

UNIVERZA V LJUBLJANI  
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

DEJAN BATISTA



UNIVERZA V LJUBLJANI  
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**PRIHODNOST ZAJEMA IN SHRANJEVANJA OGLJIKOVEGA  
DIOKSIDA V GEOLOŠKIH FORMACIJAH ZA IZBRANE DRŽAVE  
EU**

Ljubljana, oktober 2017

DEJAN BATISTA

## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Dejan Batista, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, izjavljam, da sem avtor predloženega dela z naslovom Prihodnost zajema in shranjevanja ogljikovega dioksida v geoloških formacijah za izbrane države EU, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem izr. prof. dr. Matejem Švigljem

### IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne \_\_\_\_\_

Podpis študenta: \_\_\_\_\_

# KAZALO

<b>UVOD</b> .....	1
<b>1 MEDNARODNI DOGOVORI O PODNEBNIH SPREMEMBAH IN EVROPSKI SISTEM TRGOVANJA Z EMISIJAMI</b> .....	4
1.1 Kjotski protokol .....	4
1.1.1 Cilji Kjotskega sporazuma .....	5
1.2 Pariški sporazum .....	8
1.3 Trgovanje z emisijami v EU in Sloveniji .....	8
1.3.1 Trgovalna obdobja .....	10
1.3.2 Zmanjševanje emisij toplogrednih plinov v Sloveniji .....	11
<b>2 ZAJEM IN SHRANJEVANJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA</b> .....	15
2.1 Pojem zajema in skladiščenja CO <sub>2</sub> .....	15
2.2 Izvori CO <sub>2</sub> .....	15
2.3 Doprinos zajema in shranjevanja k ublažitvi podnebnih sprememb .....	18
2.4 Zajem CO <sub>2</sub> .....	19
2.5 Transport .....	22
2.6 Skladiščenje .....	23
2.6.1 Izčrpana naftna in plinska polja .....	24
2.6.2 Slani vodonosniki .....	25
2.6.3 Nekomercialne plasti premoga .....	26
2.6.4 Primerne skladiščne lokacije po Evropi .....	27
2.7 Opazovanje skladiščnih lokacij .....	28
2.8 Status javnosti glede CCS .....	29
<b>3 OCENA STROŠKOV PROCESA ZAJEMA IN SKLADIŠČENJA CO<sub>2</sub></b> .....	30
3.1 Stroški zajema .....	30
3.2 Stroški transporta .....	31
3.2.1 Transportni stroški do skladiščnih lokacij v Sloveniji in sosednjih državah .....	32
3.3 Stroški skladiščenja .....	34
<b>4 ZAJEM IN SKLADIŠČENJE V IZBRANIH DRŽAVAH ČLANICAH</b> .....	35
4.1 Zakonodajni okviri in direktive v EU .....	35
4.2 Pregled ciljev držav .....	37
4.2.1 Stanje prenosa direktive o geološkem shranjevanju ogljikovega dioksida po državah EU .....	37

4.3	Stopnja raziskav na področju CCS po izbranih državah EU .....	39
4.3.1	Avstrija .....	39
4.3.2	Italija.....	40
4.3.3	Norveška.....	43
4.3.4	Slovenija.....	46
4.3.5	CCS projekti po svetu .....	47
<b>5</b>	<b>SWOT ANALIZA UPORABE PROCESA ZAJEMA IN SKLADIŠČENJA CO<sub>2</sub> ZA SLOVENIJO.....</b>	<b>49</b>
	<b>SKLEP.....</b>	<b>53</b>
	<b>LITERATURA IN VIRI.....</b>	<b>55</b>

## KAZALO TABEL

Tabela 1:	Cilji zmanjšanja TPG v okviru kjotskega protokola .....	5
Tabela 2:	Pregled ukrepov za doseganje ciljev iz Kjotskega sporazuma.....	6
Tabela 3:	Indikativni sektorski cilji zmanjšanja emisij TGP v sektorjih, ki niso vključeni v shemo trgovanja z emisijskimi kuponi do leta 2020 in 2030, glede na leto 2005, ki si jih Slovenija zastavlja s tem programom.....	13
Tabela 4:	Indeksi, trendi in emisije CO <sub>2</sub> pri zgorevanju fosilnih goriv v Sloveniji .....	17
Tabela 5:	Seznam operativnih objektov v letu 2016 .....	48
Tabela 6:	SWOT analiza uporabe procesa zajema in skladiščenja CO <sub>2</sub> za Slovenijo.....	50

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Trendi emisij toplogrednih plinov za Evropsko unijo z napovedjo do leta 2020 ....	7
Slika 2:	Emisije ogljikovega dioksida v Sloveniji po letih in sektorjih .....	14
Slika 3:	Gibanje emisij neETS v obdobju 2005–2014 v primerjavi z gibanjem emisij po ciljni trajektoriji v obdobju 2013–2020 preračunano na emisije iz leta 2005.....	14
Slika 4:	Skupne emisije CO <sub>2</sub> v 29 evropskih državah v letu 2012.....	16
Slika 5:	Emisije CO <sub>2</sub> na prebivalca v 27 evropskih državah v letu 2012.....	17
Slika 6:	Emisije CO <sub>2</sub> : skupne in po sektorjih. ....	18
Slika 7:	Shema po-zgorevalne metode .....	20
Slika 8:	Shema zajemanja CO <sub>2</sub> pred sežiganjem premoga.....	21
Slika 9:	Shema zajemanja CO <sub>2</sub> po oxyfuel metodi .....	22
Slika 10:	Možni načini geološkega skladiščenja CO <sub>2</sub> .....	23

Slika 11: Shematski prikaz vtiskovanja CO <sub>2</sub> v naftno plast ob sočasnem povečanju količine izkoriščene nafte .....	24
Slika 12: Primer vtiskovanja CO <sub>2</sub> v slan vodonosnik (plinsko polje Sleipner) .....	26
Slika 13: Shematski prikaz vtiskovanja CO <sub>2</sub> v premogovo plast ob sočasnem pridobivanju metana .....	27
Slika 14: Geološka karta Evrope s prikazom glavnih sedimentnih bazenov (rdeče elipse), znotraj katerih je možno najti primerne plasti za skladiščenje CO <sub>2</sub> .....	28
Slika 15: Metode, ki so na voljo za spremljanje različnih komponent skladiščne lokacije. 29	
Slika 16: Prenosno omrežje plinovoda in viri emisij, ki so primerni za nadgradnjo s CCS tehnologijo .....	33
Slika 17: Status držav članic EU, glede shranjevanja CO <sub>2</sub> .....	38
Slika 18: Elektrarna Zero emission Porto Tolle .....	42
Slika 19: Vtiskavanje CO <sub>2</sub> v slan vodonosnik na plinskem polju Sleipner .....	44
Slika 20: Obrat utekočinjanja zemeljskega plina v Melkøya z ilustracijo instalacije pod morskim dnom v polju Snøhvit .....	45





## UVOD

Znano je, da človeške dejavnosti vplivajo na naravno kroženje ogljika na Zemlji. Posledica tega lepo uravnoteženega procesa, ki vključuje naravno izmenjavo ogljika med geosfero in biosfero, oceani in atmosfero, je bila v obdobju pred 10.000 leti pa vse do industrijske revolucije nizka vsebnost ogljikovega dioksida (v nadaljevanju CO<sub>2</sub>) v atmosferi. Naša povečana raba fosilnih goriv (premoga, nafte, plina) za proizvodnjo elektrike, ogrevanje, potrebe industrije in transporta v zadnjih 250 letih nenehno povečuje izpuste CO<sub>2</sub> v ozračje. Približno polovico teh izpustov vsrkajo rastline ali raztopijo oceani, kar povzroča povečanje kislosti in s tem povezane negativne vplive na morsko živalstvo in rastlinstvo. Preostali delež CO<sub>2</sub> gre v ozračje, kjer prispeva k podnebnim spremembam. CO<sub>2</sub> je toplogredni plin, zato zadrži del sončne toplote in posledično povzroči segrevanje zemeljskega površja. Če želimo preprečiti povečevanje koncentracije CO<sub>2</sub> v ozračju z današnjih 387 ppm (angl. *parts per million*), – kar je že 38-% povečanje glede na raven v predindustrijski dobi – na kritičnih 450 ppm v naslednjih desetih letih, so potrebni takojšnji radikalni ukrepi. Strokovnjaki po vsem svetu se strinjajo, da se nad to mejo ne bo več dalo preprečiti najbolj drastičnih posledic (European Network of Excellence on the Geological Storage of CO<sub>2</sub>, 2011, str. 1, v nadaljevanju CO<sub>2</sub>GeoNet).

Fosilni viri, ki se nahajajo v naravi, so nafta, zemeljski plin in premog. Z izgorevanjem teh fosilnih goriv nastaja poleg energije tudi neželeni CO<sub>2</sub>, ki vpliva na globalno podnebje. CO<sub>2</sub> je sicer možno zajeti in uskladiščiti v zemeljsko skorjo in tako znatno zmanjšati izpuste toplogrednih plinov ter posledično ublažiti podnebne spremembe. Prav to pa je ključni element pri prehodu k trajnostni energetski oskrbi (CO<sub>2</sub>GeoNet, 2008, str. 1).

Naravni učinek tople grede, ki vodi do sprememb v podnebjju, spodbuja povečanje koncentracije CO<sub>2</sub> in ostalih toplogrednih plinov v atmosferi. Zaradi negotovosti narave, obsega in časa teh sprememb lahko pričakujemo, da bo ena glavnih sprememb dvig povprečne temperature po svetu (Davidson, Freund, & Smith, 2001, str. 1).

Čedalje bolj očitno postaja, da v kratkoročnem obdobju z obnovljivimi viri ne bo mogoče pokriti potreb po energiji, zato se zagovorniki nevarnih vplivov CO<sub>2</sub> nagibajo k možnosti uporabe fosilnih goriv (premoga) za proizvodnjo električne energije, a le vključno z zajemanjem in skladiščenjem CO<sub>2</sub>. Omenjeno tehnologijo označujemo s kratico CCS (angl. *Carbon Capture and Storage* ali *Carbon Capture and Sequestration*, v nadaljevanju CCS) (Mihalič, 2011, str. 252).

Raziskovalci in tehnologi se že dolgo pospešeno ukvarjajo z možnostjo, da bi tudi s skladiščenjem CO<sub>2</sub> v geoloških plasteh globoko pod površjem zemlje zmanjšali emisije toplogrednih plinov v ozračje. Številni projekti potekajo zlasti v okviru šestega raziskovalnega programa Evropske unije (v nadaljevanju EU). Njihov cilj je razviti ustrezne

tehnologije, ki bi omogočile varno, učinkovito in gospodarno geološko skladiščenje CO<sub>2</sub>. Pri tem sta v ospredju dva glavna vidika, in sicer tehnologija zajetja in ločevanja CO<sub>2</sub> iz dimnih plinov velikih energetskega objektov ali neposredno iz zemeljskega plina (tj. pri pridobivanju vodika, kot energenta prihodnosti) ter učinkovito, trajno in varno skladiščenje CO<sub>2</sub> v geoloških plasteh, v katerih je lahko pred tem bila voda, lahko pa gre tudi za delno izčrpana naftna in plinska polja ali za plasti premoga, ki lahko vsrkajo večje količine plina. Zamisel je v osnovi precej preprosta; vrniti ogljik iz fosilnih goriv, pridobljenih iz Zemljine skorje, katerih zgorevanje je glavni vir CO<sub>2</sub>, v geološke plasti, namesto da ga spuščamo nazaj v ozračje., (Gosar, 2005, str. 201).

CCS je kombinacija procesov in tehnologij; nekatere tehnologije so tehnično in ekonomsko že upravičene, nekatere pa še niso bile preizkušene v velikem obsegu. Integriran sistem CCS ima tri ločene komponente, in sicer zajem, transport in shranjevanje (ICO2N group, 2007, str. 3).

V zadnjem času se soočamo s posledicami podnebnih sprememb, ki so nepopravljive, zato bo treba hitro ukrepati. Tudi EU je to prepoznala kot svetovni problem in se odzvala z oblikovanjem jasnega odgovora v obliki celovite politike na področju energije in podnebnih sprememb. Do leta 2020 naj bi zmanjšala emisije toplogrednih plinov za najmanj 20 % in prevzela vodilno vlogo pri mednarodnih pogajanjih za sprejetje še bolj ambicioznih ciljev (Hriberšek, 2009). EU je ena od svetovnih voditeljev razvoja tehnologij zajemanja in shranjevanja ogljika. Omenjeni procesi, tj. zajemanje, transport in shranjevanje, niso novi. Zajemanje in shranjevanje CO<sub>2</sub> se na plinskem polju Sleipner na Norveškem izvaja že od leta 1996. V ZDA in Kanadi pa imajo na tisoče kilometrov cevovodov CO<sub>2</sub>. Glavni izziv je povezati vse tri procese v enotno verigo komercialnega obsega v elektrarnah ali industrijskih obratih. Tega se v komercialnem obsegu lotevajo demonstracijski programi, sofinancirani s strani EU (European Commission, 2012b, str. 2).

CCS tehnologije postopoma postajajo realnost, kar je možno sklepati tudi po dopolnjevanju in spreminjanju zakonodaje na tem področju. Leta 2009 je bila sprejeta Direktiva 2009/31/ES, ki ureja geološko shranjevanje ogljika (Žumbar, 2011, str. 10). EU je sprejela Direktivo o zajemanju in shranjevanju ogljika kot del svežnja podnebnih in energetskega ukrepov, ki so namenjeni zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in prispevajo k podnebnim spremembam, povečanju energetske varnosti in usmeritvi k nizkoogljičnemu gospodarstvu. EU si želi, da bi postalo zajemanje in shranjevanje ogljika komercialno uresničljivo in da bi se razvilo v pomembno tehnologijo za zmanjšanje emisij ogljika v EU in svetu nasploh (European Commission, 2012b, str. 2).

Zajemanje in shranjevanje ogljika se bo iz gospodarskih razlogov najverjetneje najprej uporabljalo v energetskega sektorju. Evropska komisija pričakuje, da bo zajemanje in shranjevanje ogljika med številnimi nizkoogljičnimi tehnologijami in energetskega

učinkovitimi ukrepi, ki bodo do leta 2050 močno prispevali k procesu dekarbonizacije energetskega sektorja. Od leta 2030 lahko pričakujemo obsežno komercialno uporabo zajemanja in shranjevanja ogljika za emisije iz industrijskih obratov, kot so železarne ali cementarne (European Commission, 2012b, str. 2). Predlog Komisije omogoča zajem in shranjevanje ogljika ter tako zagotavlja okvir za upravljanje okoljskih tveganj. Prav tako odstranjuje ovire v obstoječi zakonodaji. Široka raba tehnologije CCS bo odvisna tako od cene dovolilnic za emisije ogljika, kot tudi od stroškov tehnologije. Vsak se bo lahko torej sam odločil, ali je zanj uporaba CCS ekonomična (Skubic & Bahun, 2008, str. 3).

Tudi v Sloveniji smo že začeli razmišljati o tej privlačni možnosti za zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub>, sploh ker analiza virov in ponorov toplogrednih plinov (Ministrstvo za okolje in prostor, 2002; Seljak & Paradiž, 2001) kaže, da bo izpolnitev obveze Kjotskega sporazuma izjemno težka naloga. Geoinženiring je tako sodeloval pri uspešni prijavi projekta šestega okvirnega programa EU, katerega cilj je določiti potencial za geološko skladiščenje CO<sub>2</sub> v južni in vzhodni Evropi. Raziskave potekajo tudi v okviru Premogovnika Velenje, saj je Termoelektrarna Šoštanj največji energetski objekt v Sloveniji, ki uporablja fosilna goriva, in tako tudi največji točkovni vir emisij CO<sub>2</sub> v Sloveniji (Gosar, 2005, str. 205).

**Namen** magistrskega dela je s pomočjo strokovne literature preučiti in analizirati upravičenost zajema in shranjevanja ogljikovega dioksida v geološke plasti na področju srednje Evrope in Slovenije. Raziskoval bom, kako poteka zajem, transport in shranjevanje ogljikovega dioksida. Zanimalo me bo tudi, ali je tehnologija CCS tehnično zrela. Preučil bom zakonodajo in ukrepe, ki trenutno veljajo na področju EU in na ravni Slovenije. Podal bom oceno stroškov zajema in shranjevanja ogljikovega dioksida. V magistrskem delu bom s pomočjo SWOT analize na področju Slovenije analiziral tudi prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti CCS tehnologije.

**Cilj** magistrskega dela je s pomočjo sekundarnih virov potrditi ali ovreči hipotezo, da je eden glavnih ukrepov za zmanjšanje emisij v ozračju tudi tehnologija CCS. Z magistrskim delom želim tako pokazati, da je poleg energetske učinkovitosti in obnovljivih virov energije uporaba tehnologije CCS nujen ukrep za zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub> v EU. Podrobneje bom analiziral stanje v Sloveniji in ugotavljal, kakšni premiki bi bili potrebni na tem področju, da bi se tehnologija CCS začela uporabljati.

Magistrsko delo bo temeljilo na poglobljenem pregledu strokovne literature, znanstvenih razprav in raziskav, člankov tujih strokovnjakov in dokumentov različnih pristojnih organizacij s področja obravnavane teme. Uporabljeni metodi dela bosta predvsem opisna metoda in metoda kompilacije, kar mi bo omogočilo združevanje ugotovitev in mnenj različnih strokovnjakov.

Magistrsko delo bo sestavljeno iz **petih** glavnih vsebinskih poglavij, ki bodo razdeljena na podpoglavja, kar mi bo omogočalo podrobnejšo analizo vsakega izmed njih. V uvodu bom predstavil izbrano temo, njen pomen in načrt dela. V prvem poglavju bom predstavil Kjotski protokol, njegove cilje in trgovanje z emisijami. Pojasnil bom tudi operativni program za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v Sloveniji. Dotaknil se bom nadvse aktualnega Pariškega sporazuma. V drugem poglavju bo opredeljen teoretični okvir, v katerem bom razdelal, kako lahko uporaba tehnologije zajema in shranjevanja ogljikovega dioksida prispeva k ublažitvi podnebnih sprememb. Raziskal bom tudi izvore CO<sub>2</sub>. Poleg tega bom v tem poglavju podrobneje predstavil različne tehnologije zajema CO<sub>2</sub>, načine transporta in shranjevanje CO<sub>2</sub> v različne geološke formacije. To poglavje bo zajemalo tudi prikaz primernih lokacij za shranjevanje v Evropi. Razložil bom sam namen opazovanja pri skladiščenju (monitoringa) in mnenje javnosti o tej tehnologiji. V tretjem poglavju sledi ocena stroškov procesa CCS. Zakonodajo, direktive in ukrepe v izbranih članicah EU bom predstavil v četrtem poglavju. Tu bom pregledal tudi stopnjo raziskav na področju CCS, nekatere dobre prakse in projekte, ki se trenutno izvajajo v teh državah članicah. V petem poglavju bom s pomočjo SWOT analize analiziral možnost uporabe procesa zajema in skladiščenja CO<sub>2</sub> za Slovenijo. V tem delu me bo zanimalo predvsem, kakšne so prednosti in slabosti. Analiziral pa bom tudi priložnosti in nevarnosti, povezane z zajemom in shranjevanjem CO<sub>2</sub>. Magistrsko delo bom zaključil s sklepnimi ugotovitvami. S pomočjo novih ugotovitev bom širšo javnost opozoril na podnebne spremembe, jih podučil o koristnosti tehnologije CCS ter jih seznanil z možnimi uporabnimi rešitvami.

## **1 MEDNARODNI DOGOVORI O PODNEBNIH SPREMEMBAH IN EVROPSKI SISTEM TRGOVANJA Z EMISIJAMI**

### **1.1 Kjotski protokol**

Za uspešno spopadanje s problemom podnebnih sprememb moramo začeti pri temeljih. Opredeliti podnebje je težko in abstraktno; za znanstvene namene je v rabi definicija, da je podnebje interaktivni sistem ozračja, zemeljskega površja, snega in ledu, oceanov ter drugih vodnih virov in živih bitij (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008, str. 30, v nadaljevanju IPCC).

Kjotski protokol je mednarodni in pravno zavezujoči sporazum za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov po vsem svetu in je začel veljati z rusko ratifikacijo, 16. februarja 2005. Glavna razlika med Protokolom in Konvencijo je, da medtem ko Konvencija spodbuja industrializirane države za stabilizacijo emisij toplogrednih plinov, jih protokol zavezuje (United Nations Framework Convention on Climate Change, b.l., v nadaljevanju UNFCCC).

Kjotski protokol je nadaljevanje delovanja Okvirne konvencije, ki je kot prva začrtala smernice in pravno zavezujoča stališča glede izpustov toplogrednih plinov ter zavezo k zmanjšanju le-teh. Sporazum ali protokol je bil sprejet decembra 1997 na konferenci Okvirne konvencije v Kjotu. Da je sporazum postal pravno zavezujoč, ga je moralo ratificirati vsaj 55 pogodbenic Okvirne konvencije, ki skupaj predstavljajo vsaj 55 % izpustov CO<sub>2</sub> razvitih držav v letu 1990 (Tietenberg, 1999, str. 2).

### 1.1.1 Cilji Kjotskega sporazuma

Emisije držav, ki so protokol ratificirale, znašajo 61 % svetovnih emisij. V prvem ciljnem obdobju, med letoma 2008 in 2012, so države, ki so protokol priznale, poskušale emisije zmanjšati za najmanj 5 % v primerjavi z letom 1990. EU proizvede okoli 21 % vseh emisij toplogrednih plinov. Zavezala se je, da jih bo v povprečju zmanjšala za 8 %, z ozirom na leto 1990. Države članice, ki cilja ne bodo uresničile, bodo morale plačati globo (Cegnar, 2009, str. 1). Za izhodiščno leto in primerjavo izpustov emisij je bilo vnaprej določeno leto 1990. Države v tranziciji so si izjemoma lahko za bazno leto izbrale kakšno drugo leto. Za koliko odstotkov mora posamezna država zmanjšati emisije toplogrednih plinov, je bilo določeno na pogajanjih, zaradi česar se rezultati med državami razlikujejo. Kot je razvidno iz Tabele 1, je Slovenija pristala v skupini mnogih držav, ki so se obvezale zmanjšati izpuste za 8 %. Nekatere države imajo celo dovoljenje za povečanje izpustov (UNFCCC, 2008, str. 55).

*Tabela 1: Cilji zmanjšanja TPG v okviru Kjotskega protokola*

Država	Omejitve oziroma zmanjšanje izpustov TGP (izraženo v odstotkih glede na bazno leto)
Avstrija, Belgija, Bolgarija, Češka, Danska, Estonija, Evropska skupnost, Finska, Francija, Nemčija, Grčija, Irska, Italija, Latvija, Liechtenstein, Litva, Luxembourg, Monako, Nizozemska, Portugalska, Romunija, Slovaška, Slovenija, Španija, Švedska, Švica, Velika Britanija in Severna Irska	-8
Združene države Amerike (niso ratificirale)	-7
Kanada, Madžarska, Japonska, Poljska	-6
Hrvaška	-5
Nova Zelandija, Rusija, Ukrajina	0
Norveška	+1
Avstralija	+8
Islandija	+10

*Vir: UNFCCC, Kyoto Protocol Reference Manual on accounting of emissions and assigned amount, 2008, str. 13.*

Za doseg ciljev Kjotskega protokola je na voljo mnogo nezavezujočih dejavnikov in ukrepov, ki lahko pripomorejo k dosegu cilja. Vsaka država je za sprejem pravil in ukrepov,

ki najbolj omogočajo doseganje ciljev, odgovorna sama zase. Nekaj ukrepov, ki se jih države rade poslužujejo, je prikazanih v Tabeli 2.

*Tabela 2: Pregled ukrepov za doseganje ciljev iz Kjotskega sporazuma*

SEKTOR	UKREPI
Proizvodnja električne energije in toplote	Proizvodnja iz obnovljivih virov energije
	Spodbujanje soproizvodnje v daljinskem ogrevanju
	Tehnološka posodobitev termoelektrarn
Promet	Izvajanje ukrepov iz Resolucije o prometni politiki za prehod tranzita s cest na železnice
	Nadomeščanje fosilnih goriv z biogorivi
	Strategija EU za zmanjšanje izpustov iz osebnih vozil
	Spodbujanje javnega potniškega prometa
Industrija in gradbeništvo	Povečanje energetske učinkovitosti
	Povečanje rabe obnovljivih virov energije
	Spodbujanje soproizvodnje električne energije in toplote
	Zamenjava goriv
Široka raba	Energetska sanacija stavb
	Povečanje rabe obnovljivih virov energije ter zamenjava goriv za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode
	Spodbujanje proizvodnje električne energije v soproizvodnji s toploto in na osnovi obnovljivih virov energije
	Ozaveščanje in promocija
	Učinkovita raba električne energije
Industrijski procesi	Prilagajanje proizvodnje aluminija BAT
	Zmanjševanje puščanja goriv (stacionarne naprave)
	Zmanjševanje izpustov iz klimatskih naprav v vozilih
	Zajem hladiv iz odsluženih avtomobilov in naprav
Kmetijstvo in gozdarstvo	Anaerobni digestorji
	Pašna reja goveda
	Povečanja ponorov CO <sub>2</sub>
	Racionalno gnojenje kmetijskih rastlin

se nadaljuje

Tabela 2: Pregled ukrepov za doseganje ciljev iz Kjotskega sporazuma (nad.)

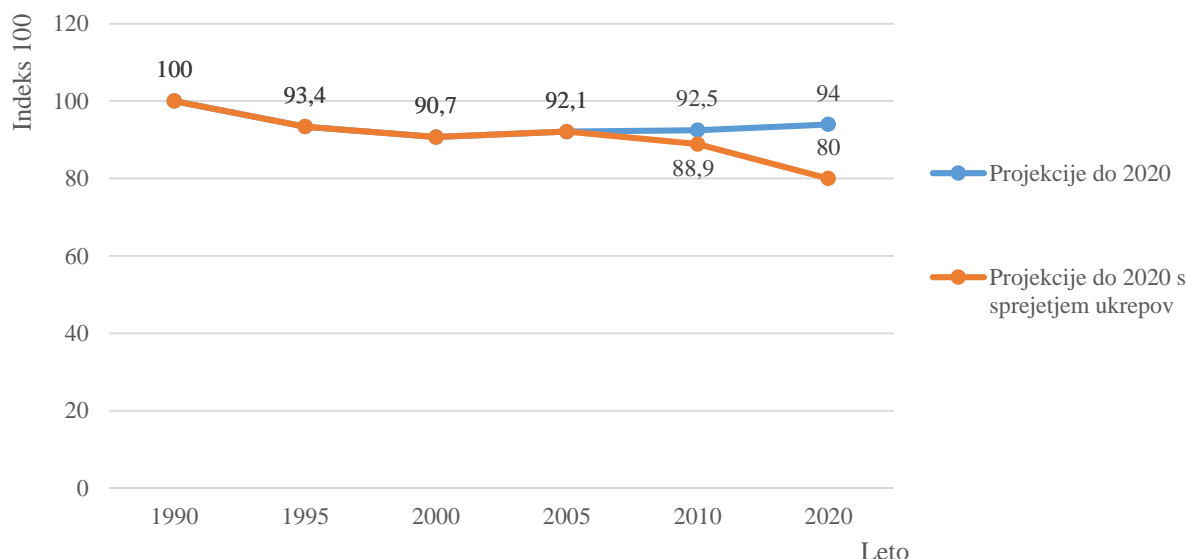
Medresorski ukrepi	Trošarine
	Okoljska dajatev CO <sub>2</sub>
	Trgovanje z izpusti toplogrednih plinov
Odpadki	Sanacija obstoječih in gradnja novih odlagališč v skladu z EU standardi – zajem odlagališčnega plina
	Zmanjševanje odloženih količin biološko razgradljivih odpadkov zaradi kompostiranja ali predelave v biogorivih

Vir: Vlada Republike Slovenije, Operativni program zmanjševanja toplogrednih plinov do leta 2012, 2009, str. 86.

Kjotski protokol vključuje pline, ki jih s svojo dejavnostjo v ozračje spušča človek: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, HFCS in PFCS (fluorirani in perfluorirani ogljikovodiki) ter SF<sub>6</sub> (žveplov heksafluorid) (Cegnar, 2009, str. 1).

Projekcije na dolgi rok nakazujejo, da bodo emisije v EU do leta 2020 okoli 6 % nižje glede na raven leta 1990 (Slika 1). Pri sprejemu ukrepov, ki so jih določili v Evropski komisiji marca 2007, postane projekcija veliko bolj vzpodbudna, in sicer 20 % pod ravnjo glede na leto 1990 (European Environment Agency, 2007, str. 19).

Slika 1: Trendi emisij toplogrednih plinov za Evropsko unijo z napovedjo do leta 2020



Vir: Prirejeno in povzeto po European Environment Agency Greenhouse gas emission trends and projections in Europe, 2007.

Slovenija je s podpisom kjotskega protokola prevzela obveznost zmanjšanja izpustov do leta 2012 za osem odstotkov glede na izhodiščno leto 1986. Izpusti so sicer padli manj, a je Slovenija cilj vseeno dosegla oz. celo preseгла, in sicer z uveljavitvijo ponorov (Slovenska tiskovna agencija, 2015).

## **1.2 Pariški sporazum**

EU je odigrala ključno vlogo pri zgodovinskem sporazumu v Parizu, kjer je 195 držav sprejelo nov, univerzalen in pravno zavezujoč svetovni podnebni dogovor. Ambiciozen in uravnotežen sporazum, ki je prvi pomemben večstranski dogovor 21. stoletja, določa globalni akcijski načrt, s katerim bomo preprečili nevarne podnebne spremembe z omejitvijo globalnega segrevanja na precej manj kot 2 °C, glede na predindustrijsko dobo. Omenjeni dogovor vlade spodbuja k ukrepom za omejitev na 1,5 °C. Dogovor je rezultat dolgoletnih prizadevanj mednarodne skupnosti, ki je želela doseči univerzalen večstranski sporazum o podnebnih spremembah. Po omejenem sodelovanju pri Kjotskem protokolu in nesoglasjih iz København leta 2009 je EU začela sestavljati široko koalicijo razvitih držav in držav v razvoju v imenu visoko zastavljenega cilja, ki se odraža v uspešnem izidu konference v Parizu. Pariški sporazum je jasen znak vlagateljem, podjetjem in oblikovalcem politik, da je svetovni prehod na čiste energije trajnega značaja in da je treba fosilna goriva, ki onesnažujejo, nadomestiti z drugimi viri. Zastavljene cilje naj bi države dosegle s celovitimi nacionalnimi podnebnimi akcijskimi načrti za zmanjšanje lastnih emisij. V veljavo bodo stopili leta 2020, ko se tudi izteče post-kjotsko obdobje. Sporazum je v veljavo stopil 4. novembra 2016, ko ga je ratificiralo najmanj 55 držav, ki so skupaj odgovorne za najmanj 55 % globalnih emisij toplogrednih plinov (European Commission, 2015, str. 1).

## **1.3 Trgovanje z emisijami v EU in Sloveniji**

Klimatske spremembe so zdaj nedvomno ena izmed glavnih tem pogovorov EU in drugih svetovnih voditeljev. Glavno vprašanje, s katerim se soočajo, je, kako bi industrijsko razvitejšje države zmanjšale svoje stroške onesnaževanja okolja in kako prenesti breme onesnaževanja na tiste, ki so za onesnaževanje najbolj odgovorni, ter sočasno povečati konkurenčnost in energetske učinkovitost na trgu. Da bi uspešno kljubovali zahtevam in ciljem po zmanjševanju toplogrednih plinov, ki so bili zapisani v Kjotskem sporazumu, se je na ravni EU pojavil prvi primer sistema za trgovanje z emisijami CO<sub>2</sub> na svetu (v nadaljevanju EU ETS). Sistem EU ETS opredeljuje Direktiva 2003/87/ES Evropskega parlamenta in Sveta o vzpostavitvi sistema za trgovanje s pravicami do emisije toplogrednih plinov v Skupnosti.

Schema trgovanja z emisijskimi kuponi se je v EU začela že leta 2005. Vključevala je več tisoč podjetij, ki imajo zelo visoko porabo energije (jeklarne, elektrarne, naftne rafinerije, papirnice, steklarne, cementarne itd.). Države članice so podjetjem brezplačno razdelile



emisijske kupone za ogljikov dioksid, Slovenija jih je razdelila približno 100 podjetjem. Podjetja, ki niso porabila vseh kuponov, so jih lahko prodala drugim podjetjem, ki bi utegnili onesnaževati več. Z nakupom novih, na trgu razpoložljivih kuponov, so torej lahko preseгла začetni limit, ki jim je bil dodeljen. Podjetja, ki so vlagala v uporabo čistih tehnologij, in katerih proizvodnja je posledično tudi bolj čista, so lahko s prodajo neporabljenih kuponov pridobila dodatna sredstva. Tako so si lahko poplačala stroške svojih vlaganj (Kajfež Bogataj, 2005). Trgovanje z emisijami torej ni omogočilo neposrednega zmanjšanja emisij, ampak je udeležencem trgovanja nudilo možnost, da so na stroškovno najugodnejši način dosegli zmanjšanje le-tega (Vlada Republike Slovenije, 2009, str. 89).

EU ETS je bil vzpostavljen 1. januarja 2005. V sistem je vključenih vseh 27 članic EU ter tako imenovane druge članice Evropskega gospodarskega prostora – Norveška, Islandija in Liechtenstein. Trenutno je v sistem vključenih približno 12.000 obratov v energetskih in industrijskih panogah (European Commission, 2012b), ki so skupaj odgovorni za skoraj polovico emisij CO<sub>2</sub> in 40 % skupnih emisij TGP v EU (European Commission, 2008b).

EU ETS deluje po principu »omejitev in trgovanje« (angl. *cap and trade*) oz. tako imenovano trgovanje s pokrovom. To pomeni, da določa zgornjo mejo celotnih dovoljenih emisij, udeležencem pa dovoljuje, da po potrebi kupujejo in prodajajo emisijske kupone in zmanjšujejo emisije s čim nižjimi stroški (European Commission, 2008b).

Valuta trgovanja je emisijski kupon (angl. *emission allowance*), s katerim imajo podjetja pravico do izpusta ene tone CO<sub>2</sub>. Shema trgovanja EU ETS temelji na spoznanju, da je za doseganje znatnega zmanjšanja globalnih emisij TGP potrebno oblikovanje cen na najbolj stroškovno učinkovit način (European Commission, 2008b, str. 7).

Emisijski kuponi se članicam EU delijo na podlagi državnih načrtov razdelitve, pripravljeni pa morajo biti na osnovi objektivnih in transparentnih kriterijev, vključno z naborom skupnih pravil, opredeljenih v sistemu trgovanja z emisijami (Vlada Republike Slovenije, 2011, str. 10–11).

Leta 2005 je bil ustanovljen Evropski program za podnebne spremembe II (angl. *The Second European Climate Change Programme*, v nadaljevanju ECCP II), ki je nasledil ECCP iz leta 2000. ECCP II še naprej išče stroškovno učinkovite možnosti za zmanjševanje emisij TGP v sinergiji z Lizbonsko strategijo povečanja ekonomske rasti in ustanavljanja novih delovnih mest. Nove delovne skupine se ukvarjajo predvsem z zajemanjem in shranjevanjem ogljikovega dioksida, z avtomobilskimi emisijami CO<sub>2</sub>, z letalskimi emisijami ter s prilagoditvami na posledice podnebnih sprememb (European Commission, 2012c).

### 1.3.1 Trgovalna obdobja

ETS se postopoma dopolnjuje in izpopolnjuje, zato je razdeljena na več faz (Czerny & Čadež, 2010, str 36):

- prvo trgovalno obdobje

Predstavlja čas učenja in priprave na poglavitno drugo obdobje. V tem obdobju je bilo v EU uspešno implementirano prosto trgovanje z emisijskimi kuponi, vzpostavljena je bila potrebna infrastruktura za nadzor in poročanje kot tudi za preverjanje dejanskih emisij onesnaževalcev, vključenih v shemo. Zbrani so bili podatki o letnih emisijah posameznih držav in onesnaževalcev.

Prvo trgovalno obdobje je bilo namenjeno predvsem učenju in pripravi celotne infrastrukture za trgovanje z emisijskimi kuponi v drugem trgovalnem obdobju. Glede na to, da je bil sistem pripravljen v relativno kratkem času in da Evropa ni imela predhodnih izkušenj na področju trgovanja z emisijami, je sistem deloval presenetljivo dobro (Ellerman & Joskow, 2008, str. iii). Kasneje se je izkazalo, da je imel sistem kar nekaj pomanjkljivosti. Ugotovljeno je bilo, da je bilo podeljeno preveliko število emisijskih kuponov (zaradi pomanjkljivih podatkov o količinah emisij posameznih držav). Poleg tega ni bilo dovolj temeljite priprave na trgovanje. Pomanjkanje transparentnosti je pripeljalo do velikega nihanja cen emisijskih kuponov. Ta je ob koncu leta znašala zgolj 0,01 eurov na tono spuščenega CO<sub>2</sub> (v nadaljevanju EUR/t CO<sub>2</sub>). Razlog za tak padec cen je predvsem v tem, da ni bil mogoč prenos kuponov iz prvega v drugo obdobje (Duerr, 2007, str. 8).

- drugo (kjotsko) trgovalno obdobje od 2008 do 2012

EU in njene članice morajo doseči emisijske cilje, določene v Kjotskem protokolu. Evropska komisija je, glede na podatke o emisijah iz prvega obdobja, zmanjšala količino emisijskih kuponov za 6,5 %.

Zmanjšana količina emisijskih dovoljenj je pripomogla k rasti cen emisijskih kuponov in spodbudila podjetja k zmanjšanju emisij. Te so bile v letu 2008 za 3,06 % nižje kot v letu 2007 (European commission, 2009). Države članice EU-15 so v drugem trgovalnem obdobju dosegle skupni cilj zmanjšanja izpustov TGP za 8 % glede na izpuste TGP v izhodiščnem letu (za večino držav članic je to leto 1990). Zmanjšanje so dosegle ob uporabi že utečene domače politike ter ob uporabi kjotskih prožnih mehanizmov (European Environment Agency, 2011, str. iii, v nadaljevanju EEA). Glavni razlog zmanjšanja so predvsem manjša javna poraba električne energije, upadanje uporabe fosilnih goriv za proizvodnjo električne energije, manjša proizvodnja v industrijskih obratih ter tudi vpliv svetovne recesije in z njo povezan upad industrijske proizvodnje (EEA, 2011, str. vi).

- tretje (postkjotsko) trgovalno obdobje od 2013 do 2020

Trgovanje v novem osemletnem obdobju, ki ga regulira Direktiva 2009/29/ES, je stopilo v veljavo s 1. januarjem 2013, trajalo pa bo vse do 31. decembra 2020. Pravila temeljijo na progresivnem omejevanju emisij iz proizvodnega in energetskega sektorja, s ciljem doseči 21 % zmanjšanje emisij do leta 2020 glede na leto 2005 (Vendramin, 2011, str. 24). To trgovalno obdobje je daljše, saj naj bi prispevalo k večji predvidljivosti trga, ki je potrebna za spodbujanje dolgoročnih naložb v zmanjšanje emisij. Z željo po učinkovitejšem boju proti klimatskim spremembam in povečanju rabe obnovljivih virov energije je leta 2008 Evropska komisija izpeljala temeljito revizijo ETS, spremembe pa so začele delovati s tretjim trgovalnim obdobjem. Ključne spremembe so vezane predvsem na vključitev določenih novih sektorjev (inštalacije za zajem, transport in geološko skladiščenje emisij, letalstvo). Omejitev emisij je postala enotna na ravni EU in je zamenjala nacionalne razdelitvene načrte. Emisije se linearno zmanjšujejo za 1,74 % letno. Povečal se je tudi delež kuponov, prodanih na dražbah; od leta 2013 za približno 50 %. Poleg tega so se modernizirala pravila nadzora poročanja in preverjanja emisij. Odpira se tudi možnost povezave ETS z drugimi obveznimi sistemi trgovanja s pokrovom v tretjih državah na regionalni ali državni ravni.

Sistem Skupnosti za trgovanje z emisijami (v nadaljevanju EU ETS) je glavni podpornik za uveljavitev zajemanja in shranjevanja ogljika. CO<sub>2</sub>, ki se zajame in varno shrani v skladu s pravnim okvirom EU, Skupnost za trgovanje z emisijami ne bo obravnavala kot izpust (Evropski parlament, 2008, str. 3).

Cena emisijskih kuponov je v zadnjih letih precej nizka. Trenutna cena je okrog 6 EUR. Razlog je v zasičenosti emisijskih kuponov na trgu. Gospodarska recesija v kombinaciji z določeno količino novih kuponov, ki so bili na razpolago vsako leto, je cene vodila navzdol. Rekordno nizka cena emisijskega kupona je bila leta 2013, in sicer le 3 EUR (Teffer, 2016).

### **1.3.2 Zmanjševanje emisij toplogrednih plinov v Sloveniji**

Leta 1998 je Republika Slovenija podpisala Kjotski protokol, leta 2002 pa ga je ratificirala (Služba vlade RS za podnebne spremembe, 2011, str. 7). S tem se je obvezala, da bo povprečne letne emisije TGP v obdobju 2008–2012 zmanjšala za 8 % z ozirom na izhodiščno leto 1986 – takrat so emisije TGP znašale 20,203 mio t CO<sub>2</sub> ekv1., kar pomeni, da morajo v obdobju 2008–2012 povprečne letne emisije znašati 19,909 mio t CO<sub>2</sub>ekv (upoštevani so tudi ponori CO<sub>2</sub>). V letu 2004 so emisije TGP znašale 19,946 mio t CO<sub>2</sub> ekv, kar je 98,7 % emisij iz leta 1986 (Vlada Republike Slovenije, 2007, str. 5).

Vlada Republike Slovenije je decembra 2006, z namenom izpolnitve obveznosti iz Kjotskega protokola sprejela Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov

do leta 2012. Julija 2009 je sprejela dopolnjen Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2012 (v nadaljevanju OP TGP-1), ki je nekakšen usmerjevalnik, kako naj bi Slovenija uresničila zaveze o zmanjševanju TGP. Služba Vlade RS za podnebne spremembe je v sodelovanju s strokovnjaki, gospodarstveniki, lokalnimi skupnostmi in predstavniki civilne družbe pripravila osnutek Strategije prehoda Slovenije v nizkoogljično družbo do leta 2050. Cilj strategije do leta 2050 je zmanjšati emisije TGP v Sloveniji na manj kot 2 t CO<sub>2</sub> na prebivalca letno, zagotoviti prilagajanje na posledice podnebnih sprememb in konkurenčnost gospodarstva ter izpolniti odgovornost Slovenije do mednarodne skupnosti v skupnem boju proti podnebnim spremembam (Ministrstvo za okolje in prostor, 2011, str. 5).

Slovenija je v okviru podnebno-energetskega zakonodajnega paketa, ki je bil sprejet konec leta 2008, sprejela nove pravno obvezujoče cilje za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov do leta 2020. V skladu z Odločbo 406/2009/ES<sup>1</sup> se obveznost zmanjšanja oz. omejevanja emisij toplogrednih plinov nanaša le na emisije sektorjev, ki niso vključeni v shemo trgovanja s pravicami do emisije toplogrednih plinov v skladu z Direktivo 2009/29/ES<sup>2</sup> (Vlada Republike Slovenije, 2014, str. 1).

Obveznost zmanjšanja emisij toplogrednih plinov iz Odločbe 406/2009/ES se nanaša na (Vlada Republike Slovenije, 2014, str. 1) :

- emisije iz rabe goriv v gospodinjstvih in storitvenem sektorju;
- emisije iz rabe goriv v prometu;
- emisije iz rabe goriv (v malih in srednje velikih podjetjih v industriji in energetiki);
- ubežne emisije iz energetike;
- procesne emisije iz industrijskih postopkov;
- raba topil in drugih proizvodov;
- emisije iz kmetijstva;
- emisije iz ravnanja z odpadki.

Cilj Slovenije do leta 2020 je, da se emisije toplogrednih plinov ne bodo povečale za več kot 4 % glede na leto 2005, oziroma da bodo leta 2020 manjše od vrednosti 12.117 kt CO<sub>2</sub> ekv<sup>3</sup> (Tabela 3). Obveznost zmanjšanja emisij toplogrednih plinov se ne nanaša zgolj na obdobje do leta 2020, ampak ima Slovenija tudi pravno obvezujoče letne cilje, saj emisije

---

<sup>1</sup> Odločba 406/2009/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. aprila 2009 o prizadevanju držav članic za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, da do leta 2020 izpolnijo zavezo Skupnosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov.

<sup>2</sup> Direktiva 2009/29/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. aprila 2009 o spremembi Direktive 2003/87/ES z namenom izboljšanja in razširitve sistema Skupnosti za trgovanje s pravicami do emisije toplogrednih plinov.

<sup>3</sup> Izvedbeni sklep Komisije št. 2013/634/EU z dne 31. oktobra 2013 o prilagoditvah dodeljenih letnih emisij za države članice za obdobje 2013 do 2020 v skladu z Odločbo št. 406/2009/ES Evropskega parlamenta in Sveta; za izračun je upoštevana vrednost potenciala globalnega segrevanja iz 2. Ocenjevalnega poročila Medvladnega foruma o podnebnih spremembah (IPCC).

toplogrednih plinov v obdobju 2013–2020 ne smejo presežati ciljnih letnih emisij, določenih z linearno trajektorijo do cilja v letu 2020. Sami cilji se razlikujejo glede na sektorje, ki so vključeni v trgovalno shemo in tisti, ki niso.

Od leta 2015 naprej so izračuni emisij toplogrednih plinov upoštevali vrednost potenciala globalnega segrevanja iz 4. Poročila Medvladnega foruma o podnebnih spremembah (IPCC), kar pomeni, da je potrebno ustrezno uskladiti izračune absolutnih letnih obveznosti zmanjšanja emisij toplogrednih plinov (Vlada Republike Slovenije, 2014, str. 2) .

*Tabela 3: Indikativni sektorski cilji zmanjšanja emisij TGP v sektorjih, ki niso vključeni v shemo trgovanja z emisijskimi kuponi do leta 2020 in 2030 glede na leto 2005, ki si jih Slovenija zastavlja s tem programom*

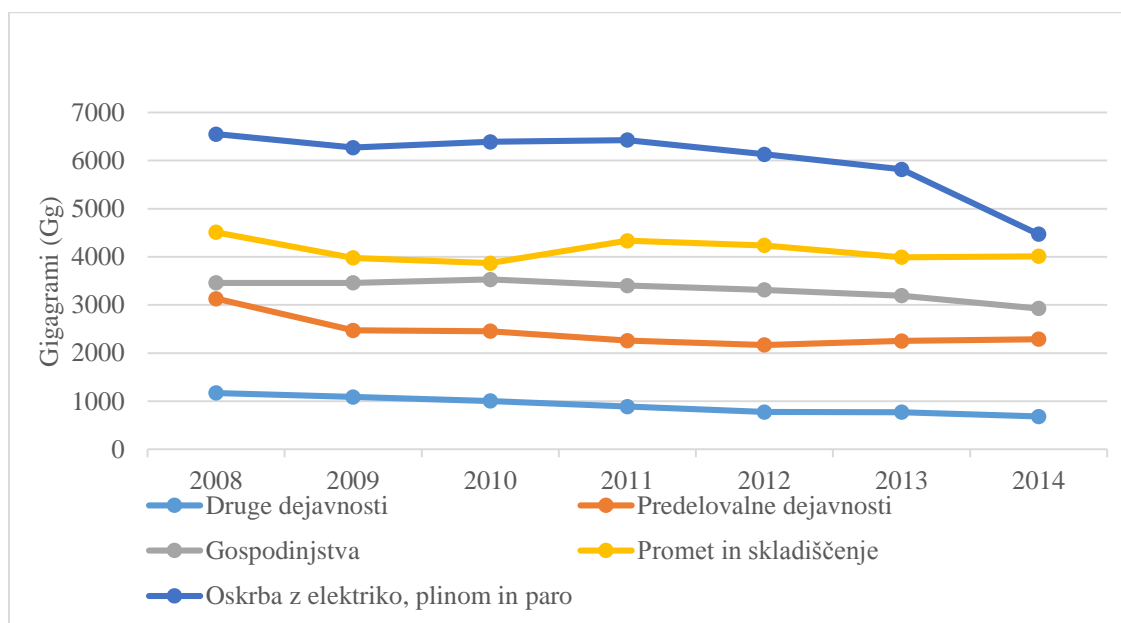
	Letne emisije TGP v letu 2005 kt CO <sub>2</sub> ekv	Indikativni cilji zmanjšanja v letu 2020	
		v letu 2020 (%)	v letu 2030 (%)
Promet	4.431,00	+27	+18
Široka raba	2.585,00	-53	-66
Kmetijstvo	2.003,00	+5	+6
Ravnanje z odpadki	692,00	-44	-57
Industrija	1.511,00	-42	-32
Energetika	365,00	+6	-16
<b>Skupaj (povprečje)</b>	<b>1.931,16</b>	<b>-16,8</b>	<b>-24,5</b>

*Vir: Vlada Republike Slovenije, Operativni program zmanjševanja toplogrednih plinov do leta 2020, 2014, str. 3.*

Slovenija uspešno izpolnjuje svoje obveznosti in zastavljene letne cilje znatno presega. Najnovejše projekcije kažejo, da bodo obvezujoči nacionalni cilji po Odločbi 406/2009/ES doseženi in celo preseženi v celotnem obdobju 2013–2020 (Vlada Republike Slovenije, 2016, str. 3).

Največji delež emisij CO<sub>2</sub> izvira iz oskrbe z elektriko, plinom in paro, slednji je v opazovanem letu znašal 31,1 % (Slika 2). Sledi delež emisij, ki je nastal v dejavnosti promet in skladiščenje: 27,9 %. Predelovalne dejavnosti so prispevale 15,9 %, v drugih dejavnostih 4,8 %, v gospodinjstvih pa 20,3 % emisij CO<sub>2</sub> (od tega 77,2 % v osebem cestnem prometu) (Statistični urad Republike Slovenije, 2014).

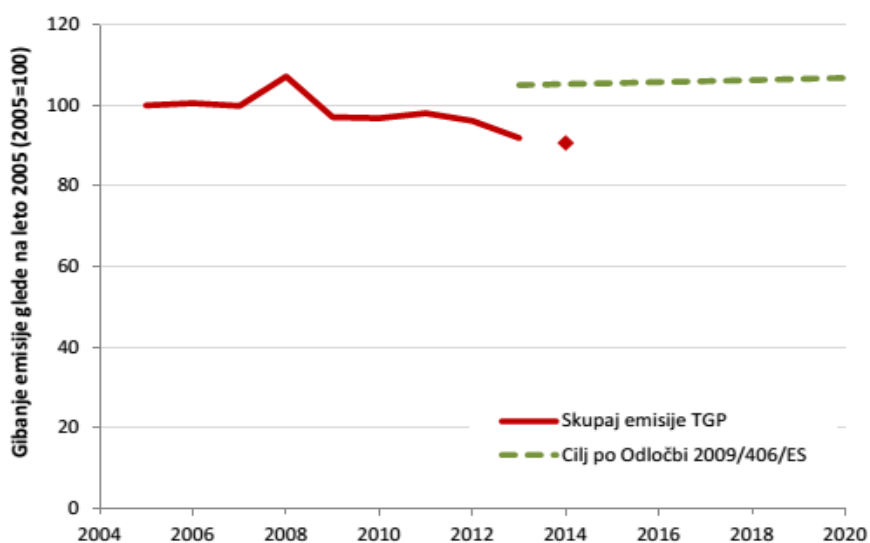
Slika 2: Emisije ogljikovega dioksida v Sloveniji po letih in sektorjih



Vir: Prirejeno in povzeto po Statističnem uradu Republike Slovenije, Računi emisij v zrak, 2014.

V letu 2013 so bile v Sloveniji po Odločbi 406/2009/ES emisije iz virov za 12,6 % nižje od letnega cilja. V letu 2014 so se emisije zopet zmanjšale, letni cilj pa je bil presežen za 13,8 % (Slika 3). Prvi izračuni za emisije v letu 2015 nakazujejo na podobno zmanjšanje emisij (Vlada Republike Slovenije, 2014, str. 4).

Slika 3: Gibanje emisij neETS v obdobju 2005–2014 v primerjavi z gibanjem emisij po ciljni trajektoriji v obdobju 2013–2020, preračunano na emisije iz leta 2005



Vir: Vlada Republike Slovenije, Prvo letno poročilo o izvajanju Operativnega programa ukrepov zmanjšanja emisij toplogrednih plinov do leta 2020, 2014, str. 4.

Do sedaj sta bila v Sloveniji izdelana dva državna načrta razdelitve emisijskih kuponov v skladu z Direktivo 2003/87/ES. Za tretje trgovalno obdobje načrt ni več potreben, saj bo na ravni EU-27 veljala enotna zgornja meja. Agencija Republike Slovenije za okolje je tisti organ, ki v Sloveniji pripravlja evidence emisij TGP. Glavna vira podatkov sta Ministrstvo za gospodarstvo in Statistični urad Republike Slovenije (Ministrstvo za okolje in prostor, 2011, str. 43). Slovenija mora, tako kot ostale članice EU, Evropski komisiji poročati o svojih evidencah emisij, o ukrepih, ki jih izvaja in načrtuje, ter o projekcijah za prihodnost. (Vlada Republike Slovenije, 2009, str. 235).

## **2 ZAJEM IN SHRANJEVANJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA**

### **2.1 Pojem zajema in skladiščenja CO<sub>2</sub>**

Zajem in shranjevanje ogljikovega dioksida je zaporedje tehnoloških procesov, med katerimi so zajem ogljikovega dioksida iz odpadnih industrijskih plinov in prevoz ter injiciranje CO<sub>2</sub> v geološke formacije.

Glavni namen zajema in shranjevanja ogljikovega dioksida je zmanjšati emisije CO<sub>2</sub> pri proizvodnji energije iz fosilnih goriv. Glavna sta premog in plin. Poleg tega je CCS mogoče uporabiti tudi v industrijskih panogah, v katerih nastaja veliko CO<sub>2</sub>. Primeri so cementarne, rafinerije, industrija železa in jekla, petrokemijska industrija, predelava nafte in plina itn. Po zajemu se CO<sub>2</sub> prenese do primerne geološke formacije, v katero se injicira, tako da se za daljše obdobje loči od atmosfere. Poleg geološkega shranjevanja obstajajo še druge možnosti, kot so na primer shranjevanje v vodnem stebru in shranjevanje z mineralizacijo. Shranjevanje v vodnem stebru je zelo tvegano za okolje, zato ga predlagana direktiva Komisije o geološkem shranjevanju CO<sub>2</sub> prepoveduje znotraj EU. Shranjevanje z mineralizacijo se trenutno raziskuje, razvoj pa se bo še naprej pozorno spremljal (European Commission, 2008c, str. 1).

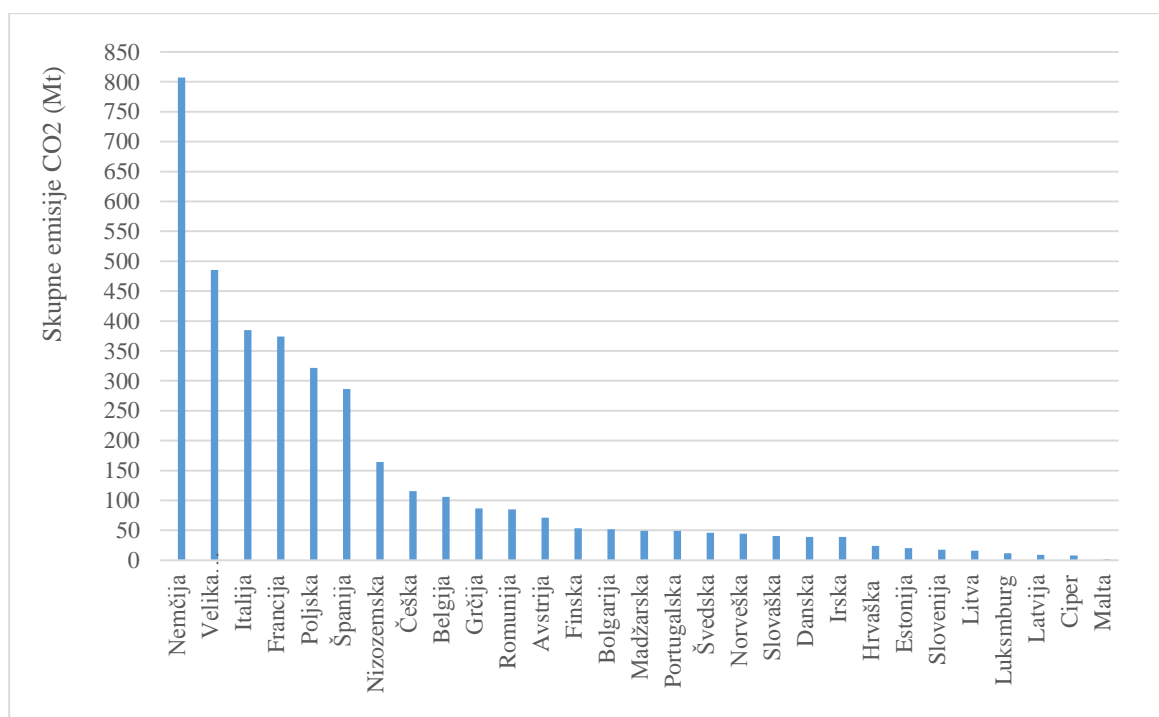
### **2.2 Izvori CO<sub>2</sub>**

Ogljikov dioksid je glavni toplogredni plin, ki se sprošča skozi človeške dejavnosti. CO<sub>2</sub> je naravno prisoten v ozračju, kot del Zemljinega ogljikovega cikla (naravno kroženje ogljika med atmosfero, oceani, tlemi, rastlinami in živalmi). Človeške aktivnosti so spremenile ta cikel, tako z dodajanjem več CO<sub>2</sub> v atmosfero kot tudi z vplivom na sposobnost naravnih ponorov, kot so gozdovi. Emisije CO<sub>2</sub> izhajajo iz različnih naravnih virov. Kljub temu so tiste, ki so povezane s človeškimi izpusti, odgovorne za povečanje emisij od začetka industrijske revolucije.

Obstajajo tako naravni kot človeški izvori emisij ogljikovega dioksida. Naravni viri vključujejo razgradnjo, sproščanje oceanov in dihanje. Človeški viri izvirajo iz dejavnosti, kot so proizvodnja cementa, krčenje gozdov ter izgorevanja fosilnih goriv. Vse od industrijske revolucije koncentracija CO<sub>2</sub> v veliki meri narašča, predvsem zaradi človeške dejavnosti. V zadnjem času je narasla na tako nevarne ravni, katerim nismo bili priča v zadnjih 3 milijonih let. Človeški viri CO<sub>2</sub> so precej manjši kot naravni viri, vendar so porušili naravno ravnovesje, ki je obstajalo mnogo let pred vplivom človeka. Naravni ponori iz ozračja odstranijo namreč približno enako količino CO<sub>2</sub>, kot jo proizvedejo naravni viri. To je ohranilo raven ogljikovega dioksida uravnoteženo in v varnem območju. Človeški viri CO<sub>2</sub> z dodajanjem le-tega v ozračje rušijo naravno ravnotežje (IPCC, 2008, str. 30).

Kjotski protokol in obveznosti držav do zmanjšanja emisij CO<sub>2</sub> v primerjavi z letom 1990 so pogosto ključna referenčna točka za nacionalno podnebno in energetska politiko v preučevanih državah. Zadnji razpoložljivi podatki za skupne nacionalne emisije CO<sub>2</sub> in emisije na prebivalca so primerjane na Sliki 4 in Sliki 5. Raziskava skupnega raziskovalnega središča evropske Komisije – Baza emisij za globalne raziskave atmosfere (EDGAR) pravi, da je skupna količina CO<sub>2</sub> emisij v letu 2012 brez transporta 34,45 Gt (Shogenova et al., 2014, str. 6666).

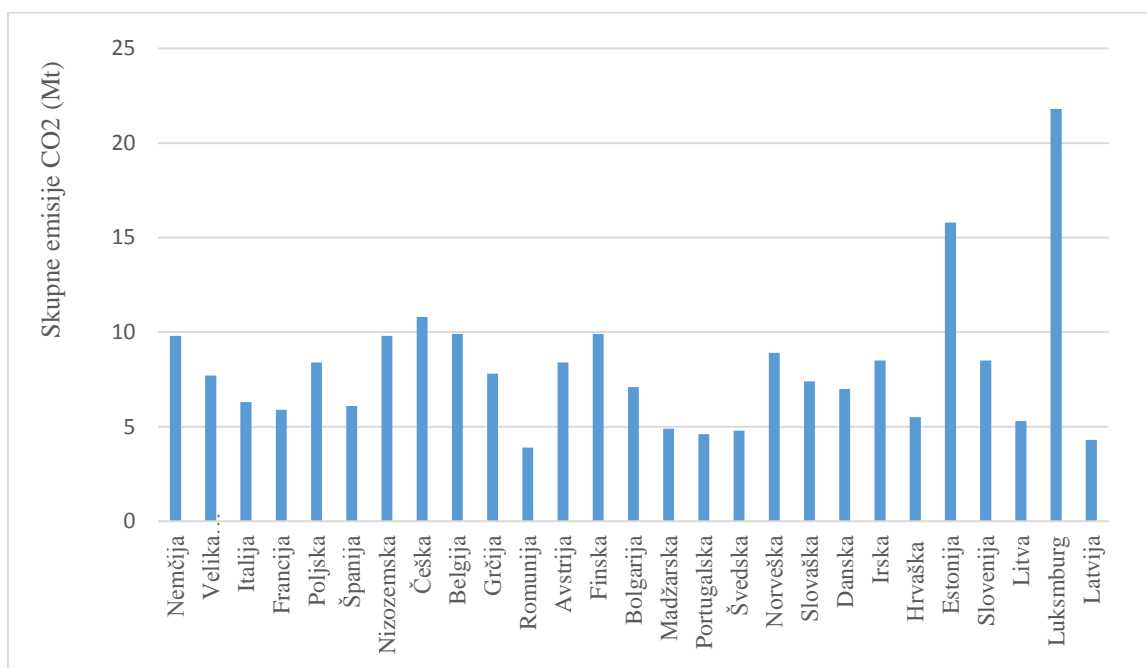
Slika 4: Skupne emisije CO<sub>2</sub> v 29 evropskih državah v letu 2012



Vir: Prirejeno in povzeto po A. Shogenova et al., *Implementation of the EU CCS Directive in Europe: results and development in 2013, 2014*, str. 6666.



Slika 5: Emisije CO<sub>2</sub> na prebivalca v 27 evropskih državah v letu 2012



Vir: Prirejeno in povzeto po A. Shogenova et al.. *Implementation of the EU CCS Directive in Europe: results and development in 2013, 2014*, str. 6666.

V Sloveniji od leta 2000 emisije v vseh sektorjih naraščajo, izjema je le energetika (transformacije), kjer so se do leta 2015 izpusti zmanjšali v povprečju za 1,1 % letno. Najhitreje naraščajo emisije v prometu (1,1 % letno) in v široki potrošnji (0,4 % letno), k rasti pa največ prispeva storitveni sektor (0,7 % letna rast). Emisije v gospodinjstvih so leta 2015 na nivoju s tistimi iz leta 2000. Tudi emisije v predelovalni industriji in gradbeništvu se povečujejo (0,4 % letno). Dobra tretjina povečanja je posledica večje proizvodnje električne energije v postrojih soproizvodnje (Tabela 4) (Vlada Republike Slovenije, 2004, str. 85).

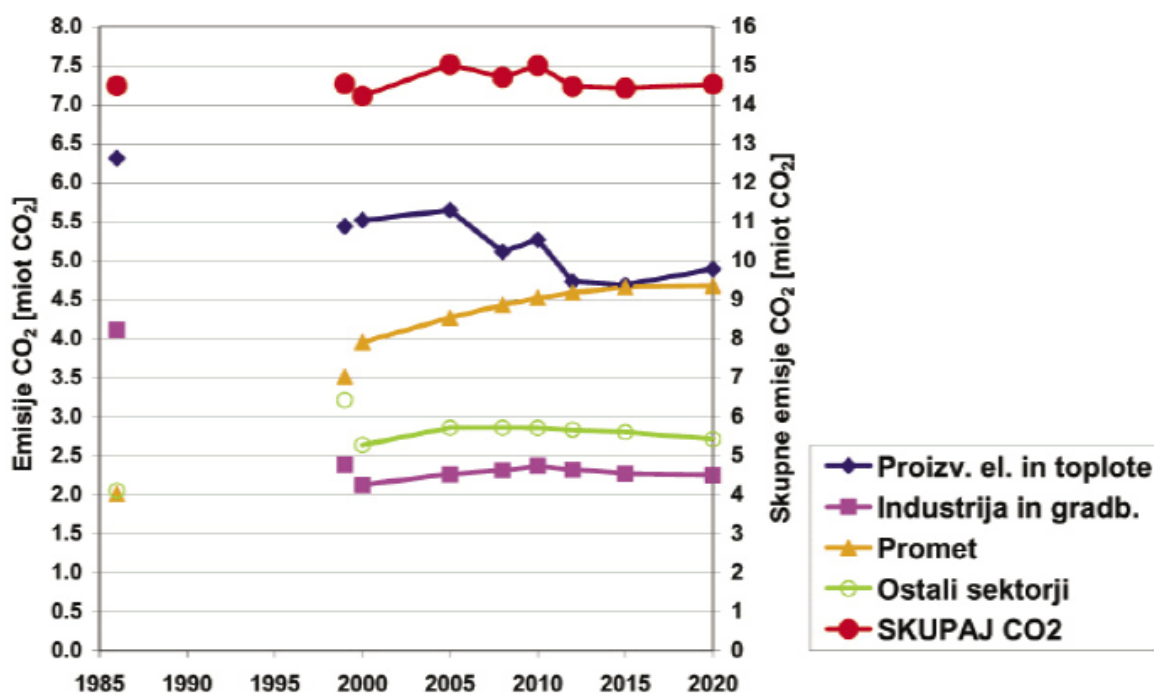
Tabela 4: Indeksi, trendi in emisije CO<sub>2</sub> pri zgorevanju fosilnih goriv v Sloveniji

	Ciljno obdobje Kjotskega protokola povprečje 2008-2012						
	Kjoto	Kjoto/86	Kjoto/99	2015/2000		2010/2000	
[miot CO <sub>2</sub> ]	kt	Indeks	Indeks	Indeks	%/a	Indeks	%/a
Proizv. el. in toplote	5,06	80	93	85	-1,1	96	-0,5
Industrija in gradb.	2,33	57	98	107	0,4	111	1,1
Promet	4,51	225	129	118	1,1	114	1,4
Drugi sektorji	2,84	139	89	106	0,4	108	0,8
<b>SKUPAJ CO<sub>2</sub></b>	<b>14,74</b>	<b>102</b>	<b>102</b>	<b>101</b>	<b>0,1</b>	<b>106</b>	<b>0,5</b>

Vir: Vlada Republike Slovenije, *Resolucija o Nacionalnem energetskega programu (ReNEP)*. 2004, str. 86.

Emisije CO<sub>2</sub> iz energetske rabe fosilnih goriv so se po letu 1997 v Sloveniji zmanjševale in so bile v letu 1999 po IPCC evidenci 14,5 Mt, kar je zelo blizu emisijam v izhodiščnem letu 1986, ki si ga je Republika Slovenija izbrala v Kjotskem protokolu. Pričakovani trend rasti emisij (povprečno 0,5 % na leto do leta 2010, kot prikazuje Slika 6) je predvsem zaradi zamenjave strukture goriv (povečan delež zemeljskega plina in OVE) na letni ravni za 0,5-odstotne točke nižji od trenda rasti rabe primarne energije. Po letu 2010 je opazen trend zmanjševanja emisij; v letu 2015 so emisije skoraj enake kot v letu 2000 (Vlada Republike Slovenije, 2004, str. 85).

Slika 6: Emisije CO<sub>2</sub>: skupne in po sektorjih



Vir: Vlada Republike Slovenije, Resolucija o Nacionalnem energetskem programu (ReNEP). 2004, str. 86.

## 2.3 Doprinos zajema in shranjevanja k ublažitvi podnebnih sprememb

Boj proti podnebnim spremembam je nujen, zato potrebujemo vsa razpoložljiva orodja. Učinkovitega reševanja podnebnih sprememb brez CCS ni. Ukrepi za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, vključno z večjim številom vozil na električni pogon, bodo pomenili, da potrebujemo več električne energije. CCS je neizogibna rešitev, če želimo do povpraševanje po električni energiji s sprejemljivimi izpusti CO<sub>2</sub> zadovoljiti.

Za uresničitev evropskih energetskih ciljev bo potrebna dekarbonizacija energetskega sektorja do 2030, ter za tem še sektorja težke industrije. Tega brez CCS ni možno storiti. Ključnega pomena je izbira pravega trenutka. Približno tretjina obstoječih elektrarn na

premog v Evropi bo zamenjana v naslednjih 10 letih. V mednarodnem merilu bo potrošnja energije Kitajske, Indije, Brazilije, Južne Afrike in Mehike povzročila znatno povečanje svetovnega povpraševanja, ki se bo najverjetneje v večji meri pokrilo s fosilnimi gorivi. Nujno je treba razviti zmogljivosti za reševanje težav, ki jih bodo povzročile potencialno zelo visoke emisije (European Commission, 2008c, str. 1).

Mednarodna agencija za energijo (angl. *International Energy Agency*, v nadaljevanju IEA) je ocenila, da bo CCS morala prispevati skoraj petino zmanjšanja emisij v elektroenergetskem in industrijskem sektorju, če želimo do leta 2050 doseči 50 % zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub>. Mednarodna agencija za energijo je ocenila, da bi do leta 2050 stroški za boj proti podnebnim spremembam brez CCS lahko bili tudi do 70 % višji kot z uporabo CCS. Poročilo iz ocen EU je podobno: 40 % višji stroški brez CCS do leta 2030. Zajem in shranjevanje CO<sub>2</sub> je trenutno edina možnost za dekarbonizacijo jeklarske, kemične in cementne industrije (Carbon capture & storage association, b.l.a).

## 2.4 Zajem CO<sub>2</sub>

Možnosti, da bi zajeli CO<sub>2</sub>, ki nastane pri zgorevanju fosilnih goriv v individualnih kuriščih, manjših industrijskih obratih ali v prevoznih sredstvih, seveda ni. Statistika virov CO<sub>2</sub> pa vseeno kaže, da ga kar 35 % nastane pri proizvodnji električne energije, kjer posamezna termoelektrarna letno v ozračje izpusti več milijonov ton CO<sub>2</sub>. Še en tak zgoščen vir je proizvodnja vodika iz zemeljskega plina, pri kateri je največji »odpadni« proizvod prav tako CO<sub>2</sub>. V tem primeru govorimo o vodiku kot o najčistejšem viru energije, saj pri njegovem zgorevanju nastane le voda. Pri tem ogljikovega dioksida, ki nastane pri proizvodnji vodika, nikakor ne smemo izpustiti v ozračje (US Department of Energy, 2005).

Večje industrije tehnologijo za zajetje CO<sub>2</sub> iz točkovno koncentriranih izvorov uporabljajo že dolgo. Uporabljajo jo večinoma za odstranitev ali ločitev CO<sub>2</sub> od drugih plinov, ki nastajajo ob izgorevanju fosilnih goriv. Elektrarne lahko uhajanje CO<sub>2</sub>, ki je rezultat izgorevanja goriva v ozračje, tako preprečijo na tri načine:

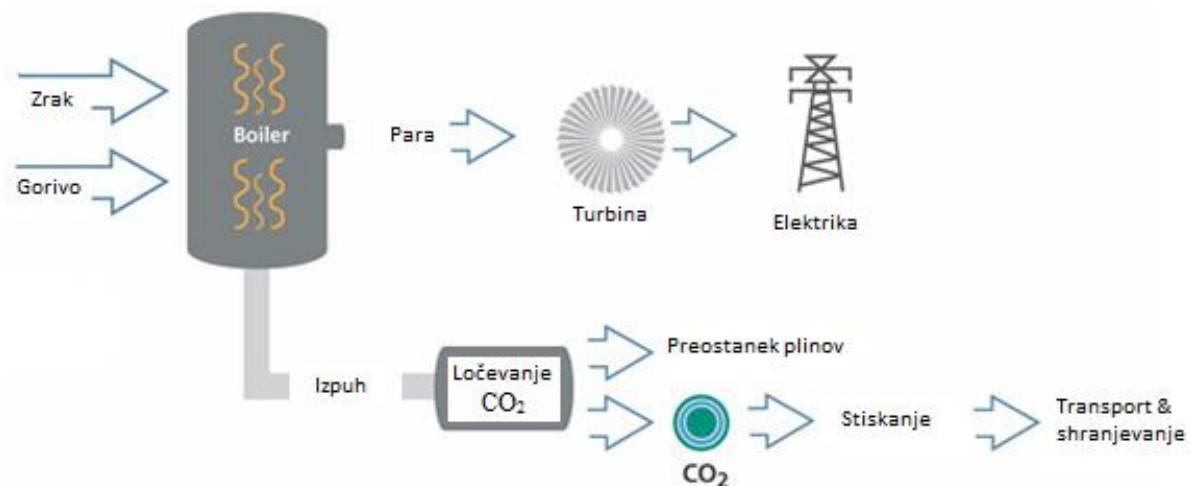
- **Po-zgorevalna metoda:**

Po-zgorevalna metoda se lahko doda na obstoječe ali nove elektrarne. Gorivo je vbrizgano v bojler, kjer izgoreva skupaj z zrakom. To proizvede paro, ki poganja turbine in dimne pline (ogljikov dioksid, dušik in voda). Plini potujejo skozi kemično čistilnico, ki loči CO<sub>2</sub>. Ta je, preden je pripravljen za transport in shranjevanje, zajet, stisnjen in dehidriran (Slika 7) (Global CCS institute, 2016).

Sistem je možno postaviti na že obstoječo elektrarno, torej bi ga lahko montirali (za pravo ceno) na tisoče obstoječih elektrarn po svetu. Razvijanje in testiranje izboljšanih materialov

bo v prihodnosti povečalo učinkovitost in zmanjšalo emisije CO<sub>2</sub> iz elektrarn. Po drugi strani pa se zajem CO<sub>2</sub> s to metodo odraža v izgubi neto moči za okoli 30 % in v zmanjšanju učinkovitosti za 11 %. V primeru uporabe te metode bi bilo torej za isto učinkovitost potrebno povečati moč elektrarne (Global CCS institute, 2016).

Slika 7: Shema po-zgorevalne metode



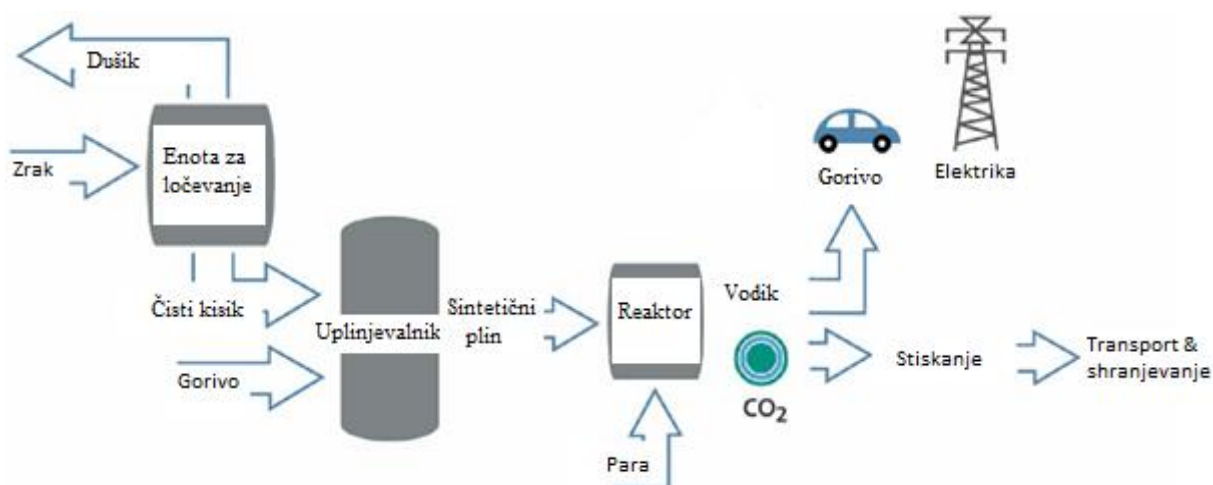
Vir: Prirejeno in povzeto po Carbon Capture & Storage Association, *What is CCS?*, 2016.

- **Pred-zgorevalna metoda:**

Ta metoda nam dovoljuje zajeti CO<sub>2</sub> in s tem maksimirati izhodno moč. Enota za ločevanje proizvede tok skoraj čistega kisika. Slednji teče v uplinjevalnik, kjer reagira z gorivom in tvori sintetični plin, ki je mešanica vodika, ogljikovega monoksida, ogljikovega dioksida in vode. Sintetičnemu plinu je dodana para, kar pretvori ogljikov monoksid v ogljikov dioksid in vodik. CO<sub>2</sub> je ujet iz dimnih tokov in je po stiskanju in dehidraciji pripravljen na transport in shranjevanje. Vodik je uporabljen za pogon turbin in generiranje elektrike (Slika 8). V prihodnosti bi ga lahko uporabili tudi kot transportno gorivo (Global CCS institute, 2016).

Proces ločevanja CO<sub>2</sub> po tej metodi se komercialno uporablja po vsem svetu, kar pomeni, da je postopek sam po sebi že dobro razvit. Poraba vode je nižja kot pri ostalih metodah. Neprestani razvoj večjih in bolj učinkovitih plinskih turbin bo v prihodnje še povečal učinkovitost elektrarn. Kljub temu, da je izguba energije manjša kot pri po-izgorevalni metodi, je slednja še vedno velika. Komercialno velike plinske turbine, ki kurijo vodik, je v elektrarnah v praksi potrebno šele preizkusiti (Global CCS institute, 2016).

Slika 8: Shema zajemanja CO<sub>2</sub> pred sežiganjem premoga



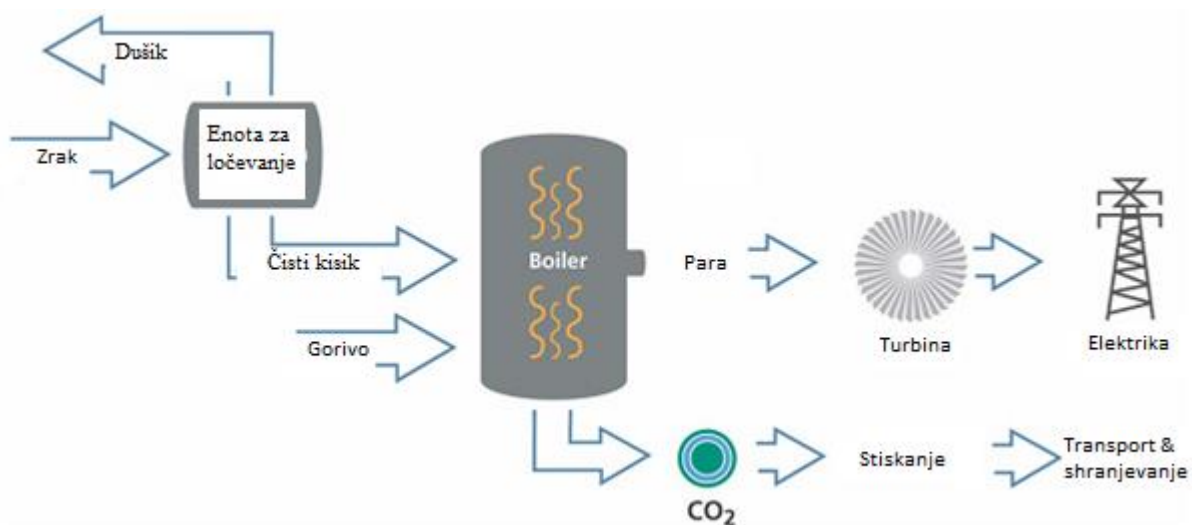
Vir: Prirejeno in povzeto po Carbon Capture & Storage Association, *What is CCS?*, 2016.

- **Metoda oxyfuel:**

Gorivo izgoreva v čistem kisiku in ne na zraku. Enota ločevanja zraka odstrani dušik iz zraka in s tem proizvede kisik. Slednji je skupaj z gorivom vbrizgan v boiler, kjer poteka zgorevanje. Nastane para, ki poganja turbine in s tem generira elektriko. Pri tem CO<sub>2</sub>, ostane ujet, zato ga stisnemo in dehidriramo ter s tem pripravimo na transport in shranjevanje (Slika 9) (Global CCS institute, 2016).

Oxyfuel metoda omogoča zelo visoko stopnjo zajema, saj je skoraj 100 %. Dodana procesna oprema je v večini sestavljena iz rotirajočih se delov in toplotnih izmenjevalnikov – to so sestavni deli, s katerimi imajo lastniki in operaterji elektrarn izkušnje (brez kemičnih operacij). Te metode ni možno razviti za obstoječe elektrarne. Elektrarna z oxyfuel izgorevanjem je integrirana elektrarna, kjer je tehnologija te metode popolnoma povezana z elektrarno. Nečistoče v gorivu lahko privedejo do dodatnega čiščenja CO<sub>2</sub> toka. Ta metoda zato ni primerna za manj kvalitetna goriva kot je npr. lignit. Metoda oxyfuel je dražja kot preostali dve metodi, saj je primernejša za nove elektrarne (Global CCS institute, 2016).

Slika 9: Shema zajemanja CO<sub>2</sub> po oxyfuel metodi



Vir: Prirejeno in povzeto po Carbon Capture & Storage Association, *What is CCS?*, 2016.

## 2.5 Transport

Transport je tista stopnja v procesu zajemanja in shranjevanja ogljika, ki povezuje vire in skladišča. Je element, ki preko cevovodov omogoča premik CO<sub>2</sub> od točke zajema do mesta skladiščenja. Cevovodi redno prevažajo velike količine zemeljskega plina, nafte in vode preko velikih razdalj, tako po kopnem kot v morju.

CO<sub>2</sub> se lahko transportira tako z ladjo kot tudi po cevovodu. Prevoz z ladjo se trenutno v zelo majhnem obsegu (10.000–15.000 m<sup>3</sup>) uporablja za industrijske namene, v prihodnosti pa bi ta način lahko postal privlačna možnost povsod, kjer leži priobalni vir CO<sub>2</sub> zelo daleč od primarne skladiščne lokacije. Ladje, ki se uporabljajo za prevoz utekočinjenega naftnega plina (UNP), so tudi primerne za transport CO<sub>2</sub>. Še zlasti zato, ker so polhladilni sistemi pod tlakom in hlajeni, CO<sub>2</sub> pa se lažje prevaža v tekočem stanju. Najnovejše ladje imajo kapaciteto do 200.000 m<sup>3</sup> in lahko prevažajo do 230.000 ton CO<sub>2</sub>. Vendarle pa z ladijskim prevozom stalen tok CO<sub>2</sub> ni zagotovljen, zato so v pristaniščih nujna vmesna skladišča za pretovarjanje. Trenutno se za transport večjih količin CO<sub>2</sub>, ki jih potrebujejo naftne družbe pri pridobivanju nafte, uporabljajo cevovodi. Po vsem svetu, največ v ZDA, že obstaja okoli 3000 km ogljikovodov. Ta način transporta je stroškovno učinkovitejši; njegova prednost je tudi, da zagotavlja stalen tok CO<sub>2</sub> od mesta zajema pa do mesta skladiščenja. Vsi obstoječi ogljikovodi so pod visokim tlakom, kar zagotavlja superkritične pogoje za CO<sub>2</sub>, v katerih ima CO<sub>2</sub> gostoto tekočine, a se obnaša kot plin. Količino, ki jo lahko transportira cevovod, določajo trije pomembni dejavniki: premer, tlak vzdolž cevi in debelina stene cevi (CO<sub>2</sub> GeoNet, 2011, str. 8).

Ogljikov dioksid ni strupena niti eksplozivna snov. Zato je njegov transport po cevovodu precej varnejši kot transport nekaterih drugih snovi, ki jih že dalj časa transportiramo po cevovodih. V primeru, da so stroški transporta po cevovodu visoki, količine majhne in razdalje kratke, so ladje in vlaki primernejši način transporta (IPCC, 2005, str. 5).

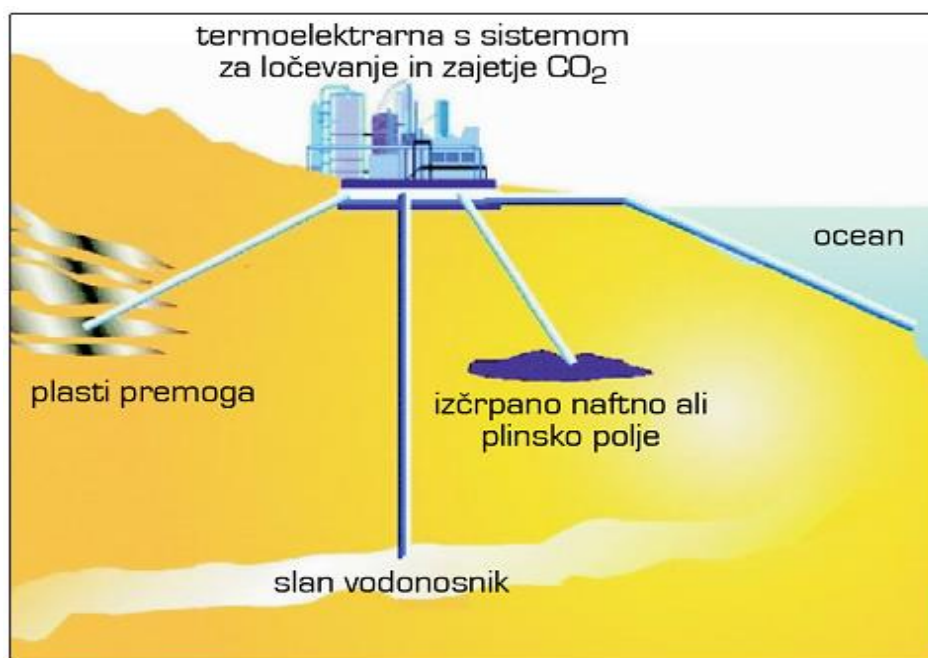
## 2.6 Skladiščenje

Po zajemu lahko CO<sub>2</sub> uskladiščimo ali pa ponovno uporabimo (npr. kot surovino pri proizvodnji brezalkoholnih pijač ali za spodbujanje rasti v rastlinjakih). Ker je tržišče za ponovno uporabo CO<sub>2</sub> trenutno omejeno, je treba večino izločenega CO<sub>2</sub> uskladiščiti. CO<sub>2</sub> lahko uskladiščimo v različnih geoloških plasteh (Slika 10), kot so (Metz, Davidson, de Coninck, Loos, & Meyer, 2005, str. 199):

- izčrpana naftna in plinska polja,
- globoki vodonosniki ali
- nekomercialne plasti premoga.

V preteklosti je bilo predlagano, da bi CO<sub>2</sub> lahko shranjevali v oceanu, vendar bi to le še povečalo zakisanost oceanov. Zato je ta način shranjevanja v skladu s posebnimi predpisi postal nezakonit.

Slika 10: Možni načini geološkega skladiščenja CO<sub>2</sub>



Vir: A. Gosar, Možnost zmanjšanja učinka tople grede z geološkim skladiščenjem CO<sub>2</sub> globoko pod zemljinim površjem, 2005, str. 202.

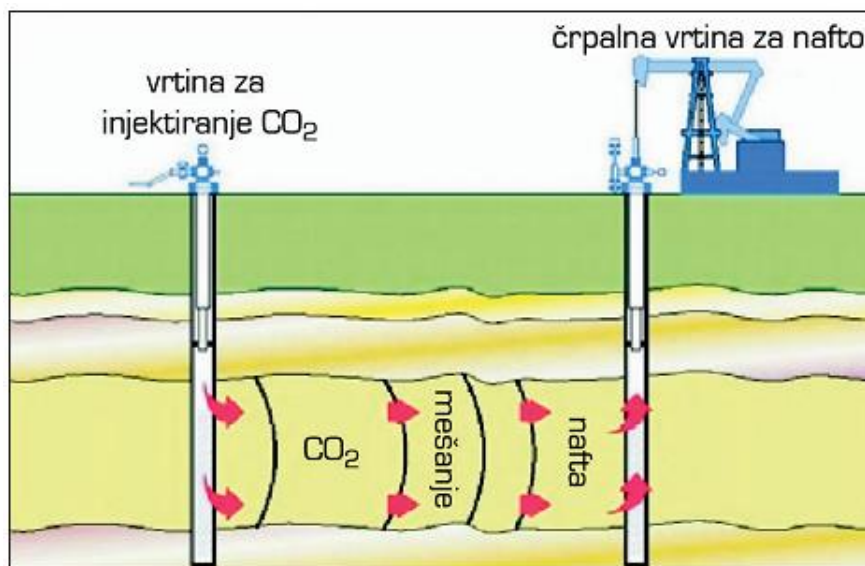
Skladiščenje ločenega in zajetega CO<sub>2</sub> v geoloških plasteh je kompleksno, saj moramo zagotoviti, da bo tam ostal več sto ali tisoč let. Zagotovljena mora biti popolna tesnost krovnih plasti. Drugi pogoj je ekonomski – strošek skladiščenja na tono CO<sub>2</sub> bo moral doseči ceno, ki bo primerljiva s cenami, s katerimi se bo trgovalo v okviru sheme trgovanja z emisijami. H gospodarnosti lahko precej pripomoremo, če z vtiskanjem CO<sub>2</sub> v geološko plast povečamo izdatnost naftnega ali plinskega polja oz. če pridobivamo metan iz premogove plasti (Davidson, Freund & Smith, 2001, str. 14).

Vsem načinom geološkega skladiščenja je skupno naslednje: v primerni globini mora obstajati geološka plast z dovolj visoko poroznostjo in prepustnostjo, da je sposobna sprejeti večje količine CO<sub>2</sub> v plinasti ali tekoči obliki; nad to »skladiščno« plastjo morajo obstajati neprepustne zaporne plasti, ki bodo zelo dolgo preprečevale migracijo CO<sub>2</sub> proti površju. Kemijska sestava kamnin in fluidov mora biti takšna, da tudi kemične reakcije uskladiščenega CO<sub>2</sub> ne bodo privedle do tega, da bi prišlo do uhajanja. Podrobne raziskave kažejo, da je difuzija zelo počasna in lahko traja stoletja ali tisočletja, četudi skladiščna plast ni popolnoma zatesnjena (Stevens & Gale, 2000).

### 2.6.1 Izčrpana naftna in plinska polja

Ta možnost skladiščenja je posebno privlačna, saj opuščena polja dokazano zadržujejo naravni plin in nafto na milijone let pa tudi njihova geološka zgradba je že dobro poznana iz časov črpanja.

*Slika 11: Shematski prikaz vtiskovanja CO<sub>2</sub> v naftno plast ob sočasnem povečanju količine izkoriščene nafte*



*Vir: Prirejeno in povzeto po J. Davidson, P. Freund & A. Smith, Putting carbon back into the ground, 2001, str. 14.*



Dodatno lahko z vtiskanjem CO<sub>2</sub> v produktivno plast pridobimo znatne nove količine nafte in plina (angl. *Enhanced Oil/Gas Recovery*, EOR, EGR – Pospešeno pridobivanje nafte/plina), ki bi sicer ostale neizkoriščene. Tovrstna metoda se uporablja pri poljih, ki so že precej izčrpana in bi jih v kratkem zaprli. Pri vtiskanju CO<sub>2</sub> v naftonosno plast (Slika 11) ta nafto izriva proti črpalni vrtini, delno pa se z njo tudi pomeša in zmanjša njeno viskoznost, kar dodatno pripomore k povečanju pritiska v plasti. Kombinacija teh procesov pravzaprav povečuje izdatnost naftnega ležišča. Približno polovica injiciranega CO<sub>2</sub> ostane v plasti, kjer je bila prej nafta, preostalega pa zajamejo na ustju črpalne vrtine in nato ponovno vtisnejo v produktivno plast (Gosar, 2005, str. 203).

Fuks (2011, str. 67) navaja, da se na podlagi geologije, geofizike in vrtinskih podatkov določa geološka formacija, primerna za skladiščenje. Najprej je treba oceniti sedimentni bazen in izdelati analizo primernosti skladiščenja na določenem območju. V svetu pripada okoli 75 % skupnega skladiščenja CO<sub>2</sub> skladiščem v izčrpanih ali delno izčrpanih plinskih oz. naftnih ležiščih.

Gospodarnost skladiščenja CO<sub>2</sub> s sočasnim povečanjem izdatnosti naftnih ležišč je že bila dokazana. V ZDA CO<sub>2</sub> skladiščijo na 74 naftnih poljih, v katera injicirajo okoli 33 milijonov ton CO<sub>2</sub> letno. Za zdaj prihaja večina CO<sub>2</sub>, ki se pri tem uporablja, iz naravnih virov, približno 3 milijone ton pa že zajemajo pri čiščenju zemeljskega plina, pri proizvodnji amonijaka in v drugih industrijah. Največji tovrstni projekt na svetu je polje Weyburn v Kanadi, kjer letno uskladiščijo 1,8 milijona ton CO<sub>2</sub>, ki nastaja pri proizvodnji plina iz premoga v tovarni na drugi strani meje z ZDA. Napovedi kažejo, da bodo v naslednjih 20 do 25 letih z vtiskanjem CO<sub>2</sub> povečali črpanje nafte in v tem času uskladiščili 19 milijonov ton CO<sub>2</sub> (Davidson et al., 2001, str. 14).

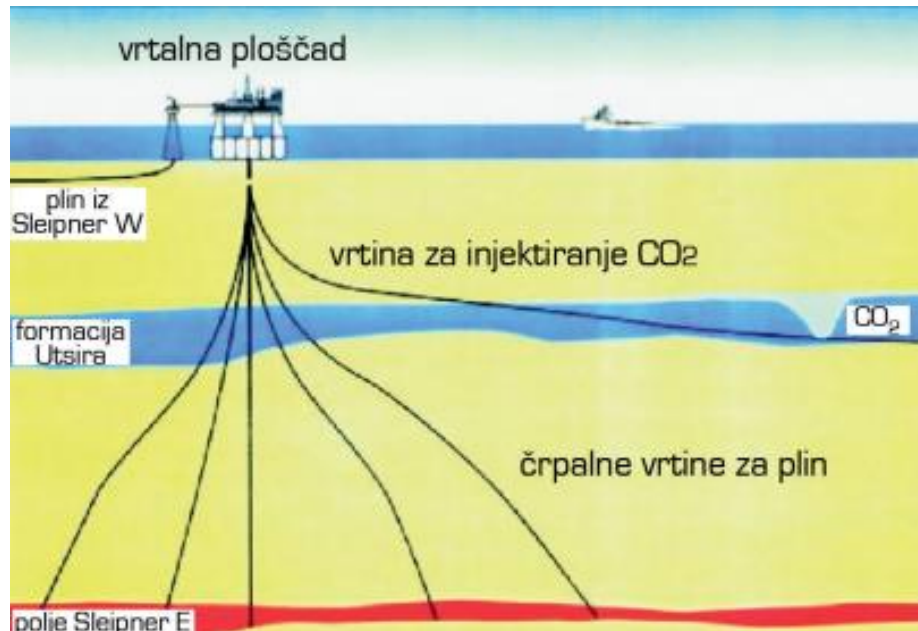
## **2.6.2 Slani vodonosniki**

Slani vodonosniki so geološke plasti, načeloma peščenjaki, katerih značilnost je, da so vodoprepustne in da lahko vsebujejo velike količine visoko mineralizirane vode. Te plasti so zelo dober potencial za skladiščenje CO<sub>2</sub>, saj so največje od vseh geoloških medijev. Vodonosnike najdemo v večini držav, lahko so zelo razprostranjeni in imajo velike kapacitete skladiščenja. Primerno geološko skladiščenje CO<sub>2</sub> mora izpolnjevati pogoje, kot so primerne karakteristike kolektorskih plasti, primerne pogoje vtiskovanja, zadostna kapaciteta, neprepustna zaporna plast ter primerno stabilno okolje (Fuks, 2011, str. 31–37).

Strokovnjaki ocenjujejo, da so vodonosniki s slano vodo največji potencial za geološko skladiščenje CO<sub>2</sub> na svetu. Če v porozno in prepustno plast, v kateri je slana voda, injiciramo CO<sub>2</sub>, se bo del raztopil v slani vodi in razširil po vodonosniku, del pa bo reagiral s kamnino in ostal tam trajno vezan (Slika 12). Najprimernejši so vodonosniki v globini, ki so večji od

800 m, saj je pri pritisku v teh globinah CO<sub>2</sub> utekočinjen in tako posledično uskladiščimo večjo količino (Gosar, 2005, str. 203).

Slika 12: Primer vtiskovanja CO<sub>2</sub> v slan vodonosnik (plinsko polje Sleipner)

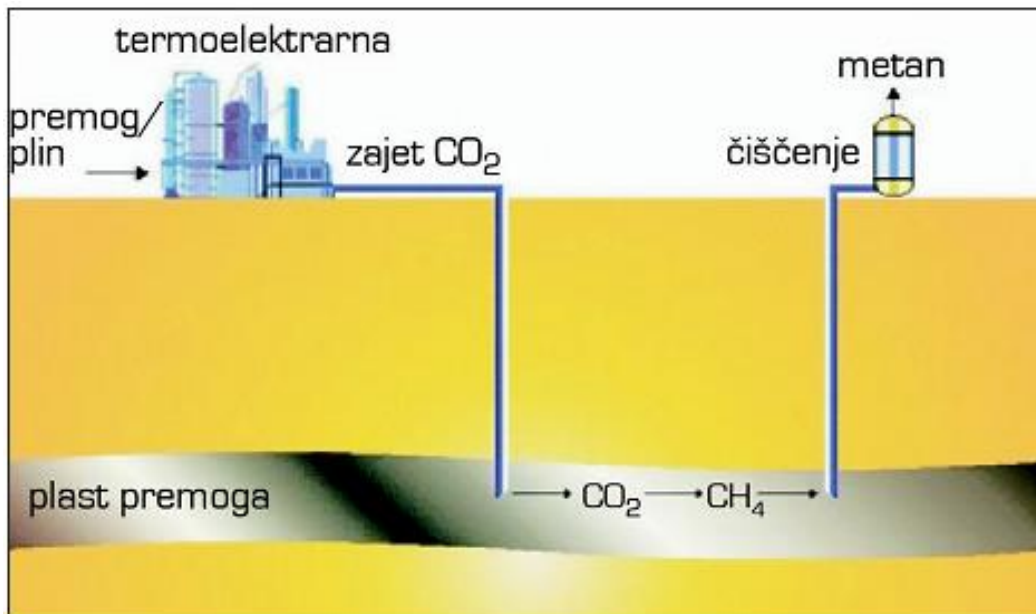


Vir: Prirejeno in povzeto po J. Davidson, P. Freund, & A. Smith, *Putting carbon back into the ground*, 2001, str. 16.

### 2.6.3 Nekomercialne plasti premoga

Vseh premogovih plasti ni mogoče odkopati – bodisi zato, ker so pretanke, bodisi ker ležijo pregloboko. V plasteh premogov se navadno nahaja metan. Izkazalo se je, da se pri vtiskanju v premogove plasti CO<sub>2</sub> bolje veže s premogom kot metan. Razlog tiči v tem, da ima CO<sub>2</sub> večjo adsorpcijsko zmožnost in se adsorbira na površine por v premogu (Fuks, 2011, str. 31). Količina metana, ki jo najdemo v plasti premoga, je odvisna od starosti premoga, globine in njegove geološke zgodovine. Lahko znaša do 25 m<sup>3</sup> na tono premoga. Ker je metan iz premoga običajno zelo čist (> 90 %), ga lahko direktno uporabimo. Če v premogovo plast skozi injekcijsko vrtino vtiskamo CO<sub>2</sub>, bo ta iztisnil iz nje metan, ki ga zajamemo s produkcijsko vrtino (Slika 13). Seveda je to moč narediti le v plasteh premoga, ki se jih ne namerava odkopavati. To so plasti, ki ležijo pregloboko, lahko pa so ocenjene zaloge premajhne. Laboratorijske raziskave so pokazale, da lahko iz premogovne plasti z injiciranjem CO<sub>2</sub> izkoristimo kar 90 % ali celo več metana. Količina CO<sub>2</sub>, ki jo pri tem uskladiščimo v premogovo plast, je vsaj dvakrat večja od količine pridobljenega metana (Davidson et al., 2001, str. 16).

Slika 13: Shematski prikaz vtiskovanja  $\text{CO}_2$  v premogovo plast ob sočasnem pridobivanju metana



Vir: Prirejeno in povzeto po J. Davidson, P. Freund, & A. Smith, *Putting carbon back into the ground*, 2001, str. 17.

Metodo pospešenega iztiskanja metana s  $\text{CO}_2$  iz premogovnih slojev imenujemo spodbujeno pridobivanje metana iz premogovnega sloja (Enhanced Coal-bed Methane Recovery – ECBMR).

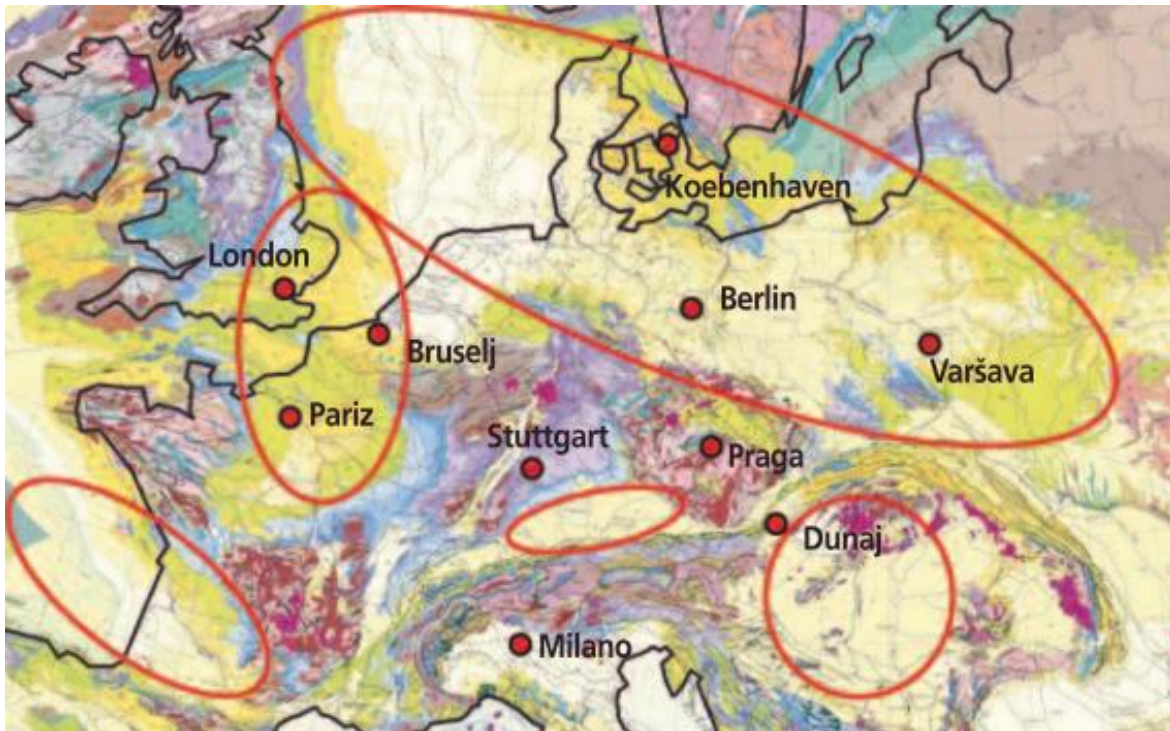
#### 2.6.4 Primerne skladiščne lokacije po Evropi

Sedimentni bazeni so razširjeni po celi Evropi: pod Severnim morjem, na kopnem in okoli alpske verige. Veliko formacij v evropskih sedimentnih bazenih izpolnjuje pogoje za geološko skladiščenje, zato raziskovalci tam že kartirajo in raziskujejo. Ostala evropska območja so zgrajena iz konsolidirane kamnine Zemljine skorje (na primer večji del Skandinavije), zato tam ni primernih kamnin za skladiščenje  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2$ GeoNet, 2011, str.7).

Primer potencialnega skladišča je na primer južni permski bazen, ki se razteza od Anglije do Poljske (največja elipsa na Sliki 14). Sedimenti so bili podvrženi kamninotvornim procesom, po katerih je nekaj por ostalo zapolnjenih s slano vodo, nafto ali zemeljskim plinom. Plasti gline med poroznimi peščenjaki so se preobrazile v nizkoprepustne plasti, ki preprečujejo dvigovanje fluidov proti površju. Veliko peščenih formacij je v globinah od 1 do 4 km, kjer je tlak dovolj visok za skladiščenje  $\text{CO}_2$  v gosti fazi. Ostali primeri so pariški sedimentni bazen v severni Franciji, alpsko-predgorski bazen severno od Alp in panonski bazen v

vzhodno-srednji Evropi (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 2; CO<sub>2</sub>GeoNet, 2011, str. 7).

*Slika 14: Geološka karta Evrope s prikazom glavnih sedimentnih bazenov (rdeče elipse), znotraj katerih je možno najti primerne plasti za skladiščenje CO<sub>2</sub>*



*Vir: CO<sub>2</sub>GeoNet, Kaj geološko skladiščenje CO<sub>2</sub> pravzaprav pomeni?, 2011, str. 7.*

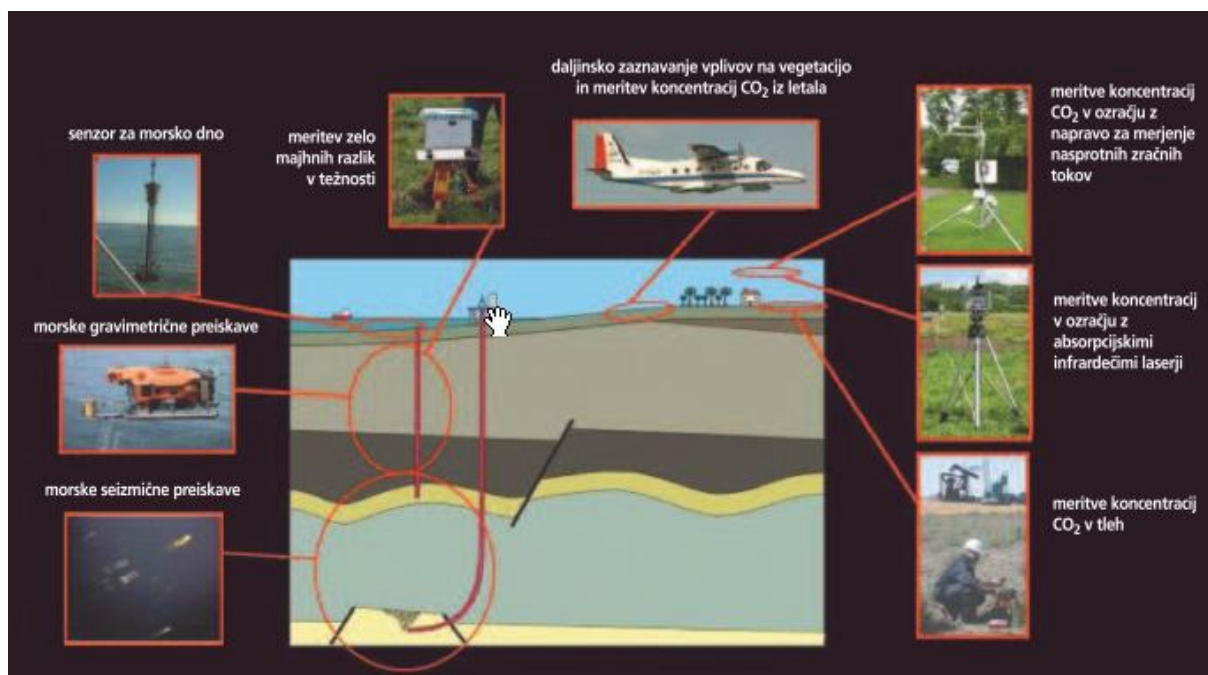
Polja ogljikovodikov se nahajajo v več sedimentnih bazenih. Zlasti območje Severnega morja ima velik gospodarski pomen, ki vsebuje številna pomembna polja ogljikovodikov, večinoma v norveškem in britanskem sektorju. Veliko polj ogljikovodikov je tudi na Nizozemskem, Madžarskem, v Nemčiji in Romuniji.

## 2.7 Opazovanje skladiščnih lokacij

Opazovanje oziroma monitoring se uporablja za različne namene. Eden izmed njih je obratovalne narave, da izboljšamo nadzor in optimizacijo procesa vtiskovanja. Bistvena je tudi skrb za okolje in preprečevanje vplivov na ljudi, živalstvo in ekosistem v bližini skladiščnih lokacij, poleg tega pa tudi za blaženje globalnih podnebnih sprememb. Z opazovanjem zagotavljamo tudi obveščenost javnosti, ki je ključna za razumevanje varnosti skladiščenja, in pridobitev zaupanja širše javnosti. Za vzpostavitev zaupanja trga v CCS tehnologijo je pomemben tudi finančni vidik. Poleg tega igra pomembno vlogo pri preverjanju shranjenih količin CO<sub>2</sub>, ki jih prijavljamo kot »preprečene emisije« v prihodnjih fazah trgovanja z emisijami. Širok nabor opazovalnih metod se že uporablja v obstoječih

demonstracijskih in pilotnih projektih. To so tako metode, ki neposredno spremljajo CO<sub>2</sub>, kot metode, ki posredno spremljajo njegov vpliv na kamnine, fluide in okolje. Pod neposredne metode štejemo na primer analize fluidov iz globokih vrtin ali meritve koncentracij plina v tleh in ozračju. Med posredne metode pa štejemo geofizikalne metode, meritve sprememb pH v podzemni vodi ali meritve spremembe tlaka v vrtini. Opazovanje je potrebno tako v kopenskih kot v morskih skladiščih CO<sub>2</sub>. Metoda se izbira glede na tehnične in geološke značilnosti skladiščne lokacije in ciljev, zaradi katerih opazovanje izvedemo. Mnoge od številnih metod opazovanja so dobro utečene v naftni in plinski industriji (Slika 15), zdaj pa so jih prilagodili za potrebe skladiščenja CO<sub>2</sub>. V teku so tudi raziskave za optimizacijo obstoječih metod ter razvoj inovativnih tehnik. Namen tega je izboljšanje ločljivosti in zanesljivosti ter s tem zmanjšanje stroškov. Ob tem bi radi avtomatizirali obratovanje in dokazali učinkovitost (Benson, & Cole, 2008, str. 329–330).

*Slika 15: Metode, ki so na voljo za spremljanje različnih komponent skladiščne lokacije*



Vir: CO<sub>2</sub>GeoNet, *Kaj geološko skladiščenje CO<sub>2</sub> pravzaprav pomeni?*, 2011, str. 15.

## 2.8 Status javnosti glede CCS

V zadnjem času se tudi splošna javnost srečuje s konceptom CCS tehnologije. Zaradi tega se njihovo mnenje vedno bolj oblikuje. Kljub temu se večina javnosti še ne zaveda pomembnosti te tehnologije, zato nimajo še izoblikovanega mnenja. Zavedanje potenciala CCS tehnologije je prvi korak proti pridobivanju javne naklonjenosti za njeno uvedbo. Vsa komunikacijska prizadevanja bi morala temeljiti na visoko kakovostnih podatkih. Za lažje sprejemanje tehnologije s strani širše javnosti bodo morali industrijski odločevalci in

oblikovalci vladne politike razviti dobro strukturirano izobraževanje in programe ozaveščanja. Za uvedbo tehnologije CCS bo potrebno široko razumevanje in dolgoročno zavezanost številnih strani, kot so na primer lokalne vlade, javnost in okoljske vladne organizacije, industrijske in trgovinske organizacije, akademske in znanstvene ustanove, finančne inštitucije, mediji in mednarodne organizacije. Glede javnega mnenja o tehnologiji CCS je bilo izvedeno več študij. V eni izmed njih Duan (2010) pravi, da javnost ve precej manj o tehnologiji CCS, kot pa o ostalih tehnologijah obnovljivih virov, kot so na primer sončna in vetrna ali poleg tega tudi nuklearna tehnologija. Kljub temu so nekateri do določene mere pokazali podporo do razvoja CCS na Kitajskem. Analiza kaže, da ima javnost v Severni Ameriki v primerjavi z Evropo precej bolj jasno stališče o CCS (Surampalli et al., 2015, str. 28).

Javne razprave o CCS vključujejo ohranitev CCS tehnologije in poudarjajo njeno pomembno vlogo v strategiji zmanjšanja CO<sub>2</sub> ter dvigujejo ozaveščenost o relevantnih vprašanjih s tega področja. Nevladne organizacije, katerim je v interesu izboljšanje okoljske politike, bodo še naprej spremljale in razvijale poglede na veliko vlogo, ki je namenjena CCS v nizko ogljični prihodnosti. Pilotni in demonstracijski projekti bodo pritegnili zanimanje in skrb lokalnih skupnosti. Javna sprejemljivost CCS tehnologije bo odvisna od rezultatov vseh teh razprav. Javnosti je potrebno na pravi način sporočiti, da greta CCS tehnologija in varnostna strategija z roko v roki. Le na tak način bo mogoče pridobiti ustrezna soglasja in naklonjenost javnosti, ki bo privedla k izvajanju CCS tehnologije (Surampalli et al., 2015, str. 30–31).

### **3 OCENA STROŠKOV PROCESA ZAJEMA IN SKLADIŠČENJA CO<sub>2</sub>**

Stroški tehnologije CCS so odvisni od mnogih dejavnikov, kot so cena goriva, stroški kapitala in stroški potencialnih regulativnih zahtev, kot je opazovanje mesta skladiščenja. Če temu dodamo še negotovosti povezane z razvojem tehnologije, regulativnim okoljem, itd., ugotovimo, da je dejavnikov, ki vplivajo na stroške, veliko. Kljub temu je potrebna velika investicija za implementacijo CCS tehnologije. Toda brez CCS je praktično nemogoče, da bi do leta 2050 dosegli zastavljene cilje (Surampalli et al., 2015, str. 21).

#### **3.1 Stroški zajema**

Zajem CO<sub>2</sub> v termoelektrarnah zahteva dodatno energijo, kar vpliva na povečanje cene elektrike. Povečanje je odvisno od vrste elektrarne (na premog, na plin) in cene goriva. Različne raziskave, med drugimi tudi program Greenhouse Gas pri IEA, so pokazale, da zajem CO<sub>2</sub> poveča stroške proizvodnje elektrike za od 1,3 do 3 cente na kWh. Drugi način prikazovanja dodatnih stroškov je glede na količino odstranjenega CO<sub>2</sub>. Tona odstranjenega CO<sub>2</sub> trenutno stane med 25 in 60 EUR. Od raziskav, ki že potekajo, si obetamo prepolovitev teh stroškov (CO<sub>2</sub>Net, 2008, str. 3).

Stroški zajema in stiskanja CO<sub>2</sub> vsebujejo (Šušteršič, Bole, & Vončina, 2010, str. 15):

- Obratovalne in vzdrževalne stroške

Sestavljeni so iz stroškov dela in materialnih stroškov. Fiksni stroški absorpcijske enote so ocenjeni na 4 % začetnih investicijskih stroškov. Poleg tega se lahko uporablja variabilni faktor O&V stroškov, ki upošteva operativni čas.

- Investicijske stroške

Investicijski stroški so odvisni od velikosti opreme in koncentracije CO<sub>2</sub> v dimnih plinih. Zajemanje ogljikovega dioksida prispeva k 44–87 % zvišanju investicijskih stroškov referenčnega obrata, hkrati pa omogoča zmanjšanje CO<sub>2</sub> za približno 80–90 %. Stroški investicije zajemanja in stiskanja so v območju med 561 in 835 EUR/kW.

Za večino velikih točkovnih virov CO<sub>2</sub>, kot so na primer elektrarne, so stroški zajema CO<sub>2</sub> največji del celotnih stroškov CCS. Pod stroške zajema spadajo tudi stroški stiskanja CO<sub>2</sub> na tlak, ki je primeren transportu po cevovodu. S samim zajemom CO<sub>2</sub> in z industrijskimi procesi elektrarne so povezani številni tehnični in ekonomski dejavniki. Zaradi teh dejavnikov so lahko skupni stroški zajema za posamezno elektrarno različni (Metz et al., 2005, str. 341).

### **3.2 Stroški transporta**

Transport je stopnja tehnologije CCS, ki povezuje izvore in skladišča. Pokrit je z regulativnim okvirom, ki skrbi za javno varnost in ureja transport in cevovode. Ko govorimo o transportu velikih količin na dolge razdalje, so cevovodi trenutno najboljša izbira. Cevovodi konstantno prevažajo velike količine plinov in tekočin preko tisoče kilometrov, tako po kopnem kot po morju (Šušteršič, et al., 2010, str. 16).

Stroške cevovodov je mogoče razdeliti na štiri dele (Šušteršič, et al., 2010, str. 16):

- Stroški izgradnje (cevi, prevleka cevi, katodna zaščita, telekomunikacijska oprema, po potrebi tudi spodbujevalna postaja),
- stroški namestitve (delo),
- stroški delovanja in vzdrževanja (stroški opazovanja, vzdrževanja in porabljene energije)
- ostali stroški (načrtovanje, vodenje projektov, regulativne pristojbine, stroški zavarovanja, nenačrtovana nadomestila ...).

Poleg naštetih kategorij transportnih stroškov je pomemben dejavnik tudi teren. Stroški plinovodov, ki potekajo po kopnem, se lahko povečajo za 50–100 % ali več, če je načrtovano področje plinovoda gosto poseljeno. Stroški narastejo tudi na goratih področjih, naravnih rezervatih, na območjih rek in avtocest ter v zelo urbaniziranih področjih zaradi dostopnosti in potrebe po dodatnih varnostnih meritvah. Plinovodi na morju običajno delujejo pod višjimi tlaki in nižjimi temperaturami kot kopenski plinovodi. Pogosto so za 40–70 % dražji. Prav tako bi bilo cenejše zajemati CO<sub>2</sub> iz več virov in jih transportirati po enem samem plinovodu kot pa več manjših količin po ločenih plinovodih. To je razlog, da se bodo prvi in manjši projekti soočali z razmeroma visokimi transportnimi stroški (Parikh, 2010, str. 70–71; Šušteršič, et al., 2010, str. 16).

Transport po plinovodu se pogosto obravnava kot edina ekonomsko upravičena transportna rešitev za prenos emisij, ki jih emitira obrat industrijskega obsega. Pretekle izkušnje v plinsko-naftnem sektorju in v CO<sub>2</sub> industriji za pospešeno pridobivanje nafte (EOR) nam govorijo, da se kopenski transport sooča z nekaterimi tehnološkimi ovirami. CO<sub>2</sub> plinovodi so karakterizirani z visokimi predhodnimi stroški in nepovratnimi investicijskimi stroški. Variabilni stroški so razmeroma majhni in zajemajo predvsem izdatke za pogon kompresorjev (Oei, Herold, & Mendelevitch, 2014, str. 519).

Zero Emissions Platform (2011, str. 32, v nadaljevanju ZEP) predstavlja obsežno raziskavo glede stroškov transporta CO<sub>2</sub> za različne izvedbe transportnih omrežij. Izračunani stroški transporta so od 2 do 20 EUR/tCO<sub>2</sub>, odvisno od nastavitve omrežja. Povezani stroški kapitala so v razponu med 0,08 in 0,15 EUR/(tCO<sub>2</sub> x km).

Za obratovalne in vzdrževalne stroške ZEP podaja vrednosti od 0,005 do 0,01 EUR/(tCO<sub>2</sub> x km). IEA so prišli do podobnih stroškov delovanja med 0,01 do 0,025 EUR/km/leto, odvisno od premera plinovoda in skupne dolžine plinovoda, vključno s stroški kompresijskih postaj (Oei et al., 2014, str. 520).

V primeru transporta z ladjo je strošek sestavljen iz mnogo elementov. Poleg investicije v ladje so potrebne še investicije v objekte za natovarjanje in raztovarjanje ter enote za utekočinjanje in umestno skladiščenje. Nadaljnji stroški so stroški delovanja (delo, gorivo ladij, električna energija, pristaniške pristojbine ...) in vzdrževanja (Šušteršič, et al., 2010, str. 16).

### **3.2.1 Transportni stroški do skladiščnih lokacij v Sloveniji in sosednjih državah**

Transport CO<sub>2</sub> na trajne skladiščne lokacije, ki se nahajajo v Sloveniji, bi se izvajal izključno po plinovodih. Njihova natančna smer bi bila opredeljena v okviru prostorskega načrtovanja in presoje vplivov na okolje.



Glede na to, da je v Sloveniji shranjevanje CO<sub>2</sub> trenutno zakonsko prepovedano, obstaja velika verjetnost transporta na lokacije izven Slovenije. Transport bi potekal po plinovodih, ki potekajo po kopnem, v nekaterih primerih pa tudi v kombinaciji s plinovodi, ki potekajo po morju. Obstaja tudi možnost transporta po plinovodu do luke Koper in od tam z ladjami do območja shranjevanja v Severnem morju ali kje drugje.

Poleg bloka 6 obstajajo v Sloveniji še nekateri drugi veliki stacionarni onesnaževalci, ki lahko izvajajo tehnologijo zajema CO<sub>2</sub>. Poleg TE Šoštanj so na spodnji sliki (Slika 16) prikazani še trije, in sicer TE-TOL Ljubljana, TE Trbovlje in Cementarna Trbovlje. Na isti sliki je prikazano obstoječe plinovodno omrežje. Prenosno omrežje, ki bi bilo namenjeno transportu ogljikovega dioksida, bi verjetno potekalo v bližini obstoječega plinovoda. Zajeti CO<sub>2</sub> iz vseh bližnjih virov bi lahko transportirali po istih plinovodih, kar bi znižalo stroške transporta.

*Slika 16: Prenosno omrežje plinovoda in viri emisij, ki so primerni za nadgradnjo s CCS tehnologijo*



*Vir: A. Šušteršič, A. Bole & R. Vončina, CO<sub>2</sub> capture readiness of Unit 6 in Thermal power plant Šoštanj (Addition), 2010, str. 18.*

### 3.3 Stroški skladiščenja

Stroški skladiščenja so odvisni od naslednjih lastnosti:

- način skladiščenja (kopno, morje),
- globina,
- geološka formacija (izčrpana naftna in plinska polja, slani vodonosniki ali nekonvencionalne plasti premoga).

Nadaljnji vpliv na stroške skladiščenja imajo tako vrtine (število, razmik in stroški vrtin) kot tudi stroški pripadajočih objektov. Tako cena vrtine kot stiskanja se povečuje z globino. Stroški izvrtine so odvisni od specifičnosti tehnologije, lokacije, obsega delovanja in lokalnih predpisov (Šušteršič, et al., 2010, str. 20).

Stroški skladiščenja so zelo odvisni od oblike skladiščenja. Cena za skladiščenje v vodonosnike ter v izpraznjena naftna in plinska polja bo znašala od 10 do 20 EUR za tono CO<sub>2</sub>. Če se s skladiščenjem pridobi dodatna nafta ali plin, lahko strošek skladiščenja tone CO<sub>2</sub> znaša celo manj kot 0 EUR. Z drugimi besedami: prednosti kompenzirajo stroške, kar lahko naredi skladiščenje donosno (CO<sub>2</sub>GeoNet, 2008, str.3).

Po zadnjih ocenah Skupnega raziskovalnega središča bo prva generacija elektrarn CCS za okrog 60–100 % dražja od običajnih elektrarn, odvisno od izbrane tehnologije za zajemanje CO<sub>2</sub>. Stroški bodo po uvedbi elektrarn CCS zaradi dejavnosti na področju raziskav in razvoja ter zaradi ekonomije obsega manjši. Stroški zajemanja CO<sub>2</sub> za industrijske uporabe pa bodo variirali glede na uporabo, a bi lahko bili v številnih primerih zaradi velike koncentracije CO<sub>2</sub> nižji od stroškov proizvodnje električne energije (European Commission, 2013).

Stroški, povezani s CCS, se razlikujejo glede na gorivo, tehnologijo in vrsto shranjevanja, vendar večina izračunov kaže, da se gibljejo med 30 in 100 EUR na shranjeno tono CO<sub>2</sub>, tj. za termoelektrarne na premog v povprečju 40 EUR na tono CO<sub>2</sub>, ki se ne spusti v ozračje, in 80 EUR za elektrarne na zemeljski plin, k čemer je treba prišteti še stroške prevoza in shranjevanja. Po pričakovanjih se bodo ti stroški v dobri meri zmanjšali, ko bodo dokazane tržne prednosti tehnologije (European Commission, 2013).

Stroški skladiščenja so odvisni od raznih dejavnikov, kot so vrsta skladiščenja, globina shranjevanja, prepustnost, število injekcijskih točk, tlak vbrizgavanja itd. Zatorej se skupni stroški skladiščenja precej razlikujejo v različnih raziskavah (Oei et al., 2014, str. 521).

Mnogi kritiki so mnenja, da bi lahko CCS drastično povečala stroške proizvodnje električne energije. IPCC (2005, str. 10) ocenjuje, da bo uporaba procesa CCS v termoelektrarnah privedla do povečanja stroškov proizvodnje električne energije za 40–85 % in 20–55 % za

elektrarne novega tipa IGCC (kombiniran plinsko parni proces s predhodnim uplinjanjem premoga). Dejanski strošek bo verjetno še večji, glede na to, da učinkovitost zajemanja CO<sub>2</sub> za te elektrarne ni 100 % (~80–90 %). Poleg tega nekaj CO<sub>2</sub> pri procesu CCS tudi uide.

Stroški CCS na eni strani vključujejo stroške infrastrukture za zajemanje, prevoz in shranjevanje CO<sub>2</sub>, na drugi strani pa stroške obratovanja infrastrukture za shranjevanje CO<sub>2</sub>. Pri shranjevanju, transportu in vbrizgavanju CO<sub>2</sub> se porabi nekaj energije. Pri sedanjih cenah tehnologije je začetna naložba za 30 do 70 % višja kot pri »standardnih« elektrarnah. Tudi operativni stroški so precej višji od stroškov elektrarn na premog, ki niso opremljene s tehnologijo CCS. Ogljik se bo torej zajemal in shranjeval le, če bo cena tone preprečenih emisij CO<sub>2</sub> nižja od cene ogljika (Evropski parlament, 2008). Trenutna cena emisijskega kupona je znatno prenizka za ta pogoj. Strokovnjaki ocenjujejo, da bi se morala cena gibati okrog 30 EUR, če bi želeli, da ima trgovalna shema vpliv na podjetja. Trenutno je onesnaževanje enostavno prepoceni, da bi shema delovala kot vzpodbuda (Teffer, 2016).

## **4 ZAJEM IN SKLADIŠČENJE V IZBRANIH DRŽAVAH ČLANICAH**

Mednarodna skupnost je potrdila, da je treba zavoljo preprečevanja nevarnih podnebnih sprememb globalno segrevanje zadržati pod 2 °C v primerjavi s predindustrijskimi temperaturami. Za doseg tega cilja bo v prihodnjih desetletjih treba precej zmanjšati svetovne emisije CO<sub>2</sub> in drugih toplogrednih plinov. Ena od tehnologij, ki lahko znatno pripomore k temu je zajemanje in shranjevanje ogljika. EU, danes odgovorna za približno 1 % globalnih toplogrednih plinov, je uvedla zavezujočo zakonodajo za zmanjšanje svojih emisij do leta 2020 na 20 % nižjo raven v primerjavi z letom 1990. Prav tako napoveduje, da bo znižanje povečala na 30 %, če bodo večja gospodarstva v razvitem svetu in državah v razvoju soglašala, da prevzamejo svoj pošten delež prizadevanj. Dolgoročneje se je EU zavezala, da bo v sklopu ukrepov, ki bodo zahtevani od razvitega sveta, do leta 2050 omejila svoje emisije na 80–95 % nižjo raven kot v letu 1990. Evropska komisija je marca 2011 objavila program, ki je načrtal stroškovno učinkovit prehod na konkurenčno nizkoogljično evropsko gospodarstvo, ki bo potrebno za to veliko znižanje. Raziskave, razvoj zajemanja in shranjevanja ogljika ter prikaz in zgodnje uveljavljanje igrajo pomembno vlogo pri zagotavljanju varne, stroškovno učinkovite in obsežne uporabe (European Commission, 2012b).

### **4.1 Zakonodajni okviri in direktive v EU**

Aprila leta 2009 je Evropska unija sprejela Direktivo (2009/31/EC), ki ureja geološko shranjevanje CO<sub>2</sub>. S to Direktivo želi EU zagotoviti varno izvajanje zajemanja in shranjevanja ogljika ter da se, če je le mogoče, prepreči in izloči vsako tveganje za okolje in zdravje ljudi. Direktiva vzpodbuja pravni okvir za okolju varno geološko shranjevanje ogljikovega dioksida za ublažitev podnebnih sprememb. Glavni cilj direktive je zagotoviti,

da ni znatnega tveganja za uhajanje CO<sub>2</sub> ter tveganja za okolje in zdravje ljudi, in preprečiti negativne učinke na varnost transportnega omrežja ali območja shranjevanja. Direktiva določa zahteve, ki se nanašajo na celotno življenjsko dobo območja shranjevanja. Vsebuje tudi določbe o sestavnih delih CCS, povezanih z zajemanjem in transportom, čeprav ta področja v glavnem pokriva obstoječa okoljska zakonodaja EU, kot je direktiva o presoji vplivov. Omenjena direktiva se uporablja za geološko shranjevanje na ozemlju držav članic in za skladišča v geoloških formacijah s kapaciteto več kot 100.000 ton. Direktiva omogoča vtiskanje do sedem milijonov ton CO<sub>2</sub> do leta 2020 in do 160 milijonov ton do leta 2030. Glavni namen je trajno zadrževanje CO<sub>2</sub> v geoloških formacijah in preprečevanje negativnih vplivov in tveganj (European commission, 2014).

Direktiva vzpostavlja grob pravni okvir za varno geološko shranjevanje CO<sub>2</sub> in uvaja visoke standarde, ki naj bi zagotavljali varnost in pomagali Evropi pri doseganju ciljev v boju proti podnebnim spremembam. Direktiva daje prednost varstvu okolja in zdravju ljudi, in sicer z namenom, da se zmanjšajo tveganja in odpravijo morebitni negativni učinki. Osredotoča se na shranjevanje, ki je sestavni del verige zajemanja in shranjevanja ogljika, medtem ko sta zajemanje in transport vključena v drugi zakonodaji EU. Direktiva o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja iz leta 2008 ureja zajemanje CO<sub>2</sub> iz obratov ter učinek na okolje in človekovo zdravje. Vsakršno vbrizgavanje CO<sub>2</sub> v slane vodonosnike mora biti v skladu z zakonodajo EU o varovanju podtalnic pred onesnaževanjem in poslabšanjem (European commission, 2012b, str. 3). Ta direktiva državam nalaga, da preverijo možnosti skladiščenja ogljika in če teh ni, to tudi znanstveno utemeljijo.

Države članice EU se lahko svobodno odločijo, ali bodo dovolile, da se na njihovem ozemlju izvaja geološko shranjevanje CO<sub>2</sub>. Če se država odloči, da bo dovolila to dejavnost na svojem ozemlju, se mora uskladiti z direktivo. Oceniti mora razpoložljive zmožljivosti shranjevanja na posebnih območjih ali na svojem celotnem ozemlju, tudi tako, da odobri raziskovanje. Brez dovoljenja ne sme potekati nobeno raziskovanje, dovoljenja pa morajo biti izdana v skladu s preglednimi, objektivnimi merili. Dovoljenja morajo zajemati omejeno območje in ne smejo trajati dlje, kot je potrebno za izvedbo raziskovanja, lahko pa se podaljšajo, če je to potrebno za dokončanje zadevnega izkoriščanja (European commission, 2012b, str. 3).

Določitev, ali je geološka formacija primerna za skladiščenje, mora temeljiti na popolnem opisu značilnosti in ocenitvi potencialnega skladišča in njegove okolice. Potrebno je uporabiti merila, navedena v direktivi. Ta vključujejo razvoj računalniških modelov in simulacij vbrizgavanja CO<sub>2</sub>, oceno tveganja in opredelitev potencialnih nevarnosti, še posebej uhajanja CO<sub>2</sub>. Morebitni razvijalci bodo morali upoštevati prebivalce, ki živijo na okoliškem območju, interese lokalnih vrst in habitatov ter pripraviti analizo potencialnih učinkov na okolje in zdravje ljudi (Metz et al, 2005, str. 31).

V začetku leta 2011 je začela veljati Direktiva 2010/75/ES o industrijskih emisijah (IED), ki predstavlja prenovitev dosedanjega svežnja zakonodaje iz področja celovitega preprečevanja in nadzovanja onesnaževanja (IPPC). Med pomembnimi novostmi je tudi sprememba IPPC liste v prilogi te direktive. Na njej so navedene številne nove dejavnosti, ki za obratovanje potrebujejo IPPC okoljevarstveno dovoljenje. Med njimi je pod točko 6.9 navedeno tudi »Zajemanje tokov CO<sub>2</sub> iz naprav, navedenih v tej direktivi, za namene geološkega shranjevanja v skladu z Direktivo 2009/31/ES«. To pomeni, da morajo biti obrati, ki emitirajo veliko količine CO<sub>2</sub> (predvsem velike kurilne naprave nad 300 MW) in bodo imeli inštalirane naprave za zajem CO<sub>2</sub>, po 6. juliju 2015 skladni z Direktivo 2010/75/ES. Za to bodo torej za obratovanje od navedenega datuma dalje potrebovali okoljevarstveno dovoljenje (Žumbar, 2011, str. 10).

## **4.2 Pregled ciljev držav**

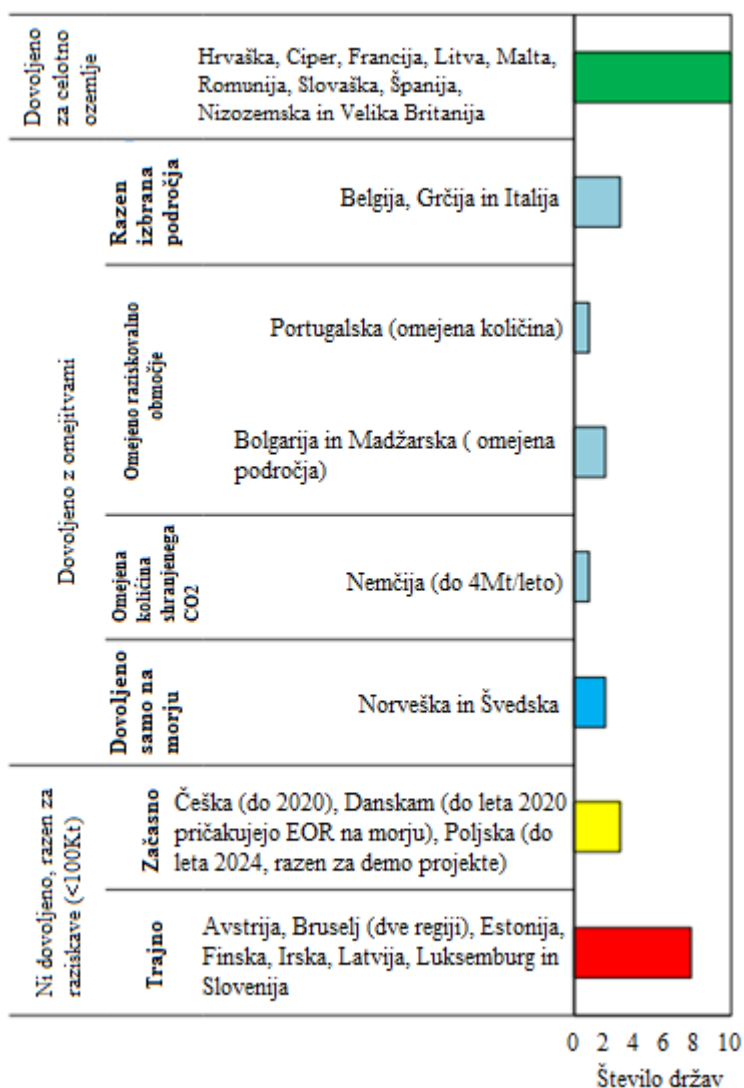
### **4.2.1 Stanje prenosa direktive o geološkem shranjevanju ogljikovega dioksida po državah EU**

Direktiva 2009/31/EC o geološkem shranjevanju ogljikovega dioksida Evropskega parlamenta je v veljavo stopila 25. junija 2009. Do konca leta 2013 je bila direktiva CCS v skladu z zahtevami Evropske komisije v celoti prenesena v nacionalno zakonodajo, v 20 od 28 držav članic EU. Medtem ko je moralo 6 EU članic (Avstrija, Ciper, Madžarska, Irska, Švedska in Slovenija) še dokončati izvedbo ukrepov za prenos. Švedska je marca 2014 posodobila svojo zakonodajo in objavila nov zakon, ki omogoča shranjevanje CO<sub>2</sub> na morju (Shogenova et al., 2014, str. 6662).

Še vedno ostaja več izzivov pri izvajanju večjih CCS projektov v Evropi. Med njih sodijo visoki investicijski stroški, pomanjkanje javne in posledično tudi politične podpore za shranjevanje na kopnem. To velja zlasti za Dansko, Nemčijo in Nizozemsko. Najbolj aktivne države v pilotnih in demonstracijskih projektih ter raziskovalnih in razvojnih dejavnostih v Evropi so Norveška in največje CO<sub>2</sub> onesnaževalke v EU (Nemčija, Velika Britanija, Italija, Francija, Španija in Nizozemska) (Shogenova et al., 2014, str. 6663).

Številne države članice dovolijo geološko shranjevanje CO<sub>2</sub> na celotnem državnem ozemlju. V več državah članicah pa so uvedli vsajčasne omejitve pri shranjevanju CO<sub>2</sub> (Slika 17).

Slika 17: Status držav članic EU, glede shranjevanja CO<sub>2</sub>



Vir: Prirejeno in povzeto po A. Shogenova et al., *Implementation of the EU CCS Directive in Europe: results and development in 2013*. *Energy Procedia* 63, 2014, str. 6666.

Prvo dovoljenje za shranjevanje v skladu z direktivo je bilo odobreno za projekt ROAD na Nizozemskem. Medtem ko je shranjevanje CO<sub>2</sub> dovoljeno v številnih evropskih državah, so na Danskem, Češkem in Poljskem začasno uvedene omejitve. Na Danskem so s predpisi prepovedali shranjevanje CO<sub>2</sub>, z izjemo EOR tehnologije na morju. Na Češkem so shranjevanje začasno prepovedali do leta 2020. Začasna prepoved na Poljskem traja do leta 2024, razen za demonstracijske projekte. Skladiščenje je, z izjemo raziskovanja in razvoja, prepovedano na Finskem, v Estoniji, Luksemburgu, dveh regijah v Belgiji in Sloveniji. Zaradi geoloških pogojev je shranjevanje prepovedano (z izjemo raziskav in razvoja) tudi na Irskem, v Avstriji in Latviji. Obseg raziskovalnega območja za shranjevanje CO<sub>2</sub> je omejen v treh državah. Portugalska omejuje obseg direktno, medtem ko ga Bolgarija in Madžarska omejujeta na območja. V Nemčiji bo do leta 2018 dovoljeno shranjevati le

omejeno količino CO<sub>2</sub> (4 Mt/leto in 1,3 Mt/projekt). Shranjevanje CO<sub>2</sub> ni dovoljeno na potresnih območjih v Italiji. Poleg tega je v Grčiji prepovedano shranjevanje na območjih, kjer se shranjevalni prostor razteza izven grškega ozemlja (Shogenova et al., 2014, str. 6663).

### 4.3 Stopnja raziskav na področju CCS po izbranih državah EU

#### 4.3.1 Avstrija

V Avstriji se trenutno nobena inštitucija ne ukvarja z raziskavo na področju CCS. Kljub temu so spodaj našteje inštitucije sodelovale v nekaj raziskavah na področju shranjevanja CO<sub>2</sub>, zato jih lahko smatramo za zainteresirane za nadaljnje raziskave v Avstriji. Ker so možnosti shranjevanja CO<sub>2</sub> v Avstriji omejene na bazene nafte in plina, so glavni raziskovalci predvsem oljarske in plinske družbe. Kljub temu se v glavnem osredotočajo na uporabo osiromašenih ogljikovodikovih polj za shranjevanje naravnega plina. Inštitucije so naslednje (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 32):

- **RAG** je ena od dveh plinskih/naftnih podjetij v Avstriji. Velik del ocenjenih možnih skladiščnih kapacitet je na njihovem koncesijskem področju v coni Molasse. RAG je sodeloval v zadnjem večjem raziskovalno-razvojnem projektu v zvezi z geološkim shranjevanjem CO<sub>2</sub> v Avstriji z imenom Castor (CO<sub>2</sub> from Capture to Storage).
- **OMV** je drugo plinsko/naftno podjetje v Avstriji in je sodelovalo v prvi študiji ocenjevanja skladiščnih kapacitet v Avstriji.
- **Avstrijska agencija za okolje** je sodelovala pri osnovi določanja tako tehničnih kot tudi pravnih pogojev za izvajanje tehnologije CCS zaradi evropske direktive 2009/31/EG.

V Avstriji obstaja precej naftnih in plinskih rezervoarjev, primernih za shranjevanje CO<sub>2</sub>. Slednji se nahajajo predvsem na območju Dunajske kotline in v coni Molasse. Predvidena skladiščna zmogljivost je bila ocenjena na 510 Mt CO<sub>2</sub>. Z upoštevanjem ekonomskih faktorjev (nekateri rezervoarji so premajhni, da bi upravičili postavitev naprav), pomanjkanja podatkov o zapuščenih rezervoarjih in fizičnega ter kemijskega obnašanja CO<sub>2</sub> je bila izračunana bolj realna številka, ki znaša 465 Mt CO<sub>2</sub>. Kljub temu je potrebnih več podrobnih raziskav o ekonomski izvedljivosti, zmogljivosti rezervoarjev in tveganju pri vbrizgavanju. Shranjevanje v vodonosnikih v zgornjih ocenah ni upoštevano zaradi pomanjkanja podatkov. Obstaja sicer nekaj možnih kapacitet, na primer formacija konglomerata Aderklaa, vendar je slednja povezana s pomembnim naftnim rezervoarjem, kar predstavlja nasprotje interesov s plinsko-naftnimi podjetji. Avstrija trenutno nima nobenih projektov v operativi niti v pripravi. Vsako raziskovanje v povezavi z geološkim skladiščenjem CO<sub>2</sub> je prepovedano, razen za raziskave, razvoj in testiranje novih metod z največjo skupno prostornino 100 000 t. Od leta 2010 do prenosa direktive EU o geološkem skladiščenju CO<sub>2</sub> je bilo v Avstriji več medijskih kampanj, ki so kritizirale CCS. To bi lahko

bil tudi razlog, zakaj se je avstrijska vlada odločila za prepoved industrijske uporabe geološkega shranjevanja CO<sub>2</sub> v Avstriji, razen za znanstvene namene. Od takrat je v Avstriji javni interes za tehnologijo CCS izginil (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 33).

### 4.3.2 Italija

Italijanske univerze in raziskovalni centri so specifične študije in programe glede različnih vidikov CCS začele izvajati več kot 10 let nazaj. Financiranje teh organizacij je bilo izvedeno predvsem iz evropskih in nacionalnih skladov, predvsem iz Ministrstva za univerze in razvoj ter iz Ministrstva za gospodarski razvoj. Organizacije, ki jih financira Ministrstvo za gospodarski razvoj, »CERSE PROGRAM« za razvoj in raziskave na področju elektroenergetskih sistemov so (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 61):

- Italijanska nacionalna agencija za nove tehnologije, energijo in trajnostni gospodarski razvoj (ENEA). Glavni cilji so raziskave tehnologij zajema pred zgorevanjem in skladiščenje CO<sub>2</sub> ter testiranje tehnologij na pilotnih napravah. Poleg tega podpirajo nacionalno industrijo in raziskovalni sistem z namenom povečanja svojega sodelovanja, da bi igrali večjo vlogo na mednarodni ravni. Delajo tudi na definiranju italijanske nacionalne smeri v zvezi s CCS. V želji povečanja javne naklonjenosti spodbujajo sodelovanja med nacionalnimi interesenti.
- ENEA/SOTACARBO (uplinjanje premoga z zajemom in skladiščenjem CO<sub>2</sub>). Izvajajo predvsem poizkusne dejavnosti na dveh glavnih testnih ploščadih. Namen teh testnih ploščadi je usposobiti napredno čiščenje plina, proces separacije CO<sub>2</sub> in proces uplinjanja, predvsem z uporabo CO<sub>2</sub>. Preučujejo tudi prave inštalacije, ki so opremljene s sistemi zajema CO<sub>2</sub>, z namenom gradnje demonstracijske elektrarne na Sardiniji. Preučujejo in raziskujejo izvedljivost shranjevanja CO<sub>2</sub> v premogove bazene Silcis.
- Ricerca sul Sistema Energerico (RSE) (opredelitev območij shranjevanja CO<sub>2</sub>). Projekt ima cilj določitev točnih območij, potencialno primernih za skladiščenje CO<sub>2</sub>. Ustvarili so geografski informacijski sistem za nacionalni seznam potencialnih območij za shranjevanje.
- ENEA (Oxy zgorevanje za termoelektrarne na premog)
- RSE (Razvoj membran za ločitev vodika od sinteznega plina)
- RSE (Vpojne trdne snovi, primerne za zajemanje iz kurilnih dimov)

V Italiji so geološke razmere, primerne za shranjevanje CO<sub>2</sub> v slanih vodonosnikih, povezane z njeno geodinamično evolucijo. Večina od 14 določenih področij leži v večjih italijanskih sedimentnih bazenih. To so Apeninske kamnine in Jadransko predgorje, kjer je značilno debelo kopičenje usedlin. Po zelo previdnih ocenah bi lahko ta območja zadržala celotno količino izpustov CO<sub>2</sub> v Italiji vsaj za naslednjih 50 let. Kljub temu pa ta ocena ne bi smela šteti za dokončno, saj ne vključuje potencialnega shranjevanja CO<sub>2</sub> v karbonatnih formacijah, ki je še v fazi raziskovanja (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 62).



Potencialna kapaciteta shranjevanja v 14 izčrpanih polj, ki predstavljajo le majhen delež vseh italijanskih ogljikovodikovih polj, je bila ocenjena na (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 62):

- Plinski rezervoarji: 1.6 Gt–3.2 Gt
- Naftni rezervoarji: 210 Mt–226.5 Mt

Glavni bazen premoga v Italiji se imenuje Solcis in se nahaja na JZ Sardinije. Trenutno tam deluje edini aktivni italijanski premogovnik Monte Sinni. Predhodne študije o premogu, ki je pridobljen iz rudnika, kažejo na obetaven razvoj za ECBM tehnologije (Enhanced coal bed methane recovery). Zmogljivost shranjevanja CO<sub>2</sub> z ECBM tehnologijo je bila ocenjena na 42 Mt na kopnem in 29 Mt na morju. To daje skupno ocenjeno kapaciteto na 71 Mt (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 62).

Evropa in z njo Italija je ena glavnih udeleženk pri razvijanju CCS tehnologije. Upravljalci raziskovalnega sistema so sposobni ponuditi ugledne kompetence in vire, tako za srednje kot za dolgoročne aktivnosti ter za industrijske programe. Italija v bistvu ponuja širok spekter demonstrativnih projektov. Tako je ENEL (Ente nazionale per l'energia elettrica) razvil projekt »Zero Emission Porto Talle (ZEPT)«. Obrat bi bil v lasti Enel Produzione in se nahaja v občini Porto Talle v regiji Veneto, 160 km južno od Benetk. Predvideno je bilo, da bo demo CCS obrat vseboval post-izgorevalno metodo zajema in bo nameščen na enoto USC 660 MWe v elektrarni Porto Talle (Slika 18). Zajeti CO<sub>2</sub> bi bil prepeljan po cevovodu od kopenskega cevovodnega terminala Porto Talle do vbrizgalne ploščadi na morju po cevovodih pod morsko gladino. Glede lokacije shranjevanja so bile izvedene študije, ki temeljijo na slanih vodonosnikih. Slednji se nahajajo približno 25 km od jadranske obale. Projekt je bil sofinanciran s strani EU (Evropski energetski program za oživitev). Projekt ZEPT (Porto Tolle) je bil kljub vsem naporom prekinjen zaradi odločitve italijanskega državnega sveta za razveljavitev okoljevarstvenega dovoljenja elektrarni Porto Talle. Glede na to je promotor projekta, kljub vsem vloženim naporom, poročal Komisiji, da ni mogoče omiliti finančna tveganja, zato so se odločili za prekinitve pogodbe. Zahtevo za prekinitve je Komisija sprejela 11. avgusta 2013. Oktobra 2014 je ENEL napovedal, da ne bodo nadaljevali z načrtovanjem preobrazbe 2,6 GW elektrarne Porto Tolle v prvo Italijansko termoelektrarno s CCS tehnologijo (Enel, 2014, str. 4). Projekt je mreži evropskih demonstracijskih CCS projektov prispeval študijo, ki zajema celoten CCS projekt. ENEL nadzira tudi obrat zajema CO<sub>2</sub> z imenom Brindisi. Tovarna se nahaja v Ceranu in je integrirana na območju termoelektrarne Federico II, ki jo sestavljajo 4 enote s skupno zmogljivostjo 2640 MWe. Projekt je sofinancirala EU (Evropski energetski program za oživitev) (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 63).

*Slika 18: Elektrarna Zero emission Porto Tolle*



*Vir: Enel, Zero emission Porto Tolle (ZEPT Project results). 2014, str. 1.*

Sotacarbo in ENEA sta opravila študijo izvedljivosti projekta SULCIS. To je elektrarna, ki se napaja z lokalnim premogom nizkega ranga in je opremljena s CCS sistemom demonstracijskega obsega. Projekt je trenutno v fazi ocenjevanja s strani Evropske komisije za izdajo dovoljenja za financiranje iz italijanskih javnih skladov. Cilj projekta je zgraditi in upravljati elektrarno (450 MWe), strogo povezano z rudnikom Sulcis. Ta bi se napajala z vsaj 50 % lokalnega premoga nizkega ranga (nižja toplotna vrednost) in bi bila opremljena z oddelki zajema in shranjevanja CO<sub>2</sub>. Obrat naj bi bil opremljen s post-izgorevalnim sistemom absorpcije. Za skladiščenje CO<sub>2</sub> sta bili predlagani 2 različni tehnologiji: skladiščenje v slanah vodonosnikih pod bazeni premogovnika Sulcis in skladiščenje skozi ECBM (enhanced coal bed methane). Skladiščenje v slanah vodonosnikih bi vključevalo vbrizgavanje stisnjene CO<sub>2</sub> na globino približno 1000–1200 m na južnem območju premogovnega bazena Sulcis. Na istem območju bazena bi na globini približno 800–1000 m testirali ECMB tehniko. Pri tej tehniki je stisnjen CO<sub>2</sub> vbrizgan v sloj premoga, kjer ni možno rudariti. Pri tem ga absorbira mineralni material, hkrati pa izpodriva metan. Poleg tega je bila opravljena tudi študija izvedljivosti ENI. To je pilotni projekt vbrizgavanja v izčrpana ogljikovodikova polja. ENI je opravil različne študije in predhodne ocene kot del oblikovanja površinske infrastrukture za vbrizgavanje CO<sub>2</sub> in nadzor na področju Cortemaggiore (Piacenza). Prav tako so analizirali pravne in družbene vidike, povezane s

skladiščenjem na tem področju. Vbrizgavanje 8000 t CO<sub>2</sub> na leto bo potekalo v obdobju treh let. Temu bo sledil monitoring, ki bo trajal še dve leti po vbrizgavanju (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 63).

Javna ozaveščenost v zvezi s CCS je v Italiji zelo nizka. Poleg tega ta tehnologija še ni postala del javne razprave o nizkoogljčnih tehnologijah. Nevladne organizacije v Italiji v glavnem niso v prid CCS, saj jo vidijo kot alternativni način podaljšanja uporabe premoga. Slednjemu močno nasprotujejo na lokalni ravni, razen v regiji Sardinije, kjer so premogovniki locirani. Delo na nacionalni ravni ozaveščanja javnosti o CCS se izvaja v okviru evropskih projektov 7. OP, medtem ko nacionalni viri financiranja še niso razviti (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 64).

### 4.3.3 Norveška

Vsa potencialna mesta skladiščenja se nahajajo na morju. To velja za slane vodonosnike kot tudi za naftna in plinska polja (izpraznjena in tista, še vedno v uporabi). Skupna ocenjena kapaciteta je 45,4 Gt. Ocenjena kapaciteta izpraznjenih polj je približno 3 Gt (StatoilHydro, 2009).

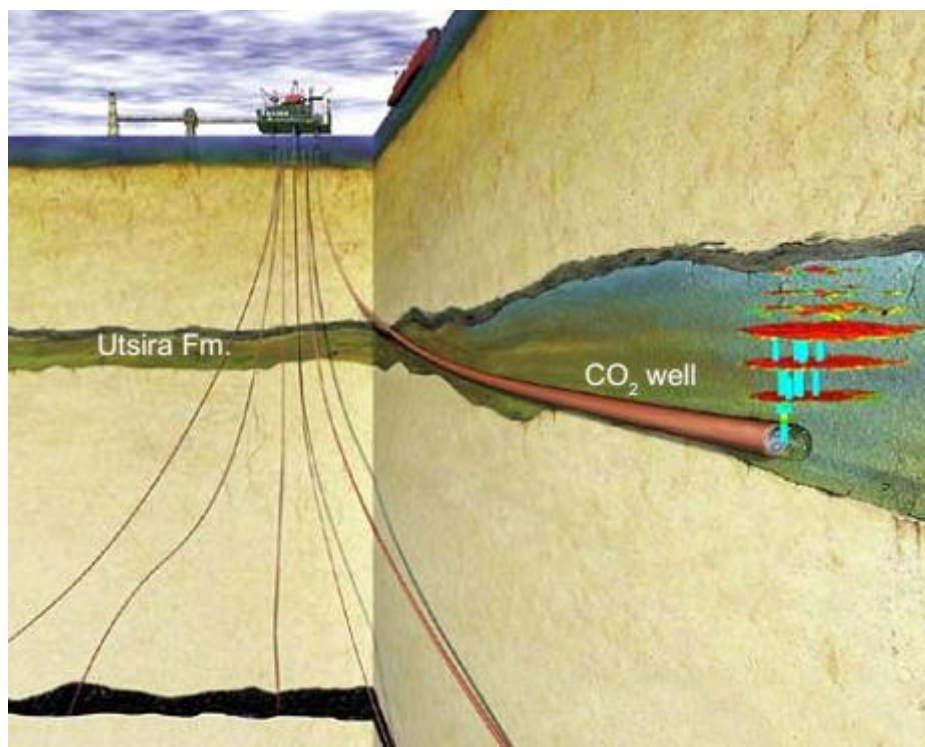
CCS projekti:

- Sleipner

Globalno največji potencial za geološko shranjevanje CO<sub>2</sub> predstavljajo slani vodonosniki. Po slednjem načinu poteka tudi prvi komercialni projekt shranjevanja CO<sub>2</sub>, ki ga družba Statoil od leta 1996 izvaja na plinskem polju Sleipner v Severnem morju.

Plinsko polje Sleipner mnogi vidijo kot primer uspešnega projekta CCS, zato je bil s strani zagovornikov CCS dokaz tako praktičnosti zajemanja ogljika kot tudi varnosti podzemnega shranjevanja. Tu načrpan zemeljski plin vsebuje kar 9 % CO<sub>2</sub>. Ta delež morajo pred uporabo zmanjšati na 2,5 %. Ločevanje plina poteka na samem sistemu vrtnih ploščadi (Slika 19), CO<sub>2</sub> pa injicirajo v vodonosno plast geološke formacije Utsira, ki se nahaja 800 m pod morskim dnom (StatoilHydro, 2009). Gre za prelomen projekt, ker skladiščenje še nikoli prej ni potekalo v takem obsegu in dokazuje zmožnost tehnologije za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Celoten proces prvič poteka na odprtem morju na samih vrtnih ploščadih (Gosar, 2005, str. 203).

Slika 19: Vtiskavanje CO<sub>2</sub> v slan vodonsnik na plinskem polju Sleipner



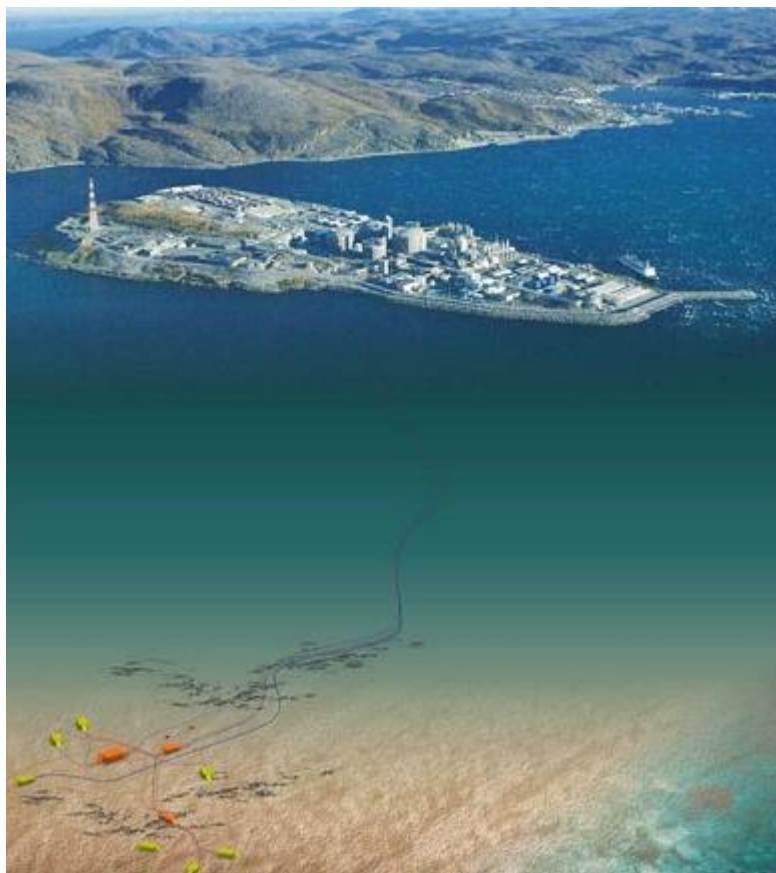
Vir: StatoilHydro, *Carbon dioxide capture, transport and storage (CCS)*, 2009, str. 8.

V geološki formaciji Utsira je sedaj shranjenega več kot 13 Mt ogljikovega dioksida. Iz proizvodnje zemeljskega plina na polju Sleipner od leta 1996 vsako leto zajamejo 1 Mt CO<sub>2</sub> (Halland, Johansen, & Riis (b.l.), str. 6). Po ocenah ima ta formacija zadostne kapacitete za večino CO<sub>2</sub> (od 20 Gt do 60 Gt), ki bi ga v Evropi zajeli na različnih točkovnih izpustih v industriji in energetiki (Žumbar, 2011, str. 9).

- Snøhvit

Leta 2007 so StatoilHydro in partnerji začeli drugi projekt skladiščenja CO<sub>2</sub>, ki v celoti poteka na morju. Izvaja se v plinskem polju Snøhvit na Barentsovem morju (Slika 20). Območje proizvodnje se razteza čez celotno polje Snøhvit in sosednja polja zemeljskega plina Albtatross in Askeladden. Vsa tri polja vsebujejo zemeljski plin s 5–8 % CO<sub>2</sub> (StatoilHydro, 2009, str. 11). Vsebnost CO<sub>2</sub> v plinu je potrebno zmanjšati, da se izognemo zamrznitvi CO<sub>2</sub> v procesu utekočinjanja zemeljskega plina (LNG). Tako je na leto ujetega 700.000 t CO<sub>2</sub>. Da se preprečijo emisije, se CO<sub>2</sub> shrani nazaj v slani vodonosnik. Po pregledu različnih možnosti so se odločili, da bodo CO<sub>2</sub> injicirali v formacijo Tubåen, ki se nahaja 2600 m pod morskim dnom. Ta formacija ima kapaciteto 23 Mt CO<sub>2</sub> za 30-letno življenjsko dobo projekta (StatoilHydro, 2009, str. 11–12).

*Slika 20: Obrat utekočinjanja zemeljskega plina v Melkøya z ilustracijo instalacije pod morskim dnom v polju Snøhvit*



*Vir: StatoilHydro, Carbon dioxide capture, transport and storage (CCS), 2009, str. 12.*

Norveška kot ukrep za ublažitev podnebnih sprememb zelo podpira CCS tehnologije tako na nacionalni kot na mednarodni ravni. Država ima od velikih shranjevalnih kapacitet na svojem delu Severnega morja precejšnje koristi. Le-te presegajo njihove potrebe in s tem zagotavljajo možnosti za shranjevanje tudi sosednjim državam EU. Norveška je pionir pri razvijanju prvih polnih CCS projektov Sleipner in Snøhvit (Bugge, & Ueland, 2011, str. 4).

Leta 2009 je Norveška začela proces razvoja potrebnih pravil in predpisov za izvajanje določb Direktive v svojem nacionalnem pravnem sistemu. Kraljeva uredba 13. marca 2009 se nanaša na direktivo in navaja, da je cilj vlade oblikovanje pravil, primerljivih z režimom Direktive. Od leta 2011 na Norveškem ni celovite zakonodaje na področju CCS. Razen nekaj manjših sprememb obstoječih zakonov ni bilo izvedenega nobenega namenskega zakonodajnega dela, ki bi urejal to tehnologijo. To je morebiti delno posledica tega, da lahko relevantni obstoječi akti, ki se uporabljajo za zajemanje in shranjevanje ogljika, zagotavljajo dovolj široko pravno podlago za podrobnejše predpise, če bo to potrebno (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 72).

Večina Norvežanov je glede CCS nevtralnih. Zaradi slabe informiranosti so še vedno neopredeljeni. Ljudje dojemajo prednosti CCS kot dokaj zmerne, medtem ko tveganja dojemajo majhna oziroma nižja kot v drugih državah, kjer je bila opravljena takšna raziskava. To razmišljanje ljudi je verjetno povezano tudi z dejstvom, da želi Norveška shranjevati CO<sub>2</sub> v Severnem morju namesto na kopnem. Kljub temu ima norveška javnost za omilitev podnebnih sprememb še vedno več zaupanja v obnovljive vire energije (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 73).

#### 4.3.4 Slovenija

V Sloveniji ni nobenega nacionalnega programa v zvezi z geološkim shranjevanjem CO<sub>2</sub>. Do julija 2012 so bile raziskovalne aktivnosti omejene na industrijske iniciative, večinoma oblikovane s strani operaterjev elektrarn in termoelektrarne (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 82).

V Sloveniji so bile možnosti skladiščenja prvič ocenjene leta 2006 v projektu CASTOR. Bolj natančno so bile potencialne možnosti skladiščenja ocenjene z EU projektom GeoCapacity (2006–2009). Celotna količina izpustov CO<sub>2</sub> v letu 2014 je znašala 14,4 Mt. To je za 1,6 Mt oziroma 10,3 % manj kot leto prej, leta 2013 pa se je v primerjavi z letom prej zmanjšala za 4 % (Statistični urad Republike Slovenije, 2014). Ugotovljenih je bilo sedem največjih stacionarnih onesnaževalcev, od tega so bili trije elektrarne, ostali pa obrati iz proizvodnega sektorja (cementarna, proizvodnja papirja in celuloze ter jeklarna). Največji točkovni vir izpusti približno 4,8Mt CO<sub>2</sub>/leto. Skupne emisije iz točkovnih virov so bile približno 7 Mt/leto. Obstoječa plinovodna infrastruktura v Sloveniji je ugodna. Slovenske geološke značilnosti so precej zapletene, zlasti iz strukturnega in tektonskega vidika (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 82). Celotna energetika oddaja 5,3 Mt CO<sub>2</sub> na leto, od tega TE Šoštanj 4,3 Mt in TE Trbovlje 0,6 Mt, TE—TOL oddaja 0,6 Mt in TEB 0,07 Mt CO<sub>2</sub> (Skubic & Bahun, 2008, str. 6).

Globoki vodonosniki v Sloveniji predstavljajo največji potencial za skladiščenje CO<sub>2</sub>. Nam najbližje območje slanega vodonosnika je Panonski bazenski sistem, katerega zahodni obrobni del je tudi Musko-Zalski bazen, ki zavzema celoten prostor severovzhodne Slovenije. Dejstvo pa je, da v Sloveniji mnoge vodonosnike izkoriščamo za vodooskrbo, zato ta območja ne smejo biti območja skladiščenja CO<sub>2</sub> (Fuks, 2011, str. 31–37). V EU GeoCapacity je dejanska zmogljivost shranjevanja na voljo v vodonosnikih ocenjena na 92 Mt, a je bilo za izračune vsakega posameznega vodonosnika na voljo malo zanesljivih podatkov. Posamezni objekti so pretežno majhni in razpršeni. Kljub vsemu je bila zmogljivost skladiščenja ocenjena le na teoretični ravni treh posameznih lokacij (Pečarovci, Dankovci in Besnice). Njihova skupna teoretična kapaciteta je približno 63 Mt. Obe izvedeni študiji sta ocenili, da bi bile potrebne dodatne preiskave, s katerimi bi potrdili in izboljšali skladiščne zmogljivosti posameznih področij. Najbolj zanesljivi podatki so bili na voljo za

oceno skladiščnih zmogljivosti na ogljikovodikovih poljih. Dve najboljši lokaciji sta bili ugotovljeni na SV Slovenije: naftna in plinska polja Dolina in Petišovci. Njuna skupna kapaciteta je nekje med 1.8–5.3 Mt. Nekatere dodatne formacije bi lahko bile potencialne teme študij, povezane s skladiščenjem CO<sub>2</sub>. Kljub temu, da je Slovenija relativno bogata s premogom in ima dolgo rudarsko tradicijo, so možnosti za skladiščenje CO<sub>2</sub> v delih rudnika, kjer rudarjenje ni mogoče in ECBM, omejena zaradi več razlogov. Različne študije so ocenile kapaciteto v razponu od 0–100 Mt. Bolj konzervativne ocene so verjetno realnejše zaradi nizke prepustnosti, ki ni bila upoštevana v izračunih. Nekaj pozornosti in nadaljnje preiskave so potrebne za plasti premoga na območju Mure na SV Slovenije, saj lahko imajo nekaj potenciala. Dejanska učinkovita skladiščna kapaciteta je 94 Mt, ki bi v bistvu zadostovala za vse točkovne vire emisij v državi za približno 13 let. A vendar so posamezne strukture relativno majhne in zato manj primerne za energetski sektor (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 83).

Slovenija spremlja svetovni napredek na področju CCS. Še posebej industrijske subjekte zanimajo rezultati in znanje, pridobljeno z obstoječimi in prihodnjimi demo/pilotnimi projekti. Po prvih raziskavah bi geološke značilnosti dopuščale, da se na slovenskem ozemlju izvede majhen pilotni projekt, vendar do sedaj ni bilo zaznane nobene podpore s strani nacionalnih organov. Poleg tega pretekle izkušnje kažejo, da je pričakovati precej dolge in zapletene administrativne postopke pri licenciranju. Slovenija je EU Direktivo o geološkem shranjevanju CO<sub>2</sub> prenesla februarja 2012. Za izvajanje direktive so pripravili vrsto pravnih aktov, ki se nanašajo na CCS, in širša vprašanja. Slovensko stališče glede Direktive 2009/31 je, da Slovenija ne planira in ne načrtuje shranjevanja CO<sub>2</sub> na svojem ozemlju. Kljub temu priznavajo, da lahko potreba po ogljikovodih naraste, kar bi omogočilo povezovanje slovenskih proizvodnih obratov s skladiščnimi kapacitetami v tujini in/ali povezovalni ogljikovod dveh sosednjih držav. Energetski zakon (EZ-E) izrecno navaja določbe in pogoje, ki omogočajo transport CO<sub>2</sub> preko slovenskega ozemlja (Rütters, & the CGS Europe partners, 2013, str. 83).

#### **4.3.5 CCS projekti po svetu**

Na svetu je trenutno 16 operativnih objektov (Tabela 5), ki letno zajamejo 27 Mt CO<sub>2</sub>. Pričakuje se, da bo do leta 2018 dodatnih sedem. Vsi ti projekti zagotavljajo neprecenljive izkušnje z upravljanjem velikih obratov za zajem, vbrizgavanje in spremljanje obnašanja CO<sub>2</sub> v podzemlju. Prednosti na podlagi učenja z delom (angl. *learning by doing*) so precejšnje. Povečanje števila velikih projektov v fazi razvoja je prednostna naloga. Ti projekti so bistvenega pomena za zagotavljanje komercialne izkušnje, za omogočanje natančnejših tehnologij in zmanjšanje stroškov. Večja raznolikost projektov je potrebna zlasti za lažje utiranje poti v širšo uporabo (International Energy Agency, 2015, str. 4, v nadaljevanju IEA).

Tabela 5: Seznam operativnih objektov v letu 2016

Ime projekta	Lokacija	Leto pričetka	Industrija	Način zajema	Zmogljivost zajema (Mtpa)	Tip transporta	Primarna vrsta shranjevanja
Val Verde Natural Gas Plants	Severna Amerika	1972	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	1.3	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Enid Fertilizer CO2-EOR Project	Severna Amerika	1982	Proizvodnja gnojil	Industrijska separacija	0.7	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Shute Creek Gas Processing Facility	Severna Amerika	1986	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	7.0	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Sleipner CO2 Storage Project	Norveška	1996	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	0.9	Ni transporta	Namensko geološko shranjevanje
Great Plains Synfuel Plant and Weyburn-Midale Project	Kanada	2000	Sintetični zemeljski plin	Pred-zgorevalna metoda	3.0	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Snøhvit CO2 Storage Project	Norveška	2008	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	0.7	Plinovod	Namensko geološko shranjevanje
Century Plant	Severna Amerika	2010	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	8.4	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Air Products Steam Methane Reformer EOR Project	Severna Amerika	2013	Proizvodnja vodika	Industrijska separacija	1.0	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Coffeyville Gasification Plant	Severna Amerika	2013	Proizvodnja gnojil	Industrijska separacija	1.0	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Lost Cabin Gas Plant	Severna Amerika	2013	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	0.9	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field CCS Project	Brazilija	2013	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	1.0	Ni transporta	Pospešeno črpanje nafte (EOR)

se nadaljuje



Tabela 5: Seznam operativnih objektov v letu 2016 (nad.)

Boundary Dam Carbon Capture and Storage Project	Kanada	2014	Proizvodnja energije	Po-izgorevalna metoda	1.0	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Quest	Kanada	2015	Proizvodnja vodika	Industrijska separacija	1.0	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Uthmaniyah CO2-EOR Demonstration Project	Saudska Arabija	2015	Predelava zemeljskega plina	Pred-zgorevalna metoda	0.8	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Abu Dhabi CCS Project (Phase 1 being Emirates Steel Industries (ESI) CCS Project)	Združeni Arabski Emirati	2016	Jeklarstvo	Industrijska separacija	0.8	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)
Petra Nova Carbon Capture Project	Severna Amerika	2017	Proizvodnja energije	Po-izgorevalna metoda	1.4	Plinovod	Pospešeno črpanje nafte (EOR)

Vir: Prirejeno in povzeto po Global CCS Institute, *Large-scale CCS facilities*, 2016.

## 5 SWOT ANALIZA UPORABE PROCESA ZAJEMA IN SKLADIŠČENJA CO<sub>2</sub> ZA SLOVENIJO

Ena od najpogosteje uporabljenih analiz v sklopu poslovnih ved je SWOT (*ang. Strengths, weaknesses, opportunities and threats*). Analizo lahko uporabimo na ravni poslovanja, produkta itd. Najprej jo je potrebno razmejiti med štiri vidike (prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti). K notranjim dejavnikom spadata aspekta prednosti/slabosti, medtem ko med zunanje dejavnike spadata vidika priložnosti/nevarnosti. Na notranje dejavnike imamo vpliv, na zunanje pa ne. SWOT analiza je eno izmed uporabnih orodij pri procesu strateškega planiranja (Bertelsen, 2012, str. 5, 7; Kos, 2015).

Na podlagi predhodnih analiz sem izdelal SWOT analizo in s tem prikazal, kakšne so prednosti implementacije tehnologije CCS v večjih slovenskih onesnaževalcih in kakšne priložnosti se nam ob tem ponujajo. Predstavil bom, do kakšnih slabosti lahko privede uvedba te tehnologije in s kakšnimi nevarnostmi se lahko srečamo pri implementaciji tehnologije CCS v Sloveniji.

Tabela 6: SWOT analiza uporabe procesa zajema in skladiščenja CO<sub>2</sub> za Slovenijo

Prednosti	Slabosti
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Omogoča zahtevano zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub> ob hkratni uporabi fosilnih goriv</li> <li>• Obstoječe elektrarne je možno nadgraditi s CCS tehnologijo</li> <li>• Takojšni preklon na OVE ni možen, zato je v tem obdobju CCS nujen</li> <li>• CCS se lahko aplicira na različne točkovne vire CO<sub>2</sub></li> <li>• Zgorevanje biomase s CCS omogoča negativne emisije CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CCS povzroča zmanjšanje izkoristka elektrarn (proizvodni stroški se povečajo)</li> <li>• Slaba podpora države (zakonsko ni dovoljeno)</li> <li>• Pomanjkanje denarja za raziskave in pilotne projekte</li> <li>• Nezrela in neuveljavljena tehnologija</li> <li>• Ni raziskav na področju zmogljivosti skladiščnih kapacitet</li> <li>• Celotna CCS veriga še in bila demonstrirana v energetskega sektorju</li> <li>• Zajemanje CO<sub>2</sub> zmanjšuje prožnosti in povečuje kompleksnost elektrarne</li> <li>• Vključuje tveganja za nesreče</li> <li>• Implementacija CCS tehnologije zahteva dolgo načrtovanje</li> </ul>

Priložnosti	Nevarnosti
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CCS tehnologija je pomemben način zmanjševanja emisij CO<sub>2</sub></li> <li>• CCS je lahko poslovna priložnost za tradicionalne panoge</li> <li>• Možnost shranjevanja CO<sub>2</sub> v tujini</li> <li>• Tehnologija CCS bi lahko predstavljala nov razvojni potencial za slovensko gospodarstvo in povečanje delovnih mest</li> <li>• Možnost uporabe strukturnih in kohezijskih skladov</li> <li>• Potencialne shranjevalne kapacitete v rudnikih in na SV Slovenije</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definiranje območij za shranjevanje v primeru trajnega shranjevanja na svojem ozemlju</li> <li>• Potrebna je sprememba zakonodaje</li> <li>• Dojema se kot tehnologija visokega tveganja</li> <li>• Uhajanje CO<sub>2</sub></li> <li>• CCS tehnologija je konkurent OVE v smislu financiranja</li> <li>• Cena dovolilnic za izpust emisij CO<sub>2</sub> mora biti ustrezno visoka</li> <li>• Seizmične aktivnosti</li> <li>• Javna sprejemljivost transportnih poti, vtiskavanja in lokacij shranjevanja</li> <li>• CCS je le del rešitve</li> </ul>

## **Prednosti**

V nadaljevanju so prikazane prednosti uporabe CCS tehnologije:

- CCS je edina tehnologija, ki omogoča zahtevano zmanjšanje emisij CO<sub>2</sub> v energetske sektorju in v industriji ob hkratni uporabi fosilnih goriv. Če želimo še naprej uporabljati fosilna goriva, bo torej CCS tehnologija nujna;
- obstoječe elektrarne je možno nadgraditi s CCS tehnologijo, kar pomeni, da izgradnja popolnoma novih elektrarn ni potrebna;
- prehod na OVE je dolgotrajen proces, zato takojšni preklop na OVE ni možen. V tem vmesnem obdobju je CCS nujen;
- CCS se lahko aplicira na različne točkovne vire CO<sub>2</sub> (elektrarne na fosilna goriva in biomaso, železarne, cementarne, rafinerije, sežigalnice odpadkov ...);
- Elektrarne bi potrebovale dodatno delovno silo, predvsem v fazi transporta in shranjevanja CO<sub>2</sub>, zato bi se število delovnih mest povečalo;
- zgorevanje biomase s CCS ne povzroča emisij CO<sub>2</sub>.

## **Slabosti**

Slabosti tehnologije CCS niso zanemarljive. Sem spadajo:

- CCS povzroča zmanjšanje izkoristka termoelektrarn, zato se povečajo proizvodni stroški. Dodatna energija, ki bi bila potrebna zaradi zmanjšane izkoristka, bi privedla k povečanju izkopa premoga. S tem bi se negativni vplivi (kislost vode, uničenje pokrajin, kopičenje težkih kovin v vodi ...) zaradi povečanega izkopa še povečali;
- podpora države je slaba, saj CCS zakonsko še vedno ni dovoljen – posledično tudi ni subvencij;
- država in privatni sektor nimajo posluha namenjati sredstev za raziskave in implementacijo pilotnih projektov v praksi;
- nezrela in neuveljavljena tehnologija, saj je CCS še vedno v fazi raziskav in demonstracij;
- v Sloveniji je bilo na področju raziskav zadostne zmogljivosti skladišč narejeno zelo malo, zato praktično ni raziskav, ki bi to potrdile ali ovrgle;
- celotna CCS veriga (zajem, transport in skladiščenje) še ni bila v celoti demonstrirana v energetske sektorju;
- zajemanje CO<sub>2</sub> zmanjšuje prožnost in povečuje kompleksnost elektrarne;
- CCS tehnologija vključuje nekaj tveganj za nesreče, predvsem pri transportu in shranjevanju CO<sub>2</sub>;
- CCS poveča porabo osnovnih sredstev, saj so potrebna dodatna zemljišča, zgradbe, proizvodna oprema in ostalo;

- implementacija CCS tehnologije zahteva dolgo načrtovanje, predvsem za izbiro območja shranjevanja in njegovo odobritev, testiranje in implementacijo.

## **Priložnosti**

Glede na to, da je tehnologija še v razvoju, je priložnosti precej:

- CCS je splošno priznana kot pomemben način zmanjševanja emisij CO<sub>2</sub> in bi lahko bistveno prispevala k doseganju ciljev za zmanjšanje podnebnih sprememb;
- CCS je lahko poslovna priložnost za zapuščene rudnike kot tudi za panoge, kot sta plinski in energetski panogi, pa tudi za velike gospodarske javne ustanove;
- Slovenija bi se lahko odločila, da bo svoj zajet CO<sub>2</sub> shranjevala na tujem (predvsem sosednje države) in ne na svojem ozemlju;
- uporaba tehnologije CCS bi lahko za slovensko gospodarstvo predstavljala nov razvojni potencial in povečanje delovnih mest;
- možnost sofinanciranja CCS projektov in subvencij iz naslova strukturnih ali kohezijskih skladov;
- potencialne shranjevalne kapacitete v opuščenih delih rudnikov in na območju SV Slovenije v opuščenih naftno-plinskih vrčinah.

## **Nevarnosti**

Med nevarnosti CCS tehnologije štejemo naslednje dejavnike:

- če se Slovenija odloči za shranjevanje na svojem ozemlju, bi morala definirati eno ali več območij, ki so delno primerna za trajno shranjevanje CO<sub>2</sub>;
- potrebna bo sprememba zakonodaje. Zahteva namreč ustrezne pravne robne pogoje, ki jih je potrebno še določiti. Spremeniti bo potrebno številne določbe, najmanj pet podzakonskih aktov in dveh zakonov. Ključna zakona, ki sta potrebna dopolnitve, sta Zakon o varstvu okolja in Zakon o rudarstvu. Tu bo potrebno dodati trajno geološko shranjevanje CO<sub>2</sub> in posodobitev opazovanja za nadzor geološkega odlagališča;
- ker je tehnologija CCS v celoti še vedno precej neraziskana, se jo dojema kot tehnologijo z visokim tveganjem;
- uhajanje CO<sub>2</sub>. Zaradi različnih motenj lahko pride do uhajanja pri posameznih korakih. Čeprav CO<sub>2</sub> v osnovi ni strupen, lahko pride pri velikih sprostitvah CO<sub>2</sub> do zadušitve živih bitij;
- CCS je, oziroma se dojema kot konkurent obnovljivim virom energije v smislu financiranja raziskav in subvencij;
- CCS tehnologija bo ekonomsko izvedljiva in široko uporabljena le, če bo cena dovolilnic za emisije CO<sub>2</sub> ustrezno visoka. Torej cena tehnologije CCS za tona CO<sub>2</sub>, ki je ni treba izpustiti v ozračje, mora biti nižja od cene dovolilnic za emisije CO<sub>2</sub>;

- seizmične aktivnosti. Vbrizgavanje lahko sproži (manjše) potrese;
- javna sprejemljivost transportnih poti, vtiskovanja in lokacij shranjevanja CO<sub>2</sub> v različne geološke formacije ostajajo eni glavnih groženj oziroma ovir pri implementaciji CCS tehnologije v širšo uporabo (pomanjkanje javne podpore);
- CCS je le del rešitve pri zniževanju CO<sub>2</sub> emisij. Potrebni so še obnovljivi viri energije in jedrska energija.

SWOT analiza je pokazala, da ima tehnologija CCS še vedno številne slabosti in nevarnosti. Kljub temu, da je ta tehnologija ključna pri zniževanju emisij CO<sub>2</sub> v ozračju in posledično omejevanju podnebnih sprememb, jo na področju Slovenije trenutno ni smiselno uporabiti. Na tako majhnem območju, kot je Slovenija je bolj, kot uporaba neuveljavljene tehnologije, primerna uporaba obnovljivih virov energije in energetska učinkovitost.

## **SKLEP**

Živimo v času, ko je skrb za okolje postala ena glavnih prioritet. Tega so se začeli zavedati tudi voditelji držav, ki v zrak izpustijo največ ogljikovega dioksida. Načinov za ublažitev podnebnih sprememb je več, vendar le zajem in shranjevanje ogljikovega dioksida lahko privede do občutnega zmanjšanja CO<sub>2</sub> v razmeroma kratkem času. Upravičenost CCS tehnologije je ne glede na vse okoljevarstvene izzive izredno velika. Postopki podzemnega shranjevanja CO<sub>2</sub> niso enostavni. Poleg tega zgolj ena rešitev ne reši celotnega problema podnebnih sprememb. Razni dogodki po svetu, ki zajemajo uhajanje in nepredvidljivo gibanje CO<sub>2</sub> znotraj geoloških formacij ter nenadno znižanje ocen skladiščnih kapacitet, kažejo, kako je vsako polje, vsaka vbrizgalna ploščad in vsaka skladiščna lokacija edinstvena. Zato zahteva natančno karakterizacijo, upravljanje in nadzor.

Tehnologija se bo na začetku najverjetneje uporabljala najprej v energetske sektorju in se potem razširila na ostale industrijske panoge. CCS tehnologija je sestavljena iz treh faz, in sicer zajem, transport in skladiščenje. Pri sami tehnologiji je bistvenega pomena tudi stroškovna plat, saj bo s CO<sub>2</sub> smiselno zajemati in shranjevati le, če bo cena preprečenih emisij CO<sub>2</sub> nižja od cene izpuščenih emisij CO<sub>2</sub>. Poleg tega je pomemben tudi zakonodajni okvir, saj implementacija CCS tehnologije brez prilagoditve nekaterih zakonov ni mogoča. Evropska unija je že leta 2009 sprejela Direktivo o geološkem shranjevanju. Medtem pa mora Slovenija na tem področju še veliko postoriti, saj mora ustrezno prilagoditi zakonodajo.

Z namenom ugotovitve trenutnega stanja CCS tehnologije sem v magistrskem delu na podlagi SWOT analize analiziral prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti v povezavi z dejanskim stanjem v Sloveniji. Slednja bi morala oblikovati ustrezno politiko in promovirati učinkovite naložbe. Spodbujati bi morala proizvajalce električne energije k razvijanju napredne CCS tehnologije. Krepiti bi morala analize varnosti in izvedljivosti tehnologije CCS. Kljub temu, da ima tehnologija še vedno precej slabosti in nevarnosti, menim, da brez

nje boj proti podnebnim spremembam ne bo mogoč. Največji problem vidim v visoki ceni investicije. Slednja bi se pri vsesplošni uporabi te tehnologije bistveno znižala. Zato je marsikaj odvisno od Evropske unije ter tudi posameznih držav, da začnejo pripravljati programe sofinanciranja in subvencij. To bi dalo začetni zagon vsem snovalcem te tehnologije. Poleg samih stroškov je zelo velik problem tudi v tem, da CCS tehnologija še nima podpore javnosti. Javnost še vedno povsem ne razume, zakaj je potrebno CO<sub>2</sub> shranjevati pod površjem. Jasno mora biti dokazano, da zdravje pod nobenim pogojem ne bo ogroženo. Z uspešno izvedenimi projekti bi to lahko pokazali in poleg tega zagotovili dodatna delovna mesta.

Na podlagi izbranih podatkov je analiza pokazala, da je CCS tehnologija na evropski ravni primeren in pomemben način zmanjšanja emisij CO<sub>2</sub>. SWOT analiza je na drugi strani pokazala, da zaradi precejšnjega števila negativnih dejavnikov CCS tehnologija v Sloveniji v bližnji prihodnosti ni primerna. Na daljši rok bi bila tehnologija pogojno uporabna ob predpostavki, da bo postala bolj utečena s tehničnega in stroškovnega vidika in ob ustrezni spremembi zakonodaje.

## LITERATURA IN VIRI

1. Akbilgic, O., Doluweera, G., Mahmoudkhani, M., & Bergerson, J. (2015). A meta-analysis of carbon capture and storage technology assessments: Understanding the driving factors of variability and cost estimates. *Applied Energy*, 159, 11–18.
2. Azar, C., Lindgren, K., Larson, E., & Möllersten, K. (2006). Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass – costs and potencial role in stabilizing the atmosphere. *Springer*. Najdeno 17. decembra 2015 na spletnem naslovu <http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-005-3484-7>
3. Bahun, P. (2008, januar). Slovenska prihodnost je v skladiščenju ogljika. *Revija Naš Stik*. Najdeno 18. septembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.nas-stik.si/2/prikazrevije2.aspx?letnik=2008&stevilka=1>
4. Benson, S., & Cole, D. (2008, Oktober). CO<sub>2</sub> sequestration in deep sedimentary formations. *Elements Magazine*. Najdeno 22. septembra 2016 na spletnem naslovu [http://www.elementsmagazine.org/archivearticles/e4\\_5/benson.pdf](http://www.elementsmagazine.org/archivearticles/e4_5/benson.pdf)
5. Bertelsen, B. (2012). *Everything you Need to Know About SWOT Analysis*. Newmarket: BrainMass.
6. Bjureby, E., Rochon, E., & Gulowsen, T. (2009, Maj). Reality check on carbon storage: Recent developments in the Sleipner project and Utsira formation. *Green Peace*. Najdeno 12. december 2015 na spletnem naslovu <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2009/5/reality-check-on-carbon-storage.pdf>
7. Blunt, M. (2005). *Carbon capture and storage*. London: Department of Earth science and engineering imperial college.
8. Bubola, D. (2003). *Swot analiza in strateške usmeritve podjetja*. Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
9. Bugge, H., & Ueland, A. (2011). Case studies on the implementation of Directive 2009/31/EC on the geological storage of carbon dioxide. Najdeno 25. februarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.ucl.ac.uk/cclp>
10. Carbon capture & storage association. (b.l.a). Why CCS? Najdeno 25. februarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.ccsassociation.org/why-ccs/>
11. Carbon capture & storage association. (b.l.b). Why do we need CCS: Climate change. Najdeno 25. februarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.ccsassociation.org/faqs/why-do-we-need-ccs-climate-change/>
12. Carbon capture & storage association. (b.l.c). What is CCS? Najdeno 25. februarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.ccsassociation.org/what-is-ccs/>
13. Cegnar, T. (ur.). (2009). Podnebne spremembe. *Agencija Republike Slovenije za okolje*. Najdeno 22. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/poro%20in%20publikacije/Podnebne\\_spremembe.pdf](http://www.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/poro%20in%20publikacije/Podnebne_spremembe.pdf)

14. CO<sub>2</sub>GeoNet – European Network of Excellence on the Geological Storage of CO<sub>2</sub>. (2008). *Podzemno skladiščenje CO<sub>2</sub> – Preudarna rešitev za obvladovanje podnebnih sprememb*. Najdeno 7. decembra 2015 na spletnem naslovu <http://e-zalozba.kc-class.eu/files/3/CO2NET-Public-Brochure-Slovenian.pdf>
15. CO<sub>2</sub>GeoNet – European Network of Excellence on the Geological Storage of CO<sub>2</sub>. (2011, September). *Kaj geološko skladiščenje CO<sub>2</sub> pravzaprav pomeni?* Najdeno 5. decembra 2015 na spletnem naslovu [http://www.co2geonet.com/UserFiles/file/Rowena/slovenian\\_protected.pdf](http://www.co2geonet.com/UserFiles/file/Rowena/slovenian_protected.pdf)
16. Czerny, A., & Čadež, S. (2010). Evropska shema za trgovanje z emisijami in njeni učinki na poslovanje podjetij: študija primerov. *Naše gospodarstvo*, 56, 33–44.
17. Davidson, J., Freund, P., & Smith, A. (2001). Putting carbon back into the ground. IEA Greenhouse Gas R&D Programme. Najdeno 27. decembra 2015 na spletnem naslovu [http://www.ieaghg.org/docs/general\\_publications/putcback.pdf](http://www.ieaghg.org/docs/general_publications/putcback.pdf)
18. Duan, H. (2010). The public perspective of carbon capture and storage for CO<sub>2</sub> emission reductions in China. *Energy Policy*, 38, 5281–5289.
19. Duerr, D. (2007). EU Emission Trading Fact Book. *Inagendo*. Najdeno 25. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.inagendo.com/res/doc/inagendo\\_ets\\_fact\\_book.pdf](http://www.inagendo.com/res/doc/inagendo_ets_fact_book.pdf)
20. Ellerman, D., & Joskow, P. L. (2008). The European Union's Emissions Trading System in perspective. Najdeno 12. julija 2012 na spletnem naslovu <http://www.c2es.org/publications/european-union-emissions-trading-system>
21. Enel. (2004). *Zero emission Potro Tolle (ZEPT Project results)*. Najdeno 13. februarja 2016 na spletnem naslovu <https://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/166523/zero-emission-porto-tolle-zept-project-results.pdf>
22. European Commission. (2008a). *EU action against climate change: The EU Emissions Trading Scheme*. Najdeno 20. februarja 2015 na spletnem naslovu [http://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1\\_avrupa\\_birligi/1\\_6\\_raporlar/1\\_3\\_diger/environment/eu\\_emissions\\_trading\\_scheme.pdf](http://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1_avrupa_birligi/1_6_raporlar/1_3_diger/environment/eu_emissions_trading_scheme.pdf)
23. European Commission. (2008b). *MEMO/08/35 – Questions and Answers on the Commission's proposal to revise the EU Emissions Trading System*. Najdeno 17. februar 2016 na spletnem naslovu <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/35&format=HTML&aged=1&language=EN&guiLanguage=en>
24. European Commission. (2008c). *MEMO/08/36 – Vprašanja in odgovori o predlogu direktive o geološkem shranjevanju ogljikovega dioksida*. Najdeno 5. marec 2016 na spletnem naslovu [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-08-36\\_sl.pdf](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-08-36_sl.pdf)
25. European Commission. (2009, 15. maj). *IP/09/794 – Emission trading: EU ETS emissions fall 3 % in 2008*. Najdeno 13. januarja 2016 na spletnem naslovu <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/09/794>



26. European Commission. (2012a, 15. maj). *IP/12/477 – Emissions trading: annual compliance round-up shows declining emissions in 2011*. Najdeno 22. januarja 2016 na spletnem naslovu <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/12/477&format=HTML&age=d=0&language=EN&guiLanguage=en>
27. European Commission. (2012b). *Zagotavljanje varne uporabe tehnologije zajemanja in shranjevanja ogljika v Evropi*. Najdeno 8. decembra 2016 na spletnem naslovu [http://ec.europa.eu/clima/publications/docs/factsheet\\_ccs\\_sl.pdf](http://ec.europa.eu/clima/publications/docs/factsheet_ccs_sl.pdf)
28. European Commission. (2012c). *The Second European Climate Change Programme (ECCP II)*. Najdeno 25. februar 2016 na spletnem naslovu [http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/second/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/second/index_en.htm)
29. European Commission. (2013, Marec). *MEMO 13/276 – Posvetovalno sporočilo o prihodnosti zajemanja in shranjevanja ogljikovega dioksida v Evropi*. Najdeno 15. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-13-276\\_sl.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-276_sl.htm)
30. European Commission. (2014, December). *Support to the review of Directive 2009/31/EC on the geological storage of carbon dioxide (CCS Directive)*. Najdeno 5. junija 2016 na spletnem naslovu [http://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/CCS-Directive-evaluation-Final-Report\(1\).pdf](http://www.qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/CCS-Directive-evaluation-Final-Report(1).pdf)
31. European Commission. (2015, December). *Zgodovinski podnebni dogovor v Parizu: Evropska unija na čelu svetovnih prizadevanj*. Najdeno 20. maja 2016 na spletnem naslovu [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-15-6308\\_sl.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6308_sl.htm)
32. EEA - European Environment Agency. (2011). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2009 and inventory report 2011. *Technical report No.2/2011*. Najdeno 15. marca 2016 na spletnem naslovu <http://www.eea.europa.eu/publications/european-uniongreenhouse-gas-inventory-2011>
33. Evropski parlament. (2008, September). *Mnenje odbora za industrijo, raziskave in energetiko o predlogu Direktive Evropskega parlamenta in Sveta o geološkem shranjevanju ogljikovega dioksida in spremembi direktiv Sveta 85/337/EGS, 96/61/ES, direktiv 2000/60/ES, 2001/80/ES, 2004/35/ES, 2006/12/ES in Uredbe (ES) št. 1013/2006*. Najdeno 8. marec 2016 na spletnem naslovu <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=//EP//TEXT+REPORT+A6-2008-0414+0+DOC+XML+V0//SL#title2>
34. Fuks, T. (2011). *Koncept skladiščenja CO<sub>2</sub> in geološki pogoji za skladiščenje v Sloveniji*. Ljubljana, Lendava, Velenje: Holding slovenske elektrarne, d.o.o., TE Šoštanj, d.o.o., TE Trbovlje, d.o.o., Premogovnik Velenje d.d..
35. Global CCS Institute. (2016). *Large-scale CCS Facilities*. Najdeno 10. novembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.ccsassociation.org/why-ccs/>
36. Global CCS Institute. (b.l.). *Advantages and disadvantages of major CO<sub>2</sub> capture technologies*. Najdeno 2. junija 2016 na spletnem naslovu

- <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/technology-options-co2-capture/advantages-and-disadvantages-major-co2-capture>
37. Gluyas, J. & Mathias, S. (2013). *Geological storage of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>): geoscience, technologies, enviromental aspects and legal frameworks*. Oxford: Woodhead publishing.
  38. European Enviroment Agency. (2007). *Greenhouse gas emision trends and projections in Europe*. Danska, Kopenhagen: European Enviroment Agency.
  39. Golomb, D., & Herzog, H. (2004). *Carbon capture and storage from fossil fuel use*. ZDA: Massachusetts Institute of Technology.
  40. Gosar, A. (2005). Možnost zmanjšanja učinka tople grede z geološkim skladiščenjem CO<sub>2</sub> globoko pod zemljinim površjem. *Revija Ujma*, 19, 201–205.
  41. Hriberšek, A. (2009, November). Podnebne spremembe in obnovljivi viri energije »sončne elektrarne«. Najdeno 15. januarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.fm.upr.si/zalozba/ISBN/978-961-266-0338/prispevki/Hribersek%20Ales.pdf>
  42. ICO2N group. (2007). *Carbon Capture & Storage: A Canadian Enviromental superpower opportunity*. Najdeno 20. maja 2016 na spletnem naslovu <http://www.ico2n.com/>
  43. IEA – International Energy Agency. (2009). *Tehnology Roadmap – Carbon capture and storage*. Najdeno 15. februarja 2016 na spletnem naslovu <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CCSRoadmap2009.pdf>
  44. IEA – International Energy Agency. (2015). *Carbon capture and storage: The solution for deep emissions reductions*. Najdeno 9. septembra 2016 na spletnem naslovu <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CarbonCaptureandStorageThesolutionfordeepemissionsreductions.pdf>
  45. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2005, September). *Carbon dioxide capture and storage: Summary for policymakers. Canada: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Najdeno 22. decembra 2015 na spletnem naslovu [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_summaryforpolicymakers.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_summaryforpolicymakers.pdf)
  46. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2008). *Climate Change 2007: Synthesis report*. Najdeno 8. februarja 2016 na spletnem naslovu [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf)
  47. Jacob, E., Abramowicz, K., & Hoffmann, L. (b.1). Carbon capture and storage. Najdeno 18. december 2015 na spletnem naslovu [https://www.wiwi.europa-uni.de/de/lehrstuhl/fine/umwelt/lehre/climate\\_change/05\\_CCS\\_Presentation.pdf](https://www.wiwi.europa-uni.de/de/lehrstuhl/fine/umwelt/lehre/climate_change/05_CCS_Presentation.pdf)
  48. Kajfež Bogataj, L. (2005, Februar). Kjotski sporazum začenja ogljikovo dobo... Najdeno 12. februarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.gea-on.net/clanek.asp?ID=576>

49. Kos, B. (2015). SWOT analiza. Najdeno 12. decembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.blazkos.com/swot-analiza.php>
50. Lackner, K., Grimes, P., & Ziock, H. (b.l.). Capturing carbon from dioxide from air. Najdeno 10. decembra 2015 na spletnem naslovu [http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon\\_seq/7b1.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/7b1.pdf)
51. Lackner, K.S. (2009). Capture of carbon dioxide from ambient air. *The European physical journal special topics*, 176, 93–106.
52. Lowry, D. (2008, 17. marec). Carbon capture and storage: A reality check. Najdeno dne 6. decembra 2015 na spletnem naslovu <http://search.proquest.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/docview/383378031?accountid=16468>
53. MacErlean, N. (2007, 6. maj). CLIMATE CHANGE: How Europe can seize the market in carbon capture: Legal changes would allow the UK and Norway to dominate the nascent CO<sub>2</sub> storage industry by using the Atlantic sea bed. *The Observer (The Guardian)*. Najdeno 13. december 2015 na spletnem naslovu <http://www.theguardian.com/environment/2007/may/06/climatechange.observerbusinss>
54. Metz, B., Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M., & Meyer, L. (2005). *Carbon dioxide capture and storage*. Canada: Intergovernmental panel on climate change.
55. Mihalič, R. (2011). "Zelena" energija – bližnjica k energetske neodvisnosti ali slepa ulica? Najdeno 16. decembra 2015 na spletnem naslovu <http://ev.fe.uni-lj.si/5-2011/SMihalic.pdf>.
56. Ministrstvo za okolje in prostor. (2002). Poročilo o stanju okolja 2002. Najdeno 22. decembra na spletnem naslovu <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/PSO2002.html>
57. Ministrstvo za okolje in prostor. (2011, februar). Poročilo Republike Slovenije Evropski Komisiji o oceni napredka skladno s členom 3.2 odločb 280/2004/ES, ki vzpostavlja mehanizem spremljanja emisij TGP evropske skupnosti ter izvajanja Kjotskega protokola. Najdeno 5. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://eionetsi.arso.gov.si/Dokumenti/GIS/zrak/obremenitve/87\\_opis\\_10.htm](http://eionetsi.arso.gov.si/Dokumenti/GIS/zrak/obremenitve/87_opis_10.htm)
58. Narita, D. (2008). Carbon dioxide capture and storage (CCS) and climate change mitigation: An analysis of economic optimality and policy making. Najdeno 4. decembra 2015 na spletnem naslovu <http://search.proquest.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/docview/304623637?accountid=16468>
59. Oei, P., Herold, J., & Mendelevitch R. (2014, 30. maj). Modeling a carbon capture, transport and storage infrastructure for Europe. *Scholarly Journals*, 515-531. Najdeno 4. decembra 2015 na spletnem naslovu <http://search.proquest.com.nukweb.nuk.uni-lj.si/docview/1619436937?accountid=16468>

60. Parikh, J. (2010, April). *Analysis of carbon capture and storage (CCS) technology in the context of indian power sector*. Integrated research and action for development. New Delhi: IRADe
61. Rackley, S. (2010). *Carbon capture and storage*. UK: Butterworth-Heinemann.
62. Rosenbauer, R., J., & Thomas, B. (2010). *Carbon capture and storage. (CO<sub>2</sub>) storage and utilisation, 57–103*. UK: Woodhead publishing.
63. Rusin, A., & Stolecka, K. (2012, 12. Junij). Environmental hazards caused by carbon capture and storage (CCS) technologies. *Polish journal of environmental studies*. Najdeno 12. decembra 2015 na spletnem naslovu <http://www.pjoes.com/pdf/22.1/Pol.J.Environ.Stud.Vol.22.No.1.205-211.pdf>
64. Rütters, H., & the CGS Europe partners. (2013). State of play on CO<sub>2</sub> geological storage in 28 European countries. Najdeno na 25. februarja na spletnem naslovu [http://www.cgseurope.net/UserFiles/file/News/CGS%20Europe%20report%20\\_D2\\_10\\_State%20of%20play%20on%20CO2%20storage%20in%2028%20European%20countries\(1\).pdf](http://www.cgseurope.net/UserFiles/file/News/CGS%20Europe%20report%20_D2_10_State%20of%20play%20on%20CO2%20storage%20in%2028%20European%20countries(1).pdf)
65. Seljak, J., & Paradiž, B., (2001). *IPCC evidenca toplogrednih plinov za Slovenijo 1985–1996*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor.
66. Shackley, S., McLachlan, C., & Gough, C. (2004, Januar). The public perceptions of carbon capture and storage. Najdeno 16. decembra 2015 na spletnem naslovu [https://www.researchgate.net/profile/Simon\\_Shackley/publication/265481714\\_The\\_Public\\_Perceptions\\_of\\_Carbon\\_Capture\\_and\\_Storage/links/54aa68010cf200447b25957b.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Simon_Shackley/publication/265481714_The_Public_Perceptions_of_Carbon_Capture_and_Storage/links/54aa68010cf200447b25957b.pdf)
67. Shogenova, A., Piessens, K., Holloway, S., Bentham, M., Martínez, R., Flornes, K. M., ... & Chikkatur, A. (2014). Implementation of the EU CCS Directive in Europe: results and development in 2013. *Energy Procedia* 63, 6662–6670.
68. Skubic, M., & Bahun, P. (2008, Maj). Rešitev se kaže tudi v zajemanju in skladiščenju ogljika. *Naš stik*. Najdeno 10. januarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.nas-stik.si/2/prikazrevije2.aspx?letnik=2008&stevilka=5>
69. Služba vlade RS za podnebne spremembe. (2011, 13. julij). *Drugo poročilo o spremljanju izvajanja operativnega programa zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2012*. Najdeno 15. januarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.svps.gov.si/fileadmin/svps.gov.si/pageuploads/strategija/Porocilo\\_OPT\\_GP2010-za\\_objavo.pdf](http://www.svps.gov.si/fileadmin/svps.gov.si/pageuploads/strategija/Porocilo_OPT_GP2010-za_objavo.pdf)
70. STA – Slovenska tiskovna agencija. (2015, Maj). Slovenija se segreva hitreje od preostanka sveta. Najdeno 25. septembra 2017 avgusta 2008 na spletnem naslovu <http://novice.svet24.si/clanek/novice/slovenija/5555d3ee7d792/slovenija-se-segreva-hitreje-od-preostanka-sveta>
71. Statistični urad Republike Slovenije. (2014). *Računi emisij v zrak*. Najdeno 15. maja 2016 na spletnem naslovu <http://www.stat.si/StatWeb/prikazi-novico?id=6118&idp=13&headerbar=11>

72. StatoilHydro. (2009). *Carbon dioxide capture, transport and storage (CCS)*. Najdeno 15. januarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.gpcenvis.nic.in/PDF/Statoil\\_Hydro\\_CCS.pdf](http://www.gpcenvis.nic.in/PDF/Statoil_Hydro_CCS.pdf)
73. Stevens, S., & Gale, J. (2000, Maj). Geologic CO<sub>2</sub> Sequestration. *Oil and Gas Journal*, 40–44.
74. Surampalli, R., Y., Zhang, T., C., Tyagi, R., D., Naidu, R., Gurjar, B., R., Ojha, C., Yan, S., Brar, S., Ramakrishnan, A., & Kao, C. (2015). *Carbon capture and storage – Physical, Chemical and Biological Methods*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
75. Šušteršič, A., Bole, A., & Vončina, R. (2010). *CO<sub>2</sub> capture readiness of Unit 6 in Thermal power plant Šoštanj (Addition)*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.
76. Teffer, P. (2016, Januar). EU carbon credits drop below 6€. *EU observer*. Najdeno 25. februarja na spletnem naslovu <https://euobserver.com/environment/132045>
77. Tietenberg, T. (1999). *Design issues seeking research answers. Conference On Research Frontiers In GHG Emissions Trading*. Najdeno 7. februarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.colby.edu/personal/t/thtieten/TTrff.pdf>
78. UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. (2008). *Kyoto protocol reference manual on accounting of emissions and assigned amount*. Bonn: United Nations.
79. UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. (b.l.). *Kyoto Protocol*. Najdeno 20. januar 2016 na spletnem naslovu [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)
80. Urbančič, A., Lah, P., Česen, M., Tomšič, M., Merše, S., Gubina, A., Zlatar, I., & Kozan, B. (2007). *Strateška izhodišča za pripravo dolgoročnih energetskih bilanc 2005–2030*. Najdeno 16. decembra 2015 na spletnem naslovu [http://www.cigre-cired.si/Images/files/documents/8\\_konferenca\\_Catez\\_2007/2007-CIGREC1-3.pdf](http://www.cigre-cired.si/Images/files/documents/8_konferenca_Catez_2007/2007-CIGREC1-3.pdf)
81. US Department of Energy. (2005). *Carbon Sequestration*. Najdeno 8. aprila 2016 na spletnem naslovu <http://cdiac2.esd.ornl.gov/>
82. Vendramin, M. (2011). V Sloveniji nekaterim malo brezplačnih kuponov. *Specializirana revija za embalažo, okolje in logistiko*, 59, 22–25.
83. Vlada Republike Slovenije. (2007). *Uradni list RS št. 42/2007*. Državni načrt razdelitve emisijskih kuponov za obdobje od 2008 do 2012. Najdeno 15. januarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.uradni-list.si/files/RS\\_-2007-042-02289-OB~P001-0000.PDF](http://www.uradni-list.si/files/RS_-2007-042-02289-OB~P001-0000.PDF)
84. Vlada Republike Slovenije. (2009). *Operativni program zmanjševanja toplogrednih plinov do leta 2012*. Ljubljana: Ministrstvo za gospodarstvo, direktorat za energetiko.
85. Vlada Republike Slovenije. (2011, februar). *Predlog Zakona o podnebnih spremembah*. Najdeno 15. maj 2016 na spletnem mestu [http://arhiv2014.skupnostobcin.si/fileadmin/sos/datoteke/pdf/Barbara/PREDLOGI\\_PREDPISOV/Okolje/Predlog\\_zakona\\_o\\_podnebnih\\_spremebah.pdf](http://arhiv2014.skupnostobcin.si/fileadmin/sos/datoteke/pdf/Barbara/PREDLOGI_PREDPISOV/Okolje/Predlog_zakona_o_podnebnih_spremebah.pdf)

86. Vlada Republike Slovenije. (2014, december). *Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2020 (OP TGP 2020)*. Najdeno 12. januarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo\\_okolja/operativni\\_programi/optgp2020.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/varstvo_okolja/operativni_programi/optgp2020.pdf)
87. Vlada Republike Slovenije. (2016, januar). Prvo letno poročilo o izvajanju Operativnega programa ukrepov zmanjšanja emisij toplogrednih plinov do leta 2020 (OP TGP 2020). Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor. Najdeno 2. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.mop.gov.si/nc/si/medijsko\\_sredisce/novica/article/1328/6600/](http://www.mop.gov.si/nc/si/medijsko_sredisce/novica/article/1328/6600/)
88. Volarič Srnovršnik, T. (2014, Maj). Brez zajemanja in shranjevanja ogljika bo boj s posledicami izpustov CO<sub>2</sub> dražji. *Revija Energetika.NET*, 14, 42–44.
89. Vukelić, Ž. (2009, 20. maj). The drilling and casing program for CO<sub>2</sub> storage (Načrtovanje in izvedba globokih vrtin pri skladiščenju CO<sub>2</sub>). *RMZ – Materials and geoenvironment*, 3(2), 271–278. Najdeno 5. decembra 2015 na spletnem naslovu [http://www.rmz-mg.com/letniki/rmz57/RMZ57\\_0271-0278.pdf](http://www.rmz-mg.com/letniki/rmz57/RMZ57_0271-0278.pdf)
90. ZEP – Zero Emissions Platform. (2011). The costs of CO<sub>2</sub> capture, transport and storage. Post-demonstration CCS in the EU. Bruselj: European technology platform for zero emissions fossil fuel power plants zero emissions platform. Najdeno 13. marca 2015 na spletnem naslovu [www.sitechar-co2.eu/FileDownload.aspx?From=Faq&IdFile=315](http://www.sitechar-co2.eu/FileDownload.aspx?From=Faq&IdFile=315)
91. Žumbar, A. (2011). Trajno shranjevanje ogljika. *Revija Energetika.NET*, jesenska številka, 8–11.