifikaciji rezerve nafte oznake P1 (komercijalne dokazane rezerve) iznose 6,04 milijuna tona. Na temelju stupnja nesigurnosti rezerve se kategoriziraju na dokazane (1P) i nedokazane rezerve koje mogu biti vjerojatne (P2) i moguće rezerve (P3). Ako se rezerve prikazuju kao suma dokazanih i vjerojatnih rezervi one se označavaju oznakom 2P, a ako se prikazuju kao zbroj dokazanih, vjerojatnih i mogućih one se označavaju oznakom 3P.

Po ovom izračunu iskorištavanja dokazanih naftnih rezervi, RH ima još otprilike 8 godina prije nego se iscrpe komercijalno dokazane zalihe nafte. Ako se promatra zbroj dokazanih i vjerojatnih zaliha (2P) tada one iznose 7,69 milijuna tona, odnosno otprilike 10 godina buduće proizvodnje. Zbroj dokazanih, vjerojatnih i mogućih (3P) iznosi 9,32 milijuna tona odnosno otprilike 12 godina prema sadašnjem tempu crpljenja. Naravno, proizvodnja navedenih rezervi ovisi i o cijeni nafte na svjetskom tržištu, pa se veliki dio naftnih polja

može napustiti i prije postizanja finalnog iscrpka. Ako se u obzir uzmu svi faktori, RH u najboljem slučaju ima još jedno desetljeće kao vremenski rok eksploatacije svojih naftnih polja. Na velikom broju ovih polja vidljiv je visok udio proizvedene vode u ukupno proizvedenom fluidu, a na nekim poljima on iznosi i više od 80%.

Statistički gledano (www.azu.hr), na trenutnim naftnim poljima postoji ukupno 2822 bušotine, od čega je 996 proizvodno naftnih, 623 je mjernih, 160 je utisnih-voda, 33 je utisnih-otpadne vode, te je 1008 bušotina likvidirano. Uz naftne bušotine, na plinskim poljima aktivno je i 154 proizvodne plinske bušotine, 62 mjernih, 15 utisnih te 208 likvidiranih.



**Slika 7-5.** Karta geotermalnih gradijenata (Macenić, 2020)

Na karti geotermalnih gradijenata RH vidljivo je da cijeli panonski dio ima povišene gradijente u odnosu na europski prosjek. Gradijenti se kreću između 4 i 7 °C/100m što je vrlo povoljno za iskorištavanje geotermalne energije s većih dubina kao što su naftna i plinska polja. Razrada naftnih polja u pravilu uvijek podrazumijeva primjenu sekundarnih metoda održavanja ležišnog tlaka, prvenstveno utiskivanja vode. Pri komunikaciji s Agencijom za ugljikovodike, primjera radi, naftno polje Beničanci je u sadašnjoj zreloj fazi eksploatacije nafte praktički doseglo početni ležišni tlak istovjetan onome koji je postojao kada je polje otkriveno 1972. i privedeno proizvodnji. Ovaj fenomen je u potpunosti

posljedica utiskivanih količina vode u ležište tijekom sekundarnih operacija. Uz slanu vodu iz podinskog akvifera, koja se pojavila u proizvodnji dizanjem razdjelnice nafta-voda, utiskivane su i velike količine slatke vode iz plitkih vodonosnika. Ovakvo tipično naftno ležište koje i dalje ima visok ležišni tlak, nalazi se na dubini od 1700 do 2000m (temperature od 80 do 90 celzijusa) te posjeduje snažan vodonaporni režim uz podinski akvifer te veliki broj bušotina (ukupno 104 izrađenih kanala) idealan je model transformacije naftnih resursa u geotermalne. Također je bitna činjenica da se polje nalazi u ravničarskom, agrarnom, dijelu Slavonije te bi bilo idealno za grijanje stakleničke proizvodnje bilja, koja je itekako isplativa.

Velik broj naftnih polja ima slične karakteristike kao i Beničanci, na primjer naftno polje Ivanić-Grad koje ima potencijal za centralno toplinsko grijanje grada.

Obzirom na klimatske ciljeve EU, a time i RH, predviđa se u svim scenarijima da će geotermalna energija imati značajan udio u budućim razvojima projekata obnovljivih izvora energije. Kako je likvidacija naftnih i plinskih bušotina izuzetno kapitalno zahtjevna za naftno tvrtku (trošak likvidacije je otprilike 1 milijun eura, a ovisi o cijelom nizu čimbenika) logično je za očekivati da će tijekom ovog desetljeća sve veći broj bivših proizvodnih, mjernih i utisnih bušotina biti transformiran u geotermalne. Cijeli ovaj postupak provodi Agencija za ugljikovodike te je zakonski omogućen ovakav idealizirani proces.

Za pridobivanje prirodne energije iz geotermalnih izvora ne trebaju neka veća dodatna ulaganja jer je proces dobivanja geotermalne vode jednak procesu pridobivanja nafte. Ta se geotermalna energija može upotrebljavati u raznim sektorima gospodarstva.

Primjerice u Hrvatskoj se već niz godina želi promijeniti odnos prema poljoprivrednom gospodarstvu. Sve je veći broj napuštanja manjih gospodarskih zajednica koje se ne mogu baviti poljoprivredom jer su troškovi veći od prihoda koje ostvaruju. Najveći problem stvaraju klimatski uvjeti koji su se promijenili uslijed klimatskih promjena. Geotermalna energija bi se mogla upotrijebiti direktno bez pretvorbe u neki drugi oblik energije i to za grijanje staklenika. Staklenici bi tijekom cijele godine održavali potrebnu temperaturu za rast i razvoj usjeva te bi zaštitili usjev od mogućih vremenskih nepogoda (suša, tuča, mraz).

## 8. ZAKLJUČAK

Nafta i plin su neobnovljivi izvori energije i ne mogu pripadati politici održivog razvoja. Znajući kako je prošlo već gotovo jedno stoljeće od konstantne upotrebe fosilnih goriva i kako se metoda pridobivanja i obrade mijenjala ovisno o potrebama društvene zajednice, spoznajemo kako je vrijeme da se promjeni izvor pridobivanja energije. Gledajući strategiju Europske unije i različitih međunarodnih zajednica, prostora za dodatno istraživanje i napredovanje na području eksploatacije ugljikovodika gotovo i nema.

Zbog toga su se neke naftne kompanije odlučile za ulaganje u obnovljive izvore energije kako ne bi kada dođe do trenutka energetske tranzicije u potpunosti izgubile na vrijednosti. Energetska tranzicija s neobnovljivih izvora energije na obnovljive izvore se ne može dogoditi preko noći, već je to dugotrajan i postepen proces. Zato prostor za daljnji rast i razvoj naftnih kompanija može biti u razvijanju tehnologije za učinkovitije crpljenje geotermalne energije iako se crpljenje vode i nafte ne razlikuju u potpunosti.

S obzirom da na većini naftnih i plinskih polja na području Europe, tako i Hrvatske, pada proizvodnja ugljikovodika, treba razmatrati potencijal razvoja infrastrukture za upotrebu geotermalne energije. Iznos uloženog novca za izgradnju potrebne infrastrukture još uvijek može biti manji nego li iznos koji je potreban naftnim kompanijama da likvidiraju bušotinu.

Prikazanim projektima u nekoliko država, možemo zaključiti kako se bušotine koje su nekada proizvodile isključivo ugljikovodike, mogu upotrijebiti za proizvodnju obnovljivog izvora, geotermalne energije. Kako geotermalna energija ovisi o geotermalnom temperaturnom koeficijentu tako ovisi i njena primjena u nekom gospodarskom sektoru.

Istraživanje i razvijanje geotermalnih izvora energije će se zasigurno u sljedećih nekoliko godina povećati u sklopu energetske tranzicije.

## 9. LITERATURA

Knjiga:

1. DEKANIĆ, I., KOLUNDŽIĆ, S., KARASALIHović, D., 2003. *Stoljeće nafte - Veza između nafte, novca i moći koja je promijenila svijet*, Naklada Zadro d.o.o.

Članci iz časopisa, projekti i studije:

2. CAULK, R.A., TOMAC, I., 2017. Reuse of Abandoned Oil and Gas Wells for Geothermal Energy Production. *Renewable Energy* 2017.
3. INA – INDUSTRIJA NAFTE d. d., 2018. Istražna bušotina Jankovac – 1 (Jan – 1 ) s radnim prostorom za smještaj bušaceg postrojenja. Elaborat zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat, Zagreb 2018.
4. KVATERNIK, S., 2015. Termodinamička analiza kompaktnog izmjenjivača topline, 2015., diplomski rad, Tehnički fakultet, Rijeka
5. LUND, J.W., BOYD, T.L., 2015. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*
6. MACENIĆ, M., 2020. Konceptualni model eksploatacije geotermalne energije revitalizacijom napuštenih naftnih i plinskih bušotina u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske, 2020., doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
7. MAUREL, C., HAMM, V., BUGAREL, F., MARAGNA, C., 2019. Inventory and First Assessment of Oil and Gas Wells Conversion for Geothermal Heat Recovery in France. *Proceedings World Geothermal Congress 2020*.
8. MLIKOTIĆ, S., 2010. Globalna financijska kriza – uzroci, tijek i posljedice. Stručni rad str. 84-93., Časopis za pravna i društvena pitanja, Vol. 44 No. 89, 2010.
9. NADOR, A., KUJBUS, A., TOTH, A., 2019. Geothermal Energy Use, Country Update for Hungary. *European Geothermal Congress 2019*.
10. PETROVIĆ, N., 2020. Tranzicija naftnih kompanija prema obnovljivim izvorima energije, 2020., diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
11. SOLDI, E., ALIMONTI, C., SCORCCA, D., 2020. Geothermal Repricing of Depleted Oil and Gas Wells in Italy. Presented at the First World Energies Forum, 14 September–05 October 2020
12. TOTH, A.N., 2017. Creating a Geothermal Atlas of Hungary. *Proceedings 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering 2017*



13. TOTH, A.N., SZUCS, P., PAP, J., NYIKOS, A. , FENERTY, D.K., 2018. Converting Abandoned Hungarian Oil and Gas wells into Geothermal Sources. Proceedings, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering 2018.
14. XIN, S., LIANG, H., HU, B., LI, K., 2012. Electrical power generation from low temperature co-produced geothermal resources at Huabei oilfield. Proceedings Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering 2012.
15. ZIABASKHSHGANJI, Z. , DONSELAAR, M.E., BRUHN , D.F., NICK, H.N., 2016. Thermally-enhanced oil recovery from stranded fields : Synergy potential for geothermal and oil exploitation. Proceedings of the European Geothermal Congress 2016.

Internet izvori:

16. AGENCIJA ZA UGLJIKOVODIKE (AZU)  
URL: [www.azu.com](http://www.azu.com) (08.09.2021.)
17. ENERGETSKI INSTITUT HRVOJE POŽAR  
URL: <http://www.eihp.hr> (27.08.2021.)
18. INVESTING.COM  
URL: <https://www.investing.com/equities/w-t-offshore-inc> (01.09.2021.)
19. MINISTARSTVO GOSPODARSTVA I ODRŽIVOG RAZVOJA  
URL: <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/klimatska-neutralnost/6011> (26.08.2021.)
20. STATISTIC REVIEW OF WORLD ENERGY  
URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (24.08.2021.)

## IZJAVA

*Izjavljujem da sam ovaj završni rad pod naslovom “ Transformacija naftnih tvrtki tijekom energetske tranzicije i iskustva u revitalizaciji iscrpljenih naftnih i plinskih polja u geotermalna polja ” izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.*



---

Tomislava Matijaš



KLASA: 602-04/21-01/211  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 17.9.2021.

Tomislava Matijaš, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/211, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 28.6.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### TRANSFORMACIJA NAFTNIH TVRTKI TIJEKOM ENERGETSKE TRANZICIJE I ISKUSTVA U REVITALIZACIJI ISCRPLJENIH NAFTNIH I PLINSKIH POLJA U GEOTERMALNA POLJA

Za voditelja 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 i suvoditeljicu dr.sc. Marija Macenić.

Voditelj:

(potpis)

Prof.dr.sc. Tomislav Kurevija

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

dr.sc. Marija Macenić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)