

LCA analýza vysokoteplotní karbonátové smyčky jako nástroje snižování emisí CO₂

Ing. Kristína Zakuciová, Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha; CVŘ Řež, spol. s.r.o

Doc. Ing. Vladimír Kočí, PhD., Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha

Doc. Ing. Karel Cíahotný, CSc., Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha

Ana Carvalho, Instituto Superior Técnico Lisboa e Região, Portugal

Jiří Štefanica, ÚJV Řež, a.s.

Jana Smutná, ÚJV Řež, a.s.

Souhrn (12 bodů, tučná kurzíva)

Příspěvek je zaměřen na aktuální výsledky studie posuzování životního cyklu karbonátové smyčky. Karbonátová smyčka je technologický postup mající za účel zachyt emisí CO₂ ze spalín generovaných tepelnou elektrárnou. V příspěvku budou představeny výstupy LCA analýzy stechiometrického modelu karbonátové smyčky v návaznosti na 250 MWe elektrárenský blok.

Klíčová slova: *Posuzování životního cyklu, CaO smyčka, zachycení CO₂*

1 Úvod

Cílem nízkouhlíkové ekonomiky je vhodným způsobem propojit technologie s nízkou produkcí skleníkových plynů napříč všemi průmyslovými sektory. V rámci SET plánu (Strategy Energy Technology Plan) Evropské komise¹ bylo navrženo několik základních cest vedoucích k dosažení nízkouhlíkové ekonomiky. Jednou z navržených cest je rozvoj a dosažení konkurenceschopnosti technologií zachytu a ukládání CO₂, tzv. Carbon Capture and Storage (CCS). Tato cesta navazuje na cíl Pařížské konference o klimatu, oficiálně *21st Conference of the Parties (COP) Rámcové úmluvy o klimatu Spojených národů United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC*, která představila snížení vlivů lidské společnosti na průměrnou teplotu Země jako jeden ze svých cílů. Jednou z hlavních iniciativ úmluvy je rovněž podpořit celkové snižování emisí CO₂ a to právě inovativními technologiemi CCS (United Nations, 2015).

Metoda posuzování životního cyklu (LCA) je vhodný nástroj hodnocení CCS technologií z pohledu surovinového, environmentálního i socio-ekonomického. Studie LCA jsou mimo jiné doporučovány z toho důvodu, že posuzují daný systém z pohledu jeho očekávané funkce, který definují vždy konkrétní funkční jednotkou. Studie LCA jsou založeny na zhodnocení všech materiálových a energetických vstupů a výstupů posuzovaného systému, čímž je vytvořen obsáhlý model umožňující tvoření alternativních scénářů. Výstupy inventarizačních analýz či hodnocení dopadů životního cyklu umožňují vyčíslení slabá místa či zdroje environmentálních škod daného technologického systému. (Zakuciová, Kočí, 2016).

Co se týče technologií zachytu CO₂, uvažuje a pracuje se především na následujících 3 technologiích:

¹ <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan>

1. Post-combustion – CO₂ je zachytáván ze spalin až následně po úplném spálení paliva;
2. Pre-combustion – CO₂ je odstraňován ze spalin ihned po fázi zplynění;
3. Oxyfuel – palivo je spalováno v prostředí kyslíku, nikoli vzduchu, a tak dochází ke vzniku především CO₂ a vody.

Do současnosti byly z pohledu LCA hodnoceny především technologie post-combustion zachytu CO₂ s použitím sorbentu 2-Aminoethanolu. V poslední době však nabývá na významu výzkum zabývající se využitím CaO v karbonátové smyčce. Ve své studii z roku 2016 ukazuje Clarens et al, 2016 CaO v karbonátové smyčce jako smysluplnou alternativu na aminoethanolu založeném schématu zachytu CO₂. Clarens ve své práci srovnává různé technologie, nevyčísluje však potenciální environmentální dopady použití karbonátové smyčky. V tomto příspěvku hodláme prezentovat některé výsledky hodnocení environmentálních dopadů dvou základních scénářů provozu 250 MWe elektrárny v ČR: bez a s aplikací karbonátové smyčky pro zachyt CO₂.

2 Na CaO založený způsob zachytu CO₂ s použitím dodatečného paliva v režimu oxyfuel

Vysokoteplotní karbonátová smyčka je jednou z možností zachytu CO₂ ze spalin založenou na chemisorpci na pevných površích CaO nebo MgO. K chemisorpci dochází při teplotách mezi 450-750 °C a je reprezentována exotermickou karbonatací. Regenerace sorbentu se provádí zahřátím vzniklého vápence na teplotu 800-900 °C, při které dochází k termickému rozkladu a uvolnění CO₂. Tato kalcinace je naopak endotermní reakcí. Sířany, které při karbonataci vznikají, se při kalcinaci nerozkládají, a tudíž je třeba je separovat a úbytek CaO nahradit novým adsorbentem. Princip vysokoteplotní karbonátové smyčky je znázorněn na následujícím obrázku.

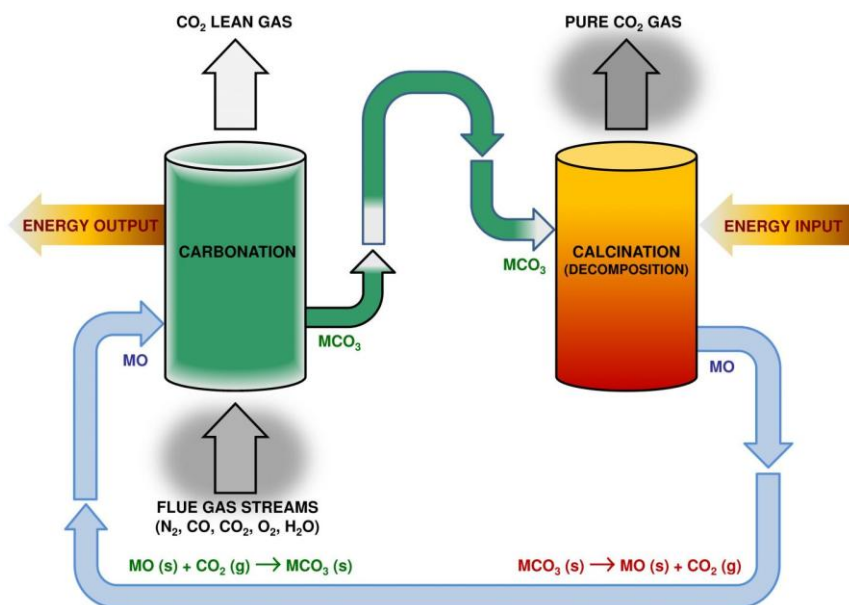


Fig.1 Princip vysokoteplotní karbonátové smyčky (Staf, 2015)

Obvyklé spalovací postupy používají jako zdroj kyslíku vzduch, který tím že obsahuje dusík naředuje CO₂ ve vzniklých spalinách. Spalování v režimu oxyfuel využívá jako zdroje kyslíku 95 a více procentní směs čistého kyslíku a recyklovaných spalin. Tímto způsobem dochází ke vzniku spalin skládajících se v podstatě jen z CO₂ a vody, ze kterých lze CO₂ poměrně snadno separovat (Wall et al., 2009).

3 Použité metody hodnocení

2.1 Posuzování životního cyklu

Metoda posuzování životního cyklu (Life Cycle assessment - LCA) je nástrojem umožňujícím posuzovat potenciální environmentální dopady různých produktů, služeb či technologií. Touto metodou je tedy možné posuzovat environmentální aspekty výroby elektrické energie či spalovacích procesů. Mezinárodní normy ČSN ISO 14040 and ČSN ISO 14044 charakterizují metodu LCA jako analýzu od kolébky do hrobu, která zahrnuje všechny fáze životního cyklu produktu a umožňuje tak holistické hodnocení daného produktu či technologie a to především z environmentálního hlediska. Metoda LCA se dělí na 4 následující fáze: definice cílů a rozsahu, inventarizační analýza, hodnocení dopadů a interpretace životního cyklu. Více podrobností o metodě LCA ve vztahu k CCS technologiím lze získat v následující publikaci (Zakuciová, Lapao Rocha, & Kočí, 2016).

2.2 Definice cílů a rozsahu

Hlavním cílem studie bylo porovnat environmentální dopady zachytu CO₂ z emisí vznikajících v typické v ČR provozované 250 MWe elektrárně. Posuzovaný environmentální profil zahrnuje dva scénáře: 1) hodnocení environmentálních dopadů ročního provozu elektrárny bez zachytu CO₂; 2) hodnocení environmentálních dopadů ročního provozu elektrárny se zachytem CO₂ pomocí karbonátové smyčky.

2.3 Funkční jednotka

Zvolenou funkční jednotkou pro posuzování systémy byla roční produkce elektrické energie 1 423 800 MWh/rok odpovídajícího množství pro danou elektrárnu.

2.4 Hranice systému

Hranice systému zahrnují celý řetězec získávání paliva a končí produkcí elektrické energie. Zahrnuty jsou procesy získávání primární suroviny, produkci hnědého uhlí, spalování a odsiřování. Co se týče zachytu CO₂ byl do posuzovaného systému zahrnut celý produktový řetězec produkce adsorbentu: těžba a doprava vápence, jeho užití a nakládání se vznikajícími odpadními toky. Co se týče zachytu CO₂, pouze jeho zachyt a separace je součástí posuzovaného systému. Ukládání CO₂ není předmětem studie.

2.5 Inventarizační analýza

Následující tabulka shrnuje ve studii použité jednotkové procesy. Jedná se o procesy z databáze Professional DB GaBi (thinkstep). Ostatní specifické procesy a toky byly adaptovány na základě výstupů výzkumu UJV Řež (Pilář L., Slouka P., 2015).

Databázové procesy		Zdroj dat
Production of brown coal	Lignite EU-27 [Lignite, at consumer]	Ts-thinkstep
Production of fuel for transport	Diesel (refinery) products	Ts-thinkstep
Transportation	Truck, Euro 4, cargo, consumption mix	Ts-thinkstep
Thermal energy production	Thermal energy from natural gas, production mix at heat plant	Ts-thinkstep
Limestone production	Limestone production mix, quarrying of stone sand and clay	Ts-thinkstep
Electricity production	CZ: Electricity grid mix	Ts-thinkstep
Water production	EU-27 Process water, production mix at plant	Ts-thinkstep
Waste water treatment	EU-27 Municipal waste water treatment,	Ts-thinkstep

	technology mix, production mix at plant	
--	---	--

Tab 1 Použité jednotkové procesy

3. Použité předpoklady a sběr dat

Pro vypracování modelu LCA bylo třeba přijmout některé předpoklady. Předpoklady týkající se fyzikálních a chemických veličin a hodnot karbonátové smyčky shrnuje následující tabulka.

Veličiny	Hodnoty
Cp CaO	763 J/kg/K
Cp CaCO ₃	818 J/kg/K
m (CO ₂ cap)	0.0396 kg
m (CO ₂ fg)	0.044 kg /mol
m (CaO per 1 mol)	0.056kg/mol
Qc	0.0128 MJ
Qd	0.176 MJ
Qh	0.05 MJ
mW (CaCO ₃)	0.01 kg
ΔHc	2. 73 MJ
ΔH (CaCO ₃)	1. 76 MJ
mi (CaCO ₃)	0.1 kg
T1	8°C
T2	650°C
T3	950°C

Tab 2 Fyzikální vlastnosti karbonátové smyčky

Vstupní energie potřebná pro provoz karbonátové smyčky je získávána spalováním zemního plynu a její hodnota byla předpokládána jako součet energie nutné pro ohřev vstupního vápence na teplotu karbonatace, energie potřebné pro karbonataci a energie nutné pro ohřev CaO.

Vyústění kyslíkové jednotky bylo připojeno do energetické jednotky v místě, kde dochází ke spalování uhlí s cílem omezit vstup inertních plynů, zejména plynného dusíku. Předpokládáme, že vzniklé odpadní plyny obsahují pouze CO₂ a vodní páru. Předpokládáme následnou kryogenní separaci plynů. Čistotu vstupního kyslíku předpokládáme na hladině 95% (Dupal,T., 2010).

4. Výsledky

Po zpracování inventarizační analýzy byla provedena charakterizace a vyčíslení potenciálních environmentálních dopadů. Pro charakterizaci byla použita aktualizovaná metodika CML 2016. S použitím odpovídajících referenčních výsledků byla provedena normalizace charakterizačních profilů. Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu umožňují srovnávat vzájemně jejich významnost a zároveň umožňují jejich snadnou prezentaci (PRE, 2015). Dalším typem hodnocení získaných výsledků byla Paretova analýza, jejímž cílem bylo určit nejvýznamnější environmentální problémy hodnoceného systému, na které by se měla zaměřit pozornost výzkumu v jeho dalších fázích.

Prvním hodnoceným scénářem byla výroba elektrické energie v 250 MWe jednotce (PU). Druhým porovnávaným scénářem byla stejná energetická jednotka, na kterou byla připojena karbonátová smyčka (PU+S). Výsledky indikátorů kategorií dopadu určené metodou CML 2016 jsou shrnuty v následující tabulce.

Environmental impact categories	Elektrárna (PU)	Elektrárna se smyčkou (PU+S)
(ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	3,00E-08	18,8
(ADP fossil) [MJ]	1,30E+10	1,68E+10
(AP) [kg SO2-Equiv.]	1,89E+05	4,57E+05
(EP) [kg Phosphate-Equiv.]	2,88E+04	8,23E+04
(FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	1,62E+05	4,48E+05
(GWP 100 years), excl biogenic carbon [kg CO2-Equiv.]	1,39E+09	-7,59E+08
(POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-1,47E+04	-3,26E+04
(TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	7,02+04	1,67E+05

Tab 3 Charakterizační profily

Výsledné hodnoty po provedené normalizaci a s hodnotami Paretovy analýzy jsou uvedeny v následující tabulce.

Kategorie dopadu	PU	PU Paretova analýza	PU+S	PU+S Paretova analýza
	Normalizované výsledky	%	Normalizované výsledky	%
ADP elements	4,00E-08	0,01	1,16E-07	0,02
ADP fossil	0,00037	52,65	0,000477	69,34
AP	1,13E-05	1,61	2,72E-05	3,95
EP	1,56E-06	0,22	4,45E-06	0,65
FAETP	7,73E-07	0,11	2,14E-06	0,31
GWP 100 years	0,000267	37,99	-0,000145	12,18
POCP	-8,51E-06	-1,21	-1,88E-005	0,21
TETP	6,05E-07	0,09	1,44E-06	0,21

Tab 3 Výstupy normalizace a Paretovy analýzy

5. Závěr

V práci jsou porovnány metodou LCA určené hodnoty indikátorů kategorií dopadu výroby elektrické energie v 250MWe jednotce bez zapojení a se zapojením karbonátové smyčky jakožto nástroje zachytu CO₂ ze spalin. Z Paretovy analýzy vyplývá, že hlavními environmentálními dopady produkce elektrické energie z hnědého uhlí je úbytek fosilních surovin a globální oteplování, respektive produkce skleníkových plynů. V případě realizace odstraňování CO₂ ze spalin použitím karbonátové smyčky dojde k významnému poklesu produkce skleníkových plynů, dojde však k výraznému nárůstu kategorie dopadu úbytek

fosilních surovin, ke kterému dochází zvýšenou spotřebou tepla pro provoz karbonátové smyčky.

6. Literatura

- Clarens, F., Espí, J.J., Giraldi, M.R., Rovira, M., Vega, L.F., 2016. Life cycle assessment of CaO looping versus amine-based absorption for capturing CO₂ in a subcritical coal power plant. c 46, 18–27. doi:10.1016/j.ijggc.2015.12.031
- Dupal, T., 2010: Výzkum a vývoj metod technologií zachycování CO₂ v elektrárnách na fosilní paliva a ukládání do geologických formací v podmínkách ČR, Ústav jaderného výzkumu Řež a.s., Prosinec 2010.
- Pilář, L., Slouka, P., 2015: Technický návrh systému zachytu CO₂ adsorpcí a jeho optimální začlenění do elektrárenského bloku, Výzkumná zpráva, Ústav jaderného výzkumu Řež a.s., Prosinec 2015
- PRE Sustainability International, 2015: <https://www.pre-sustainability.com/lca-methodology>
- Staf, M., (2015): Removing carbon dioxide from flue gas using high temperature 2 .The principle of high temperature carbonate looping Experimental part, Palivá, 7, 84–90.
-
- Strazza, C., Del Borghi, A., Gallo, M., 2013. Development of specific rules for the application of life cycle assessment to carbon capture and storage. Energies 6, 1250–1265. doi:10.3390/en6031250
- United Nations. (2015). Adoption of the Paris Agreement, 21932, (December), 32. <https://doi.org/FCCC/CP/2015/L.9>
- Wall, T., Liu, Y., Spero, C., Elliott, L., Khare, S., Rathnam, R., Zeenathal, F., Moghtaderi, B., Buhre, B., Sheng, C., Gupta, R., Yamada, T., Makino, K., Yu, J., 2009. An overview on oxyfuel coal combustion-State of the art research and technology development. Chem. Eng. Res. Des. 87, 1003–1016. doi:10.1016/j.cherd.2009.02.005
- Zakuciová, K., Kočí, V., 2016 : LIFE CYCLE ASSESSMENT OF HIGH TEMPERATURE SORPTION OF CO₂, Paliva, 8, 54–58. 2016.
- Zakuciová, K., Lapao Rocha, J., Koci, V., 2016. Life Cycle Assessment Overview of Carbon Capture and Storage Technologies. 5nd Annu. Int. Conf. Sustain. Energy Environ. Sci. (SEES 2016) 84–90. doi:10.5176/2251-189X