

Geologické ukládání CO₂

Lenka Vrlová

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lenka VRLOVÁ**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Geologické ukládání CO₂**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu a informační zdroje vztahující se k zadanému tématu.
2. Proveďte kritické srovnání nalezených informací.
3. Formulujte závěry.



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Roman Slavík, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

15. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

28. května 2010

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 28.5.2010

Vrlová

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací

²⁾ Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, apisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3;

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou geologického ukládání oxidu uhličitého, vznikajícího spalováním fosilních paliv v elektrárnách. Je zde popsána technologie CCS pro zpracování, dopravu a ukládání oxidu uhličitého. Jsou zde popsány některé projekty zabývající se ukládáním oxidu uhličitého. Na konci práce je okrajově zmíněna legislativa, která se k danému tématu vztahuje.

Klíčová slova: oxid uhličitý, geologické ukládání, separace oxidu uhličitého, CCS

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the geological storage of carbon dioxide generated by burning fossil fuels in power plants. It describes CCS for processing, transporting and storing carbon dioxide. There are described some projects dealing with the storage of carbon dioxide. At the end of the work is mentioned in passing legislation that relates to that topic.

Keywords: carbon dioxide, geological storage, separation of karbon dioxide, CCS - Carbon Capture and Storages

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Romanu Slavíkovi Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky potřebné pro vypracování mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOLOBĚH UHLÍKU NA ZEMI	11
1.1 KOLOBĚH UHLÍKU A ZÁSObNÍKY UHLÍKU NA ZEMI	12
2 UKLÁDÁNÍ OXIDU UHLIČITÉHO	14
2.1 SEPARACE CO ₂	14
2.2 UKLÁDÁNÍ CO ₂ V GEOLOGICKÝCH VRSTVÁCH.....	16
2.1.1 Náklady na provoz technologie CCS	19
2.2 PROBLÉMY VZNIKLÉ S POUŽITÍM TECHNOLOGIE CCS	20
3 PROJEKTY	21
3.1 RECOPOL V POLSKU	21
3.2 SLEIPNER.....	21
3.3 CO ₂ SINK.....	22
3.4 CO ₂ GEONET	23
3.5 CASTOR	24
3.6 WEIBURN-MIDALE CO ₂ PROJEKT.....	24
3.7 FUTURGEN.....	25
3.8 NZEC	26
3.9 CCS V ČESKÉ REPUBLICE.....	26
3.10 PROJEKT CO2NET EAST	28
4 LEGISLATIVA	31
ZÁVĚR	33
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	34
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	38
SEZNAM OBRÁZKŮ	39
SEZNAM TABULEK	40

ÚVOD

V současné době je největším celosvětovým problémem globální oteplování. Lidé veškerou svou činností způsobují produkci skleníkových plynů, které mají pak za následek skleníkový efekt. Tento efekt ovšem není zcela zapříčiněn lidskou činností, jde o přirozený jev bez kterého by nebyl umožněn život na Zemi. Lidskou činností je ale jeho účinek zvětšován. I když to nevidíme, dochází v současnosti k velkým změnám uhlíkového cyklu a nárůstu koncentrace oxidu uhličitého. Proto je nezbytné zavést v celosvětovém měřítku nové technologie pro snižování těchto skleníkových plynů.

Tato práce se zaměřuje na technologie snižování emisí oxidu uhličitého, případně i jeho ukládání. Technologie Carbon Capture & Storage (CCS) se v současnosti jeví jako perspektivní pro ukládání CO₂. Jelikož globální oteplování je velmi aktuální problém, je nutné provádění pilotních projektů pro tuto technologii, aby mohla být v roce 2020 uvedena do provozu ve velkém měřítku. Menší nebo větší projekty CCS jsou prováděny v různých zemích po celém světě. Některé významné projekty jsou zde uvedeny. Nyní už záleží pouze na tom, zda dokážeme technologii CCS zavést jako celek do reálného provozu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOLOBĚH UHLÍKU NA ZEMI

Je to biogeochemický cyklus, při kterém se uhlík vyměňuje mezi biosférou, litosférou, hydrosférou a atmosférou. Uhlík může být na naší planetě uložen ve formě organické molekuly v živých a mrtvých organismech v biosféře, jako plyn oxid uhličitý v atmosféře, jako organické hmoty v půdě, v litosféře ve formě fosilního paliva a sedimentární horniny (vápenec, dolomit a křída) a v oceánech jako rozpuštěný atmosférický oxid uhličitý a jako uhličitán vápenatý ve skořápkách mořských organismů.

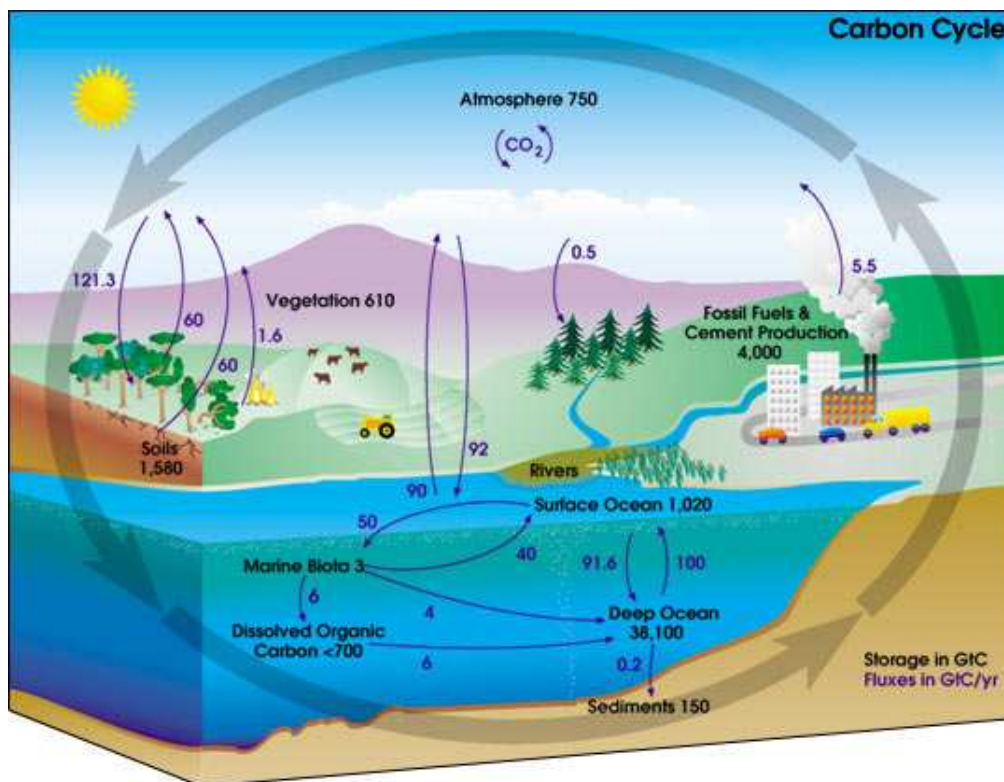
Uhlíkový cyklus se dělí na tři celoplanetární cykly:

Prvním uhlíkovým cyklem je desková tektonika. Odstředivé zrychlení, gravitace a proudění horkého polotekutého pláště planety způsobuje pohyb litosférických desek. Deskovou tektonikou je ovlivněna teplota na Zemi přímo, a to únikem lávy o vysoké teplotě v některých místech planety. V jiných obdobích a v jiných místech planety se vyskytuje zanořování části pevniny o podstatně nižších teplotách. Jelikož při těchto procesech dochází k velkému pohybu uhlíku, ovlivňují tak nepřímo teplotu na Zemi.

Uhlík se zde dostává hluboko do zemského pláště a pak se vulkanickou činností dostává zpět na povrch. Na tyto procesy navazuje druhý uhlíkový cyklus, jehož hlavní fází je přeměna uhlíku anorganického na uhlík organický, což se děje hlavně fotosyntézou, za vzniku cukrů, rostlinné hmoty a na ni navazující vznik živočišné hmoty. Současně se do atmosféry Země uvolňuje kyslík. Součástí je také ukládání uhlíku v podzemí (vytváření uhlí, fosilních paliv a sedimentů) a jeho transport do ovzduší. V současné době je tento transport velmi intenzivní v důsledku těžby a spalování fosilních paliv. Do druhého uhlíkového cyklu spadá také uhlík ve sloučenině oxidu uhličitého, který je produkován dýcháním rostlin a živočichů na pevninách, dýcháním mořského fytoplanktonu a mořských živočichů, rozkladem rostlin a živočichů, hořením v přírodě a při spalovacích procesech způsobených lidskou činností. Třetím cyklem je křemičito-uhličitánový geochemický cyklus, v němž dochází k usazování uhličitánu vápenatého neboli vápence, jehož vytváření odebírá oxid uhličitý z atmosféry. Dochází k němu sloučením vápníku, což je základní stavební materiál schránek, krunýřů a kostí mořských organismů, s kyselinou uhličitou za vhodné teploty a tlaku. [1, 3]

1.1 Koloběh uhlíku a zásobníky uhlíku na Zemi

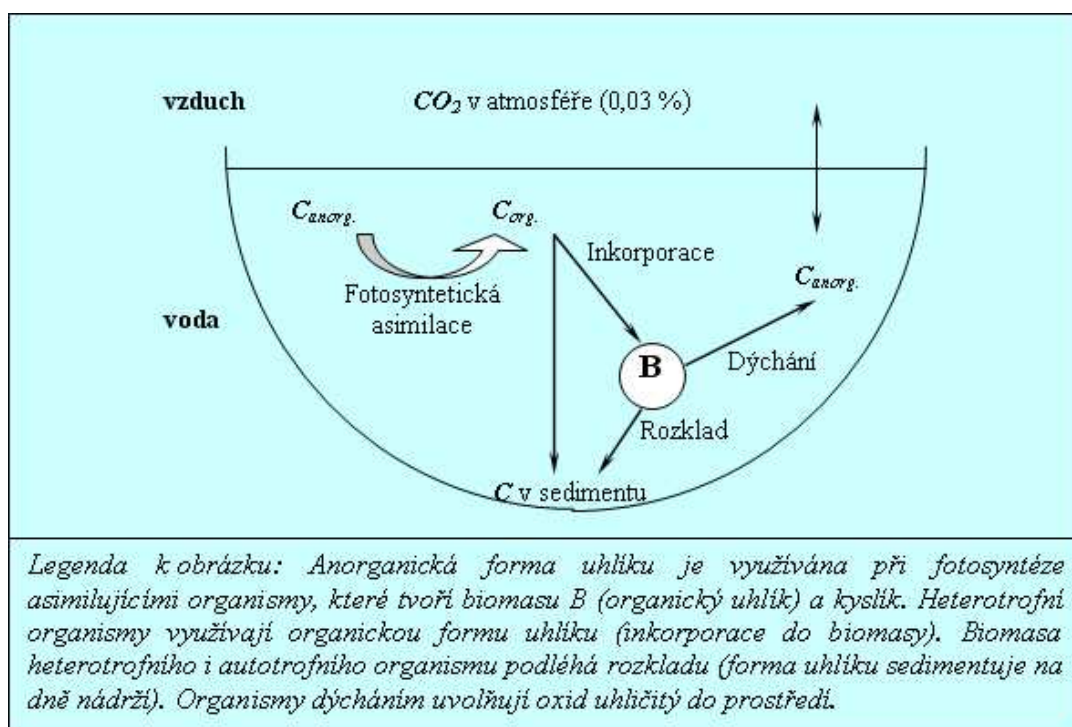
Koloběh uhlíku máme znázorněn na obrázku níže. Vidíme zde, že v současné době je do ovzduší v důsledku spalování fosilních paliv emitováno asi 750 miliard tun uhlíku ročně. Tento uhlík se vyskytuje v atmosféře ve sloučenině jako oxid uhličitý. Dalších asi 610 miliard tun uhlíku je obsaženo ve vegetaci, z níž se uvolňuje do ovzduší vypalováním lesů a tlením biomoty. Část oxidu uhličitého z atmosféry vstupuje do oceánů a moří, kde se buď rozpustí ve vodě a část je spotřebována v procesu fotosyntézy při vytváření vodních rostlin a fytoplanktonu nebo se usazuje s vápencem ve formě sedimentů. Další část z atmosféry se dostává do zelených rostlin na povrchu, kde se dostává fotosyntézou do těl rostlin, kde se buď zabuduje do těla, kde zůstává než rostlina odumře a začne tlít nebo se spálí. Druhá část se dostává zpět do atmosféry jako oxid uhličitý při dýchání. Podrobnější koloběh i s hodnotami množství uhlíku uvolňovaného nebo vázaného vidíme na obrázku níže. [4]



Obr. 1. Diagram koloběhu uhlíku. Černá čísla udávají v miliardách tun, kolik uhlíku je uloženo v různých rezervoárech ("GtC" značí gigatunu). Fialová čísla udávají, kolik uhlíku se přesunuje danými směry každý rok. Do sedimentů v tomto diagramu není započítání přibližně 70 Gt uhličitánů.[5]

Na dalším obrázku máme znázorněn uhlíkový cyklus v oceánu.

Oceány ovlivňují klima absorpcí a ukládáním oxidu uhličitého. V povrchových vrstvách oceánů dochází k rozpouštění atmosférického CO_2 . V povrchových vrstvách kde proniká sluneční záření dochází k fotosyntetické fixaci oxidu uhličitého řasami a sinicemi (fytoplankton). Tímto fytoplanktonem se pak živí mořští živočichové, kteří ale svým dýcháním opět uvolňují část zpět do atmosféry. Uhlík se může také vázat do organismů kde vytváří pevné schránky a skelety nebo klesá do větších hloubek oceánů kde vytváří sedimenty s obrovskými zásobami uhlíku.



Obr. 2. Ukládání oxidu uhličitého v oceánech [5]

2 UKLÁDÁNÍ OXIDU UHLIČITÉHO

Oxid uhličitý se vždy nacházel v atmosféře. Nyní se ale jeho obsah díky lidské činnosti ze stále rostoucího využívání fosilních paliv velmi zvyšuje. Z tohoto důvodu se začal zařazovat mezi skleníkové plyny. Tudíž je nutné jeho koncentraci v atmosféře začít snižovat. Proto se vyvíjí metody, jak by se mohl oxid uhličitý ukládat. V současné době se zkoumají metody, při kterých by se oxid uhličitý ukládal ve vhodných geologických podmínkách pod zemský povrch. Celý tento technologický proces se nazývá CCS a je složen ze tří samostatných částí: separace, doprava a ukládání. Tento řetězec dosud nebyl jako celek realizován.

2.1 Separace CO₂

Tento proces je prvním krokem při ukládání CO₂. Může být proveden třemi postupy, jejichž technologie jsou zobrazeny na uvedených schématech.

1) Spalování se vzduchem a separace CO₂ ze spalin (post combustion)

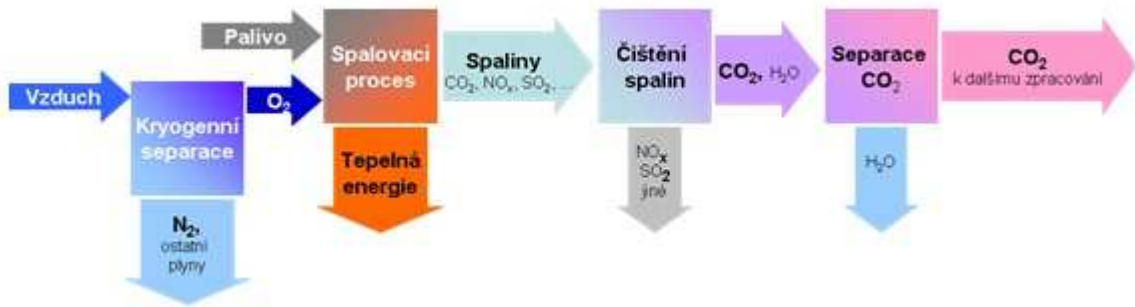
Tuto technologii znázorněnou schématem níže by bylo možno využít při separaci CO₂ vzniklého spalováním fosilních paliv se vzduchem. Velkou výhodou této metody je, že vyžaduje minimální zásahy do stávajících zařízení. Po procesu odsíření spalin by byla zařazena jednotka pro separaci. Nevýhodou je velké technologické zařízení, jelikož tímto procesem procházejí velké objemy plynů a kvůli nízkým koncentracím CO₂ se zde dají použít pouze postupy s alkalickými roztoky.



Obr. 3. Schéma technologie při spalování se vzduchem [7]

2) Spalování s kyslíkem a separace CO₂ ze spalin (Oxy-Fuel)

U tohoto postupu by již byly nutné zásahy do technologie spalovacího procesu a zařazení jednotky pro kryogenní separaci kyslíku se vzduchem. Naopak by se zde pracovalo s nižšími objemy plynů vstupujících do procesu separace a je zde možno použít více druhů metod pro separaci.

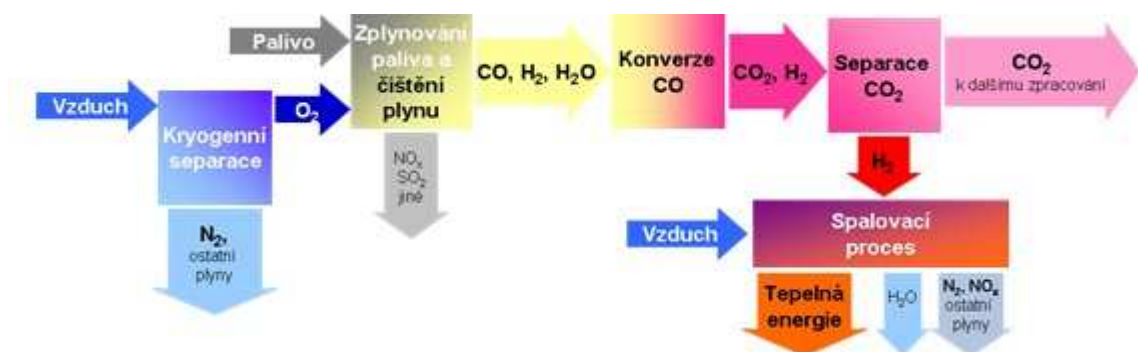


Obr. 4. Schéma technologie při spalování s kyslíkem [7]

Na separační procesy CO_2 ze spalin jsou využívány chemické reakce s alkalickými roztoky, nejčastěji aminy (monoetanolamin).

3) Zplynování paliva a separace CO_2 z takto vyrobeného plynu (IGCC)

Tato technologie je problematická při zařazení do stávajících zdrojů, proto je výhodnější pro nové zdroje. Tento způsob separace je finančně nejvýhodnější. Při spalování fosilních paliv vzniká hlavně vodík a oxid uhelnatý. Ten je v dalším kroku přeměňován na oxid uhličitý.



Obr. 5. Schéma technologie se zplynováním paliva [7]

Předpokládaná účinnost separace je okolo 85%. Efektivně lze separovat jen část oxidu uhličitého obsaženého ve spalinách. [7]

2.2 ukládání CO₂ v geologických vrstvách

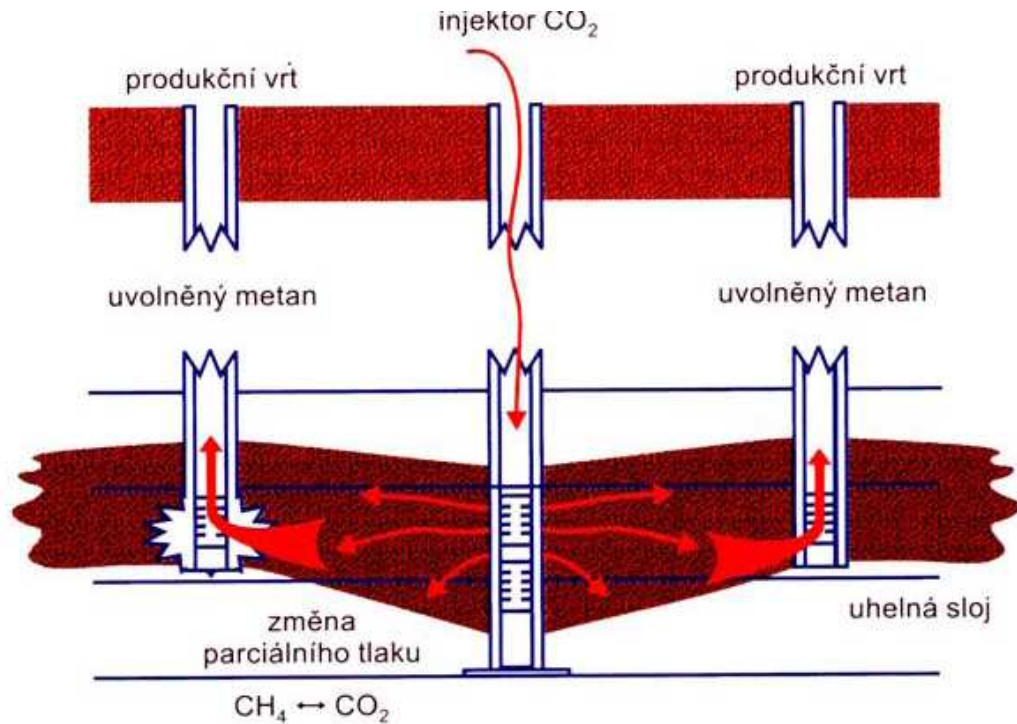
Ukládat oxid uhličitý by bylo možné i do oceánů. Je zde ale nebezpečí zvýšení pH vody a to by mělo negativní vliv na některé mořské živočichy a proto zatím dochází k ukládání CO₂ pod zemský povrch. Toto ukládání se provádí čtyřmi postupy. První ze způsobů je uložení do geologických formací, kde se předpokládá nepropustná vrchní vrstva hornin, která zabraňuje úniku CO₂. Druhým způsobem je uložení zbytkového CO₂, prováděné pomocí kapilárních sil ve škvírách v geologických formacích, které se vyvíjejí přibližně 10 let po injektáži. Třetím způsobem je záchyt CO₂ rozpuštěného ve vodě, která se nachází v geologických formacích, přičemž CO₂ rozpuštěný ve vodě klesá dolů, protože je těžší než voda. Za čtvrté dochází k mineralizaci, když rozpuštěný CO₂ chemicky reaguje s horninami a vytváří minerály.

1) Uhelné sloje

Netěžitelné nebo opuštěné uhelné sloje jsou dalším potenciálem pro ukládání CO₂. Do slojí se vhání CO₂, který je adsorbován na uhlí, zatímco původně adsorbovaný metan je jím vytlačován. Tento mechanismus vidíme na obrázku níž. Použití této metody by bylo výhodné u ložisek bohatých na metan, kde by se jeho výtěžnost zvýšila až na 72%. Jde o metodu ECBMR (Enhanced Coal Bed Methane Recovery). Vedle ukládací kapacity pro CO₂ zde vzniká možnost využití resorbovaného metanu, jehož dalším využitím by se snížily náklady na uložení CO₂ v těchto typech úložišť.

2) Ložiska ropy a zemního plynu

O tento postup je v současnosti největší zájem, jelikož je zde možné budoucí uplatnění pro technologie vrtání a vytěžená ložiska surovin. Tato ložiska jsou již dobře prozkoumána a dříve zadržovala ropu, zemní plyn a CO₂, proto jsou považována za bezpečná úložiště CO₂. Injektáží CO₂ je zde také možné zvýšit výtěžnost ložisek ropy o 10 – 15%. Tento proces je označován jako druhotná metoda intenzifikace těžby ropy (EOR – Enhanced Oil Recovery). Ukládáním CO₂ do ložisek zemního plynu lze zvýšit produkci plynu (EGR – Enhanced Gas Recovery), avšak zvýšení produkce touto metodou je oproti metodě EOR zanedbatelné. Z tohoto důvodu by ukládání v ložiscích zemního plynu připadalo v úvahu až po vytěžení drtivé většiny zásob. [6, 7, 8, 9, 10]



Obr. 6. Schéma vytlačování uhelného metanu injektáží CO_2 do uhelných slojí [6]

3) Slané akvifery (solanky)

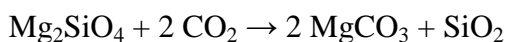
V současnosti pro tyto formace nemáme využití, proto jsou vhodným úložištěm CO_2 . Hlubinná jezera disponují největším potenciálem z hlediska objemu. Musí být pokryty vhodnými nepropustnými vrstvami bez zlomů. Aby se zajistila vysoká hustota a rozpustnost, je CO_2 injektován pod vysokým tlakem do velkých hloubek. Zde se jeho část rozpustí ve vodě a část vytvoří vrstvu pod krycími horninami. Těmito způsoby si ale znemožníme budoucí možné využití těchto formací.

Pro geologické ukládání oxidu uhličitého se nám nabízejí i další formace jako Solné kaveriny, Bituminózní břidlice a hluboké vodní vrstvy oceánů. Ukládání v těchto formacích je ale stále ve fázi výzkumu nebo je považováno za neekonomické.

4) Minerální karbonatizace

Koncepci procesu vidíme popsanou na obrázku. Jedná se o chemickou reakci oxidu uhličitého prováděnou s hořečnato-vápenatými silikáty za vzniku karbonátů. Probíhá za vysokých teplot a tlaků. Tyto pomalé reakce jsou urychlovány mikromletím Mg-silikátů,

mícháním reakční směsi a přidáváním katalyzátorů. Tato technologie je prozatím nejlépe proveditelná u olivínů. Probíhá reakcí:



[3, 7, 8, 9]



Obr. 7. Schéma ukládání CO₂ technologií minerální karbonatizace [9]

V tabulce níže je uvedena celosvětová kapacita pro jednotlivé možnosti potencionálního uložení CO₂ (Gt=miliarda tun) [2]

Tab.1. Celosvětová kapacita pro jednotlivé možnosti ukládání CO₂

Druh struktury	Uložená kapacita v Gt CO ₂
Hlubinná jezera (zvodnělá souvrství)	400 – 10 000
Vytěžená ložiska ropy a plynu	930
Uhelné sloje	30
Celosvětové emise CO ₂	25 Gt CO ₂ ročně

2.1.1 Náklady na provoz technologie CCS

Ekonomie celého řetězce CCS závisí na mnoha faktorech, např.:

- použité palivo a jeho cena
- technické a provozní charakteristiky elektrárny: parametry, účinnost, roční využití
- použitá separační technologie a její energetická náročnost
- rozsah a účinnost separace, roční využití
- integrace do výrobní technologie elektrárny (nový blok, retrofity)
- způsob a vzdálenost transportu
- způsob dalšího nakládání s CO₂ (ukládání příp. další využívání CO₂)

Odhadované náklady na dopravu a separaci tvoří 50-80% z celého řetězce CCS.

Předpokládané náklady na dopravu 1 tuny zachyceného CO₂ na vzdálenost 100 km jsou odhadovány na 1 až 4 eura.

Náklady na ukládání jsou závislé na typu struktury do které je CO₂ ukládán. Pokud jsou zvolena hlubinná jezera, pohybují se náklady od 10 do 20 eur za tunu. Při ukládání CO₂ do vytěžených ložisek ropy nebo zemního plynu se tento postup může stát ziskovým. Nyní jsou však celkové náklady 25-60 eur na tunu zachyceného CO₂. Další výzkumy by měly tuto částku snížit na polovinu.[3, 10]

Tyto technologie však přinášejí i mnohá rizika, která v současnosti neumíme spolehlivě odhadnout. Tyto metody ještě nebyly testovány pro takové množství CO₂, pro které by měly být v budoucnu využívány. Předpokládáme, že CO₂ bude částečně unikat podél geologických zlomů. Protože je CO₂ ukládán pod vysokým tlakem, může zapříčinit nepředvídatelný pohyb hlubinných vod nebo mikrozemětřesení, způsobující narušení nadložních vrstev. Rozpouštěním se zase může zvyšovat pH a to může vést k rozpouštění některých minerálů. Je nutno vypracovat plán sledování úložišť, jehož prostřednictvím bude možno ověřit zda se injektovaný CO₂ chová podle očekávání. Za to bude odpovědný příslušný orgán každého státu, který musí zajistit kontrolu dodržování podmínek. Alespoň jednou za rok bude muset provádět pravidelné kontroly včetně injektážního a sledovacího zařízení.

2.2 Problémy vzniklé s použitím technologie CCS

- 1) Po zprovoznění technologie se navýší náklady na výrobu elektrické energie a to z důvodů dalších investičních a provozních nákladů spojených se zařízením pro zachycování, dopravu a ukládání.
- 2) Nedostatečné legislativní podmínky pro povolování a plánování zařízení na dopravu, zachycování a ukládání CO₂.
- 3) Velkým problémem je zajištění financování technologie CCS
- 4) Nutná osvěta veřejnosti [23]

Aby mohla být technologie CCS uskutečněna, musí kromě technických, nákladových a právních problémů dojít k objasnění na národní a mezinárodní úrovni, vyjasnění dlouhodobých práv a závazků. [11, 12]

3 PROJEKTY

Už nyní existuje několik projektů, které prakticky zkoumají technologii CCS

3.1 RECOPOL v Polsku

Projekt RECOPOL EU je dotován kombinací finančních a demonstračních projektů, aby prozkoumal podpovrchové ukládání CO₂ do uhelných slojí ve slezské uhelné pánvi v Polsku. Projekt byl zahájen 1.1. 2001, kdy byla na vybraném místě ve Slezsku zřízena první instituce na výrobu metanu z uhelných slojí a zároveň na ukládání oxidu uhličitého v Evropě a nyní i na světě. Oxid uhličitý je dovezen nákladními automobily a na místě uložen v tekuté formě při teplotě -20°C ve dvou nádobách. CO₂ je pak čerpadlem vháněn do podzemních uhelných slojí do hloubky 1050 až 1090 m, kde dochází k adsorpci na uhlí a vzniku metanu.

Hlavním cílem tohoto projektu je prokázat, že injektáž CO₂ je v podmínkách Evropy proveditelná a skladování CO₂ je bezpečné a trvalé řešení. [12]

3.2 Sleipner

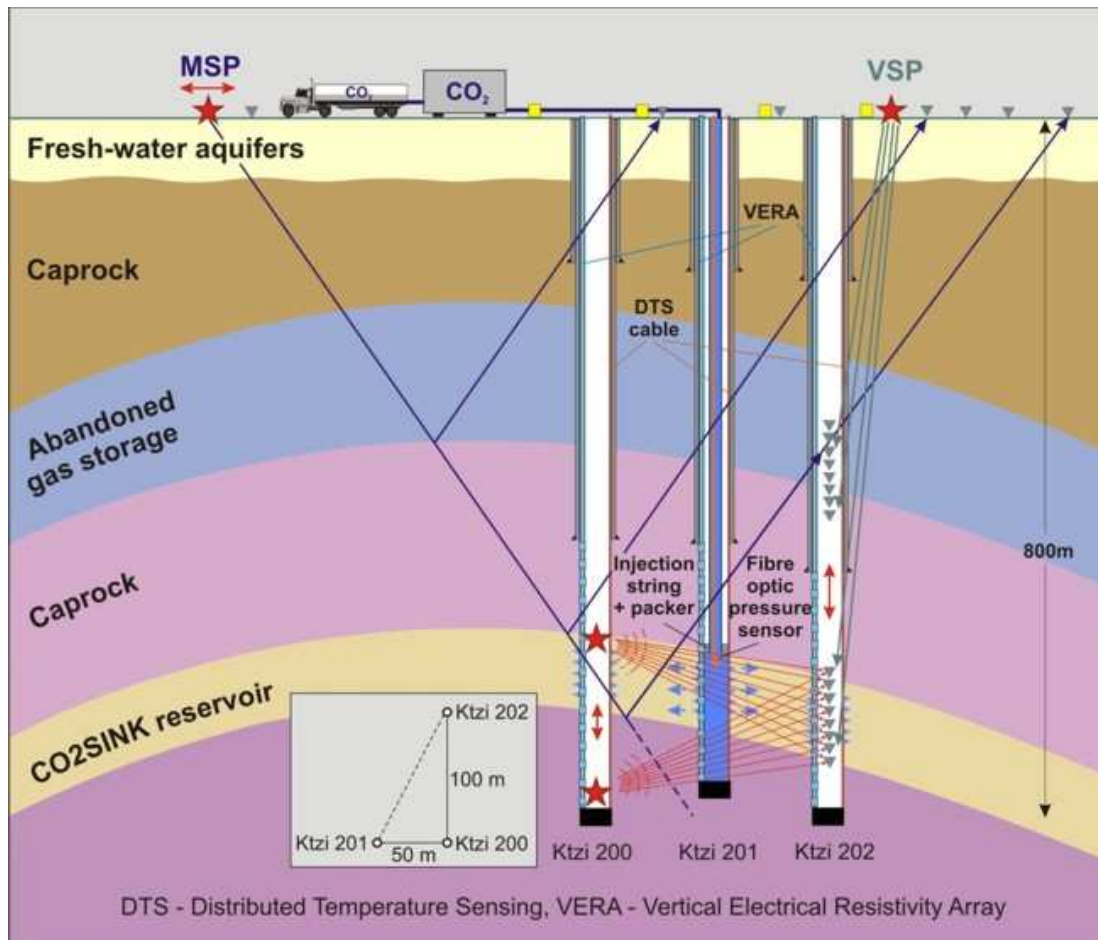
Projekt prováděný od roku 1996 v Severním moři v Norsku, je prvním komerčním projektem této technologie. V tomto projektu se provádí injektáž do hlubokých podzemních solných zvodnělých vrstev. Tento způsob je vhodný, jelikož se tyto útvary nacházejí v mnoha částech světa a je zde možnost ukládání velkého množství CO₂. Sleipner je jedním z nejsilnějších výrobců zemního plynu v Severním moři. Zemní plyn vyrobený z pole obsahuje až 9% CO₂. Aby byly splněny specifické požadavky zákazníků musí být snížen obsah CO₂ maximálně na 2,5%. V této oblasti se nachází v hloubce 800 až 1000m pod mořským dnem vrstva 200 až 250m masivního pískovce. Oxid uhličitý je zde ukládán injekčně ve čtyřech etapách 1000m pod mořské dno. Plošiny na kterých dochází k ukládání vidíme na obrázku 8. Odhaduje se, že toto souvrství je v budoucnu schopno uchovávat až 600 miliard tun CO₂. [13]



Obr. 8. Plošiny v Severním moři pro ukládání CO₂ [13]

3.3 CO₂ SINK

Projekt podporovaný komisí EU. Provádí se zde injektáž do hlubokých podzemních solných zvodnělých vrstev ve městě Katzini západně od Berlína. Projekt zahrnuje intenzivní sledování injekce CO₂ pomocí široké škály geofyzikální a geochemické techniky. Úložiště v Katzini pro CO₂SINK bylo vybráno, protože nabízí geologické struktury příznivé pro skladování CO₂. Tento projekt je velmi podporován místní politikou. Zkušební plocha se nachází v blízkosti městské oblasti a tak poskytuje dobrou příležitost k rozvoji ukázky evropského skladování CO₂. Zvláštní pozornost se v tomto projektu věnuje kvalitě geologických těsnění a možnosti úniku přes nadložní vrstvy, migraci CO₂ podél umělých cest (kovové pouzdro injekce). Dále se sledují podmínky za kterých se CO₂ rozpouští v nádrži a jak reaguje s minerály v daném místě. Zajímá nás osud CO₂ a rozvoj hodnocení rizik pro dlouhodobý vývoj skladování CO₂. Důležité pro toto úložiště je specifikovat všechny potenciální zdroje rizik a následně provést opatření ke snížení rizik na nejnižší prakticky použitelné. Procesem vrtání jsou provedeny tři vrty každý asi 800m. CO₂ se dodává v kapalném stavu kamiony. Před injekcí je ho třeba stabilizovat (např. vyhříváním). Po injekci následuje monitoring prováděný robustním monitorovacím zařízením s vysokým rozlišením. Data se získávají třemi způsoby monitorování, jde o monitoring geofyzikální, geochemický a mikrobiologický. Celý postup je znázorněn na obrázku 9. [14]



Obr. 9. Projekt CO2SINK nádrž vývoj systému [14]

3.4 CO₂GEONET

CO₂Geonet je síť, která si klade za cíl poskytnout potřebné vědecké znalosti pro široké využití skladování CO₂ v geologických formacích, tím přispět k omezení globálního oteplování a acidifikaci oceánů aniž by představovaly riziko pro místní obyvatelstvo a ekosystémy. Zabývají se výzkumem, vzděláváním, vědeckým poradenstvím a podáváním informací o geologickém ukládání CO₂. Rovněž se zabývají otázkou veřejného přijetí ukládání CO₂ a hledají nejlepší způsoby komunikace s veřejností a různými zainteresovanými stranami na základě jasných vědeckých informací. Cílem je podporovat evropské a mezinárodní spolupráce s cílem přispět k budování kapacit pro ukládání po celém světě. O zdokonalování nástrojů, rozvíjení nových metod a neustálém zlepšování znalostí o geologickém ukládání usiluje v této organizaci asi 150 vědců ze třinácti ústavů v sedmi evropských zemích. [15]

3.5 CASTOR

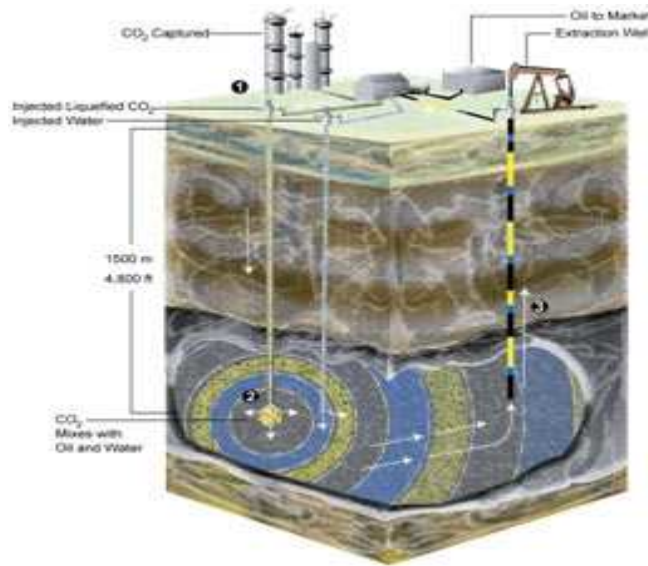
Projekt, který má řešit problematiku CO₂ od zachycení až k uložení. Jde o program zaměřený konkrétně na snížení nákladů na zachycování a separaci CO₂, zlepšení výkonnosti, bezpečnosti a dopadu na životní prostředí. Cílem projektu je umožnit zachycování a geologické ukládání 10% evropských emisí oxidu uhličitého, nebo 30% emisí z velkých průmyslových zařízení. [12]

Existuje další řada projektů jako ENCAP což je výzkumný projekt na vývoj spalovacích technologií pro posílení zachycování CO₂ ve velkých elektrárnách. Dalším může být projekt ISSC na zplynování pevných paliv a zachycování CO₂. Tento projekt již funguje v Německu, Polsku, Finsku, Španělsku, Rakousku. [16]

3.6 WEIBURN-MIDALE CO₂ PROJEKT

Tento projekt byl realizován v roce 2000 na jihovýchodě Kanady, kde vláda, průmysl a výzkumní pracovníci z celého světa shromáždili zdroje na největší projekt ke studiu geologického ukládání CO₂. Jde o první mezinárodní projekt injektáže a skladování CO₂ ve vytěžených ropných ložiscích. V roce 2000 tedy začala injektáž 5000 tun CO₂/den téměř 95% čistého CO₂. První fáze měla za úkol ověřit schopnost olejové nádrže k bezpečnému ukládání CO₂. To bylo prováděno prostřednictvím komplexní analýzy jednotlivých procesů. Tyto procesy byly rozděleny na 4 nejdůležitější: geologickou charakterizaci geosféry a biosféry, sledování a ověřování emisí CO₂, skladovací kapacity CO₂ a použití finančních prostředků, posouzení dlouhodobého rizika úložiště. Z předběžných výsledků první fáze vyplývá, že toto geologické prostředí se jeví jako velmi vhodné pro dlouhodobé ukládání CO₂. Hlavním cílem projektu je závěrečná fáze, která navazuje na úspěchy z první fáze a probíhá v letech 2005 – 2011. Má dodat nezbytné informace pro podporu geologického ukládání oxidu uhličitého na celém světě. Závěrečná fáze probíhá od roku 2006 kdy se začalo vstříkovat 7000 tun CO₂/den a produkce ropy se tím zvýšila o 18 000 barelů/den. Závěrečná etapa by měla přispět k vytvoření manuálu pro všechny budoucí projekty ukládání CO₂. Z hlediska technického, obsahujícího místní charakteristiky, sledování a ověřování, hodnocení výkonu. Též má přispět k hledisku politickému a to hlavně k otázkám podávání informací a komunikace s veřejností a hlavně podnikatelskou sférou.

Jak se zde zvyšuje výtěžnost ropy je ukázáno na obrázku. CO₂ se spolu s vodou vstříkuje injekčně do hloubky asi 1500m do vytěžených ložisek ropy. CO₂ používaný v tomto projektu je získáván ze zplynování uhlí. Střídá se zde vstřikování plynu a vody, tak se zvyšuje tlak v zásobníku. Část z injekce CO₂ je čerpána zpět na povrch spolu s olejem a vodou, kde následuje oddělení. Na konci zvýšené těžby ropy zůstává ve všech injekcích recyklovaný CO₂ trvale uložen. [17]



Obr. 10. Zvyšování výtěžnosti ropy pomocí injekece CO₂ [17]

3.7 FUTURGEN

Jedná se o veřejno-soukromé partnerství pro návrh, budování a provoz první elektrárny CCS na světě. Projekt by měl používat nové technologie na výrobu elektřiny a zároveň zachytávat a ukládat oxid uhličitý hluboko pod zem. Jako vedlejší produkt produkovat vodík pro případné použití v jiných odvětvích. FuturGen bude používat inovativní technologii IGCC, která kombinuje moderní zplynování uhlí s plynovou turbínou a parní turbínou pro výrobu elektrické energie. Použití těchto dvou turbín vede k vyšší efektivnosti systému a zajišťuje tak vyšší účinnost. Proces zplynování umožňuje lepší odstranění znečišťujících látek z uhlí, což vede ke snížení emisí oproti běžným uhelným elektrárnám. S tím souvisí jednodušší zachycování CO₂ a jeho ukládání pod zem. Důležitým přínosem by byla výroba obchodovatelného vedlejšího produktu, jelikož vodík je do budoucna považován za alternativní zdroj paliva pro automobilový průmysl. Zde by se ukládání CO₂ zaměřilo na skalní útvary se slanou vodou. Jako místo výstavby pro tento projekt bylo vybráno město Matton v Illinois. Realizace tohoto projektu bude zahájena v roce 2010. V současné době jde o

jednu z nejslibnějších technologií, kterou máme dnes k dispozici pro snížení dopadů na životní prostředí spojené s využíváním uhlí na výrobu elektrické energie. [18]

3.8 NZEC

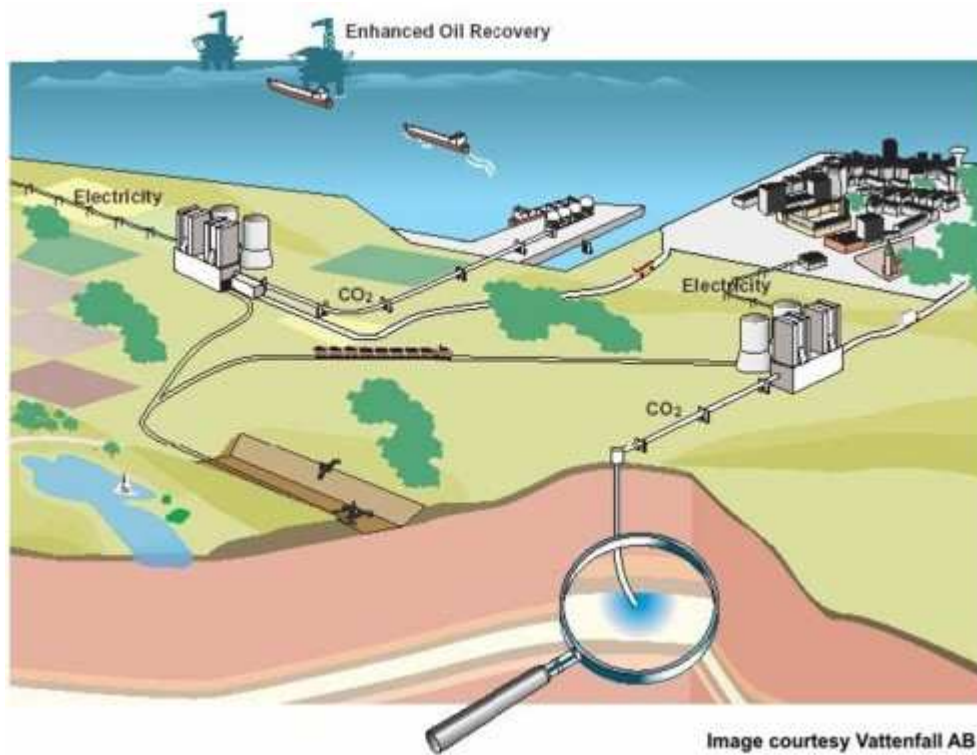
Čína se jako jeden z největších světových producentů a spotřebitelů uhlí stále více zajímá o technologie CCS. V září 2005 na summitu ve Spojeném království podepsala Čína dohodu s Evropskou unií o posílení spolupráce v oblasti změn klimatu a zaměření se na konkrétní cíle k předložení nízkouhlíkových technologií. Tento projekt předpokládá třífázový přístup. V 1.fázi se má prozkoumat možnost pro budování ukládacích kapacit pro CCS v Číně. Fáze 2 bude provádět další práce na vývoj skladování a rozvoj zachycovacích možností vedoucí k fázi 3, která bude do roku 2015 stavět demonstrační elektrárny. [19]

3.9 CCS v České republice

Česká republika patří z globálního hlediska k zanedbatelným emitentům. Při své produkci 146 Mt za rok je to asi 0,3% celosvětových emisí. Avšak při přepočtu na 1 obyvatele patří k největším emitentům. Větší počet emisí na obyvatele mají pouze Lucembursko a Irsko. V energetickém a průmyslovém sektoru produkuje Česká republika téměř dvakrát více oxidu uhličitého než ostatní státy EU. Cíle snižování emisí pro Českou republiku do roku 2030 zatím nejsou zcela jasné. Zatím nejpravděpodobnějším cílem je, že Česká republika bude muset snížit emise o 26 Mt ročně. Důvody vysoké koncentrace CO₂ v České republice jsou zapříčiněny vysokým podílem průmyslu a vysokou mírou exportu. Dalším nepříznivým důvodem vysokých emisí je český energetický mix, kdy 60% energie produkují uhelné elektrárny. Situace se snad brzylepší díky modernizaci starých uhelných elektráren a výstavbě nových uhelných a plynových elektráren. Tím by se měly snížit emise o 14 Mt CO₂. Další snižování by mohlo zajistit to, že všechny elektrárny modernizované nebo postavené po roce 2020 by byly vybaveny technologií na zachycování CO₂. Emise by se tak snížily o 15 Mt(33%) za rok. Výše nákladů na tuto technologii je ovšem nejistá, očekávají se náklady okolo 44 – 57 eur na tunu odstraněného CO₂, tudíž by se zvedly náklady na vý-

robu elektřiny o 30 – 40 eur/MWh. Bohužel dosud nebylo prokázáno, zda může technologie CCS ekonomicky a prakticky probíhat. Proto s sebou nese značná ekonomická a environmentální rizika. I přes tato rizika se tato technologie začíná vyvíjet i v České republice a to i přes společnost ČEZ, která se stala účastníkem projektu GeoCapacity, jehož cílem je prověřit kapacity a nalézt vhodné lokality pro možnosti podzemního ukládání CO₂ ve střední a východní Evropě. ČEZ se na tomto výzkumu podílí finančním příspěvkem a také se ho účastní v rámci aktivit vedoucích ke snížení emisí CO₂. Dále je tento projekt spolufinancován EU v rámci šestirámcového programu Evropského společenství. Na tomto výzkumu se podílí i Česká geologická služba, která mapuje geologické formace v ČR a navrhuje tak na své předběžné odhady úložných kapacit v ČR. ČEZ chce pro tento demonstrační projekt CCS využít nové moderní elektrárny s vysokou účinností v severních Čechách. Zde by se k elektrárně postavila demonstrační jednotka na zachycování významné části CO₂ ze spalin. Tato jednotka je ale velmi finančně nákladná. Přesto jsme jednou ze zemí patřících do projektu. Schéma, jak by měl proces probíhat vidíme níže na obrázku. Česká republika disponuje velkým množstvím potenciálních úložišť. CO₂ by se zde dalo skladovat třeba ve vytěžených ložiscích ropy a zemního plynu nebo ve slaných akviferech v široké oblasti kde se stýká Český masiv a Karpaty. Dalším potenciálním úložištěm jsou slané akvifery v okolí Loun, Mnichova Hradiště a Roudnice nad Labem. Význam by měly taky černouhelné sloje české části hornoslezské pánve a ložiska v Mělníku.

Cílem projektu je mapování hlavních zdrojů emisí CO₂ ve 13 evropských státech mezi nimiž je i Česká republika. Dále posouzení regionálních a místních potenciálních úložišť pro každou ze zúčastněných zemí, poskytnutí jasných pravidel pro posuzování geologického ukládání v Evropě i jinde. Rozvoj technických kritérií výběru lokalit. Zahájení mezinárodní spolupráce s Čínou. [20, 21, 22]



Obr. 11. Schéma možnosti ukládání CO_2 v České republice [20]

3.10 Projekt CO2NET EAST

Je projekt, který má rozšířit již existující evropskou a celosvětovou spolupráci v zachycování a ukládání oxidu uhličitého technologií CCS do nových členských a kandidátských zemí EU. Projekt má zajistit poskytnutí podpory novým členským organizacím networku (Karbon dioxide knowledge sparing network) a umožnit jim aktivní účast na network. Dále šířit nejnovější vědecké poznatky a zvýšit obecné povědomí o technologiích zachytávání a ukládání CO_2 v nových členských a kandidátských zemích EU po dobu trvání projektu i po jeho ukončení. Také přispět k vytvoření kontaktů mezi zainteresovanými institucemi v nových a kandidátských zemích EU a jejich partnery ve starých členských zemích s využitím stávajících networků (CO2NET a Evropské sítě pro výzkum geoenergií) a vytvořit vazby k Evropským technologiím pro bezemisní tepelné elektrárny. Realizace projektu je zajišťována konsorciem 8 výzkumných institucí z nových členských a kandidátských zemí EU a Norské společnosti Statoil, která je průmyslovým partnerem projektu. Mezi členy konsorcia patří i Česká geologická služba (ČGS), která je koordinátorem projektu. [22, 23]

Aby mohly být tyto projekty v Evropské Unii realizovány byla založena organizace ZEP (Zero emissios platform). Jde o Evropskou technologickou platformu pro bezemisní elektrárny. Je to koalice zainteresovaných stran projevující snahu sjednotit se v zachycování a ukládání uhlíku pomocí CCS jakožto klíčovou technologií v boji proti změně klimatu. Tato společnost byla založena v roce 2005. Tato společnost vědců, akademiků a ekologických nevládních organizací má tři hlavní cíle, kterými jsou povolení CCS jako klíčové technologie pro boj se změnou klimatu. Uvést CCS do komerční životaschopnosti do roku 2020 pomocí demonstračních programů. Urychlit výzkum a vývoj pro příští technologie CCS pro široké nasazení po roce 2020. Tato organizace zaštiťuje více jak 200 lidí z 19 zemí, kteří se aktivně podílejí v rolích například CCS poradců a zprostředkovatelů, kde se zabývají odborným poradenstvím na všechny technické, politické, obchodní a ostatní související otázky. V roce 2008 předložili podrobný návrh Evropské unii s cílem urychlit zavádění technologií CCS v Evropě i mimo ni. Do roku 2015 má díky ZEP být v provozu 10-12 projektů zahrnujících zpracování uhlí, zemního plynu i biomasy. Do roku 2020 by tyto projekty měly být hospodářsky životaschopné a do roku 2050 by G8 (Spojené státy, Kanada, Británie, Francie, Itálie, Německo, Rusko a Japonsko) měla snížit emise oxidu uhličitého o 80%. [24]

Mezi nejnovější Evropské projekty patří například projekt CO2 Europipe. Který probíhá od dubna 2009 do roku 2011 jako výzkumný projekt částečně financován Evropskou komisí v jejím 7. rámcovém programu. Tento projekt má za cíl připravit širokou dopravní infrastrukturu pro dopravu a injektáž CO₂ z bezemisních elektráren. Doprava je prováděna pomocí ropovodu jehož stavbu vidíme na obrázku. Do projektu bude spadat příprava přechodu s přepravou malého množství CO₂ na přepravu a skladování velkého množství CO₂, které má začít okolo roku 2020. Z projektu bude definován plán, který bude na všech úrovních posuzovat technické, finanční a organizační záležitosti. [25]



Obr. 12. Stavba ropovodu [25]

Dalšími velmi důležitými projekty výzkumu a vývoje spolufinancované EU jsou:

DECARBit

Je to také projekt 7. rámcového programu zaměřeného na vývoj technologií nové generace pro zachytávání CO₂ v tepelných elektrárnách spalující uhlí a zemní plyn. Projekt se, ale především zaměřuje na hledání nových a lepších spalovacích technologií, které dokáží splnit náklady ve výši 15 eur za tunu zachyceného CO₂. [26]

nanoGLOWA

Projekt 6.rámcového programu EU. Spojuje 25 organizací z 12 zemí celé Evropy s cílem vyvinout nanomembrány pro zachycování CO₂ z elektráren. [27]

Souhlas veřejnosti s technologií CCS je velmi důležitým předpokladem pro rozšíření těchto technologií ve velkém měřítku. V současné době je úroveň povědomí velmi nízká a většinou ani neexistuje. V rámci toho byl vytvořen projekt nazvaný Průzkum vlivu komunikace o CCS na veřejnost a cílem je vypracovat doporučení pro komunikaci o CCS umožňující veřejnosti vytvořit si vlastní informovaný názor na tuto technologii. Srovnávací studie o sdělování informací týkajících se CCS se budou provádět v sedmi evropských zemích: Německo, Řecko, Nizozemsko, Norsko, Rumunsko a Spojené království. [28]

4 LEGISLATIVA

Směrnice Evropského parlamentu o geologickém ukládání oxidu uhličitého

Hlavním cílem Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu, je dosáhnout stabilizace koncentrací skleníkových plynů v atmosféře na úroveň, která by zabránila nebezpečnému narušení klimatického systému lidskou činností. Podle Evropského parlamentu je zachytávání a geologické ukládání oxidu uhličitého překlenovací technologií, která přispěje ke zmírnění změny klimatu. Hlavním důvodem je vytvoření právního rámce pro rozvoj technologie CCS a posílení předpokladu pro dosažení dlouhodobého globálního cíle, jenž představuje emisní redukce k roku 2050 o 50% v porovnání s rokem 1990. Technologie Carbon Capture and Storages (CCS) je systematické ukládání oxidu uhličitého zachyceného při spalování nebo zpracování fosilních paliv do stabilních geologických formací a zabránění jeho zpětného uvolnění do atmosféry. Návrh této směrnice umožní zaměření se na bezpečnostní aspekty využití této technologie a odstranění regulatorních překážek, které brání širšímu využití CCS v EU. Prosazení CCS v širším měřítku by měl umožnit rozvoj provozu demonstračních projektů, s významnějším komerčním nasazením se počítá až po roce 2020, kdy by plnění náročných emisních redukčních cílů mělo být bez využití CCS postupně nákladnější. Tato technologie by neměla sloužit jako pobídka ke zvýšení podílu elektráren na fosilní paliva. Její vývoj by neměl vést, pokud jde o výzkum a finanční prostředky, k poklesu úsilí o podporu politik zaměřených na úspory energie, energie z obnovitelných zdrojů a jiných bezpečných a nízkouhlíkových technologií. Podle předběžných odhadů vypracovaných komisí, by do roku 2020 mohlo být uloženo 7 miliónů tun CO₂ a do roku 2030 až 160 miliónů tun. To vše jen za předpokladu, že do roku 2020 budou sníženy emise skleníkových plynů o 20% a technologii CCS se dostane soukromé a státní podpory i podpory Společenství a že se CCS osvědčí jako technologie bezpečná z hlediska životního prostředí.

V rámci Evropského programu pro změnu klimatu byla zřízena pracovní skupina pro zachytávání a geologické ukládání CO₂. Úkolem této pracovní skupiny bylo prozkoumat CCS jako prostředek k omezení změny klimatu. Výsledkem práce této skupiny bylo zveřejnění zprávy ukazující na potřebu zpracování politického a předpisového rámce pro CCS.

K této problematice se vztahuje několik směrnic. Například směrnice navržena evropskou komisí dne 23.ledna 2008 pro ekologicky- bezpečné zachytávání a geologické ukládání

oxidu uhličitého v EU jako součást hlavního legislativního balíčku. Jednotlivé směrnice tohoto balíčku jsou: Směrnice 2009/31/ES Evropského parlamentu a Rady o geologickém skladování oxidu uhličitého. Návrh směrnice o geologickém ukládání oxidu uhličitého

Posouzení dopadů: Souhrn posouzení dopadů

Příloha XII posouzení dopadů: Orientační přeprava a skladování sítí pro CO₂ na úrovni členských států

Příloha XIII posouzení dopadů: Orientační přeprava a skladování sítě pro CO₂ v celé EU

Členské státy by si měly ponechat právo rozhodovat o oblastech na svém území z nichž lze vybírat úložiště. Podrobnější informace a směrnice vztahující se k této problematice jsou uvedeny ve Směrnici Evropského parlamentu a rady 2009/31/ES ze dne 23.dubna 2009 o geologickém ukládání oxidu uhličitého. [29, 30]

ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo popsat možnosti geologického ukládání oxidu uhličitého. Samotné ukládání je součástí koloběhu uhlíku na Zemi, což je přirozený proces. V tomto cyklu je CO_2 ukládán především ve formě uhličitanových sedimentů. Nicméně, v současnosti převládá antropogenní produkce CO_2 a tak jsou hledány nové metody pro jeho ukládání. Také se zkoumá možnost separace tohoto plynu již při vzniku, například při spalování fosilních paliv při výrobě elektrické energie. Rovněž jsou zde shrnuty výhody i nevýhody jednotlivých projektů zabývajících se touto tematikou, které jsou prováděny v různých státech po celém světě.

Dalším způsobem jak snížit produkci skleníkových plynů je zvýšení účinnosti využívání fosilních paliv nebo výroba energie technologiemi neprodukcujícími oxid uhličitý. Těmito technologiemi může být výroba sluneční energie, jaderné energie, využití energie vodních elektráren, nebo použití vodíku, jehož spalováním vzniká pouze čistá voda. V současnosti však nad těmito technologiemi neustále převládá využívání fosilních paliv. Proto musíme doufat, že zkoumané technologie CCS se podaří uvést do provozu jako celek z hlediska technologického i ekonomického, a tím alespoň částečně zpomalíme globální oteplování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NÁTR, L. *Země jako skleník. Proč se bát CO₂?* Praha: nakladatelství Academia, 2006, ISBN 80-200-1362-8
- [2] KADRNOŽKA, J. *Globální oteplování Země*. Brno: nakladatelství Vutium, 2008, ISBN 978-80-214-3498-1
- [3] CO2NET2. *Geologické řešení změny klimatu* [online]. 2005-10-19 [cit. 2010-04-15]. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.geology.cz/geocapacity/downloads/CO2NET_LEAFLET_CZ.pdf>
- [4] PIDWIRNY, M. *The Carbon Cycle* [online]. 2009-07-05 [cit. 2010-04-15]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>>
- [5] NASA Earth Observatory. *The Carbon Cycle* [online]. 200? [cit. 2010-04-15]. Dostupné na World Wide Web:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/carbon_cycle4.php>
- [6] KOUDELKOVA, J. Snižování emisí CO₂ a jeho využití ukládáním do podzemí. *Acta Montanistica Slovaca*. 2005, vol. 10, no. 1, p. 224-227.
- [7] BECHNÍK, B. *Separace CO₂ a jeho ukládání v geologických formacích* [online]. 2008-07-28 [cit. 2010-04-20]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4986&h=207&pl=49>>
- [8] EnviWeb s.r.o. *Možné problémy ukládání oxidu uhličitého do podzemních prostor* [online]. 2009-01-12 [cit. 2010-04-20]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.enviweb.cz/clanek/archiv/73710/mozne-problemy-ukladani-oxidu-uhliciteho-do-podzemnich-prostor>>
- [9] GIS-GEOINDUSTRY, s.r.o. *Geologická sekvestrace CO₂* [online]. 2005 [cit. 2010-04-25]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.geoindustry.cz/index.php?page=8>>

- [10] ŠTĚRBA, M. *Ukládání oxidu uhličitého* [online]. 2008-04-03 [cit. 2010-04-25]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://proatom.luksoft.cz/view.php?cislocclanku=2008040002>>
- [11] ÚBRÁ, O. *Technické možnosti řešení vypouštění emisí CO₂ z elektráren na fosilní paliva* [online]. 2007-12 [cit. 2010-04-25]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.asicr.cz/bulletin/prosinec-2007/>>
- [12] The RECOPOL project. *What is the RECOPOL project?* [online]. 200? [cit. 2010-05-02]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://recopol.nitg.tno.nl/index.shtml>>
- [13] Statoil. *Sleipner Vest* [online]. 2007-08-20 [cit. 2010-05-02]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/ProtectingTheEnvironment/CarboncaptureAndStorage/Pages/CarbonDioxideInjectionSleipnerVest.aspx>>
- [14] CO2Sink. *Drilling, Coring & Logging* [online]. 2006-05-23 [cit. 2010-05-02]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.co2sink.org/techinfo/drilling.htm>>
- [15] CO2Geonet [online]. 2010 [cit. 2010-05-02] Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.sciencedirect.com/science>>
- [16] EncapCo2. *The ENCAP Project* [online]. 2010-05-10 [cit. 2010-05-02]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.encapco2.org/>>
- [17] Petroleum Technology Research Centre. *Weiburn – Midale CO₂ project* [online]. 200? [cit. 2010-05-07]. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.ptrc.ca/weyburn_overview.php>
- [18] Futurgen Alliance, Inc. *Coal Gasification* [online] 2010-02 [cit. 2010-05-07]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.futuregenalliance.org/technology/coal.stm>>
- [19] AEA Group. *NZEC* [online]. 2007 [cit. 2010-05-07]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.nzec.info/en/>>

- [20] ČEZ, a.s. *ČEZ se stal účastníkem projektu hledání podzemních kapacit pro ukládání CO₂ ve střední a východní Evropě* [online]. 2007-06-07 [cit. 2010-05-07]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/66.html>>
- [21] McKinsey & Company, Inc. *Náklady a potenciál snižování emisí skleníkových plynů v ČR* [online]. 2008 [cit. 2010-05-07]. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.mckinsey.com/locations/prague/work/probonoccreport/Report_czech_version.pdf>
- [22] Česká geologická služba. *Aplikovaná geologie* [online]. 200? [cit. 2010-05-07]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.geology.cz/extranet/vav/aplikgeologie>>
- [23] Česká geologická služba. *Projekt CO2NET EAST* [online]. 2006 [cit. 2010-05-12]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.geology.cz/co2net-east>>
- [24] European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants. *ZEP Project* [online]. 200? [cit. 2010-05-12]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.zeroemissionsplatform.eu/projects.html/fossil-fuel-power-plants-announced-pilot-demonstration-programmes>>
- [25] Seventh Framework Programme. *CO2 Europipe* [online]. 2009-04 [cit. 2010-05-12]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.co2europipe.eu/>>
- [26] Seventh Framework Programme. *Decarbit Project* [online]. 2008 [cit. 2010-05-15]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.decarbit.com/>>
- [27] Nanoglowa [online]. 200? [cit. 2010-05-15]. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.nanoglowa.com/index_PP.html>
- [28] SCHUMANN, D. *Scrutinizing the impact of CCS communication on the General and Local public* [online]. 2009 [cit. 2010-05-18]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.ccs-communications.gr/index.htm>>

- [29] Úřední věstník Evropské Unie. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/31/ES o geologickém ukládání oxidu uhličitého a o změně směrnice Rady 85/337/EHS, směrnic 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*. 2009-06-05, p. 114- 135.
- [30] Česká inspekce životního prostředí. *Přehled projednávané legislativy ES* [online]. 2008-09 [cit. 2010-05-18]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.cizp.cz/1831_zari-2008>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CO ₂	oxid uhličitý
EU	Evropská unie
CCS	carbon capture and storage

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Diagram koloběhu uhlíku.	12
Obr. 2. Ukládání oxidu uhličitého v oceánech.....	13
Obr. 3. Schéma technologie při spalování se vzduchem	14
Obr. 4. Schéma technologie při spalování s kyslíkem	15
Obr. 5. Schéma technologie se zplynováním paliva	15
Obr. 6. Schéma vytlačování uhelného metanu injektáží CO ₂ do uhelných slojí	17
Obr. 7. Schéma ukládání CO ₂ technologií minerální karbonatizace.....	18
Obr. 8. Plošiny v Severním moři pro ukládání CO ₂	22
Obr. 9. Projekt CO ₂ SINK nádrž vývoj systému	23
Obr. 10. Zvyšování výtěžnosti ropy pomocí injektáže CO ₂	25
Obr. 11. Schéma možnosti ukládání CO ₂ v České republice.....	28
Obr. 12. Stavba ropovodu	30

SEZNAM TABULEK

Tab.1. Celosvětová kapacita pro jednotlivé možnosti ukládání CO ₂	18
--	----

