



Vysokoteplotní čištění plynu pro SOFC

Michael POHOŘELÝ^{1,2,}, Karel SVOBODA¹, Sjarhei SKOBLJA^{3,*}, Michal JEREMIÁŠ^{1,2},
Michal ŠYC¹, Petra KAMENÍKOVÁ¹, Helena PARSCHOVÁ², Gabriela CABÁKOVÁ², Vít
ŠUSTR², Tomáš DURDA^{1,2}, Zdeněk BEŇO³, Miroslav PUNČOCHÁŘ¹*

¹Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i., Rozvojová 135/1, 165 02 Praha 6

²Ústav energetiky, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6

³Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6

* **Email:** pohorely@icpf.cas.cz, michael.pohorely@vscht.cz, sergej.skoblja@vscht.cz

Příspěvek je zaměřen na seznámení čtenářů (posluchačů) se základy procesu zplyňování, dále s vysokoteplotními palivovými články s tuhým elektrolytem a zejména pak s problematikou vysokoteplotního čištění generátorového plynu vzniklého zplyněním dřevní i zemědělské biomasy a/nebo alternativních paliv (např. tuhého alternativního paliva) na úroveň vhodnou pro jeho využití ke kombinované výrobě tepla a elektrické energie ve vysokoteplotním palivovém článku s tuhým elektrolytem (SOFC).

Klíčová slova: zplyňování, vysokoteplotní čištění plynu, vysokoteplotní palivový články s tuhým elektrolytem

1 Zplyňování

Zplyňováním je myšlena termochemická konverze uhlíkatého materiálu v pevném či kapalném skupenství na výhřevný plyn působením zplyňovacích médií a vysoké teploty. Jako zplyňovací médium bývá použit vzduch, kyslík, vodní pára, oxid uhličitý nebo jejich směsi. Produktem je plyn obsahující žádanou výhřevnou složku (H₂, CO, CH₄ a další organické minoritní sloučeniny využitelné v navazující technologii – C_xH_y), doprovodné (balastní) složky (H₂O (g), CO₂ a N₂) a znečišťující složky (dehet, prach, sloučeniny síry, chlóru, dusíku, alkálie a další). Parametry ovlivňující složení generátorového plynu, respektive jeho výhřevnost, výtěžek a čistotu, můžeme rozdělit do tří základních skupin [1–6]:

- fyzikálně chemické vlastnosti pevného paliva,
- typ zplyňovacího generátoru,
- provozní podmínky generátoru.

2 SOFC

Palivové články jsou schopné měnit chemickou energii plynného paliva přímo na energii elektrickou a jejich princip je popsán např. v literatuře [7, 8]. Tyto články jsou v zásadě schopné dosahovat vyšší účinnosti přeměny energie paliv na elektrickou energii než konvenční termické systémy se spalováním paliv a tepelnými motory. U vysokoteplotních palivových článků pracujících za teplot nad 600 °C byly doposud vyvinuty dva základní typy:



palivový článek využívající jako elektrolyt roztavenou směs alkalických uhličitánů (tzv. molten carbonate fuel cell – MCFC) pracující za teplot nejčastěji okolo 650 °C a palivový článek s pevným oxidovým elektrolytem, tj. solid oxide fuel cell – SOFC pracující za teplot 700–1000 °C. Na rozdíl od nízkoteplotních palivových článků jsou schopny tyto vysokoteplotní palivové články využívat jako palivo nejen vodík, ale též směsi vodíku, oxidu uhelnatého, methanu a nižších uhlovodíků. Praktická aplikace palivových článků pro využití energetického plynu ze zplyňování biomasy a alternativních paliv ovšem stále naráží na nutnost vyčistit plyn na velmi vysokou úroveň, především na velmi nízké koncentrace sirných sloučenin a halogenovodíků. Na druhou stranu v důsledku vnitřního parního a suchého reformingu, který v palivových článcích (při vhodné konstrukci) probíhá, jsou typy SOFC relativně odolné vůči obsahu lehkých dehtů v plynu [7, 9]. Konkrétní požadavky výrobců SOFC na čistotu generátorového plynu jsou v níže uvedených bodech [9, 10]:

- Prach (tuhé znečišťující látky): $< 1 \text{ mg/m}^3$.
- Dehty (výše vroucí organické látky): $10\text{--}500 \text{ mg/m}^3$ – lehké polyaromatické sloučeniny, aromatické sloučeniny, heterocyklické sloučeniny, nutné dodržet velmi malé množství těžkých polyaromatických sloučenin. Molární poměr vodní páry a dehtu měl by být vysoký, aby se zabránilo tvorbě sazí zejména na anodě palivového článku.
- Sirné sloučeniny ($\sum \text{H}_2\text{S}, \text{COS}, \text{CS}_2$, organické sloučeniny): jednotky ppm_v. Pokud je možné, je lepší snížit koncentraci sirných sloučenin pod jedno ppm_v.
- Halogenovodíky ($\sum \text{HCl}, \text{HF}, \text{HBr}$): jednotky ppm_v. Pokud je možné, je lepší snížit koncentraci sirných sloučenin pod jedno ppm_v.
- NH₃ a jiné dusíkaté sloučeniny: limitní obsah není specifikován. Pravděpodobně je citlivost na HCN; NH₃ pravděpodobně nezpůsobuje problém ani vyšších koncentracích, protože se na anodě katalyticky rozkládá na H₂ a N₂.

Jak je uvedeno výše, klíčovým problémem zůstává odstranění kyselých složek generátorového plynu, přičemž pro odstranění prachu a alkálií lze použít již existující průmyslová řešení. Příkladem výrobců vysokoteplotních keramických filtračních elementů na bázi SiO₂, Al₂O₃ či SiC jsou: Caldo, Rath, Porvair Filtration Group, PAL Schumacher, BWF-Pyrotex apod.

3 Alternativní pevná paliva

Mezi alternativní pevná paliva (jako náhrada za uhlí) patří paliva na bázi biomasy (v normách jsou označována jako tuhé biopalivo) a paliva na bázi odpadů (v normách jsou označována jako tuhé alternativní palivo – TAP, ve starší literatuře tuhá topná směs – TTS, v anglosaské literatuře refuse derived fuel – RDF nebo solid recovered fuel – SRF). Tuhé alternativní palivo je vytříbená (oddělená) část komunálního odpadu, tzv. lehká frakce a je tvořená zejména papírem a plasty. Biomasu můžeme dále dělit na dřevní biomasu neboli dendromasu, (lignocelulozová biomasa) a zemědělskou (rostlinnou) biomasu – travu, slámu apod.

Obsah problematických prvků v pevném palivu (S, Cl nebo Br) determinuje způsob snížení jejich obsahu v generátorovém plynu na velmi nízké hodnoty vhodné pro vysokoteplotní palivové články s tuhým elektrolytem. Obsah chloru v dřevní biomase je obvykle velmi nízký ($< 0,1 \text{ hm. } \%$), typicky $0,01 \text{ hm. } \%$ a v zemědělské biomase je násobně až řádově vyšší a pohybuje se v intervalu $0,05$ až $1,1 \text{ hm. } \%$. Obsah síry závisí na lokalitě



(obsahu síry v půdě) a na rychlosti růstu rostliny a pohybuje se mezi 0,01–0,5 hm. % (obvykle méně než 0,1 hm. %) [11, 12].

Obsah chloru v tuhém alternativním palivu je v kombinaci s výhřevností a obsahem Hg klíčovým faktorem pro jeho klasifikaci, např. dle EN 153 59. Obsah chloru je závislý hlavně na množství PVC v TAP a obsah bromu závisí zejména na přítomnosti textilu a podlahových materiálů (koberců apod.), protože sloučeniny bromu jsou využívány jako zpomalovače hoření. Celkový obsah chloru a bromu v TAP je obvykle nižší než 0,5 hm. % a závisí zejména na lokalitě a způsobu přípravy [12].

4 Zplyňovací generátory a čistící trať

Proces zplyňování diskutovaných pevných paliv ve výkonové řadě desítek kW_e až jednotek MW_e může být realizován ve vícestupňovém generátoru, v sesuvném souproudém generátoru, nebo fluidním generátoru se stacionární katalyticky aktivní vrstvou přičemž obsah dehtů v plynu stoupá od vícestupňového generátoru (velmi nízký obsah dehtu, obvykle méně než 50 mg/m³), přes sesuvné souproudé generátory (nízký obsah dehtu, obvykle méně než 500 mg/m³) po fluidní generátory, kde obsah dehtu je závislý na použití materiálu fluidní vrstvy [2]. Při užití katalyticky aktivního materiálu fluidní vrstvy (typicky směs písku, vápence, či dolomitu) je obsah dehtů v plynu menší než 500 mg/m³, což je množství přijatelné pro SOFC [6, 13–15]. Tolerance na kvalitu paliva (podíl jemné frakce, homogenitu paliva apod.) klesá od fluidních generátorů přes vícestupňové generátory, po sesuvné souproudé generátory. Další nezpochybnitelnou výhodou fluidních generátorů je možnost primárního (hrubého) odstranění síry a chloru přímo ve vrstvě, což zjednodušuje čistící trať plynu pro kogenerační jednotku [13–16]. Ostatní generátory nejsou vhodné jako zdroj plynu pro SOFC z důvodu jejich větších výkonových měřítek – generátory s cirkulující fluidní vrstvou a hořákové generátory, nebo proto, že plyn obsahuje nepřiměřeně velké množství dehtů a organických sloučenin síry, jejichž čištění je velmi problematické – protiproudé a příčné sesuvné generátory a duální fluidní generátory. Návrh čistící trati pro vícestupňové a fluidní generátory, jejíž součástí je diskutované odstranění kyselých složek plynu, je uvedeno níže:

Zplyňovací generátor → primární hrubé odprášení → primární sorpční reaktor pro hrubé odstranění kyselých složek plynu na bázi vápence, či dolomitu (pouze u vícestupňového generátoru) → primární výměník → primární jemné odprášení (keramický filtr) → sorpční reaktor pro odstranění halogenvodíků → sorpční reaktor pro odstranění sirných sloučenin → sekundární jemné odprášení (sorpce nebo/a filtrace alkalických par) → ohřev plynu (rekuperace tepla) → terciární ultra jemné odprášení na keramickém filtru → ohřev plynu (částečné spálení plynu čistým kyslíkem) 700–1000 °C → SOFC.

5 Odstraňování halogenvodíků – dehalogenace plynu

Pro účely vysokoteplotního odstraňování halogenvodíků lze sorbenty rozdělit dle následujícího schématu:

- přírodní
 - vápenato-hořečnaté směsi,
 - jílovité materiály,
 - sloučeniny na bázi alkalických kovů,
- syntetické



- komerční sorbenty připravené na bázi uvedených přírodních materiálů (např. NaHCO_3 , Na_2CO_3),
- hydroxidy nebo uhličitany alkalických kovů nanesené na porézním nosiči (např. Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2) – Na, či K tvoří obvykle 5–15 hm. % sorbentu.

Bez ohledu na odstraňovanou látku by sorbent měl mít několik základních vlastností. Zaprvé se jedná o **dostatečnou afinitu sorbentu k zachycované látce**. Většinou se nejedná o čistou povrchovou sorpci a z toho důvodu je důležitá také **pórovitost materiálu**. Další vlastností je **mechanická odolnost**, jelikož by nemělo docházet k jeho rozpadu. Malé částice by mohly snadno způsobit zanesení zařízení. Ze stejného důvodu je také důležitá **teplotní odolnost** materiálu, jelikož provozní teplota těchto zařízení se pohybuje v teplotním intervalu 400–600 °C. Volbu materiálu lože ovlivňuje v neposlední řadě také jeho **cena** [17–19].

Po výběru vhodného sorbentu je pro proces sorpce neméně důležité správné nastavení provozních parametrů v zařízení, ve kterém sorpce probíhá. Základními parametry jsou **teplota** a **tlak**. Se zvyšující se teplotou roste užitná kapacita sorbentu a rovnovážná tenze par halogenovodíků, ovšem jen do určité hodnoty, pak totiž následuje prudký zlom (pokles) v důsledku tavení chloridů. Vedle reakční kinetiky je sorpce ovlivňována **rychlostí přestupu hmoty**, **difuzí**, dále **prostorovou rychlostí**. Z vlastností generátorového plynu je potřeba sledovat **vstupní koncentraci odstraňované látky**, **vodní páry**, **oxidu uhličitého** a marginálně dalších složek. Neméně důležité jsou **doba expozice sorbentu** generátorovému plynu a **typ zplyňovacího zařízení** [19, 20].

5.1 Shrnutí dehalogenace

Sorpce halogenovodíků: Palivo zemědělská biomasa či alternativní palivo → primární sorpce halogenovodíků na sorbentech na bázi kovů alkalických zemin (vápenec, či dolomit), sekundární sorpce na sorbentech na bázi alkalických kovů (Na, K). Palivo dřevní biomasa → sorpce na sorbentech na bázi alkalických kovů (Na, K). Výhody K-sorbentů proti Na-sorbentům: přívětivější rovnováha s halogenovodíky, nevýhody: vyšší cena, vyšší tenze par K než Na (draselných než sodných sloučenin) [10, 21, 22].

5.2 Příklady našich experimentálních výsledků

Na níže uvedených grafech je vidět vliv prostorové rychlosti (Obr. 1) a parciálního tlaku H_2O (g) a CO_2 (Obr. 2) na kapacitu sorbentu vyjádřenou jako relativní doba sorpce.

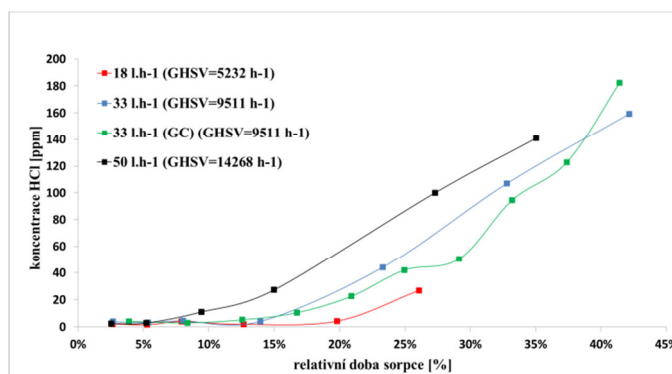
Bylo zjištěno (ověřeno), že snížením prostorové rychlosti dochází ke značnému prodloužení doby, po kterou je výstupní koncentrace chlorovodíku v modelovém plynu pod limitem 10 ppm_v [24].

Experimenty prokázaly, že vliv parciálního tlaku vodní páry v modelovém plynu je silný a snižuje skutečnou dobu průniku [23].

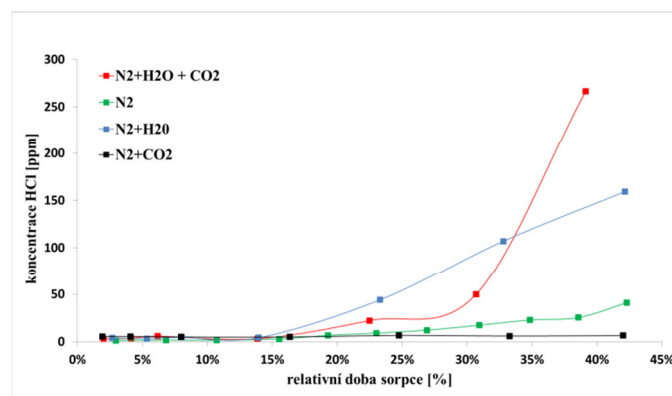
Experimenty prokázaly, že vliv parciálního tlaku CO_2 v modelovém plynu je pravděpodobně pozitivní a zvyšuje skutečnou dobu průniku [23].



Výsledkem měření by měl být návrh čistící trati schopné snížit koncentraci halogenovodíků na hodnoty přijatelné pro SOFC za přijatelných nákladů.



Obr. 1 Závislost výstupní koncentrace HCl na stupni využití sorbentu pro různé prostorové rychlosti. (Pro měření byl použit sorbent skládající se z Na a nosiče. Nosičem byla γ -alumina s obchodním názvem Condea. Pracovalo se při konstantním složení plynu 240 ppm_v HCl, 38 obj. % H₂O a 62 obj. % N₂. Objem sorbentu byl 10 ml a výška vrstvy sorbentu byla 6,5 cm. $t_{sorpce} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = \text{cca } 1\text{ bar}$) [23]



Obr. 2 Závislost výstupní koncentrace HCl na stupni využití sorbentu pro různé plyny. (Pro měření byl použit sorbent skládající se z Na a nosiče. Nosičem byla γ -alumina s obchodním názvem Condea. Pracovalo se při konstantním složení plynu 240 ppm_v HCl, 38 obj. % H₂O + CO₂ a 62 obj. % N₂. Prostorová rychlost byla 9000 h⁻¹ (500 °C). Objem sorbentu byl 10 ml a výška vrstvy sorbentu byla 6,5 cm. $t_{sorpce} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = \text{cca } 1\text{ bar}$).[23]

6 Odstraňování sirných sloučenin – desulfurizace plynu

Pro odstranění sirných sloučenin (zejména H₂S, COS) za teplot 350–550 °C se dají využít hlavně sorbenty na bázi zinku (ZnO), často s přídatkem CuO (např. stabilizovaný Cr₂O₃), MnO nebo Ni. Nosičem aktivního sorbentu může být alumina nebo TiO₂, či ZrO₂ (např. Zn₂TiO₄ má větší plochu a nižší volatilitu Zn než prostý ZnO) [10, 25, 26]. Při vyšších koncentracích HCl v plynu bývá nutné napřed odstranit HCl, protože Zn-sorbenty se reakcí s HCl deaktivují, taví a dokonce i částečně těkají. Dosažitelné nízké koncentrace zbylých sloučenin síry jsou závislé zejména na teplotě sorpce a na obsahu vodní páry v plynu. Důležitá je ovšem schopnost sorbentů vázat a odstraňovat organické sloučeniny síry (hlavně thiofen). Proto je velmi výhodné využít jako zdroj plynu víceetapňový generátor, či fluidní



generátor se stacionární katalyticky aktivní vrstvou na bázi vápenato-hořečnatých materiálů, protože (1) ve vícestupňovém generátoru dochází v parciálně-oxidační komoře k rozkladu organicky vázané síry na H_2S , či COS – poměr produktů závisí na parciálním tlaku vodní páry, (2) ve fluidním generátoru dochází k částečnému katalytickému rozkladu organicky vázané síry zejména na H_2S .

7 Závěr

Cílem práce je návrh čistící tratě, která bude schopná snížit koncentraci nežádoucích složek plynu na hodnoty přijatelné pro dlouhodobý a ustálený provoz palivového článku typu SOFC. Jednotlivé dílčí znalosti (nadějný sorbent, optimální provozní podmínky a uspořádání sorpce) budou testovány na reálném zařízení v areálu firmy TARPO na vícestupňovém generátoru o tepelném výkonu 700 kW_t a elektrickém výkonu 200 kW_e při využití produkovaného plynu jako paliva ve spalovacím motoru s elektrickým generátorem [27].

Poděkování a dodatek

Tato práce vznikla díky finanční podpoře projektů Grantové agentury české republiky č. 14-09692J, Technologické agentury České republiky BROZEN č. TA01020366 a podpoře projektů Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. 20/2014 (specifický vysokoškolský výzkum).

Príspevek vznikl neformální konstruktivní spoluprací ve „společné“ laboratoři na Ústavu chemických procesů AV ČR a na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze.

Použitá literatura

- [1] Higan Ch., Van Der Burgt M. (Eds): Gasification. Gulf Professional Publishing. Elsevier Science, Boston (2008).
- [2] Knoef H. A. M.: Handbook Biomass Gasification. BTG Biomass Technology Group, Nederland (2005, 2012).
- [3] Pohořelý M., Vosecký M., Hejdová P., Punčochář M., Skoblia S., Staf M., Vošta J., Koutský B., Svoboda K.: Gasification of Coal and PET in Fluidized Bed Reactor. Fuel 85(17–18), 2458–2468 (2006).
- [4] Pohořelý M., Jeremiáš M., Skoblia S., Vosecký M., Kameníková P., Šyc M., Tošnarová M., Punčochář M., Svoboda K.: Alotermní fluidní zplyňování biomasy. Paliva 1, 23–30 (2010).
- [5] Pohořelý M., Svoboda K., Jeremiáš M., Skoblia S., Kameníková P., Beňo Z., Šyc M., Punčochář M., Janda V., Durda T., Krček M., Tošnarová M., Hartman M.: Spolu-zplyňování uhlí a dřevní biomasy ve fluidní vrstvě. Paliva 4(4), 128–140 (2012).
- [6] Pohořelý M., Jeremiáš M., Svoboda K., Kameníková P., Skoblia S., Beňo Z.: CO_2 as Moderator for Biomass Gasification. Fuel 117(Part A), 198–205 (2014).
- [7] Svoboda K., Hartman M., Trnka O., Čermák J.: Vysokoteplotní palivové články, vhodná paliva a možnosti jejich využití. Chem. Listy 97(1), 9–23 (2003).
- [8] Čermáková J., Polák L., Doucek A.: Vysokoteplotní palivové články. Paliva 5(2), 63–70 (2013).



- [9] Pohořelý M.: Vliv reakčních podmínek na fluidní zplyňování uhlí, dřeva a plastů. Ph.D. Disertace. VŠCHT Praha, Praha 2010.
- [10] Aravind P.V., Wiebren de Jong: Evaluation of High Temperature Gas Cleaning Options for Biomass Gasification Product Gas for Solid Oxide Fuel Cells. *Progress in Energy and Combustion Science* 38, pp. 737–764 (2012).
- [11] Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G.: An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 89, 913–933 (2010).
- [12] Energy Research Centre of the Netherlands (ECN): Phyllis the Composition of Biomass and Waste, dostupné z: <http://www.ecn.nl/phyllis/>.
- [13] Pohořelý M., Jeremiáš M., Beňo Z., Skoblia S., Kameníková P., Cabáková G., Barger A., Durda T., Šyc M., Punčochář M., Svoboda K.: Zplyňování ligno-celulóзовé biomasy ve fluidní vrstvě písku a směsi písku s dolomitickým vápencem. *ENERGIE Z BIOMASY XIII*, Sborník příspěvků z odborné konference, pp 75-94, Lednice, Czech Republic, 27-29 November 2012.
- [14] Pohořelý M., Jeremiáš M., Beňo Z., Skoblia S., Kameníková P., Cabáková G., Barger A., Durda T., Šyc M., Punčochář M., Svoboda K.: Zplyňování ligno-celulóзовé biomasy ve fluidní vrstvě písku a směsi písku s dolomitickým vápencem. dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-ligno-celulozove-biomasy-ve-fluidni-vrstve-pisku-a-smesi-pisku-s-dolomitickym-vapencem>.
- [15] Pohořelý M., Jeremiáš M., Kameníková P., Svoboda K., Skoblia S., Beňo Z., Durda T., Barger A., Šyc M., Hartman M., Punčochář M.: Gasification of Ligno-Cellulosic Biomass in a Fluidized Bed of Sand and a Mixture of Sand with Dolomitic Limestone. *International Conference on Polygeneration Strategies 13, Proceedings (full text on CD-ROM, pp. 1–15)*, Vienna, Austria, 03-05 September 2013.
- [16] Svoboda K., Pohořelý M., Jeremiáš M., Kameníková P., Skoblia S., Beňo Z., Šyc M.: Concentration of HCl, HF and Sulfur Compounds in Fuel Gas from Fluidized Bed Gasification of Coals and Wood by Steam-Oxygen Mixtures. *20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012 and 15th Conference PRES 2012, Final Program (19 pp. full text on CD-ROM)*, p. P3.199, Prague, Czech Republic, 25–29 August 2012.
- [17] Simmel, P. A.; Jukka, K.; Leppälahti, J. K.; Kurkela, A. Tar-Decomposing Activity of Carbonate Rocks under High CO₂ Partial Pressure. *Fuel* 74, 938–945 (1995).
- [18] Bradáčová, K. Koza, V.; Machač, P.; Pekárek, P. Příprava sorbentů pro čištění generátorového plynu. *Energie z biomasy IX* pp 41–45, odborný seminář; VUT Brno, listopad (2008).
- [19] Cabáková G.: Vysokoteplotní čištění generátorového plynu ze zplyňování biomasy – odstraňování halogenidů. Diplomová práce, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav energetiky (2012).
- [20] Pohořelý M., Cabáková G., Skoblia S., Parschová H., Jeremiáš M., Svoboda K., Hartman M.: Vliv parciálního tlaku vodní páry a prostorové rychlosti na odstranění HCL z plynu pomocí sorbentů na bázi alkalických kovů. *Chemie energetických oběhů CHEO 9, Sborník přednášek*, pp. 260-267, Praha, Czech Republic, 05-06 September 2012.
- [21] Krishnan GN, Gupta RP, Canizales A, Shelukar S, Ayala RE. Removal of hydrogen chloride from hot coal gas streams. In: Schmidt E, editor. *Third international symposium and exhibition: gas cleaning at high temperatures;1996*. p. 405 14. Karlsruhe (Germany).



-
- [22] Krishnan GN, Gupta RP. Development of disposable sorbents for chloride removal from high temperature coal-derived gases, Final Technical Report contract DE-AC21e93MC30005e02. SRI International, Research Triangle Institute; 1999.
- [23] Šustr V. Vysokoteplotní odstraňování chlorovodíku z modelového generátorového plynu pomocí sorbentu na bázi sodíku. Bakalářská práce, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav energetiky (2013).
- [24] Cabáková G.: Vysokoteplotní čištění generátorového plynu ze zplyňování biomasy – odstraňování halogenidů. Diplomová práce, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav energetiky (2012).
- [25] Meng X., de Jong W., Pal R., Verkooijen A.H.M.: In bed and downstream hot gas desulfurization during solid fuel gasification: A review, Fuel Proc. Technol. 91, 964–981 (2010).
- [26] Hartman M., Svoboda K., Trnka O., Veselý V.: Odsiřování horkého generátorového plynu tuhými sorbenty. Chem. Listy 93, 99-106 (1999).
- [27] CPGA, dostupné z: <http://www.cpga.cz/>.