

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V  
NITRE  
FAKULTA EURÓPSKÝCH ŠTÚDIÍ A REGIONÁLNEHO  
ROZVOJA**

2119094

**ZMIERŇOVANIE KLIMATICKÝCH ZMIEN  
ZACHYTÁVANÍM A SKLADOVANÍM OXIDU  
UHLIČITÉHO**

2010

**Natália Škreková, Bc.**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V  
NITRE  
FAKULTA EURÓPSKÝCH ŠTÚDIÍ A REGIONÁLNEHO  
ROZVOJA**

**ZMIERŇOVANIE KLIMATICKÝCH ZMIEN  
ZACHYTÁVANÍM A SKLADOVANÍM OXIDU  
UHLIČITÉHO**

**Diplomová práca**

Študijný program:	Manažment rozvoja vidieckej krajiny a vidieckeho turizmu
Študijný odbor:	3.3.5 Verejná správa a regionálny rozvoj
Školiace pracovisko:	Katedra trvalo udržateľného rozvoja
Školiteľ:	Monika Tóthová, Ing., PhD.

## **Čestné vyhlásenie**

Podpísaná Natália Škreková vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Zmierňovanie klimatických zmien zachytávaním a skladovaním oxidu uhličitého“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 20. apríla 2010

Natália Škreková

## **Pod'akovanie**

Touto cestou vyslovujem pod'akovanie pani Ing. Monike Tóthovej, PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej diplomovej práce.

## Abstrakt

Praktické riešenie problémov spojených so zmenou klímy a adaptáciou na jej nepriaznivé dôsledky už zďaleka nie je len environmentálny, ale najmä ekonomický a technologický problém. To je dôvod prečo sa cieľom našej práce stalo vypracovanie štúdie, ktorá pojednáva o možnostiach, výhodách a nevýhodách zachytávania a skladovania oxidu uhličitého ako jednej z metód znižovania emisií ako aj naznačenie pozície Slovenskej republiky v oblasti boja proti globálnej zmene klímy. Pri spracovávaní štúdie sme vychádzali z viacerých analýz a štúdií vydaných v posledných rokoch. Základným dokumentom je správa Medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu (IPCC) a štúdie Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) a Programu OSN pre životné prostredie (UNEP). Väčšinu emisií majú na svedomí rozvinuté krajiny, preto je prirodzené, že snahy o ich redukciu sa musia zamerať práve na ne. Jednou z možností na ktorú sa v posledných rokoch vlády a krajiny zamerali je zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého. Aj napriek tomu že význam tejto technológie sa líši od regiónu k regiónu, je dôležitý pre všetky štáty pretože ponúka spôsob na riešenie problému s emisiami. V mnohých štátoch sveta už boli spustené skúšobné zachytávacie a skladovacie projekty ktoré sú dôkazom úspešnosti tejto technológie. Medzi tieto štáty sa zaradilo aj Slovensko ktoré si plní záväzky Kjótskeho protokolu a hľadá vhodné technológie spustenie procesu zachytávania a skladovania oxidu uhličitého. Zachytávanie oxidu uhličitého, môže byť zatiaľ využité len pri veľkých stacionárnych zdrojoch. Pre zachytávanie z týchto zdrojov je v súčasnosti k dispozícii niekoľko dostupných systémov ako zachytávanie po-spaľovaní, pred-spaľovaním a kyslíkové spaľovacie systémy. Po zachytení oxidu uhličitého musí byť zabezpečená bezpečná preprava ku skladovacím miestam ktoré existujú po celom svete. Ďalej je nevyhnutné zhodnotiť potenciálne riziká a zabezpečiť neustálu kontrolu a monitorovanie úložiska. Zachytenie a trvalé uskladnenie oxidu uhličitého by však nemuselo zostať poslednou možnosťou zaobchádzania s oxidom uhličitým. V práci sú zhrnuté informácie o možnostiach jeho spracovania a ďalšie prevratné koncepcie ktoré zmiernia celkové emisie. Ak by boli splnené všetky podmienky a odstránené všetky nedostatky zachytávania, dopravy a skladovania oxidu uhličitého, tieto systémy by mohli byť rozmiestnené vo veľkom po celom svete v priebehu niekoľko desaťročí, čo by znamenalo veľký krok v boji s globálnou zmenou klímy ako aj veľký krok pre ľudstvo.

**Kľúčové slová:** oxid uhličitý, zachytávanie, skladovanie, emisie, klimatické zmeny

## **Summary**

A practical solution for problems associated with climate change and adaptation to its adverse effects from afar is not only environmental, but especially economic and technological problem. This is the reason of our work to become a study that discusses the possibility, advantages and disadvantages capture and storage of carbon dioxide as one of the methods of reducing emissions as well as an indication of the position of the Slovak Republic in the fight against global climate change. In the processing of the study, it was based on more analysis and studies issued in recent years. The basic document is the report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), World Meteorological Organization (WMO) and The United Nations Environment Programme (UNEP). Developed countries are the biggest producers of emissions, so it is natural, that efforts for its reduction must be concentrated especially on them. And one of the possibilities by the governments and the countries is focused on carbon dioxide capturing and storing. Despite the importance of CCS process varies from region to region, it is important for all countries and all regions, because it offers a way how to reduce emissions. In many countries around the world projects on testing and capturing have already started which show the success of this technology. Slovakia is included among these countries and must meet Kyoto Protocol commitments and seek appropriate technologies for capturing and geological formations suitable for carbon dioxide storing. Carbon dioxide can be used for large stationary sources. Capturing of these sources is currently available to the few available systems such as post-combustion, pre-combustion and oxygen combustion systems. After capturing carbon dioxide must be guaranteed safe transport to storage sites which exist around the world. It is necessary to assess the potential risks and ensure continuous control and monitoring of storage forms. Capturing and permanent storing of carbon dioxide would not have to remain a last resort treatment of carbon dioxide. The report summarizes the information about re-use of carbon dioxide as a processing and its conversion into usable products and other revolutionary concepts to mitigate carbon dioxide emissions. If all conditions are accepted and all minuses of capturing, storing and transporting of carbon dioxide eliminated, the systems could be placed in large-scale all around the world through decades, which would be a big step in fight against climatic changes, as well as a big step for a mankind.

Key words: carbon dioxide, capture, storage, climatic changes, emission

# Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>6</b>
<b>Zoznam ilustrácií</b> .....	<b>8</b>
<b>Zoznam tabuliek</b> .....	<b>9</b>
<b>Zoznam skratiek a značiek</b> .....	<b>10</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Cieľ práce</b> .....	<b>13</b>
<b>2 Metodika práce</b> .....	<b>14</b>
2.1 Medzivládny panel pre klimatické zmeny .....	14
2.1.1 Úloha IPCC .....	15
2.1.1 Organizačná štruktúra IPCC .....	15
2.1.2 Hlavné aktivity a produkty IPCC .....	16
2.1.3 Posudzovanie správ .....	17
2.2 Rámcový dohovor OSN o klimatických zmenách .....	17
2.3 Kjótsky protokol .....	18
2.4 Európska enviromentálna agentúra .....	19
2.5 Eurostat .....	20
2.6 Program spojených národov pre životné prostredie .....	20
2.7 Svetová meteorologická organizácia .....	20
2.8 Asociácia zachytávania a skladovania oxidu uhličitého .....	21
<b>3 Výsledky práce</b> .....	<b>22</b>
3.1 Emisie skleníkových plynov .....	22
3.2 Význam zachytávania oxidu uhličitého .....	23
3.3 Zachytávanie oxidu uhličitého .....	24
3.3.1 Zachytávanie oxidu uhličitého po spaľovaní .....	25
3.3.2 Zachytávanie oxidu uhličitého pred spaľovaním .....	26
3.3.3 Kyslíkové spaľovacie systémy .....	27
3.3.4 Novátorské biologické prístupy .....	29
3.3.5 Novátorské chemické prístupy .....	29
3.3.6 "Šampón oxidu uhličitého" .....	29
3.4 Skladovanie oxidu uhličitého .....	29
3.4.1 Skladovanie oxidu uhličitého v zemi .....	31
3.4.1.1 Skladovanie CO <sub>2</sub> v ložiskách ropy a plynu .....	31

3.4.1.2	Skladovanie oxidu uhličitého v uhoľných slojoch .....	32
3.4.1.3	Skladovanie oxidu uhličitého v hlbokých slaných akviferoch.....	33
3.4.1.4	Skladovanie oxidu uhličitého v soľných kavernách .....	34
3.4.2	Skladovanie oxidu uhličitého v oceáne .....	34
3.4.3	Skladovanie oxidu uhličitého v mineráloch horniny .....	35
3.4.4	Skladovanie oxidu uhličitého minerálnou karbonizáciou.....	36
3.4.5	Skladovanie oxidu uhličitého v bituminózných bridliciach .....	36
3.5	Doprava oxidu uhličitého do úložiska.....	37
3.5.1	Doprava oxidu uhličitého potrubím.....	37
3.5.2	Doprava oxidu uhličitého na lodiach.....	38
3.5.3	Doprava oxidu uhličitého cisternovými vagónmi.....	39
3.6	Analýza úložiska .....	39
3.7	Kontrola úložiska .....	40
3.8	Monitorovanie úložiska .....	41
3.9	Charakterizácia rizík.....	43
3.9.1	Vplyv zachytávania a skladovania na životné prostredie .....	44
3.11	Náklady na zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého.....	46
3.11.1	Náklady na zachytávanie oxidu uhličitého .....	47
3.11.2	Náklady na injektáž.....	48
3.11.3	Náklady na dopravu .....	48
3.11.4	Náklady na skladovanie .....	48
3.12	Skúšobné zachytávacie a skladovacie projekty.....	49
3.12.1	Nórsko .....	51
3.12.2	Nemecko .....	52
3.12.3	Francúzsko.....	52
3.12.4	Poľsko .....	53
3.12.5	Česká republika .....	54
3.13	Zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého na Slovensku.....	55
3.14	Opätovné využitie zachyteného oxidu uhličitého.....	61
<b>4</b>	<b>Návrh na využitie výsledkov .....</b>	<b>62</b>
	<b>Záver .....</b>	<b>64</b>
	<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>66</b>
	<b>Prílohy.....</b>	<b>70</b>



---

## Zoznam ilustrácií

Obr. 1	Emisie skleníkových plynov v Európskej Únii.....	19
Obr. 2	Podiel jednotlivých plynov na celkových emisiách .....	23
Obr. 3	Proces zachytávania oxidu uhličitého po spaľovaní... ..	26
Obr. 4	Proces zachytávania oxidu uhličitého pred spaľovaním .....	27
Obr. 5	Proces priebehu kyslíkového spaľovacieho systému.....	28
Obr. 6	Možnosti skladovania oxidu uhličitého.....	34
Obr. 7	Perspektíva možnosti využitia CCS vo svete.....	50
Obr. 8	Podiel jednotlivých plynov na celkových emisiách na Slovensku.....	55
Obr. 9	Najväčšie zdroje oxidu uhličitého na Slovensku .....	57

---

## **Zoznam tabuliek**

Tab. 1	Zachytávacie systémy.....	25
Tab. 2	Celosvetové kapacity pre potenciálne uskladnenie CO <sub>2</sub> v Gt (mld. ton).....	30

---

## Zoznam skratiek a značiek

AR4 – Štvrtá hodnotiaci správa

CO<sub>2</sub> – oxid uhličitý

CCS - (ang. Capture and storage) zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého

CCSA – Asociácia zachytávania a skladovania oxidu uhličitého

CH<sub>4</sub> – Metán

EEA – (ang. Enviromental European agency) Európska agentúra pre životné prostredie

EHSV - Európsky hospodársky a sociálny výbor

ETO-ZEP - Európska technologická platforma pre elektrárne na fosílna palivá s nulovými emisiami

EU – Európska Únia

EUR – Európska menová jednotka

Euroelectric – Európska asociácia elektrického priemyslu

ETS – systém obchodovania s emisnými kvótami

Gt – miliarda ton

H<sub>2</sub>O – voda

ICO2N - Integrovaná CO<sub>2</sub> sieť

IEA - The International Energy Agency

IPCC - Medzivládny panel pre klimatickú zmenu

kWh – kilovat hodina

LPG – kvapalný plyn na pohon automobilov

MgCO<sub>3</sub> – uhličitan horečnatý

Mld. – miliarda

N<sub>2</sub>O – oxid dusný

OSN – Organizácia spojených národov

SECARB - Regional Carbon Sequestration Partnership

TAR – Tretia hodnotiaci správa

UNEP - Program OSN pre životné prostredie

UNFCCC - Rámcový dohovor OSN o klimatickej zmene

WMO - Svetová meteorologická organizácia

---

## Úvod

Zmena klímy je rozhodujúcou otázkou našej doby a zároveň jedným z najvýznamnejších environmentálnych problémov v doterajšej histórii ľudstva, ktorý naliehavo vyžaduje globálnu odpoveď (Fernando a i., 2007; Gupta a i., 2003). Podľa akceptovaného názoru väčšiny vedeckej komunity, množstvo oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v atmosfére nepochybne a merateľne stúpa, čo predstavuje vážny problém, keďže je považovaný za priamu príčinu globálnej zmeny klímy (Gupta a i., 2003). Vedci sa zhodujú, že strojársky, chemický a technický priemysel sú aktivity, ktoré sú z najväčšej časti zodpovedné za zvyšujúce sa koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére (Krajčo, 2000; Fernando a i., 2007). Na základe týchto neustálych prieskumov prebiehajúcich v oblasti fosílnych palív a ich dôsledkov na zmenu klímy sa predpokladá, že fosílna palivá zostanú významnejším zdrojom energie prinajmenšom až do polovice tohto storočia. Očakáva sa, že sa do roku 2030 bude vyrábať z uhlia dvakrát toľko elektriny na celom svete ako dnes (Stocker a i., 2009). Aktuálne svetové ekonomické systémy ročne vypúšťajú zo spaľovania fosílného paliva do atmosféry približne 26 Gt CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005). Z medzinárodného hľadiska povedie spotreba energie v Číne, Indii, Brazílii, v Južnej Afrike a v Mexiku k výraznému globálnemu nárastu dopytu, ktorý sa pravdepodobne z veľkej časti uspokojí prostredníctvom fosílnych palív (Metz a i., 2006). Väčšinu týchto emisií majú na svedomí rozvinuté krajiny. Preto je prirodzené, že snahy o ich redukciiu sa musia zamerať práve na ne (Lackner a i., 2003). Účinné kroky na zníženie emisií treba brať ako investíciu, ako cenu platenú dnes a v nasledujúcich desaťročiach za to, aby sme sa v budúcnosti vyhli riziku veľmi vážnych následkov (Dooley a i., 2006). Preto sa v súčasnosti hľadajú nové riešenia, ktoré by mohli pomôcť odvrátiť tento scenár. Prvým krokom bolo prijatie globálnej iniciatívy ako začiatok boja proti katastrofickým klimatickým zmenám. Touto iniciatívou je Kjótsky protokol, ktorého cieľom je zastavenie rastu a postupná redukcia emisií CO<sub>2</sub> emitovaného do ovzdušia (IPCC, 2005). Kjótsky protokol bol prijatý v roku 1997 a na jeho základe by mali byť v roku 2012 celkové emisie skleníkových plynov zredukované o 5,5% pod úroveň roku 1990. Krajiny, ktoré podpísali tento protokol sa zaviazali znížiť ich emisie oxidu uhličitého a piatich ďalších skleníkových plynov. Doteraz podpísalo tento protokol 141 krajín sveta. Európska únia ratifikovala protokol v máji 2002 a začala presadzovať jeho ciele, ktoré sa pohybujú od 8% redukcie (MH SR, 2006). Ochrana klímy zahŕňa aj čo najefektívnejšie využívanie dostupných zdrojov energie. Hoci

---

energetická účinnosť a obnoviteľné energie sú z dlhodobého hľadiska najvhodnejšími riešeniami, žiadna jednotlivá voľba neposkytne také zníženie emisií, ktoré by bolo schopné stabilizovať koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére na úrovni, ktorá by predchádzala nebezpečnému zásahu do systému klímy (IPCC, 2005).

Pre zabezpečenie potreby energie a bezpečnosti klímy do roku 2050 nebude možné znížiť emisie CO<sub>2</sub> o 50 % v EÚ ani vo svete, ak nevyužijeme všetky možnosti, ktoré nám súčasné technológie poskytujú (CCS) (Gupta a i., 2003). Preto by techniky k tomu, aby zachytili a skladovali CO<sub>2</sub> vyprodukované v kombinácii s ďalšími možnosťami mohli hrať významnú úlohu v boji proti zmene klímy (Brockett a i., 2007). Nová technológia predstavuje jednu z progresívnych metód redukcie emisií skleníkových plynov, ktorá v budúcnosti nájde uplatnenie najmä pre koncentrované zdroje veľkého množstva emisií (Mandil, 2004). Technológia zachytávania a skladovania dokáže na najväčších zdrojoch znečisťovania zachytiť oxid uhličitý a niekoľkými spôsobmi ho oddeliť od ostatných plynov vyprodukovaných v tepelných elektrárňach (Forbes, 2008). Oxid uhličitý sa následne v stlačenej podobe transportuje do geologických lokalít. V týchto priestoroch by mohol byť „skleníkový“ plyn skladovaný bez toho, aby prispieval k otepľovaniu atmosféry (Newbery a i., 2009). Technológia by súčasne dokázala pozitívne prispieť k ťažbe ropy zo starnúcich ropných nálezísk a tým by sa predĺžila doba ich prevádzky. Ak bude technológia CCS úspešná, predpokladá sa, že dokáže zachytiť 80-90% emisií CO<sub>2</sub> vyprodukovaných elektrárňami (IPCC, 2005).

---

## 1 Cieľ práce

Praktické riešenie problémov spojených so zmenou klímy a adaptáciou na jej nepriaznivé dôsledky už zďaleka nie je len environmentálny, ale najmä ekonomický a technologický problém.

Práve z tohto dôvodu bolo cieľom našej práce vypracovanie štúdie, ktorá pojednáva o možnostiach, výhodách a nevýhodách zachytávania a skladovania oxidu uhličitého ako jednej z metód znižovania emisií skleníkových plynov a smerovania k trvalej udržateľnosti ako aj okrajovo naznačiť pozíciu Slovenskej republiky v oblasti boja proti klimatickým zmenám prostredníctvom využívania nových technológií.

---

## 2 Metodika práce

Pri spracovávaní štúdie o zachytávaní a skladovaní oxidu uhličitého a jeho vplyve na zmenu klímy sme vychádzali z viacerých analýz a štúdií vydaných v posledných rokoch. Aby sme mohli komplexne posúdiť súčasný stav a zároveň tendencie ďalšieho vývoja a výskumu sme údaje získavali v horizonte posledných rokov a zároveň s prognózami jednotlivých štúdií do budúcnosti. Vychádzali sme zo štúdií viacerých organizácií zaoberajúcich sa klimatickými zmenami a možnosťami ich znižovania ako sú Rámcový dohovor OSN o klimatickej zmene (UNFCCC), Kjótsky protokol, Európska agentúra pre životné prostredie (EEA), Generálne riaditeľstvo pre životné prostredie, Eurostat, Program Spojených národov pre životné prostredie, Svetová meteorologická organizácia (WMO), Asociácia zachytávania a skladovania oxidu uhličitého (CCSA). Základným dokumentom našej štúdie sú správy Medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu (IPCC). Údaje sme taktiež získavali z databáz a ostatných zahraničných, ale i domácich štúdií zaoberajúcich sa touto problematikou, ako sú štúdie Cutting Carbon in Europe (Heuhoff, 2009), Greenhouse gas emission trends and projections in Europe (Jeagly, 2008) Capturing Carbon Dioxide from the Air z Columbia Univerzity (Lackner, 2005), Capturing CO<sub>2</sub> (Lewis, 2007), Carbon Dioxide Capture and Geologic Storage ,United states of America (Dooley, 2006), CO Capture technologies and opportunities in Canada (Gupta, 2003), European CO<sub>2</sub> Capture and Storage projects . IPCC Expert Meeting on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Chang (Stocker, 2009) a iných.

### 2.1 Medzivládny panel pre klimatické zmeny

Uvedomujúc si problém potenciálnej globálnej zmeny klímy, Svetová meteorologická organizácia (WMO) a Program OSN pre životné prostredie (UNEP) ustanovili v roku 1988 Medzivládny panel pre klimatickú zmenu (IPCC), ktorý má poskytovať svetu vedecký názor na súčasný stav klimatických zmien a ich vplyv na životné prostredie a sociálno-ekonomické dôsledky. Medzivládny panel o zmene klímy a Albert Arnold Gore Jr. boli ocenení v októbri 2007 Nobelovou cenou za mier „za ich úsilie budovať a šíriť poznatky o človeku a zmenách klímy a za polozenie základov pre opatrenia, ktoré sú potrebné na vyrovnanie týchto zmien“ .

---

### **2.1.1 Úloha IPCC**

Úloha IPCC spočíva vo vyhodnocovaní informácií vedeckého, technického a socio - ekonomického charakteru na komplexnej, objektívnej, otvorenej a transparentnej báze. Jeho cieľom je lepšie pochopenie vedeckého základu rizika klimatickej zmeny spôsobenej človekom, ako aj posúdenie jej dôsledkov, možností jej zmiernenia a adaptácie na ňu. IPCC nerobí vlastný výskum ani monitoring údajov týkajúcich sa podnebia či iných relevantných parametrov. Jeho hodnotenia vychádzajú z posudkov a uverejnenej vedeckej a technickej literatúry a pripravujú ich skupiny autorov nominovaných na konkrétne úlohy vládami a medzinárodnými organizáciami podľa ich odbornosti. Na zostavovaní správ IPCC sa teda podieľa niekoľko stoviek odborníkov a ďalšie stovky expertov tieto správy posudzuje. Ide o pracovníkov univerzít, výskumných centier, obchodných asociácií a organizácií z oblasti životného prostredia a iných oblastí z viac ako sto krajín. Príprava jednotlivých správ sa riadi procedurálnymi pravidlami schválenými Medzivládny panelom pre zmenu klímy. Výbor IPCC sa stretáva dva až tri krát za rok a spolupracuje s predsedom IPCC pri plánovaní, koordinácii práce a monitoringu úspechu IPCC.

### **2.1.1 Organizačná štruktúra IPCC**

Medzivládny panel je riadený Sekretariátom IPCC so sídlom v Ženeve a je podporovaný aj Programom OSN pre životné prostredie. Predstavenstvo IPCC sa v súčasnosti skladá z 31 členov, ktorí sú volení na plenárnom zasadnutí IPCC. Členovia predstavenstva sú odborníkmi v oblasti zmeny klímy a sú povinní poskytnúť poradenstvo a vedenie tímov autorov počas celej prípravy hodnotiacej správy IPCC. Dĺžka ich mandátu zodpovedá dĺžke cyklu prípravy hodnotiacich správ čiže 5 až 6 rokov.

V rámci IPCC pôsobia tri pracovné a jedna účelová skupina (Task force). Pracovné skupiny aj účelová skupina majú k dispozícii jednotku technickej podpory. Jednotka technickej podpory pre konkrétnu pracovnú či účelovú skupinu hostuje vo výskumnej inštitúcii krajiny, ktorej vláda technickú jednotku zároveň podporuje. Predstaviteľ tejto krajiny je potom spolupredsedom tej - ktorej Pracovnej skupiny.

Úlohou Pracovnej skupiny I je posudzovanie vedeckých aspektov klimatického systému a klimatickej zmeny.

Pracovná skupina II hodnotí citlivosť socio - ekonomických a prírodných systémov na klimatickú zmenu, posudzuje negatívne alebo pozitívne dôsledky zmeny klímy a možnosti adaptácie na ňu.



---

Pracovná skupina III posudzuje možnosti obmedzenia emisie skleníkových plynov a zmierňovania klimatickej zmeny inými spôsobmi. Aktivity IPCC podporuje aj niekoľko ďalších inštitúcií a aj iným ako finančným spôsobom.

Účelová skupina pre Národný register skleníkových plynov zodpovedá za inventarizáciu skleníkových plynov v rámci Programu IPCC pre národné registre skleníkových plynov.

### **2.1.2 Hlavné aktivity a produkty IPCC**

IPCC sa zameriava predovšetkým na vypracovávanie pravidelných posudkov o stave znalostí o klimatickej zmene. IPCC ďalej poskytuje vedecké, technické a socio-ekonomické poradenstvo medzinárodnému spoločenstvu, predovšetkým však zmluvným stranám UNCCC, prostredníctvom pravidelných hodnotiacich správ a zvláštnych správ. IPCC sa zameriava predovšetkým na vypracovávanie pravidelných posudkov o stave znalostí o klimatickej zmene. Taktiež pripravuje Zvláštne správy a Technické štúdie na témy, o ktorých sa domnieva, že objektívna vedecká informovanosť a poradenstvo sú v súvislosti s nimi nevyhnutné. IPCC podporuje Rámcový dohovor OSN o klimatickej zmene (UNFCCC) prostredníctvom vypracovávaní metodológií pre Národné registre skleníkových plynov. Tieto hodnotiace správy by mali bežne slúžiť ako referencia pri poskytovaní informácií k diskusiám prebiehajúcim na konferenciách zmluvných strán.

Prvá hodnotiacia správa IPCC bola vypracovaná v roku 1990 a zohrala významnú úlohu pri zakladaní Medzinárodného vyjednávacieho výboru pre Rámcový dohovor OSN pre klimatickú zmenu Valným zhromaždením OSN. Poskytuje celkový politický rámec pre adresovanie problému klimatickej zmeny.

Druhá hodnotiacia správa IPCC s názvom *Klimatická zmena 1995* bola kľúčovým vkladom pri jednaniach, ktoré viedli k prijatiu Kjótskeho protokolu k UNFCCC v roku 1997.

Tretia hodnotiacia správa (TAR) má názov *Klimatická zmena 2001*. Strany sa zhodli na tom, že hodnotiacia správa by mala bežne slúžiť ako referencia pri poskytovaní informácií k diskusiám prebiehajúcim na konferenciách zmluvných strán.

V septembri 2001 sa Medzivládny panel rozhodol pokračovať v príprave súhrnných správ a v novembri 2003 IPCC po dvoch rámcových stretnutiach vytýčil hlavné oblasti činnosti pre tri pracovné skupiny pri vypracovávaní Štvrtej hodnotiacej správy (AR4).

---

### **2.1.3 Posudzovanie správ**

Aby bola zabezpečená vysoká miera dôveryhodnosti, transparentnosti a objektívnosti, správy IPCC musia prejsť dôsledným dvojfázovým procesom vedeckého a technického hodnotenia. V prvej fáze sú vypracované materiály hodnotené významnými odborníkmi, ktorí publikujú a robia výskum v obore. V druhej fáze sú ich hodnotenia postúpené vládam, autorom materiálov a expertným hodnotiteľom. Po pripomienkovom konaní expertov a vlád je finálna verzia správy predložená plénu k vysloveniu súhlasu.

## **2.2 Rámcový dohovor OSN o klimatických zmenách**

Dohovor vytvára celkový rámec pre medzivládne úsilie čeliť výzve, akú predstavuje klimatická zmena. Priznáva, že klimatický systém je spoločným bohatstvom a jeho stabilitu môže ovplyvňovať produkcia priemyselných a iných emisií oxidu uhličitého ako aj ostatných skleníkových plynov. Dohovor vstúpil do platnosti 21. marca 1994 a teší sa takmer univerzálnemu členstvu, v októbri 2009 ratifikovalo dohovor už 194 krajín.

Zmluvné strany Dohovoru majú:

- zbierať a zdieľať informácie o emisiách skleníkových plynov, národných politikách a najefektívnejších postupoch
- zaviesť národné stratégie pre adresovanie emisie skleníkových plynov a adaptáciu na očakávané dopady klimatickej zmeny vrátane poskytovania finančnej a technologickej podpory rozvojovým krajinám
- spolupracovať pri príprave na adaptáciu na dopady klimatickej zmeny

Najväčším úspechom Dohovoru, je označenie klimatickej zmeny za problém. Základným cieľom Dohovoru je stabilizácia koncentrácie plynov spôsobujúcich skleníkový efekt v atmosfére na úrovni, ktorá by zabránila nebezpečnej a antropogénnej interferencii s klimatickým systémom. Takáto úroveň by sa mala dosiahnuť v rámci dostatočnej časovej lehoty, ktorá by umožnila ekosystémom adaptovať sa prirodzeným spôsobom na zmenu klímy, zabezpečiť, aby nebola ohrozená produkcia potravín a umožniť, aby ekonomický rozvoj pokračoval udržateľným spôsobom. Od vyspelých krajín vyžaduje presné a pravidelne aktualizované národné inventúry emisií skleníkových plynov. Dohovor kladie v boji proti zmenám klímy najväčšie bremeno na

---

vyspelé industrializované krajiny, pretože tieto predstavujú najväčší zdroj minulých a súčasných emisií skleníkových plynov. Všetky zmluvné strany dohovoru súhlasia brať do úvahy zmenu klímy v sektore poľnohospodárstva, priemyslu, energie, prírodných zdrojov a aktivít týkajúcich sa morského pobrežia. Súhlasia tiež s vypracovaním národných programov pre spomalenie zmeny klímy. Prvým dodatkom k Dohovoru sa stal tzv. Kjótsky protokol.

### **2.3 Kjótsky protokol**

Kjótsky protokol je medzinárodná dohoda ktorá nadväzuje na UNFCCC. Vlády si uvedomovali, že snahy v rámci dohovoru UNFCCC sú iba prvým krokom pri riešení problému zmeny podnebia. V roku 1997 preto urobili ďalší krok a prijali protokol k dohovoru UNFCCC v japonskom meste Kjóto. Kjótsky protokol podporuje priemyselné krajiny v stabilizácii ich úrovne emisií. Protokol bol podpísaný v roku 1997 a boli v ňom stanovené všeobecné právno-záväzné záväzky znížiť emisie skleníkových plynov v rozvinutých krajinách v období 2008 – 2012. Kjótsky protokol stanovuje právne obmedzujúce podmienky týkajúce sa emisií skleníkových plynov z priemyselných krajín. Uvádza tiež inovatívny mechanizmus založený na trhu – tzv. kjótsky flexibilný mechanizmus – zameraný na udržanie nízkych nákladov na obmedzenie emisií. Kjótsky protokol vstúpil do platnosti vo februári 2005. Do začiatku roka 2009 ratifikovalo protokol 183 štátov a Európska únia. To znamená, že 37 rozvinutých krajín a EÚ-15 (15 štátov, ktoré boli členmi únie v čase podpisu protokolu) sa zaviazali dosiahnuť stanovené ciele z Kjóta. Iba jeden veľký štát, ktorý zmluvu pôvodne podpísal, ju neratifikoval - USA.

#### ***Ciele Kjótskeho protokolu***

Priemyselné krajiny ako také musia podľa protokolu znížiť svoje emisie šiestich skleníkových plynov (CO<sub>2</sub>, metánu, oxidu dusného, hydrofluórokarbónov, perfluórokarbónov a fluoridu sírového) asi o 5 % pod úroveň z roku 1990 v období prvého záväzku od roku 2008 do roku 2012. Normy sa pre jednotlivé štáty pohybujú v intervale -8 až +10 percent úrovne objemu nimi vyprodukovaných emisií v roku 1990.

Namiesto jedného roku sa dohodli na päťročnom období záväzku kvôli odstráneniu ročných kolísaní emisií vplyvom nekontrolovateľných faktorov, akým je napríklad počasie. Rozvojové krajiny nemajú žiadne emisné záväzky.

---

## 2.4 Európska environmentálna agentúra

Európska environmentálna agentúra (EEA) je jednou z pätnástich špecializovaných agentúr Európskej únie a jedným z jej decentralizovaných orgánov. Zriadená bola v roku 1990 nariadením Rady 90/1210/EEC zo 7. mája 1990, ktoré bolo novelizované 29. apríla 1999 nariadením Rady 99/933/EC. EEA pôsobí v Kodani od roku 1994. Členstvo EEA je otvorené aj pre krajiny, ktoré nie sú členskými štátmi EÚ. Momentálne je súčasťou EEA 32 krajín, z toho 27 členských štátov Európskej únie a Island, Lichtenštajsko, Nórsko, Švajčiarsko a Turecko. Svoje služby poskytuje najmä Európskej komisii, Európskemu parlamentu a Európskej rade. Okrem nich aj ďalším inštitúciám EÚ, ako je Hospodársky a sociálny výbor, Výbor regiónov a Európska investičná banka. EEA sa pokúša dosiahnuť obojstrannú komunikáciu s klientmi s cieľom správne určiť ich informačné potreby a zabezpečiť, aby poskytovaným informáciám rozumeli a prijali ich. Informácie využívajú aj obchodné subjekty, akademická obec a mimovládne organizácie. Rovnako je cenným zdrojom poznatkov pre laickú verejnosť.

Agentúra analyzuje stav a trendy v oblasti životného prostredia, ako aj hospodárske a sociálne tlaky v tejto oblasti. Zároveň vyvíja scenáre, hodnotí politiku a zabezpečuje kvalitu údajov. Jej poslaním je taktiež podpora trvalo udržateľného rozvoja a dosiahnutie významného a merateľného zlepšenia životného prostredia Európy prostredníctvom poskytovania spoľahlivých a nezávislých informácií o životnom prostredí. Je hlavným zdrojom informácií pre tých, ktorí sa podieľajú na príprave, schvaľovaní, zavádzaní a vyhodnocovaní politiky životného prostredia a tiež pre verejnosť.

Európska environmentálna agentúra pomáha Spoločenstvu a členským krajinám prijímať rozhodnutia týkajúce sa kvality životného prostredia a začleňovať environmentálne kritériá do hospodárskych politík. Nová stratégia na roky 2009 - 2013 sa zakladá na troch hlavných činnostiach:

- pokračovať v uspokojovaní informačných potrieb stanovených v európskych a medzinárodných právnych predpisoch, najmä v 6. environmentálnom akčnom programe
- pripraviť vhodnejšie načasované hodnotenia spôsobov a príčin zmien životného prostredia, ako aj environmentálnych politík vrátane 6. environmentálneho akčného programu, stratégie trvalo udržateľného rozvoja EÚ a súvisiacich oblastí
- zlepšiť koordináciu a sprostredkovanie environmentálnych údajov a poznatkov v Európe

---

## 2.5 Eurostat

Eurostat je štatistický úrad Európskej únie. Je zodpovedný za harmonizáciu, zber a šírenie štatistiky EÚ o hospodárskej, sociálnej a environmentálnej témy relevantnej pre európsku politiku. Jednotlivé publikácie Eurostatu prinášajú prehľad harmonizovaných európskych štatistických údajov. Výsledky jednotlivých štatistických údajov sú priamo alebo nepriamo používané pri výpočtoch a odhadoch vývoja skleníkových plynov. Používa jednotné pravidlá na zhromažďovanie všetkých štatistických údajov z národných štatistických inštitútov každého z 27 členských štátov únie. Po zhromaždení údajov v požadovanej forme nasleduje ich konsolidácia a harmonizácia, berúc do úvahy špecifiká každej krajiny, a tak dané údaje môžu byť použité globálne alebo komparatívne.

## 2.6 Program spojených národov pre životné prostredie

Environmentálny program OSN (UNEP) z anglického United Nations Environment Programme je špeciálna organizácia OSN, vytvorená v roku 1972 ako prostriedok globálnej ochrany životného prostredia. UNEP má za úlohu stimulovať a koordinovať aktivity UNESCO, WHO, WMO, FAO a iných organizácií OSN, ktorých cieľom je kvalita životného prostredia. Sídlo UNEP je v Nairobi, regionálne centrá v Bangkoku, Bejrúte, Mexiku, New Yorku a Ženeve. K hlavným prioritám UNEP patrí ochrana pôdy, klímy, oceánov a morí, zastavenie odlesňovania, zachovanie biologickej rozmanitosti, zabezpečenie dostatku pitnej vody.

## 2.7 Svetová meteorologická organizácia

Svetová meteorologická organizácia je medzinárodná organizácia (WMO) pre spoluprácu v oblasti siete meteorologických a hydrologických staníc, meteorologických pozorovaní a pre rýchlu výmenu meteorologických informácií. Bola založená v roku 1950 ako následník Medzinárodnej meteorologickej organizácie (International Meteorological Organisation IMO) a je pridružená k OSN. Sídli v Ženeve vo Švajčiarsku. V súčasnosti má 187 členov.

### Ciele WMO

- kooperácia na celosvetovej sieti meteorologických staníc
- riešenie rýchlej výmeny dát a informácií
- štandardizácia meteorologických pozorovaní a meraní

- 
- vedenie výskumu v meteorológii a riadenie spolupráce medzi jednotlivými členskými organizáciami

## **2.8 Asociácia zachytávania a skladovania oxidu uhličitého**

Asociácia zachytávania a skladovania oxidu uhličitého (CCSA) má za úlohu podporovať technológiu CCS ako prostriedok na zmenšenie množstva emisií oxidu uhličitého. Pracuje predovšetkým na zvýšení povedomia o technológii zachytávania a skladovania oxidu uhličitého a to nie len vo Veľkej Británii, kde má sídlo, ale na medzinárodnom fóre, kde predkladá informácie o výhodách CCS, ako aj dôležitosť technológie pri zmiernovaní klimatických zmenách.

### **Ciele CCSA**

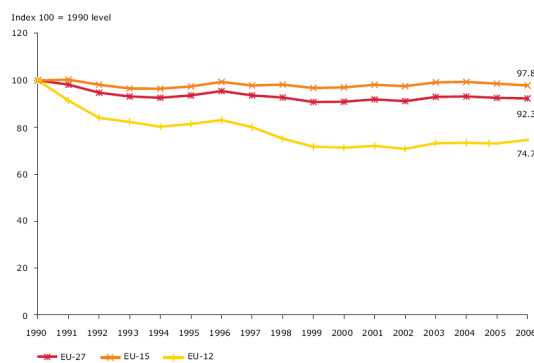
- zlepšovať porozumenie medzi tvorcami politiky a širokou verejnosťou o výhodách CCS pri znižovaní emisií CO<sub>2</sub>
- prispieť k vykonaniu príslušných dlhodobých regulačných rámcov pre rozvoj technológií CCS vo Veľkej Británii, v EÚ a na medzinárodnej úrovni
- zabezpečovať primerané finančné prostriedky a investičné stimuly na rozvoj CCS.
- informovať verejnosť, vlády a štáty o technických, socio-ekonomických a obchodných výhodách zachytávania a ukladania oxidu uhličitého
- poskytovať poradenstvo tvorcom politik v oblasti otázok vytvárania regulačných rámcov, ako aj poskytovať poradenstvo v oblasti mechanizmov spojených s CCS
- poskytnúť fórum na podporu informácií výmeny, vytvárania sietí a posilnenie schopnosti vo vzťahu k CCS.

---

## 3 Výsledky práce

### 3.1 Emisie skleníkových plynov

Historicky predstavuje zmena klímy prírodné javy, ktoré vplývajú na život na Zemi niekedy s katastrofálnymi následkami, napríklad zánikom rôznych druhov, avšak na základe neustálych vedeckých výskumov bolo zistené, že posledné zmeny klímy boli spôsobené ľudskou činnosťou (Kirby, 2008) (Príloha 1). Zmena globálnej klímy, zapríčinená najmä antropogénnymi skleníkovými plynmi, je v súčasnosti významným environmentálnym problémom (IPCC, 2009). Narastajúce koncentrácie skleníkových plynov (CO<sub>2</sub> - oxid uhličitý, CH<sub>4</sub> – metán, N<sub>2</sub>O - oxid dusný, HFC -fluóvané uhľovodíky, PFC – plnofluóvané uhľovodíky, SF<sub>6</sub> – flurid sírový) v atmosfére zosilňujú skleníkový efekt, čo následne vyvoláva zmenu klímy (Škorňa, 2005). V Spojených štátoch ročne vypustí 8000 uhoľných elektrární do ovzdušia 2,8 miliardy ton CO<sub>2</sub>. Globálne je takýchto elektrární približne 50 000 (Lackner, 2005). Emisie skleníkových plynov v EÚ-27 predstavujú približne 10,5% globálnych antropogénnych emisií skleníkových plynov. Medzi najväčších producentov skleníkových plynov v EÚ-27 je EÚ-15 a členské štáty: Nemecko, Veľká Británia, Taliansko, Francúzsko a Španielsko. Poľsko je najväčším producentom skleníkových plynov v EÚ-12. V roku 2006 EÚ-15 predstavovala 81% všetkých emisií EÚ-27 (Wieland, 2010)(Obr.1).



Obr. 1

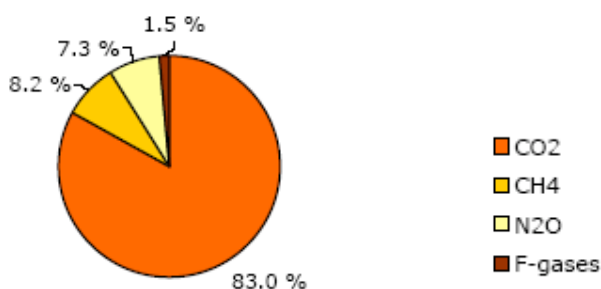
#### Emisie skleníkových plynov v EÚ (EEA, 2008)

Počas obdobia rokov 1990 až 2007 spaľovanie paliva predstavovalo 77% všetkých emisií EÚ 27 (EEA, 2008). Emisie vyplývajúce zo spaľovania paliva pochádzajú najmä z dvoch zdrojov, ktorými sú ropa, zemný plyn a elektrárne produkujúce elektrickú energiu (pri výrobe ktorej sa vyrába takmer jedna tretina všetkých emisií skleníkových plynov). Cestná doprava, ktorá zahŕňa

---

používanie áut a hromadnej osobnej dopravy, predstavuje takmer jednu pätinu všetkých emisií (EC, 2004). Ďalší hlavný prispievateľ do emisií zo spaľovania palív boli zo spracovateľského priemyslu a domácností (Forbes, 2008).

Podiel oxidu uhličitého na celkových emisiách skleníkových plynov je až 83%, zatiaľ čo podiel metánu (CH<sub>4</sub>) a oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) na celkových emisiách je približne rovnaký - 8% (Obr.2) (Jaegly, 2006) (Obr.2).



**Obr. 2**

### **Podiel jednotlivých plynov na celkových emisiách (EEA, 2008)**

Emisie skleníkových plynov na jedného obyvateľa sa výrazne líšia medzi európskymi krajinami. Aj napriek tomu je priemer EÚ-27 (10,4 t CO<sub>2</sub>/obyv.) len mierne nižší než priemer v EÚ-15 (10,7 t CO<sub>2</sub>/obyv.) (EEA, 2008).

## **3.2 Význam zachytávania oxidu uhličitého**

Zásoba primárnej energie bude ovládaná fosílnymi palivami prinajmenšom až do polovice storočia. Avšak žiadna jednotlivá voľba neposkytne také zníženie emisií, ktoré by bolo schopné stabilizovať koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére na úrovni, ktorá by predchádzala nebezpečnému zásahu do systému klímy (IPCC, 2005). Preto techniky k tomu, aby zachytili a skladovali CO<sub>2</sub> vyprodukované v kombinácii s ďalšími možnosťami, by mohli hrať významnú úlohu v boji proti zmene klímy (Brockett, 2007). Možnosti vedúce k stabilizácii koncentrácie skleníkového plynu v atmosfére zahŕňujú (Dooley a i., 2006):

1. zlepšenie energetickej účinnosti a redukcie dopytu po energii
2. využívanie obnoviteľných zdrojov energií (veterná, slnečná, prílivová, geotermálna, biomasa)
3. zachytávanie a skladovanie CO<sub>2</sub>, ktorý je v súčasnosti vypúšťaný do ovzdušia



---

Zachytávanie a skladovanie vyprodukovaného CO<sub>2</sub> v kombinácii s ďalším úsilím by mohlo pomôcť stabilizovať koncentráciu skleníkového plynu v atmosfére a k zmierneniu zmeny klímy (Demo, 2007). Zachytávanie a uskladňovanie uhlíka predstavuje rad technologických procesov, ktoré pozostávajú z troch relatívne nezávislých etáp (IPCC, 2005):

1. zachytávanie a odlučovanie CO<sub>2</sub> z plyných splodín na mieste vzniku
2. preprava CO<sub>2</sub> na miesto trvalého uloženia
3. konečné a trvalé uloženie CO<sub>2</sub>

Hlavným cieľom zachytávania a uskladňovania uhlíka (CCS) je zníženie emisií CO<sub>2</sub> pochádzajúcich z výroby elektrickej energie a z fosílnych palív, predovšetkým z uhlia a plynu (Hladik, 2009). CCS sa môže taktiež uplatňovať aj v odvetviach náročných na emisie CO<sub>2</sub> ako v rafinériách, továrňach na výrobu cementu, železa a ocele, v petrochemickom priemysle, pri spracovaní ropy, plynu a inde (Dooley a i., 2006). Po zachytení sa CO<sub>2</sub> prepravuje k vhodnej geologickej formácii, do ktorej sa injektuje s cieľom odizolovať ho od atmosféry na dlhý čas. Okrem geologického uskladnenia existujú aj iné možnosti, napríklad uskladnenie v mineráloch (Brockett, 2007). Za predpokladu 20 % zníženia emisií skleníkových plynov do roku 2020, by sa mohlo v roku 2020 zachytiť 7 miliónov ton CO<sub>2</sub>, s nárastom približne na 160 miliónov ton v roku 2030 (Metz a i., 2007). CCS môže zachytiť až 90% CO<sub>2</sub> vyrobeného z používania fosílnych palív, ktoré jej zabránili vstupu do atmosféry (Newbery a i., 2009).

### **3.3 Zachytávanie oxidu uhličitého**

Zachytávanie oxidu uhličitého je rad technologických procesov, ktorý pozostáva zo zachytávania oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) z plynov vypúšťaných priemyslom (Metz a i., 2007). Zachytávanie CO<sub>2</sub> sa v súčasnosti prioritne zameriava najmä na využitie technológie CCS z veľkých stacionárnych zdrojov, ktoré spracovávajú fosílna palivá, alebo iné priemyselné odvetvia s významnejšími emisiami CO<sub>2</sub> (Fernado a i., 2007). Technológie pre zachytávanie CO<sub>2</sub> z malých zdrojov emisií ako sú domácnosti a topné systémy nie sú v súčasnosti dostatočne vyvinuté (IPCC 2005). Medzi základné faktory, ktoré ovplyvňujú potenciál zdroja pre uplatňovanie CCS technológie patria (Fernado a i., 2007):

1. veľkosť zdroja emisií
2. blízkosť zdroja emisií k potenciálnym geologickým úložiskám
3. stacionárnosť a mobilita

Napriek tomu, že niektoré vhodné technológie už existujú, zachytávanie tohto plynu zatiaľ nebolo optimalizované pre širšie využitie (Metz a i., 2007). V mnohých krajinách prebieha v súčasnosti rozsiahly výskum, ktorý sa zaoberá novými, sľubnými koncepciami a zlepšovaním existujúcich technológií, ktoré majú za cieľ znížiť náklady a množstvá energie spotrebované pri zachytávaní CO<sub>2</sub> (Brockett, 2007). Súčasne sa vo veľkokapacitných elektrárnach plánujú testy, ktoré by tieto novšie technológie overili v priemyselnom meradle (Kirby, 2008). CCS aplikovaná na moderné konvenčné elektrárne by mohlo zredukovať emisie CO<sub>2</sub> v atmosfére približne 80 – 90% v porovnaní s elektrárnou bez CCS (IPCC, 2005).

V súčasnosti je k dispozícii päť metód, ktoré dokážu oxid uhličitý vznikajúci pri spaľovaní fosílnych palív zachytávať (IPCC, 2009). Medzi nimi rozoznávame tri dostupné systémy pre zachytávanie v elektrárnach, pričom v každej z týchto technológií je nevyhnutné oddeliť oxid uhličitý od ostatných stoviek plynových zmesí (Fernado a i., 2007). Sú to systémy zachytávania po – spaľovaní, pred – spaľovaním a zachytávanie CO<sub>2</sub> po – spaľovaní s podporou zmesi O<sub>2</sub>/ CO<sub>2</sub> (Tab. 1), ktoré sa tiež nazývajú ako kyslíkové spaľovacie systémy (oxyfuel combustion) (IPCC, 2005). Ďalšie dve technológie môžeme označiť ako novátorské. Ide o chemické alebo biologické novátorské prístupy slúžiace na zachytávanie oxidu uhličitého (Kirby, 2008). Mimo týchto technológií je možné oxid uhličitý separovať aj z procesov výroby cementu a vápna, prípadne iných chemických a priemyselných výrob, pri ktorých sa do ovzdušia vypúšťajú významné objemy CO<sub>2</sub> (Hladik, 2009). Každá z týchto techník je v rôznom stupni vývoja a každá má svoje výhody aj nevýhody (Dooley a i., 2006).

**Tab. 1**

**Zachytávacie systémy (IPCC, 2005)**

Systém	Status	Percento schopnosti zachytenia CO <sub>2</sub>
Po-spaľovaní	Aplikačná fáza	99%
Pred-spaľovaním	Aplikačná fáza	99%
Kyslíkové spaľovanie	Výskumná fáza	100%

### 3.3.1 Zachytávanie oxidu uhličitého po spaľovaní

Zachytenie CO<sub>2</sub> produkovaného zo spaľovania fosílnych palív a biomasy vo vzduchu sa

nazýva po–spaľovací zachytávací systém (Campbell, 2008). Namiesto toho, aby bol CO<sub>2</sub> vypustený priamo do atmosféry, plyn prechádza zachytávacím zariadením, ktoré oddeľuje oxid uhličitý od väčšiny vypúšťaných plynov. CO<sub>2</sub> je potom dodávaný do skladovacích nádrží a zostávajúci plyn, z ktorého bolo CO<sub>2</sub> oddelené, je vypustený do atmosféry (Obr. 3) (IPCC, 2005). Výhodou technológie zachytávania oxidu uhličitého po spaľovaní je, že nemusí byť nainštalovaná pri stavbe elektrárni, ale je možné ju zakomponovať ako dovybavenie do už existujúcich uhoľných alebo plynových elektrární a tovární, ktoré vypúšťajú veľké množstvo CO<sub>2</sub> (Newbery, 2009). Tento systém predstavuje technológiu s vysokou účinnosťou, hlavne pre elektrárne, kde môže byť systém zachytávania CO<sub>2</sub> najlepšie aplikovaný (Dooley a i., 2006). Po–spaľovacie systémy sú najzrelším, ale v súčasnosti taktiež najdrahším spôsobom zachytávania zo všetkých známych techník. Táto metóda je využívaná najmä pri konvenčných elektrárnach, ale taktiež je v súčasnosti využívaná aj na špecializovaných trhoch (IPCC, 2005; Brockett, 2007). Ďalšie techniky sú taktiež považované za účinné, ale v súčasnosti nie sú v tak pokročilom stupni vývoja (Brockett, 2007). Zatiaľ táto technológia nie je komerčne využívaná vo veľkom meradle, pretože sú ešte nevyhnutné ďalšie náklady a zlepšenie efektivity (IPCC, 2005).



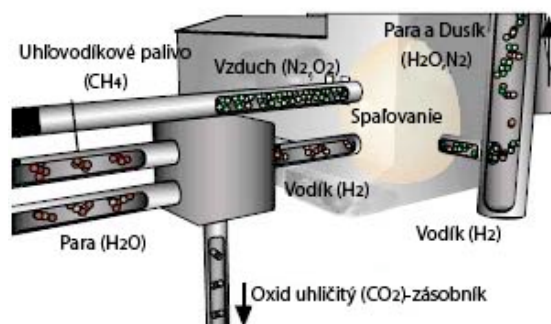
**Obr. 3**

### **Proces zachytávania CO<sub>2</sub> po spaľovaní (IPCC, 2009; upravené Škreková)**

#### **3.3.2 Zachytávanie oxidu uhličitého pred spaľovaním**

Zachytávanie CO<sub>2</sub> pred–spaľovaním je technológia známa z rôznych odvetví priemyslu, kde sa už v súčasnosti tento plyn od ostatných separuje. Výsledný CO<sub>2</sub> je potom ďalej využívaný na vedľajších trhoch, napríklad v potravinárstve. Táto technológia je taktiež široko aplikovaná pri výrobe umelého hnojiva, chemickom alebo plynnom palive, alebo pri výrobe elektriny (Gupta

a i., 2003). Pred-spaľovacie zachytávanie CO<sub>2</sub> súvisiace s výrobou elektriny je tiež známe ako integrované splyňovanie s kombinovaným cyklom (IGCC) (Shackley, 2007). Pred-spaľovacie systémy spracovávajú primárne palivo v reaktore s parou alebo kyslíkom a produkujú zmes pozostávajúcu z hlavne CO (oxidu uhoľnatého) a vodíka (syntézny plyn) (IPCC, 2009). Proces pozostáva zo zaobchádzania s palivom, parou a vzduchom alebo s kyslíkom – je to čiastočná oxidácia produkujúca syntézny plyn, ktorý obsahuje hlavne CO a vodík. V druhom kroku premieňa CO v prítomnosti vody (H<sub>2</sub>O) a oddeľuje CO<sub>2</sub> pre zachytávanie a skladovanie. CO<sub>2</sub> tak môže byť zachytený z relatívne čistého prúdu výfuku (Obr. 4) (Fernando a i., 2007). H<sub>2</sub> môže byť používané ako palivo, uhlík je odstránený pred spaľovaním, ako napríklad v prípade, keď sa zo zemného plynu (CH<sub>4</sub>) vyrába vodík a CO<sub>2</sub> (EEA, 2008). Počiatočná palivová premena je viac prepracovaná a nákladnejšia než v kyslíkových spaľovacích systémoch. Pred-spaľovacie systémy sú využívané v elektrárnach, ktoré obsahujú integrované splyňovanie a kombinovaný cyklus (IPCC, 2005). Pred-spaľovacie technológie zachytávania sa vzťahujú len na nové elektrárne na fosílné palivá, pretože zachytiť proces vyžaduje silnú integráciu spaľovacieho procesu (IPCC, 2009).



Obr. 4

### Proces zachytávania CO<sub>2</sub> pred spaľovaním (IPCC, 2009; upravené Škreková)

#### 3.3.3 Kyslíkové spaľovacie systémy

Táto technológia sa tiež nazýva Oxy-Fluel spaľovacie systémy (Neuhoff a i., 2007). V súčasnosti je už na základe vedeckých výskumov možné potvrdiť, že pomocou tejto technológie je možné zachytiť až 100 percent produkovaného oxidu uhličitého (Stocker a i., 2009). Táto technika vynáša spalínu vysoko koncentrovanú v CO<sub>2</sub> a mohla by predstavovať

---

vhodné dodatočné vybavenie technológii pre už existujúce inštalácie (IPCC, 2009). Palivo je spaľované za prítomnosti kyslíka namiesto vzduchu. Pre obmedzenie teploty plameňa počas spaľovania je vstrekaný do spaľovacej komory chladený plyn. Tento dymový plyn pozostáva hlavne z  $\text{CO}_2$  a vodnej pary, ktoré sú neskôr zhusťované prostredníctvom chladenia (Gupta a i., 2003). Separačné zariadenie by mohlo byť menšie ako v predchádzajúcej variante (IPCC, 2005). Hlavným problémom je oddelenie kyslíka zo vzduchu. Výsledkom je takmer čistý prúd  $\text{CO}_2$ , ktorý môže byť prepravovaný do miesta uloženia (Gupta a i., 2003). Procesy založené na kyslíkových spaľovacích systémoch sú niekedy označované aj ako nulové vysielacie cykly, pretože  $\text{CO}_2$  nie je uložený a odstránený z prúdu plynu, ale prúd plynu je odstránený sám (Stocker a i., 2009). Ten istý zlomok  $\text{CO}_2$  vygenerovaný počas spaľovania nevyhnutne skončí v hustejšej vode. Vzniká tak nulová výfuková emisia (Hladik, 2009). Technika sľubuje veľa, ale počiatočný krok k vzdušnému triedeniu vyžaduje veľa energie (Fernando a i., 2007). Ďalšie zaobchádzanie s plynom môže byť potrebné napríklad k odstráneniu exhalátov (IPCC, 2005).

Kyslíkové spaľovacie systémy sú v súčasnej dobe iba v počiatočnom štádiu vývoja, ale pokusné prevádzky, ktoré túto metódu skúšajú, sú už postavené a taktiež je v pláne tento systém uplatňovať aj v elektrárnach, ktoré sú už v pokročilom stupni vo využívaní vyššie uvedených metód (Lewis, 2007). Veľkou výhodou tejto technológie je predovšetkým možnosť dovybavenia už existujúcich elektrární, čo môže výrazným spôsobom ovplyvniť a znížiť vstupné náklady (Newbery a i., 2009). Tieto systémy sú taktiež navrhované v systémoch plynových turbín, ale návrhy pre takéto aplikácie sú ešte len vo výskumnej fáze (IPCC, 2005).



Obr. 5

**Proces priebehu kyslíkového spaľovacieho systému (IPCC, 2009; upravené Škreková)**

---

### 3.3.4 Novátorské biologické prístupy

Podstatnou výhodou biotechnologických riešení je, že si nevyžadujú čistý oxid uhličitý, čím klesajú náklady na separáciu, zachytávanie, skladovanie a následnú kompresiu plynu CO<sub>2</sub> (Lewis, 2007). Ako najslubnejšia cesta novátorských prístupov sa javí širšie využitie fotosyntézy, rovnako však aj mikrobiologické spôsoby zabudovania a premeny CO<sub>2</sub> do iných molekúl, napr. metánu, kyseliny octovej a jej derivátov (metanogenéza a acetogenéza), čo by mohlo mať pozitívny efekt (Fernando a i., 2007). Do úvahy prichádzajú aj genetické manipulácie poľnohospodárskych rastlín s rozšírenou funkciou rastlinných organizmov na zvýšenie ich sekvestračného potenciálu voči CO<sub>2</sub> (IPCC, 2009).

### 3.3.5 Novátorské chemické prístupy

Novátorské chemické prístupy pri sekvestracii CO<sub>2</sub> vo svete môžeme zadefinovať cez dve chemicky sľubné cesty ako zachytávať a skladovať CO<sub>2</sub> a to v podobe uhličitanu horečnatého (MgCO<sub>3</sub>) ako klarát CO<sub>2</sub> v podobe materiálu pripomínajúci suchý ľad (Fernando a i. 2007).

### 3.3.6 "Šampón oxidu uhličitého"

Ďalším spôsobom ako z tepelných elektrární spaľujúcich uhlie zachytiť emisie CO<sub>2</sub> sú takzvané CO<sub>2</sub> práčky. Najnovšie výskumy ukázali, že až 90 percent uhľíkových zlúčenín dokáže zo spalín zachytiť látka, ktorá sa svojim zložením podobá na vlasový šampón. Táto nová technológia používa aminosilikón, čo je látka ktorú obsahuje každý bežný šampón. V prípade „CO<sub>2</sub> šampónu“ sa stáva účinnou látkou, ktorá dokáže na seba naviazať uhlík a očistiť tak spaliny z elektrární. Navyše má dve výhody: dá sa recyklovať a použiť viackrát a vo všeobecnosti ide o pomerne lacnú technológiu, kde zachytené emisie uhlíka možno od „šampónu“ oddeliť, skvapalniť a uskladniť v podzemných geologických štruktúrach. CO<sub>2</sub> "šampón" sa začne čoskoro testovať v niekoľkých tepelných elektrárnach. Ak sa osvedčí, stane sa súčasťou veľkých filtračných systémov (American Chemical Society, 2010).

## 3.4 Skladovanie oxidu uhličitého

Ukladanie CO<sub>2</sub> predstavuje jednu z progresívnych metód redukcie emisií skleníkových plynov, ktorá v budúcnosti nájde uplatnenie najmä pre koncentrované zdroje veľkého množstva emisií. Takýmito zdrojmi sú napríklad rafinérie, železiarne, ale najmä tepelné elektrárne (Forbes, 2008). Keďže náhrada za existujúce energetické zdroje bez emisií je dlhodobá a finančne

náročná, pre dosiahnutie limitov EÚ na znižovanie emisie je nutné zaviesť popri ostatných stanovených obmedzeniach (ako sú podmienky stanovené v Kjótskom protokole) aj technológie CCS (EEA, 2008). Výskum demonštruje, že potenciálne geologické skladovacie miesta CO<sub>2</sub> existujú po celom svete, aj keď ich rozmiestnenie nie je celkom rovnomerné, rovnako ako aj pri mnohých iných prírodných zdrojoch (Gupta a i., 2003). Napriek tomu, že sa CCS ešte len v mnohých krajinách začína zavádzať, samotné uskladňovanie oxidu uhličitého (CCS – carbon dioxide capture and storage) pod zemským povrchom nie je žiadnou novinkou, pretože v mnohých krajinách sú zistené ložiská „prírodného“ CO<sub>2</sub>, ktoré v geologických formáciách zotrávajú milióny rokov (na Slovensku taktiež) (IPCC, 2005; Dulayová, 2009). Aktuálny stav výskumu potenciálnych aj existujúcich možností rozmiestnenia CCS ukazuje, že celkové kapacity na uskladnenie CO<sub>2</sub> predstavujú len veľmi malý zlomok toho, čo bude potrebné (Neuhof, 2007). Predbežný odhad potenciálnej globálnej geologickej skladovacej kapacity je takmer 11000 Gt CO<sub>2</sub> (IPCC, 2009) (Tab. 2).

**Tab. 2**

**Celosvetové kapacity pre potenciálne uskladnenie CO<sub>2</sub> v Gt (mld. ton) (IAEA,2004)**

Druh štruktúry	Úložná kapacita CO <sub>2</sub> v Gt/ročne
Hlboké slané akvifery	400 – 10 000
Vytŕažené ložiská ropy a plynu	930
Uhoľné sloje	30
Celosvetové ročné emisie	25 Gt CO <sub>2</sub>

Z čoho vyplýva, že skladovacia kapacita je dosť veľká na to, aby bolo možné skladovať celosvetové emisie CO<sub>2</sub> produkovaného ľudskou činnosťou v časovom horizonte desiatok, možno aj stoviek rokov (IPCC, 2005). V mnohých potenciálnych skladovacích miestach sú skladovacie formácie blízko veľkých zoskupení elektrární a ďalších priemyselných zariadení, čo by malo výrazne znížiť cenu rozmiestnenia systému CCS (Brockett, 2007).

V súčasnosti existuje niekoľko hlavných mechanizmov, pomocou ktorých je možné CO<sub>2</sub> skladovať (Mandil, 2004) (Príloha 2). Rozoznávame napríklad skladovanie CO<sub>2</sub> v zemi,

---

v oceánoch, v mineráloch. Skladovanie v zemi môže mať rôzne formy a to skladovanie vo vyčerpávajúcich sa ložiskách ropy a plynu, v uhoľných slojoch, soľných formáciách a mineráloch (Stocker a i., 2009). V týchto priestoroch by mohol byť tento skleníkový plyn skladovaný bez toho, aby prispieval k otepľovaniu atmosféry (Gupta a i., 2003). Technológia by súčasne dokázala pozitívne prispieť k ťažbe ropy z vyčerpávajúcich sa ropných ložísk, a tým by sa predĺžila ich životnosť (Dooley a i., 2006). Skladovanie v geologických útvaroch predstavuje najlacnejší a environmentálne najpriateľnejší spôsob. Ak bude technológia CCS úspešná, predpokladá sa, že dokáže zachytiť 80-90% emisií CO<sub>2</sub> vyprodukovaných elektrárnami. Tým by sa náklady na stabilizačné programy množstva CO<sub>2</sub> v atmosfére znížili až o 30% (IPCC, 2005).

### **3.4.1 Skladovanie oxidu uhličitého v zemi**

Je to metóda, ktorá stlačený CO<sub>2</sub> injektuje do pórovitých skalných útvarov pod zemským povrchom a to používaním rovnakých postupov, ktoré už boli využívané v ropnom alebo plynárenskom priemysle (Brockett, 2007)(Obr.6). Rozoznávame štyri hlavné druhy geologického skladovania. Sú to ropné a plynové ložiská, soľné formácie, uhoľné sloje, hlboké slané akvifery. CO<sub>2</sub> môže byť taktiež napríklad fyzicky uložený v mineráloch. Všetky tieto útvary sú navrhované ako skladovacie miesta. V týchto miestach existujú rôzne fyzikálne a geochemické zachytávacie mechanizmy, ktoré zabraňujú úniku CO<sub>2</sub> nad povrch (IPCC, 2005).

#### **3.4.1.1 Skladovanie CO<sub>2</sub> v ložiskách ropy a plynu**

Potenciálnym úložným priestorom sú vytŕažené alebo doŕažované ložiská ropy, v ktorých možno injektážou CO<sub>2</sub> prostredníctvom metódy EOR (Enhanced Oil Recovery) zlepšiť ťažbu zvyškovej ropy o 10 – 15 % (Fernando a i., 2007). Oxid uhličitý je s ropou dokonale zlučiteľný, čo spôsobuje, že zmes lepšie preniká k ropnej veži. Potom pri znížení tlaku sa miesiteľnosť obmedzí a iba malá časť CO<sub>2</sub> zostane rozpustená v rope (IPCC, 2009) (Príloha 4). Ložiská ropy sú výhodnou variantou, pretože sú dokonale preskúmané. Tieto štruktúry zadržovali po milióny rokov ropu, zemný plyn a často aj „prírodný CO<sub>2</sub>“. O ich prirodzených vlastnostiach je dostatok informácií, čo vytvára dostatočný priestor pre ukládanie, využitie a dlhodobý monitoring (Dooley, 2006). Tento spôsob uskladnenia je o to atraktívnejší, pretože výdavky na skladovanie sú kompenzované predajom ropy či plynu zo zregenerovaných ložísk. To znamená, že výnosy z dodatočnej ťažby kompenzujú náklady na skladovanie CO<sub>2</sub>, čím sa môže táto alternatíva stať dokonca ziskovou. Nevýhody využívania starých ropných polí spočívajú v ich nepravidelnom



---

zemepisnom rozšírení a obmedzených kapacitách (IPCC, 2005). Kapacita ložiska ropy pre ukladanie CO<sub>2</sub> je závislá na pórovom priestore, ktorý sa uvoľňuje ropou a ďalším priestorom vyplnenom vodou, ktorá sa nachádza pod roponosnými vrstvami (Fernando a i., 2007). Táto metóda sa aplikuje už niekoľko desaťročí, obzvlášť v USA. Podobne aj v Kanade sa už niekoľko rokov využíva injektáž takzvaných kyslých plynov do ropných a plynových polí. Hoci pôvodným cieľom tohto projektu nebolo skladovanie CO<sub>2</sub>, ale intenzifikácia produkcie ťažby ropy, ukazuje sa ako spoľahlivá možnosť pre uskladnenie CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005). Ako príklad môže poslúžiť kanadsko – americký projekt Weyburn. Oxid uhličitý je zachycovaný vo výrobnjej jednotke na splyňovanie uhlia (Great Plains Synfuels Plant) v Severnej Dakote a je dopravovaný plynovodom do ropného poľa v kanadskom Saskatchewan, kde je v objeme 5000 ton za deň injektovaný.

Predpokladá sa, že za dobu životnosti projektu (20 rokov) tu bude uložené celkom 20 miliónov ton CO<sub>2</sub> (IPCC, 2009). Podobne ako ložiská ropy sa môžu sformovať a udržať z hľadiska geologického času iba pokiaľ sú plynonosné štruktúry dokonale utesnené (IPCC, 2009). Z najnovších analýz vyplýva, že injektážou CO<sub>2</sub> do ložísk zemného plynu sa môže zvýšiť produkcia plynu (metóda EGR = Enhanced Gas Recovery), tento prírastok je však v porovnaní s metódou EOR menší a ukladanie CO<sub>2</sub> teda prichádza do úvahy až po vyčistení väčšiny zásob zemného plynu (Fernando a i., 2007). Pri ukladaní emisií CO<sub>2</sub> do ložísk ropy a zemného plynu by úplne alebo čiastočne niesol náklady subjekt, ktorý je producentom emisií CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005). Podzemný zásobník zemného plynu môže predstavovať aj viac objektov, ktoré sú z geologických a ekonomických dôvodov technologicky spojené, pričom všetky objekty sú riadené z jedného miesta. Potom sa jedná o komplex podzemných zásobníkov zemného plynu (Gupta a i., 2003).

#### 3.4.1.2 Skladovanie oxidu uhličitého v uhoľných slojoch

Vyčistené a opustené uhoľné sloje ponúkajú ďalšiu možnosť skladovania CO<sub>2</sub>. Uhoľné sloje zadržovali metán desiatky miliónov rokov a je veľmi pravdepodobné, že budú podobným spôsobom viazať CO<sub>2</sub> minimálne desiatky tisíc rokov (Lackner, 2005). Injektovaný CO<sub>2</sub> je prvotne absorbovaný uhlím, zatiaľ čo pôvodne absorbovaný metán je ním vytlačovaný (Forbes, 2008). Táto metóda môže byť významná najmä v prípade uhoľných ložísk, ktoré sú bohaté na metán, kde ťažba metánu pre primárnu etapu ťažby je okolo 20 – 60% plynu. Injektovaný CO<sub>2</sub> vytesní na uhlie absorbovaný metán, a tým zvýši jeho ťažbu až na 72% (metóda ECBMR – Enhanced Coal Bed Methane Recovery) (Fernando a i., 2007). Popri úložnej kapacite pre CO<sub>2</sub> tak

---

vzniká potenciál k zachyteniu metánu a jeho ďalším využitím možno znížiť náklady na skladovanie (Herzog, 2009). Kľúčovým faktorom pri tomto spôsobe ukladania je priepustnosť uhoľného sloja. Popri čistom CO<sub>2</sub> v rámci metódy ECBMR prebiehajú v súčasnosti aj ďalšie testy s umelo pripravenou zmesou CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> a dokonca i s plynými produktami, ktoré vznikajú spaľovaním uhlia (Brockett, 2007). Pri použití zmesí s rôznym podielom dusíka ťažba metánu výrazne stúpla. Bolo zistené, že dusík lepšie vytesňuje metán a CO<sub>2</sub> je absorbovaný uhlím (Gupta a i. 2003). To je ekonomicky veľmi výhodné ako pre ťažbu metánu (výrazne vyššia ťažba), tak aj pre geosekvenciáciu CO<sub>2</sub> (výrazne väčšie množstvo absorbovaného plynu) (Herzog, 2009). Tento variant ukladania je v súčasnej dobe námetom množstva projektov v USA (Allison, Tiffany, Black Warrior), Kanade, Austrálii a v Poľsku (RECOPOL). Predaj metánu môže byť využitý pre vyrovnanie ceny skladovania CO<sub>2</sub> (Lackner, 2005). Pri injektáži CO<sub>2</sub> do uhoľného sloja sa dokonca zistilo, že záchytné mechanizmy fungujú lepšie v prípade CO<sub>2</sub> ako v prípade metánu. Možnosť skladovania v uhoľných slojoch je však ešte len vo fáze projektovania a výskumu (IPCC, 2005).

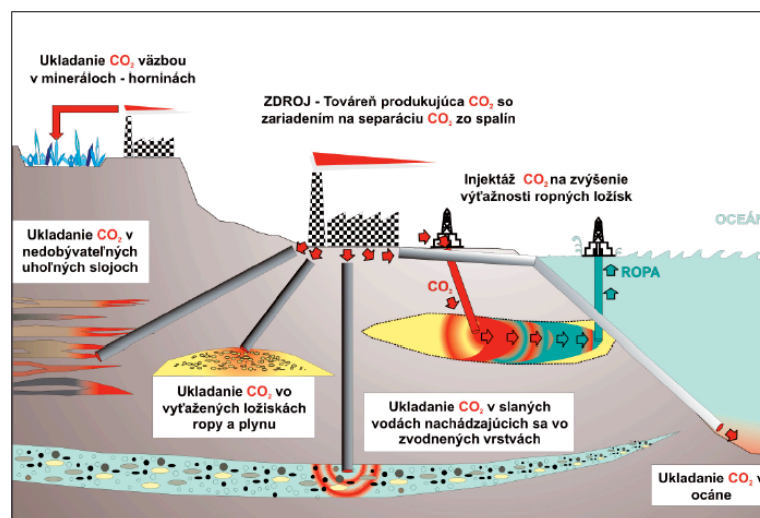
#### 3.4.1.3 Skladovanie oxidu uhličitého v hlbokých slaných akviferoch

Hlboké slané akvifery, sú geologické formácie, prevažne pieskovcového charakteru, obsahujúce slanú vodu. Tieto štruktúry ponúkajú obrovský úložný potenciál, vyskytujúci sa vo väčšine krajín sveta. Vďaka svojej rozlohe sú situované aj v blízkosti zdrojov emisií CO<sub>2</sub> a majú veľkú úložnú kapacitu (Brockett, 2007). Soľné formácie obsahujú vysoko rudné slané vody, z ktorých ľudia dodnes nevedeli čerpať žiadne výhody. Iba v niekoľkých prípadoch boli využívané pre skladovanie chemického odpadu (Lackner, 2005). Hlavná výhoda týchto soľných formácií spočíva v ich veľkom potenciáli pre uskladňovanie CO<sub>2</sub> a v ich bežnom výskyte. Majú najväčšiu potenciálnu kapacitu pre ukladanie CO<sub>2</sub> zo všetkých geologických formácií. Musia byť pokryté vhodnými nepriepustnými vrstvami bez zlomov s vrcholom v minimálnej hĺbke 800 metrov, aby mohol oxid uhličitý zostať v konštantnom stave (Newbery, 2009). K zaisteniu vysokej hustoty a rozpustnosti sa CO<sub>2</sub> injektuje pod vysokým tlakom do veľkých hĺbok. Jeho časť (10 – 25%) sa rozpustí vo vode a zvyšok zvolna vystúpi a vytvorí tak vrstvu pod krycimi horninami. To by mohlo byť výhodné najmä z hľadiska možnosti ich prepravy a tým aj šetrenia prostriedkov na prepravu na dlhšie vzdialenosti (Gupta a i., 2003). Významnejšou nevýhodou je, že o nich existuje relatívne málo informácií, na rozdiel napríklad od ropných polí, ktoré sú v súčasnosti podrobne preskúvané. Soľné formácie predstavujú budúcnosť skladovania oxidu uhličitého,

avšak vyžadujú ešte dôkladný výskum ich potenciálu a vlastností (IPCC, 2005). Prvým komerčným projektom tohto typu na svete je nórsky Sleipner, kde je ročne do akviferu pod Severným morom ukladané približne 1 milión ton CO<sub>2</sub>. Tento projekt je dôkazom toho, že CO<sub>2</sub> môže byť efektívne uskladnený aj vo veľkých množstvách (IPCC, 2009). Táto technológia skladovania je taktiež testovaná v rámci projektu EU- RECOPOL v Poľsku, ktorý zahŕňa aj terénny experiment (Dooley a i., 2006).

#### 3.4.1.4 Skladovanie oxidu uhličitého v soľných kavernách

Podzemné soľné kaverny s objemami 500 000 m<sup>3</sup> sú obvykle pozostatky po ťažbe soli pomocou jej rozpúšťania vo vode. Pretože zvyšková soľ je takmer nerozpustná, tieto priestory môžu dobre slúžiť na dlhodobé ukládanie CO<sub>2</sub> - a to i v podobe suchého ľadu. Vzhľadom k vysokým nákladom je tento spôsob ukládania zatiaľ považovaný za neekonomický (Lackner, 2005).



Obr. 6

Možnosti skladovania oxidu uhličitého (MŽP SR, 2008)

#### 3.4.2 Skladovanie oxidu uhličitého v oceáne

Ďalšia navrhovaná forma skladovania CO<sub>2</sub> je v oceánoch. Hlboké vodné vrstvy oceánov predstavujú najväčší priestor na skladovanie CO<sub>2</sub> s dobou zadržania od 400 do 500 rokov (Lackner, 2005). Voda cirkuluje medzi povrchovými a hĺbkovými vrstvami v čase od 250 do

---

1000 rokov. Zemská atmosféra je v kontakte s povrchom oceánov v rozsahu 70 % povrchu Zeme, z čoho vyplýva, že medzi nimi dochádza ku kontinuálnej výmene uhlíka. V súčasnosti odstraňujú oceány z atmosféry 6 Gt CO<sub>2</sub> ročne (IPCC, 2005). Ukladanie antropogénneho CO<sub>2</sub> do oceánov by urýchlilo tento prirodzený proces. Predpokladá sa, že CO<sub>2</sub> by mohlo byť injektované v kvapalnej forme pod cirkulujúcu vrstvu do hĺbok viac ako 1500 m, kde by sa rozpustil vo vode alebo by vytvoril CO<sub>2</sub> hydráty (Fernando a i., 2007).

Existujú dva hlavné koncepty skladovania, o ktorých je možné uvažovať - injektáž CO<sub>2</sub> do vodného stĺpca v hĺbke 100 alebo viac metrov pod morom, kde sa CO<sub>2</sub> následne rozpustí (tento spôsob bol v smerniciach stanovených EÚ definovaný ako zakázaný), alebo druhý typ - skladovanie v jazere, kde sa CO<sub>2</sub> ukladá priamo na morské dno v hĺbkach väčších ako 3000 metrov a kde je CO<sub>2</sub> hustejší ako voda (IPCC, 2005). Takýmto spôsobom sa na dne vytvorí jazero, ktoré zamedzuje rozpúšťaniu CO<sub>2</sub> vo vode a následnému prenikaniu do povrchových vrstiev. To znamená, že CO<sub>2</sub> by mohol byť bezpečne uskladnený po storočia. CO<sub>2</sub> však môže mať negatívny vplyv na morské organizmy v okolí miesta injektáže a skladovania (Brockett, 2007). Pri veľkom objeme skladovaného CO<sub>2</sub> by mohlo jeho unikanie postupne ovplyvniť celý oceán. Vysoké koncentrácie CO<sub>2</sub> by mohli usmrtiť organizmy žijúce v oceáne (Lackner, 2005). Ďalším problémom by mohlo byť to, že koncentrácia CO<sub>2</sub> v oceáne sa vyrovná s jeho koncentráciou v atmosfére. Taktiež časť CO<sub>2</sub> reaguje s vodou a tvorí kyselinu uhličitú - H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ktorá zvyšuje aciditu vody v oceáne (IPCC, 2005).

### **3.4.3 Skladovanie oxidu uhličitého v mineráloch horniny**

V porovnaní s predošlými spôsobmi je zatiaľ táto metóda uskladnenia na „nižšom stupni rozvoja“. Základný princíp spočíva v tom, že sa využívajú ultramafické a mafické (ultrabázické a bázické) horniny ako skladovacie médium (serpentinity, dunity, bazalty, ale je možné využiť aj napr. elektrárenské popoly) (Shackley a i., 2007). Tie predstavujú vhodné prostredie pre uskladnenie, pretože reagujú s oxidom uhličitým, čím vznikne druhotná surovina, napríklad magnezit, a produktom rozkladu – reakcie môže byť tiež čistý kremeň a železo (Kirbey, 2009). Výsledkom reakcie je prakticky inertný materiál, ktorý nie je potrebné monitorovať ako skvapalnený oxid uhličitý v uhl'ovodíkových ložiskách a aquiferoch (Lackner, 2005). Odporcovia tohto spôsobu však argumentujú energetickou náročnosťou a negatívnym vplyvom na krajinné prostredie (lomy), toto však môže byť sanované novovzniknutým materiálom (Hladik, 2009).

---

Posledné výskumy dokázali, že týmto spôsobom je uhličitan uložený prakticky permanentne (IPCC, 2009). Je to prirodzený a pomaly prebiehajúci proces, ktorý však môže byť urýchľovaný.

Je to veľmi dobrý spôsob uskladnenia CO<sub>2</sub>, hoci je energeticky náročný a združuje ho aj ťažba potrebných minerálov. Preto sa stáva táto možnosť cenovo menej prístupnou. Zachytený CO<sub>2</sub> je však technicky možné použiť v priemyselnom odvetví na výrobu produktov ako napríklad hnojivá. Celkový účinok na emisie CO<sub>2</sub> by ale bol veľmi malý, pretože väčšina týchto produktov rýchlo uvoľňuje CO<sub>2</sub> v nich obsiahnutý, a tak sa dostávajú späť do atmosféry (Dooley a i., 2007).

#### **3.4.4 Skladovanie oxidu uhličitého minerálnou karbonizáciou**

Minerálna karbonizácia je v prírodných podmienkach veľmi pomalý proces, zvlášť v prípade prirodzených minerálov (Mg/Ca kremičitanov). Cieľom laboratórneho výskumu je proces chemickej reakcie CO<sub>2</sub> s vhodnými minerálmi urýchliť a urobiť použiteľný pri priemyselnej produkcii (Shackley a i., 2007). Chemickou reakciou oxidu uhličitého s Mg vznikajú karbonáty a iné stabilné vedľajšie produkty. Ide o stabilitu v geologickom meraní času (milióny rokov) (IPCC, 2009). Mg – silikáty sú favorizované a sú viac rozšírené, tvoria rozsiahle telesá ultrabázických hornín a sú viac reaktívne. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté s olivínami a serpentínami ( $Mg_2SiO_4 + 2 CO_2 \Rightarrow 2 MgCO_3 + SiO_2$ ) a ( $Mg_3SiO_3(OH)_4 + 3 CO_2 \Rightarrow 3 MgCO_3 + 2SiO_2 + H_2O$ ) (Kirby, 2009). Karbonizačné jednotky pracujú pri vysokých teplotách a tlakoch. Relatívne pomalé karbonizačné reakcie sú urýchľované mikromletím Mg silikátov, miešaním reakčnej zmesi, pridávaním katalyzátorov, optimalizovaním reakčnej teploty a parciálnym tlakom CO<sub>2</sub> (Dulayová, 2009). Rozpustenie olivínu sa urýchľuje super kritickými podmienkami. Serpentín sa aktivuje intenzívnym predhriatím nad 600 °C, za účelom aktivácie tj. destabilizácie kryštálovej štruktúry, odstránením chemickej viazanej vody a zväčšenej porozity (Kirby, 2009).

#### **3.4.5 Skladovanie oxidu uhličitého v bituminóznych bridliciach**

Skladovanie CO<sub>2</sub> v bituminóznych bridliciach je ďalšou možnou metódou uskladnenia. Je jednou z najnovších teórií skladovania v súčasnosti prebieha príprava na jej testovanie (IPCC, 2009). Oxid uhličitý sa v tomto prípade viaže na ílové minerály a kerogen podobne ako sa viaže na metán v uhoľných slojoch. Táto možnosť predstavuje z hľadiska úložných kapacít významný potenciál, ktorý je v súčasnosti predmetom intenzívneho výskumu, napríklad v Kentucky Geological Survey (Kirby, 2009).

---

### 3.5 Doprava oxidu uhličitého do úložiska

Okrem prípadov, keď sú továrne priamo pod skladovacím miestom, musí byť pre zachytený CO<sub>2</sub> zabezpečená vhodná a bezpečná preprava ku skladovacím miestam (IPCC, 2005). Plynný CO<sub>2</sub> je stláčaný a prepravovaný potrubím, čím sa preprava stáva ľahšou a aj finančne menej náročnou. CO<sub>2</sub> môže byť prepravovaný aj ako kvapalina na lodiach alebo pomocou cisternových vagónov, ktoré prevádzajú CO<sub>2</sub> v izolovaných teplotne správne nastavených cisternách s nižším tlakom (Lackner a i., 2005). Pre potrubie a námornú dopravu náklady CO<sub>2</sub> závisia od vzdialenosti a prepravovaného objemu (IPCC, 2005). V prípade predpokladaných väčších objemov (10 – 30 Mt CO<sub>2</sub> ročne) je jedinou použiteľnou alternatívou práve plynovod (Brockett, 2007). Preprava cisternami môže mať význam v prípade menších demonštračných projektov s prepravovaným množstvom plynu okolo 100 – 200 Gt CO<sub>2</sub> ročne (IPCC, 2005).

Značné skúsenosti s transportom CO<sub>2</sub> v plynovodoch sú aj v USA, kde je tento plyn využívaný pri druhej ťažbe ropy. Zhruba 22 Mt CO<sub>2</sub> sa ročne transportuje 3980 km dlhým plynovodom z prírodných zdrojov v Novom Mexiku a Colorade a zo zariadenia na úpravu zemného plynu do ropných polí v západnom Texase (Kirby, 2008). Novšie bol vybudovaný 330 km dlhý plynovod zo závodu v Severnej Dakote do ropných polí v kanadskom Saskatchewan s kapacitou 2 Mt CO<sub>2</sub> ročne. Tieto príklady naznačujú, že transport je osvedčenou technológiou. CO<sub>2</sub> je transportovaný na nákladné automobily, lode alebo potrubia (Lackner, 2005). Najväčšou výzvou pre dopravu CO<sub>2</sub> bude financovanie, prostredníctvom ktorého by sa vybuodovala sieť potrubí (Kirbey, 2008).

#### 3.5.1 Doprava oxidu uhličitého potrubím

Najvhodnejší spôsob prepravy CO<sub>2</sub> predstavuje preprava potrubím, ktorá je zároveň aj najlacnejším spôsobom prepravy. Prvá diaľková preprava CO<sub>2</sub> pomocou potrubia sa uskutočnila na začiatku 1970 v Spojených štátoch amerických. Potrubie bolo dlhšie ako 2 500 kilometrov a prepravilo sa ním viacej ako 40 Gt CO<sub>2</sub> za rok z prírodných a antropogénnych zdrojov (Lackner a i., 2005). Kvalita infraštruktúry potrubia je v neustálom vývoji. Vo väčšine týchto potrubí je vzduch hnaný kompresormi (Metz a i., 2007). Náklady na výstavbu potrubia sú rôzne. Môžu byť vyššie, ak je napríklad nutná výstavba križovatiek jednotlivých potrubí alebo ak potrubie vedie cez hornatý terén, husto osídlenú oblasť, zamrznutú pôdu či veľké rieky. Všetky tieto faktory by mohli zdvojnásobiť cenu za jednotku dĺžky (IPCC, 2005). Niektoré dodatočné náklady sú

---

súčasťou prepravných nákladov, ale tieto náklady sú relatívne nízke (Brockett, 2007). Preprava potrubím cez obývané oblasti vyžaduje detailnú voľbu smeru, ochranu pred náhlym zvyšovaním tlaku, zisťovanie únikov a mnoho ďalších faktorov (IPCC, 2005).

V súčasnosti sú už hlavné prekážky potrubia pre CCS predvídateľné (IPCC, 2009). Počas prepravy by mohlo CO<sub>2</sub> presakovať do atmosféry, ale straty a úniky z netesného potrubia sú veľmi malé, takmer zanedbateľné. Suchý CO<sub>2</sub> nepôsobí deštruktívne na potrubie, aj keď obsahuje látky ako kyslík a sírovodík. Na druhej strane vlhký CO<sub>2</sub> je vysoko ničivý a v tomto prípade by museli byť pre potrubie urobené opatrenia proti korózii, kedy by museli byť vnútri oddelené zliatinou alebo súvislým náterom polyméru (Metz a i., 2007). Niektoré potrubia sú skonštruované tak, že sú odolné voči korózii zliatiny, aj keď sú materiálové náklady niekoľkokrát väčšie (IPCC, 2005). Ďalším problémom je riziko vzniku nehody. V prípadoch existujúcich potrubí, ktoré sa nachádzajú väčšinou v oblastiach s nízkou hustotou obyvateľstva, bola ohlásená menej ako jedna nehoda ročne bez zranenia. Celkový dopad by pravdepodobne nebol horší ako pri nehodách vznikajúcich pri obsluhu plynovodov (Brockett, 2007).

### **3.5.2 Doprava oxidu uhličitého na lodiach**

Oxid uhličitý môže byť prepravovaný aj v kvapalnej forme na lodiach podobajúcim sa tým, ktoré sú v súčasnosti využívané na transport kvapalného plynu pre pohon automobilov (LPG) (IPCC, 2005) (Príloha 2). V prípade, že by požiadavky po takýchto systémoch boli aktuálne, práve vďaka podobným vlastnostiam, by mohla byť táto preprava koncentrovaná hlavne u väčších prepravcov (Metz a i., 2007). V súčasnosti sa však uskutočňuje len v malom rozsahu práve kvôli obmedzeným požiadavkám. V niektorých prípadoch môže byť preprava loďou ekonomicky atraktívnejšia, zvlášť keď CO<sub>2</sub> musí byť prepravovaný na veľké vzdialenosti, alebo do zámoria (Brockett, 2007). Pri lodiach sa celková strata CO<sub>2</sub> do atmosféry pohybuje medzi 3 – 4% na 1000 kilometrov vrátane výparov z výfukov lodných motorov. Zachytávanie týchto výfukov by mohlo redukovať stratu na 1,5 % na 1000 kilometrov (IPCC, 2005). Pri tomto druhu prepravy sú dôležité nakladacie a vykladacie systémy, ktoré sú jedným z kľúčových faktorov pri celkovej cene dopravy (Lackner a i., 2005). Ak je námorná preprava k dispozícii, je to lacnejšie ako potrubie pre vzdialenosti väčšie ako 1000 kilometrov. Pri skladovaní v oceáne je najvhodnejší dopravný systém závislý od injektážnej metódy - či sa injektáž robí z nehybnej lode, pohybujúcej sa lode alebo z potrubia z brehu (IPCC, 2005).

---

### 3.5.3 Doprava oxidu uhličitého cisternovými vagónmi

Cisternové vagóny sú technicky vhodné na prepravu. V „cisternovej“ námornej doprave pre prepravu existujú potenciálne nebezpečenstvá, ale súčasný dizajn a stavba cisterien spôsobuje, že nehody sú veľmi vzácne. Tieto systémy dopravujú CO<sub>2</sub> pri teplote -20 °C a tlaku 2 MPA. V porovnaní s prepravou CO<sub>2</sub> potrubím a loďami, cisternové vagóny sa nebudú využívať pre veľkokapacitnú prepravu (Mertz a i., 2005).

### 3.6 Analýza úložiska

Výber úložiska predstavuje dôležitú etapu návrhu projektu uskladňovania oxidu uhličitého. Štáty ktoré sa rozhodnú pre metódu CCS si majú právo určiť, ktoré oblasti ich územia sa môžu použiť na uskladnenie CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005). Počiatočnú analýzu úložiska uskutoční potenciálny prevádzkovateľ, ktorý potom predloží dokumentáciu príslušnému orgánu členského štátu v rámci žiadosti o povolenie prevádzkovať úložisko (Smernica EÚ, 2009).

Žiadosť o povolenie prevádzkovať úložisko sa podáva príslušnému orgánu a musí obsahovať aspoň tieto informácie (Smernica EÚ, 2009):

1. Meno a adresu potenciálneho prevádzkovateľa
2. Doklad o odbornej spôsobilosti potenciálneho prevádzkovateľa
3. Charakteristikou úložiska a úložného komplexu a posúdenie predpokladanej bezpečnosti ukladania
4. Celkové množstvo CO<sub>2</sub>, ktoré má byť injektované a uložené a potenciálne zdroje a spôsoby prepravy, zloženie tokov CO<sub>2</sub>, rýchlosť a tlak injektáže a umiestnenie zariadení k injektáži
5. Popis opatrení, ktorá zabráni závažným nezrovnalostiam

Úložisko sa môže použiť len vtedy, ak sa touto analýzou dokáže, že je v súlade s navrhovanými podmienkami využívania a že neexistuje žiadne výrazné riziko úniku ani pravdepodobnosť vzniku výrazného vplyvu na zdravie alebo životné prostredie (IPCC, 2005). Taktiež sa musí vykonať podrobná analýza potenciálneho úložiska v súlade s uvedenými kritériami, vrátane modelu predpokladaného správania sa CO<sub>2</sub> po injektáži (Mertz a i., 2005). Príslušný orgán preskúma informácie a ak dospeje k uspokojivému záveru, že sú podmienky splnené, vydá rozhodnutie o návrhu povolenia. Pri prvých projektoch uskladňovania bude tento návrh obsahovať aj dodatočný bezpečnostný mechanizmus (Smernica EÚ, 2009).



---

V snahe zabezpečiť zhodné uplatňovanie smernice v celej Európe, ale i na svete a podporiť dôveru verejnosti týkajúcu sa zachytávania a uskladňovania CO<sub>2</sub>, môže komisia za pomoci vedeckého panelu technických odborníkov preskúmať tento návrh povolenia (IPCC, 2009). Stanovisko Komisie sa zverejní, ale konečné rozhodnutie o povolení zostáva na vnútroštátnom príslušnom orgáne v súlade so zásadou subsidiarity (Lewis, 2007).

### **3.7 Kontrola úložiska**

Geologické uskladnenie bude predstavovať oveľa dlhšie obdobie, než je životnosť priemerného komerčného subjektu. Preto sú potrebné mechanizmy na zabezpečenie dlhodobého dohľadu na úložiskami (IPCC, 2005). Navrhuje sa, aby sa úložiská previedli z dlhodobého hľadiska pod kontrolu štátov. Avšak zásada „znečisťovateľ platí“ vyžaduje, aby prevádzkovateľ naďalej niesol zodpovednosť za úložisko, pokiaľ existuje výrazné riziko úniku (Brockett, 2007). Ďalej sú potrebné predpisy na zabezpečenie toho, aby z rozličných prístupov štátov nevzniklo narušenie hospodárskej súťaže. Príslušné orgány v štátoch musia zabezpečiť, aby sa vykonávali kontroly zamerané na dodržiavanie ustanovení (Kirby, 2009). Rutinné kontroly sa musia vykonávať aspoň raz ročne a musia zahŕňať preskúmanie injektážnych a monitorovacích zariadení a rozsah environmentálnych účinkov úložiska (Smernica EÚ, 2009). Okrem toho sa musia vykonávať nerutinné kontroly, kde sa budú zisťovať úniky a kontrolovať výročné správy prevádzkovateľa (Brockett, 2007). Ak sa zistí, že zariadenie nie je v súlade s navrhovanou smernicou alebo vzniknú akékoľvek iné dôvody a obavy súvisiace s prevádzkou tohto zariadenia, budú štáty vyvodzovať dôsledky voči prevádzkovateľom (Lewis, 2007).

Kontroly by mali zahrňovať činnosti ako (Smernica EÚ, 2009):

1. prehliadky povrchových zariadení vrátane injektážnych zariadení
2. posúdenia injektáže a monitorovania vykonávaných prevádzkovateľom
3. kontrolu všetkých dôležitých záznamov o úložisku vedených prevádzkovateľom.

Pravidelné kontroly sa robia najmenej raz ročne v priebehu troch rokov po uzatvorení a potom každých päť rokov pokiaľ nedôjde k prechodu zodpovednosti na príslušný orgán (IPCC, 2009). Tieto kontroly sa zameriavajú na príslušné zariadenia pri injektáži a účinky úložného komplexu na životné prostredie alebo vplyvy na ľudské zdravie (Lackner a i., 2005). Po každej kontrole príslušný orgán vypracuje správu o jej výsledkoch. Správa hodnotí dodržiavanie požiadaviek tejto smernice a uvedie, či sú potrebné ďalšie opatrenia. Správa sa predkladá prevádzkovateľovi

---

a do dvoch mesiacov od kontroly sa zverejní v súlade s príslušnými právnymi predpismi (Smernica EÚ, 2009).

### 3.8 Monitorovanie úložiska

Monitorovanie je veľmi dôležitá súčasť pre riadenie celkovej rizikovej stratégie a pre podzemné skladovacie projekty (Mertz a i., 2005). Štandardné procedúry neboli ešte vyvinuté, ale je predpoklad, že sa budú vyvíjať súbežne s tým, ako sa budú technológie zlepšovať v závislosti na miestnych rizikách a predpisoch (Dooley a i., 2006). Štáty musia zaistiť, aby prevádzkovateľ robil monitorovanie injektážnych zariadení a úložného komplexu podľa potreby a stavu okolitého prostredia za účelom porovnania skutočného chovania CO<sub>2</sub> a vody prítomnej v ložiskách s chovaním modelovým (Kirby, 2009). Prostredníctvom monitorovania sa zisťujú (Fernando a i., 2007):

- závažné nezrovnalosti
- migrácia CO<sub>2</sub>
- únik CO<sub>2</sub>
- významné nežiaduce účinky na okolité prostredie, obzvlášť na pitnú vodu, obyvateľstvo alebo užívateľov okolitej biosféry.

Musia byť stanovené základné parametre tlaku a množstva, pod ktorým bude CO<sub>2</sub> injektovaný a uskladňovaný (Brockett, 2007). Pri monitorovaní sa môže využívať niekoľko technológií na monitorovanie úložisk CO<sub>2</sub>, ktoré sa budú odlišovať v závislosti od miesta, úrovne a spôsobu injektáže (Metz a i., 2007). Voľba technických prostriedkov pre monitorovanie vychádza z osvedčených postupov dostupných v dobe prípravy projektu. Treba brať do úvahy a podľa vhodnosti využívať tieto alternatívy (IPCC, 2009):

- Technológie, ktoré dokážu detekovať prítomnosť, umiestnenie a trasu migrácie CO<sub>2</sub> pod povrchom a na povrchu.

Tieto systémy môžeme rozdeliť na hĺbkové monitorovacie systémy a povrchové monitorovacie systémy. Pri hĺbkových monitorovacích systémoch sú nevyhnutné opakované seizmické prieskumy, ktoré v posledných výskumoch ukázali, že sú nevyhnutnou súčasťou pre sledovanie podzemného skladovania CO<sub>2</sub>. Povrchové monitorovacie systémy sú určené na detekcie a meranie emisií CO<sub>2</sub>, ktoré sú injektované do plytkých geologických formácií, do pôdy alebo do morského dna (Lewis, 2007). Môžu sa využívať pre odhaľovanie povrchových únikov a odber

---

vzoriek podzemnej vody a pôdy medzi povrchom a hladinou vody môže byť užitočný priamo pre odhaľovanie presakovania CO<sub>2</sub> (Metz a i., 2007).

- Technológie, ktoré poskytujú informácie o tlakovo – objemovom chovaní a plošnom zvislom rozložení oblaku CO<sub>2</sub>.
- Technológie, ktoré majú široký plošný záber a umožňujú zachytiť informácie o prípadných a skôr nezistených možných únikových cestách v celom priestorovom rozsahu úložného komplexu aj v jeho vnútri v prípade závažných nezrovnalostí alebo migrácie CO<sub>2</sub> mimo úložný komplex.

Novšie techniky ako sú elektrické merania, CO<sub>2</sub> senzory s alarmami môžu hrať veľkú úlohu v monitorovaní skladovacích miest (Dooley a i., 2006). Monitorovací plán sa vypracováva na základe analýzy posúdenia rizík. Poskytuje údaje o monitorovaní ktoré treba vedieť v hlavných fázach projektu vrátane vstupného a prevádzkového monitorovania po uzatvorení (Lewis, 2007). Vysoko kvalitné údaje zlepšia spoľahlivosť všetkých meraní a budú podstatné pre odhaľovanie malých pomerov presakovania. Z týchto monitorovacích techník boli prispôsobené aj ďalšie aplikácie, ktoré potrebujú byť ešte testované a zhodnotené vzhľadom k spoľahlivosti rozhodnutí a citlivosti v kontexte podzemného skladovania (Dooley a i., 2006).

Pre každú fázu sa stanovujú monitorované parametre (Smernica EÚ, 2009):

- Použité technické prostriedky pre monitorovanie a zdôvodnenie voľby lokality pre monitorovanie
- Parametre určené na monitorovanie sa volia tak, aby boli splnené jeho účely. Plán však musí v každom prípade zahrňovať nepretržité alebo občasné monitorovanie týchto parametrov
- Objemový tok CO<sub>2</sub> v injektážnych vrtoch
- Tlak a teplota CO<sub>2</sub> injektážnych vrtoch ( za účelom stanovenia množstva prietoku)
- Chemická analýza injektovaného materiálu
- Teplota a tlak v rezervoári (za účelom stanovenia premien skupenstva a stavu CO<sub>2</sub>)

Celý monitorovací systém sa v súčasnosti zameriava hlavne na to, aby každé úložisko bolo prevádzkované tak, aby zabránilo úniku CO<sub>2</sub> do atmosféry alebo do iných aktív, ako sú podzemné vody alebo prevádzkované zásobníky plynu a ropy (Fernando a i., 2007).

---

### 3.9 Charakterizácia rizík

Tak ako to býva u všetkých technológií, aj so zachytávaním a uskladňovaním CO<sub>2</sub> sú spojené určité riziká. Otázkou je, či sú tieto riziká akceptovateľné (Mertz a i., 2005). Charakteristika rizík spočíva v charakterizácii možností únikov zo skladovacieho komplexu zistených pomocou dynamického modelovania a charakterizácie bezpečnosti. Pri charakterizácii nebezpečenstva sa prihliada mimo iného aj k týmto faktorom (Kirby, 2009):

- Potenciálne únikové cesty
- Potenciálny rozsah únikov zistených únikovými cestami (rýchlosť prúdenia)
- Rozhodujúce parametre majúce vplyv na prípadný únik (napr. maximálny tlak v rezervoári, maximálna rýchlosť injektáže, teplota, citlivosť na jednotlivé predpoklady v geologickom modeli, alebo modelovacích podlaží)

Charakterizácia rizík zahŕňa plný rozsah prevádzkových podmienok v záujme overovania bezpečnosti úložného komplexu. Posúdenie expozície na základe vlastností prostredia, distribúcie a činnosti obyvateľstva nad úložným komplexom, posúdenie na základe citlivosti konkrétnych druhov organizmov, spoločenstiev a stanovišť v súvislosti s možnými únikmi. Posúdenie zahŕňa taktiež zhodnotenie účinkov ďalších látok, ktoré môžu byť prítomné v unikajúcich tokoch CO<sub>2</sub> (nečistoty prítomné v injektovanom toku alebo nové látky vzniknuté po uložení CO<sub>2</sub> (Smernica EÚ, 2009). V mnohých vedeckých inštitúciách na svete prebieha výskum zameraný na charakterizáciu rizík, medzi ktoré patria:

1. Detailné štúdie fyzikálnych a chemických procesov v úložiskách
2. Procedúry výberu vhodných lokalít, vrátane analýzy seizmického rizika (zemetrasenie)
3. Nástroje pre predpovedanie dlhodobého chovania CO<sub>2</sub>
4. Metódy hodnotenia rizík a procesy riadenia rizika
5. Správne pracovné postupy a normy
6. Integrita vrto

Riziko úniku vo veľkej miere závisí od príslušného úložiska (Brockett, 2007). Súčasnú pozorovania naznačujú, že percentuálny podiel CO<sub>2</sub> zadržovaného vo vhodne zvolených a spravovaných geologických zásobníkoch pravdepodobne prekročí 99% v priebehu 100 rokov (Dooley a i., 2006). Kľúčovou otázkou je teda vhodný výber a správa úložisk. Požiadavky na

---

výber úložísk sú zostavené tak, aby zabezpečovali len výber úložísk s minimálnym rizikom úniku (Fernando a i., 2007). Preskúmaním rozhodnutí o návrhoch povolení Komisia za pomoci nezávislého vedeckého panelu zabezpečí dodatočnú dôveryhodnosť implementácie týchto požiadaviek zhodne v celej EÚ (Smernica EÚ, 2009). Dôkladný skladovací návrh systému a priestorové usporiadanie spoločne s metódami pre skoré odhalenie presakovania (skorej ako CO<sub>2</sub> dosiahne zemský povrch), predstavujú účinné spôsoby ako znižovať riziká pridružené k rozptýlenému presakovaniu (Lackner a i., 2005). Riziká presakovania pri skladovaní CO<sub>2</sub> v podzemných útvaroch môžeme rozdeliť do dvoch širokých kategórií. Sú to globálne riziká a miestne riziká (Dooley a i., 2006). Globálne riziká zahŕňajú únik CO<sub>2</sub> do atmosféry z miesta skladovania, ktorý by mohol prispievať ku globálnym zmenám klímy. Navyše, keby CO<sub>2</sub> unikalo zo skladovacích formácií môžu vznikať aj miestne riziká pre ľudí, ekosystémy a podzemnú vodu (Brockett, 2007). Vzhľadom k miestnym rizikám existujú dva druhy scenára, v ktorých sa môže presakovanie vyskytovať. V prvom prípade by presakovanie a únik zo skladovacích formácií mohol prebiehať rýchlo. Tento typ unikania bude objavený okamžite a unikanie bude zastavené (Fernando a i., 2007). Riziká spojené s týmto typom unikania v prvom rade ovplyvnia pracovníkov a obyvateľstvo v najbližšom okolí. Tento druh unikania môže trvať hodiny a dni a celkové množstvo uniknutého CO<sub>2</sub> bude malé v porovnaní s celkovou čiastkou CO<sub>2</sub>, ktorá je uskladnená (IPCC, 2005). V druhom scenári by sa presakovanie mohlo vyskytovať cez neodhalené chyby, praskliny, kde unikanie k povrchu je viac postupné a rozptýlené. Systém postupovania pri výskyte presakovania by mal vychádzať najmä z podrobného skúmania skladovacích miest. V súčasnosti sa však predpokladá, že sa bude riziko úniku postupom času znižovať tak, ako budú ďalšie objavené mechanizmy poskytovať dodatočné zachytávacie techniky (IPCC, 2009). Aj napriek únikom, väčšina uskladneného CO<sub>2</sub> zostáva zadržaná vo vhodne vybraných formáciách (Fernando a i., 2007). V súčasnosti už existujú dostupné monitorovacie metódy, ktoré zaručujú úspech pri zachytení a sledovaní presakovania, ale sú potrebné väčšie skúsenosti vedúce k správnym rozhodnutiam obmedzujúcich presakovanie (IPCC, 2005).

### **3.9.1 Vplyv zachytávania a skladovania na životné prostredie**

Celkové vplyvy na životné prostredie z používania CCS vznikajú počas výroby elektriny, zachytenia, dopravy a skladovania CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005). Akékoľvek úložisko musí byť dostatočne ďaleko od rizikových, seizmicky aktívnych oblastí, aby bola zabezpečená ich potenciálna

---

stabilita (v USA 10 prípadov za obdobie 1990 – 2001) bez akýchkoľvek zranení či strát na ľudských životoch (Mertz a i., 2005). Napriek tomu nie je vylúčené, že pri CCS môže dôjsť k určitým únikom vo veľkom. Následky však môžu byť minimalizované pomocou riadiacich a bezpečnostných opatrení (IPCC, 2005). Navyše tento plyn je nehorľavý, takže následky potenciálnych havárií budú určite menšie ako je to pri zemnom plyne pri bežných plynovodoch (Dooley, 2006). Pravdepodobnosť náhleho úniku CO<sub>2</sub> uloženého v podzemnom úložisku je veľmi malá.

### **Vplyvy CCS na ľudí**

Náhle úniky CO<sub>2</sub> predstavujú pre ľudí bezprostredné riziká. Ak by k presakovaniu došlo v nízko položených oblastiach so slabým vetrom a unikanie by zostalo neodhalené, mohlo by byť poškodené zdravie ľudí. Koncentrácia vyššia ako 7 – 10% by mohla predstavovať vážne následky pre ľudský život a zdravie (Lewis, 2007).

### **Vplyvy CCS na zvieratá a rastliny**

Ak príde k havárii pri ktorejkoľvek fáze zachytávania, skladovania a dopravy CO<sub>2</sub>, môže to mať dopad na bezprostredné prostredie úniku. Napriek tomu z hľadiska rizikovosti predstavuje najzásadnejší problém skladovanie, kedy môže dôjsť vďaka únave materiálu prípadne puklinám v prirodzených štruktúrach k väčším únikom CO<sub>2</sub>, ktoré môžu mať zásadné následky na organizmy a rastliny vyskytujúce sa v najbližšom prostredí (Mertz a i., 2005). Zvýšená koncentrácia CO<sub>2</sub> v plytkom podzemí môže mať dokonca až smrtiace účinky na rastliny, zvieratá a taktiež by mohli spôsobiť kontamináciu podzemnej vody (Lewis, 2007). Taktiež by úniky CO<sub>2</sub> mohli mať vplyv na morské organizmy, čo by mohlo ovplyvniť oceánsky ekosystém (Kirby, 2009).

### **Vplyv CCS na prírodu**

V tomto prípade uniknuté zvýšené koncentrácie CO<sub>2</sub> v prvom rade ovplyvnia pitnú vodu a ekosystémy, kde sa CO<sub>2</sub> nahromadí pod povrchom hladiny vôd (Brockett, 2007). Podzemná voda môže byť ovplyvnená presakovaním CO<sub>2</sub> priamo alebo počas injektáže CO<sub>2</sub> do uskladňovacích nádrží (Dooley a i., 2006). Nárast tlaku spôsobený injektážou CO<sub>2</sub> by mohol spôsobiť malé seizmické udalosti. Pri veľkom objeme uskladneného CO<sub>2</sub> by mohol jeho únik postupne ovplyvniť celý oceán. Uskladnenie a zadržanie CO<sub>2</sub> v oceáne závisí od hĺbky, do ktorej by bolo CO<sub>2</sub> injektované. Odhaduje sa, že 30 – 85% CO<sub>2</sub> by mohlo byť zadržané viac ako 500 rokov pre hĺbky 1000 – 3000 m (IPCC, 2005). Skladovanie v mineráloch je považované za

---

skladovanie, ktoré nepredstavuje takmer žiadne riziká v presakovaní (Lewis, 2007). Okrem toho sa predpokladá, že CO<sub>2</sub> zvýši aciditu oceánu približne o 1%, čo môže ovplyvniť vývoj organizmov v oceáne, prípadne zvyšovať ich úmrtnosť (IPCC, 2005). Štúdie týkajúce sa vplyvu zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub> na život v oceánoch ešte neboli realizované (Mertz, 2005). Hlavné riziko spojené so skladovaním predstavuje možnosť havárie vrtu pri injektáži CO<sub>2</sub>, v dôsledku čoho môže dôjsť k jeho úniku (Dooley a i., 2006).

Ekológovia varujú pred možnosťou, že výskum a zdokonaľovanie technológie CCS bude odčerpávať finančné zdroje, ktorými je dnes financovaný výskum obnoviteľných energetických zdrojov. Podľa nich neexistuje žiadny dôkaz o tom, že CO<sub>2</sub> je možné skladovať dlhodobo (Brockett, 2007). To znamená, že existuje vážne riziko, že CO<sub>2</sub> by mohol nejakým spôsobom presakovať z podzemia do atmosféry (Mertz a i., 2005). Možné negatívne environmentálne vplyvy technológií udržateľného využitia fosílnych palív pomocou zachytávania a skladovania CO<sub>2</sub> sa zakladajú predovšetkým na potenciálnych únikoch uloženého CO<sub>2</sub>. Úniky môžu mať dosah jednak na miestnej úrovni (miestna biosféra), jednak na celosvetovej úrovni (klíma) (Fernando a i., 2007). Výber a riadenie skladovacích lokalít sú preto kľúčovými faktormi na minimalizovanie rizík (Brockett, 2005). Konečným cieľom vedeckej komunity je stabilizovať koncentráciu skleníkových plynov v atmosfére na takej úrovni, ktorá by umožnila predísť nebezpečným dôsledkom interakcie ľudstva a klimatického systému Zeme (Kinly, 2009). Táto úroveň by sa mala dosiahnuť v prijateľnom časovom horizonte tak, aby sa mohli ekosystémy prispôbiť prirodzenou cestou zmene klímy, pričom by nebol ohrozený udržateľný rozvoj a potravinová bezpečnosť. Ak aj napriek bezpečnostným opatreniam prijatým pri výbere úložiska dôjde v praxi k úniku, musia sa prijať opatrenia na nápravu situácie a vrátenie úložiska do bezpečného stavu (IPCC, 2009). V prípade akéhokoľvek úniku CO<sub>2</sub> sa musia platiť príspevky do systému obchodovania s emisiami, aby sa vykompenzovala skutočnosť, že došlo k úniku uložených emisií, ktoré sa považovali za neemitované. A nakoniec sa v prípade úniku uplatňujú požiadavky smernice o environmentálnej zodpovednosti súvisiace s nápravou lokálnych škôd na životnom prostredí. (Smernica EÚ, 2009).

### **3.11 Náklady na zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého**

Investície na zabezpečenie poskytovania CCS na trhu sú výrazné. Pri súčasných cenách technológií predstavujú počiatkové investície do elektrární využívajúcich CCS z dôvodu

---

nákladov na proces zachytávania a na zariadenia na prepravu a ukladanie približne o 30-70% (t.j. niekoľko sto miliónov EUR na elektrárňu) viac ako pri bežných elektrárňach; okrem toho sú prevádzkové náklady v súčasnosti o 25-75% vyššie ako v elektrárňach spaľujúcich uhlie bez využívania CCS, a to hlavne z dôvodu zníženej účinnosti a existencie nákladov na zachytávanie a prepravu CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005). Odteraz do roku 2020 bude potrebné investovať približne 1 miliardu EUR na činnosti v oblasti výskumu a vývoja (Mařyřka a i., 2008). Keď bude celé CCS rozpracované, bude závisieť od jednotlivých prevádzkovateľov, či sa rozhodnú vypúšťať emisie a platiť poplatky do systému obchodovania s emisnými kvótami (ETS) alebo používať CCS na zníženie svojich emisií a záväzkov voči ETS (Smernica EÚ, 2009). Maximálne náklady, ktoré bude prevádzkovateľ platiť, sa stanovujú prostredníctvom ceny uhlíka. Základným predpokladom je, že CCS sa bude používať len vtedy, ak bude cena tony CO<sub>2</sub> ošetreného pomocou CCS nižšia ako cena uhlíka. V tejto súvislosti cena uhlíka internalizuje náklady na ochranu klímy v súvislosti s emisiami CO<sub>2</sub> (Kinly, 2009). Vzhľadom na význam skorého predvedenia CCS pri výrobe elektrickej energie a vzhľadom na to, že mnohé tieto projekty môžu vyžadovať určité verejné financie, Komisia je pripravená zaujať priaznivé stanovisko voči použitiu štátnej pomoci na pokrytie dodatočných nákladov súvisiacich s predvádzaním CCS v projektoch týkajúcich sa výroby elektrickej energie (Smernica EÚ, 2009). Na zaistenie týchto a ďalších finančných prostriedkov bude potrebný jednoznačný finančný záväzok priemyselného odvetvia a významnú úlohu by pravdepodobne mohli zohrávať aj podporné opatrenia členských štátov (Campbell, a i., 2008).

Náklady na CCS zahŕňajú čiastočne kapitálové investície do zariadení na zachytávanie, prepravu a uskladnenie CO<sub>2</sub> a čiastočné náklady na praktické prevádzkovanie týchto zariadení. Náklady na CCS zahŕňajú čiastočne kapitálové investície do zariadení na zachytávanie, prepravu a ukladanie CO<sub>2</sub> a čiastočne náklady na praktické prevádzkovanie týchto zariadení na ukladanie CO<sub>2</sub> v praxi – napríklad na energiu potrebnú na zachytávanie, prepravu a injektáž CO<sub>2</sub> (Brockett, 2007).

### **3.11.1 Náklady na zachytávanie oxidu uhličitého**

Pri zachytávaní oxidu uhličitého v elektrárňach (sequestrácia) sa spotrebuje dodatočná energia, čo zvyšuje cenu elektriny. Tento nárast závisí na type elektrárne (uhľová, plynová) a na type paliva (Lewis, 2007). Pri súčasných cenách technológií sú úvodné investičné náklady približne o 30 až 70 % (t. j. o niekoľko sto miliónov Eur na elektrárňu) vyššie ako v prípade



---

štandardných elektrární a prevádzkové náklady sú o 25 až 75 % vyššie ako pri elektrárnach, ktoré nevyužívajú CCS (IPCC, 2005). V súčasnosti sú náklady vyčíslené na 25 – 60 EUR na tonu zachyteného plynu. Čo znamená, že sa náklady na výrobu elektriny zvýšia o 1,3 – 3,0 euro centov na 1 kWh. Je však reálny predpoklad, že prebiehajúci výskum tieto náklady zníži na polovicu (Mařýška a i., 2008). Kalkulácia nákladov elektrární spaľujúcich uhlie a využívajúcich technológie na zachytávanie a skladovanie CO<sub>2</sub> je založená na optimistickej štruktúre nákladov novej elektrárne s výkonom 300 MW vo výške 500 mil. EUR (asi 1,7 mil. EUR na každý inštalovaný MW). Vybavenie modernej elektrárne vybudovanej odteraz do roku 2020 uvedenou technológiou si vyžaduje 0,5 až 0,7 mil. EUR na 1 MW inštalovaného výkonu a náklady na vybavenie existujúcich elektrární dosahujú dokonca vyššie sumy – 1 mil. EUR na 1 MW inštalovaného výkonu. Ak by v roku 2030 bola výrobná kapacita 500 GW vybavená najmodernejšou technológiou zachytávania a skladovania CO<sub>2</sub>, odhadované náklady by dosiahli 600 až 800 mil. EUR (IPCC, 2005).

### **3.11.2 Náklady na injektáž**

Náklady na injektáž do geologických formácií sú predpokladané v rozmedzí 10 až 20 Eur/tonu. Pri súčasných cenách energií možno očakávať zvýšenie nákladov na výrobu elektriny o 60 až 150 % (IPCC, 2005).

### **3.11.3 Náklady na dopravu**

Náklady na dopravu sú relatívne malé, doprava 1 tony zachyteného plynu na vzdialenosť 100 km produktovodom bude stáť 1 – 4 EUR (Lewis, 2007). V súčasnosti sú náklady na separáciu CO<sub>2</sub> odhadované na 25 až 60 Eur na tonu zachyteného CO<sub>2</sub> (Brockett, 2007). Očakáva sa, že ďalším výskumom v tejto oblasti by mohli byť znížené asi na polovicu. Náklady na dopravu sú v porovnaní so zachytávaním nízke pokiaľ bude CO<sub>2</sub> dopravované potrubím alebo loďami na menšiu vzdialenosť (Campbell, 2008). Doprava nákladnými autami by bola príliš náročná. Pri doprave potrubím na vzdialenosť 250 km sú finančné náklady odhadované až na 1 až 4 Eur na tonu CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005).

### **3.11.4 Náklady na skladovanie**

Náklady na skladovanie závisia do značnej miery na tom, do akej typologickej štruktúry sa rozhodne CO<sub>2</sub> uložiť, ale aj na umiestnení skladovacieho miesta (Fernando a i., 2007). Pri akviferoch a vyťažených ložiskách ropy a plynu kolíšu náklady medzi 10 – 20 EUR na tonu

---

uloženého CO<sub>2</sub> plus dodatočné náklady na monitorovanie únikov v mieste skladovania. Ak je však pri uskladňovaní získavaná ropa alebo plyn, náklady môžu paradoxne klesnúť aj pod nulovú hodnotu. To znamená, že výnosy z dodatočnej ťažby kompenzujú náklady, čím činia túto alternatívu ziskovou (IPCC, 2005). Predpokladá sa, že sa tieto náklady výrazne znížia, keď sa technológie osvedčia v komerčnom systéme (Mertz a kol., 2005). V krátkodobom až strednodobom horizonte si to vyžaduje trhové a regulačné rámce, ktoré podporia investície do najnovších technológií zlepšujúcich účinnosť výroby elektriny spaľovaním uhlia a tým znižujúcich emisie CO<sub>2</sub> (Lewis, 2007). V súčasnosti je potrebný spoločný postup Komisie, členských štátov a priemyslu, aby sa podporil celosvetovo koordinovaný výskum, vývoj a demonštráciu technológií zachytávania CO<sub>2</sub>, ktoré z dlhodobého hľadiska zabezpečia takmer nulové emisie CO<sub>2</sub> pri využívaní uhlia (IPCC, 2005). Predpokladá sa, že sa tieto náklady výrazne znížia, keď sa technológie osvedčia v komerčnom systéme (Lewis, 2007).

Využívanie európskych finančných inštitúcií bude takisto predstavovať pomocný nástroj. Európska investičná banka (EIB) v súčasnosti analyzuje možnosť rozvoja nových produktov na financovanie CCS ako doplnok k už existujúcim prostriedkom v rámci finančného nástroja na zdieľanie rizík (RSFF) (IPCC, 2009). Uznanie európskej identity projektu môže uľahčiť prístup k takémuto financovaniu, podobne ako v prípade súčasného postupu používaného pri projektoch transeurópskej energetickej siete (TEN) (Fernando a i. 2009). Na projekty v tretích krajinách sa môžu využívať osobitné nástroje, ako napríklad finančný nástroj EIB týkajúci sa zmeny klímy. (Kinly, 2009).

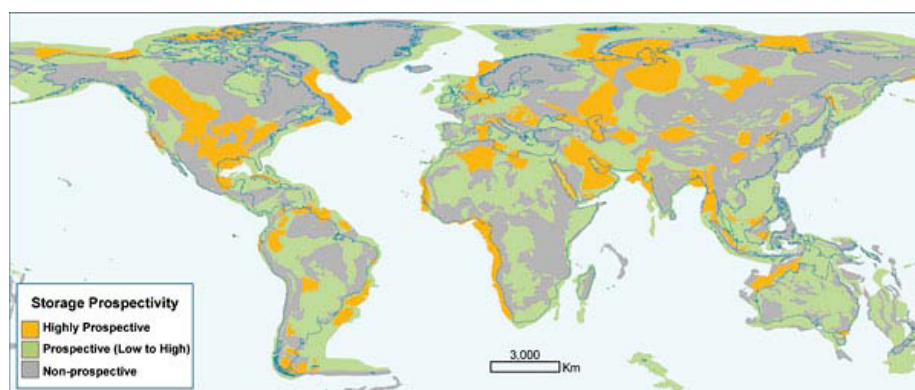
### **3.12 Skúšobné zachytávacie a skladovacie projekty**

Súčasný aj budúci rast dopytu po energii na celom svete najmä z fosílnych palív znamená, že zachytávanie a uskladňovanie uhlíka musí zohrávať globálnu úlohu (Brockett, 2007). Aj napriek tomu, že význam CCS procesu sa líši od regiónu k regiónu, je dôležitý pre všetky štáty a všetky regióny, pretože ponúka spôsob na riešenie problému s emisiami. Pri riešení problémov globálnej zmeny klímy a maximalizácie využitia technológie zachytávania a skladovania oxidu uhličitého je nevyhnutná spolupráca nielen medzi jednotlivými regiónmi, ale najmä štátmi (IPCC, 2005). Súčasná analýza ukazuje, že CCS sa môže stať možnosťou v Severnej Amerike, Austrálii a častiach Európy. Ale taktiež v Číne, kde by mohla zohrať zásadnú úlohu na rozvoji technológie zachytávania a uskladňovania uhlíka a iných čistých technológií zohrať jej spolupráca s EÚ

---

(Fernando a i., 2007). Spolupráca na výstavbe elektrární s takmer nulovými emisiami, t. j. výskum, vývoj a rozšírenie technológie zachytávania a uskladňovania CO<sub>2</sub>, je hlavným prvkom partnerstva medzi EÚ a Čínou v oblasti zmeny podnebia vytvoreného v roku 2005. Hlavným cieľom je demonštrovať, že technológie uhlia s takmer nulovými emisiami sú v Číne a EÚ realizovateľné. V rámci tejto iniciatívy sa v Číne vybuduje do roku 2020 ukázkový závod s takmer nulovými emisiami a už sa začali práce na úvodnej fáze tohto projektu (Campbell, 2008). Na základe Kjótskeho protokolu budú postupne zrušené daňové úľavy a dotácie do všetkých sektorov eliminujúcich skleníkové plyny. Čo znamená, že v Európe bude potrebné vybudovať nové infraštruktúry na uľahčenie úspešného prechodu na nízko uhlíkový energetický systém (Herzog, 2009). V prípade výroby energie s využitím CCS to konkrétne znamená včasnú potrebu zabezpečiť výstavbu infraštruktúry na prepravu a ukladanie CO<sub>2</sub> a prepojenie zdrojov emisií CO<sub>2</sub> s touto infraštruktúrou pri dodržiavaní nediskriminačných pravidiel porovnateľných s tými, ktoré sa v súčasnosti uplatňujú na existujúce elektrické a plynové infraštruktúry. Pre SR ako člena EÚ to znamená závažnú výzvu k aktívnemu zapojeniu do medzinárodných štruktúr podporujúcich vývoj a aplikáciu týchto technológií (IPCC, 2009).

Politika emisií CO<sub>2</sub> je zameraná na spriemyslenie štátov a úlohou CCS je významné zníženie emisií v globálnom meradle. Zatiaľ čo mať CCS v CO<sub>2</sub> politickom portfóliu je určite atraktívne, vydanie jeho aplikácie bude požadovať dôkladné projektové vyhodnotenie (Lewis, 2007). Najväčšie projekty uskladňovania CO<sub>2</sub>, do ktorých sa zapojili európske spoločnosti, sú projekt Sleipner v Severnom mori (Statoil) a projekt In Salah v Alžírsku (Statoil, BP a Sonatrach)(IPCC, 2005) (Obr.7).



**Obr. 7**

**Perspektíva možnosti využitia CCS vo svete (IPCC, 2005)**

---

Presný príspevok zníženia emisií bude závisieť od miery prijatia CCS, najnovšie výskumy uvádzajú, že vďaka CCS, by sa mohlo v roku 2020 zachytiť 7 miliónov ton CO<sub>2</sub> s nárastom približne na 160 miliónov ton v roku 2030 (Wieland, 2010).

Zachytený CO<sub>2</sub> by v roku 2030 predstavoval približne 15 % zníženie požadované v Európe. Odhady potenciálneho globálneho príspevku sú podobné a predstavujú približne 14 % do roku 2030. V Európe bude potrebné vybudovať nové infraštruktúry na uľahčenie úspešného prechodu na nízko uhlíkový energetický systém. V prípade výroby energie s využitím CCS to konkrétne znamená včasnú potrebu zabezpečiť výstavbu infraštruktúry na prepravu a ukladanie CO<sub>2</sub> a prepojenie zdrojov emisií CO<sub>2</sub> s touto infraštruktúrou pri dodržiavaní nediskriminačných pravidiel prístupu porovnateľných s tými, ktoré sa v súčasnosti uplatňujú na existujúcu elektrickú a plynovú infraštruktúru (EEA, 2008).

### **3.12.1 Nórsko**

Napriek tomu že Nórsko vyrába 99 percent elektrickej energie v hydroelektrárnach a do ovzdušia vypúšťa iba 0,2 percenta globálnych emisií, zaujíma sa o ochranu ovzdušia veľmi intenzívne (Kinly, 2009). Ako prvý komerčný projekt na svete, ktorý sa zaoberal zachytávaním a skladovaním CO<sub>2</sub> sa uvádza nórska ropná plošina Sleipner firmy StatoilHydro (Príloha 5). Projekt už od roku 1996 ukladá zhruba jeden milión ton oxidu uhličitého ročne do geologických formácií z vytŕažených ložísk ropy a plynu na dne Severného mora (Brockett, 2007). Podnetom pre projekt Sleipner boli nórske dane z oxidu uhličitého, ktoré boli v Nórsku zavedené v 1992 a ktoré sú výrazne vyššie ako náklady na tonu CO<sub>2</sub> uloženého v geologickej formácii Sleipner (Lewis, 2007). Do nálezísk v Severnom mori sa injektuje skvapalnený CO<sub>2</sub>. Tento proces je pre ťažobné spoločnosti ziskový, keďže sa zvyšuje objem vytŕaženej ropy (IPCC, 2005). Nórsko predložilo EÚ niekoľko ďalších projektov skladovania CO<sub>2</sub>. Jeden z najvýznamnejších projektov je Mongstad, ktorý sa nachádza v blízkosti mesta Bergen a Kastro. Elektrárň bola vybudovaná s podporou nórskej vlády v rámci dlhodobej koncepcie zaistenia dostatočného množstva elektrickej energie na západnom pobreží v lokalite Karsto (Fernando a i., 2007). Predpokladá sa, že na elektrárň bude napojené CCS zariadenie a teda CO<sub>2</sub> bude ukladané do vhodných morských útvarov. V prvej testovacej fáze, ktorá je plánovaná v roku 2011 sa počíta so zachytením emisií CO<sub>2</sub> s objemom cca 100 000 ton CO<sub>2</sub> za rok a do roku 2014 by mali byť vyriešené a nainštalované nové technológie totálneho zachytávanie emisií s cieľom uskladniť až 1,3 milióna ton CO<sub>2</sub> ročne s celkovými investičnými nákladmi 2,3 mld NOK. Emisie budú v prípade oboch

---

projektov vedené potrubím s dĺžkou niekoľko sto kilometrov, ktoré vedú do vyťažených ložísk ropy a zemného plynu na dne Severného mora. Zariadenie by malo začať fungovať v roku 2012 s kapacitou skladovania jeden milión ton CO<sub>2</sub> ročne (Brockett, 2007). Druhý projekt Kårstø počíta s pripojením k existujúcej plynovej elektrárni. Kårstø je priemyselná zóna severne od Stavangeru v blízkosti mesta Tysvaer, kde sa od roku 1985 spracováva zemný plyn v súčasnosti ťažený z nálezísk Åsgard, Mikkell a Sleipner. Zemný plyn sa z tejto oblasti dostáva do plynovodov Europipe II, Europipe a Norpipe aj do Nemecka (Fernando a i., 2009).

### **3.12.2 Nemecko**

Medzi ďalšie prebiehajúce demonštračné projekty patrí projekt Vattenfall, Total CCS a Weyburn. Projekt Vattenfall spustila 9.9.2008 švédská energetická spoločnosť Vattenfall vo východonemeckom meste Schwarze Pumpe. Bola to prvá skúšobná prevádzka prvej uhoľnej elektrárne s revolučnou technológiou zachytávania a ukladania emisií CO<sub>2</sub> (IPCC, 2009) (Príloha 6). Napriek tomu, že projekt si vyžiadal náklady za 70 miliónov eur, je perspektívny, pretože energetické firmy si budú musieť na každú tonu CO<sub>2</sub>, ktorú uvoľnia do ovzdušia, kupovať emisné povolenky (Kinly, 2009). Projekt Vattenfall je pilotná elektráreň CCS. S kapacitou 30 megawattov je veľmi malá v porovnaní s kapacitou klasických elektrární. Je to však prvá uhoľná elektráreň na svete schopná zachytávať a ukladať emisie CO<sub>2</sub>, ktoré sú práve pri uhoľných elektrárňach mimoriadnym problémom. Vattenfall plánuje najnovšie do roku 2015 postaviť ďalšie dve pilotné elektrárne 10-krát väčšie, ako je v Schwarze Pumpe. Jednu opäť v Nemecku a druhú v Dánsku (IPCC, 2009).

### **3.12.3 Francúzsko**

Total CCS v oblasti Lacq vo Francúzsku. Spoločnosť Air Liquide vstúpila do technologického partnerstva s Total Group v oblasti dodávky nových technológií využívajúcich spaľovanie v kyslíkovej atmosfére pre prvú pilotnú inštaláciu zariadení na zachytávanie a uskladnenie CO<sub>2</sub> vo Francúzsku v priemyselnej kotline Lacq na juhozápade Francúzska (Brockett, 2007). Spoločnosť Air Liquide v tejto oblasti dosiahla mimoriadne špecializovanú kvalifikáciu, na svojom účte má viac ako 800 patentov na spaľovanie (Kinly, 2009). Vo februári 2007 francúzsky ropný gigant Total oznámil začatie projektu injektovania približne 150 tisíc ton tekutého CO<sub>2</sub> do vyťažených nálezísk zemného plynu v Rouse (Pyreneje), ktorý sa nachádza v hĺbke 4500 metrov počas obdobia dvoch rokov. Prvá injektáž do tejto formácie sa uskutočnila

---

v novembri 2008 (IPCC, 2009). Spoločnosť Air Liquide sa už podieľa na niekoľkých ďalších výskumných projektoch zameraných na uskladnenie CO<sub>2</sub>, najmä v Poľsku, USA a v Kanade. Celkovo spoločnosť Air Liquide vynakladá viac ako 50% svojho rozpočtu na výskum a vývoj zameraný na projekty udržateľného rozvoja (Kinly, 2009).

Tento prvý pilotný projekt vo Francúzsku je ďalším príkladom schopnosti vyvíjať inovatívne technológie a ponúkať priemyselné riešenia, ktoré budú priaznivejšie z hľadiska vplyvu na životné prostredie (Darchis, 2009). V roku 2008 sa v rámci projektu Snohvit LNG (prevoz skvapalneného zemného plynu začal separovať CO<sub>2</sub> z plynu využívaného závozom LNG. Oxid uhličitý bude skladovaný v pieskovcových vrstvách pod ložiskami zemného plynu a jeho skladovacia kapacita je zhruba 700 tisíc ton ročne (Brockett, 2007).

#### **3.12.4 Poľsko**

Projekt rozvíja chemický koncern ZAK a výrobca energie PKE. Využíva vo svete unikátnu technológiu, ktorá mení uhlie na syntetický plyn, ktorý je následne premieňaný na elektrickú energiu a teplo alebo na chemické látky (IPCC, 2009). Oxidy uhlíka, ktoré v procese výroby vzniknú, budú zachytávané a uskladňované v podzemí. Závod má byť vybudovaný v Hornom Sliezsku, jednom z najviac znečistených regiónov Európy, v spolupráci so susednou Českou republikou (Hladik, 2010). Tento projekt demonštruje energetickú bezpečnosť v Európe (Jałosiński in Euractive, 2009). Poľské spoločnosti chcú, aby sa projekt dostal do zoznamu 10 až 12 elektrární, ktorým bude únia financovať zavádzanie technológie CCS. Tento projekt umožňuje testovanie asi 20 rozličných technológií, ktoré ZEP (Európska technologická platforma pre fosílnu elektrárne s nulovými emisiami) identifikovala ako kľúčové pre zníženie rizikovosti technológie CCS. Celkové emisie sa majú údajne znížiť až o 92% (Siemaszko in Euractive, 2009). V súčasnosti poľské spoločnosti uvažujú o možnosti preskúmať možnosť transportu zachyteného oxidu uhličitého cez česko-poľský plynovod vedúci z Ostravy po rezervoáre rozkladajúce sa od Baltského mora pod Poľskom (Jałosiński in Euractive, 2009). Ide o najväčší rezervoár nachádzajúci sa na súši, ideálny pre skladovanie CO<sub>2</sub>, vzhľadom na pórovitý sediment (Siemaszko in Euractive, 2009). Projekt má širokú politickú podporu poľskej vlády, jeho veľkým podporovateľom je aj europoslanec Jerzy Buzek. ZAK a PKE hľadajú možnosti vytvorenia partnerstva so spoločnosťami ako Shell, GE a Siemens, ktoré majú skúsenosti s podobnými technológiami a vplyv na európskej úrovni (Kinly, 2009). Náklady by mali byť okolo 1,3 miliardy EUR, ale firmy dúfajú, že polovicu bude možné vykryť z prostriedkov EÚ určených na

---

CCS demonštračné projekty, potenciálne s ďalšími financiami zo štrukturálnych fondov. O finančnej podpore rokujú s poľskou vládou. Podľa plánov únie by mal projekt začať fungovať do roku 2015. ZAK a PKE očakávajú, že sa investorom ich peniaze vrátia do roku 2030, no ziskovosť bude ovplyvnená vývojom cien emisií CO<sub>2</sub> (Jałosínski in Euractive, 2009).

### 3.12.5 Česká republika

Z globálneho pohľadu je Česká republika s 146 Mt oxidu uhličitého, čo predstavuje asi 0,3% celosvetových emisií, zanedbateľným emitentom. Avšak pri prepočte na obyvateľa patrí k najväčším emitentom (McKinsey, 2008). Môže ju teda závažne postihnúť akákoľvek regulácia zameraná na zníženie emisií najmä na ciele stanovené na počet obyvateľov (Hladik, 2010). Z krajín Európskej 27 majú väčšie emisie na obyvateľa iba Luxembursko a Írsko. V energetickom priemysle produkuje takmer dvakrát viac CO<sub>2</sub> na obyvateľa než je priemer EÚ (McKinsey, 2008). Česká republika chce využiť časť svojich emisných kreditov, ktoré jej podľa Kjótskeho protokolu patria, k návrhu a stavbe demonštračnej jednotky na zachytávanie a ukladanie CO<sub>2</sub> do vhodných geologických štruktúr. Vhodnými lokalitami môžu byť nové elektrárne v severných Čechách. ČR plánuje výstavbu technológií na zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého pod zem v dvoch lokalitách a to v Hodoníne a v severných Čechách. V severných Čechách to bude v lokalite Lednice, kde sa plánuje výstavba nových elektrární na hnedé uhlie (Hladik, 2010). Je jasné, že to nemôže byť komerčný projekt, pretože sa pôvodne uvažovalo, že celý projekt by sa zaplatil z predaja voľných emisných jednotiek, ktoré budú vyčlenené pre Českú republiku. Takto by bolo možné zhromaždiť viac ako 10 mld. EUR. Otázka je, ako budú na tento návrh reagovať Európska komisia a členské štáty. Jediným krokom komisie je zatiaľ oznámenie, že bude tolerantnejšia k poskytovaniu štátnej pomoci práve na takéto projekty (McKinsey, 2008).

Ak sa ČR rozhodne pre výstavbu CCS technológií pre niektorú zo svojich existujúcich tepelných elektrární, dá sa predpokladať, že z pohľadu podzemnej časti úložiska bude táto výstavba prebiehať v nasledujúcich hlavných krokoch, ktorými budú: preverenie možností injektáže CO<sub>2</sub> v rámci Českej republiky s ohľadom na geologickú stavbu, fyzikálne vlastnosti kolektorov, tesniacich súvrství a zdrojov CO<sub>2</sub>, ktoré sú použiteľné a vhodné. Výber vhodných typov skladovacích kolektorov a metodiky ukladania (hydrodynamika, geochémia, geologická výstavba, fyzikálne vlastnosti (Hladik, 2010).

K obmedzovaniu emisií skleníkových plynov, ktoré prispievajú ku globálnej zmene klímy, slúži v Európe zavedený systém povoleniek, s ktorými obchodujú jednotlivé podniky. Svoje

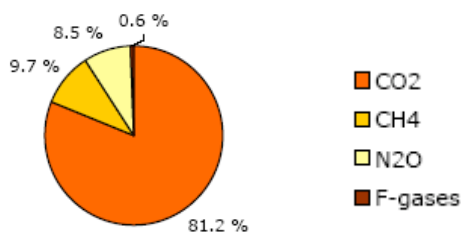
---

povelenky (tzv. AAU) však majú k dispozícii i jednotlivé štáty, ktoré nimi kryjú ďalšie zdroje emisií napr. z dopravy alebo inej ako priemyselnej sféry. Štáty tiež môžu svoje ušetrené kredity predávať. Realizácia projektu ukladanie CO<sub>2</sub> v Českej republike by znamenala výrazný impulz pre český vývoj a výskum a tiež výrobu technológií, pretože ich značná časť by sa vyrábala v ČR podľa zahraničných licencií (McKinsey, 2008).

### 3.13 Zachytávanie a skladovanie oxidu uhličitého na Slovensku

V 20. storočí sa na Slovensku pozoroval rast priemernej ročnej teploty vzduchu asi o 1,1°C (v zime ešte viac) a pokles ročných úhrnov atmosférických zrážok o 5,6 % v priemere (na juhu SR bol pokles aj viac ako 10 %, na severe a severovýchode ojedinele je rast do 3 % za celé storočie) (Balajka a i., 2005). Podiel Slovenskej republiky na celosvetových antropogénnych emisiách skleníkových plynov je približne 0,2 %. Ročná emisia hlavného skleníkového plynu CO<sub>2</sub> na obyvateľa sa pohybuje okolo 10 ton za rok, čo zaraďuje Slovensko medzi 20 krajín s najvyššími emisiami CO<sub>2</sub> na obyvateľa na svete (Mačala, 1998). Najvýznamnejším zdrojom CO<sub>2</sub> na Slovensku je spaľovanie fosílnych palív pri výrobe energie a v doprave (Krajčo, 2000)(Obr. 8)

Scenáre klimatickej zmeny sa týkajú nielen ročného chodu jednotlivých klimatických prvkov pre niektoré budúce časové horizonty, ale aj časových radov týchto prvkov až do roku 2100. K dispozícii sú vypracované scenáre pre viaceré klimatické prvky, ako napr. teplota vzduchu, atmosférické zrážky, globálne žiarenie, vlhkosť vzduchu (Balajka a i., 2005).



Obr. 8

#### Podiel jednotlivých plynov na celkových emisiách na Slovensku (EEA, 2008)

V súčasnosti je podstatné, aby Slovensko ako jeden zo signatárov Kjótskeho protokolu pristúpilo k reálnemu znižovaniu produkcie CO<sub>2</sub> (Pucherová, 2005).

Slovensko sa začína zameriavať na ukladanie oxidu uhličitého do podzemných priestorov, akými sú v súčasnosti definované vyťažené ložiská ropy a zemného plynu, neťažené alebo vyťažené



---

uhľné ložiská a hlboké slané akvifery (Duduc, 2008). Slovenská republika predpokladá v nadväznosti na svoje zdroje fosílnych palív využitie CCS technológie v elektrárnach fungujúcich na hnedé uhlie keďže má takmer 60% podiel uhlia na výrobe elektriny (ŠGUDŠ, 2009). Podľa priebežných výsledkov prichádzajú do úvahy na uplatňovanie geologickej sekvestácie CO<sub>2</sub> na území SR tieto geologické formácie (Dolnák, 2008):

1. Vyťažené alebo doťažované ložiská zemného plynu a slané akvifery v širšej oblasti Karpát.
2. Slané akvifery
3. Sloje čierneho uhlia
4. Okrem toho sa vynára možnosť uskladnenia v ultrabázických možno aj v bázických horninách formou chemickej väzby na kalcitové minerály.

Tieto štruktúry bude nutné zmapovať resp. prehodnotiť, stanoviť nielen ich hĺbkové a morfológické pomery a kapacitné možnosti, ale aj monitorovať ich okolie po uložení CO<sub>2</sub> do štruktúry a po jej naplnení (Duduc, 2008). V špecifických podmienkach SR musia problém geologického ukladania zachyteného CO<sub>2</sub> riešiť predovšetkým geológovia, pretože aj v prípade, že by sa Slovenská republika nezúčastnila vývoja procesu a dodávok zariadení a nakúpila technológie v zahraničí, bude treba vytipovať vhodné geologické formácie a surovinové zdroje, uskutočniť ich výskum, zistiť ich odolnosť voči zdrojom emisií a riešiť dlhodobú stratégiu spolu s ekonomickými a investičnými parametrami (Dolnák, 2008). Aj vzhľadom na zámer obnovy uhľných elektrární v roku 2010 je nutné tento problém riešiť z dlhodobého hľadiska (ŠGUDŠ, 2009). Hoci samotné rafinérie sú pomerne malým prispievateľom k sume celkových emisií CO<sub>2</sub>, v oblasti rafinárskeho a petrochemického podnikania budú pravdepodobne najintenzívnejšie vystavené tlaku na ich zníženie (MH SR, 2009).

Na Slovensku je v súčasnosti registrovaných 183 zdrojov producentov oxidu uhličitého (MŽP SR, 2008). Jedným z najvýznamnejších veľkých stacionárnych producentov CO<sub>2</sub> je Slovnaft a.s., ktorý ročne do atmosféry emituje cca 2,5 milióna ton CO<sub>2</sub>, z toho podniková tepláreň vyprodukuje približne 1,2 mil ton za rok CO<sub>2</sub>. Zvyšok emisií je vyprodukovaný prevažne technologickými pecami (Kucharič, 2008) (Obr. 9).



**Obr. 9**

**Najväčšie zdroje oxidu uhličitého v SR (MŽP SR, 2008)**

Legislatívne a daňové tlaky sú už dnes nasmerované na koncových užívateľov rafinérskych výrobkov (Brockett, 2007). Na Slovensku máme zatiaľ zistené vhodné štruktúry pre skladovanie v Záhorskej nížine, Podunajskej a Východoslovenskej nížine ako aj v Krupinskej vrchovine. Pri zvyšovaní optimizmu vo výpočtoch možno toto číslo až zvyšovať. Realitu ale zistia až konkrétne technické práce. Možnosti riešenia sekvestrácie CO<sub>2</sub> v podmienkach Slovenska (Dolnák, 2008):

- sekvestrácia CO<sub>2</sub> by mala byť súčasťou rozvojových plánov podnikových teplární napr. v Slovnafte a.s. pre najbližšie roky
- spoločné využitie zásobníkov zemného plynu a vyčistených ropných ložísk na Záhorí v spolupráci so Nafta a.s. Gbely a Moravskými naftovými podnikmi a.s.
- využitie produktovodov medzi Bratislavou a Moravou pre motorové palivá aj na prepravu CO<sub>2</sub> do lokality určenej na sekvestráciu (Dolnák, 2008).
- jestvujú potenciálne výhody z ekonomických prínosov z redukcie CO<sub>2</sub> (úspora energie, využitie resp. recyklácia CO<sub>2</sub>)
- aplikovanie technológií, napríklad splyňovanie, ktoré umožňujú deštrukciu ťažkých zvyškov a relatívne ľahké zachytávanie CO<sub>2</sub> a získanie ostatných výhod z ochrany životného prostredia (Dolnák, 2008).

**Skladovanie oxidu uhličitého na Slovensku**

Z hľadiska vhodného geologického prostredia disponuje Slovenská republika pomerne značným potenciálom k trvalému ukladaniu CO<sub>2</sub>. Pri súčasnej produkcii oxidu uhličitého 25

---

miliónov ton ročne a v priemernej produkcii cca 7 ton CO<sub>2</sub> na obyvateľa za rok by sme mohli podľa hrubého odhadu do rôznych geologických štruktúr teoreticky uložiť 2 768,4 miliónov ton CO<sub>2</sub> vyprodukovaného z priemyselných zdrojov SR. Na Slovensku sme v roku 2005 evidovali 26 veľkých zdrojov s produkciou viac ako 100 000 ton oxidu uhličitého ročne, ktoré by mohli mať záujem o niektorú zo spomínaných metód jeho likvidácie. Tieto podniky vypustili do ovzdušia 22,27 milióna ton oxidu uhličitého (Duduc, 2008). Teoreticky, ak by sme udržali hodnotu súčasnej produkcie, by sme mohli do týchto priestorov pri veľmi pesimistickom prístupe do podzemných skladovacích geologických štruktúr uskladniť súčasnú ročnú produkciu Slovenska po dobu približne 100 rokov. Na našom území je možné uplatniť niekoľko možností uskladnenia vyprodukovaného CO<sub>2</sub>. V Podunajskej panve sa vyskytuje navyše vážny stret záujmov – problém mohutného rezervoáru podzemných pitných vôd, (najväčšieho v strednej Európe) nachádzajúceho sa v nadloží predmetných horizontov (Kucharič, 2008).

### **Skladovanie CO<sub>2</sub> na Slovensku v ložiskách ropy a plynu**

Príkladom pre skladovanie v ložiskách ropy a plynu je komplex podzemných zásobníkov zemného plynu, tzv. Láb I. až IV. vybudovaný v neogénnych sedimentoch juhovýchodnej časti viedenskej panvy (Záhorskej nížiny). Ich spoločná uskladňovacia kapacita je 2,75 Gt (Duduc, 2008). V súčasnosti sú viac-menej u nás pripravené na konverziu tri objekty, tzv. Láb V. a VI., vo vytŕažených ložiskách v neogénnej sedimentárnej výplni južnej časti viedenskej panvy a ďalším perspektívnym objektom, ktorým by sa mohlo stať ložisko oxidu uhličitého Sereď v neogénnej sedimentárnej výplni podunajskej panvy (ŠGUDŠ, 2009). Ide o vytŕažené plynové a ropné ložiská v hĺbke 342 metrov až 1780 metrov v závislosti od skladovacieho objektu (Kucharič, 2008).

### **Skladovanie CO<sub>2</sub> na Slovensku v uhoľných slojoch**

Ďalšou reálnou možnosťou uskladnenia CO<sub>2</sub> by mohlo predstavovať skladovanie v uhoľných slojoch. Takéto uskladnenie CO<sub>2</sub> v uhoľných slojoch by mohlo byť aj pre Slovensko významnou možnosťou. Ako vhodné oblasti prichádzajú do úvahy samozrejme tie, kde boli tieto ložiská ťažené (Duduc, 2008). Sú to viedenská, podunajská a východoslovenská treťohorná panva, ale uvažuje sa taktiež nad lokalitami, ktoré sú najmä oblasti Hornej Nitry, a teda lokalizáciou týchto skladovacích priestranstiev do miest Prievidza, Handlová (Kucharič, 2008). Podľa predbežných kalkulácií by sa do vytŕažených priestorov mohlo injektovať okolo 133 miliónov ton CO<sub>2</sub>, čo nepredstavuje významný objem z hľadiska celoslovenskej ročnej

---

produkcie, ale je postačujúci pre podmienky SR (MH SR, 2009). Pokiaľ ide o ukladanie do vytŕažených uhľových ložísk, ako vhodné lokality prichádzajú do úvahy Viedenský, Dunajský a Východoslovenský sedimentárny bazén, ktoré vznikli pred miliónmi rokov, keď boli súčasťou neogénneho mora. Podľa predbežných hrubých odhadov by sa do nich mohlo zmestiť približne 133 miliónov ton oxidu uhličitého (ŠGUDŠ, 2009). V súčasnosti prebieha štúdia využiteľnosti uhľovodíkových ložísk na východnom Slovensku, ktoré sa nachádzajú v blízkosti viacerých producentov oxidu uhličitého (Kucharič, 2008). Do nich by bolo možné umiestniť približne 35 miliónov ton oxidu uhličitého. Problémom je, že jeho dodávka by musela byť plynulá, čo pri zdrojoch ako sú teplárne nie je pre sezónne výkyvy prevádzky možné zaručiť (ŠGUDŠ, 2009).

### **Skladovanie CO<sub>2</sub> na Slovensku v hlbokých slaných akviferoch**

Tento druh skladovania CO<sub>2</sub> na Slovensku je ďalšou a veľmi efektívnou metódou skladovania, ktorá by mohla byť v plnej miere uplatňovaná aj na Slovensku (Duduc, 2008). Najvhodnejšie podmienky sú napríklad na východnom Slovensku Solivary a.s. v Prešove (Kucharič, 2008). V podmienkach Slovenskej republiky sú podľa doterajších výskumov zistené akvifery v Podunajskej a Východoslovenskej panve a to vo vhodných hĺbkach od jedného až takmer po 3 km. Tieto slané zvodnené vrstvy v zmysle prvotného ocenenia, vzhľadom k ich objemovým parametrom, poukazujú na ich vhodnosť pre daný účel. Ich odhadnutá kapacita ďaleko prevyšuje ročnú produkciu emisií Slovenska, ale poznatková základňa o potrebných vstupných parametroch nie je dostačujúca (ŠGUDŠ, 2009). Podľa predbežných veľmi hrubých odhadov by sa v nich mohlo uskladniť okolo 13,841 MG ton CO<sub>2</sub> (Duduc, 2008). Potenciálna lokalita využitia v našich podmienkach sa nachádza na západnom Slovensku – napr. Nafta a.s. Gbely (Duduc, 2008).

### **Skladovanie CO<sub>2</sub> v oceáne**

Pre potreby Slovenskej republiky je táto možnosť skladovania neaplikovateľná (Kucharič, 2008).

### **Realizácia zachytávania a skladovania oxidu uhličitého na Slovensku**

Kľúčom k pochopeniu vzniku emisií z rafinérie je porozumenie princípov celkovej uhlíkovej bilancie. Ak chce Slovensko reálne využívať metódu CCS, musí technológiu začať uplatňovať prostredníctvom 2 fáz (ŠGUDŠ, 2009):

---

1. Pilotná fáza, ktorá overí technológie a postupy realizácie CCS a jej prevádzku v menšom rozsahu pred tým, ako bude začatá druhá etapa. Vhodným geologickým objektom pri pilotnej fáze je vyťažené ropné ložisko či ložisko plynu.

2. Komerčná fáza, tj. výstavba a následná prevádzka CCS technológií v priemyselnom rozsahu. Môžeme očakávať, že postupne vznikne niekoľko geologických úložísk CO<sub>2</sub>, ktoré budú situované čo najbližšie k tepelným elektrárnam a veľkým stacionárnym zdrojom oxidu uhličitého (Kinly, 2009). Táto fáza bude mať z hľadiska skladovania CO<sub>2</sub> pod zemou nasledujúce kroky (Mařyřka, 2008):

- a) spracovanie koncepcie a metodiky potenciálneho CCS v Slovenskej republike
- b) vytvorenie prvého výberu potenciálnych lokalít v súlade s navrhnutými koncepciami a metodikou na základe dostupných geologických údajov.
- c) zúženie prvotného výberu lokalít na základe výsledkov laboratórnych prác a numerických modelov. Prvý odhad parametrov úložísk a stanovenie podrobného plánu terénnych meraní.
- d) druhé kolo výberu lokalít na základe výsledkov geofyzikálnych, seizmických meraní a výsledkov. Presnejšie určenie parametrov úložísk a uskutočnenie konečného výberu lokalít.
- e) projekt výstavby a spustenie úložiska
- f) výstavba technológií úložiska, ďalšie spresňovanie modelov
- g) prevádzka úložiska a priebežný monitoring

Slovensko sa ako členský štát Európskej únie zúčastňuje na príprave spoločných podkladov a správ. Tieto správy sú zasielané sekretariátu v priebehu rokovaní pracovnej skupiny Rady EÚ pre medzinárodné otázky v životnom prostredí (WPIEI). Cieľom je príprava pozícií pred, ale aj počas rokovaní konferencie strán dohovoru a protokolu. Účasť na týchto zasadaniach je z hľadiska presadzovania národných záujmov rozhodujúca, keďže v medzinárodnom kontexte dohovoru a protokolu už SR samostatne nevystupuje. V prípade klimaticko-energetického balíčka bola pozícia na národnej úrovni doteraz koordinovaná Ministerstvom zahraničných vecí SR, na základe uznesenia vlády č. 416/2008 z 18. júna 2008 bude v budúcnosti túto úlohu plniť Komisia pre klimaticko-energetický balíček na úrovni štátnych tajomníkov pod gesciou Ministerstva životného prostredia a Ministerstva hospodárstva (MH SR, 2010).

---

### 3.14 Opätovné využitie zachyteného oxidu uhličitého

Zachytenie a trvalé uskladnenie oxidu uhličitého by nemuselo zostať poslednou možnosťou zaobchádzania s CO<sub>2</sub> (Kucharič, 2009). Opätovné využitie CO<sub>2</sub> spočíva v možnostiach, kedy by tento neviditeľný plyn mohol byť potenciálne aj užitočný (Brockett, 2007). Použitie a znovu využívanie oxidu uhličitého je zamerané na nové ciele a prístupy v snahe o znižovanie emisií CO<sub>2</sub> prostredníctvom rozvoja ďalšieho použitia ako je premena CO<sub>2</sub> na použiteľné produkty a palivá a ďalšie prevratné koncepcie, ktoré zmiernia emisie CO<sub>2</sub> v oblastiach, kde geologické ukladanie nemusí byť optimálnym riešením (Kucharič, 2008). Napríklad v podmienkach Slovenskej republiky Štátny geologický ústav Dionýza Štúra skúma ako a kde by sa dal oxid uhličitý využiť. Košické pracovisko aplikovanej technológie nerastných surovín ŠGÚDŠ vykonáva dlhodobý prieskum minerálnej sekvestrácie. Na tejto metóde je geniálne, že spojením dvoch odpadov sa vytvorí využiteľná látka. Pri súčasnom výskume a vývoji už niektoré technológie dokážu premieňať niektoré typy hornín a priemyselné odpady na užitočné suroviny s ekonomickou hodnotou alebo nízkou cenou vyrobeného materiálu (ŠGUDS, 2009). Zachytávanie CO<sub>2</sub> pred-spaľovaním je technológia známa z rôznych odvetví priemyslu, kde sa už v súčasnosti tento plyn od ostatných separuje. Výsledný CO<sub>2</sub> je potom ďalej využívaný na vedľajších trhoch, napríklad v potravinárstve. Táto technológia je taktiež široko aplikovaná pri výrobe umelého hnojiva, chemickom alebo plynnom palive alebo pri výrobe elektriny (Gupta a i., 2003). Ďalším potenciálne užitočným spôsobom nakladania s priemyselnými zdrojmi emisií je previesť ich do uhľovodíkov, kde môžu byť využité ako palivo alebo použité pri výrobe plastov (Kucharič, 2008). V súčasnosti existuje niekoľko projektov, ktoré skúmajú tieto možnosti (ŠGUDS, 2009).

---

## 4 Návrh na využitie výsledkov

Bojovať s klimatickými zmenami neznamená iba využívať jednotlivé možnosti, znamená to predovšetkým podporovať stratégiu dlhodobého rastu, pretože čím skôr podnikneme účinné kroky, tým menej budú nákladné v budúcnosti.

- Vzhľadom na rozsah problematiky znižovania emisií musia byť všetky potenciálne využiteľné zdroje a technológie vyvinuté tak, aby sa dal prakticky a komerčne využiť ich potenciál. Dôležité je preto zamerať sa pri prechode na trvalo udržateľné zdroje energie nielen na zlepšenie účinnosti využívania redukcie dopytu po energii, využívanie obnoviteľných zdrojov energie, ale aj na technológie a opatrenia na zachovávanie energie. Tieto technológie zohrávajú dôležitú úlohu, pričom každá z nich je prínosom v určitom čase a v rozsahu stanovenom na základe technickej realizovateľnosti a hospodárnosti.

- Je nevyhnutné zamerať sa na rozšírenie a optimalizáciu zachytávacích technológií, ktoré sú už v súčasnosti vyvinuté a vykonanie niekoľkých krokov a opatrení, ktoré by zabezpečili nielen rozvoj, ale aj zastavenie globálnej zmeny klímy.

- Musíme si uvedomiť, že úspešnosť technológií zachytávania a skladovania CO<sub>2</sub> v širokom meradle umožní lepšiu dostupnosť energie v najchudobnejších častiach sveta, ktoré sú pripravené o možnosť využívania energie. Preto je nevyhnutné včasné zainteresovanie tretích krajín do vývoja a uplatňovania technológií trvalo udržateľného využitia uhlia, predovšetkým do zložky súvisiacej so zachytávaním a ukladaním CO<sub>2</sub>.

- Na európskej aj medzinárodnej úrovni je CCS na ceste k rozsiahlemu používaniu. Prostredníctvom včasných a odvážnych iniciatív priemyselných odvetví, verejnosti, ale aj silných trhových stimulov na zamedzovanie vzniku emisií CO<sub>2</sub>, môžu CCS technológie dosiahnuť veľké výsledky z hľadiska šetrenia finančných nákladov.

- Taktiež je potrebné vytvoriť adekvátne zákonné a regulačné prostredie, ktoré by určovalo hranice a rozmiestnenie v štátoch. Je potrebné zjednodušenie licenčných konaní a ich postupná harmonizácia prostredníctvom spolupráce národných regulačných orgánov, aby sa v maximálnej možnej miere skrátili dlhé prípravné fázy projektov výstavby pri súčasnom dodržaní čo najprísnejších bezpečnostných noriem.

- Keď bude vytvorený spoľahlivý regulačný rámec, môže sa skombinovať so zmenami existujúceho regulačného rámca pre oblasť životného prostredia s cieľom odstrániť

---

neodôvodnené prekážky pre technológie zachytávania a skladovania CO<sub>2</sub>.

- Takisto je potrebné posúdiť, či bude lepšie zmeniť a doplniť existujúce nástroje (napríklad smernicu o hodnotení vplyvu na životné prostredie alebo smernicu o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania) alebo navrhnúť osobitný regulačný rámec.
- Musíme sa zamerať na vybudovanie a podporu inštitúcií, ktoré budú zamerané na podporu medzinárodnej spolupráce.
- Sú potrebné štúdie, ktoré by analyzovali a redukovali výdaje a hodnotili primeranosť jednotlivých potenciálnych skladovacích miest.
- Musia byť jasne stanovené náklady a prínosy politiky klimatických zmien, aby všetky subjekty či už štáty, vlády jednotlivých štátov, investori alebo jednotliví obyvatelia Zeme verili, že bez jasnej perspektívy dlhodobých cieľov stabilizovania koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére ťažko možno očakávať dosiahnutie cieľov.
- Keď budú náklady a prínosy politiky zmierňovania klimatických zmien v budúcnosti jasnejšie, politiky sa budú musieť prispôbiť meniacim sa okolnostiam. Zároveň musia reagovať na odlišné národné podmienky a prístupy. Avšak hlavným cieľom musí byť predovšetkým silný vzťah medzi krátkodobými a dlhodobými cieľmi, ktoré by mali podporovať kroky zamerané na inováciu a adaptáciu systémov zmierňujúcich zmeny klímy.
- Pre preniknutie technológie zachytávania a skladovania CO<sub>2</sub> do praxe je potrebné stimulovať a požadovať značné investície do tohto takpovediac „prídavného procesu“ od energetických spoločností a príslušných priemyselných odvetví (hutníctvo, výroba cementu) Preto sa musia stanoviť ceny za emisie, ktoré môžu mať podobu „uhlíkovej dane“ alebo podobu systému obchodovania.
- Jednoznačné a rozhodujúce finančné záväzky priemyslu budú mať význam z hľadiska zvažovania dodatočných príspevkov z verejných zdrojov. Najmä tie štáty, ktoré sa v svojom budúcom energetickom mixe spoliehajú na uhlie, by mali implementovať podporné opatrenia zamerané na včasnú demonštráciu CCS. Informácie získané prostredníctvom európskej priemyselnej iniciatívy uľahčia vypracovanie analýzy zlučiteľnosti takýchto opatrení s pravidlami EÚ týkajúcimi sa štátnej pomoci.



---

## Záver

Historicky predstavuje zmena klímy prírodné javy, ktoré vplývajú na život na Zemi niekedy až s katastrofálnymi následkami, avšak na základe neustálych vedeckých výskumov bolo zistené, že posledné zmeny klímy boli spôsobené ľudskou činnosťou. Rozhodujúcu úlohu v zmene globálnej klímy pritom zohrávajú celosvetové emisie oxidu uhličitého v atmosfére, ktoré pochádzajú zo stále rastúceho využívania fosílnych palív, predovšetkým z produkcie elektriny v elektrárňach. Pri spracovaní štúdie sme narazili na niekoľko faktov, na základe ktorých môžeme skonštatovať, že napriek tomu, že celý svet prijíma opatrenia, ktoré by mali zabrániť globálnej zmene klímy, ako sú Kjótsky protokol, obnoviteľné zdroje energie, pre zabezpečenie potreby energie a bezpečnosti klímy, nie je možné do roku 2050 znížiť emisie CO<sub>2</sub> v EÚ ani vo svete o 50%, ak nevyužijeme možnosti zachytávania a skladovania uhlíka.

Zachytávanie a skladovanie CO<sub>2</sub> je technologicky uskutočniteľný projekt, ktorý sa v súčasnosti stáva dôležitou súčasťou boja proti klimatickým zmenám. Môžeme povedať, že vďaka príležitostiam a výzvam súvisiacimi s CCS, predstavujú tieto technológie prioritnú oblasť strategického významu v rozvoji nových energetických technológií. Tento projekt predstavuje rad technologických procesov, ako zachytávanie, skladovanie a doprava. Zachytávanie CO<sub>2</sub> z malých zdrojov emisií, ako sú domácnosti, nie sú v súčasnosti dostatočne vyvinuté, zachytávanie CO<sub>2</sub> však môže byť využité pri veľkých stacionárnych zdrojoch, ako sú elektrárne. Pre zachytávanie v elektrárňach je v súčasnosti k dispozícii niekoľko dostupných systémov zachytávania CO<sub>2</sub>, ako po–spaľovaní, pred–spaľovaním a kyslíkové spaľovacie systémy (oxyfuel combustion). Výskum demonštruje, že tieto systémy by mohli zredukovať emisie CO<sub>2</sub> v atmosfére približne o 80 – 90% v porovnaní s elektrárnou, ktorá tieto systémy nevyužíva. Po zachytení sa CO<sub>2</sub> prepravuje k vhodnej geologickej formácii. Okrem prípadov, keď sú továrne priamo pod skladovacím miestom, musí byť pre zachytený CO<sub>2</sub> zabezpečená vhodná a bezpečná preprava ku skladovacím miestam. Najvhodnejším spôsobom prepravy je potrubie, ktoré je zároveň aj najlacnejším. Taktiež existuje možnosť prepravy CO<sub>2</sub> v kvapalnej forme na lodiach. Súčasný výskum ukázal, že potenciálne skladovacie miesta CO<sub>2</sub> existujú po celom svete a predstavujú len veľmi malý zlomok toho, čo bude na uskladnenie potrebné. Predbežný odhad potenciálnej globálnej skladovacej kapacity je takmer 11000 Gt CO<sub>2</sub>, v ktorom je možné skladovať celosvetové emisie CO<sub>2</sub> produkovaného ľudskou činnosťou v

---

časovom horizonte stoviek rokov. Ako úložiská sa môžu využívať oceány alebo geologické formácie v zemi. Výber úložiska predstavuje dôležitú etapu v návrhu projektu uskladňovania. Musí sa vykonať podrobná analýza potenciálneho úložiska v súlade s uvedenými kritériami. Úložisko sa môže použiť len vtedy, ak sa touto analýzou dokáže, že neexistuje žiadne riziko výrazného vplyvu na zdravie alebo životné prostredie. V poriadne navrhnutom a správne zariadenom systéme CCS je šanca na presakovanie z geologickej formácie veľmi malá. Otázne zostáva, či budú tieto riziká akceptovateľné. Súčasné pozorovania naznačujú, že percentuálny podiel CO<sub>2</sub> zadrživaného vo vhodne zvolených a spravovaných geologických zásobníkoch pravdepodobne prekročí 99% v priebehu 100 rokov. Kľúčovou otázkou je teda vhodný výber a správa úložisk. Štáty, ktoré sa rozhodnú pre metódu CCS, si majú právo určiť, ktoré oblasti ich územia sa môžu použiť na uskladnenie CO<sub>2</sub>. Celkové vplyvy na životné prostredie z používania CCS vznikajú počas výroby elektriny, zachytenia, dopravy a skladovania CO<sub>2</sub>.

Náklady na CCS zahŕňajú čiastočne kapitálové investície do zariadení na zachytávanie, prepravu a uskladnenie CO<sub>2</sub> a čiastočné náklady na praktické prevádzkovanie týchto zariadení. V súčasnosti sú náklady vyčíslené na 25 – 60 EUR na tonu zachyteného plynu. Je však reálny predpoklad, že prebiehajúci výskum tieto náklady zníži na polovicu. Už dnes prebieha v mnohých krajinách rozsiahly výskum, ktorý sa zaoberá novými, sľubnými koncepciami a zlepšovaním existujúcich technológií, ktoré majú za cieľ znižovať náklady a množstvá energie spotrebované pri zachytávaní CO<sub>2</sub>. Najväčšie projekty uskladňovania CO<sub>2</sub>, do ktorých sa zapojili európske spoločnosti, sú projekt Sleipner a projekt In Salah v Alžírsku. V projekte na zachytávanie a skladovanie CO<sub>2</sub> by mohlo svoju úlohu zohrať aj Slovensko, ktoré z hľadiska vhodného geologického prostredia disponuje pomerne značným potenciálom k trvalému ukladaniu CO<sub>2</sub>. Pri súčasnej produkcii by sme mohli podľa hrubého odhadu do rôznych geologických štruktúr teoreticky uložiť 2 768,4 miliónov ton CO<sub>2</sub> vyprodukovaného z priemyselných zdrojov SR. Zachytenie a trvalé uskladnenie oxidu uhličitého by však nemuselo zostať poslednou možnosťou zaobchádzania s CO<sub>2</sub>. V práci sú zhrnuté aj informácie o možnostiach využitia a spracovania CO<sub>2</sub>, ako je jeho premena na použiteľné produkty a palivá a ďalšie prevratné koncepcie, ktoré zmiernia emisie CO<sub>2</sub>. Ak by boli splnené všetky podmienky a odstránené všetky nedostatky zachytávania, dopravy a skladovania CO<sub>2</sub>, tieto systémy by mohli byť rozmiestnené vo veľkom po celom svete v priebehu niekoľko desaťročí, čo by znamenalo veľký krok v boji s klimatickými zmenami ako aj veľký krok pre ľudstvo.

---

## Zoznam použitej literatúry

1. American Chemical Society. 2010. New CO<sub>2</sub> 'scrubber' from ingredient in hair conditioners. In *ScienceDaily* [online]. 2010. [cit.2010-03-25]. Dostupné na internete: <<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/03/100324141953.htm>>.
2. BALAJKA, J. – LAPIN, M. – MINDÁŠ, J. – ŠŤASTNÝ, P. – THALMEINEROVÁ, D. 2005. *Štvrtá národná správa SR o zmene klímy a Správa o dosiahnutom pokroku pri plnení Kjótskeho protokolu*. Bratislava : SHMÚ, 2005. 113 s.
3. BELLONA. 2008. Carbon capture and storage needed to reduce emissions sufficiently [online]. 2008 [cit. 2008-03-25]. Dostupné na internete: <[http://www.bellona.org/articles/articles\\_2008/co2\\_presser](http://www.bellona.org/articles/articles_2008/co2_presser)>.
4. BROCKETT, S. 2007. *Impact assessment for enabling legal framework for Carbon Capture and Storage* [online]. 2007 [cit. 2008-03-21]. Dostupné na internete: <[http://co2neteast.energnet.com/download/Scott%20Brockett%20\(EC\).pdf](http://co2neteast.energnet.com/download/Scott%20Brockett%20(EC).pdf)>.
5. BROCKETT, S. 2008. *Carbon Capture and Storage: what it is and why we need it* [online]. 2008[cit.2008-04-01].Dostupné na internete: <[http://ec.europa.eu/energy/oil/berlin/doc/working\\_parties/sustainable\\_fossil\\_fuels/2007\\_03\\_21.pdf](http://ec.europa.eu/energy/oil/berlin/doc/working_parties/sustainable_fossil_fuels/2007_03_21.pdf)>.
6. CAMPBELL, W. 2008. *Carbon Capture and Storage: Assessing the Economics* 2008. 53 s. [online].2008.[cit.2010-15-03].Dostupné na internete: <[http://www.mckinsey.com/clientservice/ccs\\_i/pdf/ccs\\_assessing\\_the\\_economics.pdf](http://www.mckinsey.com/clientservice/ccs_i/pdf/ccs_assessing_the_economics.pdf)>.
7. CCCSTN. 2006. *Quick Facts on CO<sub>2</sub> Capture & Storage in Canada: What is CO<sub>2</sub> Capture & Storage (CCS)?* [online]. 2006. [cit. 2008-04-15]. Dostupné na internete: <[http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/cetc/combustion/co2network/htmldocs/quickfacts\\_e.html](http://www.nrcan.gc.ca/es/etb/cetc/combustion/co2network/htmldocs/quickfacts_e.html)>.
8. CO2NET [s.a]. *Geologické riešenie klimatických zmien* 2007. [online]. 2007 [cit.2008.01.05]. Dostupné na internete:<<http://www.co2net.com/infocentre/brochures/CO2NET-Public-Brochure-Slovak.pdf>>.
9. DEMO, M. a i. 2007. *Udržateľný rozvoj: Život v medziach únosnej kapacity biosféry*. Nitra : SPU v Nitre, 2007. 440 s. ISBN 987-80-8069-826-3.
10. DOLNÁK, M. 2009. *CO<sub>2</sub> MANAGEMENT V RAFINÉRIACH*. Slovnaft a.s. Bratislava, B. v., (ca 2009). s.4
11. DOOLEY, J. J. - DAHOWSKY, R. T. - DAVIDSON, C. - WISE, M.- GUPTA, M. - KIM, S. - MALONE, E. (eds.) 2006. *Carbon Dioxide Capture and Geologic Storage,United states of America 2006*. 37 s. [online]. 2006 [cit. 2008-03-11]. Dostupné na internete: <[http://www.pnl.gov/gtsp/docs/ccs\\_report.pdf](http://www.pnl.gov/gtsp/docs/ccs_report.pdf)>.
12. DUDUC, V. 2008. Kam uväzniť spútaný skleníkový plyn. In *21. Storočie*, 2008, č. 3. s. 18 - 20.

- 
13. DULAYOVÁ, J. 2009. Karbonatizácia ako zbraň pre boj s globálnym otepľovaním. In *Enviromagazín*, 2009, č. 6. s. 2-3.
  14. EEA. 2008. *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2008*. Copenhagen 182 s. [online]. 2008. [cit.2010-01-30]. Dostupné na internete: <[http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2008\\_5](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_5)>. ISBN 978-92-9167-981-2.
  15. EUROPEAN COMISION. 2004. *Eutopean CO<sub>2</sub> Capture and Storage prejects 2004*. Belgium 24 s. [online]. 2004. [cit. 2010-02-05]. Dostupné na internete: <[http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/co2capt\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/co2capt_en.pdf)>. ISBN 92-894-8002-5.
  16. Euractiv. 2009. Poľsko hľadá peniaze na bezemisnú elektrárň. 2009. [online]. [s.a]. [cit.2010-03-25].Dostupné na internete:<http://www.euractiv.sk/energetika/clanok/polsko-hlada-peniaze-na-bez-emisnu-elektarren-012264>
  17. FERNANDO, H. – VENEZIA, J. – RIGDON, C. – VERMA, P. 2007. *Capturing King Coal: Deploying Carbon Capture and Storage Systems in the U. S. at Scale* 40 s. [online]. 2007. [cit.2010-02-15]. Dostupné na internete: <<http://www.wri.org/publication/capturing-king-coal>>. ISBN: 978-1-56973-684-5.
  18. FORBES, S. M. 2008. *CCS Guidelines Guidelines for Carbon Dioxide Capture, Transport, and Storage* 148 s. [online]. 2008. [cit. 2008-04-1]. Dostupné na internete: <<http://www.wri.org/publication/ccs-guidelines>>. ISBN 978-1-56973-701-9.
  - 19.GREEN FACTS. 2008. *Scientific Facts on CO<sub>2</sub> Capture and Storage* [online]. 2008 [cit. 2008-03-02]. Dostupné na internete: <<http://www.greenfacts.org/en/co2-capture-storage>>.
  - 20.GUPTA, M.- COYLE, I. - THAMBIMUTHU, K. 2003. *CO Capture technologies and oportunities in Canada*. Canada: Calgary, Alberta, 2003. 36 s.
  21. HERZOG, H. 2009 *Capture and Storage*. 263 s. *Oxford Universtiy* [online].2009.[cit.2010-15-03].<[http://sequestration.mit.edu/pdf/2009\\_CO2\\_Capture\\_and\\_Storage\\_Ch13\\_book.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf/2009_CO2_Capture_and_Storage_Ch13_book.pdf)>. ISBN 978-0-19-957328-8
  22. HLADIK , V. 2006. *Publishable Final Activity Report* 15 s. 2006. [online]. 2009. [cit. 2008-02-15]. Dostupné na internete: <<http://www.geology.cz/co2net-east/novinky/Publishable%20final%20activity%20report.pdf>>.
  23. IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME. [s.a]. *Monitoring Selection Tool* [online]. [s.a]. [cit. 2008-04-15]. Dostupné na internete: <[http://www.co2captureand storage.info/co2tool\\_v2.1beta/index.php](http://www.co2captureand storage.info/co2tool_v2.1beta/index.php)>.
  24. KIRBY, A. 2008. *Kick the habit: A un Guide to climate neutrality*. 202 s. [online]. 2008. [cit.2010-03-01]. Dostupné na internete: <<http://www.unep.org/publications/ebooks/kick-the-habit/>>. ISBN: 978-92-807-2926-9.
  25. KRAJČO, J. 2000. *Fyzikálne aspekty životného prostredia*. Banská Bystrica : Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2000. 166 s.
  26. KUCHARIČ, Ľ. 2008. Zmeny klímy a úloha geológie pri ich riešení. In *Enviromagazín*.
-

---

2008 č. 6, s. 6 - 7 příl. 4 - 6

27. LACKNER, K. S. – GRIMES, P. – ZIOCK, H. J. (eds.). 2005. *Capturing Carbon Dioxide from Air*. New York : Columbia University, 2005. 15 s. [online]. 2005 [cit. 2008-02-26]. Dostupné na internete: <[http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon\\_seq/7b1.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/7b1.pdf)>.

28. LEWIS, CH. 2007. *Capturing CO<sub>2</sub>*. Great Britan : Orchard, 23 s. [online]. 2007 [cit. 2008-02-05]. Dostupné na internete: <<http://www.ieagreen.org.uk/glossies/co2capture.pdf>>. ISBN - 978-1-898-373-41-4.

29. MAČALA, J. 1998. Inventarizácia skleníkových plynov na Slovensku. In: *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 3 1998, č.3, s. 251 - 255

30. MANDIL, C. 2004. *Prospects For CO<sub>2</sub> Capture and Storage*. France : Paris, 2004. 32 s. [online]. 2004 [cit. 2008-05-02]. Dostupné na internete: <<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/prospects.pdf>>.

31. MAŘYŠKA, J.- SEVERÝN, O. - A KOL. 2008. *Přípravná fáze výstavby úložiště CO<sub>2</sub> - studie preveditelnosti* 8 s. Liberec. [online]. 2008 [cit. 2010-02-05]. Dostupné na internete <[http://centrumsanace.cs.cas.cz/download/tmp.AAW2WZX/uploadprojekt\\_CO2\\_2008\\_12\\_12.pdf](http://centrumsanace.cs.cas.cz/download/tmp.AAW2WZX/uploadprojekt_CO2_2008_12_12.pdf)>.

32. MCKINSEY AND COMPANY. 2008. Náklady a potenciál snižování emisí skleníkových plynu v České republice 96 s. [online]. 2008. [cit. 2010-01-15]. Dostupné na internete: <[http://www.mckinsey.com/locations/prague/work/probonoccreport/Report\\_czech\\_version.pdf](http://www.mckinsey.com/locations/prague/work/probonoccreport/Report_czech_version.pdf)>.

33. MH SR. 2006. *Návrh energetickej politiky SR* (návrh) [online]. 2006 [cit. 2009-12-05]. Dostupné na internete: <<http://www.economy.gov.sk/index/g.php?id=2255>>.

34. MH SR. 2003. *Koncepcia využívania obnoviteľných zdrojov energie* [online]. 2003 [cit. 2008-03-25]. Dostupné na internete: <[http://www.economy.gov.sk/files/mh/koncepcia\\_OZE.doc](http://www.economy.gov.sk/files/mh/koncepcia_OZE.doc)>.

35. MŽP SR. 2002. *Národná správa o trvalo udržateľnom rozvoji v SR*. Bratislava: MŽP SR, 2002. strany

36. METZ, B. – DAVIDSON, O. - CONINCK, H. – MEYER, L. (eds.) 2005. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. New York : University Press, 2005. 431 s. [online]. 2005. [cit. 2008-02-15]. Dostupné na internete: <[http://www.mnp.nl/ipcc/pages\\_media/SRCCS-final/ccsspm.pdf](http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/SRCCS-final/ccsspm.pdf)>. ISBN 13978-0-521-86643-9.

37. NEUHOFF, K. – GRUBB, M. – HOURCADE, J.C. - MATTHES, F. 2007. *Cutting Carbon in Europe: The 2020 plans and the future of the EU ETS* 68 s. UK [online]. 2007. [cit. 2009-12-05]. Dostupné na internete: <<http://www.carbontrust.co.uk/Publications/pages/publicationdetail.aspx?id=CTC734&respos=0&q=cutting+carbon+in+europe&o=Rank&od=asc&pn=0&ps=10>>.

38. NEWBERY, D. – REINER, D. – JAMASB, T. – STEINBERG, R. – TOXAERD, P. 2009. *Carbon Capture and Storage (CCS): Analysis of Incentives and Rules in a European Repeated*

---

*Game Situation* 58 s. [online]. 2009. [cit.2010-15-03]. Dostupné na internete<[http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what\\_we\\_do/uk\\_supply/energy\\_mix/ccs/ccs.aspx](http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/energy_mix/ccs/ccs.aspx)>.

39. PUCHEROVÁ Z. 2005. *Monitorovanie kvality a stav životného prostredia v Slovenskej republike*. Nitra : Univerzita Konštatína filozofa v Nitre, 2005. 174 s. ISBN 80-8050-845-3.

40. SHACKLEY, S. – WATERMAN, H. - GODFROIJ, P. - REINER, D. - ANDERSON, J. – DRAXLBAUER, K. - DE CONICK, H. - GROENENBERG, H. - FLACH, T. – SIGURTHORSSON, G. 2007. *Stakeholder Perceptions of CO<sub>2</sub> Capture and Storage in Europe: Results from the EU – funded ACCSEPT Survey: Main report*. 2007. 156 s. Dostupné na internete: <[http://www.accsept.org/outputs/main\\_survey\\_report.pdf](http://www.accsept.org/outputs/main_survey_report.pdf)>.

41. Smernica Európskeho parlamentu a rady 2009/31/ES o geologickom ukladaní oxidu uhličitého a o zmene smernice Rady 85/337/EHS, smerníc Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, 2001/80/ES, 2004/35/ES, 2006/12/ES a 2008/1/ES a nařízení (ES) č. 1013/2006

42. STOCKER, T. – FIELD, CH. – DAHE, Q. – BARROS, V. – PLATTNER, G. K. – TIGNOR, M. – MIDGLEY, P. – EBI, K. 2009. *IPCC Expert Meeting on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Change* Geneva. 65s. [online]. 2009. [cit. 2008-02-15]. Dostupné na internete: <<http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-detection-anthropogenic-2009-09.pdf>>. ISBN 978-92-9169-127-5

43. WIELAND U. 2010. *Using official statistics to calculate greenhouse gas emissions* 100s. [online]. 2010. [cit. 2009-11-21]. Dostupné na internete: < [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-31-09-272/EN/KS-31-09-272-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-31-09-272/EN/KS-31-09-272-EN.PDF) >. ISBN 978-92-79-14487-5.

44. TOTAL S.A. [s.a]. *Carbon dioxide capture and geological storage* [online]. [s.a]. [cit.2010-03-25]. Dostupné na internete: <<http://www.total.com/en/corporate-social-responsibility/special-reports/capture/>>.

---

## **Prílohy**

Príloha 1 Zobrazenie globálnej zmeny klímy

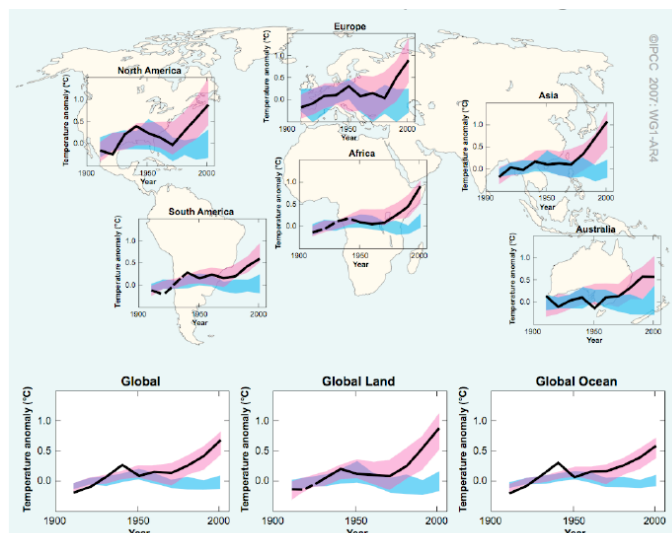
Príloha 2 Preprava oxidu uhličitého loďou

Príloha 3 Injektáž oxidu uhličitého

Príloha 4 Systém skladovania v ložisku zemného plynu

Príloha 5 Skúšobný skladovací projekt Sleipner

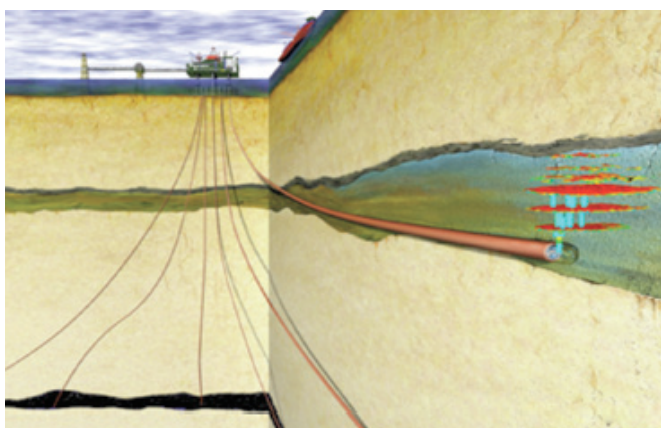
Príloha 6 Skúšobný skladovací projekt Sleipner



Príloha 1 Zobrazenie globálnej zmeny klímy (IPCC, 2009)

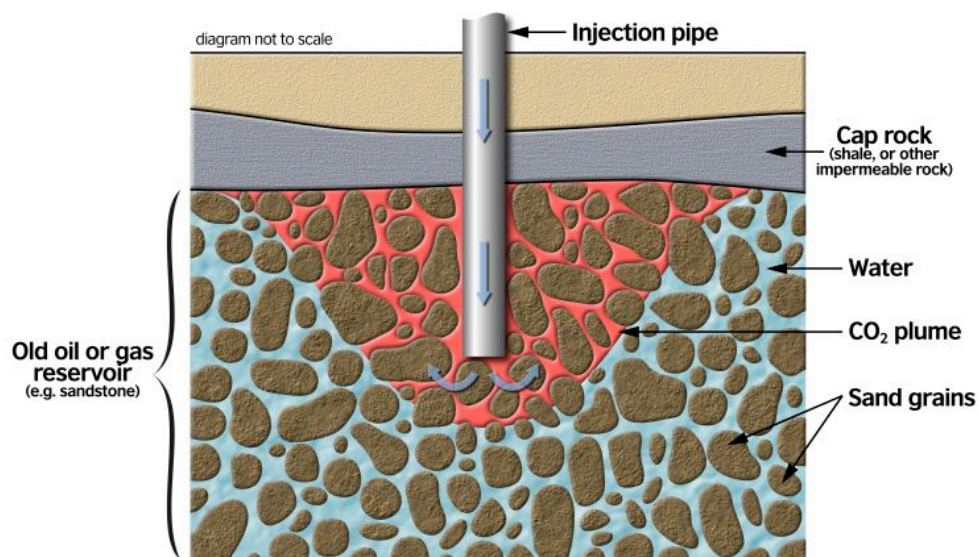


Príloha 2 Preprava oxidu uhličitého loďou (IPCC, 2005)

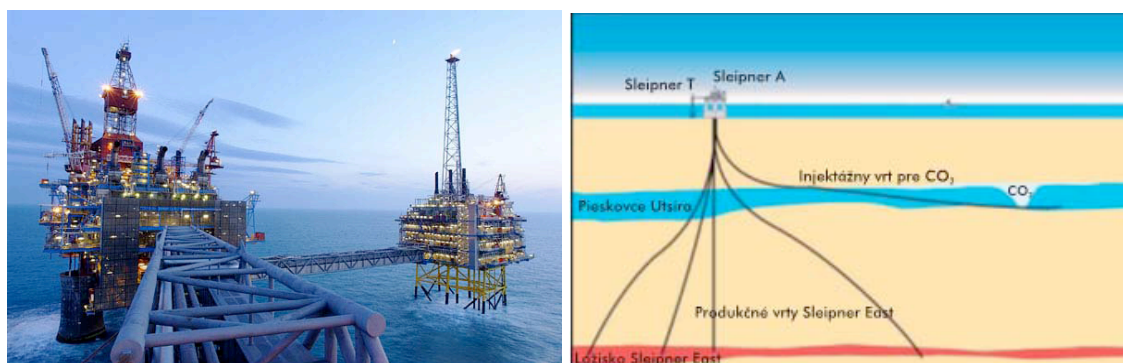


Príloha 3 Injektáž oxidu uhličitého (CCSA,2009)





Príloha 4 Systém skladovania v ložisku zemného plynu (IPCC,2009)



Príloha 5 Skúšobný skladovací projekt Sleipner ([www.co2net.com](http://www.co2net.com), 2007)



Príloha 6 Skúšobný skladovací projekt Statoil ([www.co2net.com](http://www.co2net.com), 2007)