Pregled CCUS projekata u naftnoj industriji

Ćatić, Anesa

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:169:614349

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

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

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

PREGLED CCUS PROJEKATA U NAFTNOJ INDUSTRIJI

Diplomski rad

Anesa Ćatić
N325

Zagreb, 2022.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PREGLED CCUS PROJEKATA U NAFTNOJ INDUSTRIJI

ANESA ĆATIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Hvatanje, korištenje i skladištenje ugljikovog dioksida (CCUS) jedna je od tehnologija koja se često povezuje s naftnom industrijom, prvenstveno u sklopu CO_2-EOR projekata za povećanje iscrpka nafte. Važno je naglasiti da CCUS tehnologija koja dovodi do neto smanjenja emisija CO_2 u konačnici rezultira proizvodima koji se dugoročno gotovo uopće ne raspadaju ili rezultiraju trajnim geološkim skladištenjem CO_2, te na taj se način onemogućava povratak emisija u atmosferu. Implementacija ovih projekata posebno je važna jer je cilj do 2050. godine izdvojiti i skladištiti približno 5 giga tona CO_2 godišnje kako bi se globalno zagrijavanje održalo ispod 2° C. Osim EOR projekata, postoje i drugi načini kojima kompanije trajno zbrinjavaju CO_2, a jedan od načina je i da se CO_2 nastao preradom prirodnog plina i nafte trajno skladišti u napuštenim ležištima ugljikovodika ili dubokim slanim akviferima. Iako se u prošlosti primjena CCUS projekata uglavnom vezala za Sjevernu Ameriku, danas se 60% svih CCUS projekata u svijetu nalazi izvan Sjeverne Amerike.

Ključne riječi: hvatanje, korištenje, skladištenje CO_2, CO_2-EOR, CCU, CCS

Diplomski rad sadrži: 44 stranica, 12 slika, 11 tablica, 62 reference.

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

Voditelj: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF
Pomoć pri izradi: Filip Vodopić, mag.ing.petrol

Ocjenjivači: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF
Dr. sc. Domagoj Vulin, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Bruno Saftić, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 11.02.2022, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagreb

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

OVERVIEW OF CCUS PROJECTS IN THE OIL INDUSTRY

ANESA ĆATIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Carbon capture, use and storage is one of the technologies often associated with the oil industry, primarily as a part of CO_2-EOR projects in order to increase oil recovery. It is important to emphasize that the CCUS technologies which lead to net reductions of CO_2 emissions result in products that do not degrade at all in the long run or in a permanent geological storage of CO_2, thus preventing the return of emissions into the atmosphere. The implementation of these projects is particularly important as the goal is to isolate and store approximately 5 gigatons of CO_2 per year by 2050 in order to keep the global warming levels below 2° C. Aside from the EOR projects, there are other ways in which companies can permanently dispose of CO_2: by storing it in depleted HC reservoirs or deep saline formations. Although in the past the implementation of CCUS projects was mainly related to North America, today 60% of all CCUS projects in the world are located outside of North America.

Keywords: carbon capture, storage and use, CO_2-EOR, CCU, CCS

Thesis contains: 44 pages, 12 figures, 11 tables, 62 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, Ph.D.
Assistant: Filip Vodopić, mag.ing.petrol

Reviewers: Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, Ph.D.
Full Professor Domagoj Vulin, Ph.D.
Associate Professor Bruno Saftić. Ph.D.

Date of defense: February 11, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

I. POPIS SLIKA I

II. POPIS TABLICA II

III. POPIS KORIŠTENIH KRATICA III

1. UVOD 1

2. HVATANJE, KORIŠTENJE I SKLADIŠTENJE UGLJIKOVOG DIOKSIDA 2

2.1. Važnost CCUS projekata 5

2.2. Podjela CCUS projekata 6

3. PROJEKTI HVATANJA, KORIŠTENJA I SKLADIŠTENJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA 9

4. PROJEKTI HVATANJA I SKLADIŠTENJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA 12

4.1. Regionalni pregled 14

4.1.1. Sjeverna i Južna Amerika 14

4.1.2. Europa 15

4.1.3. Azija i Pacifik 18

4.1.4. Bliski istok 21

4.1.5. Afrika 22

5. PROJEKTI HVATANJA I ISKORIŠTAVANJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA 24

5.1. CO_2-EOR projekti koji koriste CO_2 nastao u procesima naftne industrije 26

5.1.1 Sjeverna i Južna Amerika 26

5.1.2. Europa 29

5.1.3. Bliski istok 32

5.1.4. Azija i Pacifik 32

5.2. CO_2-EOR projekti koji koriste CO_2 nastao procesima koji nisu povezani s naftnom industrijom 34

5.2.1. Amerika 35

5.2.4. Azija i Pacifik 37

6. ZAKLJUČAK 38

7. LITERATURA 39

I. POPIS SLIKA

Slika 2-1. Sve faze CCUS projekta 3
Slika 2-2. CCUS projekti u svijetu po fazama od 2010. do 2020. godine 4
Slika 2-3. Emisije CO_2 u svjetskom energetskom sektoru iz postojećih energetskih i industrijskih postrojenja, 2019. godine - 2050. godine 6
Slika 2-4. Shematski prikaz CCS projekta 7
Slika 2-5. Shematski prikaz CO_2-EOR projekta 8
Slika 4-1. Postojeći resursi za skladištenje CO_2 (milijuni tona) u dokazanim naftnim i plinskim ležištima 13
Slika 4-2. Vertikalni presjek na lokaciji Sleipner u Norveškoj 17
Slika 4-3. CCS projekt Gorgon u Australiji 20
Slika 4-4. CCS projekt In Salah u Alžiru 23
Slika 5-1. Sve faze EOR projekta koji koristi ugljikov dioksid nastao tijekom proizvodnje nafte 26
Slika 5-2. Inventys' VeloxoTherm ™ procesa koji je osmislila kompanija Svante 28
Slika 5-3. Grafički prikaz lokacije sustava za utiskivanje ugljičnog dioksida na poljima Ivanić i Žutica 31
Slika 5-4. Petra Nova postrojenje za hvatanje ugljikovog dioksida u Teksasu 36

II. POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Dva najveća CCS projekta u Americi 14
Tablica 4-2. Neki od najznačajnijih CCS projekata u Europi 16
Tablica 4-3. Neki od najznačajnijih CCS projekata u regiji Azije i Pacifika 19
Tablica 4-4. CCS projekt na Bliskom istoku 21
Tablica 4-5. Jedini CCS projekt u Africi 22
Tablica 5-1. Neki od CO_2-EOR projekata u Sjevernoj i Južnoj Americi 27
Tablica 5-2. Neki od CO_2-EOR projekata u Europi 30
Tablica 5-3. Jedan od CO_2-EOR projekata na Bliskom istoku..... 32
Tablica 5-4. Neki od najvažnijih CO_2-EOR projekata regiji Azije i Pacifika 33
Tablica 5-5. Neka od najvažnijih CO_2-EOR projekata u Americi koji koriste različite izvore CO_2 35
Tablica 5-6. Jedan od najvažnijih CO_2-EOR projekata u regiji Azija i Pacifik koji koriste različite izvore CO_2 37

III. POPIS KORIŠTENIH KRATICA

CCUS - Hvatanje, korištenje i skladištenje ugljikovog dioksida

CCU - Hvatanje i korištenje ugljikovog dioksida

CCS - Hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida

UPP - Ukapljeni prirodni plin

LPG - Ukapljeni naftni plin

1. UVOD

Hvatanje, korištenje i skladištenje ugljikovog dioksida – CCUS *(*engl. *Carbon capture, utilisation and storage)* jedna je od metoda koja se često povezuje s naftom industrijom, prvenstveno u sklopu tercijarne metode povećanja proizvodnje nafte - CO_2-EOR *(*engl. *Enhanced oil recovery*) i CO_2-EGR *(*engl. *Enhanced gas recovery).* Veliki broj ovakvih projekata u naftnoj industriji proizlazi iz toga što su potrebna znatno manja ulaganja u dodatnu kapitalnu opremu budući da se, najčešće koristi već postojeća infrastruktura. Osim toga, CO_2-EOR projekti ostvaruju dodatan prihod povećanjem proizvodnje nafte i na taj način smanjuju sveukupne troškove projekta, a povećavaju količinu uskladištenog CO_2 po jedinici ulaganja. Implementacija ovih projekata posebno je važna jer je cilj do 2050. godine izdvojiti i skladištiti približno 5 milijardi metričkih tona CO_2 godišnje kako bi se globalno zagrijavanje održalo ispod 2 ° C. Osim EOR projekata, postoje i drugi načini kojima naftne kompanije trajno zbrinjavaju CO_2, a jedan od načina je i da se CO_2 nastao preradom prirodnog plina i nafte trajno skladišti u iscrpljenim naftnim ležištima ili dubokim slanim akviferima. Smatra se da su globalni resursi za skladištenje CO_2 u slanim akviferima i starim, iscrpljenim naftnim ležištima znatno veći od vjerojatnih budućih emisija CO_2. Važno je naglasiti da CCUS tehnologija koja dovodi do neto smanjenja emisija CO_2 u konačnici mora rezultirati proizvodima koji rezultiraju trajnim geološkim skladištenjem CO_2, te se na taj način onemogućava povratak emisija u atmosferu. CCUS je ujedno i jedno od rješenja za emisije CO_2 koje nastaju preradom prirodnog plina, što je važno s obzirom na planiranu kontinuiranu uporabu prirodnog plina u energetskom sustavu tijekom sljedećeg desetljeća. U 2020. godini povećao se interes kompanija za ulaganja u ovakve projekte, kao jedno od rješenja u borbi s klimatskim promjenama, a pretpostavlja se da će se u budućnosti razviti novi načini hvatanja CO_2, skladištenje, iskorištavanje, ali i trajnog zbrinjavanje ugljikovog dioksida.

2. HVATANJE, KORIŠTENJE I SKLADIŠTENJE UGLJIKOVOG DIOKSIDA

Hvatanje, korištenje i skladištenje ugljikovog CO_2, tehnologija je koja obuhvaća metode koje se koristite za korištenje i trajno uskladištenje CO_2. Tehnologija ima mogućnost hvatanja CO_2 direktno iz atmosfere, ali i iz različitih postrojenja, uključujući postrojenja za proizvodnju električne energije i industrijska postrojenja koja koriste fosilna goriva ili biogoriva (IEA, 2019). Sve faze CCUS procesa prikazane su slikom 2-1.

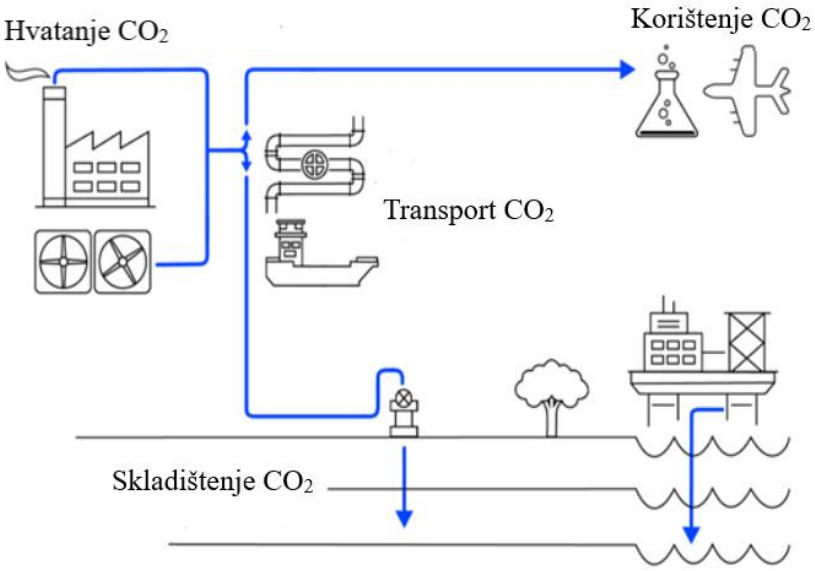
Izdvojeni plin može se koristiti kao sirovina za proizvodnju sintetičkog goriva, kemikalija ili građevinskog materijala. Najveći dio izdvojenog plina prodaje se naftnim kompanijama, koje ga zatim koriste za povećanje proizvodnje naftnih ležišta, u sklopu EOR i EGR projekata. Ukoliko se izdvojeni CO_2 ne namjerava dalje koristiti potrebno ga je transportirati do mjesta skladištenja. Sastav i čistoća CO_2, te prisutnost drugih tvari imaju značajan utjecaj na sve faze projekta skladištenja CO_2. Prisutnost određenog postotka drugih tvari, kao što su voda, sumporovodik (H_2S), sumporni i dušični oksidi (SOx, NOx), dušik (N_2) i kisik (O_2), djelovat će na fizikalna i kemijska svojstva CO_2, te na odvijanje pojedinih procesa skladištenja i njihov učinak. Stoga prisutnost tih tvari treba uzeti u obzir pri projektiranju faza kompresije, transporta i utiskivanja, kao i pri usklađivanju radnih uvjeta, tj. postupaka i opreme (CO_2GeoNet, 2009).

Komprimirani ugljični dioksid transportira se do mjesta skladištenja cjevovodima, brodovima, željeznicama ili cisternama. Cjevovodi su jedan od najčešćih načina transporta, a ukoliko se radi o manjim količinama plina postoji mogućnost transporta brodovima, željeznicom ili cisternama (IEA, 2020).

Nakon transportiranja do mjesta skladištenja CO_2 se pod određenim tlakom utiskuje u ležište. Plin se skladišti na način da se utiskuje ispod površine na dubine od 800 m do 2,5 kilometra, a ovisno o tlaku moguće je i dublje utiskivanje u stijensku formaciju. Broj utisnih bušotina ovisi o količini CO_2 koja se skladišti, o količini CO_2 koji se utiskuje u jedinici vremena, o propusnosti i debljini ležišta, o maksimalnom utisnom tlaku i o tipu bušotine. Budući da je glavni cilj dugotrajno geološko uskladištenje CO_2, parametri formacije moraju zadovoljiti uvjete skladištenja (IEA, 2020).

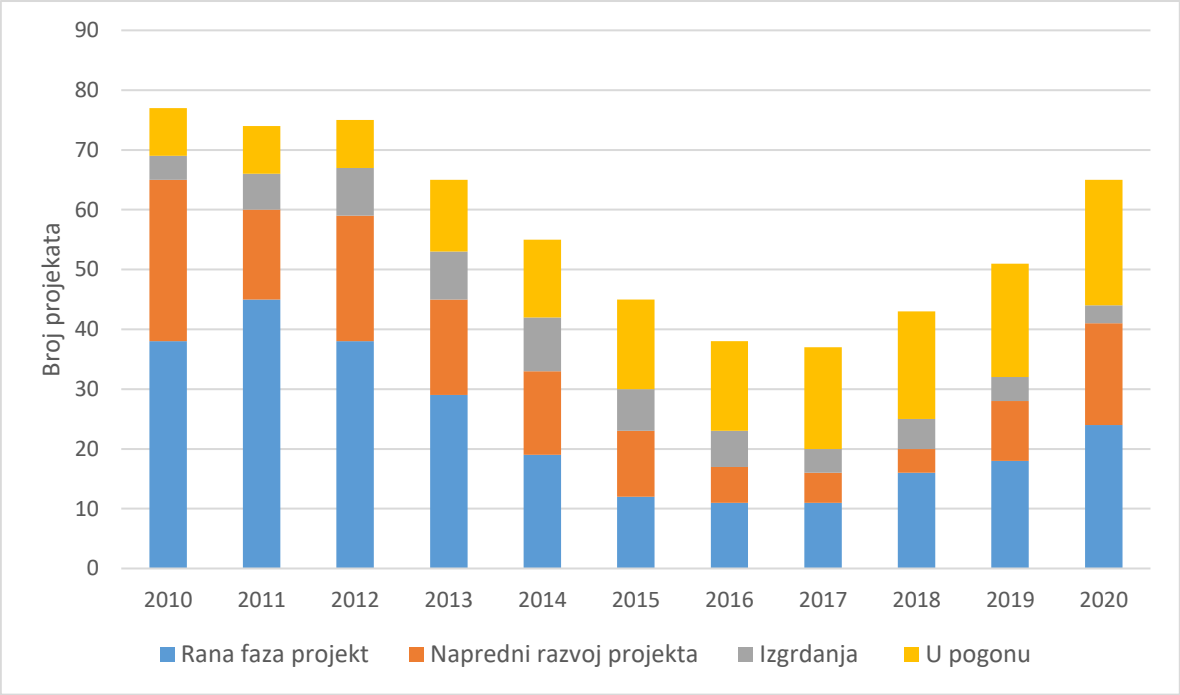
Skladišni prostor mora sadržavati dovoljno veliku poroznu sredinu, koja će onemogućavati migraciju plina. Ovaj proces gotovo je jednak prirodnom načinu skladištenja plina i nafte u podzemlju (University of Guelph, 2019). Nakon što se ugljikov dioksid utisne u ležišnu stijenu započinje proces simplifikacija, u kojem CO_2 ispunjava stijenski porni prostor koji je u većini slučajeva već ispunjen slojnom vodom, tj. slanom vodom (IEA, 2020).

Kada se CO_2 utisne, započinju djelovati četiri glavna mehanizma. Prvi smatramo najvažnijim jer sprječava uzdizanje CO_2 na površinu. Ostala tri s vremenom povećavaju učinkovitost i sigurnost skladišta, a radi se o sljedećim procesima; akumulacija ispod pokrovne stijene, imobilizacija u malim porama, otapanje i mineralizacija. Utjecaj različitih mehanizama ovisi o lokaciji, tj. o značajkama svake pojedine lokacije koja je odabrana za skladištenje ovog plina (CO_2GeoNet, 2009).



Slika 2-1. Sve faze CCUS projekta (prema IEA, 2019)

Kao što je vidljivo na slici 2-2. posljednjih je nekoliko godina CCUS tehnologija predmet globalnog interesa, sa stalnim porastom broja novih projekata. Ulaganje u novu infrastrukturu pokrepljeno je pojačanim nacionalnim klimatskim ciljevima i novim političkim poticajima, smanjenjem troškova ulaganja, te stalnim ulaganjem i razvojem tehnologije. U 2017. godini najavljeno je više od 30 projekata, a velika većina nalazi se u Sjedinjenim Državama i Europi, ali i u Australiji, Kini, na Bliskom istoku i Novom Zelandu (IEA, 2019).



Slika 2-2. CCUS projekti u svijetu po fazama od 2010. do 2020. godine (prema IEA, 2020)

Najgori među izazovima s kojima se ulagači suočavaju prilikom ulaska u energetski sektor je složenost njegovih industrijskih procesa. Troškovi skladištenja CO_2 mogu se jako razlikovati, ovisno o brzini utiskivanja CO_2 i karakteristikama skladišnog prostora, kao i udaljenosti između mjesta hvatanja i utiskivanja ugljikovog dioksida. Međutim, procjenjuje se da je više od polovice skladišnih kapaciteta na kopnu dostupno uz troškove manje od 10 USD/t CO_2. (IEA, 2020). Najmanji troškovi skladištenja povezani su s EOR i EGR projektima, u kojima proizvedena nafta i plin donose izuzetno visoke prihode (IEA, 2020).

Osim toga problem kod primjene ove tehnologije je nedostatak istraživanja koja ukazuju na apsolutnu sigurnost podzemnog skladišta ugljičnog dioksida. Problem curenja ugljikovog dioksida uskladištenog u dubokim formacijama je gotovo nepostojan, ali ipak se dogodi u manje od 1% skladišta u razdoblju od 1000 godina (ICCT, 2020). Veći problem je curenje ugljikovog dioksida uskladištenog u starim naftnim i plinskim ležištima, u prosjeku 7,5% bušotina tijekom skladišnog razdoblja ima ovakvo curenje. Zbog toga je iznimno važno kontinuirano praćenje procesa skladištenja (ICCT, 2020).

Manje od polovice objekata koji se tek planiraju izgraditi povezano je s tercijarnom metodom, povećanja iscrpka nafte (EOR) koja je do danas bila glavni pokretač CCUS ulaganja, a gotovo trećina planiranih projekata uključuje razvoj industrijskih CCUS čvorišta sa zajedničkom infrastrukturom za transport i skladištenje CO_2. Pored velikog broja komercijalnih projekata,

postoji velik broj pilot i demonstracijskih CCUS objekata koji djeluju širom svijeta, kao i brojni centri za testiranje CCUS tehnologije (IEA, 2020).

2.1. Važnost CCUS projekata

Osim što se ova tehnologija koristi za smanjenje CO_2 emisija iz različitih industrija, CCUS također pomaže u osiguravanju energetske sigurnosti i raznolikost, na način da potiče ulaganje u postojeću, ali i novu infrastrukturu. Tehnologije se može primijeniti u različitim sektorima, osiguravajući smanjenje emisija u gotovo svim dijelovima globalnog energetskog sustava. Prosječne godišnje emisije ugljikovog dioksida u posljednjih 10 godina iznosile su 30 Gt ugljikovog dioksida, a procjenjuje se da je ukupni globalni skladišni kapacitet dovoljan za skladištenje između 8 000 Gt i 55 000 Gt ugljikovog dioksida (IEA, 2020).

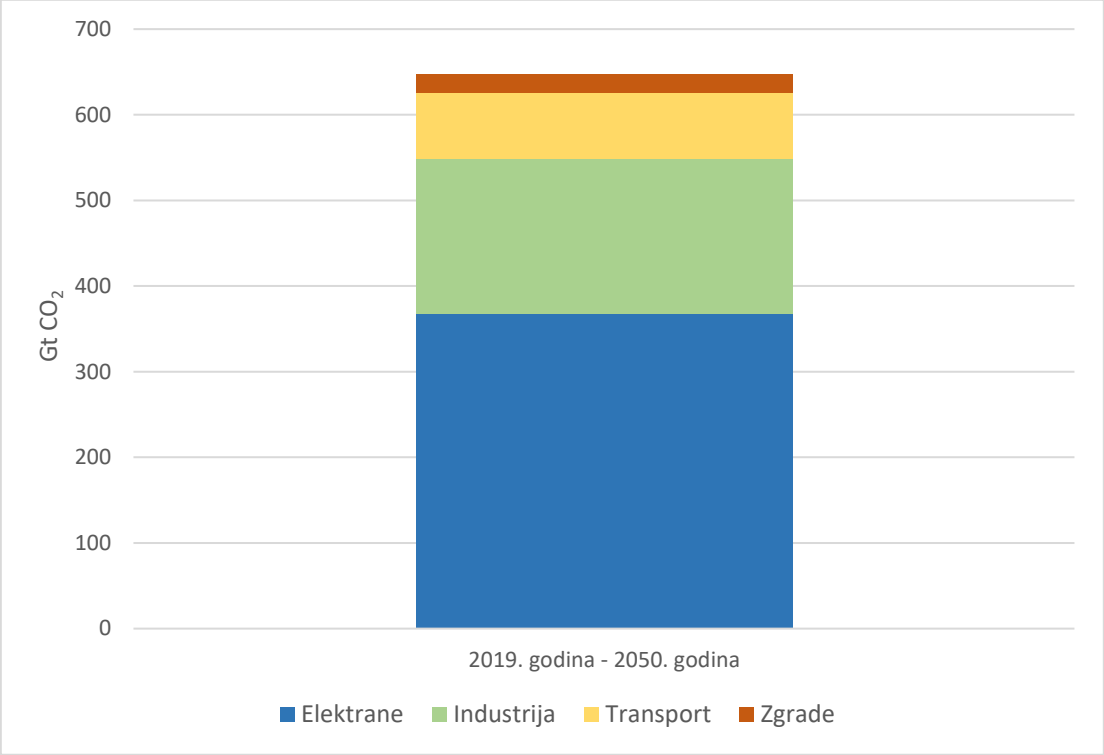
Prema Global CCS Institute (GCCSI), tehnologijom koju koriste CCUS projekti moguće je izdvojiti i skladištiti do 90% emisija CO_2 proizvedenih izgaranjem fosilnih goriva za proizvodnju električne energije, kao i one koji se koriste u industrijskim procesima, te na taj način spriječiti njegov utjecaj na ubrzavanje klimatskih promjena. Cilj je do 2050. godine izdvojiti i uskladištiti približno 5 milijardi metričkih tona CO_2 godišnje kako bi se globalno zagrijavanje zadržalo ispod 2 °C. Prema Međunarodnoj agenciji za energiju (IEA, 2019), CCS projekti mogli bi smanjiti emisiju stakleničkih plinova u svijetu za 14% do 2050. godine.

Tri od četiri glavna scenarija za održavanje globalnog zagrijavanja na temperaturi od 1,5 ° C zahtijevaju trajno zbrinjavanje gigatona ugljikovog dioksida primjenom CCUS tehnologije do sredine stoljeća. Jedini scenarij koji ne uključuje značajno širenje CCUS projekata oslanja se na opsežan niz socijalnih, poslovnih i tehnoloških inovacija za smanjenje potražnje za energijom izvanredno brzim tempom. Ukupni troškovi smanjenja emisija i postizanja neto nulte količine emisije do 2050. godine više su nego dvostruko (138%) skuplji ako se to učini bez primjene CCUS tehnologije (www.thirdway.org, 2019).

Hvatanje ugljikovog dioksida posebno je važno kao alat za dekarbonizacije teške industrije, koja uključuje kapitalnu opremu i postrojenja (www.thirdway.org, 2019). Elektrane na ugljen i prirodni plin čine dvije trećine globalno proizvedene električne energije, što je udio koji je ostao relativno nepromijenjen od 2000. godine, unatoč pojavi jeftinijih obnovljivih izvora energije (IEA, 2020).

Energija proizvedena izgaranjem fosilnih goriva povećala se za 70% od 2000. godine, a ugljen je i dalje vodeće gorivo za proizvodnju energije, dok je odmah iza njega prirodni plin. Kao što

je vidljivo na slici 2-3., upravo elektrane predstavljaju najveće proizvođače emisija, stvarajući ukupno 40% svjetskih emisija proizvedenih iz energetskog sektora (IEA, 2020).



Slika 2-3. Emisije CO_2 u svjetskom energetskom sektoru iz postojećih energetskih i industrijskih postrojenja, 2019. godine - 2050. godine (prema IEA, 2020)

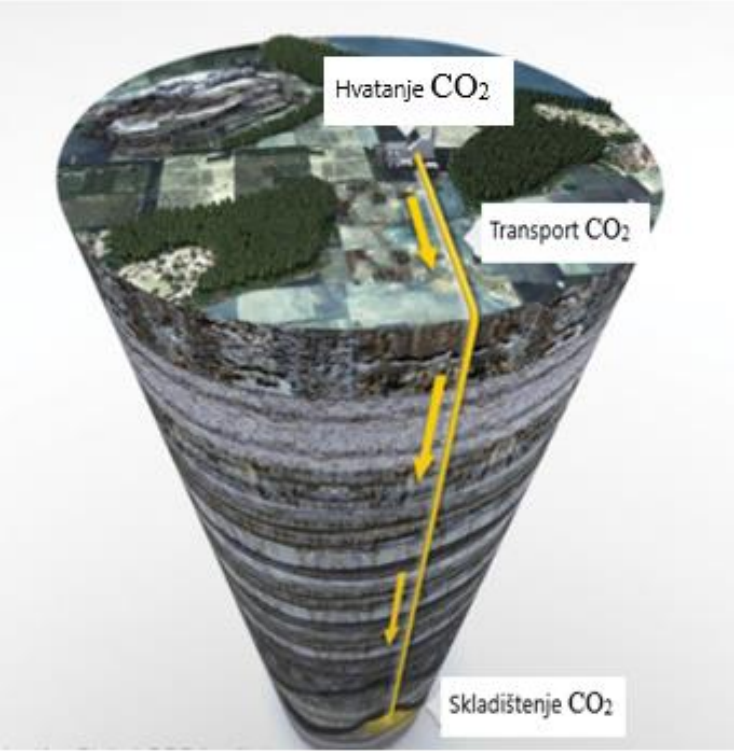
Ukoliko se ne prenamijene postojeće elektrane na ugljen, jedino rješenje za smanjenje emisija ugljikovog dioksida je primjena CCUS tehnologije. Instaliranje opreme za hvatanje CO_2 omogućit će daljnji rad ovakvih elektrana (IEA, 2019) i istovremenu zaštitu atmosfere.

CCUS je ujedno i jedino rješenje za emisije CO_2 koje nastaju preradom prirodnog plina, što je važno s obzirom na kontinuiranu upotrebu prirodnog plina u energetskom sustavu tijekom sljedećih desetljeća (IEA, 2020). Ležišta prirodnog plina mogu sadržavati velike količine CO_2, čak i do 90%, koje se iz tehničkih razloga moraju ukloniti prije nego što se prirodni plin proda ili preradi za proizvodnju ukapljenog prirodnog plina (UPP). Taj se CO_2 obično ispušta u atmosferu, ali umjesto toga može se utisnuti u geološke formacije ili koristiti za EOR projekte (IEA, 2019).

2.2. Podjela CCUS projekata

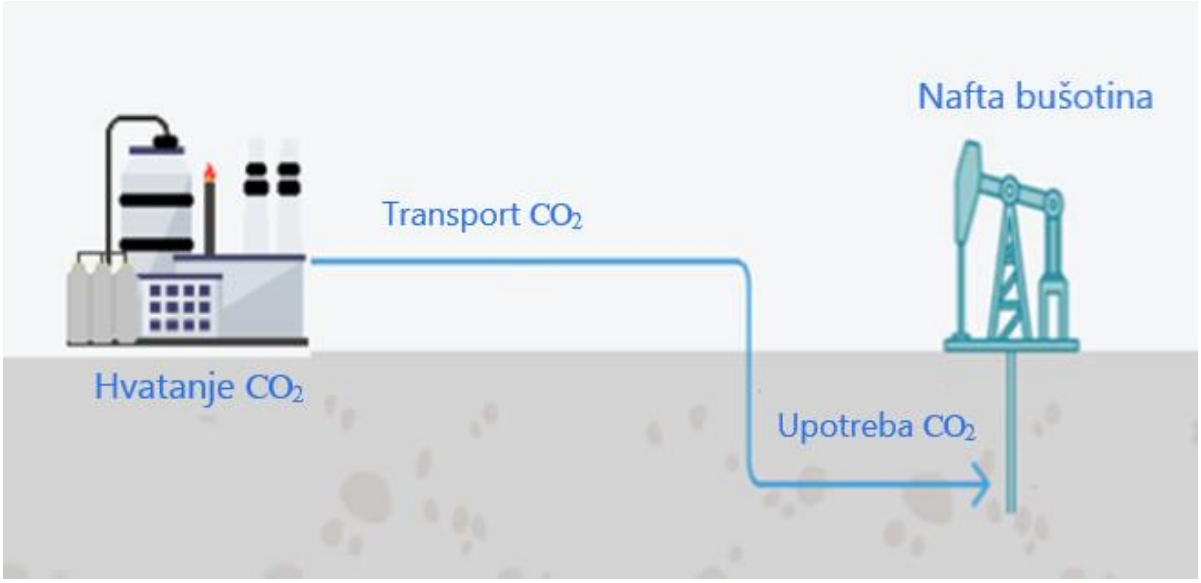
CCUS uključuje: hvatanje i skladištenje CO_2 (CCS), ali i sve projekte u kojima se CO_2 hvata i koristi (CCU), na primjer EOR projekti.

CCS uključuje tri glavna koraka, koja su prikazana na slici 2-4. ; hvatanje CO_2, komprimiranje i transport, te utiskivanje duboko u stijenu na pažljivo odabranom i sigurnom mjestu, gdje se trajno skladišti. Primjenom CCS tehnologije može se postići značajno smanjenje emisije CO_2, te se smatra ključnom opcijom za smanjenje emisija stakleničkih plinova (Global CCS Institute, 2020).



Slika 2-4. Shematski prikaz CCS projekta (prema Global CCS Institute, 2020)

CCU je tehnologija koja najčešće koristi CO_2 nakon hvatanja u proizvodnji goriva, karbonata, polimera i kemikalija. Korištenje CO_2 može odgoditi, ali i potpuno spriječiti emisije ugljikovog dioksida u atmosferi, istodobno smanjujući potrošnju izvorne sirovine i izbjegavajući emisiju drugih s njima povezanih tvari. Jedan od načina korištenja CO_2 su i EOR projekti. Izdvojeni plin utiskuje se u ležište s ciljem povećanja iscrpka ugljikovodika. U CO_2-EOR projektima ostvareni prihodi od nafte smanjuju sveukupne troškove projekta i povećavaju količinu uskladištenog CO_2 po jedinici ulaganja. Shema EOR projekta prikazana je slikom 2-5.

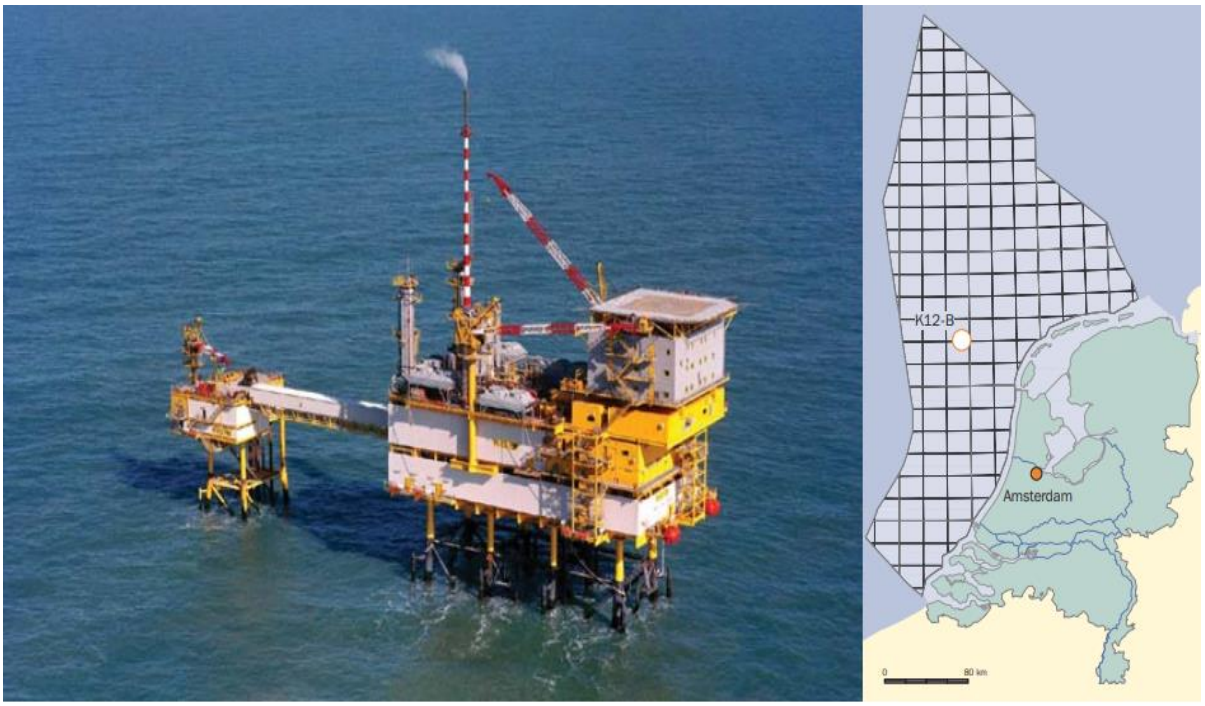


Slika 2-5. Shematski prikaz CO_2-EOR projekta (prema IEA, 2020)

3. PROJEKTI HVATANJA, KORIŠTENJA I SKLADIŠTENJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA

Ne postoji mnogo projekata, koji nisu dio CO_2-EOR projekta, a obuhvaćaju sve tri faze; hvatanje, skladištenje i korištenje CO_2. Ovakvi projekti ne samo da uklanjaju ugljikov dioksid iz atmosfere, nego ga i koriste, u naftnoj industriji najčešće koristi za povećanje proizvodnje iz naftnih i plinskih bušotina.

Jedan od mnogih CCUS projekata nalazi se u Europi. Naime radi se o projektu pod nazivom K12-B. Plinsko polje K12-B nalazi se na nizozemskom dijelu Sjevernog mora, oko 150 km sjeverozapadno od Amsterdama (Slika 3-1.). Proizvedeni prirodni plin ima relativno visok udio CO_2 (13%), a ta se količina nekada ispuštala u atmosferu, ali danas se odvaja od proizvodnog toka i trajno skladišti prije transporta prirodnog plina na obalu. Bušotina je počela s proizvodnjom 1987. godine te je proizvodnja u 2003. godini već bila znatno smanjena. Godine 2003. zrelo plinsko polje K12-B odabrano je kao pokazno mjesto za utiskivanje CO_2 ispod morske površine. Inicijalni projekt imao je za cilj istražiti izvedivost utiskivanja i skladištenja CO_2 u iscrpljenim ležištima prirodnog plina, s ciljem stvaranja stalnog postrojenja za utiskivanje CO_2. K12-B je prvo mjesto na svijetu gdje se CO_2 utiskuje u isto ležište iz kojeg se i proizvelo. Prvobitni plan obuhvaćao je utiskivanje kroz postojeću bušotinu u razdoblju od 2004. do 2006. godine. Utisnuti plin se nastojao trajno skladištiti duboko pod zemljom, ali je i služio za povećanje proizvodnje plina iz ležišta koje opskrbljuje Nizozemsku (TNO, 2011). Istraživački projekti na polju K12-B nastavili su se do 2017. godine, što čini razdoblje od gotovo 15 godina utiskivanja CO_2. Utiskivanje plina u bušotinu K12-B zaustavljeno je krajem 2017. godine, zbog obustave procesa hvatanja CO_2 na samoj platformi K12-B. Bez aktivnog odvajanja plina, na samoj bušotini više nije bilo opskrbe CO_2 plinom koji bi se mogao utisnuti u ležište (Hofstee et al., 2021).



Slika 3-1. Platforme i polja K12-B, te lokacija iste u odnosu na grad Amsterdam (TNO, 2011)

CO_2 se skladištio duboko pod vodom na dubini od oko 3744 m. Budući da je polje tada bilo operativno, utisne bušotine bile su lako dostupne za projekt skladištenja CO_2 i bile su potrebne samo manje izmjene. Skladište u ležištu K12 može se smatrati trajnim zbrinjavanjem CO_2, a rizik istjecanja CO_2 u atmosferu smatra se zanemarivim, jer se polje pokazalo kao nepropusno tijekom posljednjih milijun godina (D'Hoore, 2011).

Drugi važan CCUS projekt nalazi se u Americi, a riječ je o projektu u Alberti u Kanadi (ACTL). Cijeli proces započinje hvatanjem CO_2 u rafineriji Northwest Redwater Partnership (NWR), koja ujedno ima i postrojenje za proizvodnju gnojiva. ACTL je projekt hvatanja, korištenja skladištenja ugljikovog dioksida, kao što je i prikazano slikom 3-2., koji koristi 240 km dug cjevovod za transport CO_2, a plin se transportira od mjesta izdvajanja plina do starih naftnih polja u središnjoj Alberti radi povećanja proizvodnje nafte. Cjevovod koji se koristi za transport može transportirati i do 14,6 milijuna tona CO_2 godišnje, a radi se o cjevovodu najvećeg svjetskog kapaciteta za transport CO_2. Količina plina koju ovaj cjevovod može transportirati godišnje, jednaka je jednaka je količini CO_2 koju godišnje emitira 2,6 milijuna automobila u Alberti. Cjevovod velikog kapaciteta izrađen je s namjenom povezivanja sustava s više objekata koji će u budućnosti hvatati ugljikov dioksid (Alberta Carbon Trunk Line, 2020). Izdvojeni ugljikov dioksid utiskuje se u polje Clive u Alberti, gdje se očekuje da će se proizvodnja nafte povećati za 15 do 20%. Kada se proizvede, rafinira i potroši tipični barel sirove nafte, u atmosferu se emitira približno 0,4 tone CO_2 (Alberta Carbon Trunk Line, 2020). Suprotno tome,

svaki barel sirove nafte proizveden u sklopu EOR projekta iz ležišta Clive rezultira trajnim skladištenjem od 0,3 do 0,7 tona CO_2, što omogućava proizvodnju fosilnih goriva s niskim udjelom ugljikovog dioksida i jedinstvenim i ekološki održivim razvojnim projektom (Alberta Carbon Trunk Line 2020). Ovakva stara, gotovo potpuno iscrpljena ležišta sigurni su prostori za skladištenje CO_2. Nakon utiskivanja ugljikovog dioksida, skladišni prostor potrebno je nadgledati radi eventualnog mogućeg propuštanja bušotina i istjecanja CO_2 u atmosferu. Očekuje se da će se s vremenom utisnuti CO_2 otopiti u vodi koja se nalazi u formaciji stijena, a dio će kemijski reagirati sa stijenama (mineralizacija) što čini skladište CO_2 još sigurnijim. U Cliveu se plin skladišti na otprilike 2 kilometra ispod površine zemlje, gdje su se prethodno u ležištima nalazili nafta i plin desecima milijuna godina. To je znatno ispod slatkovodnih vodonosnika i izvora pitke vode, što rezultira nemogućnošću onečišćenja (The Chemical Engineer, 2020).

Slika 3-2. CCUS projekt u Alberti (prema The ACTL System, 2020)

4. PROJEKTI HVATANJA I SKLADIŠTENJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA

Hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida – CCS *(*engl. *Carbon capture and storage)* je tehnologija, koja obuhvaća samo dvije faze CCUS tehnologije; hvatanje i skladištenje CO_2.

Proces hvatanja nakon izgaranja uključuje odvajanje CO_2 od ostalih plinova proizvedenih u industrijskim postrojenjima i elektranama, zatim je tu hvatanje CO_2 prije izgaranja, a postoji i mogućnost izdvajanja primjenom oksi-goriva, ili direktnim hvatanjem iz zraka/atmosfere. Većina današnjih projekata ima tehnologiju kojom se izdvaja CO_2 nakon izgaranja, korištenjem apsorpcijskih sustava na bazi amina. Sagorijevanje uz prisustvo kisika još je jedna metoda odvajanja CO_2, pri čemu se kisik koristi za izgaranje goriva, a ne struja zraka. Kao rezultat dobije se ugljikov dioksid visoke čistoće i vodena para (IEA, 2017).

Transport ugljikovog dioksida moguć je cjevovodima, brodovima ili pomoću cestovnih/ željezničkih cisterni, a plin se obično transportira u krutoj ili tekućoj fazi od mjesta hvatanja do mjesta utiskivanja (Global CCS Institute, 2020). Brodski prijevoz CO_2 nudi veću fleksibilnost od cjevovoda, posebno na mjestima gdje postoji više od jednog mjesta namijenjenog skladištenju CO_2. Fleksibilnost transporta također može olakšati početni razvoj čvorišta za hvatanje CO_2, koja bi se kasnije mogla povezivati ili pretvarati u trajniju cjevovodnu mrežu kako količine uhvaćenog CO_2 rastu. U nekim slučajevima transport brodovima može biti isplativija opcija prijevoza, posebno za prijevoz na velike udaljenosti, koji bi mogao biti potreban zemljama s ograničenim skladišnim kapacitetima (IEA, 2019) .

Skladištenje uključuje utiskivanje CO_2 u geološke formacije obično na dubinama od jednog kilometra ili više, a postupak utiskivanja može se odvijati na kopnu ili na moru, u starim naftnim i plinskim ležištima ili dubokim slanim akviferima, s time da duboki slani akviferi nude veći skladišni prostor. U Europi se skladištenje CO_2 uglavnom odvija na moru, a najčešće se radi o Sjevernom moru (Global CCS Institute, 2020). Smatra se da su globalni resursi za skladištenje CO_2 znatno veći od vjerojatnih budućih potreba.

Slika 4-1. Postojeći resursi za skladištenje CO_2 (milijuni tona) u dokazanim naftnim i plinskim ležištima (prema GLOBAL STATUS OF CCS, 2020)

Većina CCS projekata za skladištenje koristi stara naftna i plinska polja, ne samo zato što su već pokazali svoju sposobnost skladištenja CO_2 i drugih ugljikovodika milijunima godina, već i zato što su dobro istražena. Prije početka skladištenja CO_2 važno je poznavati stopu proizvodnje nafte ili plina, jer su one važan pokazatelj brzine kojom se CO_2 može utiskivati u istu strukturu. Također, ukupna količina proizvedene nafte ili plina dobar je pokazatelj moguće količine ugljikovog dioksida koji će se moći trajno skladištiti u ležište. Slika 4-1. prikazuje skladišne kapacitete glavnih naftnih i plinskih polja temeljene na najnovijim nacionalnim i međunarodnim izvješćima, uzimajući u obzir količinu nafte ili plina koja još nije proizvedena, ali i količine koje su već proizvedene i razliku u gustoći između CO_2 i nafte i plina (GLOBAL STATUS OF CCS, 2020).

Iako naftna i plinska polja imaju veliki potencijal za zadovoljavanje svjetskih zahtjeva za skladištenjem CO_2, njihova geografska rasprostranjenost relativno je ograničena. U mnogim slučajevima udaljenost između mjesta hvatanja CO_2 i najbližeg naftnog ili plinskog polja je velika, što povećava troškove transporta. Stijenske formacije slične onima u naftnim ili plinskim poljima, koje sadrže vodu koja nije pogodna za piće niti za navodnjavanje, mnogo su šire rasprostranjene. Takvi su slani akviferi uobičajeni i imaju značajne kapacitete za uskladištenje ugljikovog dioksida, čak nekoliko tisuća milijardi tona CO_2 u usporedbi sa

stotinama milijardi tona u naftnim i plinskim poljima. Nažalost, s obzirom da slani akviferi nemaju ili imaju izuzetno malu ekonomsku vrijednost, gotovo se nije ulagalo u istraživanje njihovog skladišnog potencijala (GLOBAL STATUS OF CCS, 2020).

CCUS je dobro istražena tehnologija, s prvim postrojenjem za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida koji je započeo s radom 70-tih godina 20. stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama u sklopu EOR projekta u kojem se ugljikov dioksid utiskivao u iscrpljeno ležište u Teksasu. Od tada je preko 200 Mt CO_2 trajno skladišteno diljem svijeta (Global CCS Institute, 2020). Procjene troškova za primjenu CCS-a razlikuju se ovisno o troškovima hvatanja CO_2 i njegovog transporta. U elektroenergetskom sektoru, prosječni troškovi u Europi iznose 62-131 €/t CO_2, a očekuje se da će se u budućnosti troškovi smanjiti do približno 30%. Prema Globalnom institutu za CCS, ukupni troškovi CCS-a u čitavom nizu industrija trenutno se procjenjuju na oko 19-172 €/t CO_2, ovisno o količini CO_2 (Global CCS Institute, 2020).

4.1. Regionalni pregled

Danas u svijetu postoji 135 CCS postrojenja za komercijalnu upotrebu, od kojih su 2 prestala s radom. U prvih devet mjeseci 2021. godine u rad je pušten 71 CCS objekt – pri čemu je jedno postrojenje prestalo s radom. (Global CCS Institute, 2021).

4.1.1. Sjeverna i Južna Amerika

U 2020. godini u Sjevernoj i Južnoj Americi s radom započinju mnogi novi CCS projekti, a više od polovice projekata čine EOR projekti. 40% svih CCS projekata na svijetu nalazi se u Sjevernoj i Južnoj Americi. Svestranost CCS-a očita je u SAD-u, a najavljeni su projekti za: proizvodnju cementa, elektrane na ugljen, elektrane na plin, postrojenja za etanol i kemijsku proizvodnju (Global CCS Institute, 2020). Tablica 4-1. prikazuje dva najveća CCS projekta u Americi.

Tablica 4-1. Dva najveća CCS projekta u Americi (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Frio	Pilot projekt	SAD	2004.
Quest Carbon Capture and Storage	Komercijalni projekt za CCS	Kanada	2015.

CCS projekt Frio započet je kao pilot projekt, a do danas je utisnuto nekoliko tisuća m^3 ugljikovog dioksida u formaciju, koja se nalazi na obali Sjedinjenih Američkih Država. Karakterizacija ležišta i numeričko modeliranje korišteni su za projektiranje pilot projekta, kao i za tumačenje rezultata. Prikupljena su blisko raspoređena mjerenja u prostoru i vremenu kako bi se promatrala količina otopljenog CO_2 tijekom i nakon utiskivanja. Projekt je uključivao utiskivanje relativno malih količina CO_2 u formacije i praćenje njegovog kretanja nekoliko godina nakon toga. Ciljevi su bili dokazati da neće doći do štetnih učinaka na zdravlje, sigurnost i okoliš, te demonstrirati metode praćenja terenskog ispitivanja i razviti iskustvo potrebno za utiskivanje veće količine ugljikovog dioksida. Nakon što su utisnute prve količine CO_2, kao što se očekivalo, plin se brzo otopio, uzrokujući pri tome pad pH i otapanje kalcita i metala. Nedugo nakon dobivenih pozitivnih rezultata, projekt utiskivanja je završen (Ajayi et al., 2019).

Projekt Quest Carbon Capture and Storage (CCS), koji je razvio Shell, obuhvaća transport i skladištenje više od milijun tona ugljikovog dioksida godišnje. Shell Scotford kompleks sastoji se od rafinerije, tvornice kemikalija i postrojenja za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida (CCS). To je jedno od najučinkovitijih, modernih i integriranih lokacija za preradu ugljikovodika u Sjevernoj Americi, a može preraditi do 100 000 barela sirove naftne dnevno (NSEnergy.com, 2018). CCS projekt počeo je s radom u studenom 2015. godine, a svojim radom smanjuje jednu trećinu izravnih emisija CO_2 iz kompleksa Scotford, koje su ekvivalentne uklanjanju 250 000 automobila godišnje s ceste. Izdvojeni CO_2 se dehidrira i komprimira prije nego što se transportira podzemnim cjevovodom dugim 60 km do skladišta u Fort Saskatchewanu. Tekući CO_2 se utiskuje kroz tri prethodno izrađene utisne bušotine u poroznu stijenu, na dubini od oko 2 km. U vrijeme utiskivanja, plitke podzemne vode izolirane su i zaštićene zaštitnim cijevima, koje se nalaze u svim utisnim bušotinama. Formacija sadrži slanu vodu, koja se nakon utiskivanja ugljikovog dioksida zamjenjuje tekućim CO_2, koji zatim popunjava porni prostor. Kako vrijeme prolazi, sve veći postotak ukapljenog CO_2 otapa se i tone na dno ležišta. Formacija BCS nalazi se ispod tri sloja nepropusnih stijena, što pruža učinkovitu barijeru za zadržavanje CO_2 duboko pod zemljom. Sofisticirane tehnologije praćenja osiguravaju trajno skladištenje CO_2 (Shell, 2020).

4.1.2. Europa

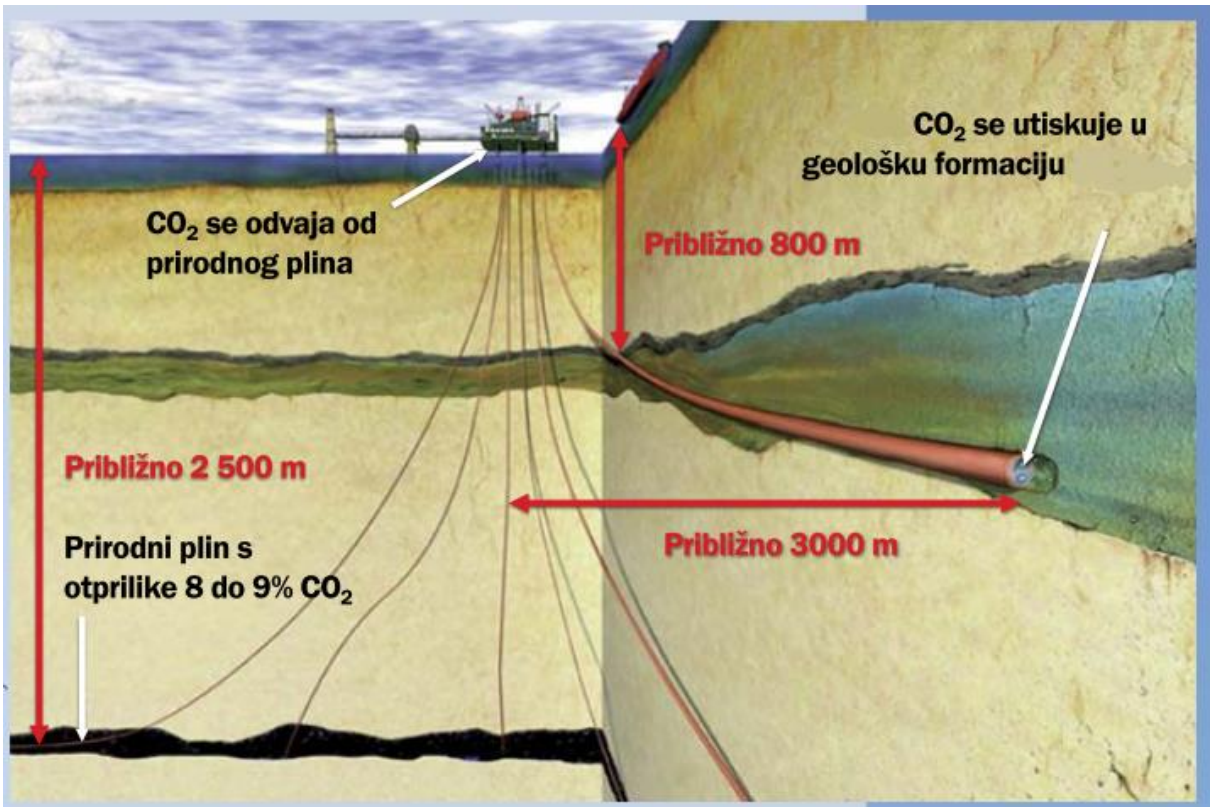
U Europi postoji značajan broj komercijalnih objekata u pogonu ili u raznim fazama razvoja, a većina se nalazi u Irskoj, Nizozemskoj, Norveškoj, Ujedinjenom Kraljevstvu (Tablica 4-2). Osim toga u 2020. godini pojavili su se brojni novi europski projekti, nekoliko u zemljama koje

obično nisu povezane s CCS-om, poput Italije, Danske, Švedske. Očekuje se da će do 2030. godine s radom početi još 11 novih projekata (Global CCS Institute, 2020).

Tablica 4-2. Neki od najznačajnijih CCS projekata u Europi (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Acorn	Komercijalni projekt za CCS	UK	2020.
Snøhvit CO_2 Storage	Komercijalni projekt za CCS	Norveška	2008.
Sleipner CO_2 Storage	Komercijalni projekt za CCS	Norveška	1996.
Ketzin	Pilot projekt	Njemačka	2008.
Porthos	Komercijalni projekt za CCS	Nizozemska	2024.

Sleipner, smješten u norveškom dijelu Sjevernog mora, najdugovječniji je projekt skladištenja ugljikovog dioksida. Prvi je i jedan od najvažnijih CCS projekata u svijetu, koji je od 1996. godine ukupno uskladištio 16 Mt CO_2. Sleipner je do sada jedini primjer podzemnog skladišta CO_2 koji je nastao kao izravan odgovor na zakonodavni okvir o okolišu (Equinor, 2019). Prirodni plin proizveden iz polja Sleipner West sadrži do 9% CO_2, no kako bi se udovoljilo potrebnim specifikacijama i zahtjevima, taj se udio mora smanjiti na najviše 2,5%. CO_2 se uklanja iz proizvedenih ugljikovodika na podmorskoj platformi prije nego što se utiskuje natrag u podzemne strukture. 3D seizmičko praćenje i druga provedena istraživanja formacije Utsira, pokazuje da ne dolazi do istjecanja CO_2 u druge formacije. Grube procjene na projektu Sleipner pokazuju da se otprilike 15% CO_2 otopi u razdoblju od 10 godina nakon utiskivanja. Formacija Utsria je masivni pješčenjak debljine 200 do 250 metara, a skladišni se kapacitet procjenjuje na 600 milijardi tona CO_2 (equinor.com, 2009). Slika 4-2. detaljno prikazuje lokaciju Sleipner u koji se trajno skladišti ugljikov dioksid.



Slika 4-2. Vertikalni presjek na lokaciji Sleipner u Norveškoj (CO_2GeoNet, 2009)

Drugi važan CCUS projekt u Norveškoj je Snøhvit CO_2 Storage, naime radi se o plinu koji se ukapljuje i kao takav izvozi u Europu. Objekt za ukapljeni prirodni plin – UPP *(*engl. *Liquefied natural gas)* izgrađen je u Melkøyi, blizu Hammerfesta na sjeveru Norveške. Plin sa Snøhvita sadrži pet do osam posto CO_2 koji se smrzava u čvrstu tvar (tzv. suhi led) na višoj temperaturi od prirodnog plina. Stoga, isti se mora ukloniti prije procesa ukapljivanja, u dovoljno ranoj fazi postupka, tako da se mješavina plina ne smrzava i ne blokira izmjenjivače topline u pogonu za preradu. Izdvojeni CO_2 transportira se cjevovodima iz postrojenja za UPP Hammerfest natrag do polja Snøhvit. Tamo se plin skladišti u geološkom sloju poroznog pješčenjaka koji se naziva Tubåen. Plin se utiskuje na dubini od 2500 metara ispod morskog dna. Godišnje će se na taj način skladištiti više od 700 000 tona ugljičnog dioksida. Proizvodnja plina iz ležišta započela je u listopadu 2007. godine, a godinu dana kasnije, u travnju 2008. godine započelo je utiskivanje u ležište (Zeroco2, 2017).

Acorn je jeftin, niskorizični projekt hvatanja i skladištenje ugljikovog dioksida, osmišljen na način da je moguća brza izgradnja. Planira se korištenje postojeće naftne i plinske infrastrukture i skladištenje CO_2 već poznatom tehnologijom u odobalju. Projekt se nalazi na sjeveroistoku Škotske, na plinskom terminalu St Fergus - aktivnom industrijskom mjestu, gdje oko 35% cjelokupnog prirodnog plina koji se koristi u Velikoj Britaniji dolazi na kopno. Terminal St

Fergus, povezan je s nizom morskih cjevovoda, od kojih bi se tri trase mogle preusmjeriti. St Fergus je također povezan s britanskom nacionalnom plinskom mrežom i namjenskim cjevovodom do središnjeg pojasa. Postoje 2 elementa projekta Acorn; hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida (CCS) i hvatanje i skladištenje vodika. Cilj projekta Acorn je pružiti jeftini sustav za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida (CCS) na sjeveroistoku Škotske u iduće tri godine, do kraja 2023. godine. Uz očekivani tijek razvoja i izgradnje postrojenja, Acorn CCS projekt počeo je s radom početkom 2020. godine (Actacorn, 2019).

Pilot projekt na lokaciji Ketzin bilo je prvi europski projekt skladištenja CO_2 na kopnu u ovakva ležišta (cslforum.org, 2019). Ketzin je mali grad zapadno od Berlina i ovaj prostor korišten je za skladištenje ugljikovog dioksida. Projekt je započeo 2004. godine, a samo utiskivanje započelo je lipnju 2008. godine. Projekt je prema planu završio u kolovozu 2013. godine, a ukupno je utisnuto 67 271 tona ugljikovog dioksida. U razdoblju od 2007. godine do 2012. godine izbušeno je ukupno pet bušotina, a mjesta pogodna za skladištenje CO_2 nalazile su se na dubini od 630 do 650 m. To su porozni slojevi pješčenjaka koji mogu apsorbirati CO_2 u svojim porama poput spužve (co2ketzin.de, 2019). Sve faze projekta bile su praćene kontinuiranim praćenjem i istraživanjem, kako bi se omogućilo sigurno utiskivanje CO_2 i mogućnost naknadnog širenja utiskivanja unutar ležišta pješčenjaka. Nakon završetka utiskivanja, zaključeno je da se lokacija Ketzin pokazala kao sigurno i pouzdano mjesto za skladištenje ugljikovog dioksida (cslforum.org, 2019).

Porthos je još jedan EOR projekt u Europi, koji se nalazi između luke Rotterdam i iscrpljenih plinskih polja ispod Sjevernog mora. Ugljikov dioksid transportirat će se cjevovodom do platforme udaljene 20 kilometara od luke Rotterdam. S ove će se platforme ugljikov dioksid utiskivati u napušteno plinsko polje na dubini od tri kilometra. Plan je uskladištiti oko 37 Mt ugljikovog dioksida u idućih 15 godina. Početak projekta planira se u 2024. godini.

4.1.3. Azija i Pacifik

Azija i Pacifik je velika regija koja ima 10 komercijalnih CCS projekata koji rade ili su u različitim fazama razvoja. Regija ima veliku raznolikost pilot projekata CCS-a koji obuhvaćaju: preradu prirodnog plina, proizvodnju gnojiva, proizvodnju vodika, preradu otpada za pridobivanje energije, proizvodnju čelika, kemikalija i cementa. Singapur, Malezija, Kina i Australija su zemlje koje su počele uspostavljati CCS strategiju kao dio svojih dugoročnih obveza vezanih uz klimatske promjene. Jugoistočna Azija je kao ključno središte za CCUS s

državama; Indonezija, Singapur, Malezija, Tajland, Vijetnam i Brunej (Global CCS Institute, 2020). Neki od najveća CCS projekta u regiji Azije i Pacifika prikazani su tablicom 4-3.

Tablica 4-3. Neki od najznačajnijih CCS projekata u regiji Azije i Pacifika (prema Global CCS Institute, 2021)

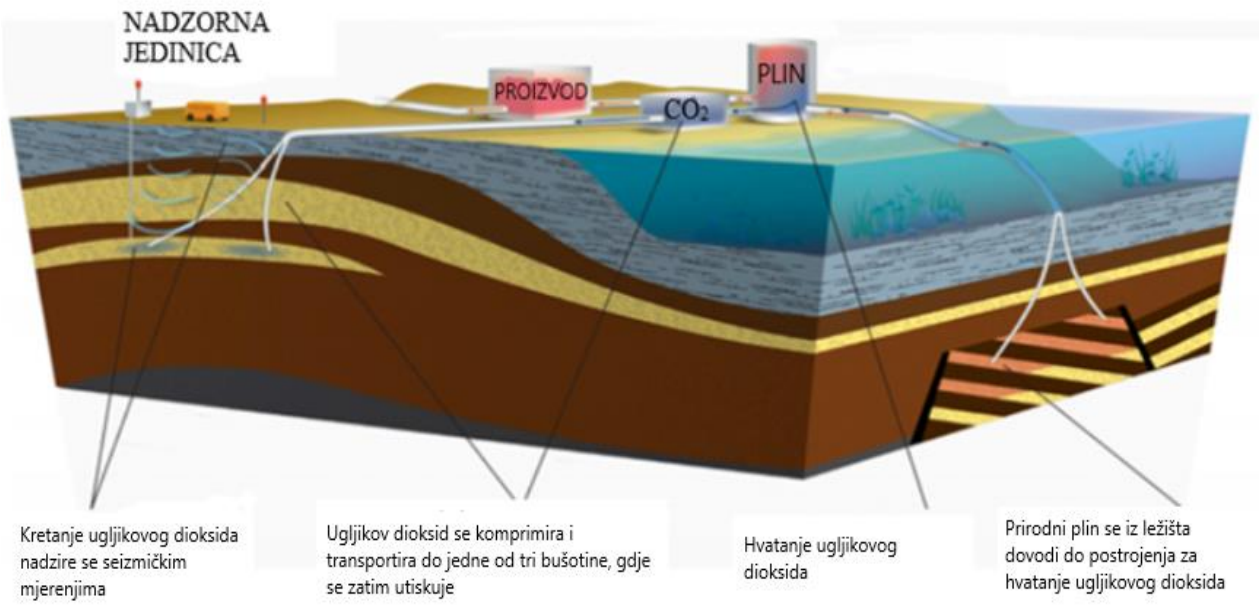
NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Chinese-European Emission-Reducing Solutions	Pilot projekt	Kina	2017.
Nagaoka CO_2 Storage Project	Pilot projekt	Japan	2003.
Gundih CCS Pilot	Pilot projekt	Indonezija	2018.
Santos Cooper Basin CCS Project	Komercijalni projekt za CCS	Australija	2023.
Gorgon Carbon Dioxide Injection	Komercijalni projekt za CCS	Australija	2016.
CO_2CRC Otway	Pilot projekt	Australija	2008.

Nagaoka CO_2 Storage Project jedan je od projekata u Japanu, koji je počeo s utiskivanjem CO_2 u 2003. godini i završio u 2005. godini. Mjesto utiskivanja plina nalazi se odmah pored bušotine iz koje se proizvodi prirodni plin. Nakon proizvodnje, prerađeni, 99.9% CO_2 se utiskuje u pješčenjačku formaciju Haizume, koja se nalazi na oko 1100 m ispod površine tla. Ukupna količina utisnutog plina do 2005. godine bila je 10 400 tona CO_2 (Yamagata, H. 2006).

Pilot projekt Gundih CCS prvi je projekt hvatanja i skladištenja ugljikovog dioksida u Južnoj i Jugoistočnoj Aziji. Ovaj projekt hvatanja i skladištenja (CCS) utiskivao bi oko 30 tona CO_2 dnevno tijekom dvogodišnjeg razdoblja, što je ukupno oko 20 000 tona ugljikovog dioksida u dvije godine. Projekt koristi plin uhvaćen iz plinskog polja Gundih (OGJ, 2019).

U Australiji već postoje dva CCS projekta, a s radom počinje još jedan u 2023. godini. Naime, radi se u Santos Cooper Basin CCS projektu, kojemu je cilj ukupno utisnuti 1,7 milijuna tona CO_2. Ugljikov dioksid će se skladištiti u geološke formacije u istom bazenu unutar kojeg se nalaze plinska i naftna ležišta. Prema dosadašnjem ispitivanju u bazenu Cooper moguće je utisnuti do 20 milijuna tona CO_2 godišnje, tijekom sljedećih 50 godina (OGJ, 2019).

Gorgon je jedan od najvećih svjetskih projekata za UPP u povijesti Australije. Smješten je na otoku Barrow , a sastoji se od dva dijela; postrojenja za UPP s godišnjim kapacitetom od 15,6 milijuna tona i domaće plinske elektrane s kapacitetom za dobavu 300 TJ plina dnevno u Zapadnu Australiju. Projekt Gorgon od velike je važnosti za Australiju, a očekuje se da će biti u pogonu idućih 40 godina. Dodatne bušotine i podmorska infrastruktura bit će dodani postojećim plinskim poljima Gorgon i Jansz-Io kako bi se održala buduća opskrba plinom. Projektom Gorgon upravlja Chevron Australija, a zajedničko je ulaganje australskih podružnica Chevron, ExxonMobil, Shell, Osaka Gas, Tokyo Gas i JERA (Chevron, 2019). Projekt Gorgon, koji se nalazi u Australiji prikazan je na slici 4-3.



Slika 4-3. CCS projekt Gorgon u Australiji (prema Chevron, 2019)

CO_2CRC je vodeća svjetska istraživačka organizacija za CCUS tehnologiju, koja kroz suradnju s međunarodnom industrijom, akademskim i vladinim partnerima pruža inovativna istraživanja, proizvode i usluge osmišljene kako bi poboljšale isplativost i pokazale ekološki integritet CCUS tehnologija i metodologija (CO_2CRC, 2017). Jedan od takvih projekata je i projekt CO_2CRC Otway, koji je bilo značajno istraživačko i demonstracijsko postrojenje za skladištenje ugljičnog dioksida smješteno u jugozapadnom dijelu Victorije. Projekt se bavio istraživanjem utiskivanja, transporta, skladištenja i nadzora ugljikovog dioksida, sa 65 000 tona CO_2 uskladištenog od 2008. godine. Polja u bazenu Otway bogata su ugljikovim dioksidom, a CO_2 za ovaj projekt potječe iz proizvodne bušotine Buttress. Kao prvi operativni projekt skladištenja ugljičnog dioksida u Australiji, projekt Otway važan je za Australiju, jer pokazuje da se ugljikov dioksid može sigurno utiskivati, skladištiti i učinkovito nadzirati. U 2011. godini CO_2CRC

započinje drugi krug istraživanja, koristeći se sličnim pristupom i metodama kao na početku studija. Pozitivni rezultati drugog istraživanja uključivali su značajan porast svijesti o projektu i CCS-u u Australiji, što potiče daljnji nastavak istraživanja unatoč padu zabrinutost zbog klimatskih promjena (Steeper, 2019). Danas je ovo nacionalno istraživačko postrojenje Otway postalo Međunarodni ispitni centar Otway. Međunarodni ispitni centar Otway (OITC) bit će temelj kontinuiranog napretka CO_2CRC-a u unapređivanju CCUS tehnologija i omogućit će budućim korisnicima demonstraciju i potvrdu isplativosti i učinkovitosti CCUS tehnologije u realnim razmjerima (CO_2CRC, 2019).

4.1.4. Bliski istok

Gotovo tri četvrtine emisija CO_2 u regiji dolazi iz dvije države, Saudijske Arabije i Ujedinjenih Arapskih Emirata (UAE). Iako ova regija čini manje od 1% svjetske populacije, Bliski istok proizvodi oko 25% svjetske proizvodnje nafte. Trenutne aktivnosti CCS-a raširene su u tri države Bliskog istoka; UAE, Saudijskoj Arabiji i Kataru (Tablica 4-4). Regija ima prostrani i pristupačni podzemni skladišni potencijal, koji ima mogućnost skladištenja do 30 gigatona ugljikovog dioksida. Jedan je komercijalni CCS projekt trenutno u pogonu, namijenjen za skladištenje CO_2 nastalog preradom željeza i čelika. U 2025. godini s radom će početi još jedan komercijalni CCS projekt u Kataru (Global CCS Institute, 2020).. Procjenjuje se da će se u ovoj regiji do 2040. godine skladištiti 27 puta veća količina ugljikovog dioksida, od one koja se skladišti danas (Qamar Energy, June 2019).

Tablica 4-4. CCS projekt na Bliskom istoku (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Qatar UPP CCS	Komercijalni projekt za CCS	Katar	2025.

North Field East UPP Liquefaction Project (NFE) u Kataru će biti najveći svjetski projekt ukapljivanja UPP-a, a sastoji se od četiri glavna dijela, postrojenja za obradu plina, preradu prirodnog plina, ekstrakciju i preradu helija. Projekt će povećati katarski proizvodni kapacitet UPP-a za oko 50%, a proizvodit će UNP, kondenzat, ukapljeni naftni plin – LPG *(engl. Liquefied petroleum gas)* , etan, sumpor i helij. NFE će implementirati postrojenje za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida (CCS). CCS postrojenje bit će najveće te vrste u UNP industriji i bit će dio postrojenja za hvatanje i skladištenje CO_2 koji se nalazi u Ras Laffanu.

Snaga za pogon dobivat će se iz solarne elektrane snage 800 MW koja se gradi u blizini, što će dodatno smanjiti emisiju ugljikovog dioksida u projektu (Clydeco, 2019). Katar povećava broj svojih projekata za hvatanje i skladištenje ugljikovog dioksida, te planira skladištenje više od 5 milijuna tona ugljikovog dioksida godišnje sve do 2025. godine (AA, 2017).

4.1.5. Afrika

Afrika je kontinent koji za sada nema značajnije CCS projekte, naime regija je imala samo jedan projekt u Alžiru (Tablica 4-5.).

Tablica 4-5. Jedini CCS projekt u Africi (prema Global CS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
In Salah CO_2 Storage	Komercijalni projekt za CCS	Alžir	2004.

In Salah CCS projekt u središnjem Alžiru je svjetski pionirski projekt hvatanja i skladištenja CO_2 na kopnu koji je dao bogato iskustvo vrlo relevantno za CCS projekte diljem svijeta. Jedini CCS projekt u Africi. Postrojenje je počelo je s radom u 2004. godini. Alžir je treći najveći dobavljač plina za Europu. Ovaj projekt zajedničko je ulaganje BP-a , Sonatrach-a i Statoil-a (današnji Equinor). Ugljikov se dioksid hvatao u središnjem postrojenju za preradu plina, a zatim se CO_2 komprimira, transportira i skladišti pod zemljom u karbonskom pješčenjaku na dubini od 1,9 km na polju Krechba (Bissellb, i dr., 2013). Svake godine utisnuto je oko 1 do najviše 1,2 milijuna tona CO_2. Namjeravalo se utisnuti 17 milijuna tona tijekom sljedećih 20 godina (zeroco2, 2017). Analizom seizmičkih i geomehaničkih podataka, ali i podataka o ležištu iz 2010. godine otkrivena je manja količina CO_2 koja migrira na površinu kroz stare istražne bušotine i time je donesena odluka o obustavljanju utiskivanja CO_2, te je CCS objekt prestao s radom u lipnju 2011 (Sequestration, 2017). Slika 4-4. prikazuje jedini afrički CCS projekt, In Salah, koji je skladištio ugljikov dioksid do 2011. godine

Slika 4-4. CCS projekt In Salah u Alžiru (Sequestration, 2017)

5. PROJEKTI HVATANJA I ISKORIŠTAVANJA UGLJIKOVOG DIOKSIDA

Hvatanje i iskorištavanje ugljikovog dioksida – CCU *(*engl. *Carbon capture and utilisation)* širok je pojam koji obuhvaća sve uspostavljene i inovativne tehnologije kojima je cilj prikupljanje CO_2 - bilo iz industrijskih stacionarnih izvora ili izravno iz zraka - te korištenje ugljikovog dioksida u nizu proizvodnih procesa koji stvaraju dodatnu vrijednosti. Za razliku od drugih opcija koje nastoje smanjiti emisije CO_2, CCU tehnologije pružaju rješenja koja se mogu implementirati bez potrebe za značajnijim izmjenama postojeće infrastrukture za proizvodnju, distribuciju i upotrebu (CO_2 VALUE EUROPE, 2021). Međutim, iz perspektive zaštite okoliša, CCUS tehnologija koja dovodi do neto smanjenja emisija CO_2, mora rezultirati trajnim geološkim uskladištenjem CO_2, te na taj se način onemogućava povratak emisija u atmosferu.

Posljednjih desetljeća došlo je do ogromnog razvoja i napretka u korištenju ugljikovog dioksida, ali općenito se procesi korištenja CO_2 mogu klasificirati u dvije kategorije; na procese koji mijenjaju molekularnu strukturu ugljikovog dioksida i na one koji ne mijenjaju njegovu molekularnu strukturu (Ansari, 2020). Među procesima koji ne mijenjaju molekularnu strukturu ugljikovog dioksida je i uporaba CO_2 u sklopu CO_2-EOR projekata.

U naftnoj industriji CCU projekti se najčešće koriste kao jedna od metoda za povećanje iscrpka ugljikovodika iz ležišta. Metoda za tercijarnu proizvodnju nafte koja preostaje nakon eruptivnog i mehaničkog načina proizvodnje obično se podrazumijevaju pod EOR-om. EOR je daleko najnaprednija CCUS tehnologija, s desetljećima iskustva. Ako se ugljikov dioksid koji se vrati na površinu odvoji i ponovno utisne u zatvorenoj petlji, to rezultira trajnim uskladištenjem CO_2. U ovakvim projektima najčešće se 50 do 75% ugljikovog dioksida vrati na površinu i ponovno nakon izdvajanja utisne u ležište (Ansari, 2020). Danas se u sklopu EOR procesa prosječno utiskuje između 300 kg CO_2 i 600 kg CO_2 po barelu nafte proizvedene u Sjedinjenim Državama (iako se količine razlikuju između polja i tijekom trajanja projekta). S obzirom na to da barel nafte oslobodi oko 400 kg CO_2, a u prosjeku oko 100 kg CO_2 tijekom proizvodnje, prerade i transporta nafte, to otvara mogućnost da intenzitet emisija punog životnog ciklusa CO_2 bude neutralan ili čak ugljično negativan. Ovom metodom (EOR) moguće je produljiti proizvodni vijek polja lake i srednje teške nafte, a moguće je i pridobiti 15% do 25% početnih rezervi nafte u ležištu (ZEP, 2013). Unatoč tome, prema nekim studijima korištenje ugljikovog dioksida u sklopu EOR projekata nema neto učinak i neće značajnije pridonijeti smanjenje emisija jer CO_2 ne mijenja svoju molekularnu strukturu prije utiskivanja i kao takav nije korišten (Ansari, 2020).

Do nedavno, većina CO_2 korištenog za EOR potjecala je iz podzemnih naslaga CO_2 u prirodi. Razlog tome je nedostatak raspoloživog CO_2 u blizini naftnih polja, tako je u Sjedinjenim Državama više od 70% utisnutog ugljikovog dioksida u sklopu EOR projekata došlo iz prirodnih izvora. No, razvijaju se nove tehnologije za korištenje CO_2 iz drugih industrija, poput rafinerija za obradu prirodnog plina, postrojenja za proizvodnju gnojiva, etanola i vodikovih postrojenja na mjestima na kojima nisu dostupna prirodna ležišta ugljikovog dioksida (IEA, 2019).

Procjenjuje se da je trenutno na globalnoj razini aktivno više od 300 EOR projekata koji proizvode nešto više od 2 milijuna barela nafte dnevno (mb/d). Iako je ovo povećanje za 0,7 mb/d u odnosu na posljednju procjenu koja je objavljena u Naftno-plinskom časopisu – OGJ (Oil & Gas Journal), čini se da je udio EOR-a u globalnoj proizvodnji sirove nafte tijekom vremena uglavnom ostao stabilan: oko 2% globalne proizvodnje nafte (IEA, 2019).

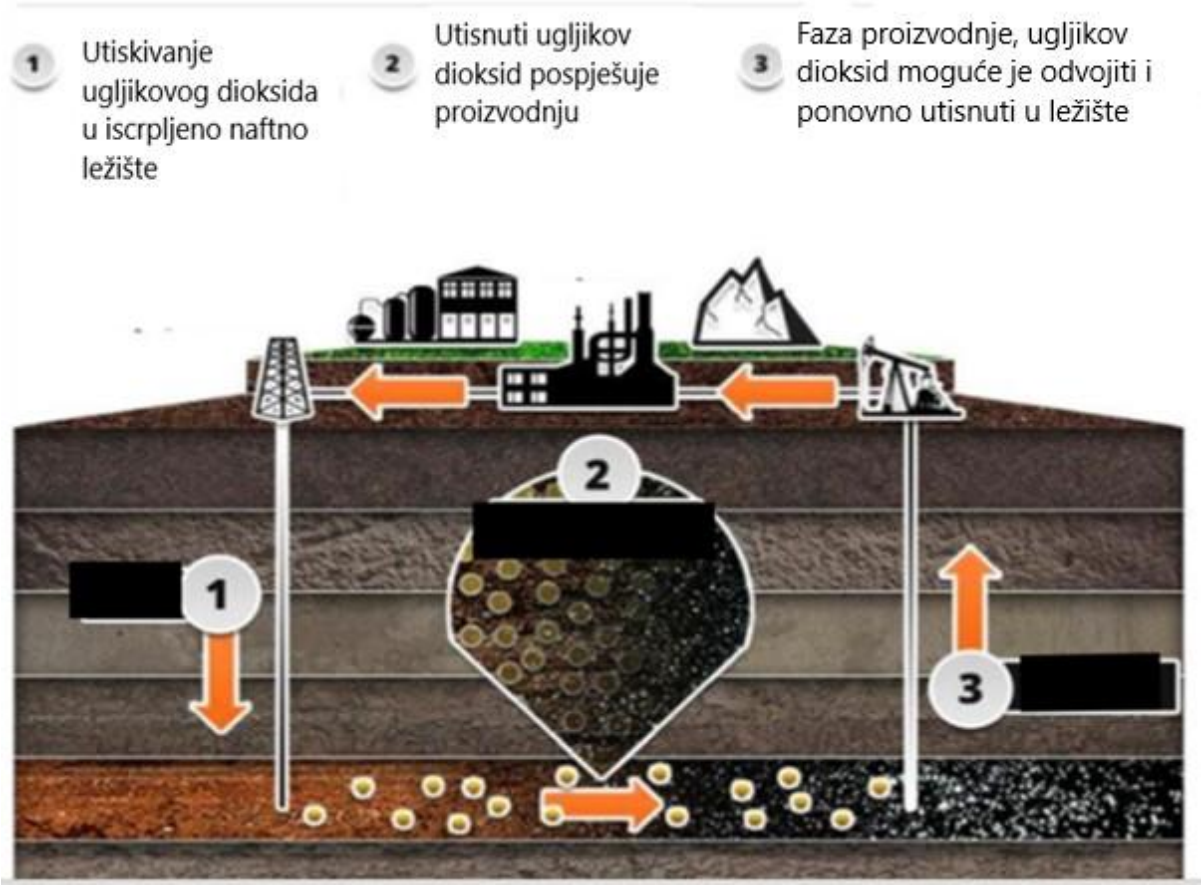
Povijesno se proizvodnja EOR metodom koncentrirala u Sjevernoj Americi, no posljednjih godina druge su zemlje počele primjenjivati EOR tehnologije. Malezija je započela odobalno korištenje ugljikovog dioksida u EOR projektima, dok su Ujedinjeni Arapski Emirati, Kuvajt, Saudijska Arabija, Indija, Kolumbija i Ekvador započeli pilot EOR projekte. Oman je također zabilježio veliki porast EOR projekata. Kao rezultat toga, dok su se 2013. godini tri četvrtine svih EOR projekata (s ukupnom proizvodnjom od 0,8 mb/d) nalazili u Sjevernoj Americi, danas je taj udio pao na 40% (IEA, 2019).

Prvi komercijalni CO_2-EOR projekt u svijetu započeo je 1972. godine u Sjedinjenim Američkim Državama i od tada se počeo primjenjivati na sve više ležišta u naftnoj industriji u Sjedinjenim Američkim Državama. Do tada je veći broj regija i država već imalo dovoljnu količinu bušotina iz kojih proizvode naftu i plin pa su bili skloniji nastojati održati proizvodnju ili usporiti postojeći pad proizvodnje EOR projektima. Predviđa se da će u razdoblju između 2025. godine i 2040. godine ukupna proizvodnja EOR-a rasti s 2,7 mb/d na više od 4,5 mb/d i pretpostavke su da će činiti oko 4% globalne proizvodnje do 2040. godine (IEA, 2019).

Dodatna potencijalna prednost CO_2-EOR-a je ta što nudi jeftiniju mogućnost implementacije CCUS projekata. U CO_2-EOR-u ostvareni prihodi od povećanja proizvodnje nafte smanjuju ukupne troškove projekta i povećavaju količinu trajno skladištenog ugljikovog dioksida. Razvoj niza projekata ove vrste pomogao bi općenito u smanjenju troškova CCUS-a, a također bi pomoglo u bržem širenju i implementaciji komercijalnih CCUS projekata (Energypost, 2019).

5.1. CO_2-EOR projekti koji koriste CO_2 nastao u procesima naftne industrije

Iako se CO_2 može dobiti iz različitih procesa, koji ne moraju biti vezani uz naftnu industriju, jedan od najčešćih izvora ipak je naftna industrija. Plin koji je proizveden zajedno s naftom se izdvaja i nakon izdvajanja ponovno utiskuje u bušotinu. Slika 5-1. pojednostavljeno prikazuje proces utiskivanja ugljikovog dioksida u svrhu povećanja proizvodnje iz iscrpljenih naftnih ležišta.



Slika 5-1. Sve faze EOR projekta koji koristi ugljikov dioksid nastao tijekom proizvodnje nafte (prema CORE ENERGY, 2019)

5.1.1 Sjeverna i Južna Amerika

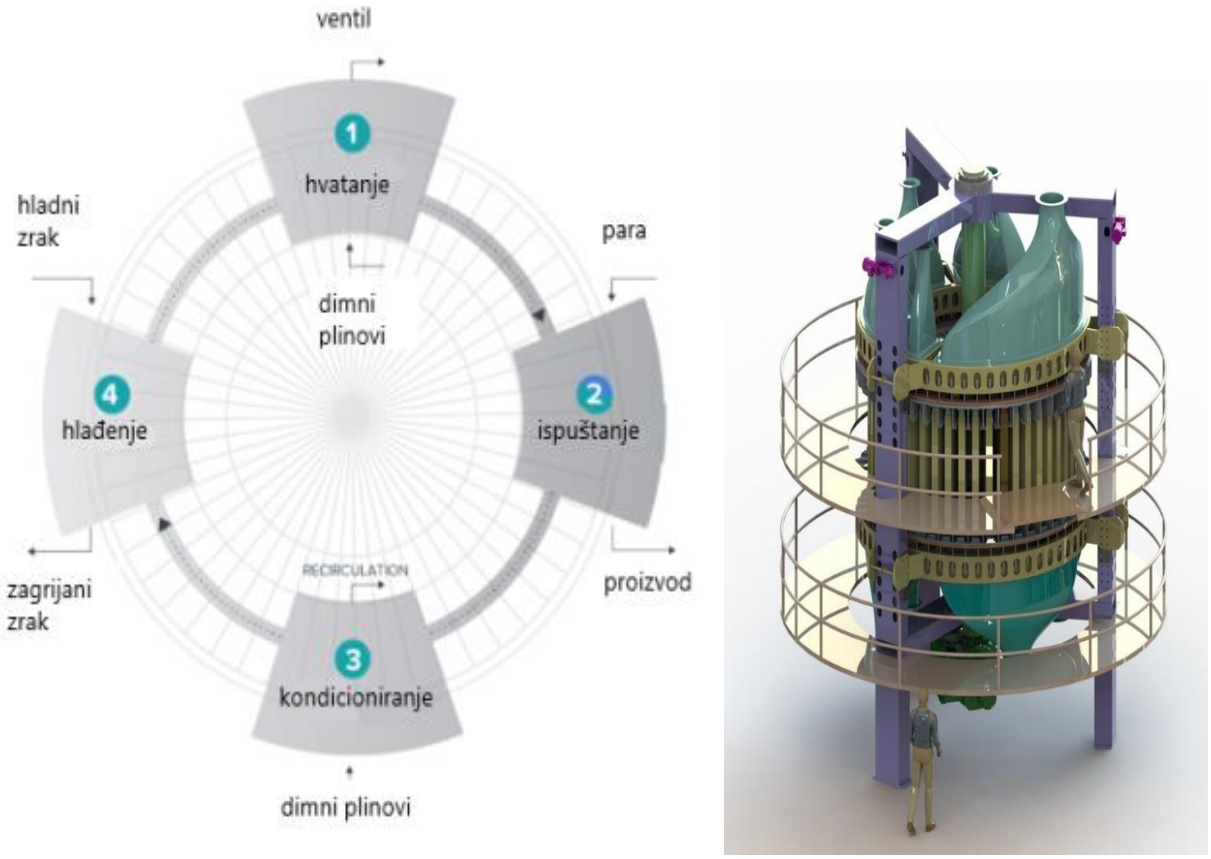
SAD je zemlja s najviše EOR projekata na svijetu, a ujedno je i prvi EOR 70-ih godina 20. stoljeća projekt bio u Sjedinjenim Američkim Državama, u Teksasu. Očekuje se da će broj projekata još rasti jer je u tijeku veliki broj istraživanja novih lokacija i polja na kojima se CO_2-EOR projekti mogu primjenjivati (Global CCS Institute, 2020). Na kraju 2020. godine u Americi su bila 142 aktivna CO_2-EOR projekata, samo neki od njih navedeni su u tablici 5-1.

Tablica 5-1. Neki od CO_2-EOR projekata u Sjevernoj i Južnoj Americi (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Svante and Husky Energy VeloxoTherm Capture Process Test	Pilot projekt	Kanada	2018.
Lula Oil Field	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Brazil	2013.
Century Plant	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Teksas	2010.
Salt Creek EOR	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	SAD	2003
West Hastings Unit	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Teksas	2016
Weyburn-Midale projekt	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Kanada	2000.

Svante and Husky jedan je od EOR pilot projekata u Kanadi, koji ima za cilj pokazati mogućnost hvatanja CO_2 pomoću Inventys' VeloxoTherm ™ procesa. Očekuje se da će ova, prva proizvodna linija, koja ima komercijalne kapacitete, prvenstveno služiti potrebama istraživanja i razvoja u daljnjem usavršavanju procesa adsorpcije (strukturiranog sloja adsorbenta). Tehnologiju je razvila kompanija Svante, a omogućava hvatanje ugljičnog dioksida iz dimnih plinova, koncentrira ga, a zatim omogućava njegovo sigurno skladištenje ili industrijsku uporabu, a cijeli proces traje 60 sekundi. Po prvi put u industrijskim razmjerima, Svanteova tehnologija omogućava hvatanje 10 000 tona CO_2 godišnje, što je jednako godišnjoj emisiji 200 000 automobila. Ova tehnologija hvatanja ugljikovog dioksida, kao što je vidljivo na slici 5-2., sastoji se od patentiranih adsorbera (razmaknutih listova), rotacijskog mehaničkog kontaktora za hvatanje, otpuštanje i regeneraciju adsorbenta u jednoj jedinici. Adsorber koji koristi Svanteova tehnologija pokazuje daleko bolju adsorbciju i desorbciju primjenom visokih temperatura i tlaka, čime se smanjuju troškovi. Aktivni materijal koji se nalazi na adsorberima omogućava hvatanje CO_2 iz dimnih plinovima. Kad se filter napuni, niskotlačna para zagrijava filter i na taj način omogućava oslobađanje CO_2 u koncentriranom obliku, koji se zatim može

koristiti za podzemno skladištenje ili industrijsku uporabu. CO_2 se nikada ne ispušta u atmosferu, što znači da se izbjegava oslobađanje plinova koji uzrokuju klimatske promjene. Još jedna prednost ovog procesa je što omogućava hvatanje ugljikovog dioksida izvan samog postrojenja, te se na taj način smanjuju kapitalni troškovi. Hvatanje CO_2 ovim procesom isplativije je, netoksičnije i učinkovitije od izdvajanja otopinom amina. Izdvojeni ugljikov dioksid koristi se za povećanje proizvodnje ugljikovodika iz iscrpljenih naftnih i plinskih ležišta (Svante, 2017).



Slika 5-2. Inventys' VeloxoTherm ™ procesa koji je osmislila kompanija Svante (prema Svante, BCTecnhnology, 2017)

Polje Lula, koje se nalazi na području Tupi, drugi je veliki CO_2-EOR projekt u Americi. S obzirom na inovativne strategije koje provodi Petrobras, polje Lula služi kao najvrjednija studija rane primjene napredne CO_2-EOR tehnologije za optimizaciju proizvodnje iz velikog naftnog odobalnog polja. Značajni pripremni koraci poduzeti u Luli uključuju: intenzivnu karakterizaciju ležišta, ispitivanje alternativnih mogućnosti pojačanog iskorištavanja nafte i rigorozno praćenje performansi ležišta. Pilot projekt započeo je 2011. godine, a nakon pozitivnih rezultata, 2013. godine, EOR projekt je započeo je s radom. Projekt je dio plutajućeg

pogona za proizvodnju, skladištenje i istovar nafte i plina (FPSO) koji također uključuje postrojenja za odvajanje i utiskivanje ugljikovog dioksida. Ova polja se nalaze u izrazito dubokom moru jugoistočno od Brazila, a proizvedena nafta sadrži velike količine CO_2. Lula je prvo super divovsko polje na ovom području i najznačajniji CCS projekt do sada u Brazilu. Procjenjuje se da se u ležištu nalazi 6,5 milijardi barela nafte koja se može proizvesti EOR procesom. Platforma je usidrena na oko 300 kilometara od Rio de Janeira na dubini od 2 150 metara (DiPietro et al., 2014).

Pogon za preradu prirodnog plina Century Plant u Teksasu, ima najveći kapacitet odvajanja CO_2 na svijetu. Smješteno u okrugu Pescos, Century Plant obrađuje plin s visokim udjelom CO_2 (više od 60 posto) iz različitih polja u zapadnom Teksasu. Odmah nakon izdvajanja CO_2 se komprimira i transportira za upotrebu u sklopu EOR projekata u Permskom bazenu, u Teksasu (Global CCS Institute, 2020).

Creek polje, jedno je od najvećih CO_2 -EOR projekata u Sjevernoj Americi. Projekt osigurava utiskuje ugljikov dioksid 100 godina staro polje, Salt Creek. Trenutku se svakodnevno hvata oko 125 milijuna m^3 ugljikovog dioksida (zeroco2.no). Kompanija Andarko osigurava ugljikov dioksid iz prirodnog plina proizvedenog iz LaBarge polja. Prirodni plin se iz ovog polja proizvodi od 1986. godine, a u svom sastavu ima visoku koncentraciju ugljikovog dioksida. Od samog početka proizvodnje iz polja LaBarge ExxonMobil je koristio nekoliko tehnologija za uspješno izdvajanje ugljikovog dioksida. Od 1980-ih godina cjevovodima se transportira ugljikov dioksid od polja LaBrage do Salt Creek polja (Ducan et al., 2011).

West Hastings Unit, jos jedan od mnogih CO_2-EOR projekata u Americi. Ugljikov dioksid hvata se u Allentownu, te transportira cjevovodom do polja Hastings u jugoistočnom dijelu Teksasa. Očekuje se da će se u sklopu projekta godišnje hvatati i utiskivati 12 milijuna m^3 ugljikovog dioksida (www.enegy.gov, 2016). Naftno polje Weyburn otkriveno je 1954. godine, a 2000. godine započeo je projekt utiskivanja ugljikovog dioksida u sklopu EOR projekta. CO_2 za EOR transportira se, iz Great Plains Synfuels Plant, u SADu. Uhvaćeni CO_2 izdvaja se nakon proizvodnje iz naftnog polja u SAD-u. Sveukupno se očekuje da će oko 40 milijuna tona CO_2 biti trajno skladišteno izdvojeno tokom projekta - 30 milijuna tona na naftnom polju Weyburn i 10 milijuna tona na Midaleu. EOR će produžiti vijek trajanja polja Weyburn za otprilike 20 do 25 godina (Zeroco2, 2017).

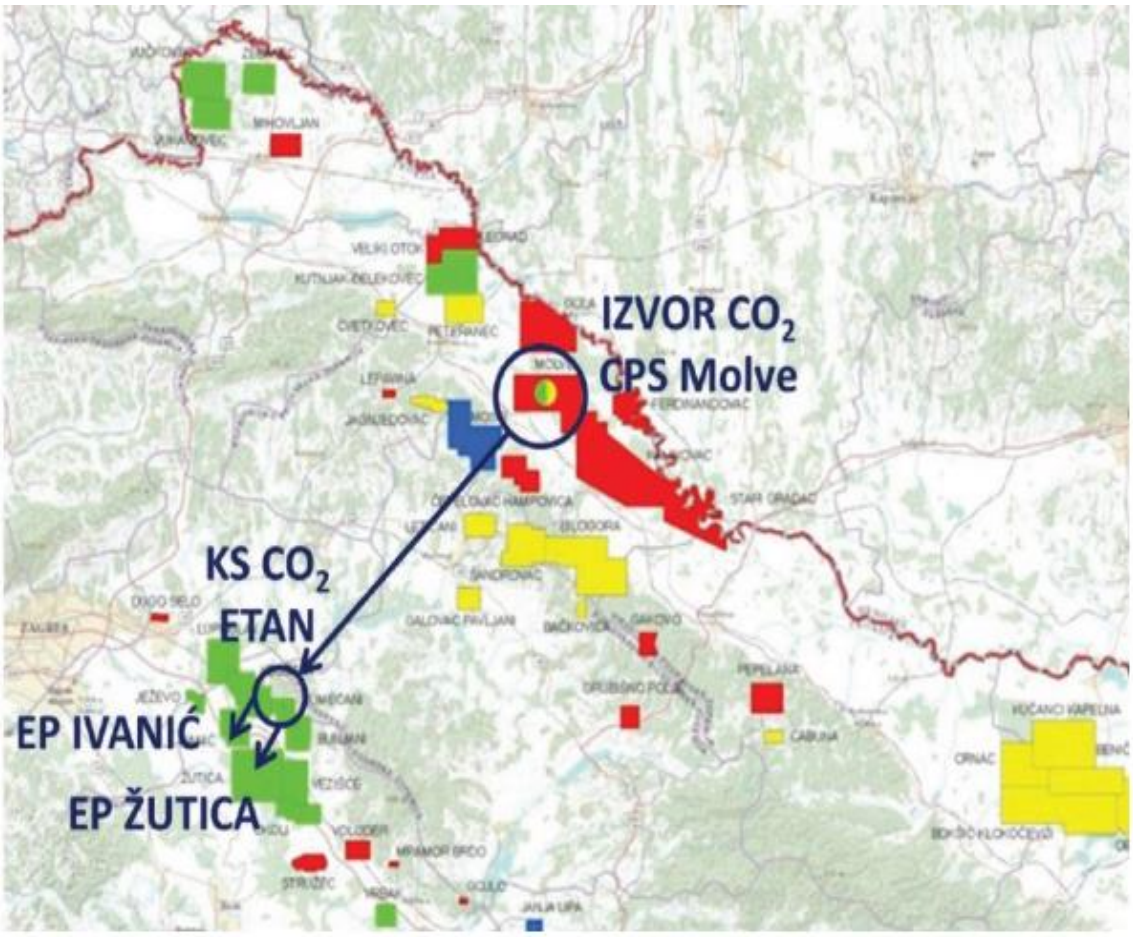
5.1.2. Europa

Iako se neki od najveća CO_2-EOR projekata ne nalaze u Europi, regija i dalje ima veliki broj takvih projekata. Neki od njih navedeni su u tablici 5-2.

Tablica 5-2. Neki od CO_2-EOR projekata u Europi (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
CO_2 EOR Project Hrvatska	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Hrvatska	2015.
Naftni polje Budafa	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Mađarska	1985.
EOR Ponte Dirillo	Pilot projekt	Italija	1984.

Procjena mogućnosti utiskivanja CO_2 u hrvatska naftna polja (polja Žutica i Ivanić) provedena je tijekom posljednjeg desetljeća 20. stoljeća. Opsežna laboratorijska istraživanja utvrdila su termodinamičku interakciju utisnutog CO_2 i ležišnog fluida, a time i potvrdila učinkovitost procesa proizvodnje nafte. Najveća proizvodnja nafte postignuta je naizmjeničnim utiskivanjem vode i plina – WAG *(*engl. *water alternating gas).* U razdoblju od 2001. godine do 2006. godine, na ograničenom dijelu naftnog polja, proveden je pilot-projekt u kojem je testirano naizmjenično utiskivanje vode i CO_2. U okviru pilot-projekta, koji je koristio jednu utisnu bušotinu i dvije proizvodnje bušotine, značajno je povećana proizvodnja nafte i plina, što je opravdalo primjenu projekta EOR na poljima Ivanić i Žutica. Utiskivanje CO_2 u naftno polje Ivanić započelo je u listopadu 2014. godine, a utiskivanje u sjeverni dio naftnog polja Žutica započelo je u listopadu 2015. godine. EOR projekt uključuje dehidraciju, komprimiranje i transport 600 000 m3/dan CO_2 plinovodom promjera 0,508 metara. CO_2 se transportira plinovodom dugim 88 kilometara iz postrojenja za preradu plina Molve u postrojenje za frakcioniranje Ivanić Grad (Slika 5-3). U postojanju za preradu plina Molve, CO_2 se komprimira i dehidrira i šalje u plinovitom stanju do Ivanić Grada, a zatim se plin u postrojenju za frakcioniranje dodatno komprimira i ukapljuje. Nakon kompresije i ukapljivanja u Ivanić Gradu, plin se dalje transportira cjevovodom pod maksimalnim tlakom (200 bara) do utisnih bušotina polja Ivanić i Žutica, u količinama od 600.000 m3/dan. Planirano trajanje projekta je do kraja 2039. godine. Važnost projekta očituje se u povećanju proizvodnje ugljikovodika, analiza rezultata dokazala je povećanje proizvodnje nafte, ukupno se proizvelo dodatnih 6510 m^3 nafte i 574 142 m^3 plina. S druge strane, primjenom EOR projekta emisije CO_2 bit će značajno smanjene, naime predviđa se trajno uskladištenje 2,9 milijardi m^3 CO_2, što predstavlja posebnu ekološku vrijednost projekta (Leonard et al., 2017).



Slika 5-3. Grafički prikaz lokacije sustava za utiskivanje ugljičnog dioksida na poljima Ivanić i Žutica (Leonard et al., 2017)

Naftna polja Budafa i Lovászi su dva najstarija polja, čija je proizvodnja započela još 1927. godine. 1944. godine već su se počele koristiti sekundarne metode povećanja proizvodnje iz oba ležišta. 1985. godine, jedan od prvih CO_2-EOR projekata započeo je na polju Budafa. Projektu je cilj bio povećati proizvodnju, ali i testirati primjenjivost ugljikovog dioksida u svrhu povećanja proizvodnje. Proizvodnja je bila povećana za 11,6%, sto je dokazalo učinkovitost utiskivanja ugljikovog dioksida u svrhu povećanja iscrpka u starim naftnim ležištima (www.energnet.eu, 2019).

Ponte Dirillo jedan je od pilot projekata koji se nalazi u Italiji. Naime, radi se o projektu kojemu je cilj bio povećati proizvodnju nafte iz naftnog ležišta utiskivanjem prirodnog plina obogaćenog ugljikovim dioksidom. Utiskivani plinovi dolazili su iz domaće proizvodnje. Projekt je započeo s radom u ožujku 1984. godine i osigurao je znatno povećanje proizvodnje. Naime, dnevna proizvodnja se povećala sa 120 kubičnih metara u ožujku 1984. godine na 180 kubičnih metara u lipnju 1984. godine, dok je 1985. godine dnevna proizvodnja u prosjeku

iznosila 260 m^3. Pilot projekt završen je svibnju 1985. godine, a stečeno iskustvo poslužilo je za daljnje EOR projekte (cordis-europa.eu, 2019).

5.1.3. Bliski istok

Bliski istok, jedna je od regija koja sve više ulaže u CCUS tehnologiju, jedan od CO_2-EOR projekata na Bliskom istoku prikazan je u tablici 5-3.

Tablica 5-3. Jedan od CO_2-EOR projekata na Bliskom istoku (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Uthmaniyah CO_2-EOR Demonstration	Demonstracijski projekt za CO_2-EOR	Saudijska Arabija	2015.

Uthimaniyah je jedan od većih projekata. Nalazi se u istočnoj provinciji Saudijske Arabije, skladišnog kapaciteta od približno 800 000 metričkih tona CO_2 godišnje koji se hvata iz postrojenja za proizvodnju i preradu prirodnog plina, a uključivat će i transport cjevovodom od približno 70 kilometara do mjesta utiskivanja. Specifični ciljevi praćenja CO_2 uključuju razvoj jasne procjene potencijala CO_2 (i za EOR i za cjelokupno skladištenje) i testiranje novih tehnologija za praćenje utisnutog CO_2. Otprilike 60% do 65% sve saudijske nafte proizvedene između 1948. godine i 2000. godine potječe iz polja Ghawar. Kumulativna proizvodnja do travnja 2010. godine prema šila je 65 milijardi barela. Procjenjuje se da je Ghawar 2009. godine proizvodio oko 5 milijuna barela nafte dnevno (6,25% svjetske proizvodnje), a osim toga iz polja Ghawar se također proizvodi približno 2 milijarde kubičnih stopa prirodnog plina dnevno. Nakon 60 godina proizvodnje, polje je iscrpljeno i Saudi Aramco je započeo CO_2 -EOR projekt. Projekt se sastoji od 4 utisne bušotine, 2 bušotine za praćenje postupka i 4 proizvodne bušotine. Projekt je započeo 2015. godine i iako je postrojenje još uvijek u radu, prvotno se procijenilo se da će projekt trajati svega 5 godina, tijekom kojih će Saudi Aramco steći znanje koje će zatim primijeniti na druge objekte i područja diljem Saudijske Arabije (Carbon Capture Journal, 2013).

5.1.4. Azija i Pacifik

China Energy Investment Corporation testirat će nova napredna otapala i adsorpcijske materijale za hvatanje ugljikovog dioksida. Kina je prethodno podržala pilot projekte u

proizvodnji energije, preradi prirodnog plina, cementa, gnojiva i ugljena u kemijskim sektorima. Na napredak projekata utjecale su pandemija i niske cijene nafte. U rujnu 2020. godine Kina se obvezala da će postati ugljično neutralna do 2060. godine, a trenutno radi na svom četrnaestom petogodišnjem planu (CNPC, 2018). Neki od najvažnijih CO_2-EOR projekata regiji Azije i Pacifika nalaze se u tablici 5-4.

Tablica 5-4. Neki od najvažnijih CO_2-EOR projekata regiji Azije i Pacifika (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
CNPC Jilin Oil Field CO_2 EOR	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Kina	2009.
Rang Dong EOR project	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Vijetnam	2011.
Dulang EOR	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Malezija	2002.

Od 2005. godine Kina je pokrenula opsežno planiranje i implementaciju CCUS-a (CCS-EOR), u sklopu toga Kineska nacionalna naftna kompanija - CNPC *(*engl. *China National Petroleum Corporation)* je 2007. godine započela istraživanje i pilot-ispitivanje CCS-EOR-a na naftnom polju Jilin. CNPC je također osnovao Državni centar za istraživanje i razvoj CCS-EOR tehnologije i demonstracijsku bazu. Projekt CCS-EOR na naftnom polju Jilin može se pohvaliti svojom jedinstvenom prednošću izvora CO_2 udaljenog oko 50 kilometara od plinskog polja Changling, gdje je sadržaj CO_2 u proizvedenom plina 22,5%. Dodatne količine CO_2 izdvojene su iz dimnih plinova nekih drugih kemijskih postrojenja, poput postrojenja za proizvodnju metanola i gnojiva. 2007. godine s radom je započeo pilot projekt na ovom polju, dok je komercijalni projek započeo s radom 2009. godine,a aktivan je i danas. Do travnja 2017. godine CCS-EOR projektom u polje Jilin Oilfield uspješno je uskladišteno 1,1 milijuna tona CO_2 sa stopom skladištenja preko 96%. U prosjeku, učinkovitost proizvodnje nafte veća je za 13% od one koja se postiže metodom zavodnjavanja (CNPC, 2018).

Naftno polje Rang Dong nalazi se 135 km jugoistočno od Vung Taua u Vijetnamu. Naftno polje otkriveno je 1994. godine, a proizvodnja je započela 1998. godine. U veljači 2011. godine Japansko-vijetnamska naftna kompanija - JVPC *(*engl. *Japan Vietnam Petroleum Corporation)*

i suvlasnici polja najavili su da će provesti EOR pilot projekt kojim će se dokazati moguće povećanje iscrpka nafte iz postojećeg polja. Tvrdilo se da je to prvi priobalni EOR projekt u jugoistočnoj Aziji. Rezultati pilot projekta pokazivali su povećanje proizvodnje i smanjenje emisije ugljičnog dioksida, te se od 2014. godine na ovom polju primjenjuje komercijalni CO_2-EOR (DiPietro et al., 2014).

Od studenog 2002. godine, Petronas je pokrenuo četverogodišnji pilot CO_2-EOR projekt na naftnom polju Dulang. Naftno polje nalazi se 130 km od Terengganua, na istočnom dijelu Malezije. Ovo naftno polje jedno je od najvećih malezijskih naftnih polja s procijenjenim rezervama od 1,1 milijardu barela i s mogućim procijenjenim primarnim i sekundarnim iskorištenjem od 328 milijuna barela. Plin proizveden u polju sadrži visoku koncentraciju CO_2, više od 50%. Provedena istraživanja pokazuju da se pri temperaturi ležišta od 102 ° C, utiskivanjem CO_2 ne bi moglo postići miješanje sa sirovom naftom pri trenutnom tlaku u ležištu, pa čak ni ako se tlak poveća na početni tlak u ležištu. Nakon dobivenih rezultata istraživanja odlučeno je da će se utiskivati mješavina vode i ugljikovog dioksida. Procijenjeno je da bi se potencijalno jedna milijarda barela dodatne sirove nafte mogla proizvesti iz malezijskih naftnih polja primjenom EOR projekta. Pilot projekt započeo je s radom 2002. godine i sastojao se od 3 proizvodne bušotine i 3 utisne bušotine. Nakon četiri godine rada, pilot projekt je 2006. godine prestao s radom, a Petronas ga je ocijenio uspješnim (DiPietro et al., 2014).

5.2. CO_2-EOR projekti koji koriste CO_2 nastao procesima koji nisu povezani s naftnom industrijom

Danas se većina CO_2 utisnutog u sklopu CO_2-EOR projekata proizvodi iz prirodnih podzemnih naslaga CO_2, ali razlog tome je nedostatak raspoloživog ugljikovog dioksida u blizini naftnih polja. U Sjedinjenim Državama više od 70% CO_2 koji se danas koristi za CO_2 -EOR dolazi iz prirodnih izvora. Međutim, postoje neki projekti koji koriste CO_2 iz antropogenih izvora, a projekt Petra Nova u Teksasu bio je od najvećih takvih projekata prije nego je prestao s radom 2020. godine (Energypost, 2019).

5.2.1. Amerika

Tablica 5-5. Neka od najvažnijih CO_2-EOR projekata u Americi koji koriste različite izvore CO_2 (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Farnsworth Unit EOR Project	Pilot projekt	SAD	2010.
Petra Nova	Komercijalni projekt za CO_2-EOR	Teksas	2010.

U SAD-u se provodi Farnsworth projekt (tablica 5-5.) izdvajanja i skladištenja ugljikovog dioksida, koristeći antropogeni ugljični dioksid za povećanje proizvodnje nafte (EOR) u okrugu Teksas. Antropogene emisije ugljikovog dioksida su emisije u kojima ugljik ima različit oblik, od kojih se najviše ističe ugljikov dioksid, povezan s ljudskim aktivnostima. Ove aktivnosti uključuju sagorijevanje fosilnih goriva, krčenje šuma, stoku, gnojidbu itd., ali glavni izvor CO_2 u ovom projektu predstavlja postrojenje za proizvodnju gnojiva i etanola. U sklopu EOR projekta u saveznoj državi Teksas trenutno se koriste cjevovodi za transport CO_2, a postojeća cjevovodna mreža nalazi se u blizini nekih od najvećih stacionarnih izvora CO_2. Ovaj pilot projekt, Farnsworth Unit služi kao nacrt za buduće CCS projekte komercijalnih razmjera. Polje ima 13 aktivnih bušotina u kojima se utiskuje CO_2, te tri bušotine koje su namijenjene karakterizaciji i praćenju procesa utiskivanja CO_2. Preliminarne procjene kapaciteta skladišnog prostora polja Farnsworth prelaze 25 milijuna tona. Utisnuti CO_2 je u potpunosti antropogenog podrijetla, hvata se, komprimira i transportira cjevovodima iz tvornice gnojiva u Teksasu i tvornice etanola u Kansasu. Približno 461 000 metričkih tona antropogenog CO_2 trajno je uskladišteno u podzemlju do 2016. godine, a više od 1 000 000 metričkih tona do 2018 godine. Kumulativna količina od $5{,}25 \times 10^6$ tona nafte proizvedena je utiskivanjem $1{,}64 \times 10^6$ tona CO_2, od čega je 92% ugljikovog dioksida uskladišteno tijekom 10-godišnjeg razdoblja, a kraj projekta se predviđa za 2038. godinu (Morgan et al., 2021).

Petra Nova, jedan je od najvećih postrojenja za hvatanje ugljikovog dioksida na svijetu, prestao je s radom 2020. godine zbog niskih cijena nafte, ali postrojenje je spremno za ponovni početak rada s povećanjem cijena nafte. Postrojenje se nalazi u Thompsonsu u Teksasu, jugozapadno od Houstona. Od početnog pokretanja, u prosincu 2016. godine postrojenje je pokazalo

mogućnost izdvajanja 92,4 % CO_2 iz prerađenih dimnih plinova. U sklopu projekta izgrađen je i cjevovod za transport uhvaćenog ugljikovog dioksida do naftnog polja West Ranch, u sklopu CO_2-EOR projekta. U prvih deset mjeseci od početka rada Petra Nova je isporučila više od 1 000 000 tona uhvaćenog ugljičnog dioksida. Cilj projekta bilo je hvatanje 33% godišnjih emisija iz jedne od četiri obližnje elektrane na ugljen, u razdoblju od minimalno 20 godina (NRG, 2020). Ovakav projekt je osobito važan, jer dokazuje da bi se moglo ekonomično dekarbonizirati postojeće termoelektrane na ugljen. One su i danas u brojnim zemljama najjeftiniji i najpouzdaniji izvor električne energije.

Slika 5-4. Petra Nova postrojenje za hvatanje ugljikovog dioksida u Teksasu (nrg.com, 2020)

5.2.4. Azija i Pacifik

Tablica 5-6. Jedan od najvažnijih CO_2-EOR projekata u regiji Azija i Pacifik koji koriste različite izvore CO_2 (prema Global CCS Institute, 2021)

NAZIV OBJEKTA	KATEGORIJA	DRŽAVA	GODINA POČETKA RADA
Changqing Oil Field	Pilot projekt	Kina	2017.

Cilj pilot projekta na polju Changqing, drugom najvećem naftnom polju u Kini, je procijeniti potencijal za početak EOR-CO_2 projekta i mogućnost skladištenja u naftnim poljima Changqing na temelju podataka iz 261 naftnog ležišta. EOR projekt na polju Changqing (Tablica 5-5.) treći je po veličini i možda najbrže rastući kineski EOR projekt. CO_2 se dobiva iz industrijskih procesa u obližnjem industrijskom području NingDong u Autonomnoj regiji East Ningxia koja je poznata po velikom broju industrijskih pogona i koncentriranim industrijskim emisijama CO_2 (Bruce et al., 2020).

6. ZAKLJUČAK

CCUS možda nije nova tehnologija, ali je posljednjih godina predmet globalnog interesa i pozornosti. Nakon godina pada investicijskog razvoja, u 2017. godine najavljeni su planovi za više od 30 novih CCUS projekata. Velika većina je u Sjedinjenim Američkim Državama i Europi, ali projekti su planirani i u Australiji, Kini, Bliskom istoku i Novom Zelandu. Malezija je započela odobalno iskorištavati CO_2 u EOR projektima, dok su Ujedinjeni Arapski Emirati, Kuvajt, Saudijska Arabija, Indija, Kolumbija i Ekvador započeli pilot EOR projekte. U većini slučajeva planirani CCUS projekti podrazumijevaju i korištenje ugljikovog dioksida. Uhvaćeni CO_2 može se koristiti na različite načine, uključujući EOR i EGR projekte ili kao sirovina u proizvodnji goriva, kemikalija ili građevinskog materijala. CCUS tehnologija važna je ne samo u naftnoj, nego i u drugim industrijama. Osim što se koristi za smanjenje CO_2 emisija iz različitih industrija, CCUS tehnologija također pomaže u osiguravanju energetske sigurnosti i raznolikost, na način da potiče ulaganje u postojeću, ali i novu infrastrukturu. Bez ovakvih projekata smanjenje emisija skoro je nemoguće. CCUS je ujedno i jedino rješenje za emisije CO_2 koje nastaju preradom prirodnog plina, što je važno s obzirom na planiranu kontinuiranu upotrebu prirodnog plina u energetskom sustavu tijekom sljedećih desetljeća. Naftna industrija već godinama koristi jedan od oblika CCUS tehnologije kojima trajno skladišti proizveden ugljikov dioksid, ali i nastoji osmisliti nove i jednostavnije načine njegovog hvatanja i trajnog zbrinjavanja. U prilog CCUS projektima, svakako ide i činjenica da su globalni skladišni kapaciteti znatno veći od vjerojatnih svjetskih kapaciteta izdvajanja ugljikovog dioksida u narednih nekoliko desetljeća. Ono što koči brži razvoj su ekonomski odnosi i nedostatak globalnog sustava određivanja cijene na ovaj način izbjegnutih emisija. Time još nema stabilnog okvira za onu razinu investicija koja bi bila potrebna za ostvarenje globalnih ciljeva smanjenja emisija ugljikovog dioksida.

7. LITERATURA

1. AJAYI, T., GOMES, S.J., BERA, A., 2019. A review of CO2 storage in geological formations emphasizing modeling, monitoring and capacity estimation approaches. SpingerLink.
2. ALNES, H., EIKENB O., Furre, A.K., KIAERA, A.F., VEVATNEA, J.N., EIKEN, O., 2016. 20 years of monitoring CO2-injection at Sleipner. ScienceDirect.
3. ANSARI, M.B., GULZAR, A., GAI, S., HE, F., YANGA, P. Carbon dioxide utilization: A paradigm shift with CO2 economy. 2020. Science Direct.
4. BISSELLBA, R., HANSENA, O., MATHIESONB, S.A., MIDGLEYBi, J., RINGROSEA, S.P., SAOULAA, O., SELAMAC, F., WRIGHT, W.I., 2013. The In Salah CO2 Storage Project: Lessons Learned and Knowledge Transfer.
5. BRUCE HILL, L., WEI, N. 2020. CO2-EOR in China: A comparative review. International Journal of Greenhouse Gas Control
6. D'HOORE, D., GRAVEN, H., HOFSTEE, C., MULDERS, F., VAN DER MEER, B., VANDEWEIJER, V. 2011. Monitoring the CO2 injection site: K12-B. TNO
7. DIPIETRO, P., KUUSKRAA V., MALONE, T. 2014. CO_2-EOR Offshore Resource Assessment. National Energy Technology Laboratory .
8. DUCAN, W.T., FOGLESONG, R., NORTHROP, S., PARKER, M.E., VALENCIA, J.A. 2011. CO2 Management at ExxonMobil's LaBarge Field, Wyoming, USA. Science Direct.
9. HOFSTEE, B., GRAVEN, H., PELT, W., VANDEWEIJER, V., CO2 injection at K12-B, the final story. GHGT-15
10. LEONARD, N., MIKULIC, S., NOVOSEL, D., MUDRIC, D., 2017. Početni rezultati primjene utiskivanja ugljičnog dioksida za povećanje iscrpka nafte na proizvodnom polju Ivanić i Žutica. Nafta i plin
11. MORGAN, A., GRIGG, R., AMPOMAH, W., 2021. Life Cycle Assessment for the CO2-EOR Operations at Farnsworth Unit. MDPI.
12. YAMAGATA, H., 2006. Carbon Capture and Storage Activities in JAPA
13. ZEP, 2013. CO2 Capture and Use (CCU).

web izvori:

14. AA, 2017. Qatar to store more than 5M tons of CO2 a year by 2025.
    URL: https://www.AA.tr/en/energy/projects/qatar-to-store-more-than-5m-tons-of-co2-a-year-by-2025/26924 (20.09.2021.)

15. ACOR, 2019. About ACT Acorn.
URL: https://www.actacorn.eu/about-act-acorn (30.08.2021.)
16. CARBON CAPTURE & SEQUESTRATION TECHNOLOGIES, 2016. In Salah Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project.
URL: https://Sequestration/tools/projects/in_salah.html (23.09.2021.)
17. CARBON CAPTURE & SEQUESTRATION TECHNOLOGIES, 2016. Sleipner Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project.
URL: https://Sequestration/tools/projects/sleipner.html (23.09.2021.)
18. CARBON CAPTURE JOURNAL, 2013. The Carbon Sequestration Leadership Forum has added five new carbon capture and storage (CCS) projects to its existing research and development portfolio.
URL: Carbon Capture Journal (15.10.2021.)
19. CARBON CAPTURE & SEQUESTRATION TECHNOLOGIES, 2016. ESI CCS Project Fact Sheet*: Carbon Dioxide Capture and Storage Project.
URL: https://Sequestration/tools/projects/esi_ccs.html (23.09.2021.)
20. CHEVRON, 2021. gorgon project.
URL: https://Australija.chevron.com/our-businesses/gorgon-project (20.09.2021.)
21. CLYDE&CO, 2016. Qatar's North Field East UPP liquefaction project, carbon capture, and the future of UPP.
URL: https://www.Clydeco/en/insights/2021/03/qatar-s-north-field-east-UPP-liquefaction-project (15.10.2021.)
22. CNPC, 2017. Industrial CCS-EOR in CNPC's Jilin Oileld.
URL: http://www.cnpc.com.cn/en/xhtml/pdf/2018CCSEORinJilin.pdf (15.10.2021.)
23. CO_2 VALUE EUROPE, 2016. ABOUT CCU.
URL: https://www.co2value.eu/ccu/ (15.10.2021.)
24. CO2CRC, 2017.THE OTWAY NATIONAL RESEARCH FACILITY BECOMES THE OTWAY INTERNATIONAL TEST CENTRE,
URL: https://CO2CRC/the-otway-national-research-facility-becomes-the-otway-international-test-centre/ (15.10.2021.)
25. CO2GEONET, 2009. Što zapravo znači geološko skladištenje CO2?.
URL: Što zapravo znači geološko skladištenje CO2? - CROSBI (irb.hr)
26. CO2KETZIN.DE, 2020. Pilotstandort Ketzin.
URL: Pilot-lokacija Ketzin: Pregled (co2ketzin.de) (03.02.2022.)

27. CO3CRC,2019 CO2CRC SUCCESSFULLY COMMENCES CO2INJECTION AT THE OTWAY INTERNATIONAL TEST CENTRE.
URL: https://CO2CRC/co2crc-successfully-commences-co2-injection-at-the-otway-international-test-centre/ (23.10.2021.)
28. CORDIS-EUROPA.EU, 2019. Pilot field for enchancement of heavy oil revocery Pointe Dirillo field-Italy.
URL: https://cordis.europa.eu/project/id/TH.-05014-79 (03.02.2022.)
29. CPRE ENERGY, 2020. CO2 Enhanced Oil Recovery.
URL: CO2 Enhanced Oil Recovery | Core Energy, LLC (coreenergyllc.com) (20.09.2021.)
30. CSLFORUM.ORG, 2004. Ketzin Pilot Injection and Storage Site (Project Completed).
URL: Ketzin Pilot Injection and Storage Site (Project Completed) | CSLForum (03.02.2022.)
31. ENERGIEKONTOR, 2019. Goals and Strategy.
URL: https://www.energiekontor.de/en/company/strategy.html (23.10.2021.)
32. ENERGY.GOV, 2016. Texas CO2 Capture Demonstration Project Hits Three Million Metric Ton Milestone.
URL: https://www.energy.gov/fecm/articles/texas-co2-capture-demonstration-project-hits-three-million-metric-ton-milestone#:~:text=The%20CO2%20captured%20from%20the%20Port%20Arthur%20facility,million%20additional%20barrels%20of%20oil%20using%20CO2%20injection. (15.10.2021.)
33. ENERGY.GROV, 2018. The Role of Carbon Capture, Utilization, and Storage in Forming a Low-Carbon Economy.
URL: https://www.energy.gov/articles/role-carbon-capture-utilization-and-storage-forming-low-carbon-economy (20.09.2021.)
34. ENERGYPOST.EU, 2019. Carbon Capture: Can CO2-EOR really provide carbon-negative oil?.
URL: Carbon Capture: Can CO2-EOR really provide carbon-negative oil? - Energy Post (23.10.2021.)
35. ENERHNET.EU, 2019. ENeRG, the European Network for Research in Geo-Energy.
URL: Issue10_10.indd (energnet.eu) (23.10.2021.)
36. ENOS.EU, 2002. STORAGE SITES IN THE PLANNING AND CHARACTERISATION PHASE.

URL: LBr-1 | ENOS (enos-project.eu) (23.10.2021.)

37. EORIWEYOMING.OR, 2021.U.S. CO2 Enhanced Oil Recovery Survey 2021 Update.
URL: https://www.eoriwyoming.org/projects/recent-projects/236-us-co2-eor-survey-update-2021 (20.09.2021.)

38. EQUINOR, 2019. What we do.
URL: https://www.equinor.com/en/what-we-do.html (20.10.2021.)

39. GLOBAL CCS INSTITUTE , 2020.Facilities Database.
URL: https://co2re.co/FacilityData#tabeight (12.08.2021.)

40. GLOBAL CCS INSTITUTE, 2020. Understanding CCS.
URL: https://www.globalccsinstitute.com/about/what-is-ccs/ (30.08.2021.)

41. GLOBAL STATUS OF CCS REPORT, 2020.
URL: Global Status of CCS Report: 2020 - Global CCS Institute (30.08.2021.)

42. ICCT, 2020. Carbon capture and storage: A lot of eggs in a potentially leaky basket.
URL: https://theICCT.org/blog/staff/carbon-capture-storage-and-leakage (05.08.2021.)

43. IEA, 2019. A new era for CCUS.
URL: https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/a-new-era-for-ccus#growing-ccus-momentum (05.08.2021.)

44. IEA, 2020. About CCUS.
URL 2020. : https://www.iea.org/reports/about-ccus (15.08.2021.)

45. IEA, 2020. Whatever happened to enhanced oil recovery.
URL: https://www.iea.org/commentaries/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery (15.10.2021.)

46. NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY, 2014. FARNSWORTH UNIT PROJECT.
URL: Farnsworth-Unit-Project.pdf (doe.gov) (15.08.2021.)

47. NRG, 2020.Carbon capture and the future of coal power.
URL: https://www.nrg.com/case-studies/petra-nova.html (15.08.2021.)

48. NSENERGY, 2018. Scotford Refinery and Petrochemical Complex.
URL: Scotford Refinery and Petrochemical Complex - NS Energy (nsenergybusiness.com) (05.08.2021.)

49. OIL&GAS JOURNAL, 2019. Santos targets September FID for Moomba CCS project.
URL: https://www.OGJ/general-interest/article/14197943/santos-targets-september-fid-for-moomba-ccs-project (20.09.2021.)

50. SENSE, 2020. In Salah, Algeria.

URL: https://sense-act.eu/case_study/hontomin-spain-in-salah-algeria/ (20.09.2021.)

51. SVANTE, 2017. Our Innovative Carbon Capture Technology.
URL: https://svanteinc.com/carbon-capture-technology/ (15.10.2021.)

52. THE ACTL SYSTEM, 2020. ALBERTA CARBON TRUNK LINE.
URL: https://actl.ca/actl-project/about-actl/ (02.09.2021.)

53. THE CHEMICAL ENGINER, 2020. Two new large-scale CCUS facilities now in operation.
URL: https://www.thechemicalengineer.com/news/two-new-large-scale-ccus-facilities-now-in-operation/ (02.09.2021.)

54. THE SCIENCE-BASED CASE FOR CCUS – THIRD WAY, 2022.
URL: https://www.thirdway.org/memo/the-science-based-case-for-ccus#:~:text=Transitions%E2%80%9D%20(2020)-,Highlights,cement%20without%20relying%20on%20CCUS.&text=Captured%20CO2%20could%20be%20used,as%20carbon%20neutral%20aviation%20fuels.
(20.09.2021.)

55. THIRD WAY, 2020. The Science-Based Case for CCUS.
URL: https://www.thirdway.org/memo/the-science-based-case-for-ccus (02.09.2021.)

56. T-NET, 2019. Inventys Receives Additional $2.6M from NRCan's Energy Innovation Program to Accelerate Deployment of Next-Gen Carbon Capture.
URL: Inventys Receives Additional $2.6M from NRCan's Energy Innovation Program to Accelerate Deployment of Next-Gen Carbon Capture | T-Net News (bctechnology.com) (15.10.2021.)

57. TNO, 2007. K12-B, CO2 storage and enhanced gas recovery.
URL: K12-B, CO2 storage and enhanced gas recovery (tno.nl) (20.09.2021.)

58. UNIVERSITY OF GUELPH, 2019. Carbon Capture, Utilization, and Storage.
URL: https://www.uoguelph.ca/carboncapture/about-ccus/carbon-capture-utilization-and-storage (02.09.2021.)

59. UPSTREAM, 2019. September target: Santos set to sanction Moomba CCS project.
URL: https://www.upstreamonline.com/energy-transition/september-target-santos-set-to-sanction-moomba-ccs-project/2-1-995851 (15.10.2021.)

60. ZEROCO$_2$.NO, 2017. In Salah.
URL: http://www.zeroco2.no/projects/in-salah (20.09.2021.)

61. ZEROCO$_2$.NO, 2017. Snøhvit.
URL: http://www.zeroco2.no/projects/snoehvit (20.09.2021.)

62. ZEROCO$_2$.NO, 2017.
URL: Weyburn-Midale CO2 Project — zeroco2

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad pod nazivom „Pregled CCUS projekata u naftnoj industriji" izradila samostalno na temelju znanja i vještina stečenih a Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Anesa Ćatić

Anesa Ćatić

KLASA: 602-04/21-01/256
URBROJ: 251-70-12-21-2
U Zagrebu, 04.02.2022.

Anesa Ćatić, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/256, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 25.10.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

PREGLED CCUS PROJEKATA U NAFTNOJ INDUSTRIJI

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof.dr.sc. Daria Karasalihović Sedlar nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Prof.dr.sc. Daria Karasalihović Sedlar

(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)