

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Výzkumné energetické centrum



## ENERGIE Z BIOMASY VI

Sborník příspěvků ze semináře



Ostrava 2007

editor  
Ing. Miroslav Kyjovský

# ENERGIE Z BIOMASY VI

Sborník příspěvků ze semináře

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
Výzkumné energetické centrum  
2007

Publikace je sborníkem příspěvků ze semináře Energie z biomasy VI, který se konal v rámci stejnojmenného projektu GA ČR 101/03/H064 ve dnech 22. a 23. května 2007 v Ostravě. Články jsou dílem autorů výzkumných a akademických pracovišť v České republice a Slovenské Republice, zabývajících se tematikou biomasy jako obnovitelného zdroje energie.

Editor: Ing. Miroslav Kyjovský

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Výzkumné energetické centrum, v Ostravě 2007

Články nebyly obsahově pozměňovány a neprošly jazykovou úpravou

**ISBN 978-80-248-1535-0**

## PŘEDMLUVA

Projekt „Energie z biomasy“, podporovaný Grantovou agenturou České republiky jako doktorský projekt GA ČR 101/03/H064, má za cíl podpořit výzkumné aktivity doktorandů v této nové a rozvíjející se oblasti. Bezprostředně v něm působí doktorandi z Vysoké školy báňské – Technické univerzity v Ostravě a Vysokého učení technického v Brně. Jednou z úloh projektu je organizování pravidelných seminářů, umožňujících doktorandům veřejně představit výsledky vlastní experimentální a výzkumné činnosti a vytvořit vhodné prostředí pro odbornou diskuzi. O tom, že se tento záměr daří uskutečňovat, svědčí konání již šestého odborného semináře v květnu 2007 v Ostravě, a že je tento záměr smysluplný, dokazuje účast doktorandů z pracovišť, která nejsou přímými účastníky projektu, jako jsou VŠCHT Praha, TU Košice, ŽU Žilina. S vědomím významu takto pojatých seminářů pro rozšíření a prohloubení odborných znalostí, a to je jedním z hlavních cílů projektu, bude vedení projektu věnovat trvalou pozornost jejich organizaci a odborné náplni a bude trvale podporovat účast doktorandů z dalších vysokých škol, nejen technického zaměření. Problematika energetického využívání biomasy je zaměřena do budoucnosti, je náročná a vyžaduje multioborovou spolupráci.

Prof. Ing. Pavel Noskievič, CSc.  
vedoucí projektu

## OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| Marek BALÁŠ, Martin LISÝ, Přemysl KOHOUT, Ladislav OCHRANA, Sergej SKOBLIA<br><b>Katalytické čištění energoplynu .....</b>   | <b>7</b>  |
| Michal BRANC<br><b>Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy - 2. etapa projektu řešeného v rámci programu INTERREG IIIA .....</b>  | <b>13</b> |
| Sylvia BUČKOVÁ<br><b>Možnosti snižování NO<sub>x</sub> emisí po spalování zemního plynu metodou reburning s biomasou .....</b>   | <b>18</b> |
| Ivana FEDOROVÁ, PETER PILÁT, Jozef JANDAČKA<br><b>Výpočet a meranie obsahu emisií pri spalovaní dreva .....</b>  | <b>24</b> |
| Zdenko HORVÁTH, Alexander ČAJA<br><b>Optimalizácia prúdenia vzduchu v teplovzdušnom agregate .....</b>   | <b>30</b> |
| Přemysl KOHOUT, Hugo ŠEN<br><b>Aplikace spalovacích motorů do technologie fluidního zplyňování .....</b>   | <b>36</b> |
| Miroslav KYJOVSKÝ<br><b>Hodnocení vlivu různých forem paliva na kvalitu plynu ve zplyňovacím procesu ...</b>   | <b>42</b> |
| Pavel MACHAČ, Václav KOZA, Petr PEKÁREK, Kateřina BRADÁČOVÁ, Pedro Delgado MONIZ<br><b>Adsorpce H<sub>2</sub>S, HCl a HF z generátorového plynu na komerčních a karbonátových sorbentech .....</b> | <b>48</b> |
| Vítězslav MÁŠA, Lukáš URBAN<br><b>Nový typ zařízení pro spalování biomasy a fytomasy II. Zvyšování termické účinnosti a řízení .....</b>   | <b>54</b> |
| Marian MIKULÍK, Jana MÜLLEROVÁ<br><b>Technológia výroby metylesterov repky olejnej .....</b>   | <b>60</b> |
| Pavel MILČÁK<br><b>Problematika energetického využívání kalů z čistíren odpadních vod .....</b>  | <b>66</b> |
| Jan NAJSER<br><b>Výroba elektřiny zplyňováním biomasy v ČR a v zahraničí .....</b>   | <b>70</b> |
| Jana NALEVANKOVÁ, Tomáš SUCHÝ, Mária BUDAYOVÁ, Sylvia BUČKOVÁ<br><b>Možnosti využitia biomasy vo fluidných reaktoroch .....</b>  | <b>76</b> |

|   |            |
|---|------------|
| Jaroslav PAVLŮ, Pavel ŠUMPELA<br><b>Vývoj teplárenských technologií využívajících biomasu jako paliva do výkonu 10 MW .....</b>                     | <b>81</b>  |
| Lukáš PILAŘ , Pavel KOLAT , Bohumír ČECH<br><b>Spalovací test se směsí biopelet sušlet a hnědého uhlí .....</b>                                     | <b>88</b>  |
| Peter PILÁT, Radovan NOSEK, Blanka PAULINYOVÁ<br><b>Využití solárnej energie pri chladení sorpčními chladiacimi systémami</b>                       | <b>96</b>  |
| Diana SEDLÁČKOVÁ, Sergej SKOBLJA<br><b>Porovnání vlastností dřevěných pelet a pelet z bylin stanovovaných podle technických standardů CEN .....</b> | <b>101</b> |
| Pavel ŠUMPELA, Jaroslav PAVLŮ<br><b>Využití bioplynu z anaerobní digesce v dopravě .....</b>  | <b>108</b> |
| Lukáš URBAN, Vítězslav MÁŠA<br><b>Nový typ zařízení pro spalování biomasy a fytomasy I. Technologie a koncepce experimentální jednotky .....</b>    | <b>114</b> |

## KATALYTICKÉ ČIŠTĚNÍ ENERGOPLYNU

**Marek Baláš, Martin Lisý, Přemysl Kohout, Ladislav Ochrana, Sergej Skoblia**

*Obnovitelné zdroje energie a především biomasa představují nezanedbatelný potenciál. Tento článek se věnuje problematice čištění plynu, generovaného při energetickém využití biomasy zplyňováním ve fluidním loži, použitím niklových katalyzátorů k redukci dehtu obsaženého v plynu. Článek se zabývá především deaktivací katalyzátorů vlivem zauhlíkování, slinování a otravou sloučeninami síry, rozborem metod snižujících rychlost deaktivace a shrnuje dosavadní poznatky z experimentů realizovaných na Stendu Biofluid 100 VUT v Brně.*

Klíčová slova: biomasa, deaktivace, niklové katalyzátory, dehet

### ÚVOD

Hlavním problémem aplikace plynu ze zplyňování biomasy a odpadu k výrobě elektrické energie a tepla je jeho kontaminace dehtem (až jednotky  $\text{g}\cdot\text{m}_n^{-3}$ ). K odstranění dehtu z plynu je využíváno několik primárních opatření a sekundární metody, z nichž nejrozšířenější jsou mokrá vypírka a katalytická redukce. K čištění plynu od dehtu se dá také využít katalyzátorů kovových, běžně využívaných v petrochemickém průmyslu pro reforming nafty na syntetický plyn, pro odstraňování  $\text{CO}_2$ , získávání vodíku pro palivové články. Z katalyzátorů na kovové bázi je nejběžnější nikl nanesený na různých nosičích ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ). Používáním niklových katalyzátorů roste obsah  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}$  v plynu, metan a vyšší uhlovodíky jsou redukovány. Komerční niklové katalyzátory se vyskytují v různých tvarech, které nejsou mechanicky příliš pevné (křehkost, otěr) a jsou navrženy pro použití v reaktorech s pevným ložem.

Hlavními výhodami kovových katalyzátorů jsou možnost jejich provozu i za nižších teplot, několikanásobně vyšší aktivita, což umožňuje používání menšího množství katalyzátoru pro vyčištění plynu a tím i kompaktnější zařízení menších rozměrů (v porovnání s např. dolomitem). Aktivní složka se nanáší na pórovitou podložku, nejčastěji inertního materiálu. Vlastnosti katalyzátoru se často upravují pomocí tzv. aktivátorů a promotorů. Zjednodušený popis mechanismu pro katalytický reforming dehtu je podrobně popsán v literatuře [1].

### DEAKTIVACE NIKLOVÝCH KATALYZÁTORŮ

Nevýhodou kovových katalyzátorů je jejich poměrně snadná náchylnost k deaktivaci, tzn. ke ztrátě jeho aktivity, která je klíčovým parametrem pro životnost katalytické náplně. Deaktivace je způsobena kombinací vysokých teplot, přítomnosti uhlovodíků a vysokotlaké páry. Závislost parciálních tlaků reaktantů a produktů ukazuje mnoho studií. Deaktivace může být způsobena:

- blokováním aktivních center katalyzátoru v důsledku zauhlíkování
- katalytickými jedy ( $\text{H}_2\text{S}$ ) či látkami blokující porézní systém katalyzátoru (alk. kovy)
- nevratnými změnami systému nosič-katalyzátor (spékání, slinování)

Dalším provozním problémem je přítomnost prachu v plynu způsobující zanášení katalyzátoru. Proto se plyn musí odprášit. Plyn však obsahuje alkálie, a proto se odprášení za teplot nad  $700\text{ }^\circ\text{C}$  stává problematické. Alkalické kovy reagují při vysokých teplotách s materiálem keramických filtrů, což může vést k jejich znehodnocení. Důsledek deaktivace katalyzátoru je klesající produkce  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}_2$  a vzrůstající objem  $\text{CO}$  v plynu (Obr. 1).



pro bezpečný provoz reformingových katalyzátorů za vyšších teplot musí být poměr  $H_2S/H_2$  menší než  $7,5 \cdot 10^{-5}$ . Při teplotách pod  $500\text{ }^\circ\text{C}$  jsou zachycována i nižší množství  $H_2S$ .

Provozní efekt otravy sírou vyplývá z adsorpční kapacity, tedy především na niklovém povrchu. Při otravě sírou v katalytickém loži je absorpce síry v nových tvarech katalyzátoru (především děrované tvary) rychlejší než na klasických válečkových katalyzátorech. Mimoto pokles tlaku je nižší pro tvary s vnitřními dírami. Regenerace takto deaktivovaného katalyzátoru se provádí za zvýšené teploty vodíkem nebo vodní parou a je velice pomalá.

### **Deaktivace katalyzátoru slinováním**

Slinováním se zvětšuje velikost niklových krystalků, což má za následek zmenšování plochy povrchu a následně snižování aktivity katalyzátoru. Rychlost slinování niklových krystalků úzce souvisí s teplotou, morfologií povrchu, strukturou nosiče a podmínkami kalcinace a aktivace. U niklových katalyzátorů můžeme slinování očekávat nad teplotou  $591\text{ }^\circ\text{C}$ . Odolnost vůči slinování se zvyšuje volbou nosiče s termicky rezistentní mikroporézní strukturou, kde jsou jednotlivé krystalky vzájemně separovány vhodným tvarem podkladu [5,6].

## **OPATŘENÍ PROTI DEAKTIVACI**

Ze stručného přehledu deaktivace niklových katalyzátorů je zřejmé, že pro zajištění co nejpomalejší rychlosti deaktivace pro daný katalyzátor, je třeba nalézt co nejlepší provozní podmínky (teplotní pásmo, poměr množství plynu ku množství katalyzátoru, průtokovou rychlost plynu atd.) a učinit další opatření na základě výzkumu provedeného na konkrétních zařízeních. Pro snižování tvorby uhlíku lze použít dvě strategie. První je založena na zvýšení adsorpce páry na katalyzátoru se záměrem zabránit formování uhlíku na povrchu katalyzátoru. Nejpodstatnější faktor je poměr S/C – uhlíku v palivu ku množství vodní páry v plynu [4]. Druhá cesta spočívá v modifikaci povrchových reakcí díky přítomnosti jiného kovu. Deaktivace katalyzátoru vlivem usazování síry se v praxi řeší buď dostatečnou kapacitou katalyzátoru nebo ochranným ložem přeraženým před reaktor s niklem. Ochranné lože se nejčastěji skládá z kovových katalyzátorů na bázi zinku, mědi nebo železa.

### **Změna složení katalyzátoru**

Dosavadní zkušenosti s využitím komerčních katalyzátorů pro rozklad dehtu poskytují dobré podklady pro výzkum nových složení katalyzátorů vedoucích k optimalizaci požadovaných vlastností. Přidáváním aktivátorů a nosičů se zlepšuje životnost katalyzátorů a jejich odolnost vůči deaktivaci. Některé nové katalyzátory díky výzkumu mají vynikající účinnost odstraňování dehtu, vhodné mechanické vlastnosti pro použití ve fluidních reaktorech nebo dlouhou životnost, přesto životnost niklových katalyzátorů zůstává stále jejich největší slabinou. Bylo zkoumáno přidávání promotorů. Výsledkem těchto pokusů bylo zjištění, že promotory Li, K, Ca a Mg zvyšují odolnost proti sírové otravě niklových katalyzátorů. Přidávání lanthanu (La) zlepšujeme stabilitu katalyzátoru a snižujeme utváření uhlíku [7].

### **Vliv koncentrace a složení dehtu na deaktivaci katalyzátoru**

Obecně lze říci, že se zvyšující se koncentrací dehtu se zvyšuje i množství uhlíkových usazenin. V případě niklových katalyzátorů lze snížit nežádoucí deaktivaci zvýšením adsorpce vodní páry, a tím pádem zvýšením poměru S/C. Jako bezpečná hranice, při které neprobíhá zauhlíkování, se uvádí hodnota  $2 \div 2,5$ . Ovšem je nutné si uvědomit, že hodnota S/C je závislá na složení a koncentraci uhlovodíku, teplotě procesu a vlastnostech katalyzátoru. S rostoucí teplotou, poměrem S/C a parciálním tlakem vodíku rychlost deaktivace tohoto typu klesá. Opačně s rostoucím obsahem aromatických sloučenin rychlost narůstá.

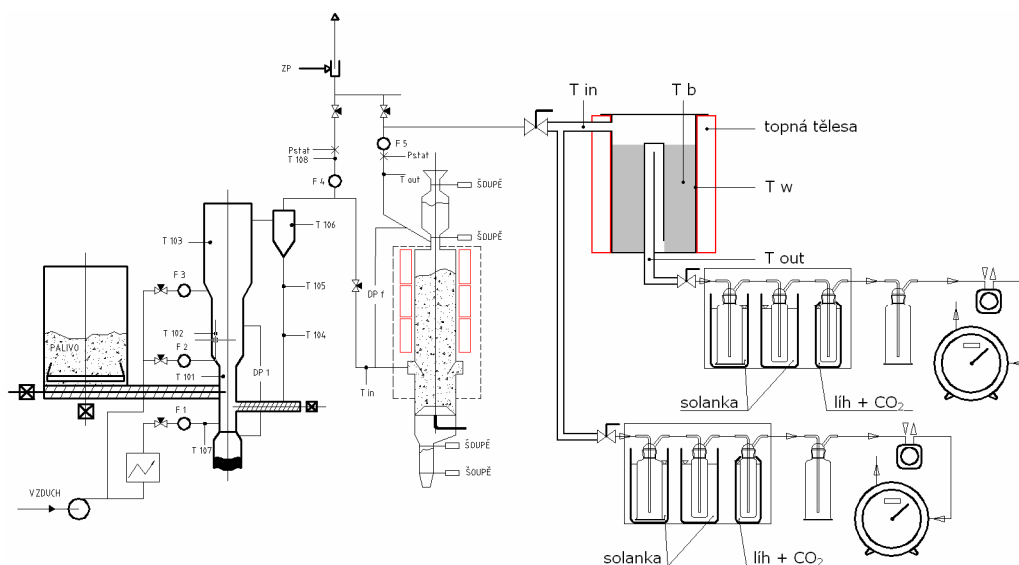
Katalyzátor prakticky pracuje v teplotním okně, kdy při teplotě nižší, než dolní hranice okna dochází na niklovém katalyzátoru k tvorbě polymerních povlaků zabraňujících přístup reaktantů k povrchu katalyzátoru a jeho deaktivaci. Při teplotách vyšších jak horní hranice dochází k tvorbě "vousatého uhlíku" a nastává postupné zanášení katalyzátoru. V rozmezí těchto dvou teplot pracuje katalyzátor bez nebezpečí zauhlíkování. Velikost tohoto pracovního okna je závislá na poměru S/C.

### Odstraňování síry

Síra je jedním z faktorů deaktivace niklových katalyzátorů. Proto je téměř nutným krokem odstranění síry z plynu před jeho vstupem do niklového lože. Vhodné sorbenty pro odstraňování sírných sloučenin jsou oxidy přechodových kovů a kovů alkalických zemin samotných, nebo v kombinaci s různými nosiči. Hlavní funkcí sorbentu je snížit koncentraci sírných sloučenin v plynu na úroveň požadovanou následnými procesy. Dalším požadavkem je, aby nezreagovaný sorbent byl stabilní. Při hledání optimálního sorbentu bylo provedeno mnoho studií. Zaměříme-li se na vysokoteplotní odsiřování, které lze provádět při teplotách v rozmezí 400÷900 °C, lze říci, že pro procesy odsiřování použít následující sloučeniny nebo jejich směsi: CaO, Fe a Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, Cu a CuO, ZnO, MnO. Více v literatuře [8].

## SOUČASNÝ STAV VÝZKUMU NI KATALYZÁTORŮ NA EÚ FSI V BRNĚ

Čištění energoplynu užitím niklových katalyzátorů je v současné době předmětem činnosti pracoviště Energetického ústavu FSI VUT v Brně. Jde o další krok při úpravě energoplynu generovaného jednotkou Biofluid 100, který má vést k dočištění plynu pro jeho využití v kogenerační jednotce. Biofluid 100 je atmosférický fluidní zplyňovací generátor se stacionární fluidní vrstvou. Podrobnější popis je v předešlých článcích autora, např. [9].



Obr. 3 Biofluid 100 a HKF s navrženou pokusnou tratí pro měření Ni katalyzátorů

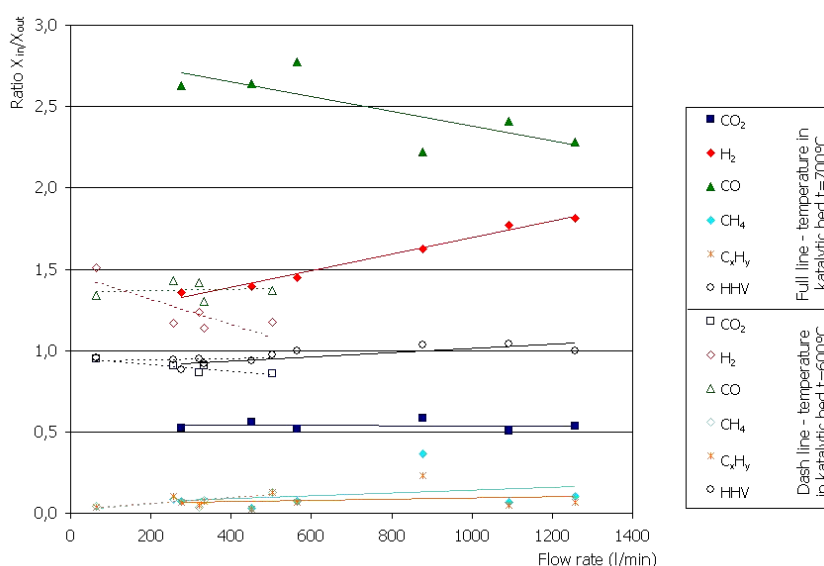
Dosavadní výzkum byl zaměřen na primární metody odstraňování dehtu a ke katalytickému štěpení v horkém katalytickém filtru (HKF) jehož náplní byl dolomit. Filtr s niklovými katalyzátory bude použit buďto namísto dosavadního HKF nebo jako poslední stupeň eliminace dehtu sloužící k vyloučení provozních výkyvů HKF. Pro testování katalyzátorů byly navrženy dvě měřicí trati:

- Pokusná trať – malý filtr zařazen za HKF (který zde slouží jako ochranné lože) pro průtoky cca 5 l.min<sup>-1</sup>. Filtr je otápěn keramickým topným tělesem a jeho max. náplň je 0,3 kg katalyzátoru. Trať je navržena pro pre-reformingové katalyzátory. Výhodou tohoto zařízení je sledování změn funkce katalyzátoru na malém vzorku, operativnější podmínky a nižší náklady (viz. Obr. 3).
- Provozní trať – filtrační nádoby dimenzované na plný průtok 30 m<sup>3</sup>.hod<sup>-1</sup> zařazené za HKF. Ten však nemusí být zapojen. Trať se skládá z ochranného lože (náplní jsou katalyzátory sloužící k odstranění síry) a vlastního filtru pro Ni katalyzátor.

První pokusy byly provedeny na pokusné trati na podzim roku 2006 a na jaře 2007. Cílem měření bylo testování katalyzátoru na bázi niklu a určení jeho vhodnosti pro použití při odstraňování dehtu z energoplynu generovaném v jednotce Biofluid 100. Jednalo se o první, pilotní měření, které mělo především otestovat měřicí trať a přinést první výsledky o deaktivaci katalyzátoru a jeho účinnosti při rozkladu dehtu.

| Generátor plynu   | Hořký filtr   | Niklový filtr   |
|---|---|---|
| Palivo: dřevní štěpka a hobliny                               | Náplň HKF: dolomit  | Doba pokusu: 5 hodin  |
| Teplota zplyňování: 820 °C                                    | Teplota lože HKF: 600 a 700 °C                                | Teplota: 600 °C   |
| Množství paliva: cca 9+12 kg.hod <sup>-1</sup>                | Množství náplně HKF: cca 60 kg                                | Množství náplně Ni: 330 g                                   |
| Množství vzduchu: 22 m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>        | Průtok plynu: cca 17 m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup>        | Průtok plynu: 4+6 l.min <sup>-1</sup>                       |
| Složení plynu: CO <sub>2</sub> = 19,02 %                      | Složení plynu: CO <sub>2</sub> = 17,96 %                      | Složení plynu: CO <sub>2</sub> = 15,51 %                    |
| CO = 8,86 %   | CO = 10,88 %  | CO = 15,44 %  |
| H <sub>2</sub> = 11,84 %                                      | H <sub>2</sub> = 15,15 %                                      | H <sub>2</sub> = 18,72 %                                    |
| CH <sub>4</sub> = 3,54 %                                      | CH <sub>4</sub> = 2,18 %                                      | CH <sub>4</sub> = 0,09 %                                    |
| Průměrné množství dehtu na výstupu: 2815,0 mg.m <sup>-3</sup> | Průměrné množství dehtu na výstupu: 1017,1 mg.m <sup>-3</sup> | Průměrné množství dehtu na výstupu: 78,5 mg.m <sup>-3</sup> |

Tab. 1 Přehled provozních podmínek a výsledků experimentů s Ni katalyzátory



Obr. 4 Poměr mezi vstupními hodnotami složky plynu a výhřevnosti a hodnotami výstupními

Pro měření byl navržena pokusná trať (viz Obr. 3). Jako palivo při experimentech byla použita dřevní štěpka. HKF byl otápěn na 600 °C (700 °C). Plyn byl do pokusného filtru odebírán za HKF (mezi HKF a hořákem). Před zahájením měření bylo nutno katalyzátor regenerovat pomocí vodíku. Během měření bylo sledován zejména průtok plynu a změny v jeho složení pomocí on-line analyzátoru, který snímal některé složky (CO, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>). Dále byly odebírány vzorky plnu do skleněných vzorkovnic a vzorky dehtu. Tyto vzorky byly

odebírány současně před a za filtrem. Souhrnné podmínky a výsledky jsou patrné z Tab. 1. Z množství dehtu v plynu je patrné, že použití niklových katalyzátorů je dobrou cestou pro redukci dehtu. Účinnost eliminace není příliš vysoká, avšak šlo pouze o první pokusy určené ke zjišťování reálných pracovních podmínek, které budou v dalších krocích optimalizovány.

## ZÁVĚR

Cílem výzkumné činnosti na Energetickém ústavu zapojení kogenerační jednotky spalující plyn generovaný v atmosférickém fluidním zplyňovači Biofluid 100. Pro tuto aplikaci je však potřeba z energoplynu odstranit nežádoucí látky, hlavně dehet a prach, které způsobují provozní problémy motoru. Jak ukázaly dosavadní výsledky aplikace katalyzátorů na bázi niklu, jsou niklové katalyzátory možnou cestou pro eliminaci dehtu. Je však nutno najít vhodné pracovní okno, kde nedochází k deaktivaci a katalyzátor má k odstraňování dehtu vysokou účinnost.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory Grantové agentury České republiky, projekt GAČR 101/06/0650 "Výzkum čištění energoplynu"

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Baláš, M.; Lisy, M.; P.; Šén, H.; Ochrana, L.: Deaktivace kovových katalyzátorů, sborník přednášek, Energie z biomasy V, 2006, VUT v Brně, FSI, ISBN 80-214-3310-8
- [2] Garcia, L., French, R., Czernik, S.; Chronet, E.: Catalytic Steam Reforming of Bio-oils for the Production of Hydrogen: Effect of Catalyst Composition. Applied Catalysis A: General 201 (2000), 225-239.
- [3] Trimm, D. L.: Coke Formation and Minimization During Steam Reforming Reactions. Catalysis Today 37 (1997) 233÷238, Elsevier
- [4] Rostrup-Nielsen, J. R.: Industrial Relevance of Coking. Catalysis Today 37 (1997) 225÷232, Elsevier
- [5] Bengaard, H. S. at al: Steam Reforming and Graphite Formation on Ni Catalyst. Journal of Catalysis 209 (2002) p. 209
- [6] Kim, J. H., Suh, D. J., Pakk, T. J., Kim, K.L.: Effect of Particle Size on Coking during CO<sub>2</sub> Reforming of CH<sub>4</sub> over Ni-alumina Aerosol Catalysts. Applied Catalysis A: General 197 (2000), 191. Elsevier
- [7] Ross, J. R. H.: Use of thermal analysis techniques in research on methanation catalysts. Analytical Proceedings 22 (1985) 236 – 244,
- [8] Solich, M., Skoblja, S., Koutský, B., Malecha, J.: Možnosti vysokotep. odstraňování sulfanu při zplyňování, Energie z biomasy III, Brno, 2004, ISBN 80-214-2805-8
- [9] Lisý, M., Baláš, M., Kohout, P., Ochrana, L.: Provozní podmínky vysokoteplotního katalytického filtru, Energie z biomasy IV. Brno, 2005, ISBN 80-214-3067-2

## TECHNOLOGIE PRO PŘÍPRAVU A ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY - 2. ETAPA PROJEKTU ŘEŠENÉHO V RÁMCI PROGRAMU INTERREG IIIA

**Michal Branc**

*Cílem příspěvku je seznámit účastníky semináře (čtenáře) o projektu „MOŽNOSTI LOKÁLNÍHO VYTÁPĚNÍ A VÝROBY ELEKTRINY Z BIOMASY“, který v současnosti probíhá na Výzkumném energetickém centru VŠB-TU Ostrava. Příspěvek se podrobněji věnuje studii věnované technologiím pro přípravu a energetické využití biomasy, databázi zdrojů na biomasu a II.DNI BIOMASY.*

Klíčová slova: biomasa, technologie, INTERREG IIIA

### ÚVOD

V současné době je na Výzkumném energetickém centru Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava řešeno několik projektů týkajících se biomasy. Jedním z projektů je projekt „MOŽNOSTI LOKÁLNÍHO VYTÁPĚNÍ A VÝROBY ELEKTRINY Z BIOMASY“, který bude přispívat ke zvýšení informovanosti státní správy, podnikatelské sféry a širokých vrstev obyvatelstva o reálných možnostech využití biomasy pro vytápění a výrobu elektrické energie.

Tento příspěvek stručně představuje studii „Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy“, která obsahuje řadu detailních informací o dále zmiňovaných technologiích. Dále příspěvek představuje projekt „MOŽNOSTI LOKÁLNÍHO VYTÁPĚNÍ A VÝROBY ELEKTRINY Z BIOMASY“ a aktivity vyvíjené v 2. etapě tohoto projektu, tj. II. DEN BIOMASY aj.

### O PROJEKTU

Projekt je řešen v rámci programu Evropské Unie nazvaného INTERREG IIIA. INTERREG patří mezi tzv. Iniciativy Evropských společenství. Iniciativy Společenství jsou programy navržené Evropskou komisí s cílem najít společná řešení problémů, které se dotýkají všech členských států. Pro programové období 2000 – 2006 se Iniciativa Společenství INTERREG IIIA zaměřuje na přeshraniční spolupráci sousedících regionů. Prezentovaný projekt působí pouze ve čtyřech krajích, a to v kraji Moravskoslezském a Zlínském na české straně hranice a Žilinském a Trenčianském na slovenské straně hranice.

Cílem projektu je napomoci zvýšení využívání obnovitelných zdrojů energie – biomasy, která má v daných regionech největší potenciál. Dalším cílem je podpora moderních topných zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie. Náhrada starších energetických zařízení využívajících fosilní paliva těmito zdroji by přinesla jak ekologická, tak socioekonomický užitek. Projekt se cíleně zaměřuje na určité skupiny, pro které může být biomasa zajímavá z různých pohledů. Jedním z cílů je rozšíření znalosti o reálných možnostech využití biomasy mezi široký okruh obyvatelstva. Dalším cílem projektu je pomoci státní správě – obcím v dotčeném regionu, které disponují dostatečnými zásobami energeticky využitelné biomasy nebo volných zemědělských ploch, s využitím tohoto cenného ekologického zdroje energie. Skupinou, která disponuje energeticky využitelným odpadem, jsou drobní podnikatelé a živnostníci, kteří tuto biomasu dosud nevyužívají. Projekt se také zaměřuje na podporu výroby elektrické energie z biomasy. Jednotlivé aktivity projektu byly představeny na

minulém semináři, v tomto příspěvku se budu zabývat aktivitami probíhajícími během 2. etapy projektu.



VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Výzkumné energetické centrum



Žilinská univerzita v Žiline  
Katedra energetické techniky

## AKTIVITY 2. ETAPY PROJEKTU

**a) Provozováno Konzultační centrum BIOMASA na půdě VŠB-TUO – bude poskytovat tyto bezplatné služby:** odborné konzultace, informace o druzích, vlastnostech a dostupnosti paliv na bázi biomasy, doporučení nejvhodnější technologie pro připravovaný realizační projekt, udržování aktuální databáze výrobců a distributorů různých druhů biopaliv, udržování aktuální databáze dodavatelů technologií z ČR a ze zahraničí, poskytování informačních materiálů.

### **b) Vypracování studie – Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy**

V této studii jsou informace týkající se technologií sklizně, úpravy a energetického využívání biomasy. Studie se zabývá sklizní a úpravou všech druhů biomasy, taktéž se zabývá všemi možnými druhy využívání biomasy – spalování, zplyňování, pyrolýza, reesterifikace, anaerobní a aerobní fermentace a alkoholové kvašení. V závěru studie je uveden soubor shromážděných informací o zdrojích využívajících biomasu v dotčených regionech.

### **c) Vypracování tematicky orientovaných metodických příruček**

Průběžná aktualizace údajů uvedených ve studiích a dále informace o možných dotacích na pořízení jednotlivých technologií.

### **d) Vypracování informačních listů o různých druzích biomasy**

Vlastnosti a možnosti využití jednotlivých druhů biomasy budou zpracovány do samostatných karet a budou bezplatně k dispozici při konzultacích v centrech – v rámci 2. etapy se jednalo o šťovík, pšenici, saflor, topol, vrbu, smrk a buk.

### **e) Uspořádání tematických dnů „II. Dne biomasy“ – Bystřice nad Pernštejnem**

Návštěva jedné z největších kotelen vč. rozvodů v ČR využívající biomasu.

- - návštěva zkušebního pole rychlerostoucích dřevin.
- - seminář o zkušenostech z výstavby a provozu kotelny, z pěstování rychlerostoucích dřevin a o aktuálním stavu právních předpisů v oblasti energetického využití biomasy - přednášel senátor Ing. Josef Novotný, dříve také starosta města a Ing. Miroslav Trnka, CSc. z firmy Zemservis, která obhospodařuje zkušební pole dřevin.
- - návštěva kotelny.

### **f) V provozu internetový portál ([www.biomasa-info.cz](http://www.biomasa-info.cz))**

Informace o aktivitách a výstupech projektu (volně ke stažení), kontakty na konzultační centra, informace o výrobcích a distributorech paliv a výrobců spalovacích zařízení na biomasu.



Obr. 1. Seminář – přednáší Ing. Miroslav Trnka, CSc.



Obr. 2. Seminář – přednáší senátor Ing. Josef Novotný

## ZDROJE VYUŽÍVAJÍCÍ BIOMASU V DOTČENÝCH REGIONECH

V tomto oddílu studie jsou shrnuty informace o jednotlivých aplikacích zdrojů využívajících biomasu. Jedná se jak o výtopny na štěpku, slámu či pelety, tak o bioplynové stanice a skládky tuhého komunálního odpadu.

Soubory dat o jednotlivých zdrojích nejsou jednotné, určité údaje provozovatelé neposkytují. U zdrojů z Moravskoslezského a Zlínského kraje obsahují data informace o umístění, název a údaje o kontaktní osobě. Dále následuje stručný popis zařízení, použité technologie, instalované výkony, rok uvedení do provozu a informace o provozovateli. Pro případné zájemce o shlednutí je důležitá informace o možnosti návštěvy zařízení. Soubor dat také poskytuje informace o druhu a spotřebě paliva, množství vyrobených energií, poskytnutých ekonomických parametrech a současném stavu zdroje. V závěru jsou uvedeny poskytnuté fotografie objektů.

Soubor dat o zdrojích v Žilinském a Trenčianském kraji je stručnější a týká se především použité technologie.

Mezi aplikacemi zdrojů na biomasu najdeme kotle o výkonech 20 kW až 16 MW a několik kogeneračních jednotek různého výkonu. Tento soubor dat může být pro rozšíření technologií na biomasu velice užitečný, jelikož si případný zájemce o vybudování zdroje může nalézt základní informace o podobném zdroji a kontaktovat provozovatele s žádostí o další informace nebo návštěvu.

**Dolní Tošanovice – výtopna na slámu a seno****Základní informace:**

Město/obec: Dolní Tošanovice 1  
 Název subjektu (organizace): TOZOS spol. s r.o.  
 Ulice, PSČ: 739 53 Hnojník  
 Kontakt: Ing. Váleček, ing. Bartoň, Hlisnikovská Dagmar, 558 694 271-3  
 E-mail: tozos@tozos.cz

Název: Vytápění biomasou – centrální výtopna v obci Vojkovice

- Popis: Kotelna je umístěna v Dolních Tošanovicích, okres Frýdek-Místek. V kotelně je instalován kotel o 420 kW. Pomocí kotelny je vytápěno středisko velkovýkrmny prasat v Dolních Tošanovicích.
- V provozu od roku: 1998, 1999
- Provozovatel: TOZOS spol. s r.o., Horní Tošanovice
- Možnost návštěvy: Ano, ale pouze ve Vojkovicích
- Investiční náklady: cca 1 851 000 Kč
- Typ kotle: TFS 420, výrobce Tractant Fabri Kolín
- Celkový instalovaný tepelný výkon: 420 kW
- Palivo: Lisovaná sláma, seno
- Roční spotřeba paliva: min. 250 tun/rok
- Popis systému: Jedná se o kotel, které slouží k vytápění a k ohřevu teplé vody ze 70 na 90 stupňů s regulačním rozsahem 25-100 %. Účinnost kotle udávaná výrobcem je 82 – 91 %. Jedná se o kotle teplovodní, plamencové s přirozenou cirkulací oběhové vody, podávání paliva (lisovaná sláma, seno) je šnekovým dopravníkem a jedná se o technologii firmy Tractant Fabri Kolín. Minimální výhřevnost paliva je 15 MJ/kg a množství spáleného paliva při jmenovitém výkonu je 130 -150 kg/hod.
- Roční provozní náklady: 300 000 Kč/rok na každý kotel
  - - doprava paliva: 50 000 Kč/rok na každý kotel
  - - běžná údržba: 50 000 Kč/rok na každý kotel
  - - mzdy obsluhy kotle: 200 000 Kč/rok na každý kotel
- Vlastník zařízení: TOZOS spol. s r.o.
- Provozovatel zařízení: TOZOS spol. s r.o.
- Roční úspora: 1 000 000 Kč
- Poznámky: Firma TOZOS spol. s r.o. získala dotaci 221 000 Kč a 179 000 Kč na oba kotle u České energetické agentury
- Současný stav: Kotel je plně funkční, spokojenost s instalací velmi dobrá, počet dnů odstávky za rok na středisku velkovýkrmny prasat 150 dnů.



Obr. 3 List o zdroji na biomasu

## ZÁVĚR

Možností energetického využití biomasy je spousta a každá technologie má své přednosti, nedostatky a specifika. Širší povědomí o těchto technologiích mezi širokou veřejností, pracovníky státní správy a podnikatelskou veřejností může být nápomocno jejich smysluplnému rozšíření a rozvoji, což by v důsledku mohlo vést k širšímu a efektivnějšímu využívání biomasy.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., BRANC, M. Technologie pro přípravu e energetické využití biomasy. Studie vypracována v rámci projektu „Možnosti lokálního vytápění výroby elektřiny z biomasy“, Výzkumné energetické centrum, Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1426-1.
- [2] Kolektiv autorů: Sborník příspěvků ze semináře: Biomasa jako zdroj energie, Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. 124 s. ISBN 80-248-1182-0

## MOŽNOSTI ZNIŽOVANIA NO<sub>x</sub> EMISIÍ PO SPAĽOVANÍ ZEMNÉHO PLYNU METÓDOU REBURNING S BIOMASOU

**Sylvia Bučková**

*Hlavným cieľom tohto článku je popísať reburningový proces ako veľmi účinnú metódu znižovania emisií NO<sub>x</sub>. Reburning je primárna metóda pre znižovanie emisií NO<sub>x</sub>, ktorá odstraňuje vznikajúce oxidy dusíka pri spaľovaní paliva, t.j. v ohnisku, použitím prídavného paliva jako redukčného agenta. Splyňovaním biomasy sa vyprodukuje energoplyn, ktorý môže byť použitý jako reburningové palivo. Príspevok popisuje experimentálne merania na Katedre pecí a teplotníky, TU KE, a návrh nového experimentálneho zariadenia pre proces reburning.*

Kľúčové slová: emisie NO<sub>x</sub>, reburning, energoplyn

### ÚVOD

Energetika sa vo veľkej miere podieľa na devastácii životného prostredia. Spaľovanie je najdôležitejší proces výroby energie vo svete, no na druhej strane aj hlavným zdrojom znečisťovania ovzdušia. Spaľovaním palív sa vytvára okolo 75 - 85 % emisií NO<sub>x</sub>, 55 - 80 % CO, 55 - 80 % prachových častíc a 100 % CO<sub>2</sub>. Súčasnú hodnotu emisných limitov sú každým rokom prísnejšie a preto spaľovacie procesy by mali byť optimalizované podľa energetických a environmentálnych kritérií. Význam zákonov na ochranu životného prostredia spočíva vo vytvorení účinného nástroja, ktorým sa dá regulovať úroveň znečistenia životného prostredia.

Emisie NO<sub>x</sub> patria medzi najnebezpečnejšie znečisťovatele a veľkou snahou je redukcia práve týchto emisií NO<sub>x</sub> použitím primárnych a sekundárnych metód. Reburning ako jedna z primárnych metód sa javí byť veľmi efektívnou metódou redukcie emisií NO<sub>x</sub>. Tento proces sa spolieha na stupňovité spaľovanie pre dosiahnutie redukcie NO<sub>x</sub> emisií. Hlavnou príčinou veľkého záujmu využívania metódy reburning je veľká efektívnosť tohto procesu (50 - 70% účinnosť) a relatívne nízke investičné náklady. Ako reburningové palivo je vo veľkej miere používaný zemný plyn, ktorý má prívlastok média 21. storočia avšak jeho rastúca cena nás núti zamýšľať sa nad využitím alternatívnych palív. Jedným z vhodných riešení je použitie biomasy ako reburningového paliva.

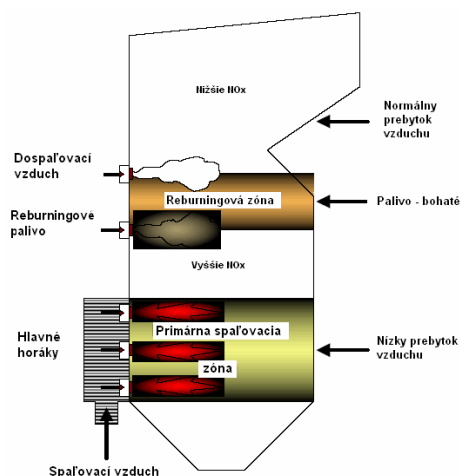
### REBURNING

Reburning je modifikáciou technológie spaľovania, ktorá odstraňuje vzniknuté NO<sub>x</sub> zo spaľovania použitím paliva ako redukujúceho agenta. Metóda znižovania je založená na princípe reakcie hydrokarbónových častíc s NO na molekulárny dusík N<sub>2</sub> a CO. Reburning môže byť aplikovaný na rôzne typy kotlov. Reburningové palivo môže byť také isté ako hlavné palivo alebo môže byť iného druhu ako uhlie, biomasa, plyn alebo olej. Bežná reburningová technológia je aplikovaná na kotly pomocou stupňovitého pridávania paliva a vzduchu do pece. Proces môže byť rozdelený do 3 zón ako znázorňuje obr.1.

Proces redukcie NO<sub>x</sub> emisií pomocou reburningu závisí od týchto parametrov:

- od typu reburningového paliva
- stechiometrie primárnej zóny

- času výdrže reaktantov v reburningovej zóne
- teploty v reburningovej zóne
- intenzity miešania reburningového paliva s primárnymi spalinami.[1]

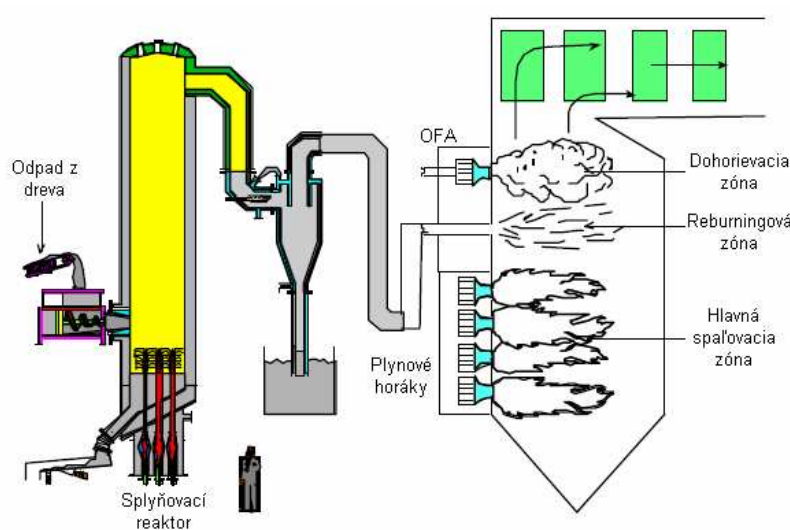


Obr. č. 1 Schéma reburningu [1]

## REBURNING BIOMASOU

Pokiaľ spaľovanie biomasy bolo úspešne demonštrované v niektorých uhlie spaľujúcich kotloch, biomasa môže byť použitá nad hlavné horáky ako reburningové palivo. Biomasa, ktorá môže zahŕňať drevný odpad, slamu, odpad z poľnohospodárstva atď. môže byť lacnejšia a má potenciál pre nižšie náklady na redukciiu  $\text{NO}_x$  v porovnaní s výkonnejším plynným a uhoľným reburningom.[1]

Splyňovaním biomasy v rôznych splyňovačoch sa vyprodukuje energoplyn, ktorý je možné využiť v procese reburningu. Kvalita produkovaného plynu má vplyv na účinnosť procesu reburningu. Kombinácia splyňovania a reburningu je znázornená na obrázku obr.2 [1]



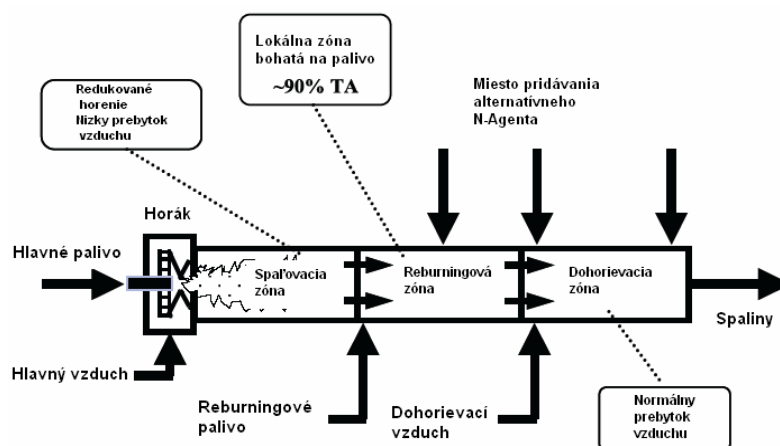
Obr. č. 2 Kombinácia splyňovania a reburningu [1]

## ROZŠÍRENÝ REBURNING BIOMASOU

Reburning a rozšírený reburning sú spaľovacie modifikácie technológií kontroly  $\text{NO}_x$ . Základný reburning a selektívna nekatalytická redukcia (SNCR) spolu sú známe ako rozšírený reburning (AR) (obr.3). Rozšírený reburning využíva N-agent na lepšiu redukciu  $\text{NO}_x$  ako základný reburning. N-agent môže byť injektovaný v niekoľkých konfiguráciách zahrňujúc: po prúde dospaľovacieho vzduchu, spolu s dospaľovacím vzduchom a do reburningovej zóny. N-agentom môže byť močovina alebo amoniak.[2]

- rozšírený reburning biomasou - chudobný (AR-Lean) -- Dusíkatý agent (močovina alebo amoniak) je injektovaný spolu s OFA. (ve stylu Odrážka1, klávesová zkratka ALT+O)
- rozšírený reburning biomasou - bohatý (AR-Rich) -- Dusíkatý agent (močovina alebo amoniak) je injektovaný do reburningovej zóny
- reburning biomasou + SNCR -- Dusíkatý agent (močovina alebo amoniak) je injektovaný po prúde OFA

Metódy AR-lean, AR-rich a Reburning + SNCR môžu byť použité spolu so sodíkovým testom, kde sodík môže byť vo forme  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , ktorý je rozpúšťaný do roztoku dusíkatého agenta. Na obr. 3 je schéma porovnania samotného reburningu s rozšíreným reburningom s rôznym injektovaním dusíka.

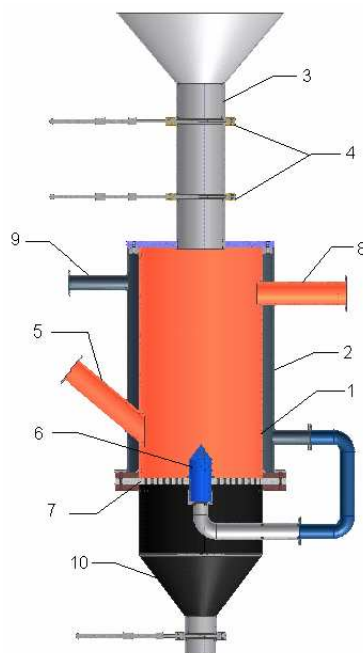


Obr. č. 3 Schematický diagram reburningu a rozšíreného reburningu [2]

## PROTIPRÚDNE SPLYŇOVACIE ZARIADENIE NA KPAT

Na Katedre Pecí a Teplotechniky HF v Košiciach bol navrhnutý protiprúdny splyňovací reaktor na splyňovanie dreveného odpadu. Z hľadiska konštrukcie a obsluhy splyňovacieho zariadenia patrí tento typ splyňovača medzi najjednoduchšie ale zároveň aj najspoľahlivejšie. Obr.4 znázorňuje splyňovač s popisom jednotlivých častí, ktorý bol navrhnutý v programe Autodesk Inventor 9 a následne postavený za pomoci firmy TEHO, s.r.o.

1) splyňovacie teleso, 2) vonkajší plášť, 3) zásobník paliva, 4) nožové uzávery, 5) zapalovací otvor, 6) tryska, 7) rošt, 8) odvod plynu, 9) vstup vzduchu, 10) zásobník popola



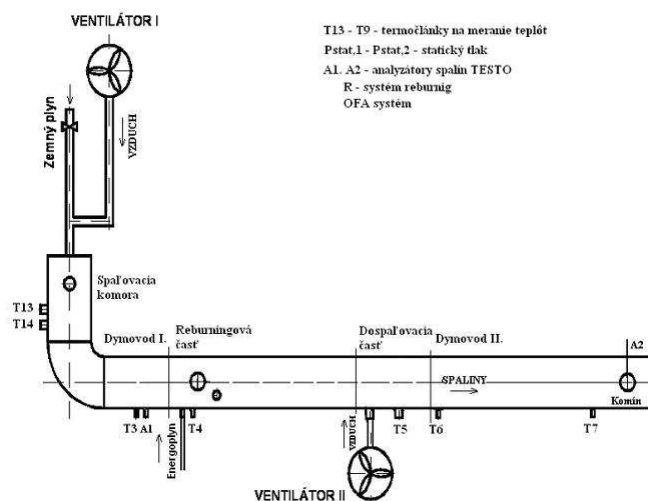
Obr. č. 4 Protiprúdne splyňovacie zariadenie

### EXPERIMENTÁLNE MERANIA NA KPAT

Základom celého procesu je palivo uložené na rošte v stacionárnej vrstve v splyňovacej časti zariadenia. Drevený odpad sa dostáva do splyňovacej časti cez 2 nožové uzávery cez ktoré prepadá na rošt. V strede roštu je umiestená tryska na prívod splyňovacieho vzduchu. Do splyňovacej časti sa zhora cez otvor v plášti vháňa vzduch. Biomasa sa zapáli vhodnou zápalnou látkou cez zapalovací otvor v dolnej časti plášťa (5). Počas procesu spaľovania sa zariadenie vyhrieva a dochádza aj k predohrevu vzduchu. Po dosiahnutí požadovanej teploty sa počiatkový prebytok  $m > 1$  znižuje na  $m < 1$  (cca. 0,7) a pri tomto prebytku vzduchu dochádza k splyňovaniu biomasy. Vzduch potrebný pre splyňovanie biomasy je predohrievaný v medzi-priestore vonkajšej strany steny splyňovača a vnútornej strany ochranného plášťa.

Pri prvých experimentoch sa splyňovalo kusové drevo z orecha a štiepky z rôzneho odpadového dreva (vľba, tuje, breza, borovica) o zrnitosti od 5 mm do 30 mm. Pri maximálnom výkone zariadenia sa produkuje  $150 \text{ m}^3$  plynu o výhrevnosti  $4,2 - 4,5 \text{ MJ.m}^{-3}$ . Výhrevnosť plynu bola stanovená kalorimetrom v laboratóriách Katedry pecí a teplotníky. Maximálna spotreba paliva je cca.  $50 \text{ kg.h}^{-1}$  dreveného odpadu a štiepky. Maximálny výkon kotla v plyne je 230 kW. Teplota produkovaného plynu sa pohybuje v intervale od 180 do 230 °C a teplota predohrevu vzduchu cca. 250°C. [3]

Tento vyrobený produkovaný energoplyn bol ďalej použitý v ďalšom experimentálnom zariadení vid'. obr. 5, postavenom takisto na Katedre pecí a teplotníky za účelom znižovania emisií po spaľovaní zemného plynu.



Obr. č. 5 Schéma experimentálneho zariadenia pre reburning s biomasou

V hlavnej spaľovacej komore experimentálneho zariadenia pre reburning sa spaľovalo ako hlavné palivo zemný plyn. Vplyv metódy reburning na tvorbu oxidov dusíka sa skúmal v oblasti teplôt 1190 – 1300 °C, kedy dochádza k zvýšenej tvorbe  $\text{NO}_x$  v dôsledku vzniku termického  $\text{NO}_x$ . Ako oxidovadlo sa použil atmosferický vzduch o zložení cca. 21 % kyslíka 79 % dusíka. Vyprodukovaný energoplyn bol injektovaný do reburningovej časti. Prvé merania neboli úspešné z dôvodu, ktorým bola veľká vzdialenosť medzi splyňovacím zariadením, ktoré je umiestnené na voľnom priestranstve areálu HF a zariadením na reburning, umiestnenom v dielňach KPaT cca. 50m. Táto vzdialenosť spôsobila, že vyprodukovaný energoplyn sa ochladil natoľko, že nedochádzalo k jeho vznieteniu v reburningovej časti zariadenia so spalinami zemného plynu.

Z tohto dôvodu vyplynulo, že reburningové zariadenie je potrebné premiestniť bližšie k splyňovaciemu zariadeniu, pre zachovanie entalpie vyrobeného plynu. Vzhľadom k tomu, že premiestnením by sa reburningové zariadenie jeho už dosť zlým stavom mohlo poškodiť, pristúpilo sa k návrhu pre nové experimentálne reburningové zariadenie. Samotné zariadenie je zložené z keramických valcov s vnútorným priemerom 65 mm a vonkajším 180 mm a výškou 28 cm. Aby sa vedela stanoviť dostatočná výška zariadenia a tiež aby sme vedeli v akej vzdialenosti od ústia horáka bude najlepšie pridávať reburningové palivo, tak sa nakreslilo zariadenie v programe INVENTOR 11 a následne prebehli simulácie v programe ANSYS 10 CFX. Za daných stanovených podmienok a po prebehnutí simulácií sa určila výška zariadenia na 168 cm a najväčšie teploty pri ktorých vzniká najviac termických  $\text{NO}_x$  emisií je vo výške 40 cm od ústia horáka takže v tejto oblasti bude najlepšie pridávať energoplyn. Na tomto zariadení (viď. obr.6) prebehli už prvé merania.

Energoplyn odvádzaný zo splyňovača bol vedený do reburningovej časti cez hadice, vývevu, plynomer a rotameter, čím dochádzalo ku kondenzácii dechtov a zanášaniameracích prístrojov a teda aj ovplyvneniu presnosti merania na novom reburningovom zariadení. Pre elimináciu týchto problémov a zanášaniameracích prístrojov je nutná redukcia trasy medzi splyňovačom a reburningovým zariadením. Po týchto úpravách bude prebiehať séria experimentálnych meraní, s cieľom spravenia analýz.



Obr. č. 6 Experimentálne zariadenie pre reburning s biomasou a splyňovač

*Tento príspevok bol vypracovaný ako súčasť riešenia projektu VEGA č.1/3151/06  
a získané výsledky budú súčasťou riešenia tohto grantového projektu.*

#### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Zamanský, V., Maly, P., Sheldon, M.: Advanced biomass reburning for high efficiency NO<sub>x</sub> control, Joint final report, September 29, 2000 [online]. [cit.2006-09-11].Dostupné na internete: <http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/98/98ps/pspa-5.pdf> / .html
- [2] Zamanský, V., Rizeq, G., Miles, T.: Gasification-combustion technology for utilization of waste renewable fuels, GE energy and environmental research corporation USA [online]. [cit. 2006-02-03]. Dostupné na internete: [www.biomass.govtools.us/pdfs/bcota/abstracts/11/249.pdf](http://www.biomass.govtools.us/pdfs/bcota/abstracts/11/249.pdf)
- [3] Horváth, L., Šváb, J.: Technická správa pre splyňovacie zariadenie S&H 001, 2006
- [4] Holoubek, D., Buckova, S., Horváth, L., Šváb, J.: Výroba energoplynu splyňovaním biomasy, Vykurovanie, Konferencia, Tatranské Matliare, Vysoké Tatry, 2007 (str. 90-93)
- [5] Buckova, S.: Analýza reburningu drevným plynom, Deň doktorandov Hutníckej fakulty, Metalurgia junior, Herľany 2007

## VÝPOČET A MERANIE OBSAHU EMISÍ PRI SPALOVANÍ DREVA

Ivana Fedorová, Peter Pilát, Jozef Jandačka

*Abstrakt: Tento článok sa zaoberá výpočtom produkcie emisií pri spaľovaní smrekového dreva pomocou stechiometrických rovníc a experimentálnym meraním na tepelnom zdroji.*

Kľúčové slová: biomasa, emisie, oxid uhličitý, oxid uhoľnatý, spaľovanie

### ÚVOD

Vplyvom spaľovania palív v zdrojoch tepla vzniká pomerne vysoké zaťaženie životného prostredia. V závislosti od druhu paliva a jeho zloženia, od prítomnosti ďalších prímiesí a od jeho pôvodu, vzniká celý rad tuhých a plyných škodlivých látok, ako sú koncentrácia CO, CO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub> a tuhé znečisťujúce látky.

### SPALOVANIE

Keď sa pozeráme na drevo ako na pevné palivo, dôležitý je obsah horľavých látok schopný pri chemických reakciách uvoľňovať teplo a nehorľavé látky. Keď sa horľavé látky za priaznivých podmienok dostanú do styku so vzdušným kyslíkom, dochádza k oxidácii a uvoľňuje sa teplo. Tomuto chemickému procesu hovoríme – horenie – a bežne v technickej praxi – spaľovanie.

### DREVO, JEHO ZLOŽENIE

Z hľadiska chemického zloženia dreva predstavujú najväčší podiel uhlík (C), vodík (H<sub>2</sub>) a kyslík (O<sub>2</sub>). Oxidáciou uhlíka a vodíka dochádza k uvoľňovaniu tepelnej energie. Najpodstatnejšou zložkou pri uvoľňovaní tepelnej energie je uhlík. Kyslík pri chemických reakciách neuvoľňuje teplo. Biomasa okrem základných chemických prvkov obsahuje aj prvky, ktoré majú značný vplyv na produkciu škodlivých látok pri jej spaľovaní. Medzi ne patrí síra (S), chlór (Cl) a dusík (N<sub>2</sub>). K prvkom, ktoré zaťažujú životné prostredie patrí aj popol. Vo všeobecnosti platí, že zvýšené množstvo týchto prvkov v palive sa prejavuje zvýšeným obsahom škodlivých látok v spalinách.

Pretože sa budeme v ďalších častiach článku zaoberať spaľovaním smrekového dreva, uvedieme jeho chemické zloženie: 51% C, 6,2% H, 42,5% O, 0,3% N.

### STECHEIOMETRICKÉ VÝPOČTY

Cieľom stechiometrických výpočtov je zistenie objemu vzduchu potrebného pre spaľovanie jednotkového množstva paliva a objemu spalín, ktoré pri spaľovaní vznikajú, čiže sú to výpočty objemové. Vychádza sa pri tom z chemických reakčných rovníc, ktorým sa hovorí stechiometrické spaľovacie rovnice a bilancie látkových množstiev. Z hľadiska priebehu spaľovania rozlišujeme dva základné modely :

- model dokonalého spaľovania
- model nedokonalého spaľovania

Oba tieto modely nejdú do podstaty priebehu spaľovania, bilancujú iba konečný stav. Model dokonalého spaľovania predpokladá dokonalé spálenie všetkej horľaviny obsiahnutej v palive, ide o čisto teoretický prípad. Model nedokonalého spaľovania pripúšťajú iba čiastočné vyhorenie paliva a vznik nedopalu.

Stechiometrické objemy sú závislé na zložení paliva. Zmena zloženia, napr. vlhkosti paliva, znamená, ich zmenu a vyžaduje nový výpočet. Postup výpočtu sa zhoduje pre tuhé a kvapalné paliva, líšia sa u plyných.

Úplne dokonalé horenie pri ktorom všetok uhlík oxiduje na CO<sub>2</sub>

#### 1) Horenie vodíka

Predpokladáme, že vodík zhorí vždy všetok:



Premenou molových hmotností na gramy dostaneme:



z čoho po úprave vyplýva, že na oxidáciu 1 g H<sub>2</sub> potrebujeme 8g O<sub>2</sub>

#### 2) Horenie uhlíka oxidáciou na CO<sub>2</sub>

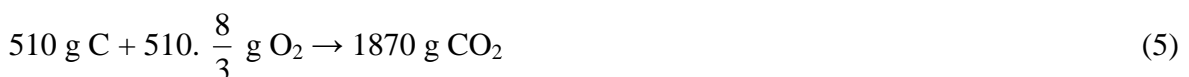


Premenou molových hmotností na gramy dostaneme:



z čoho po úprave vyplýva, že na oxidáciu 1 g C na CO<sub>2</sub> potrebujeme 2<sup>2</sup>/<sub>3</sub> g kyslíka.

Keďže smrekové drevo obsahuje 51 % uhlíka, potom 1 kg smrekového dreva obsahuje 510g uhlíka. Potrebné množstvo kyslíka na jeho zhorenie vypočítame úpravou rovnice (4).



z čoho nám vyplýva, že na dokonalé zhorenie 510g uhlíka potrebujeme 1360g O<sub>2</sub>.

Keďže smrekové drevo obsahuje 6,2 % vodíka, potom 1 kg smrekového dreva obsahuje 62g uhlíka. Potrebné množstvo kyslíka na jeho vyhorenie vypočítame z rovnice (2).

$$62 \cdot 8 \text{ O} = 496 \text{ g O}$$

Čiže na spálenie uhlíka a vodíka z 1kg smrekového dreva potrebujeme

$$1360\text{g} + 496\text{g} = 1856\text{g O}_2$$

Keďže v 1kg smrekového dreva sa nachádza 42,5% kyslíka, t.j. 425g O<sub>2</sub>, toto množstvo odpočítame od celkového potrebného množstva kyslíka, aby sme dostali množstvo, ktoré potrebujeme dodať:

$$1856\text{g} - 425\text{g} = 1431\text{g}$$

Keďže atmosféra obsahuje: 21% O<sub>2</sub>, 78% N, 1% vzácne plyny. Množstvo vzduchu, ktoré potrebujeme dodať vypočítame  $(1431/21) \cdot 100 = 6814\text{g} = 6,814\text{kg}$  vzduchu. Toto množstvo je teoreticky postačujúce na dokonalé horenie.

1kg smrekového dreva za predpokladu, že kyslík bude reagovať len s uhlíkom a vodíkom.

### Úplne nedokonalé horenie pri ktorom všetok uhlík oxiduje len na CO

#### 1) Horenie vodíka

Predpokladáme, že vodík zhorí vždy všetok:



Premenou molových hmotností na gramy dostaneme:



z čoho po úprave vyplýva, že na oxidáciu 1 g H<sub>2</sub> potrebujeme 8g O<sub>2</sub>

#### 2) Horenie uhlíka

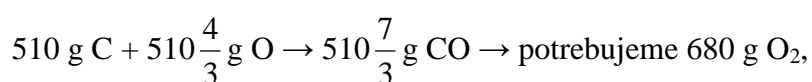


Premenou molových hmotností na gramy dostaneme:



z čoho po úprave vyplýva, že na oxidáciu 1 g C na CO potrebujeme  $1\frac{1}{3}$  g kyslíka.

Keďže smrekové drevo obsahuje 51 % uhlíka, potom 1 kg smrekového dreva obsahuje 510g uhlíka. Potrebné množstvo kyslíka na jeho oxidáciu na CO vypočítame úpravou rovnice (7).



z čoho nám vyplýva, že na dokonalé zhorenie 510g uhlíka potrebujeme 680g O<sub>2</sub>.

Celkovo potrebujeme:

$$680\text{g} + 496\text{g} = 1176\text{g O}_2 \text{ od čoho opäť ešte odpočítame kyslík obsiahnutý v dreve} \\ (1176\text{g} - 425) = 751 \text{ g O}_2.$$

Množstvo dodaného vzduchu (pri obsahu 21% O<sub>2</sub> vo vzduchu) vypočítame:

$$(751/21) \cdot 100 = 3576 \text{ g vzduchu. Na nedokonalé horenie postačuje } 3576\text{g vzduchu.}$$

### Výpočet množstva CO a CO<sub>2</sub> pri nie úplne dokonalom horení

Predpokladáme, že všetok dodaný vzduch nad 3576g bude oxidovať CO na CO<sub>2</sub>. Najskôr vypočítame množstvo kyslíka z dodaného množstva vzduchu.

$$X \cdot 0,21 = \text{g O}_2 \quad X - \text{dodaný vzduch} > 3576\text{g}$$



Premenou molových hmotností na gramy dostaneme:



z čoho po úprave dostaneme, že pridaním 1 g kyslíka zoxiduje  $\frac{7}{4}$  g CO na  $\frac{11}{4}$  g CO<sub>2</sub>.

1 kg smrekového dreva obsahuje 510 g uhlíka potom celková hmotnosť CO je

$$510 \times \frac{7}{3} \text{ g CO} = 1190 \text{ g CO}$$

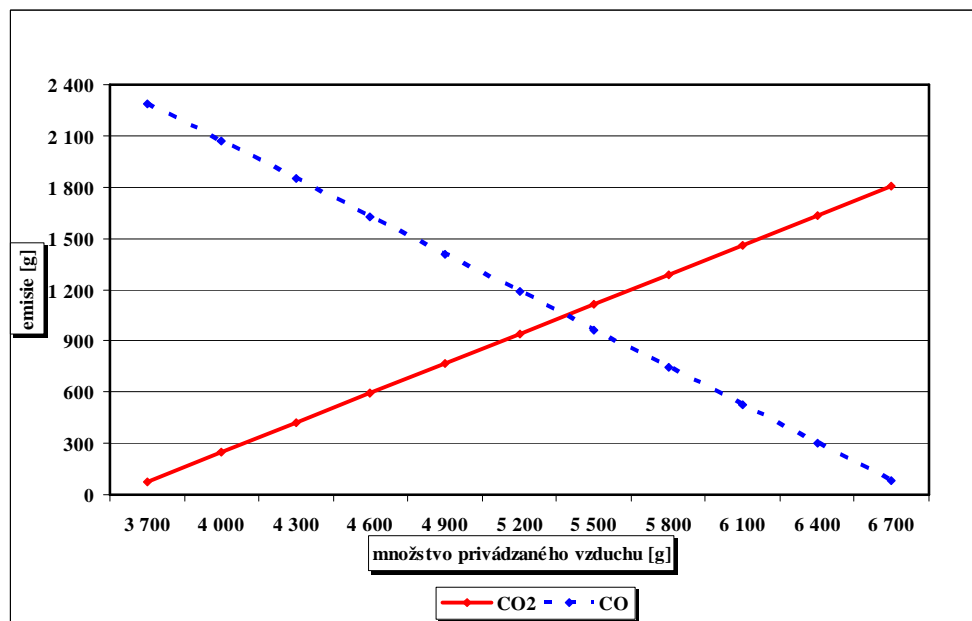
Množstvo vzniknutého CO<sub>2</sub> (Y) pri dodaní X g vzduchu vypočítame z nasledovnej rovnice:

$$(X - 3576) \cdot 0,21 \cdot \frac{11}{4} = Y \text{ g CO}_2 \quad Y - \text{množstvo CO}_2 \text{ v g}$$

A následne vypočítame koľko (Z) g CO zostane :

$$\left(510 - \frac{12}{44} Y\right) \cdot \frac{7}{3} = Z \text{ g CO} \quad Z - \text{množstvo zostávajúceho CO}$$

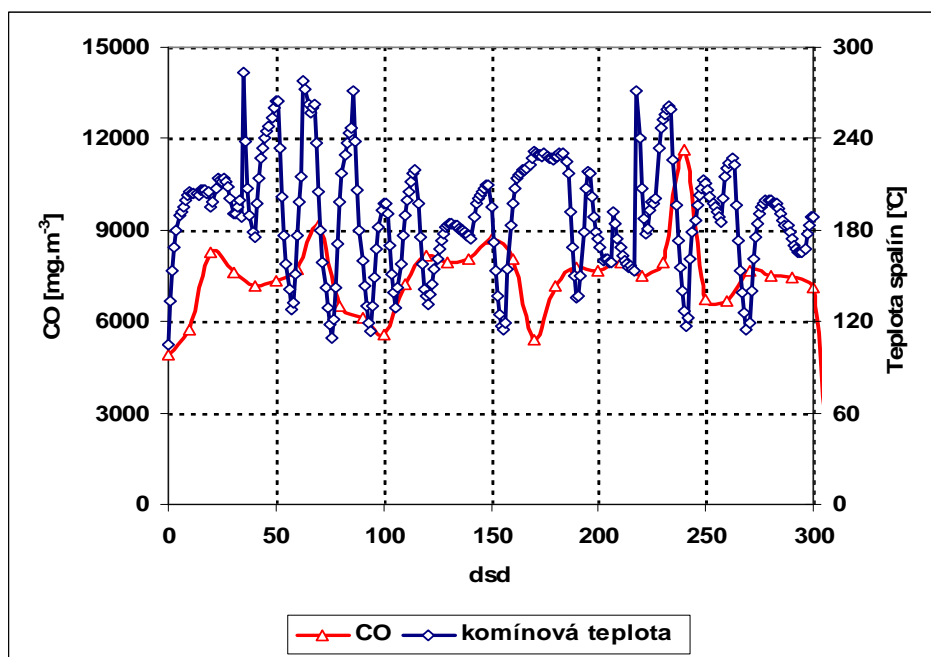
Na obr. č. 1 je uvedená závislosť vzniku CO a CO<sub>2</sub> na množstve privádzaného vzduchu. Pri výpočte sa uvažovalo spaľovanie smrekového dreva v zdroji tepla s výkonom 25 kW. Smrekové drevo sme uvažovali s vlhkosťou 10%, ktorého výhrevnosť je 16,6 MJ.kg<sup>-1</sup>.



Obr. č. 1 : Závislosť emisií CO a CO<sub>2</sub> na množstve privádzaného vzduchu

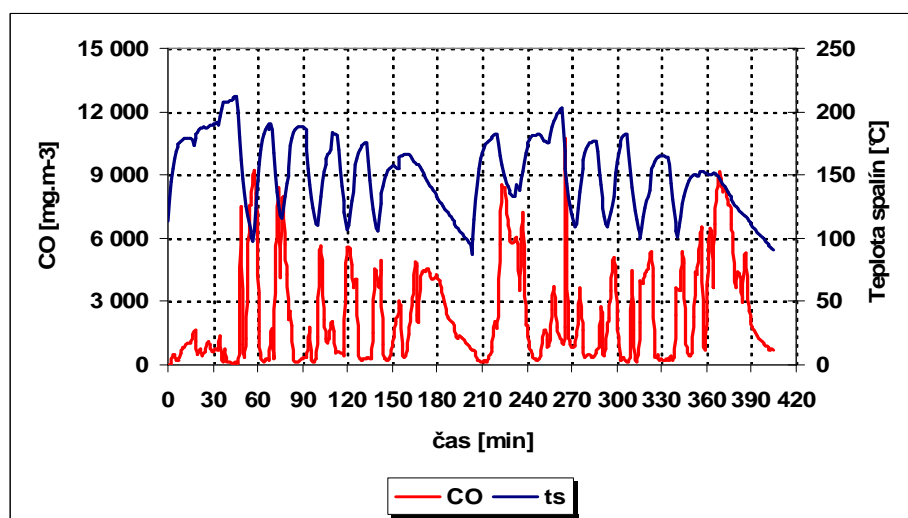
## EXPERIMENTÁLNE MERANIA

Na Katedre energetickej techniky boli realizované experimentálne merania na splyňovacom kotle na spaľovanie dreva o menovitom výkone 23 kW pri rôznych dodávkach spaľovacieho vzduchu.



Obr. č. 2 : Závislosť CO na teplote spalín teplovodného kotla o menovitom výkone 23 kW so splyňovaním pre zníženej dodávke vzduchu

Na obr. č. 2 sú uvedené výsledky merania tohto kotla pri malom množstve privádzaného sekundárneho vzduchu do trysky. Toto množstvo bolo dané veľkosťou otvorov v tryske. Priemerná hodnota CO počas dvoch dávok paliva bola  $7500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  a priemerná hodnota  $\text{NO}_x$  bola  $46 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Po úprave veľkosti otvorov trysky, a tým i zväčšením množstva sekundárneho vzduchu, boli namerané hodnoty CO a  $\text{NO}_x$  v spalínach, ktoré odpovedá obr. č. 3. Priemerná hodnota CO počas dvoch dávok paliva bola  $2350 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  a priemerná hodnota  $\text{NO}_x$  bola  $102 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Obr. č. 3 : Závislosť CO na teplote spalín teplovodného kotla o menovitom výkone 23 kW so splyňovaním pre zvýšenej dodávke vzduchu

## ZÁVER

Z chemického zloženia (prvkového rozboru) paliva a chemických rovníc sme vypočítali množstvo vzduchu nevyhnutne nutného na horenie a množstvo vzduchu, ktoré je na horenie postačujúce za predpokladu, že všetok atmosférický kyslík sa spotrebuje na oxidáciu uhlíka. Taktiež boli realizované experimentálne merania na zdroji tepla o výkone 23 kW. Z výsledkov experimentov vyplýva do akej miery ovplyvňuje prívod množstva vzduchu tvorbu emisii.

Tento príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu VEGA č. 1/3204/06.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] JANDAČKA,J., MALCHO, M., HORVÁTH, Z., ČAJA,A., KOSECOVÁ,A., FEDOROVÁ,I.: *Modelovanie horenia drevnej biomasy v teplovodnom kotli*, Konferencia „Stretnutie katedier hydromechaniky a termomechaniky“, Modra, 2006
- [2] JANDAČKA,J., FEDOROVÁ,I., KOSECOVÁ,A.: *Matematický model výmenníka tepla spaliny – voda*. Aplikácia experimentálnych a numerických metód v mechanike tekutín, Strečno 2006.
- [3] JANDAČKA,J., MALCHO, M., FEDOROVÁ,I.: *Environmentálne aspekty malokapacitných zdrojov tepla na biopalív*, Zborník z XV. medzinárodnej konferencie Vykurovania 2007, Tatranské Matliare (SSTP 0715)
- [4] FEDOROVÁ,I.: *Nízkoemisné zdroje tepla*, Dizertačná práca, Žilina, 2006.
- [5] JANDAČKA,J., MALCHO, M., MIKULÍK,M.: *Biomasa ako zdroj energie. Potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti palív.*, vydavateľstvo GEORG, Žilina 2007

## OPTIMALIZÁCIA PRÚDENIA VZDUCHU V TEPLOVZDUŠNOM AGREGATE

Zdenko Horváth, Alexander Čaja

**Abstrakt:** Príspevok popisuje výsledky simulovania prúdenia vzduchu v teplovzdušnom agregáte do o nominálnom výkone 30 kW, skonštruovaného za účelom ohrevu vzduchu pre vykurovanie priemyselných hál stavenísk atď.. Taktiež sú v článku uvedené porovnania niektorých variantov geometrie samotného kotla a prvé orientačné namerané parametre na prototypu.

Kľúčové slová: kotol, tuhé palivo, biomasa, vykurovanie, spaľovanie

### ÚVOD

Agregát, o ktorom sa zmieňuje tento príspevok bol navrhnutý ako teplovzdušný, pretože bude využívaný prevažne pre účely vykurovanie hál, stavenísk a iných priemyselných objektov. Na základe požiadavky o čo najvyššiu možnú účinnosť kotla na spaľovanie drevnej hmoty, sa muselo pri návrhu zohľadniť viacero faktorov ako napríklad: rozmery otvorov na prívod, odvod vzduchu zmontovateľnosť kotla, zabezpečiť možnosť čistenia výmenníkovej časti a v neposlednom rade minimalizovať výrobné i prevádzkové náklady. Na celkový vzhľad či dizajn sa priveľký dôraz nekládol. Na obrázku č. 1. je vidieť pôvodné riešenie teplovzdušného agregátu. Tento agregát nespĺňal výrobcom požadované parametre, preto musel byť navrhnutý celkom nový kotol, s novým geometrickým usporiadaním. Ako je zrejmé z obr. č. 2 predošlý kotol nemal dostatočne veľkú teplo-výmennú plochu, vzhľadom na požadovaný výkon. Na to aby spaliny ohriali vzduch na požadovanú teplotu, musí byť zabezpečená čo najväčšia teplo-výmenná plocha, keďže prestup súčiniteľ prestupu tepla je relatívne nízky, pretože sa jedná o plynné .



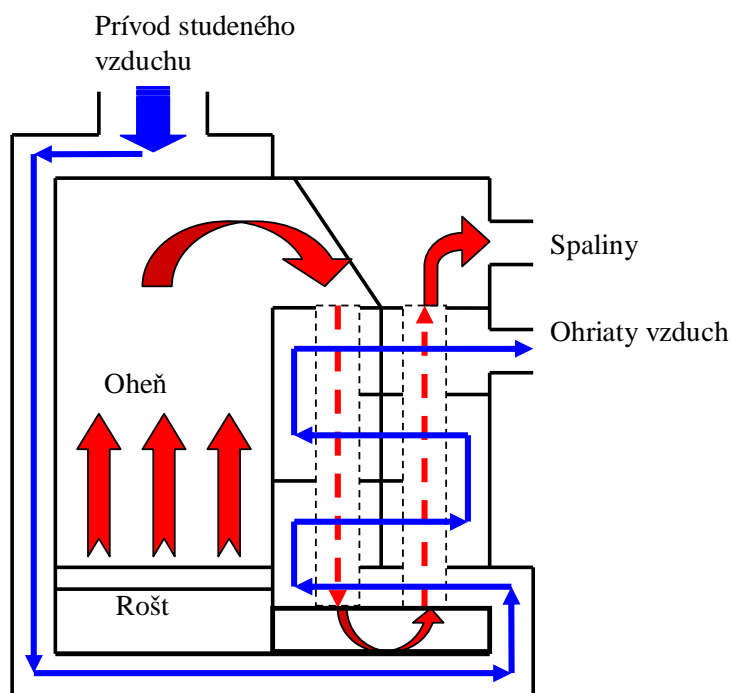
Obr. č. 1: Predchádzajúce riešenie teplovzdušného agregátu



Obr. č. 2: Predchádzajúce riešenie výmenníkovej časti teplovzdušného agregátu

## NÁVRH NOVÉHO TEPLOVZDUŠNÉHO KOTLA

Teplovzdušný agregát typu je vyrobený z ocele. Vzduch sa ohrieva transportom tepla z ohniska v dvojplášťovej konštrukcii a následne v trojťahovom výmenníku vzduch - spaliny. Spaliny prúdia cez trubky výmenníka a ohrievaný vzduch cez medzirúrkový priestor. Ohriaty vzduch sa dostáva do vykurovacieho priestoru cez tri otvory o priemere 150 mm, na ktoré je možné pripojiť flexohadice resp. rozvodné potrubie ohriateho vzduchu o vykurovanom priestore. Ohrievaný vzduch sa nasáva z vykurovaného priestoru pomocou axiálneho ventilátora, čím sa čiastočne zabezpečuje cirkulácia ohrievaného vzduchu vo vykurovanom priestore. Pri zakurovaní je potrebné vytvoriť spalinovú cestu priamo do komína pomocou otvorenia zakurovacej klapky. Spaliny potom neprúdia cez trojťahový výmenník vzduch – spaliny. Po rozkúrení sa zakurovacia klapka uzatvorí, čím sa zabezpečí prúdenie spalín cez trojťahový výmenník vzduch – spaliny. Spaľovací režim sa riadi reguláciou prívodu primárneho a sekundárneho vzduchu. Prítok primárneho vzduchu sa nastavuje posúvačom umiestneným na nakladacích dvierkach. Teplovzdušný agregát má pevný rošt, ktorý sa čistí cez čistiace dvierka vybavené zábranou proti vypadávaniu žeravého paliva. Rúrkový výmenník tepla vzduch – spaliny je zo strany spalín čistiteľný cez odnímateľný vrchný kryt. V spodnej časti agregátu na ľavej strane je otvor pre odstránenie nečistôt po čistení rúrok výmenníka. Pod roštom sa nachádza popolník, ktorý je vyberateľný z prednej časti kotla, kde sú navyše umiestnené dvierka na nakladanie paliva. Na dvierkach sú umiestnené otvory s mechanickou reguláciou prívodu spaľovacieho vzduchu potrebného k procesu horenia.

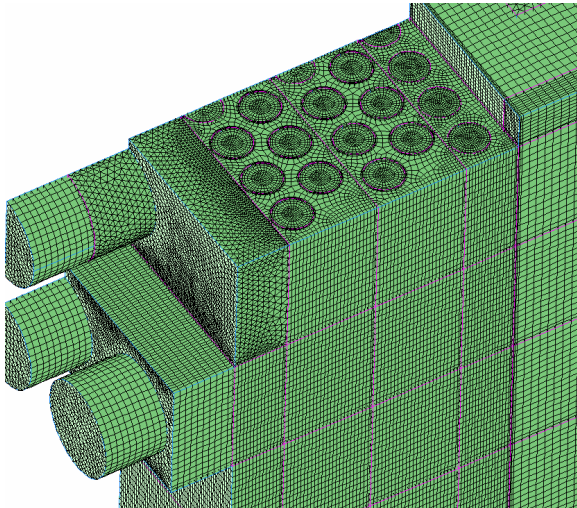


Obr. č. 3: Schematické zobrazenie prúdenia vzduchu teplovzdušným agregátom

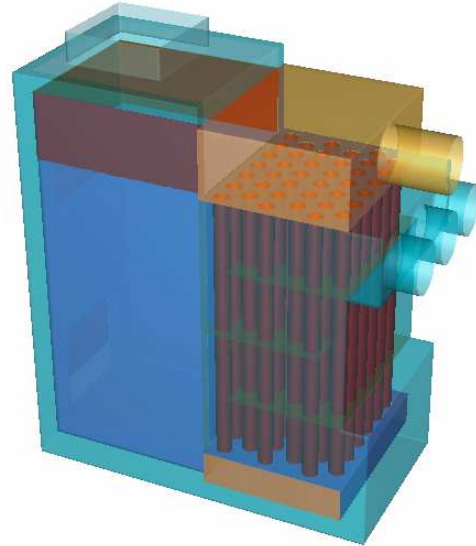
## POPIS VÝPOČTOVÉHO MODELU

Aby bolo možné optimalizovať prúdenie cez steny a výmenníkovú časť kotla bol použitý výpočtový program Fluent. Geometria a výpočtová sieť bola vygenerovaná za pomoci

programu Gambit (obr. č.4.). Pre zjednodušenie výpočtu bola modelovaná len polovica kotla vo vertikálnej osi symetrie. Výpočtové bunky boli použité z väčšej časti tvaru šesťstena, len v oblastiach s komplikovanejšou geometriou boli použité bunky tvaru štvorstena. Celkový počet buniek bol 1 166 830 a počet stien bol 3 460 513. V priestore okolo rúrok vo výmenníkovej časti bola zjemnená sieť použitím funkcie medznej vrstvy. Na obrázku 5 je možné vidieť kompletný teplovzdušný kotol vyobrazený v programe Fluent.



Obr. č. 4: Výpočtová sieť modelu agregátu v programe Gambit



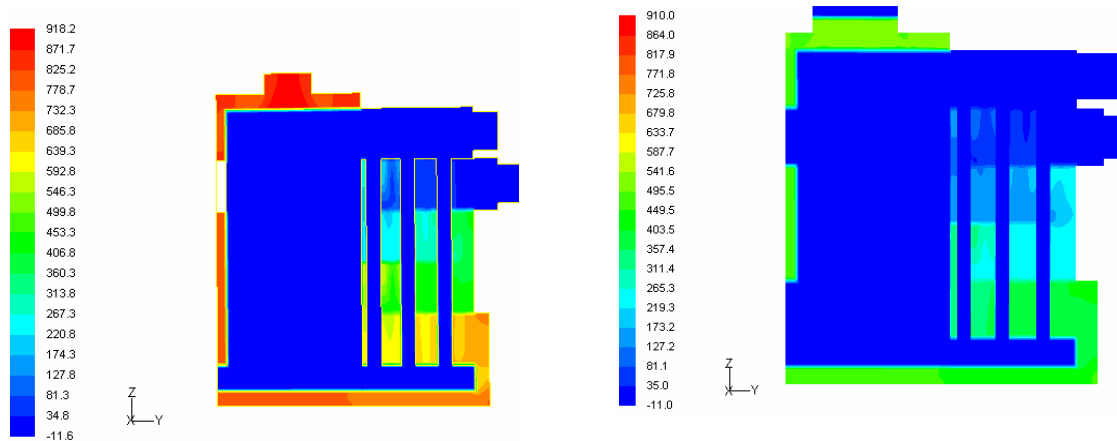
Obr. č. 5: Schematické zobrazenie viack'ahového riešenia kotla

Okrajové podmienky nastavené v programe Fluent:

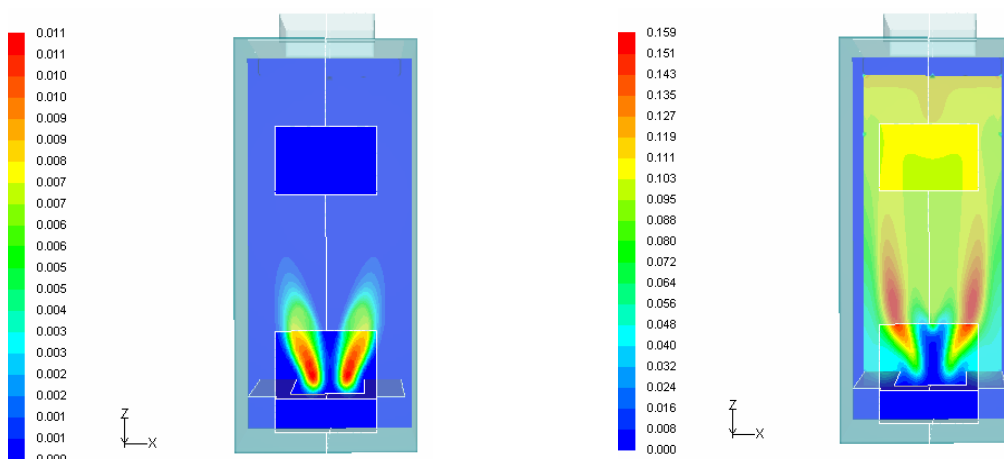
- štandardný k-ε model turbulencie,
- štandardná stenová funkcia,
- nastavenie riešenia - segregované, stacionárne, implicitné,
- radiačný model P1,
- kinetický model horenia ,
- DPM model (discrete phase model) so stacionárnymi horiacimi časticami, ktoré predstavovali kusy dreva o priemere 10cm a boli umiestnené nad roštom v počte 4 ks,
- okolitý tlak 101 325Pa,
- vstup vzduchu potrebný pre horenie bol zadaný ako tlakový vstup s hodnotou 10Pa a hmotnostným zlomkom kyslíka 0,23,
- výstup spalín bol zadaný ako tlakový výstup s hodnotou 0 Pa,
- na vstupe studeného vzduchu bola použitá okrajová podmienka typu fan so zadanou charakteristikou ventilátora,
- na výstupe ohriateho vzduchu bola tlaková podmienka 0 Pa,
- súčiniteľ prestupu tepla zo strany okolia bol zadaný 10 W.m-2.K-1,
- pre-exponenciálny faktor = 6.23.107 s-1,
- aktivačná energia = 124 kJ/mol
- jednokroková tvorba sadzí.

## VÝSLEDKY SIMULÁCIE

Prvý variant kotla bol s kruhovým otvorom na saní studeného vzduchu priemeru  $\varnothing$  200mm a rúrkami o priemere  $\varnothing$  60mm. Veľkosť spodnej štrbiny, kde prúdil vzduch bola 40mm. Výsledky simulácie sú na obrázkoch 6 a 7, kde sú pre porovnanie kontúry statického tlaku v mieste symetrie kotla (pričný rez) prvého a druhého riešenia. Prvý variant bol nevyhovujúci z hľadiska veľkej tlakovej straty až 920 Pa a vysokých rýchlostí až 15 m/s v medzirúrkovom priestore.



Obr. č. 6: Kontúry tlaku v pozdĺžnom reze 1. riešenia      Obr. č. 7: Kontúry tlaku v pozdĺžnom reze 2. riešenia



Obr. č. 8: Kontúry rýchlosti reakcie v  $\text{kg.mol.m}^{-3}.\text{s}^{-1}$  (pohľad spredu)

Obr. č. 9: Kontúry tlaku v Pa (pohľad spredu)

Druhý variant bol navrhnutý so štvorcovým otvorom rozmeru 315x315mm v mieste nasávania studeného vzduchu. Priemer rúrok vo výmenníkovej časti bol zmenšený na  $\varnothing$  50mm a spodná štrbina bola zväčšená na 60mm. Navyše boli pridané spodné dvierka na prikladanie dreva. Horné dvierka na nakladanie dreva boli zúžené o 100 mm.

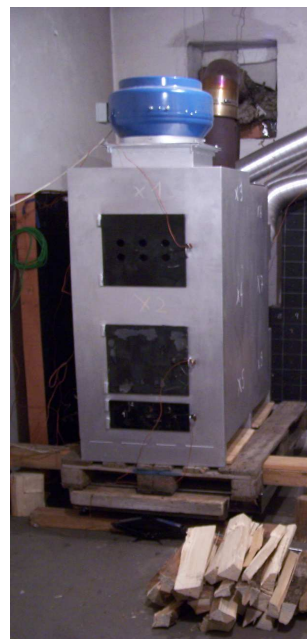
Na obrázkoch č. 8 a č. 9 sú zobrazené kontúry rýchlostí reakcie a kontúry koncentrácie  $\text{CO}_2$  v reze kolmom na os symetrie agregátu. Rýchlostné pole bolo v tomto prípade porovnateľné s predchádzajúcim variantom, avšak maximálna rýchlosť v medzirúrkovom priestore sa znížila na 12 m/s. Maximálny statický tlak sa znížil na 510 Pa.

## POROVNANIE S NAMERANÝMI HODNOTAMI

Pre prvé orientačné porovnanie simulácie a reálnych výsledkov bolo vykonané meranie rýchlosti a teplôt na prototypu teplovzdušného kotla (obr. 10 a 11) v mieste výstupu ohriateho vzduchu. Nameraná hodnota rýchlosti vzduchu na výstupe ohriateho vzduchu bola 5,4 m/s pri teplote 99 °C a simuláciou bola dosiahnutá hodnota 5,74 m/s pri priemernej teplote 90 °C. Maximálna dosiahnutá teplota na výstupe ohriateho vzduchu bola nameraná 100°C. Výkon kotla, ktorý bol simulovaný bol 19,5 kW pri teplotnom spáde ohrievaného vzduchu 65°C. Nameraný výkon prototypu bol 21 kW pri teplotnom spáde 71°C. Koncentrácia jednotlivých zložiek exhalátov na výstupe spalín je: CO<sub>2</sub> = 8,6%, O<sub>2</sub> = 9,6 %, N<sub>2</sub> = 71,5 %, H<sub>2</sub>O = 10,2%.



Obr. č. 10 Prototyp kotla – zadná strana



Obr. č. 11: Prototyp kotla – predná strana

### Hodnota namerané na prototypu agregátu:

Menovitý tepelný výkon:

**32 kW;**

Tepelný tok do priestoru:

**32 kW;**

Účinnosť:

**72 %;**

Priemerná teplota spalín pri menovitom tepelnom režime:

**210 °C;**

Požadovaný ťah komína pri menovitom tepelnom režime:

**12 Pa ;**

Spotreba paliva pri menovitom výkone:

**10.5 kg.h<sup>-1</sup>;**

Hmotnosť teplovzdušného agregátu:

**350 kg;**

## ZÁVER

Z analýzy dosiahnutých parametrov vyplynula pomerne dobrá zhoda medzi výsledkami zo simulačného modelu a z nameraných parametrov. Po dokončení experimentálnych meraní na prototypu kotla a spresnení modelu sa využije model pri vývoji iných výkonových radov kotla.

*Tento príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu VEGA č. 1/3204/06.*

### **POUŽITÁ LITERATÚRA**

- [1] Graciaková A., Jandačka J.: Parametre ovplyvňujúce optimálne energetické využitie paliva - Transcom 2005 - Žilina, 2005
- [2] Malcho M., Jandačka J., Kosecová A.: Optimálne spaľovanie biomasy v malých zdrojoch tepla- 2. konferencia s medzinárodnou účasťou, Malé vodné diela a alternatívne zdroje energie - Košice 11. – 12.februára 2003
- [3] Jandačka J., Malcho M: Požiadavky na teplovodné kotle na tuhé palivá tepelného výkonu 300 kW a ich skúšanie. 5/2005 TZB.
- [4] Jandačka J., Malcho M., Horváth Z., Čaja A., Kosecová A., Fedorová I.: Modelovanie horenia drevnej biomasy v teplovodnom kotli – Stretnutie katedier hydromechaniky a termomechaniky - MODRA 2006
- [5] Horváth, Z.; Jandačka, J.; Malcho, M.: Simulation o fair Flow in Hot-Air Boiler; International Conference: Experimental fluid mechanics 2006, December 6-7, 2006 Liberec
- [6] Jandačka, J., Malcho, M., Mikulík, M.: Biomasa ako zdroj energie. Potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti palív. GEORG, Žilina 2007.

## APLIKACE SPALOVACÍCH MOTORŮ DO TECHNOLOGIE FLUIDNÍHO ZPLYŇOVÁNÍ

**Přemysl Kohout, Hugo Šen**

*Článek se zabývá využitím energoplynu ze zplyňování biomasy jako paliva pro spalovací motor. Většina článku je věnována změnám ve výkonu spalovacího motoru při provozu na dřevoplyn. Zmíněno je i čištění dřevoplynu vstupujícího do motoru.*

### 1. ÚVOD

Ze vzrůstající spotřebou různých typů energie, kterou můžeme pozorovat nejen v posledních letech, se výzkum po celém světě zaměřuje na stále nové způsoby získávání energie, které by tuto poptávku mohly uspokojit. Ve všech průmyslově rozvinutých zemích se objevují podobné diskuse nad jadernou energií, energií z fosilních paliv a v neposlední řadě i energií z obnovitelných zdrojů. Zatímco energetika jaderná, případně fosilní je založena jen na vhodném palivu, případně nutnosti toto palivo importovat z jiných oblastí, je energetika obnovitelných zdrojů mnohem více závislá i na přírodních podmínkách panujících v dané oblasti. Ty určují jestli má v příslušné oblasti perspektivu zabývat se energií větru, vody, tepla země nebo biomasy. V podmínkách České republiky se jako oblastí s největším potenciálem jeví energie z biomasy. Většina potenciálu vodních toků je již využita a vzhledem k obklopenosti naší země hornatými oblastmi je možnost smysluplně využívat větrnou energii velmi omezená. Biomasa tedy určuje hlavní trend využití obnovitelných zdrojů energie v ČR.

Zdroje pro energii z biomasy zahrnují širokou oblast možností. Podle typu zpracování příslušných surovin se dají rozlišit dva hlavní směry využívání energie z biomasy. Jedním z nich jsou biologické přeměny jako je anaerobní digesce, alkoholové kvašení případně kompostování, kdy se využívají například odpady z živočišné výroby a v případě výroby bioetanolu i záměrně pěstované rostliny. Druhým způsobem jsou procesy chemické, tedy zejména spalování a zplyňování, případně pyrolýza. Pro tyto procesy se využívají odpady z dřevozpracujícího průmyslu případně jiné suroviny jako je například sláma z rostlinné výroby. V poslední době je však rychle se rozvíjejícím odvětvím záměrné pěstování energetických plodin. Jedná se jak o rychle rostoucí dřeviny tak i o různé stébelniny a traviny. Každá z těchto surovin má svá specifika, které je třeba vzít v úvahu při volbě vhodného způsobu jejich zpracování, ať už z hlediska přípravy paliva tak i z hlediska průběhu samotného využití (spalování, zplyňování).

Průběh samotného procesu chemických případně biologických přeměn není předmětem tohoto článku a není potřeba v jeho popisu zacházet do větších podrobností. Tento článek má za úkol nastínit možnosti následného využití získané energie z jednoho z výše zmíněných procesů, kterým je zplyňování. Produktem zplyňovacího procesu je syntézní plyn o nízké výhřevnosti a s obsahem nežádoucích látek, který je potřeba dále zpracovat. Jedna z možností je tento plyn spalovat a využívat získané teplo. Tento způsob má výhody ve své jednoduchosti, ale v případě, že naším cílovým produktem je elektrická energie, není tento způsob z hlediska účinnosti tím nejvhodnějším. Daleko zajímavější pro toto využití se jeví použití spalovacího motoru kogenerační jednotky, kdy získáváme jak elektrickou energii, tak i energii tepelnou, kterou je možné použít třeba pro vytápění budov, případně pro ohřev TUV. Tento článek si klade za cíl, nastínit některé možnosti a úskalí využití plynu ze spalování biomasy ve spalovacím motoru, zejména z hlediska výkonu motoru.

## 2. SPALOVACÍ MOTORY

Plyn získávaný zplyňováním biomasy obsahuje asi 40% hořlavých látek. Ty se skládají zejména z CO, H<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>. Zbývající nehořlavá část plynu je složena zejména z dusíku, CO<sub>2</sub> a vodní páry. Plyn také obsahuje různé nežádoucí látky jako jsou dehty, prach a alkalické sloučeniny. Ty mají podstatný vliv na provoz spalovacího motoru. Cílem je tedy spalovat v motoru takový plyn, který bude mít maximální podíl hořlavých látek a minimální obsah nežádoucích příměsí. Toho se dá dosáhnout optimalizací zplyňovacího procesu a následným důkladným čištěním plynu.

Zážehové spalovací motory mohou být použity pro spalování energoplynu bez větších úprav. V případě, použití dieslového motoru musí dojít k snížení kompresního poměru motoru a je nutné instalovat zážehový systém. Další možností je provozovat vznětový agregát v neupraveném stavu tak, že 0 – 90% potřebné energie se bere z energoplynu a zbývajících min. 10% se získává z nafty tak aby došlo k zapálení směsi vzduchu a energoplynu [4]. Toto řešení má výhodu flexibility provozu, kdy je možné v případě výpadku dodávky energoplynu téměř okamžitě přejít na konvenční naftový provoz. Toto řešení však není vhodné pro všechny typy dieslových motorů. Vysoké kompresní poměry spolu s opožděným zážehem směsi vzduch/nafta/energoplyn mohou vést k provozním problémům. Zejména dochází k tzv. klepání motoru.

## 3. VÝKON SPALOVACÍHO MOTORU PO KONVERZI NA SPALOVÁNÍ PLYNU

Je samozřejmé, že při použití spalovacího motoru, který byl původně určen pro spalování kapalných paliv a došlo k jeho úpravě pro spalování plynu dojde ke změně výkonu motoru. Obecně je možné konstatovat, že výkon takového spalovacího motoru bude nižší a bude určen stejnými faktory jako při použití kapalných paliv. Tyto faktory jsou zejména:

- Výhřevnost hořlavé směsi paliva a vzduchu, která vstoupí do motoru během každého cyklu
- Množství spalitelné směsi, které vstoupí do motoru v každém cyklu
- Účinnost se kterou motor konvertuje tepelnou energii spalitelné směsi na mechanickou energii
- Počet spalovacích cyklu za daný čas (otáčky za minutu)

### 3.1 Výhřevnost směsi plynu a vzduchu

Výhřevnost energoplynu záleží na relativním zastoupení hlavních hořlavých složek: Oxidu uhelnatého, vodíku a metanu. Pro spálení těchto látek je však zapotřebí určité množství vzduchu. To znamená, že výhřevnost směsi bude nižší než výhřevnost samotného energoplynu. Výhřevnost takové stechiometrické směsi může být poté určena pomocí následujícího vzorce:

$$Q_i^r = \frac{12680V_{CO} + 10800V_{H_2} + 35900V_{CH_4}}{1 + 2,38V_{CO} + 2,38V_{H_2} + 9,52V_{CH_4}}$$

Kde:

$Q_i^r$  = Výhřevnost stechiometrické směsi energoplynu a vzduchu v kJ/m<sup>3</sup>

$V_{CO}$  = Objemový zlomek oxidu uhelnatého v plynu (před smísení se vzduchem)

$V_{H_2}$  = Objemový zlomek vodíku v plynu (před smísení se vzduchem)

$V_{CH_4}$  = Objemový zlomek metanu v plynu (před smísením se vzduchem)

Výhřevnost směsi energoplynu se vzduchem se pohybují kolem  $2500 \text{ kJ/m}^3$ . Když tuto hodnotu srovnáme s hodnotou výhřevnosti směsi benzínu a vzduchu (okolo  $3800 \text{ kJ/m}^3$ ) je důvod rozdílu ve výkonu při provozu na benzín a na plyn zřejmý. Dá se tedy očekávat asi 35% pokles výkonu motoru při provozu na energoplyn [4].

Způsoby jak omezit pokles výkonu z důvodů výhřevnosti směsi energoplyn/vzduch jsou zřejmé. Jako první z nich je zvýšení výhřevnosti samotného plynu. Tu ovlivňuje celá řada faktorů zplyňovacího zařízení. Jedná se o koncepci zařízení, tepelné ztráty, vlhkost a dávkování paliva, atd... Tyto faktory jdou nad rámec tohoto článku a proto se jim nebudeme dále věnovat. Z hlediska směřování energoplynu se vzduchem je zřejmé, že nadbytek i nedostatek vzduchu oproti stechiometrickému množství, vede k poklesu výhřevnosti. Proto by cílem mělo být udržení stechiometrického množství vzduchu. Toho je však velmi obtížné dosáhnout protože energoplyn ze zplyňování biomasy má zřídka stálý průběh svého složení a vlastností. Doporučuje se tedy – za předpokladu, že nám nejde o maximální možný výkon motoru – udržovat v systému malý přebytek vzduchu, aby nedocházelo k zpětnému zapalování ve výfukovém systému motoru.

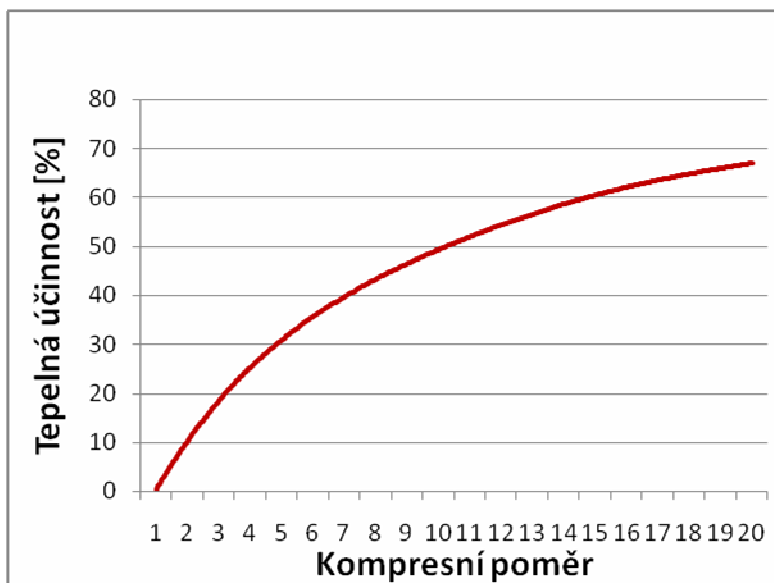
### **3.2. Množství hořlavé směsi dodávané do válců**

Množství směsi vstupující do válce motoru je určeno objemem válce a tlakem plynu ve válci v době uzavření vstupního ventilu. Zatímco objem válce je pro daný motor konstantní, tlak směsi závisí na vlastnostech motoru (hlavně na návrhu rozvodů), rychlosti motoru (vyšší rychlosti mají za následek nižší tlak) a na tlaku plynu, který vstupuje do rozvodů. Během prudění plynu systémem zplyňovače a rozvodů dochází k tlakovým ztrátám. V závislosti na této tlakové ztrátě se dá konstatovat, že skutečné množství směsi ve válci bude odpovídat 0,65-0,85 násobku teoretického maximálního objemu.

Kromě udržování karburátoru v čistém stavu existují dva způsoby jak zvýšit množství směsi vstupující do válců motoru. Jedním z nich je úprava rozvodů a to zejména jejich rozšíření. To vede k poklesu tlakových ztrát. Toto řešení bývá často podceňováno. Experimenty [citace 11 dle pdf] ukazují, že správnou úpravou rozvodů můžeme dosáhnout až 25% zvýšení výkonu. Dalším způsobem je použití přeplňování. Tím dojde ke zvýšení tlaku a následnému zvýšení výkonu. Zajímavou variantou je použití přeplňování poháněného výfukovými plyny, je však potřeba dát pozor na dostatečné chlazení přeplňovacího systému, aby v něm nedocházelo k zapalování směsi energoplyn/vzduch.

### 3.3. Účinnost motoru

Účinnost motoru při přeměně chemické energie na mechanickou závisí na mnoha faktorech. Detailnější popis těchto faktorů však přesahuje cíle tohoto článku. Proto byl jako jeden



Graf č. 1. Vliv kompresního poměru na účinnost motoru

z faktorů vybrán kompresní poměr, který se na účinnosti podílí významnou měrou. Jak ukazuje průběh grafu č. 1, s rostoucím kompresním poměrem roste i účinnost motoru. V případě pohonu na kapalná paliva je kompresní poměr omezen oktanovým číslem paliva, které je mírou kompresního poměru, při kterém dochází k takzvanému „klepání“ motoru, tedy k předčasnému vznícení paliva z důvodu vysokého tlaku. Směs energoplynu se vzduchem

vykazuje vyšší oktanová čísla a proto je možné zvýšit kompresní poměr oproti

### 3.4. Rychlost motoru

Vzhledem k tomu, že výkon motoru je definován za jednotku času, je potřeba vzít v úvahu i rychlost motoru reprezentovanou otáčkami. U dieslových motorů má průběh výkonu s rostoucími otáčkami skoro lineární průběh, zatímco u zážehových motorů je tato linearita narušena různými změnami činnostních faktorů. Při výpočtu výkonu 4 taktního motoru musíme vzít v úvahu, že jenom jedna ze dvou rotací představuje takt při kterém dochází ke kompresi a spalování směsi. Maximální rychlost motorů spalujících energoplyn je omezena rychlostí hoření směsi energoplynu a vzduchu. Vzhledem k tomu, že tato rychlost je v porovnání se spalováním kapalných paliv nižší, tak může dojít k významnému poklesu výkonu v případě, že rychlost hoření a rychlost pohybu pístu dosáhnou stejného řádu. V běžně vyráběných motorech se tento efekt dá očekávat okolo hranice 2500 rpm. Z toho tedy vyplývá, že motory spalující energoplyn by se měly držet pod touto hranicí. Z hlediska úprav motoru je z důvodu nižší rychlosti hoření nutno zvýšit předstih o dalších 10-15°. Problémy s rychlostí se mohou dále objevit u spoluspalování energoplynu a nafty v režimu Dual Fuel. Při příliš velkém množství nafty ve směsi energoplyn/vzduch/nafta dochází k předčasnému zážehu a tedy „klepání“ motoru. Je žádoucí množství nafty omezit tak, aby bylo max. 30% výkonu získáváno z nafty. Stejně tak existuje i spodní hranice, která je na cca 3-5mm<sup>3</sup> (v praxi bývá 8-9mm<sup>3</sup>) nafty na cyklus motoru.

## 4. NEŽÁDOUCÍ LÁTKY V ENERGOPLYNU

Je zřejmé, že výhřevnost energoplynu není jediným parametrem plynu, který je potřeba vzít v úvahu. Velmi obsáhlou problematikou je obsah nežádoucích látek v energoplynu a způsoby odstraňování těchto látek. Způsob odstraňování a míra „nežádoucnosti“ těchto látek je určena použitím energoplynu. Můžeme konstatovat, že kritéria pro použití energoplynu jako paliva pro spalovací motory jsou jedny z nejpřísnějších. Tato problematika je velmi komplexní a její detailní rozbor přesahuje rámec tohoto článku. Proto budou zmíněny jen největší škodliviny.

### 4.1. Dehet

Obsah dehtu v energoplynu je vedle výhřevnosti možná nejdůležitější z parametrů při posuzování použitelnosti energoplynu jako paliva pro spalovací motor. Dehet v plynu při kondenzaci zanáší veškeré části zařízení a má za následek naprosté zablokování motoru což znamená nutnost jeho odstavení. Obsahy dehtu v energoplynu vznikajícím zplyňováním biomasy jsou příliš veliké, aby bylo možné energoplyn použít bez čištění. Velmi významný vliv na obsah dehtu má zvolená koncepce zplyňování, nicméně i tak je vždy nutné produkováný plyn vyčistit. Jako vhodné metody pro odstranění dehtů z energoplynu na úroveň vyhovující použití ve spalovacích motorech se jeví katalytické reakce s dolomitem, případně s niklovými katalyzátory [2,3].

### 4.2. Tuhé částice

Tuhé částice (prach) je nečistota jejíž vliv na zanášení zařízení je zcela zřejmý. Naštěstí metody odprašování jsou dnes na velmi dobré úrovni a zbývá jen zvolit metodu, která je vhodná pro konkrétní situaci. Obecně se dá konstatovat, že je lepší odstraňovat prach až po odstranění dehtů, protože nedochází k zalepování filtrů a odlučovačů prachu dehtem[1]. Mezi použitelné metody patří cyklony, různé typy filtrů a elektrostatické odlučovače.

### 4.3. Alkalické sloučeniny

Alkalické sloučeniny nemají tak bezprostřední efekt jako prach a dehet, nicméně působí korozivně na součásti motoru. Jejich odstranění z energoplynu je však komplikované a nedá se říci, že by byly plně zvládnuté metody, které by byly použitelné pro běžné nasazení za přijatelnou cenu.

## 5. ZÁVĚR

Z výše uvedených poznatků vyplývá, že úpravy, které jsou potřebné ke konverzi spalovacího motoru, nejsou příliš složité v případě, že nejde o maximální možný výkon motoru. V případě, že se začneme zabývat možnostmi jak dostat z daného motoru maximální výkon, začíná se náročnost úprav zvyšovat. Obecně můžeme konstatovat, že bez složitějších úprav motoru poklesne jeho jmenovitý výkon (pro provoz na kapalná paliva) o cca. 35-40%. Při použití metod popsaných výše se dá tento pokles výkonu omezit na cca. 20%. Samostatnou kapitolou je zbavování energoplynu nečistot a nežádoucích příměsí a to zejména prachu a dehtu. Tato problematika je velice komplexní a nelze určit jednoznačný nejjvhodnější přístup. Proto je potřeba čištění energoplynu vždy přizpůsobit danému zřízení.

## 6. LITERATURA

- [1] KUBÍČEK, J.: Mokré čištění energoplynu před jeho využitím ve spalovacím motoru, disertační práce, VUT FSI, 2005
- [2] CHRZ V., LISÝ M., OCHRANA L., SKOBLIA S.: Vysokoteplotní filtr se sesuvným ložem zrnitého materiálu, časopis Energetika, 2/56/2006, str. 60 - 63, ČSZE Praha, ISSN 0375-8842
- [3] LISÝ, M., BALAŠ, M., KUBÍČEK, J., OCHRANA, L.: Současné výsledky a perspektivy katalytického čištění plynu produkovaného při zplyňování. Sborník přednášek z XIV. Ročníku odborné konference „KOTLE A ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ 2005“, Brno, (2005) ISSN 1801-306
- [4] FAO Forestry Department Paper: Wood gas as engine fuel; FAO 1986, ISBN 92-5-102436-7

## HODNOCENÍ VLIVU RŮZNÝCH FOREM PALIVA NA KVALITU PLYNU VE ZPLYŇOVACÍM PROCESU

**Miroslav Kyjovský**

*Tento příspěvek se zabývá hodnocením vlivu dvou různých forem paliva na vlastnosti energoplynu vzniklého při zplyňování dřeva v protiproudém zplyňovacím reaktoru se sesuvným ložem.*

Klíčová slova: zplyňování, biomasa, pelety, štěpka

### ÚVOD

Na zplyňovací proces má vliv řada veličin. Jednou z těchto veličin je i velikost paliva, resp. jeho forma. V tomto příspěvku je věnována pozornost dřevní hmotě ve formě štěpek a pelet.

Protože na našem pracovišti vzniká nový zplyňovací reaktor (r. 2007), bylo třeba provést některé zkoušky, týkající se kvality a složení plynu. Při zplyňování jsou některé parametry zplyňovacího procesu podobné, a proto byly zkoušky se zplyňováním pelet a štěpky provedeny na protiproudém reaktoru se sesuvným ložem, který má Výzkumné energetické centrum k dispozici již několik let.

### POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO ZPLYŇOVACÍHO REAKTORU



Obr. č. 1 Protiproudý zplyňovací reaktor se sesuvným ložem

Jedná se o protiproudý zplyňovací reaktor se sesuvným ložem. Před zkouškou se palivo nasype pomocí násypky do horní části reaktoru, tím se reaktor naplní. Zplyňovací vzduch je přiváděn do spodní části reaktoru, přes plynoměr, pomocí ventilátoru. Vzniklý plyn je veden do polního hořáku, kde je spalován. Polní hořák je opatřen malým hořákem na propan – butan, který slouží k zapalování vzniklého energoplynu a stabilizaci plamene především na počátku a konci zkoušky.

V případě, že dojde v reaktoru palivo, je tento odstaven. Pro pokračování ve zkouškách je nutno reaktor opět naplnit palivem a znovu palivo zapálit.

### VSTUPNÍ SUROVINA

Jako vstupní surovina byla při zplyňování použita u první zkoušky dřevní štěpka, u druhé zkoušky dřevní pelety (obr. č. 2)



Obr. č. 2 Použitá paliva při zplyňování (vlevo – dřevní štěpka, vpravo – dřevní pelety)

Vlastnosti použitých paliv

| Veličina                                | Jednotka            | Štěpka    | Pelety            |
|---|---------------------|-----------|-------------------|
| velikost (š x d)                        | mm                  | 2-4x10-30 | 6x10-30           |
| sypná hmotnost                          | kg.m <sup>-3</sup>  | 255       | 720 (>650*)       |
| spalné teplo, Q <sub>s</sub>            | MJ.kg <sup>-1</sup> | 19,24     | 18,86<br>(>17,5*) |
| <b>Průměrné složení paliva</b>          |                     |           |                   |
| vlhkost vzorku, W <sup>a</sup>          | % hm.               | 6,7       | 7,0 (>10*)        |
| obsah popele, A <sup>d</sup>            | % hm.               | 1,0       | 0,7 (<0,6*)       |
| prchavá hořlavina, V <sup>d</sup>       | % hm.               | 76,1      | 77,2              |
| fixní uhlík                             | % hm.               | 22,9      | 22,1              |
| <b>Elementární složení paliva (daf)</b> |                     |           |                   |
| C                                       | % hm.               | 48,12     | 47,87             |
| H                                       | % hm.               | 6,43      | 6,41              |
| O                                       | % hm.               | 45,34     | 45,62             |
| N                                       | % hm.               | 0,1       | 0,1               |
| S                                       | % hm.               | 0,01      | 0,01              |

\* hodnoty uváděny výrobcem

Tab. č. 1 Vlastnosti použitých paliv

Z tabulky (tab. 1) je patrné, že vlhkost, obsah popele, množství prchavé hořlaviny a fixního uhlíku je u obou vzorků paliva podobné. Rovněž prvkové složení hořlaviny je téměř totožné.

## PRŮBĚH ZKOUŠEK

Před zahájením zkoušky (jak první, tak i druhé) bylo palivo nasypáno do reaktoru. Byl přiveden zplyňovací vzduch a palivo bylo zapáleno. V průběhu zkoušky byl plyn kontinuálně analyzován a rovněž byl odebírán k pozdější podrobnější analýze.

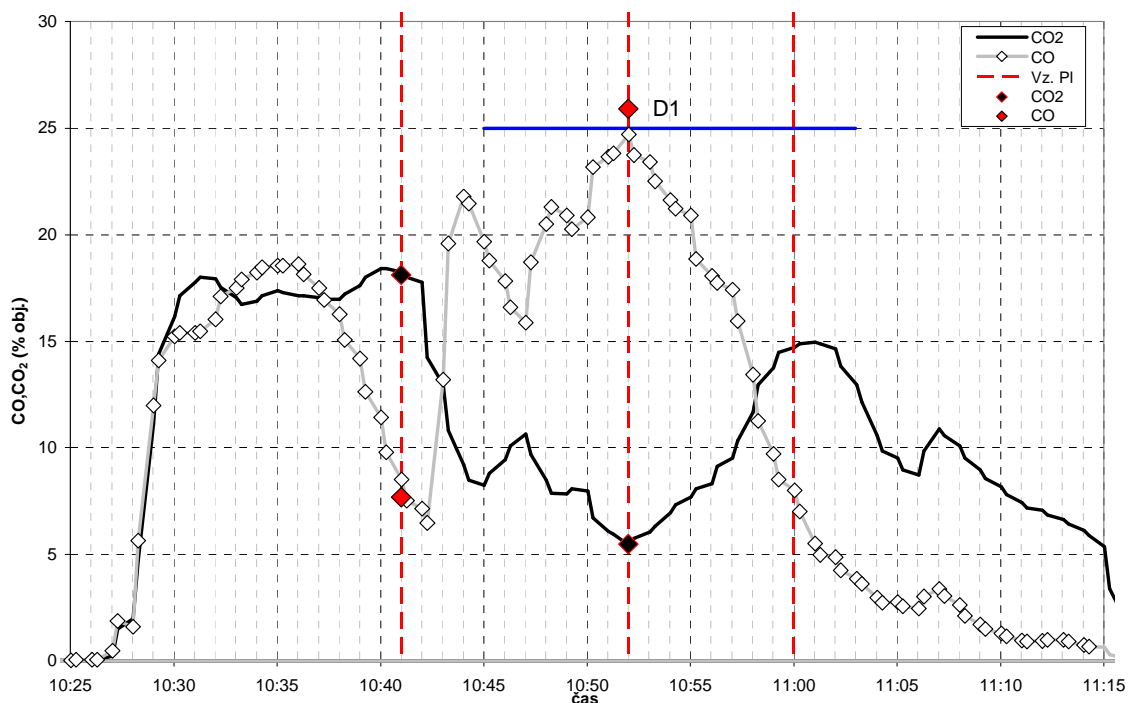


Obr. č. 3 Odběr vzorků

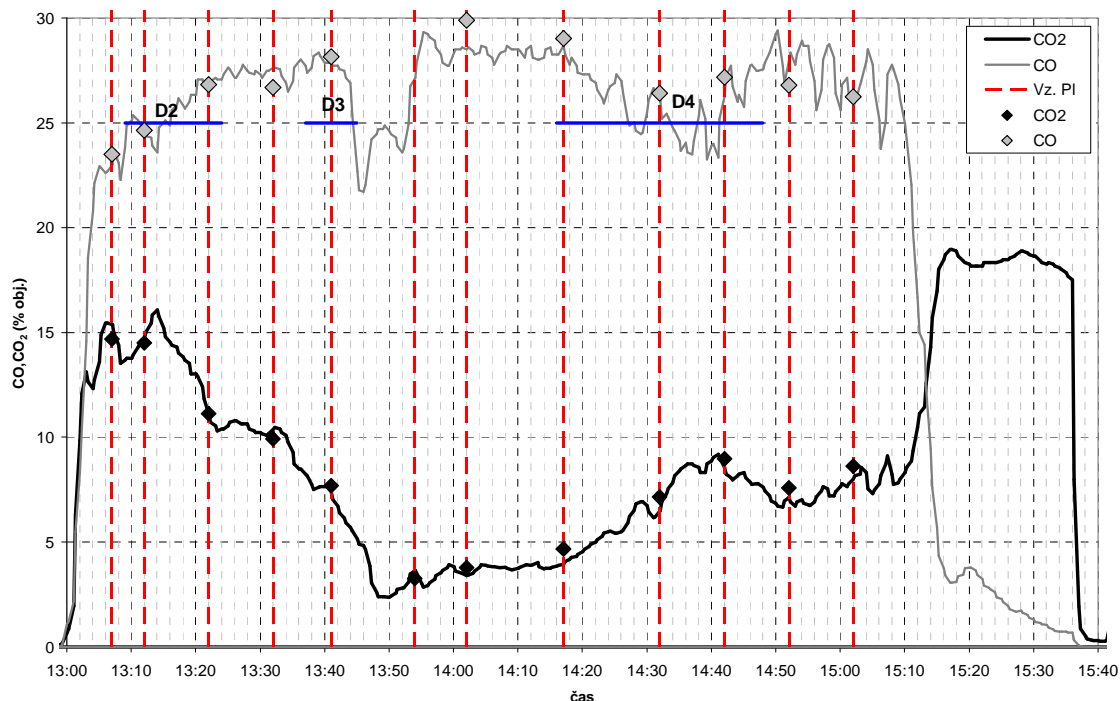


Obr. č. 4 Spalování dřevoplynu na polním hořáku

Obsah CO a CO<sub>2</sub> v plynu je uveden na obr. č. 5 – zplyňované palivo je dřevní štěpka a obr. č. 6 – zplyňované palivo jsou dřevní pelety.

Obr. č. 5 Obsah CO a CO<sub>2</sub> v plynu – zplyňování dřevní štěpky

Pokles obsahu CO v plynu v 10:36 je způsoben klenbováním dřevní štěpky. Přibližně v tomto okamžiku bylo palivo „prošťouchnuto“, tím se rozrušila klenba a došlo k dalšímu zplyňování paliva, což odpovídá opětovnému nárůstu CO v plynu.



Obr. č. 6 Obsah CO a CO<sub>2</sub> v plynu – zplyňování dřevních pelet

Pozn.: Na obrázcích č. 5 a č. 6 jsou vyznačeny jednotlivé odběry plynu. Označení D1 až D4 – jsou časové intervaly, kdy byly prováděny odběry kvůli analýze dehtů.

#### Množství dehtů v jednotlivých odběrech

Časové intervaly odběru plynů k analýze dehtů jsou patrné z obrázků č. 5 a č. 6. Vzorek jedna byl získán při zplyňování dřevní štěpky. Vzorky dva až čtyři byly získány při zplyňování dřevních pelet. Množství dehtů bylo stanoveno gravimetrickou metodou.

| Č. vz. | typ dehtu | Čas odběru vzorku |       | m <sub>dehet</sub><br>g | C <sub>tar</sub><br>(g.m <sup>-3</sup> ) |
|--------|-----------|-------------------|-------|-------------------------|--|
|        |           | počátek           | konec |                         |  |
| D1     | S+T       | 10:45             | 11:03 | 0,2361                  | <b>14,5</b>                              |
| D2     | P         | 13:09             | 13:24 | 3,4685                  | <b>229,7</b>                             |
| D3     | P         | 13:37             | 13:45 | 6,4892                  | <b>424,1</b>                             |
| D4     | S+T       | 14:16             | 14:48 | 1,0615                  | <b>24,4</b>                              |

P...primární dehet

S ...sekundární dehet

T...terciální dehet

Tab. č. 2 Obsah dehtů v plynu

Nízké množství dehtu ve vzorku D1 (zplyňování dřevní štěpky) je z toho důvodu, že byl vzorek odebrán v době, kdy byl zplyňován především fixní uhlík. To lze říci i u vzorku D4 (zplyňování dřevních pelet). Vzorky D2 a D3 (zplyňování dřevních pelet) obsahují velké množství dehtů. Odběry těchto vzorků byly provedeny v době, kdy probíhala v reaktoru pyrolýza a uvolňovalo se velké množství prchavé hořlaviny.

### Složení plynu

| Čas odběru<br>vzorek               | 10:40         | 10:51 | 10:42 | 13:07 | 13:12 | 13:22 | 13:32 | 13:41 | 13:54 | 14:02 | 14:17 | 14:32 | 14:42 | 14:52 | 15:02 |
|------------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | v1            | v2    | v3    | v4    | v5    | v6    | v7    | v8    | v9    | v10   | v11   | v12   | v13   | v14   | v15   |
|                                    | Obsah, % Obj. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| O <sub>2</sub> ve<br>vzorku*       | 0,65          | 0,17  |       | 0,16  | 0,17  | 0,14  | 0,13  | 0,13  | 0,16  | 0,15  | 0,16  | 0,43  | 0,16  | 0,16  | 0,18  |
| CO <sub>2</sub>                    | 18,12         | 5,50  |       | 14,68 | 14,50 | 11,12 | 9,93  | 7,69  | 3,26  | 3,78  | 4,68  | 7,16  | 8,97  | 7,59  | 8,61  |
| H <sub>2</sub>                     | 3,91          | 7,79  |       | 8,57  | 8,82  | 9,91  | 10,25 | 12,46 | 4,84  | 2,79  | 3,27  | 5,22  | 8,33  | 6,65  | 7,62  |
| CO                                 | 7,69          | 25,91 |       | 23,51 | 24,64 | 26,82 | 26,68 | 28,16 | 30,19 | 29,90 | 29,03 | 26,40 | 27,16 | 26,79 | 26,23 |
| CH <sub>4</sub>                    | 1,37          | 0,28  |       | 3,20  | 3,71  | 3,54  | 3,51  | 3,42  | 0,61  | 0,59  | 0,91  | 1,63  | 3,65  | 2,47  | 2,68  |
| N <sub>2</sub>                     | 67,76         | 59,74 |       | 48,61 | 47,05 | 47,31 | 48,47 | 47,19 | 60,11 | 61,84 | 60,83 | 57,68 | 49,14 | 53,95 | 52,18 |
| Ar**                               | 0,82          | 0,71  |       | 0,58  | 0,56  | 0,56  | 0,57  | 0,56  | 0,71  | 0,73  | 0,72  | 0,70  | 0,58  | 0,64  | 0,62  |
| ethan                              | 0,114         | 0,008 |       | 0,224 | 0,257 | 0,239 | 0,239 | 0,217 | 0,031 | 0,029 | 0,044 | 0,056 | 0,197 | 0,092 | 0,128 |
| ethylen                            | 0,115         | 0,028 |       | 0,336 | 0,254 | 0,245 | 0,164 | 0,139 | 0,117 | 0,179 | 0,284 | 0,501 | 1,145 | 0,830 | 0,947 |
| acetylen                           | 0,013         | 0,009 |       | 0,133 | 0,037 | 0,061 | 0,006 | 0,002 | 0,034 | 0,080 | 0,140 | 0,544 | 0,634 | 0,825 | 0,768 |
| propan                             | 0,020         | 0,003 |       | 0,028 | 0,039 | 0,040 | 0,042 | 0,039 | 0,005 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,012 | 0,006 | 0,007 |
| propen                             | 0,039         | 0,009 |       | 0,076 | 0,087 | 0,087 | 0,073 | 0,061 | 0,026 | 0,025 | 0,033 | 0,035 | 0,092 | 0,063 | 0,080 |
| buthany                            | 0,003         | 0,001 |       | 0,003 | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,008 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 1,3-butadien                       | 0,003         | 0,003 |       | 0,007 | 0,009 | 0,010 | 0,009 | 0,008 | 0,007 | 0,009 | 0,011 | 0,013 | 0,019 | 0,023 | 0,028 |
| propin                             | 0,002         | 0,001 |       | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,006 | 0,009 | 0,012 | 0,016 | 0,020 | 0,023 |
| 1-buten-3-in                       | 0,000         | 0,000 |       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| cyklopentadien                     | 0,000         | 0,000 |       | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| benzen                             | 0,000         | 0,000 |       | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,006 | 0,007 | 0,012 |
| toluen                             | 0,000         | 0,000 |       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| ostatní                            | 0,022         | 0,016 |       | 0,030 | 0,034 | 0,043 | 0,052 | 0,048 | 0,045 | 0,037 | 0,039 | 0,037 | 0,046 | 0,045 | 0,059 |
| Suma, %                            | 100           | 100   |       | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   |
| Q <sub>s</sub> , MJ/m <sup>3</sup> | 2,28          | 4,45  |       | 5,96  | 6,28  | 6,64  | 6,56  | 6,94  | 4,90  | 4,65  | 4,87  | 5,49  | 7,44  | 6,53  | 6,79  |

Tab. č. 3 Složení plynu ze zplyňování biomasy.

Pozn.: Vzorky plynu v1, v2 jsou ze zplyňování dřevní štěpky. Vzorky v4 až v15 jsou ze zplyňování dřevních pelet. Vzorek v3 nebyl analyzován.

### ZÁVĚR

Protože u zplyňování dřevní štěpky byly provedeny pouze dva odběry plynu a při zplyňování dřevních pelet bylo provedeno dvanáct odběrů, nelze výsledky zcela objektivně srovnávat. Přesto je z obrázků č. 5 a č. 6 patrné, že při zplyňování dřevních pelet je vyvíjen plyn, který obsahuje větší množství CO než plyn vznikající zplyňováním dřevních štěpek. Podle tab. č. 3 je rovněž vyšší množství vodíku a metanu v plynu vznikajícího zplyňováním dřevních pelet. Tyto prvky, oxid uhelnatý, vodík a metan, jsou prvky, které ovlivňují výhřevnost dřevoplynu. Z uvedených závěrů pak vyplývá, že průměrná výhřevnost plynu vzniklého zplyňováním dřevních peletek je vyšší, než zplyňováním dřevní štěpky. Těmto závěrům odpovídají i naměřené hodnoty uváděné v tab. č. 3, kde průměrná hodnota spalného tepla plynu vzniklého

zplyňováním dřevních pelet je podstatně vyšší oproti hodnotám spalného tepla plynu vzniklého zplyňováním dřevní štěpky.

Zvolená forma paliva značným způsobem ovlivňuje kvalitu zplyňovacího procesu a vzniklého plynu, proto je forma paliva jeden z velmi důležitých parametrů v procesu zplyňování.

Zplyňovací proces a kvalitu vyrobeného plynu může zvolená forma paliva značným způsobem ovlivnit a daná forma být jedním z velmi důležitých parametrů ve zplyňovacím procesu.

### **PODĚKOVÁNÍ**

Odběry plynů, analýzu a zpracování výsledků provedli zaměstnanci Ústavu plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší z VŠCHT Praha.

Tento příspěvek vznikl za podpory Grantové agentury České republiky, projekt GAČR 101/03/H064 „Energie z biomasy“

## ADSORPCE H<sub>2</sub>S, HCL A HF Z GENERÁTOROVÉHO PLYNU NA KOMERČNÍCH A KARBONÁTOVÝCH SORBENTECH

**Pavel Machač, Václav Koza, Petr Pekárek, Kateřina Bradáčová, Pedro Delgado Moniz**

*Článek se zabývá čištěním generátorového plynu pro energetické využití ve vysokoteplotních palivových člancích metodou vysokoteplotní adsorpce. Jsou zde uvedeny metody přípravy sorbentů, testovací aparatura, použité analytické metody a přehled dosažených výsledků.*

Klíčová slova: Vysokoteplotní adsorpce, H<sub>2</sub>S, HCl, HF

### ÚVOD

Zplyňování biomasy je jedním z efektivních způsobů získávání energie v nepříliš vzdálené budoucnosti. Produkovaný plyn však obsahuje řadu nežádoucích složek. Pro použití ve vysokoteplotních palivových člancích jsou striktně omezeny koncentrace kyselých složek, zvláště pak sulfanu, ale také kyseliny chlorovodíkové a fluorovodíkové. Proto je nezbytné výše uvedené sloučeniny efektivně odstranit z produkovaného plynu.

### VYSOKOTEPLTNÍ PALIVOVÝ ČLÁNEK

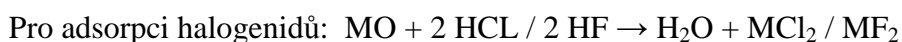
Palivový článek je stručně charakterizován jako elektrochemické zařízení, přeměňující chemickou energii obsaženou v palivu přímo na elektrickou energii. Oproti jiným metodám získávání energie dosahuje tato metoda vyšší elektrické účinnosti – a to přes 60 %. Palivových článků existuje široká škála – liší se jak použitým elektrolytem, tak teplotou, při které mohou být provozovány. Pro náš výzkum se předpokládá využití vysokoteplotního palivového článku typu HTSOFC (High Temperature Solid Oxide Fuel Cell) využívající jako elektrolyt pevné oxidy kovů a pracující v teplotním okénku 650 – 1000 °C.

### POŽADAVKY PALIVOVÉHO ČLÁNKU NA SLOŽENÍ POUŽITÉHO PLYNU

Je nezbytné odstranit sírné látky, jako jsou sulfan a karbonyl sulfid. Tyto látky jsou velice agresivní (silně korozivní, katalytické jedy), takže jejich koncentrace je striktně omezena pod 1 ppm obj. Taktéž je nutné zachytit minerální kyseliny, jako jsou kyselina chlorovodíková, popř. fluorovodíková. Jejich koncentrace nesmí překročit 10 objemových ppm.

### PRINCIP VYSOKOTEPLTNÍ ADSORPCE

Pro vysokoteplotní adsorpci nežádoucích složek generátorového plynu jsou využívány oxidy kovů. Tyto oxidy (MO; M = kov) přímo reagují se zachycovanou látkou podle následujících reakcí:



Pro laboratorní měření byly využívány 3 různé směsi plynů o následujícím složení hlavních komponent (v % obj.): CO 16, H<sub>2</sub> 14, CO<sub>2</sub> 14, H<sub>2</sub>O 13, zbytek N<sub>2</sub>. Směsi plynů se lišily

v koncentraci methanu a ethanu, tyto dvě složky by mohly z hlediska termodynamiky ovlivnit rovnováhu adsorpce na použitých oxidech kovů.

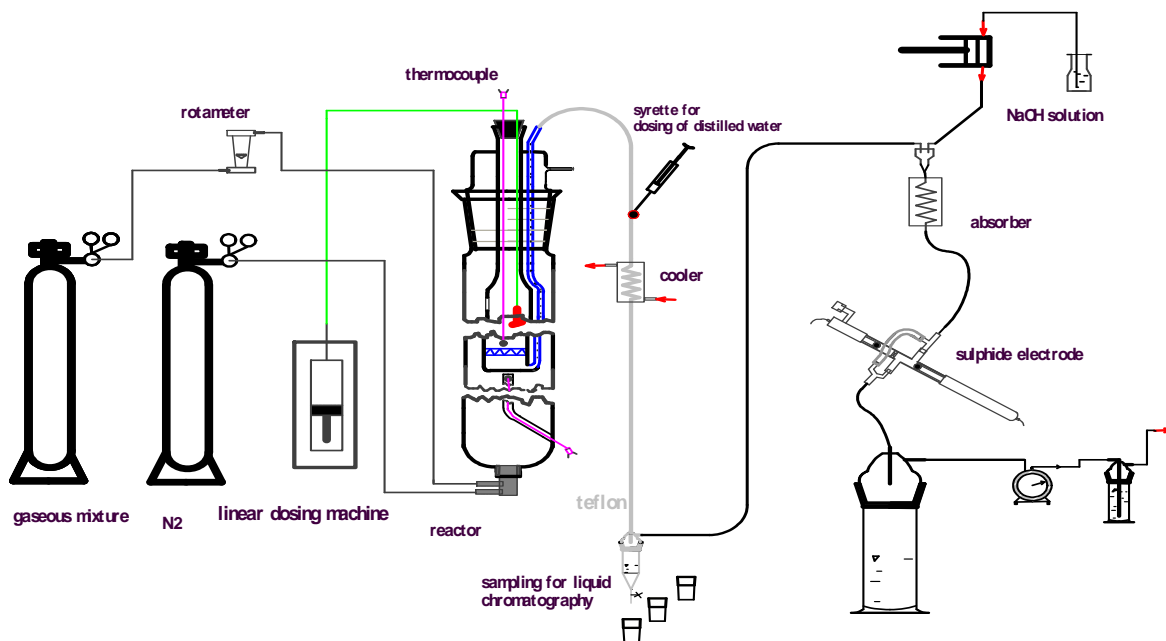
Vstupní koncentrace nežádoucích látek v ppm obj.: H<sub>2</sub>S 100/200, COS 15, HCl 75/150, HF 10/20.

Požadovaná výstupní koncentrace nežádoucích látek v ppm obj.: H<sub>2</sub>S 1, COS 1, HCl pod 10, HF pod 10

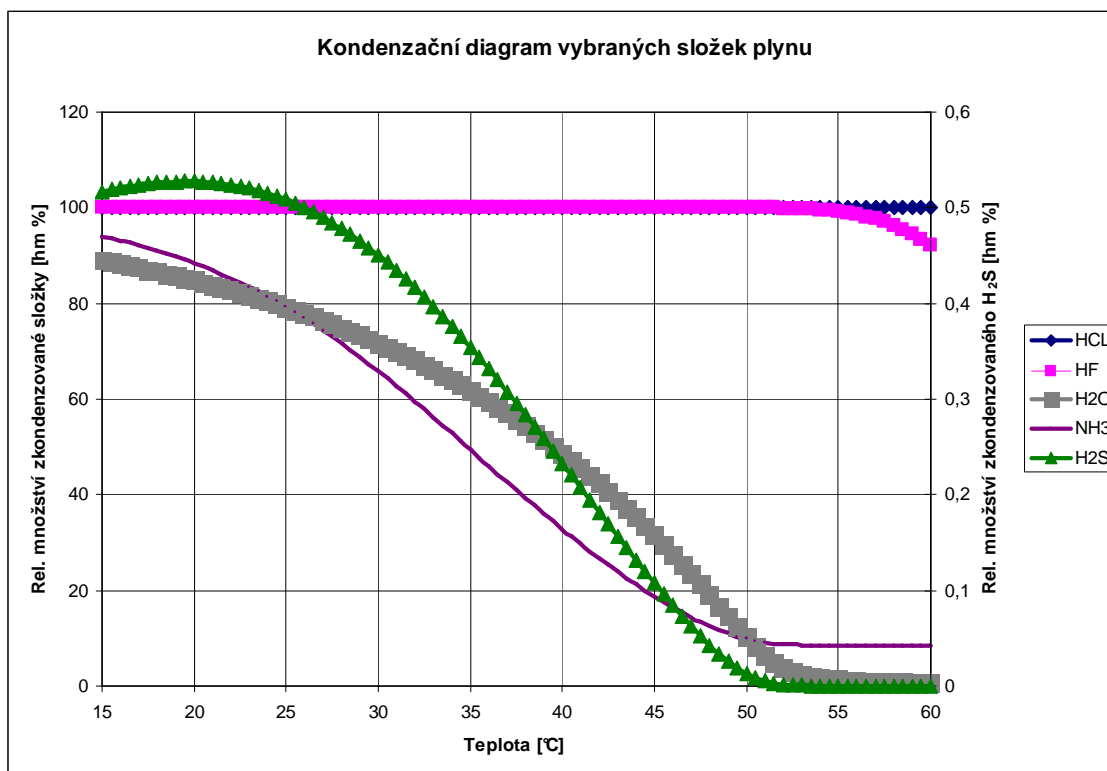
Teplotní okénko jednotlivých pokusů bylo 300 °C až 900 °C a všechna měření probíhala za normálního tlaku 101,325 kPa.

## APARATURA

Na Obr. 1 je znázorněna aparatura používaná pro testování vlastností použitých sorbentů. Navážka sorbentu byla nasypána na lože reaktoru. Nastavila se požadovaná teplota a zapnula se pec. Po vyhřátí na zadanou teplotu se zahájilo dávkování vodného roztoku HCl a HF lineární pumpou a byl otevřen přívod směsi plynů z tlakové lahve. Požadovaná koncentrace H<sub>2</sub>O, HCl a HF na vstupu se vytvořila odpařením roztoku do proudu plyné směsi. Při aplikaci analytických metod pro stanovení H<sub>2</sub>S HCl a HF bylo využito té skutečnosti, že v oblasti teplot nad 50 °C se sulfan v jímaném kondenzátu již prakticky nerozpouští, jak je uvedeno v kondenzačním diagramu viz obr. 2, kdy se využívá současné kvantitativní kondenzace obou kyselin (ideálně při 53 °C), přičemž sulfan pokračuje dále v plyné fázi. Stanovení koncentrace zachycovaných komponent na výstupu z reaktoru po průchodu směsi plynů vrstvou testovaného sorbentu bylo realizováno několika analytickými metodami, z nichž jsou některé zakresleny na následujícím obr. 1.



Obr. č.1 Aparatura používaná pro testování sorbetů



Obr. č. 2 Kondenzační diagram vybraných složek plynu

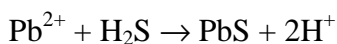
### ANALYTICKÉ METODY STANOVENÍ SLEDOVANÝCH SLOŽEK

Výstupní koncentrace jednotlivých složek směsi plynů byla stanovena následujícími analytickými metodami:

Pro kontinuální stanovení sulfanu je používána sulfidová elektroda.

Pro stanovení HCl a HF je využívána kapalinová chromatografie. Vzorkem pro chromatografické stanovení těchto látek je kondenzát vzniklý ochlazením plynu vystupujícího z reaktoru podle obr. 1.

K důkazu nerozpustnosti H<sub>2</sub>S v kondenzátu (teplota kondenzace nad 50 °C) byl použit roztok octanu olovnatého o koncentraci 50g/l. Po jeho přidavku do kondenzátu nedošlo ke zčernání ani ke ztmavnutí v důsledku tvorby sirníku olovnatého dle následující rovnice.



### TESTOVANÉ SORBENTY

Pro testování byla připravena celá škála sorbentů. Při přípravě se vycházelo převážně z dusičnanů kovů. Mezi použité látky patřily např.: Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O, Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9 H<sub>2</sub>O, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 3 H<sub>2</sub>O a Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4 H<sub>2</sub>O. Jako nosiče se osvědčily např. γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, αAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, grafit a aktivní uhlí.

Z přírodních látek byly testovány dolomity s různým stupněm úpravy (žhánání, vypírání).

Též se testovaly komerční katalyzátory na bázi hořčíku, mědi a zinku na různých nosičích.

## METODY PŘÍPRAVY TESTOVANÝCH SORBENTŮ

Testované sorbenty se připravovaly jednou z následujících tří metod: spolusrážení, homogenní srážení a impregnace.

Postup spolusrážení využívá dusičnany požadovaných kovů  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  a  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  a čpavkovou vodu pro úpravu pH roztoku na hodnotu 10. Nosičem sorbentu je buď  $\gamma$  alumina nebo silika. Směs se zfiltruje, suší ve vakuu při  $70^\circ\text{C}$  a kalcinuje se při  $500^\circ\text{C}$ . Produktem je sorbent na bázi  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  nanesený na zvoleném nosiči.

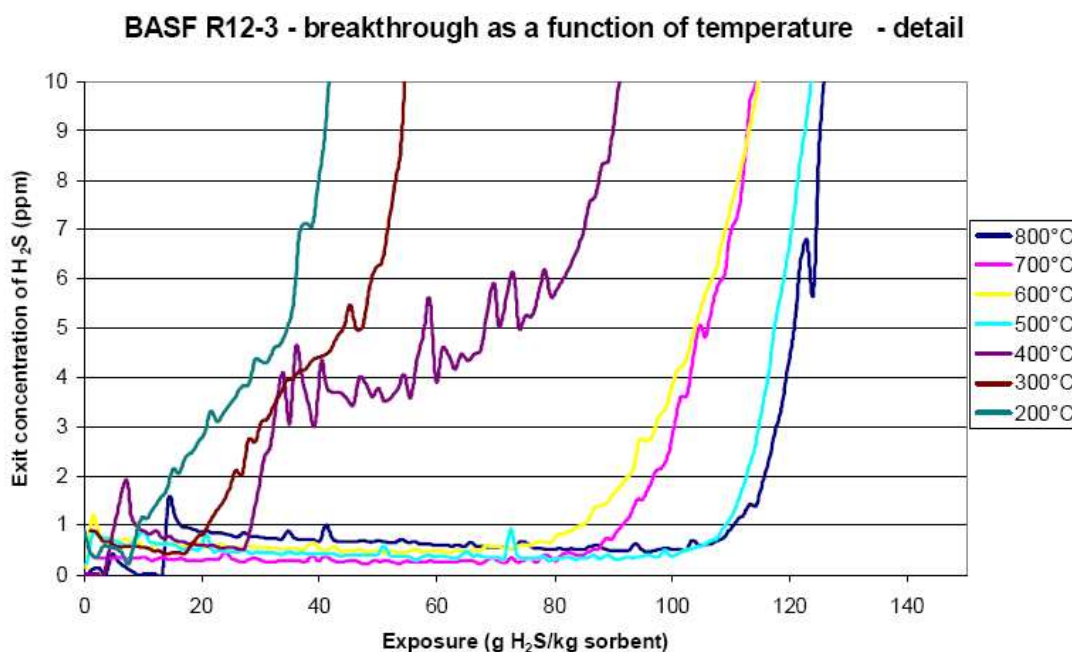
Postup homogenního srážení je založen např. na  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ , k němuž se přidává močovina. Po zfiltrování a sušení ve vakuu se získá  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , který se kalcinuje při teplotách od  $400$  do  $500^\circ\text{C}$ .

Impregnační postup používá roztok  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  a  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  a nosič  $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ . Po vysušení a kalcinaci je získán směsný sorbent na bázi zinku a železa.

Dolomity byly upravovány kalcinací v peci při teplotách  $700$ ,  $850$  a  $950^\circ\text{C}$ . Kalcinace trvala vždy 30 minut.

## DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Pro sorpci sulfanu se ukázaly jako neúčinnější komerční katalyzátory na bázi zinku a mědi na alumině, přičemž byly testovány jak v ČR vyrobené, tak i zahraniční. Litvínovský katalyzátor je navíc zajímavý i z cenových důvodů. Tyto katalyzátory adsorbují s nižší účinností též minerální kyseliny. Oproti tomu na záchyt sulfanu se příliš neosvědčily přírodní karbonátové adsorbenty (dolomity a vápence a to i různě chemicky upravené). V literatuře je popsána sorpce sulfanu na vápencích pro snížení vysokých koncentrací (cca tisíců ppm) – dle našich zkušeností nelze ale dosáhnout limitů stanovených pro palivové články. Dosažené výsledky pro německý komerční katalyzátor BASF naznačuje následující graf na obrázku 3.



Obr. č. 3 Průrazové křivky pro komerční katalyzátor BASF

U výše uvedených komerčních katalyzátorů lze dosáhnout požadované koncentrace sulfanu pod 1 ppm.

Pokud jde o přírodní látky jako např. dolomity, ty vykázaly dobré výsledky při záchytu minerálních kyselin, ale byly nepoužitelné v případě adsorpce sulfanu. Jako příklad dosažených výsledků může posloužit následující tabulka č. 1. Z té je zřejmé, že neoptimálnější je kalcinace při 850 °C, kdy bylo dosaženo nejvyšší adsorpční kapacity pro záchyt minerálních kyselin. Další závislostí je nepřímá úměra mezi reakční teplotou a kapacitou dolomitu. Čím nižší je teplota, tím vyšší je adsorpční kapacita.

| Vzorek  | Navážka        | Vrstva | T <sub>kalcinace</sub> | T <sub>pokusů</sub> | Kap. H <sub>2</sub> S | Kap. kys.  |
|---------|----------------|--------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------|
|         |                |        |                        |                     | do průrazu            | do průrazu |
|         | g              | cm     | °C                     | °C                  | g/kg                  | g/kg       |
| Dolomit | uhlíčitan 27.3 | 2      | 700                    | 400                 | 0.15                  | 1.60       |
| Dolomit | kalcinát 17.7  | 2      | 950                    | 500                 | 0.11                  | 3.74       |
| Dolomit | kalcinát 17.8  | 2      | 850                    | 300                 | 0.11                  | 15.15      |

Tab. č.1 Přehled adsorpčních kapacit testovaných dolomitů.

| Vzorek   | Navážka | Vrstva | T <sub>kalcinace</sub> | T <sub>pokusů</sub> | Kap. H <sub>2</sub> S | Kap. kys.  |
|----------|---------|--------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------|
|          |         |        |                        |                     | do průrazu            | do průrazu |
|          | g       | cm     | °C                     | °C                  | g/kg                  | g/kg       |
| Litvínov | 89.6    | 10     | N                      | 500                 | N                     | N          |
| Litvínov | 35.8    | 4      | N                      | 400                 | N                     | N          |
| Litvínov | 17.8    | 2      | N                      | 400                 | 4.74                  | 6.62       |
| Litvínov | 17.8    | 2      | N                      | 300                 | 3.16                  | 8.88       |

Tab. č. 2 Adsorpční kapacity litvínovského katalyzátoru

Je zřejmé, že **litvínovský katalyzátor vykazuje oproti dolomitu jako zástupci karbonátových sorbentů mnohem vyšší adsorpční kapacity pro H<sub>2</sub>S. Na druhé straně vykazuje také určitou kapacitu pro záchyt kyseliny chlorovodíkové a fluorovodíkové, což se původně nepředpokládalo.** U měření která byla prováděna s vysokou navážkou katalyzátoru nebylo dosaženo průrazu H<sub>2</sub>S (jsou označena písmenem N).

V budoucnosti budou následovat testy dalších přírodních látek, hlavně vápenců, s různým stupněm úprav.

Výzkum bude dále zaměřen na laboratorní přípravu dalších sorbentů.

Prezentované výsledky byly získány za spolufinancování prostředků úkolu MSM 6046137304.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Girard, P. (2003): SOFC fuel cell fuelled by biomass gasification gas. Paris, 65s.
- [2] Machač P., Krystl V., Kuba J., Koza V., Skoblja S., Chalupa P.: Vývoj aparatury pro měření sorpce H<sub>2</sub>S na tuhých sorbentech za vysokých teplot s ohledem na čištění

energetického plynu ze zplyňování biomasy. Seminář Energie z biomasy III. VUT Brno, 2004.

[3] Ditl P.: Difúzně separační pochody, ČVUT, Praha, 2002.

[4] Machač P., Kuba J., Chalupa P., Píša J., Kremanová B.: Vysokoteplotní sorpce  $H_2S$   $CO_2$ ,  $HCl$  a  $HF$  z energetického plynu. Sborník přednášek konference APROCHEM 2005 (476 – 481).

## NOVÝ TYP ZAŘÍZENÍ PRO SPALOVÁNÍ BIOMASY A FYTOMASY II. ZVYŠOVÁNÍ TERMICKÉ ÚČINNOSTI A ŘÍZENÍ

Vítězslav Máša, Lukáš Urban

*Příspěvek je věnován problematice využití různých druhů biomasy v menších energetických systémech a moderním přístupům ke zvýšení efektivity spalování. Budou zmíněny metody určování účinnosti a zhodnocena jejich použitelnost. Článek dále popisuje obecné přístupy k regulaci kotlů na biomasu, přičemž představuje také aplikaci konkrétního řídicího systému na novém prototypu experimentální jednotky o výkonu 1 MW. Zvláštní pozornost je věnována prvkům pro zvýšení účinnosti zařízení. Jde zejména o recirkulaci spalin a předehřev vzduchu.*

Klíčová slova: kotel, spalování, biomasa, účinnost, regulace

### ÚVOD

Biomasa jako palivo má mnoho předností, které zvyšují podporu jejího využívání jak na úrovni EU, tak v rámci jednotlivých členských států. Vzhledem k omezenému potenciálu odpadní biomasy se v poslední době obrací pozornost k pěstování energetických bylin a rychle rostoucích dřevin vhodných ke spalování. Biomasa je považována za lokální energetický zdroj a zhoršená dostupnost jednoho typu biomasy v blízkém okolí je často omezením pro stavbu nového tepelného zdroje. Jako výhodné řešení tohoto problému se jeví využití paliva z různých zdrojů v jednom spalovacím zařízení. Experimentální jednotka je uzpůsobena ke spalování různých druhů biopaliv. Jejich proměnné vlastnosti však silně ovlivňují parametry procesu hoření. Příspěvek si neklade za cíl mapovat tento proces, ale na příkladu konkrétního zařízení specifikovat prvky ovlivňující účinnost spalování a jejich řízení. Článek navazuje na publikaci [1].

### ÚČINNOST JEDNOTKY

Účinnost kotle lze určit dvěma způsoby – metodou přímou a nepřímou. V případě výpočtu účinnosti *přímou metodou* se určuje účinnost jako množství energie předané, vzhledem k energii dodané potenciálně do systému.

$$\eta_{kt} = \frac{M_v \cdot (i_{vn} - i_{vz})}{M_{pv} \cdot Q_n} \quad [-], \quad (1)$$

kde je  $i_{vn}$  [kJ/kg] entalpie vody na výstupu z výměníku (náběh),  $i_{vz}$  [kJ/kg] entalpie vratné vody do výměníku (zpátečka),  $M_v$  [kg/s] hmotnostní průtok vody,  $M_{pv}$  [kg/s] spotřeba paliva a  $Q_n$  [kJ/kg] jeho výhřevnost.

*Nepřímá metoda* počítá účinnost zařízení prostřednictvím vyčíslení celkových ztrát zařízení. Ze známé velikosti poměrných tepelných ztrát kotle je možné určit jeho hrubou účinnost nepřímým způsobem podle vztahu:

$$\eta_{kt} = 100 - \sum \zeta_i \quad [\%], \quad (2)$$

kde  $\sum \zeta_i = \zeta_{MN} + \zeta_{CN} + \zeta_f + \zeta_k + \zeta_{sv}$  je součet všech ztrát kotelního zařízení v %.

Pro využití nepřímé metody je nutné znát druh a velikost ztrát, ke kterým v zařízení může docházet. Standardně se při spalování tuhých paliv dle [2] uvažuje pět základních ztrát:

- $\zeta_{MN}$  ztráta mechanickým nedopalem
- $\zeta_{CN}$  ztráta chemickým nedopalem
- $\zeta_f$  ztráta fyzickým (citelným) teplem tuhých zbytků
- $\zeta_k$  ztráta citelným teplem spalin (komínová)
- $\zeta_{sv}$  ztráta sáláním a vedením tepla do okolí

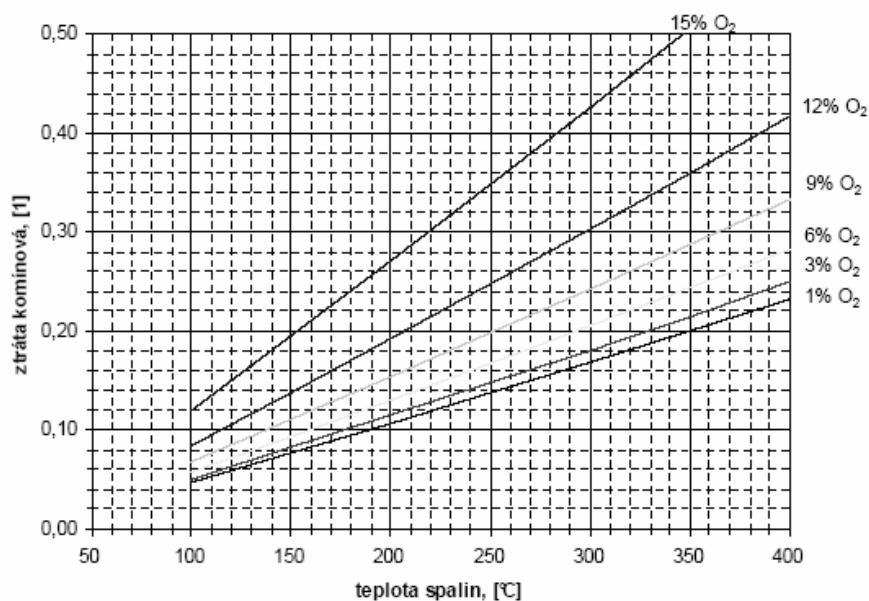
Zatímco u přímé metody je možné výstupní teplo kvantifikovat, v případě metody nepřímé je vše závislé na přibližných odhadech. Pokud jsou ovšem data dobře sladěná, jsou si obě účinnosti téměř rovny.

Obtíže jsou v obou případech způsobeny právě použitým palivem – biomasou. V případě přímého výpočtu účinnosti narážíme na problém, jak stanovit spotřebu paliva  $M_{pv}$  [kg/s]. Jedna možnost spočívá ve využití kvalitní biomasy o přibližně stálé hustotě a výhřevnosti, kdy by bylo možné její hmotnost dopočítávat z objemu paliva dopraveného hydraulickým dopravníkem. Takové palivo ovšem není v okolí zdroje k dispozici a tak zůstává prakticky jediná možnost určení  $M_{pv}$  - přímým vážením dodávaného paliva. Při nominálním výkonu se však spotřeba biomasy pohybuje kolem 450 kg/h a vážení by tak bylo nutné automatizovat instalací tenzometrické váhy. Momentálně se hledají způsoby, jak tuto možnost realizovat. Pro přesnější stanovení účinnosti přímou metodou je také nutné znát výhřevnost paliva  $Q_n$ .

Pro určení účinnosti je vhodnější využít nepřímou metodu. Její výhoda spočívá zejména v možnosti stanovení vlivu jednotlivých ztrát na celkovou účinnost a udává tak směr, kterým se při snaze o její zvýšení vydat. Vzhledem k současnému stavu výzkumných a vývojových prací, byl pro urychlení výpočtu použit zjednodušený vztah dle [3]:

$$\eta_{kt} = 100 - \zeta_k - 4 \quad [\%], \quad (3)$$

Uvedený vztah vyjadřuje fakt, že nejvýznamnější ztrátou celého procesu je ztráta citelným teplem spalin (komínová), která představuje teplo odcházející z kotle v kouřových plynech. Ostatní ztráty jsou vyjádřeny konstantní hodnotou ve výši 4%. Pro stanovení komínové ztráty  $\zeta_k$  byl použit diagram na obr. č. 1 [4], který vyjadřuje její závislost na teplotě spalin  $t_{sn}$  pro nejnejpříznivější případ – biomasu o obsahu vody 50% a výhřevnosti 8 MJ/kg. V ustáleném stavu při jmenovitém výkonu se naměřený obsah kyslíku pohyboval kolem 12% a teplota spalin kolem 130°C. Obsah nespálených látek v tuhých zbytcích se předpokládá asi 20%. Odečtem z diagramu byla stanovena komínová ztráta  $\zeta_k = 12\%$  a účinnost kotle  $\eta_{kt} = 84\%$ . Vzhledem k předchozímu je zřejmé, že jde spíše o orientační odhad účinnosti než o její reálnou hodnotu. Přesnější určení jednotlivých ztrát se plánuje v dalších fázích výzkumu.



Obr. č. 1 Závislost komínové ztráty  $\zeta_k$  na teplotě spalin  $t_{sn}$  pro různé koncentrace O<sub>2</sub>

Pro úplnost uveďme vztah, který se obvykle používá pro výpočet komínové ztráty [5]:

$$\zeta_k = V_{snv} \cdot \bar{c}_{snov} \cdot (t_{sn} - t_0) / Q_n \quad [-], \quad (4)$$

kde je  $\bar{c}_{snov}$  [kJ/kg.K] střední integrální hodnota měrné tepelné kapacity spalin v teplotním intervalu  $\langle t_0; t_{sn} \rangle$ ,  $V_{snv}$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] skutečný objem vlhkých spalin a  $Q_n$  [kJ/kg] jeho výhřevnost.

Vztažná teplota  $t_0$  vychází z bilance kotle. Pokud není v projektu stanovena, použije se  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . Výpočet měrné tepelné kapacity spalin je blíže popsán v [5]. Vztah (4) ukazuje, že znalost výhřevnosti paliva  $Q_n$  je nezbytná také v případě výpočtu nepřímou metodou.

## REGULACE JEDNOTKY

U kotlů středních výkonů je spalovací proces obvykle řízen na dvou úrovních. Jedna regulační smyčka zajišťuje dosažení žádaného výkonu kotle a druhá optimalizuje samotné spalování. V případě jednotek pro spalování biomasy je třeba počítat s výraznou závislostí výkonu na homogenitě paliva. Návrh stabilní a kvalitní regulace se může stát vzhledem k proměnným vlastnostem paliva nesnadným úkolem.

### Regulace výkonu kotle dle odběru spotřebitele

Jako měřítko regulace výkonu kotle je použit odběr tepla spotřebitelem. Výkon se reguluje jako u ostatních spalovacích zařízení prostřednictvím přísunu množství paliva a primárního vzduchu. Řídicí veličinou je výstupní teplota spalin z kotle. Poruchovou veličinou je odebíraný tepelný výkon. To znamená, že je měřen tepelný výkon momentálně odebíraný spotřebitelem. Z tohoto topného výkonu se přibližně vypočítává a nastavuje optimální množství paliva na základě odpovídající výhřevnosti a tepelné účinnosti zdroje. Podle průběhu výstupní teploty topného média z kotle a tepelného výkonu je stále upravováno toto

vypočtené množství paliva. Přednost zmíněné regulace spočívá v tom, že přísun paliva může být téměř bez zpoždění přizpůsoben odebíranému tepelnému výkonu.

#### *Regulace spalování podle množství kyslíku*

Úroveň dokonalosti spalování je zřejmá i z množství kyslíku ve spalinách, daného přebytkem vzduchu  $\lambda$ . Pro zjištění koncentrace kyslíku ve spalinách slouží měřicí čidlo, tzv. lambda sonda. Takové měření má větší vypovídací schopnost o spalování, než v prvním případě. Spalování je regulováno s využitím sekundárního přívodu vzduchu.

#### *Použitý způsob regulace*

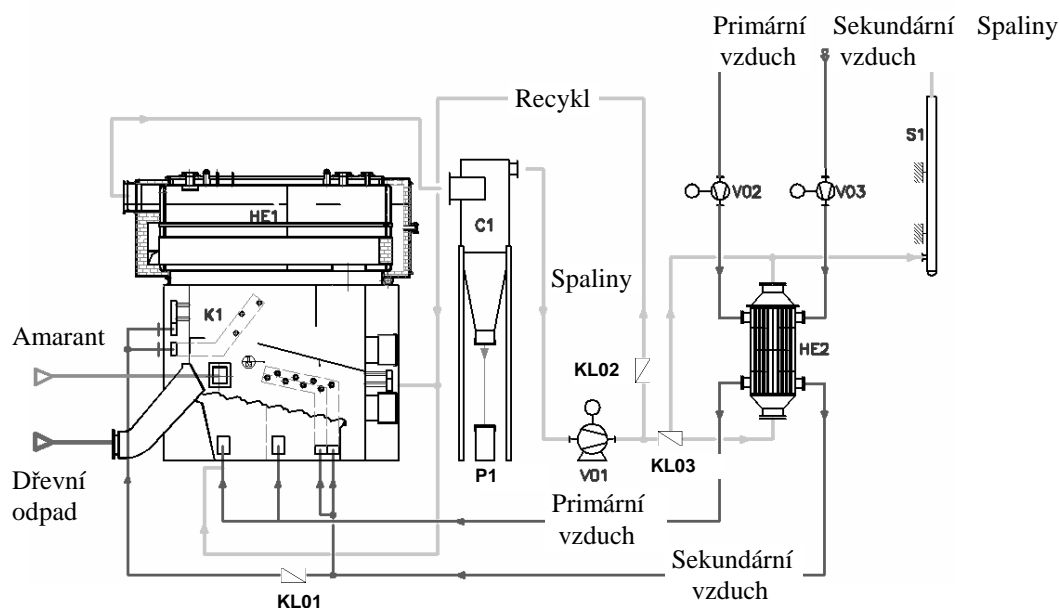
V případě prototypu experimentálního zařízení (viz obr. č. 2) byla jako regulovaná veličina zvolena výstupní teplota média (vody) z kotle. Při projektovaném teplotním spádu je tato teplota 90°C. Žádanou hodnotu lze měnit na operátorském panelu regulátoru. Regulace přísunu paliva závislá pouze na výstupní teplotě média může mít (oproti regulaci podle odběru spotřebitele) nevýhodu v prodloužení doby reakce na změnu zatížení. V našem případě je ovšem jednotka použita pro vytápění výrobní haly, kde lze odebíraný tepelný výkon považovat za konstantní.

Podle výkonu podavače se lineárně řídí otáčky ventilátoru primárního vzduchu V02 (viz obr. č. 2). Právě volba vhodného poměru otáček ventilátoru k výkonu podavače je určující pro dosažení žádaných emisních poměrů. Do budoucna však bude vhodné doplnit systém kontinuální analýzou spalin. Díky informaci o hodnotách O<sub>2</sub> a CO ve spalinách bude možné lépe řídit otáčky ventilátoru sekundárního vzduchu. Ten je v současné době ovládán podle teploty ve spalovací komoře.

Vedle této základní regulace je systém tvořen také dalšími smyčkami, bez jejichž přítomnosti by kotel jako tepelný zdroj nemohl fungovat. Jde o regulaci:

- teploty vratné vody do kotle směšovacím ventilem (na konstantní hodnotu)
- tlaku v systému doplňováním a odpouštěním vody (na konstantní hodnotu)
- teploty vody ústředního topení směšovacím ventilem (ekvitermní)

Pro řízení kotelny byl použit modulární řídicí systémem (ŘS) ADiS 167. ŘS vykonává veškeré úkony zadané obsluhou a automatické algoritmy. Program realizující regulaci jednotky byl vytvořen ve vývojovém prostředí PSP3. Zařízení je vybaveno GSM modemem, který prostřednictvím SMS zpráv (poruchy, stavy) dálkově monitoruje provoz technologie.



K1 – Spalovací komora

HE1 – Teplovodní výměník

HE2 – Rrekuperační výměník

C1 – Multicyklon

S1 – Komín

P1 – Popelnice

V01 – Spalinový ventilátor

V02 – Ventilátor primárního vzduchu

V03 – Ventilátor sekundárního vzduchu

KL01 – Klapka sekundárního vzduchu

KL02 – Klapka recirkulace spalin

KL03 – Klapka rekuperace spalin

Obr. č. 2 Schéma prototypové jednotky na spalování biomasy a fytomasy

## ŘÍZENÍ PRVKŮ ZVYŠUJÍCÍCH TERMICKOU ÚČINNOST JEDNOTKY

Vedle zvýšení termické účinnosti přináší efektivní řízení předehřevu vzduchu a recirkulace spalin také možnost spalovat různé druhy biomasy a fytomasy při zachování konstantních spalovacích podmínek.

### *Předehřev vzduchu*

Předehřev vzduchu zvyšuje účinnost zařízení zpětným využitím tepla obsaženého ve spalinách k ohřevu vzduchu přiváděného do spalovací komory. Pro předehřev vzduchu bylo použito dvoustavové regulace realizované uzavírací pneumatickou klapkou KL03. Klapka se zavírá, pokud je teplota primárního i sekundárního vzduchu menší než žádaná mez zapnutí. Po jejím uzavření prochází vzduch přes rekuperační výměník. Klapka se otevírá, pokud je některá z teplot větší než mez vypnutí. Je-li klapka otevřena, spaliny proudí zkratem přímo do komína S1. Míra předehřevu je dána pouze teplotou spalin.

### *Recirkulace spalin*

Jak je zřejmé z kap. 2, účinnost je příznivě ovlivňována snižováním koncentrace kyslíku ve spalinách vystupujících z kotle. Recirkulace spalin je zpětné vracení určitého množství spalin do prostoru spalovací komory. Tím je kyslík obsažený ve spalinách zpětně využit a účinnost stoupá. Řízení recirkulace spalin probíhá spojitě. Klapka určující míru recirkulace KL02 je ovládána lineárně dle nastavených teplot pro její minimální a maximální polohu. Optimální hodnoty těchto teplot pro jednotlivá paliva budou předmětem dalšího výzkumu.

## ZÁVĚR

V článku byla řešena problematika určování účinnosti kotlů středních výkonů spalujících biomasu. Vzhledem ke snaze zvyšovat celkovou účinnost zařízení je důležité co možná nejpřesněji určit jednotlivých ztrát. Jako vhodný prostředek lze doporučit nepřímou metodu stanovení účinnosti. Dále byly probrány základní přístupy k regulaci jednotek pro spalování biomasy a specifikována konkrétní aplikace řídicího systému. Palivem, které bylo pro experimentální zkoušky používáno byla drcená dřevní štěpka z lesních odpadů. V další fázi výzkumu a vývoje však bude jednotka rozšířena o rozdružovač balíků, což umožní spalování stébelnin. Specifické vlastnosti stébelnin vyvolají nutnost upravit regulaci tak, aby při jejich spalování nedocházelo k nežádoucím jevům, jako je spékání paliva nebo zanášení spalovací komory. Měření procesních veličin na novém prototypu jednotky poskytne poznatky o zcela nových možnostech její optimalizace jak z hlediska konstrukce, tak provozu. Tyto poznatky mohou posloužit projektantům nových tepelných zařízení i provozovatelům již realizovaných.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] URBAN L., MÁŠA V. (2007): Nový typ zařízení pro spalování biomasy a fytomasy I. Technologie a koncepce experimentální jednotky.
- [2] DLOUHÝ T. (1999): Návrhy kotlů a spalinových výměníků. ČVUT, Praha.
- [3] Vyhláška MPO č. 150/2001 Sb.
- [4] KODYTEK Z. (2005): Implementing EU Directives on Energy Efficiency in to the Czech Republic [online]. <http://www.phare-epbd.org>
- [5] IBLER Z. (2002): Technický průvodce energetika, 1. díl. Ben, Praha.
- [6] HÁJEK J., PAVLAS M., URBAN L., STEHLÍK P. (2006): Matematické modelování jako podpůrný nástroj při návrhu prototypu experimentální jednotky pro energetické využití různých druhů biomasy a fytomasy. Výzkumná zpráva VZ-MPO-2006/02, FSI VUT v Brně.

## TECHNOLÓGIA VÝROBY METYLESTEROV REPKY OLEJNEJ

Marian Mikulík, Jana Müllerová

*Príspevok je venovaný výrobe metylesteru z oleja repky olejnej, ktorá je v našich podmienkach najperspektívnejšou kultúrnou rastlinou pre výrobu ekologického paliva, bionafty. V príspevku je popísaná technológia spracovania semien repky olejnej, následná úprava získaného oleja a preesterifikácia surových olejov pre získanie metylesterov, tzv. MERO.*

Kľúčové slová: repka olejná, metylester, bionafta, glycerol, preesterifikácia, esterifikačný reaktor

### ÚVOD

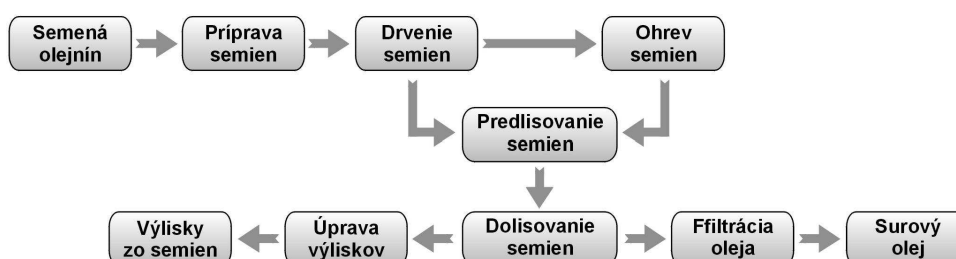
Vzhľadom k znižovaniu svetových zásob ropy, ktorá je základnou surovinou pre výrobu benzínu a motorové nafty a s ohľadom na znižovanie emisií oxidu uhličitého a iných škodlivých látok prijal Európsky parlament a Rada európskej únie v roku 2003 smernicu 2003/30/EC na postupné nahradzovanie klasických motorových palív za biopalivá a iné alternatívne palivá. Ako motorové biopalivá je možné použiť rastlinné oleje, ich deriváty, najmä estery mastných kyselín ako metylestery, prípadne etylestry, nižšie alkoholy ako je metanol, etanol, propanol a rôzne chemické produkty vyrobené z obnoviteľných surovín. V súčasnosti sú najpoužívanejšie dva druhy biopalív, a to *metylestery mastných kyselín*, označované ako *bionafta* alebo *biodiesel* a *bioetanol* (bezvodý lieh).

Metylestery je možné vyrábať z rôznych rastlinných olejov (slniečnicový, sójový, palmový). Najvýznamnejšie sú metylestery repkového oleja, tzv. MERO, ktoré majú vlastnosti zrovnateľné s motorovou naftou.

### SPRACOVANIE SEMIEN REPKY OLEJNEJ

V súčasnosti sú známe dva spôsoby spracovávania semien olejní, a to lisovanie semien systémom *predlisovanie - dolisovanie* a systémom *lisovanie - extrakcia organickým rozpúšťadlom*.

Spracovanie semien repky olejnej technológiou dvojstupňového lisovania (*obr. č. 1*) sa väčšinou používa pri nižšej výrobnéj kapacite.



Obr. č. 1 Schéma výroby surového oleja systémom predlisovanie – dolisovanie

Proces zahŕňa prípravu semien (čistenie, vylúpanie, kondicionovanie), drvenie, vlastné lisovanie, čistenie oleja filtráciou alebo odstredivou separáciou a úpravu výliskov. Lisovanie



V prvom kroku rafinácie prebieha odslizovanie, pri ktorom sú z olejov odstraňované slizy, fosfolipidy (pre výrobu MERO sa vyžaduje, aby obsah fosfolipidov v oleji bol pod 10 ppm fosforu). Odstraňovanie slizovitých látok väčšinou prebieha pridaním vody za účelom hydratácie všetkých prítomných iskerníkových látok, ktoré sa odstraňujú následným odstredením. Slizovité látky, ktoré nie je možné takto hydratovať, sa premenia na hydratovateľné formy pomocou kyseliny fosforečnej alebo citrónovej, pridaním vody a odstredením.

Ďalším krokom úpravy vyľisovaných olejov je neutralizácia, pri ktorej sú z olejov odstraňované voľné mastné kyseliny. Táto rafinačná úprava vychádza z poznatku, že pri pôsobení roztoku hydroxidu sodného o rôznej koncentrácii na voľné mastné kyseliny obsiahnuté v oleji dochádza pri rôznych teplotách k tvorbe sodných mydiel vo forme mydlových vločiek, ktoré sa následne od oleja oddeľujú usadzovaním alebo odstredením. Neutralizácia oleja prebieha tak, že sa do predohriateho oleja (teplota 75 až 95 °C) sprchovaním rozptyľuje roztok hydroxidu sodného (NaOH). Účinnosť neutralizácie voľných mastných kyselín sa zvyšuje spomaľovaním pohybu kvapiek roztoku hydroxidu sodného pri prechode vrstvou olejov. Toto spomalenie a následné zvýšenie účinnosti neutralizácie je možné dosiahnuť použitím roztoku hydroxidu sodného o nižšej koncentrácii a pri zmenšení veľkosti kvapiek roztoku NaOH.

### PREESTERIFIKÁCIA OLEJA Z REPKY OLEJNEJ

Aby bolo možné rastlinné oleje použiť priamo v bežných motoroch, je nutné ich upravovať rafinačným procesom nazývaným *esterifikácia*. Jedná sa o najpoužívanejší spôsob znižovania viskozity olejov zo semien olejných rastlín pomocou jednoduchých alkoholov. Pri výrobe MERO sa mieša metanol s hydroxidom sodným a následne s olejom vyľisovaným zo semien repky olejnej. Esterifikáciou sa z olejov získavajú metylestery pri súčasnom uvoľňovaní glycerolu.

Metylestery mastných kyselín sa môžu vyrábať priamou esterifikáciou mastných kyselín metanolom alebo preesterifikáciou prírodných olejov a tukov metanolom, čo je základný technologický postup výroby MERO.

Esterifikácia mastných kyselín získaných štepením olejov a tukov prebieha pri reakcii s bezvodým metanolom. Proces sa uskutočňuje pri teplotách nad 110 °C spravidla v prítomnosti kyslých katalyzátorov (kyselina sírová, p-toluensulfonová, katexy), za normálneho alebo zvýšeného tlaku.

Preesterifikácia sa uskutočňuje v rôznych technologických modifikáciách, kedy bezvodý metanol reaguje s olejom (triacylglycerol) za prítomnosti alkalických homogénnych katalyzátorov ( NaOH, KOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, aj.) alebo heterogénnych katalyzátorov, pri normálnej alebo zvýšenej teplote, v jednom alebo niekoľkých stupňoch. Po reakcii preesterifikácie sa reakčná zmes rozdelí na dve nemiešateľné fázy. *Esterová fáza* sa neutralizuje, premýva a zbavuje metanolu a vody, čím sa získava metylester. V druhej, tzv. *glycerolovej fáze* sa najskôr odstráni metanol. Pôsobením minerálnej kyseliny sa neutralizuje zvyškový katalyzátor a rozložia sa obsiahnuté mydlá, čím sa získava surový glycerol a mastné kyseliny.

Technológia výroby metylesteru rastlinných olejov preesterifikáciou je schematicky uvedená na obr. č. 3.



Hodnota konverzie oleja na metylester v tomto stupni preesterifikácie dosahuje asi 93 hmotnostných percent. Po ukončení reakcie je obsah reaktora prečerpávaný do reakčnej kolóny (2), kde prvý stupeň preesterifikácie kontinuálne pokračuje. Neustály kontakt reaktantov je zabezpečovaný prečerpávaním reakčnej zmesi a gravitačným oddeľovaním metylesteru od glycerolovej fázy. V reakčnej kolóne sa hodnota konverzie oleja na metylester zvyšuje asi o 1 hmotnostné percento.

Pretože celá preesterifikácia prebieha za prebytku metanolu, ktorý v nákladoch na výrobu metylesteru tvorí významnú položku, musí sa metylester v ďalšom kroku prebytočného metanolu zbaviť. Tento proces prebieha za zvýšenej teploty a zníženého tlaku nastriekavaním metylesteru do vákuového odparovača. Tu dochádza k odparovaniu metanolu s obsahom malého množstva vody z metylesteru. Pary metanolu a vody prechádzajú do deflegmátoru, kde nastáva kondenzácia zvyškov vody tak, aby metanol mohol byť použitý späť do reakcie. Po skondenzovaní vody prechádzajú pary metanolu do trubkového chladiča, kde kondenzujú. Po kontrole kvality je metanol vrátený späť do zásobníku metanolu, odkiaľ je opätovne používaný na prípravu katalyzátoru pre proces preesterifikácie.

Vzhľadom k tomu, že sa rovnováha reakčnej zmesi v prvom stupni preesterifikácie nemôže posunúť v smere zvýšenia koncentrácie MERO na viac ako 94,5 hmotnostných percent, ostáva nezreagovaný olej v koncentrácii 4 až 5 hmotnostných percent. Pre zvýšenie stupňa využiteľnosti reakcie je potrebné celý postup preesterifikácie zopakovať. Technologický proces druhého stupňa preesterifikácie prebieha za rovnakých podmienok a v rovnakých zariadeniach ako prvý stupeň preesterifikácie, iba reakčné látky reagujú v iných pomeroch.

Po ukončení prvého stupňa preesterifikácie vytvorený glycerol odteká z reakčnej kolóny do zásobníku glycerolu a metylester do odmernej nádrže, odkiaľ je v požadovanom množstve dávkovaný do esterifikačného reaktoru (2). Po pridaní potrebného množstva katalyzátoru do metylesteru, prebieha v esterifikačnom reaktore za nepretržitého miešania druhý stupeň esterifikácie. Po ukončení reakcie je zmes prečerpávaná do reakčnej kolóny (3), v ktorej dochádza k oddeľovaniu druhého stupňa glycerolu od metylesteru. Hodnota surového MERO po druhom stupni preesterifikácie dosahuje hodnoty asi 96,5 hmotnostných percent.

MERO získaný predchádzajúcimi technológiami je v podstate úplne oddelený od glycerolu a nezreagovaného rastlinného oleja, ale obsahuje malé množstvo alkalických mydiel, vznikajúcich sekundárnymi reakciami v dôsledku prítomnosti voľných mastných kyselín v rastlinnom oleji. Čistenie metylesteru od mydiel sa uskutočňuje extrakciou teplej vody za prítomnosti deemulgátora. Extrakcia prebieha v dvoch až troch fázach v reakčných zariadeniach, ktoré sa veľmi podobajú zariadeniam prvého a druhého stupňa preesterifikácie, a to pri mierne zvýšených teplotách.

V ďalšom kroku pri teplotách 80 až 110 °C prebieha vo vákuovom odparovači odstránenie malých koncentrácií metanolu a vody. Po technologickom procese sušenia dosahuje hodnota konverzie oleja na metylester asi 98 hmotnostných percent. Po odparení metanolu a vody z metylesteru a ich následnom odvedení do kondenzátoru, je metanol ďalej oddeľovaný od odpadového destilátu vody. Vysušený metylester sa následne podrobuje konečnej filtrácii, po ktorej dosahuje vysoký stupeň čistoty.

Po filtrácii sa MERO približne skladá z asi 98 % metylesterov mastných kyselín repkového oleja, do 1 % zmesi monotriglyceridov, diglyceridov a triglyceridov, do 0,3 % voľných mastných kyselín, do 0,3 % metanolu a do 0,02 % voľného glycerolu. Zvyšok tvoria nezmydeliteľné látky.

### VLASTNOSTI METYLESTERU REPKY OLEJNEJ

Podľa v súčasnosti platných noriem musia metylestery splňovať požiadavky normy STN EN 14214, čo striktné spĺňajú iba metylestery vyrobené z repkového oleja (MERO). MERO je síce chemicky odlišný od ropných produktov, ale jeho hustota, viskozita, výhrevnosť a priebeh spaľovania sa motorovej naftě veľmi približujú. V porovnaní s motorovou naftou sa však vyznačuje podstatne lepšími parametrami v emisiách CO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>, mierne vyššie má iba emisie NO<sub>x</sub>. MERO je netoxický, neobsahuje žiadne ťažké kovy, ani žiadne zdravie škodlivé látky. Porovnanie niektorých vlastností metylesterov z rôznych rastlinných olejov v porovnaní s motorovou naftou uvádza tab. č.1 [2].

| Metylestery<br>rastlinných<br>olejov | Hustota<br>(16 °C)    | Viskozita<br>(40 °C)                | Kalorický<br>obsah    | Cetánové<br>číslo | Jódové<br>číslo |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|
|                                      | [kg·m <sup>-3</sup> ] | [mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ] | [MJ·l <sup>-1</sup> ] | -                 | -               |
| Palmitový                            | 874                   | 4,40                                | 32,4                  | 63 - 70           | 52              |
| Repkový                              | 882                   | 4,20                                | 32,8                  | 51 - 60           | 114             |
| Slniečnicový                         | 885                   | 4,00                                | 32,8                  | 61,2              | 129             |
| Ľanový                               | 891                   | 3,70                                | 33,0                  | 52,5              | 2,1             |
| Motorová nafta                       | 835                   | 2,31                                | 35,5                  | > 48              | -               |

Tab. č.1. Vlastnosti metylesterov z rastlinných olejov v porovnaní s motorovou naftou

Priemerný výnos repky olejnej na Slovensku sa pohybuje okolo 2,8 t·ha<sup>-1</sup>, pričom na výrobu 1 tony repkového oleja sa spotrebuje asi 2,3 tony semien repky olejnej za súčasného vzniku asi 1,3 tony výliskov. Aj keď pre technické využitie postačuje, aby repkový olej prešiel základnou rafináciou, kedy sa získava tzv. *polorafináda* (oleje pre potravinársky priemysel podstupujú ďalšie rafinačné úpravy), je výroba MERO v porovnaní so spracovávaním ropy zatiaľ nákladná a taktiež predstavuje určitú záťaž pre životné prostredie. Pri technológii výroby MERO vznikajú veľa odpadové produkty, ktoré je potrebné likvidovať. Odpadová voda je znečistená hydroxidom draselným, čistiť rafináciou a vákuovou destiláciou je potrebné i získaný surový glycerol.

Ale i napriek tomu je možné MERO charakterizovať ako ekologické palivo pochádzajúce z obnoviteľných zdrojov, ktoré svojimi účinkami priaznivo pôsobí na životné prostredie, najmä obmedzovaním skleníkových plynov.

### POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JANDAČKA, J., MALCHO, M., MIKULÍK, M. (2007): Biomasa jako zdroj energie. Potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti palív. Juraj Štefuň-GEORG, Žilina, 242 s.
- [2] JIŘÍČEK, I., RÁBL, V.(2005): Energie z biomasy, AZE 04/2005, dostupný z WWW: [http://www.vscht.cz/ktt/zdrene/5.0\\_Energie\\_z\\_biomasy.pdf](http://www.vscht.cz/ktt/zdrene/5.0_Energie_z_biomasy.pdf)
- [3] OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., JANÁSEK, P. (2006): Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti palív z biomasy. VŠB-TU Ostrava, 186 s.
- [4] PRIMAGRA, a.s. (2006): Výroba metylesteru z repky olejnej, (oznámení o záměru), PRIMAGRA, a.s., 50 s.

## PROBLEMATIKA ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ KALŮ Z ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

**Pavel MILČÁK**

*Příspěvek je zaměřen na problematiku energetického využívání čistírenských kalů. Existuje více možností nakládání jak s těmito kaly zacházet. V příspěvku je zaměřena pozornost na energetické využívání biopaliva z biofermentační linky.*

**Klíčová slova:** spalování, biomasa, kaly z čistíren odpadních vod

### ÚVOD

Energetickým využíváním biopaliva na bázi kalů z čistíren odpadních vod a biomasy lze řešit současně dva problémy. Prvním problémem jsou čistírenské kaly. Stabilizovaný čistírenský kal obsahuje v sušině mimo jiného více než 45 % organických látek, což by v budoucnu dle legislativy EU mělo znemožnit jeho skládkování. Druhým problémem je snižování emisí CO<sub>2</sub>. Již dříve byly uskutečněny spalovací zkoušky s biopalivem, ale pouze v laboratorních podmínkách a na spalovacím zařízení s tepelným výkonem do 2 MW. Nyní se provedly spalovací zkoušky ve větším měřítku a to na kotli s tepelným výkonem 60 MW.

### POPIS SPALOVANÝCH PALIV

Na kotli se standardně spaluje hnědé uhlí, jehož základní parametry jsou uvedeny v tabulce 1. Při spalovací zkoušce se k hnědému uhlí přidávalo biopalivo v hmotnostních poměrech 10 %, 30 %, 40 %. Charakteristika biopaliva je uvedena v tabulce 1.

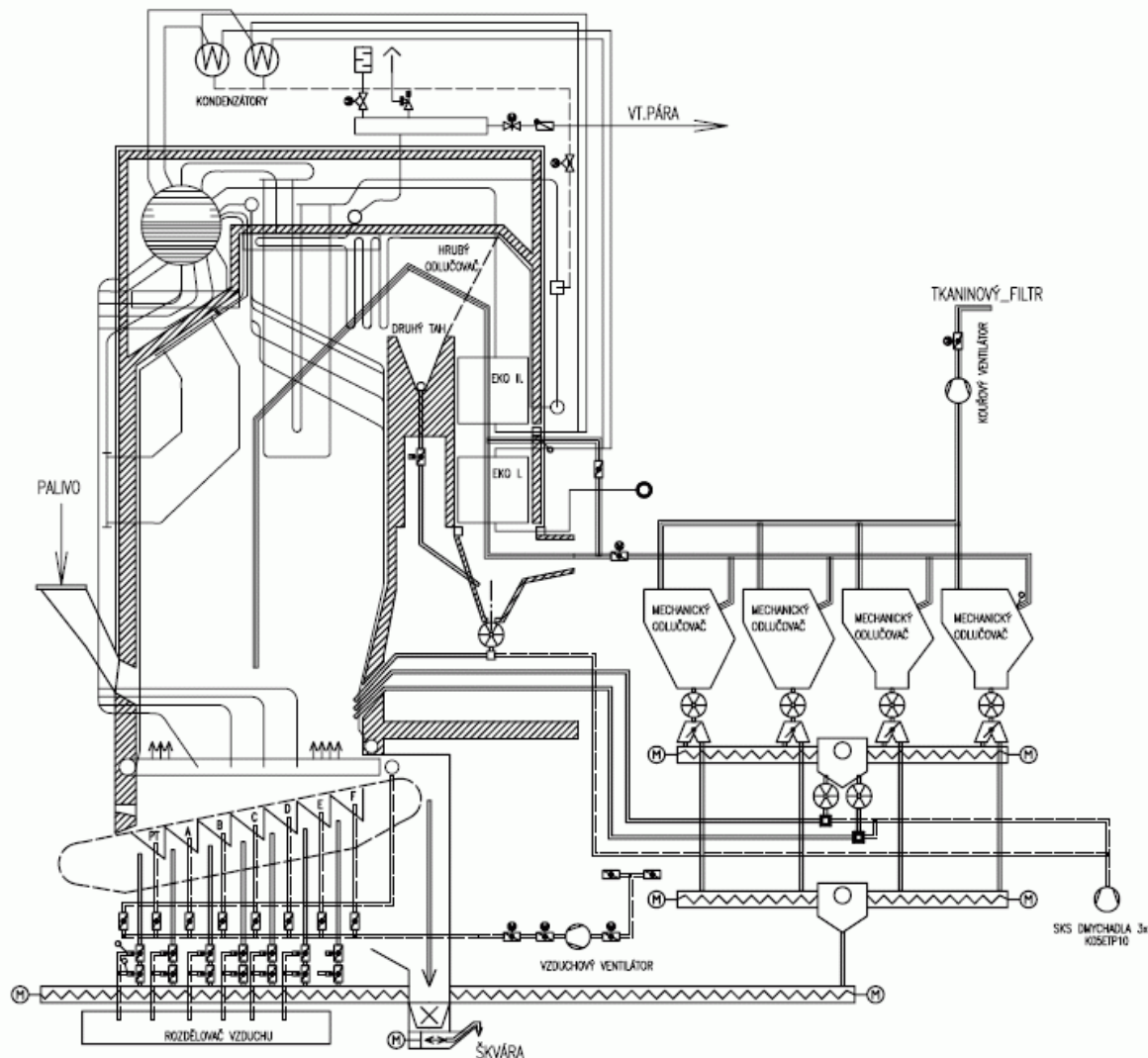
|                               |                        | Hnědé uhlí | Biopalivo |
|-------------------------------|------------------------|------------|-----------|
| Hrubý rozbor - surový stav:   |                        |            |           |
| w <sup>r</sup>                | [%]                    | 29,51      | 38,18     |
| A <sup>r</sup>                | [%]                    | 11,59      | 17,66     |
| Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>   | [kJ.kg <sup>-1</sup> ] | 15910      | 7520      |
| Q <sub>s</sub> <sup>daf</sup> | [kJ.kg <sup>-1</sup> ] | 29860      | 20480     |
| V <sup>daf</sup>              | [%]                    | 49,7       | 77,3      |
| Elementární analýza:          |                        |            |           |
| C                             | [% , daf.]             | 75,88      | 55,52     |
| H                             | [% , daf.]             | 5,88       | 6,14      |
| S                             | [% , daf.]             | 1,85       | 0,69      |
| N                             | [% , daf.]             | 0,97       | 2,56      |
| O                             | [% , daf.]             | 15,42      | 35,09     |

Tabulka 1 Charakteristika paliv.

Základními jakostními parametry paliva jsou: výhřevnost, obsah vody a obsah popela. Z tabulky 1 je zřejmé, že biopalivo má nižší jakost zejména pro svůj vysoký obsah vody a popela. Množství popela v sušině u biopaliva činí  $A^d = 28,5$  % oproti hnědému uhlí, u kterého je obsah popela v sušině  $A^d = 16,5$  %. Takto vysoký obsah popela má nepříznivý vliv na celkové množství tuhých zbytků po spalování. Dalším negativním parametrem biopaliva je jeho vysoký obsah vlhkosti.

## POPIS SPALOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

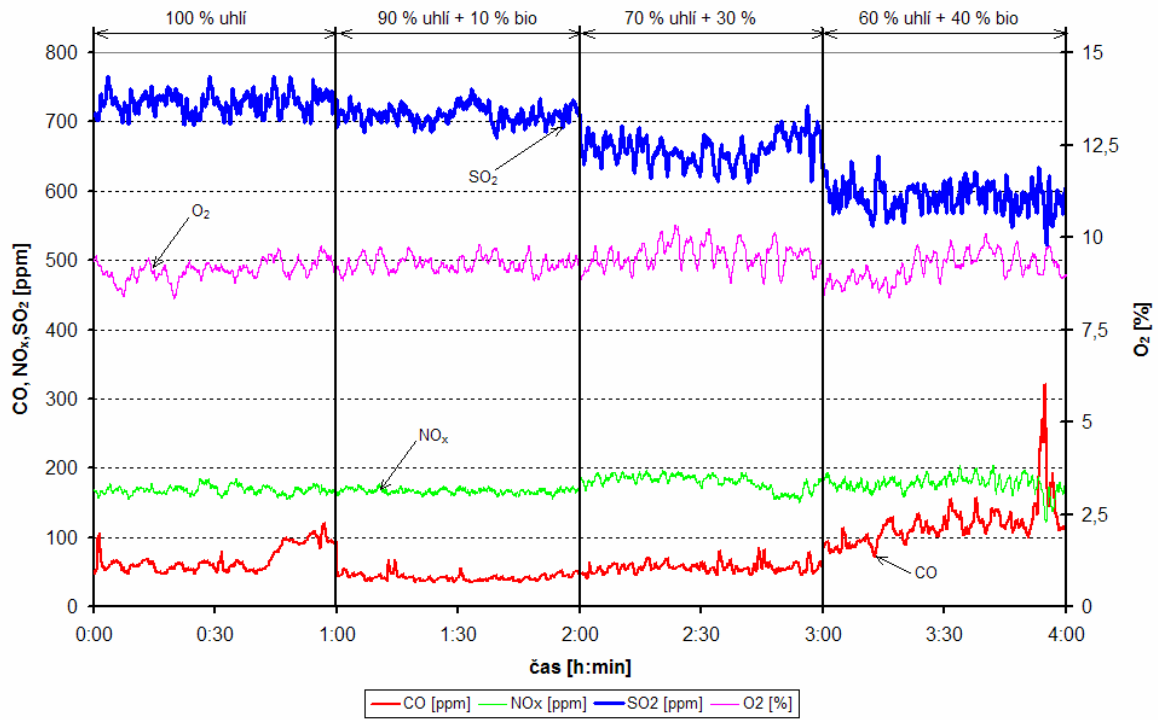
Spalovací zkoušky se uskutečnily na roštovém kotli se stacionární fluidní vrstvou typu „IGNIFLUID“ s jmenovitým tepelným výkonem 60 MW. Schéma spalovacího zařízení je zobrazeno na obrázku 1. Spalovací zkouška probíhala ve čtyřech režimech. Při prvním režimu se spalovalo 0 %<sub>hm.</sub> biopaliva, při druhém režimu 10 %<sub>hm.</sub> Biopaliva, při třetím režimu se spalovalo 30 %<sub>hm.</sub> Biopaliva a při posledním režimu se spalovalo 40 %<sub>hm.</sub> biopaliva.



Obrázek 1 Schéma spalovacího zařízení.

## ZÁKLADNÍ PLYNNÉ EMISE

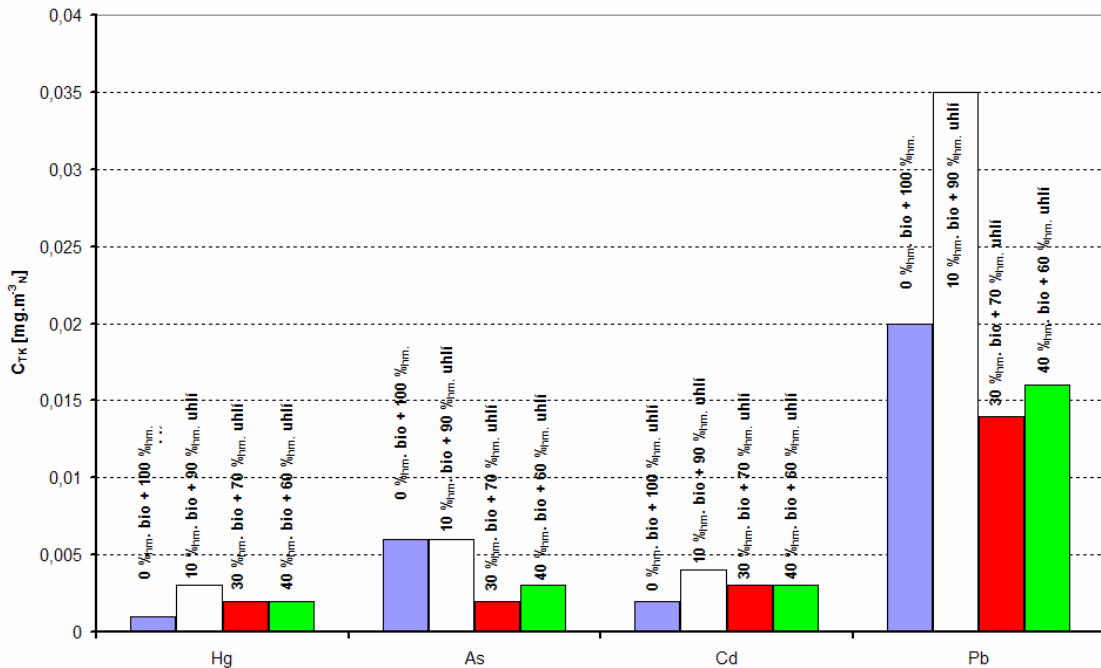
V průběhu spalovacích zkoušek se kontinuálně měřily základní plynné emise  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$  a vztažený kyslík. Dále byly provedeny jednorázové odběry Hg, Cd, As a Pb. Při spalování směsi uhlí a biopalivo došlo k částečnému poklesu tvorby  $\text{SO}_2$ . U emisí  $\text{NO}_x$  nedošlo vlivem spalování biomasy s vyšším podílem palivového dusíku ke zvýšení emisí. Je pravděpodobné, že palivový dusík z biopaliva se na celkové tvorbě emisí  $\text{NO}_x$  podílí minimálně. Při spalování biopaliva byl zaznamenán nárůst emisí  $\text{CO}$ , který souvisí s vyšším obsahem prchavé hořlaviny. Průběh plynných emisí a kyslíku je uveden v grafu 1.



Graf 1 Základní plynné emise.

### EMISE TĚŽKÝCH KOVŮ

Zachycená množství jednotlivých látek byla u všech měření velmi jsou uvedeny v grafu 2. Vzhledem k tomu, že se zvyšováním podílu biomasy v palivu nedocházelo ke zvýšení koncentrací znečišťujících látek, lze říci, že spalování biopaliva v měřeném kotli nemá vliv na množství emisí sledovaných látek.



Graf 2 Emise těžkých kovů.

## ZÁVĚR

Spalovacími zkouškami se prokázalo, že na kotli lze bez problému spalovat směs hnědého uhlí a biopaliva v hmotnostním poměru až 40% biopaliva a 60% hnědého uhlí. Po nasypání biopaliva do zásobníku surového uhlí se projevilo výrazné klenbování materiálu a materiál musel být ze zásobníku na redler trvale vyhrabován pomocí tyčí. V tomto místě tedy spočívá největší problém. Dopravitelnost biopaliva na pásu byla dobrá, hmota se nelepila na pás. Oproti hnědému uhlí je prašnost biopaliva výrazně nižší. Doprava paliva a směsí na rošt kotle probíhala bez problémů, nikdy nedošlo k ucpání svodky paliva do kotle. Při spalování směsi uhlí-biopalivo se teploty ve spalovací komoře kotle oproti spalování uhlí částečně snížily. Vlivem vyšší vlhkosti a nižší výhřevnosti biopaliva se pásmo intenzivního odhořívání na roštu posunulo dále od čelní stěny kotle. Maximální dosažitelný podíl biopaliva v hnědém uhlí pro stabilní provoz je 40 %, nad tuto hodnotu měl kotel tendenci zhasnout z důvodu špatné průchodnosti dopravních cest. Toto se především projevilo při energetickém podílu biopaliva nad 45 %. V průběhu spalovacích zkoušek nebylo zjištěno zvýšené zanášení spalínových kanálů ani teplosměnných ploch kotle.

Dosavadní pokusy se spalováním čistých energetických plodin a biomasy prokázaly a potvrdily možnost kombinovaného spalování fosilních paliv a biomasy ve stávajících energetických spalovacích zařízeních bez nutnosti výraznějších úprav a investic.

## PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory grantu GAČR 101/03/H064 „ENERGIE Z BIOMASY“

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČECH, Bohumír. Spalovací zkoušky alternativního paliva – kompostu určeného k energetickému využití a hnědého uhlí na kotli K5 v Teplárně Krnov. Technická zpráva. Ostrava 2006, 21 s.

## VÝROBA ELEKTRINY ZPLYŇOVÁNÍM BIOMASY V ČR A V ZAHRANIČÍ

**Jan Najser**

*Na rozdíl od splování je zplyňování biomasy složitější, méně osvojený proces a investiční náklady jsou ve srovnání se spalovacími vyšší. V rámci výzkumu a vývoje jsou v této oblasti hledány nové možnosti, zjednodušení a zkvalitnění celé technologie, zejména způsobu čištění vyrobeného plynu tak, aby realizace těchto technologií měla daleko větší šanci na úspěch.*

Klíčová slova: zplyňování, biomasa, obnovitelné zdroje energie

### ÚVOD

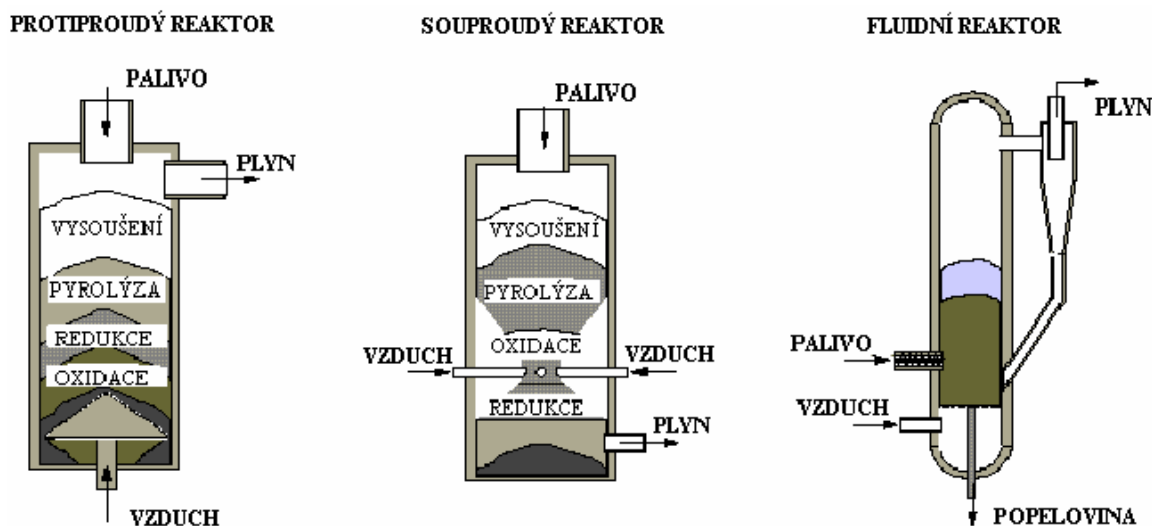
Vzhledem k nezbytné potřebě snížit emise CO<sub>2</sub> do ovzduší se o energetickém využití biomasy již delší dobu hovoří v odborných kruzích. Počátkem letošního roku předložila Evropská komise návrh, aby se do roku 2020 v průměru snížily emise skleníkových plynů o dvacet procent ve srovnání se stavem v roce 1990, má jít o hlavní nástroj proti globálnímu oteplování. Následně na summitu EU v březnu 2007 se představitelé členských zemí zavázali do roku 2020 zvýšit o pětinu podíl obnovitelných zdrojů energie ve srovnání s rokem 1990 a snížit produkci skleníkových plynů. Proto jsou na celém světě hledány zdroje jiné, které by v budoucnu mohly převzít roli základních zdrojů energie. Jedním z těchto zdrojů je nyní bezesporu biomasa. Biomasa může být považována za strategický zdroj energie nejenom z důvodů své obnovitelnosti, ale také své dostupnosti. Rovněž může poskytnout produkty do různých odvětví průmyslu (tj. pohonné látky, elektřinu, chemikálie, ...). Země Evropské unie žene k výrobě alternativních zdrojů energie, například z kukuřice či řepky, snaha snížit emise oxidu uhličitého, ale především vymanit se ze závislosti na dovozu ropy a posílit energetickou soběstačnost. Produkce biopaliv by však mohla být střednědobě neudržitelná, protože konkuruje produkci potravin. Mimo jiné kvůli rozvoji biopaliv nyní potraviny zdražují nejrychleji za posledních 30 let.

Přírůstek CO<sub>2</sub> v ovzduší vlivem spalování biomasy je přibližně roven nule, neboť se spotřebuje téměř totéž množství CO<sub>2</sub>, kolik se ho při spálení uvolní. Při spalování každého druhu biomasy jsou různé podmínky spalovacího procesu tj. tvorba emisí, teplota, rychlost a způsob dávkování apod. Řízením spalovacího procesu lze podstatným způsobem zasáhnout do tvorby emisí škodlivin.

### ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY

Pro zplyňování je nejvhodnější palivové či odpadní dřevo získané při těžbě nebo v dřevozpracujících závodech, popř. sláma. Většinou se dřevo zplyňuje za přítupu vzduchu. Zplyňování dřeva ve zplyňovači má následující průběh: sušení (sušicí zóna), pyrolýza (zóna pyrolýzy), oxidace (oxidační zóna), redukce (redukční zóna). Rozložit biomasu na plynné palivo je v současné době možno dvěma základními způsoby (obr. 1.):

- zplyňování v generátorech s pevným ložem,
- zplyňování ve fluidních generátorech.



Obr. č. 1 Typy zplyňovačů na biomasu (dřevo)

a) zplyňovač protiproudový, b) zplyňovač souprroudý, c) fluidní zplyňovač

## ZPLYŇOVÁNÍ V GENERÁTORECH S PEVNÝM LOŽEM

První z obou metod je jednodušší, méně investičně náročná, avšak je použitelná jen pro malé tepelné výkony. Zplyňování probíhá při vyšších teplotách (kolem 1 200 °C) a za atmosférického tlaku ve vrstvě biomasy. Vzduch jako okysličovací médium proudí buď v souproudu (směrem dolů) nebo v protiproudu (směrem nahoru) vzhledem k postupnému pohybu zplyňovaného paliva (obr.1.). Popelové zbytky se odvádějí ze spodní části.

Protiproudý zplyňovač - je levný, protože jeho konstrukce i funkce jsou jednoduché a navíc je schopen zplyňovat i materiál s vysokou relativní vlhkostí. Jeho nedostatkem je, že takto vyrobený plyn obsahuje více dehtu; to zabraňuje přímému využití v motorech. Plyn je nutné čistit. Nevýhodou tohoto systému je značná tvorba dehtových látek, fenolů apod., jejichž odstranění je pak největším problémem.

Souproudý zplyňovač – plyn je odváděn ze dna reaktoru a redukční zóna je pod spalovací (oxidační) zónou. Tyto dvě modifikace vedou k tomu, že dehet tvořící se v pyrolytické zóně musí projít horkou spalovací zónou dříve, než opustí zplyňovač. Tak se dehet zúčastní spalování nebo se rozkládá na lehčí uhlovodíky, a proto je vycházející plyn v ideálním případě „téměř“ bez dehtu.

## ZPLYŇOVÁNÍ VE FLUIDNÍCH GENERÁTORECH

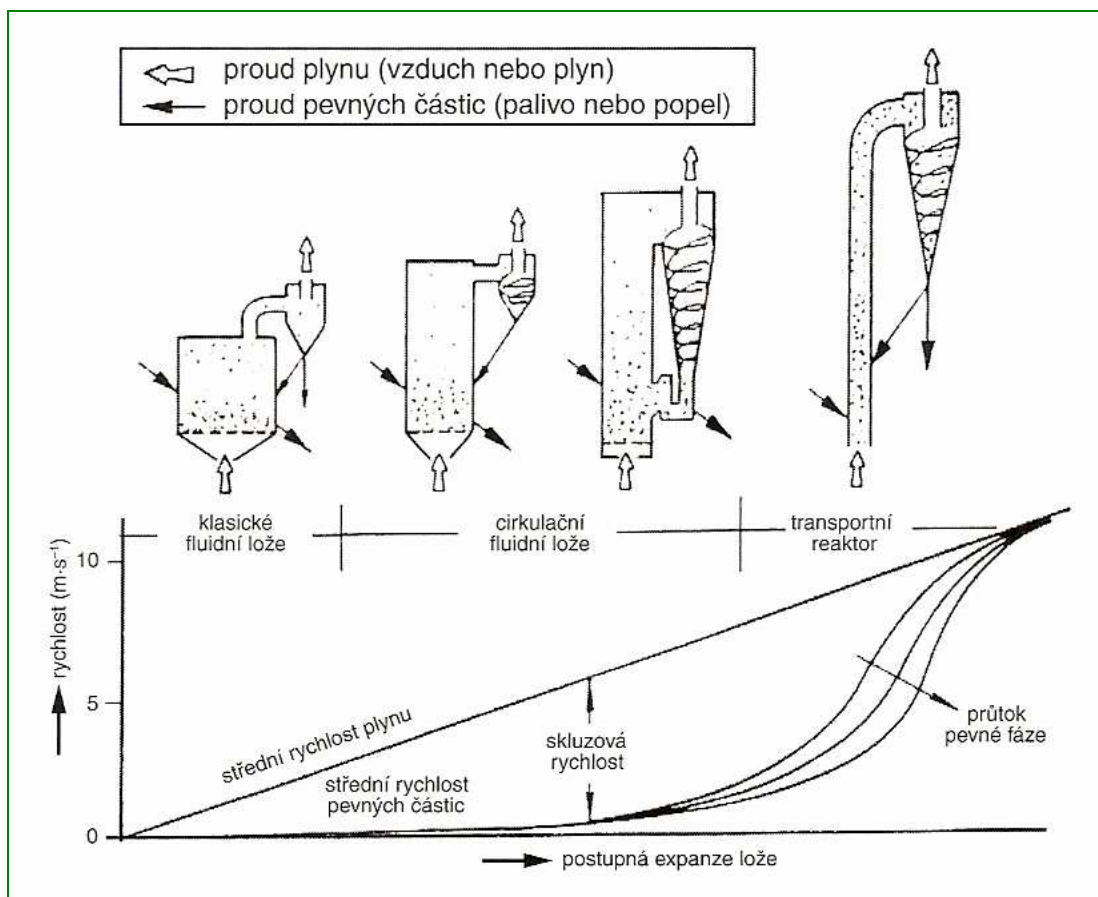
Zplyňovací proces probíhá při teplotách 850 až 950 °C. Souběžně zde probíhá vývoj ve dvou základních směrech:

- zplyňování při atmosférickém tlaku,
- zplyňování v tlakových generátorech při tlaku 1,5 až 2,5 MPa.

Oba způsoby mají své výhody i nevýhody. Tlakové zplyňování biomasy vycházelo bezprostředně z vývoje zplyňovacích technologií uhlí, v nichž byly z mnoha důvodů používány výlučně tlakové generátory. Obecně menší jednotkové výkony zařízení s biomasou a její specifické vlastnosti vedou k tomu, že v současné době je dávana přednost systémům s atmosférickým zplyňováním a s tlakovým zplyňováním se uvažuje až u případných budoucích projektů tepelných centrál s výkony většími než asi 60 MWe.

Výhřevnost vyrobeného plynu se pohybuje v rozmezí 4 až 6 MJ·m<sup>-3</sup>, přičemž tento plyn je bez větších úprav použitelný pro spalování v klasických kotlových hořácích, a po dodatečné vyčištění i ve spalovacích komorách spalovacích turbín a upravených spalovacích motorů [1].

Rychlost pro danou granulometrii je úměrná výkonu generátoru. Pro každou granulometrii lze volit optimální hydrodynamický režim. Typy fluidních reaktorů uvádí obr.2.



Obr. č. 2 Typy fluidních reaktorů

Při zplyňování ve fluidním loži je palivo přiměřené granulometrii (2 až 20 mm) ve spodní části reaktoru ve vznosu účinkem předehřátého vzduchu a postupně také účinkem vznikajícího plynu.

Aby bylo možno získat plyn s výhřevností vyšší než 5 MJ·m<sup>3</sup><sub>n</sub>, je třeba, aby vlhkost suroviny vstupující do reaktoru byla 15 až 20 %. Tento požadavek splňují pouze některé druhy dřevního odpadu, např. hobliny z nábytkářských výroben, mimořádně těž štěpky, které byly delší dobu uskladněny v krytém prostoru. Jiné druhy dřevního odpadu jako piliny nebo čerstvě naštěpkované dřevo, tuto podmínku nespĺňují a vyžadují sušení.

## PLAZMOVÉ ZPLYŇOVÁNÍ

Za použití vyspělých technologií lze z biomasy vyrobit syntézním plyn. Toto řešení je zatím v poloprovozním ověřování, cena produktu je zatím relativně vysoká.

Generátor syntézního plynu je naplněn vrstvou koksu a zplyňovaným zpravidla odpadním materiálem. S využitím plazmových hořáků je dosaženo velmi vysokých provozních teplot

(větších než 2 000 °C). při řízeném omezeném přístupu primárního vzduchu se vyvíjí syntézní plyn (směs CO, H<sub>2</sub> atd.), který je po úpravě využíván jako kvalitní plynné palivo. Jediným odpadem uvedeného procesu je relativně malé množství popela.

Ekonomicky náročná technologie s ohledem na vysoké provozní teploty by mohla být řešením pro využití fytomasy, dendromasy a především vedlejších živočišných produktů I. a II. kategorie podle nařízení EP a Rady EU č.1774/2002. Zavedení technologie plazmového zplyňování v ČR nabízí např. firma Solena s.r.o..

### ZPLYŇOVACÍ TECHNOLOGIE VE SVĚTĚ

V posledních několika letech můžeme pozorovat v Evropě a ve světě velký rozmach výstavby technologií na zplyňování biomasy. Nutno ovšem podotknout, že se jedná o zařízení demonstrační, či pilotní jednotky se svými nedostatky. Známa zařízení v Evropě byla postavena s významnou finanční pomocí EU nebo z národních zdrojů, bez této dotace by návratnost vložených investic byla patrně delší, než životnost daného zařízení. Dá se říci, že

| <b>PROJEKT</b>                      | <b>TECHNOLOGIE</b>  | <b>VÝKON</b>       | <b>STAV</b>   |
|-------------------------------------|---|--------------------|---|
| ARBRE, UK                           | ABIGCC<br>Termiska Processor<br>AB (TPS)                    | 8 MWe              | Zplyňovací testy<br>zahájeny v r. 2001<br>Změna vlastníka<br>2003 |
| Bioelettrica, Italy                 | ABIGCC<br>Lurgi   | 12 MWe             | Zavřeno 2003  |
| Chianti, Italy<br>Chianti,<br>Italy | ABIGCC TPS  | 7.7 Mwe<br>18 MWth | Koncepční stupeň  |
| Värnamo, Sweden                     | PBIGCC<br>Foster Wheeler                                    | 6 MWe<br>9 MWth    | V provozu   |
| RRB, Andhra<br>Pradesh, India       | PBIGCC<br>Carbona   | 12 MWe             | Ve výstavbě   |
| Güssing, Austria                    | Zplyňování parou<br>Univerzita Wiedeň                       | 2MWe<br>4.5 MWth   | V provozu od r. 2002  |
| Vápenka prachovice,<br>ČR           | Fluidní zplyňování<br>vzduchem<br>ATEKO a.s. Hr.<br>Králové | 2.5 MWth           | V provozu od r. 2001<br>Nyní pozastaveno                          |

Tab. č. 1 Příklady zplyňování biomasy v Evropě

každý výrobce má svoje know-how a tedy nenalezneme dva podobné typy zplyňovacích technologií, ovšem pokud mluvíme o jednotkách s vyššími výkony (v řádu MW tepelných) pak již právě s ohledem na vyšší výkony se jednotlivé technologie sjednocují na zplyňovacím reaktoru fluidního typu. Příklady zplyňovacích technologií využívajících jako palivo biomasu uvádí následující tabulka č.2, ze které je patrné, že elektrické výkony uvedených zařízení se pohybují v rozmezí jednotek MWe, zřídka přesáhnou 10 MWe. Je potřeba si uvědomit, že i

při tak relativně malých výkonech je potřeba velké (zejména objemově) množství paliva. Např. pro výkon 2 MWe který má technologie zplyňování v Güssingu v Rakousku je zapotřebí cca 2,25 t.hod<sup>-1</sup> suchého dřeva. Pro měsíční provoz pak musíme počítat s cca 1620 tunami suchého paliva a to už není s ohledem na druh paliva malé množství, zejména s ohledem na trvalou spotřebu a na dopravní vzdálenosti. Pokud chceme využíváním biomasy přispět k snižování CO<sub>2</sub>, pak by bylo zajímavé spočítat, kolik CO<sub>2</sub> se vyprodukuje svážením biomasy z okruhu 50-ti km.

|                     | ARBRE | Bioelvetica | Chianti | Värnamo | India | Güssing |
|---------------------|-------|-------------|---------|---------|-------|---------|
| MWe                 | 8     | 12          | 7       | 6       | 12    | 2       |
| Inves.<br>(mil. Kč) | 1153  | 885         | 797     | -       | 318   | 290     |
| tis.<br>Kč/kWe      | 144,1 | 73,8        | 114     | -       | 22,7  | 145     |

Tab. č. 2 Investiční náklady

### ZPLYŇOVACÍ TECHNOLOGIE V ČR

V České republice se v posledních několika letech zvýšil zájem o elektrickou energii vyrobenou zplyňováním biomasy. Hlavní důvody jsou využití odpadní biomasy např. na pilách či jiných dřevozpracujících závodech a taky se zde začíná projevovat dotovaná výkupní cena elektrické energie z biomasy na základě zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů č.180/2005. Elektrický výkon zplyňovacích jednotek v ČR se pohybuje od 50 kWe do cca 100 kWe. Tento výkon je ovlivněn jak množstvím paliva, které má daný provozovatel k dispozici, tak typem použitého zplyňovacího generátoru, kdy jsou použity sesuvné souprouté generátory, o nichž se dá obecně říci, že jejich výkon nepřesahuje 200 kWe. Zároveň se nedá říci, že by se jednalo o komerční zařízení, protože zejména nároky na údržbu a provoz jsou vysoké. Výjimkou je technologie zplyňování směsi biomasy a tříděných odpadů ve fluidním reaktoru ve vápence Prachovice, kde výkon zařízení je 2,6 MWt, ovšem toto zařízení není určeno pro výrobu elektrické energie a vyrobený plyn je použit k otopu vápenkářské pece jako náhrada zemního plynu. Dodavatel této technologie ATEKO a.s. Hradec Králové nabízí taky zařízení s kogeneračními jednotkami s výkonem od 0,5 do 1 MWe. Dle zkušeností této firmy je však velký problém skloubit požadavky zákazníka, technologie a při tom zajistit požadovanou ekonomiku provozu. Je potřeba si uvědomit, jaké množství paliva je potřeba, zajištění paliva od dodavatelů, rozumné svozové vzdálenosti a samozřejmě kromě využití elektrické taktéž využití tepelné energie nejen sezónně, ale po celý rok. Představy, že bude vyráběna pouze ušlechtilá elektrická energie a teplo nebude využito jsou naprosto zcestné, neboť bez využití tepla nemá žádná technologie šanci na rozumnou návratnost.

## ZÁVĚR

Přesto, že se jednotlivé odhady rok od roku liší, má biomasa jako jeden z obnovitelných zdrojů v ČR velký potenciál. Způsob využití energie obsažené v biomase však závisí na mnoha aspektech, jedním z nich je dostupnost spolehlivých technologií, avšak nejen z tohoto důvodu je podíl vyrobené elektřiny zplyňováním biomasy v ČR minimální. Měrné investiční náklady se dle tuzemských dodavatelů pohybují v rozmezí 40 – 70 tis. Kč na 1 kW instalovaného elektrického výkonu. To je sice cca polovina měrných investičních nákladů zahraničních zplyňovacích technologií (viz. tab.3), ovšem právě výše investice často rozhodne při úvahách o realizaci těchto technologií. Na základě marketingového průzkumu [2] lze rozvoj zplyňovacích technologií v ČR spatřovat zejména v jednotkách s menším výkonem, event. u jednotek, které budou vyrábět pouze plyn za účelem náhrady ušlechtilých paliv v průmyslu. Obecně se dá říci, že (kromě dotované výkupní ceny elektřiny) bez dotací do investice, event. do založení plantáže rychle rostoucích dřevin je pro potenciální investory technologie výroby elektřiny zplyňováním nezajímavá.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MOTLÍK J., VÁŇA J.,: Biomasa pro energii (2) Technologie. [www.biom.cz](http://www.biom.cz)
- [2] ATEKO a.s Hradec Králové

## MOŽNOSTI VYUŽITIA BIOMASY VO FLUIDNÝCH REAKTOROCH

**Jana Nalevanková, Tomáš Suchý, Mária Budayová, Sylvia Bučková**

*V súčasnosti medzi najviac využívané stále obnovujúce sa energetické zdroje patrí biomasa. Článok popisuje energetické využitie biomasy cestou splyňovania vo fluidnej vrstve, ktoré sa radí medzi termické procesy jej využitia a v praxi nadobúda čoraz väčší význam.*

Kľúčové slová: biomasa, splyňovanie, fluidný reaktor

### ÚVOD

Na celom svete neustále rastie záujem o využívanie biomasy v energetike. Tú je možné použiť pri výrobe tepelnej energie, ďalej v procesoch so spaľovacou turbínou, kde sa surovina spaľuje, alebo inú možnosť výroby elektrickej energie z biomasy ponúkajú splyňovacie technológie. Pod pojmom biomasa rozumieme všetky organické odpady, rastliny, živočíchy a produkty ich látkovej premeny. Výhoda biomasy spočíva v tom, že je kvalitným palivom s malou popolnatosťou, ktoré neobsahuje síru.

### BIOMASA

Biomasa je definovaná ako substancia biologického pôvodu (pestovanie rastlín v pôde alebo vo vode, chov živočíchov, produkcia organického pôvodu, organické odpady). Biomasa je buď zámerné získavaná ako výsledok výrobných činností alebo sa jedná o využitie odpadov z poľnohospodárskej, potravinárskej a lesnej výroby, z komunálneho hospodárstva, z údržby krajiny a starostlivosti o krajinu.

Teoretické prepočty viacerých odborníkov uvádzajú celosvetovú ročnú produkciu biomasy na úrovni 100 mld. ton a jej energetický potenciál sa pohybuje okolo hodnoty 1 400 EJ. To je zhruba päťkrát viac, ako činí svetová ročná spotreba fosílnych palív (300 EJ).[1]

### SPLYŇOVANIE BIOMASY

Splyňovanie je proces, pri ktorom sú produkované horľavé plyny ako vodík, oxid uhoľnatý, metán a niektoré nehorľavé produkty. Celý proces prebieha pri nedokonalom (čiastočnom) horení a ohrievaní biomasy teplom vznikajúcim pri horení. Vznikajúca zmes plynov má vysokú energetickú hodnotu a môže byť použitá ako iné plynné palivá tak pri výrobe tepla a elektriny ako aj v motorových vozidlách.

Cieľom splyňovania je výroba generátorového plynu (označovaný aj ako energoplyn alebo generátorový plyn). Popri tomto procese dochádza k vzniku pevných a tekutých zvyškov. Pevné zvyšky sú popol, nezreagovaný uhlík vo forme koksu, sadzí a karbonátov. Z tekutých zložiek sú to pyrolýzny olej a kondenzát obsahujúci dechty a fenoly.

Pri procese splyňovania je kladený dôraz na prenos, čo najväčšej časti energie obsiahnutej v palive do generátorového plynu. Preto sú všetky nehorľavé pevné a kvapalné zvyšky, ktoré generátorový plyn obsahuje, nežiaduce.

## Technológie splyňovania

Na základe pohybu paliva sa splyňovacie generátory zaraďujú do rôznych skupín. Rozlišujeme splyňovače so súdržnou vrstvou, fluidnou vrstvou a vo vznose. Splyňovacie zariadenie so súdržnou vrstvou sa na základe pohybu splyňovacieho média delia na súprúdne, protiprúdne a krížové.

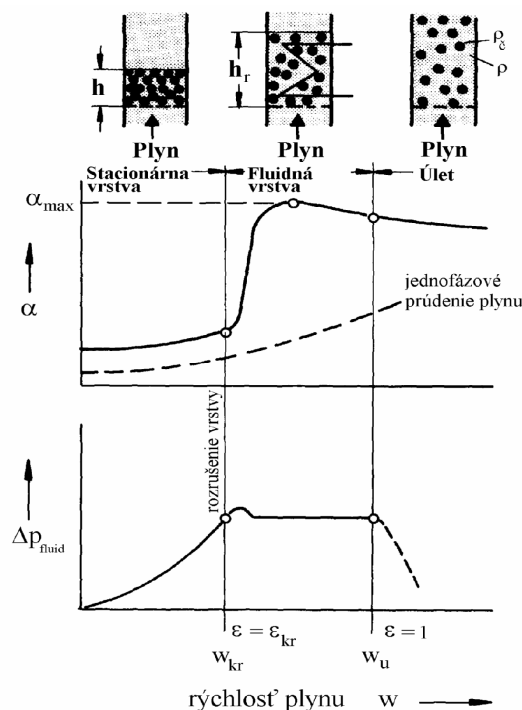
Splyňovacie zariadenia s fluidnou vrstvou sa v závislosti od rýchlosti prúdenia splyňovacieho média členia na splyňovače so stacionárnou alebo cirkulujúcou fluidnou vrstvou.

Popri splyňovaní v stacionárnej a fluidnej vrstve sú vyvinuté najmä komerčné technológie splyňovania vo vznose. [2]

## TEÓRIA FLUIDNEJ VRSTVY

Pod pojmom fluidná vrstva sa podľa [3] rozumie jemnozrnná vrstva pevnej látky, ktorá je nadnášaná prúdiacim médiom tak, že častice nachádzajúce sa vo fluidnej vrstve, sa pohybujú v rozmedzí výšky vrstvy.

Fluidnú vrstvu možno charakterizovať na základe tlakovej straty a prenosu tepla vo vrstve. Pri prúdení média cez vsádzku narastá tlaková strata so zvyšujúcou sa rýchlosťou média až do bodu, kedy tlakové sily pod vsádzkou sa nevyrovnajú hmotnosti vsádzky, kde dochádza následne k jej nadnášaniu. S narastajúcou rýchlosťou prúdiaceho média sa vrstva vsádzky dostáva do pohybu a dosahuje stav fluidizácie. Pri opätovnom zvýšení rýchlosti tlaková strata nerastie, ale nadobúda konštantnú hodnotu, kým čiastočky vsádzky nie sú unášané. Keby sa táto strata, resp. úlet čiastočiek nahrádzal, tlaková strata by ďalej narastala.



Obr. č. 1 Závislosť tlakovej straty a koeficientu prestupu tepla od rýchlosti prúdenia média vsádzkou [3]

Koeficient prestupu tepla v stacionárnej vrstve so zvyšujúcou sa rýchlosťou fluidizačného média pozvoľne narastá, avšak v oblasti fluidizácie narastá prudko.

## NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA

Prvým krokom pri návrhu experimentálneho zariadenia je nutné stanoviť, pri akom výkone má navrhované zariadenie pracovať.

Energetický obsah generátorového plynu podľa [4] zodpovedá výkonu splyňovania  $P_G$  a obsah energie paliva – vstupu výkonu paliva  $P_P$ . Tieto sú ďalej definované:

$Q_P$  - množstvo vyprodukovaného plynu [ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ]

$Q_{nG}$  - výhrevnosť vyprodukovaného plynu [ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$m_P$  - množstvo paliva [ $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ]

$Q_{nP}$  - výhrevnosť paliva [ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

Množstvo vyrobenej energie závisí od množstva dodaného paliva, a preto je dôležité poznať množstvo paliva, ktoré je potrebné dodať do splyňovacieho generátora za určitý čas. Frekvencia podávania paliva súvisí s kinetikou procesu splyňovania, ktorá je závislá od zrnitosti a typu paliva, ako aj od pomeru paliva a splyňovacieho média.

Pri návrhu zariadenia sa uvažovalo s prebytkom spaľovacieho vzduchu 0,5 – 0,6. Náročnosť splyňovania biomasy vo fluidnej vrstve spočíva v nastavení množstva, resp. rýchlosti fluidizačného média tak, aby sa častice paliva dostali do fluidnej vrstvy. To znamená, že pri návrhu konštrukčných rozmerov generátora bolo potrebné vyrátať kritickú fluidizačnú rýchlosť. Je to rýchlosť, pri ktorej nastáva mierny pokles tlakovej straty vo vrstve paliva (Obr.1) a častice paliva sú nadnášané fluidizačným médium.

Pre výpočet kritickej fluidizačnej rýchlosti sa použili nasledovné vzťahy [5]:

$$w_{kr} = \frac{\text{Re}_{kr} \cdot \nu}{d_{\xi}}$$

$$\text{Re}_{kr} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}}$$

$$Ar = \frac{g \cdot d_{\xi}^3}{\nu^2} \cdot \left( \frac{\zeta_{\xi}}{\zeta_{FM}} - 1 \right)$$

$\nu$  – kinematická viskozita fluidizačného média [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$d_{\xi}$  – priemer častice [m]

$\zeta_{\xi}$  – hustota častice paliva [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$\zeta_{FM}$  – hustota fluidizačného média [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

Pomocou uvedených vzťahov je možné vyrátať kritickú fluidizačnú rýchlosť fluidizačného média tak, aby boli častice paliva nadnášané. Kvôli zachovaniu konštantnej hodnoty prebytku spaľovacieho vzduchu pri kritickej fluidizačnej rýchlosti, resp. vyššej, je veľmi dôležité voliť vhodný priemer splyňovacieho generátora na základe rovnice kontinuity.

Pri návrhu zariadenia sa vychádzalo z predpokladov, ktoré sú uvedené v Tab.1.

|                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| Palivo: drevná<br>biomasa  | Chemické zloženie:           |
| $m = 0,5 - 0,6$            | C = 39,6 %                   |
|                            | H = 4,8 %                    |
|                            | O = 34,6 %                   |
|                            | A = 0,8 %                    |
| $d_{\xi} < 0,02 \text{ m}$ | W = 20 %                     |
|                            | $\zeta = 650 \text{ kg/m}^3$ |

Tab. 1 Predpoklady pri návrhu experimentálneho zariadenia

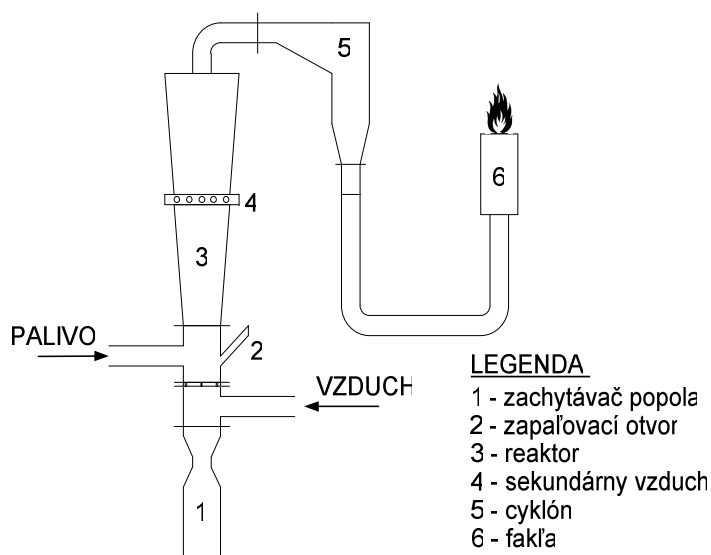
## POPIS EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA



Obr. č. 2 Fotografia fluidného splyňovacieho zariadenia na KpaT

Na obr.3 je znázornená schéma tohto zariadenia, ktoré bolo skonštruované na Katedre Pecí a Teplotechniky za účelom výskumu splyňovania biomasy vo fluidnej vrstve. Predmetom výskumu je jednak samotné splyňovanie a taktiež čistenie vyrobeného generátorového plynu.

Zariadenie pozostáva z generátora (3), v ktorom dochádza k fluidizácii a k splyňovaniu paliva. Palivo je dodávané do generátora závitnicovým podávačom. Vzduch sa privádza do splyňovača zo spodnej časti ventilátorom. Vzniknutý generátorový plyn prechádza do cyklónového odlučovača (5), v ktorom sa odlučujú nesplynené čiastočky paliva. Následne je plyn spaľovaný na fakľu (6).



Obr. č. 3 Fluidný generátor

Zatiaľ sa stanovili meraním výkony podávača biomasy do fluidného splyňovača. Pri meraní výkonu podávača biomasy (drevnej štiepky) do fluidného splyňovača boli použité 2 frakcie o veľkosti 3mm a 1mm. Do dávkovača sa privádzala biomasa, ktorá sa špirálovitým podávačom podávala do nádoby a potom padala do pripravenej kadičky.

Zistilo sa, že čím je zrnitosť biomasy (drevnej štiepky), menšia tým sa do fluidného splyňovača dostane viac biomasy a taktiež, že čím je väčší prevod, tým je aj množstvo vstupujúcej biomasy do fluidného splyňovača väčšie.

## ZÁVER

Príspevok sa zaoberá návrhom modelového zariadenia fluidného splyňovača slúžiaceho na splyňovanie biomasy a stanovením výkonu podávača biomasy. Z prevedených meraní výkonu podávača biomasy vyplýva, že splyňovanie vo fluidnom splyňovači je závislé od zrnitosti a veľkosti prevodu.

V budúcnosti sa plánujú ďalšie merania zamerané na návrh optimálnych podmienok procesu splyňovania.

Daný príspevok je súčasťou projektu VEGA 1/4147/07.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Pastorek, Z., Kára, J., Jevič P. (2004): Biomasa – obnoviteľný zdroj energie, FCC Public, Praha
- [2] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung: Regenerative Kraftstoffe [online]. [cit. 2005-11-08]. Dostupné na internete: <[http://www.zsw-bw.de/de/docs/research/REG/pdfs/REG\\_RFN-Tagungsband\\_Final-070104.pdf](http://www.zsw-bw.de/de/docs/research/REG/pdfs/REG_RFN-Tagungsband_Final-070104.pdf)>.
- [3] WAGNER, W.(2003): Wärmeübertragung, Vogel, Würzburg
- [4] STEINBRECHER, N., WALTER, J. (2001): Marktübersicht dezentrale Holzvergasung (Marktanalyse 2000 für Holzvergasersysteme bis 5 MW), Darmstadt
- [5] LUKÁČ, L. (1987): Hutnícke pece, Edičné stredisko VŠT, Košice

## VÝVOJ TEPLÁRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ VYUŽÍVAJÍCÍCH BIOMASU JAKO PALIVA DO VÝKONU 10 MW

**Jaroslav Pavlů, Pavel Šumpela**

*Jedněmi z významných zdrojů tepla v České republice jsou teplárny a výtopy s tepelným výkonem do 10 MW. Úměrně neustále rostoucím cenám paliv rostou i nároky na ekonomiku provozu těchto energetických zdrojů, která se je nejdůležitějším měřítkem kvality zařízení. Jde především o dosažení co možná nejvyššího teplotního modulu, který je směrodatný pro návratnost investic. Proto je nutné využívat moderních technologií výroby tepla s vysokou účinností a vysokým teplotním modulem, jenž návratnost investic zrychluje.*

Klíčová slova: Teplárenské technologie, teplárenství, teplotní modul.

### ÚVOD

V České republice je v současné době značné množství zdrojů tepla s tepelným výkonem do 10 MW. Jsou to především teplotní a výtopenké zdroje tepla pro městské části nebo menší města. Kvůli rovnoměrnému rozložení zdrojů biomasy na území České republiky je optimálnější její energetické využívání v menších energetických zdrojích, oproti jejímu využití ve velké energetice. Proto v současnosti trh zaznamenává vyšší poptávku po menších energetických zdrojích využívajících biomasy jako zdroje energie. Vedle již vyzkoušených a zaběhnutých technologií teplotní výroby se v současné době vyvíjejí a zkoušejí nové teplotní jednotky s vysokým teplotním modulem a přijatelnými investičními náklady. Novější teplotní technologie mohou v blízké budoucnosti nahradit současné menší teplotní a výtopenké energetické zdroje. V následujícím textu budou zmíněny jak již pracující moderní technologie, tak i poslední trendy vývoje menších teplotních zdrojů, jež se vyznačují vyšším teplotním modulem. Nejnovější poznatky ve vývoji teplárenství byly vzaty z dat uváděných na internetových stránkách programů podporovaných Evropskou unií, či soukromých subjektů jež se zabývají jejich vývojem.

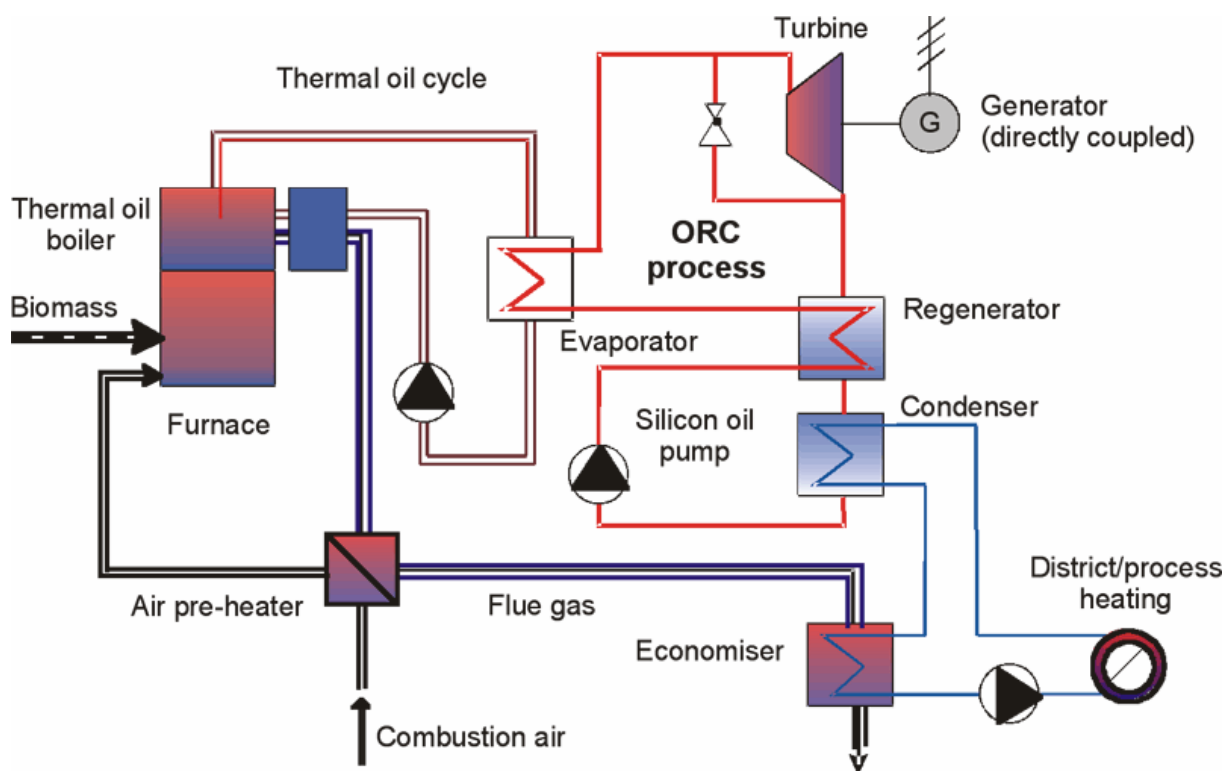
### ORC CYKLUS

Moderní teplotní technologie, jejíž 2 aplikace již běží v České republice. Teplárny v Trhových Svinech a Třebíči využívají organický Rankine Clausiův cyklus už více jak 2 roky. V systému se využívá jako pracovního média na místo vody (vodní páry) lehkého silikonového oleje, jehož vlastnosti jsou velice výhodné. K výrobě elektrické energie je použito axiální turbíny s nízkými obvodovými rychlostmi, při jejichž použití není potřeba převodovek mezi turbínou a generátorem, jako v případě protitlakých parních turbín. Další výhodou je výrazně lepší výkonová charakteristika turbíny při nejmenovitém výkonu.

V následující tabulce jsou porovnány parametry ORC cyklů v rakouském Lienzu, Třebíči a Trhových Svinech.

|   |                   |     | <b>Lienz</b> | <b>Třebíč</b> | <b>Sviny</b> |
|---|-------------------|-----|--------------|---------------|--------------|
| <b>Tepelný výkon kotle</b>              |                   | MWt | 5,8          | 6,6           | 3,5          |
| <b>Výkon jednotky ORC</b>               | <b>tepelný</b>    | MWt | 4,65         | 5,38          | 2,8          |
|   | <b>elektrický</b> | MWe | 1            | 1             | 0,6          |
| <b>Účinnost zařízení při jm. výkonu</b> | <b>tepelná</b>    | %   | 80           | 80,5          | 80           |
|   | <b>elektrická</b> | %   | 18           | 17            | 17,1         |
| <b>Celková investice</b>                |                   | Kč  | 231.000.000  | 194.000.000   | 115.000.000  |

Názorně je ORC technologie vyobrazena níže:



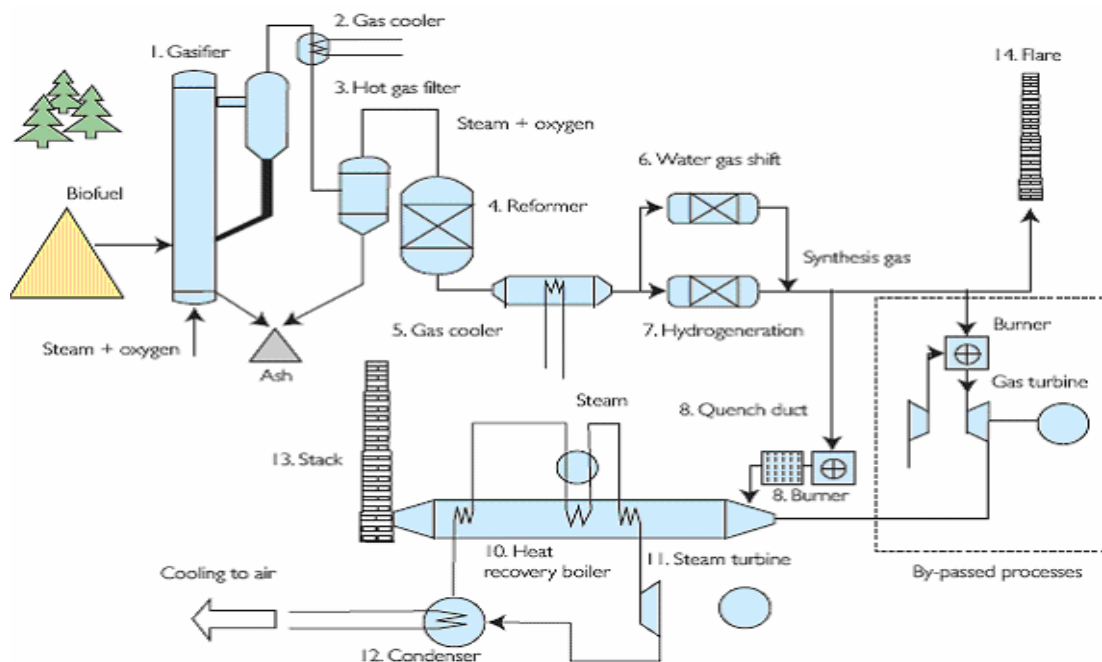
### PARO-PLYNOVÝ BLOK VYUŽÍVAJÍCÍ FLUIDNÍHO ZPLYŇOVÁNÍ

Pilotní projekt ve městě Varnamo (Švédsko) byl již v roce 2000 uzavřen, ale po dobu svého provozu od roku 1993 byl dostatečně odzkoušen (v současnosti na něm probíhají testy využití energoplynu pro automobilový průmysl). Systém využíval paroplynový cyklus, který jako paliva využíval energoplynu z fluidního zplyňovače biomasy. Zplyňovací reaktor pracuje při tlaku 18 bar a teplotě mezi 950-1000°C. Plynová turbína spalující nízkooenergický produkt zplyňování má výkon 4,2 MW. Parní část zpracovává přehřátou páru o parametrech 455°C a tlaku 40 bar a dodává do elektrické sítě výkon 1,8 MW.

Parametry teplárny ve Varnamu jsou následující:

|   |       |
|---|-------|
| Maximální příkon dodávaný v palivu        | 18 MW |
| Tepelný výkon dodávaný do teplovodní sítě | 9 MW  |
| Elektrický výkon                          | 6 MW  |
| Teplárenský modul (e)                     | 0,66  |

Technologie je názorně zobrazena na obrázku níže:



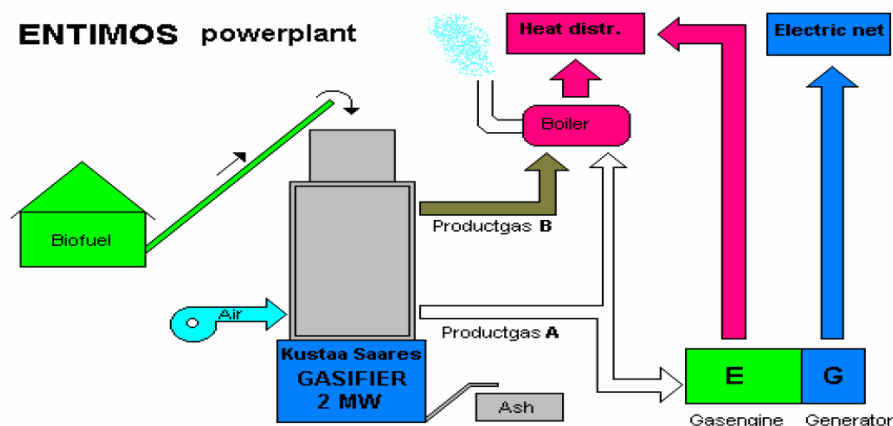
### DVOJÍ ZPLYŇOVÁNÍ (DOUBLE GASSING)

Technologie využívá zplyněnou biomasu pro spalování ve spalovacím motoru a v plynovém kotli. Zplyňování probíhá ve zplyňovači se stacionárním ložem. Technologie dvojího zplyňování (double gassing) tohoto typu zplyňovače spočívá v současném využití dvou dosud používaných technologií - protiproudého a souprroudého zplyňování. Produktem jsou dva typy energoplynu o dvou rozdílných výhřevnostech. Energoplyn o vyšší výhřevnosti je následně energeticky využit ve spalovacím motoru. Přebytek kvalitnějšího plynu a méně výhřevný plyn je dále spalován v klasickém plynovém teplovodním kotli. Výstupem je tedy jednak teplá voda pro účely CZT a elektrická energie. Systém je možné provozovat v rozsahu 20-100 % jmenovitého výkonu.

V roce 2001 se v Tervole (Finsko) postavila první jednotka s následujícími parametry:

|   |             |
|---|-------------|
| Maximální příkon dodávaný v palivu        | 2 MW        |
| Tepelný výkon dodávaný do teplovodní sítě | 1,1 MW      |
| Elektrický výkon                          | 0,45 MW     |
| Teplárenský modul (e)                     | 0,41        |
| Výše investice (2001)                     | 1.200.000 € |

Technologie je názorně zobrazena na obrázku níže:



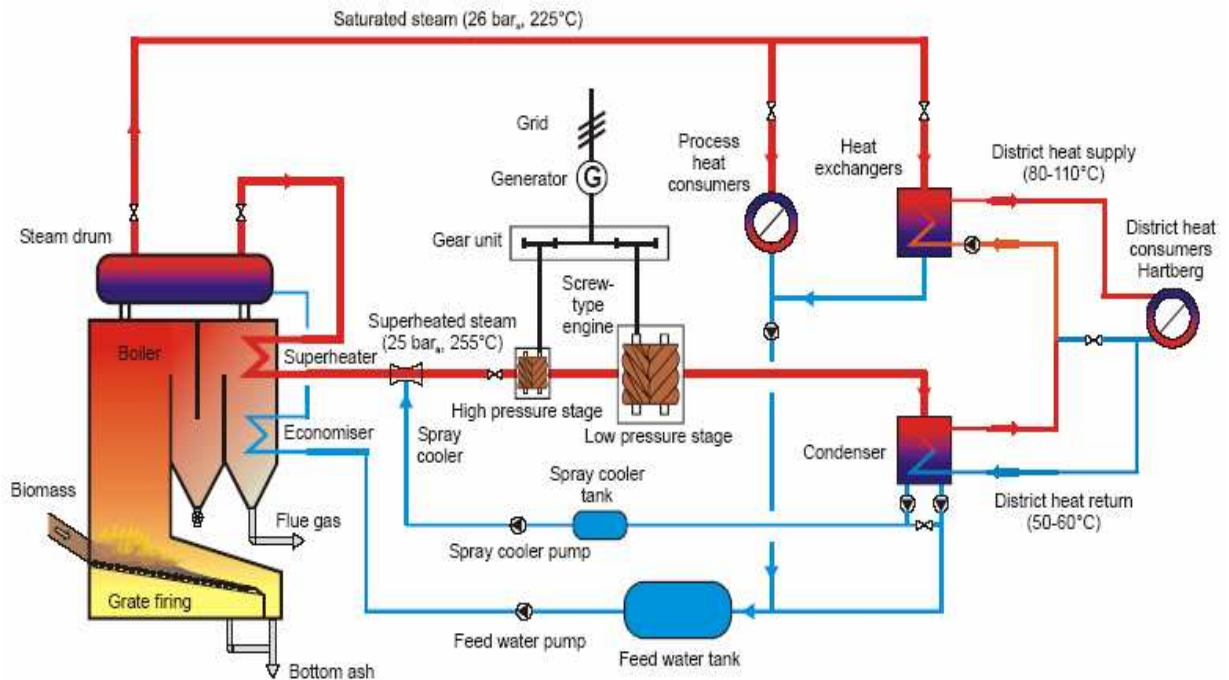
### ŠROUBOVÁ TURBÍNA (SCREW-TYPE TURBINE)

V současnosti pracuje s tímto typem turbíny jedna teplárna v rakouském Hartbergu. Teplárna využívá k výrobě elektrické energie přehřátou parou poháněnou šroubovou rotační turbínou. Ta pracuje na principu klasického Rankine-Clausiova cyklu. Projekt je vyvíjen spíše pro průmyslové využití páry. Systém je možné provozovat v rozsahu 30-100 % jmenovitého výkonu.

Parametry teplárny v Hartbergu jsou následující:

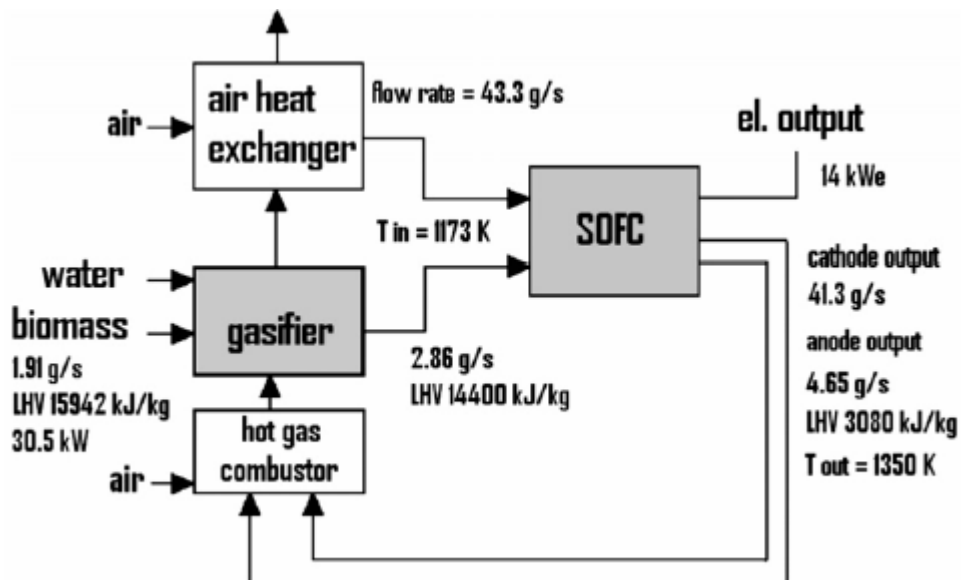
|   |             |
|---|-------------|
| Výkon v páře                              | 5640 kW     |
| Teplota přehřáté páry                     | 255°C       |
| Tlak přehřáté páry                        | 2,5MPa      |
| Hmotnostní tok páry                       | 8,1 t/h     |
| Tepelný výkon dodávaný do teplovodní sítě | 4,8 MW      |
| Elektrický výkon                          | 0,73 MW     |
| Teplárenský modul (e)                     | 0,15        |
| Výše investice (2003)                     | 2.560.000 € |

Technologie využívající šroubové turbíny je vyobrazena níže:



### PALIVOVÝ ČLÁNEK S PEVNÝM OXIDICKÝM ELEKTROLYTEM (SOFC)

Problematika využití biomasy ve spojení s vysoce účinnými palivovými články je řešena pomocí SOFC - Solid Oxid Fuel Cell. Jde o vysokoteplotní palivový článek s pevným oxidickým elektrolytem jenž pracuje při teplotě 850°C. Malá jednotka o elektrickém výkonu 14 kW a elektrické účinnosti 45,8 % je vyvíjena a testována na Technické Universitě v Římě. Její popis se nachází na následujícím obrázku:



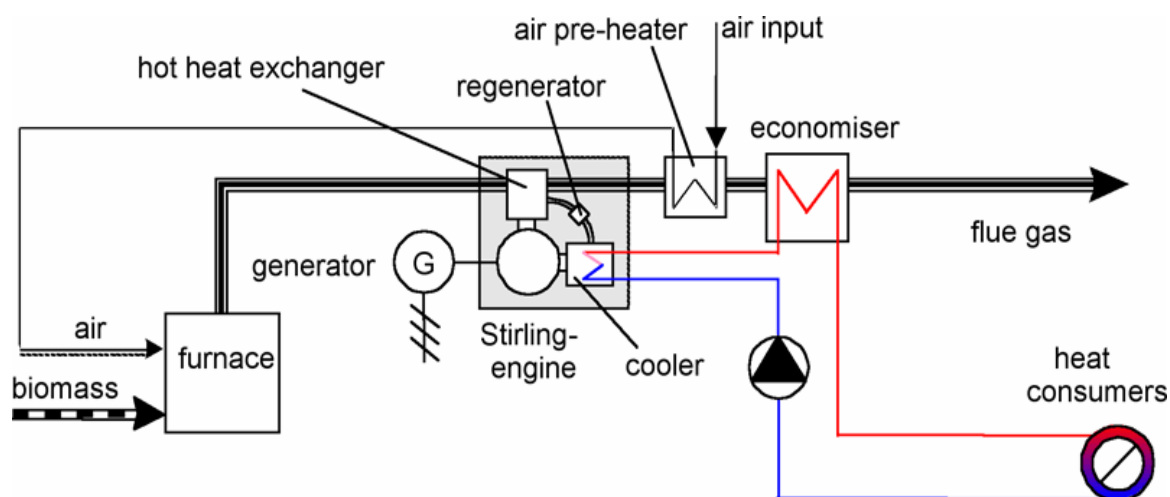
Vedoucí pozici ve vývoji SOFC zaujímá firma Siemens-Westinghaus, která vyvíjí palivový článek o elektrickém výkonu 220 kW. Systém navíc využívá horkého plynu na výstupu ze článku k pohonu spalovací turbíny.

## STIRLINGŮV MOTOR

Jeví se jako levnější varianta malých domácích kogeneračních jednotek namísto dřívějších spalovacích motorů. Jde o teplovzdušný motor, nenáročný na údržbu a provoz. Využívá uzavřený cyklus jehož pracovním médiem je ve většině případů hélium. Výkon dnes vyvíjených a používaných jednotek se pohybuje v řádech jednotek kW až desítek kW. Již pracující aplikace tepláren pracujících na principu Stirlingova motoru lze najít především v západních zemích Evropy. Parametry již fungující jednotky v rakouském městě Graz jsou následující:

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Elektrický výkon Stirlingova motoru | 35 kW  |
| Tepelný výkon Stirlingova motoru    | 105 kW |
| Celková tepelná účinnost            | 88,3 % |
| Teplárenský modul (e)               | 0,33   |

Teplárenský systém se Stirlingovým motorem je znázorněn na níže uvedeném obrázku:



## ZÁVĚR

Uvedené příklady ať už běžících nebo vyvíjených moderních teplárenských systémů mají stejný základ ve výrazně lepším teplárenském modulu oproti v současnosti běžně užívaným technologiím. Přehled zde zmíněných technologií je shrnut níže a pro porovnání je uvedena v současnosti nejvíce rozšířená technologie teplárenského využití biomasy - parní teplárna s protitlakou turbínou:

| <b>Technologie</b>                          | <b>Tepelný výkon</b> | <b>Elektrický výkon</b> | <b>Teplárenský modul</b> |
|---|----------------------|-------------------------|--------------------------|
|   | kW                   | kW                      | -                        |
| <b>ORC</b>                                  | 2800                 | 600                     | 0,21                     |
| <b>Paroplynový blok</b>                     | 9000                 | 6000                    | 0,67                     |
| <b>Dvojí zplyňování</b>                     | 1100                 | 450                     | 0,41                     |
| <b>Šroubová turbína</b>                     | 4800                 | 730                     | 0,15                     |
| <b>SOFC</b>                                 | 16,5                 | 14                      | 0,85                     |
| <b>Stirlingův motor</b>                     | 105                  | 35                      | 0,33                     |
| <b>Parní teplárna s protitlaku turbínou</b> | 2500                 | 150                     | 0,06                     |

### POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Review of Finnish biomass gasification technologies, OPET Finland, 2002, Espoo 21 s.
- [2] A.Hammerschmid, A.Stallinger, I.Obernberger, R.Piatkowski, DEMONSTRATION AND EVALUATION OF AN INNOVATIVE SMALL-SCALE BIOMASS CHP MODULE BASED ON A 730 KW<sub>el</sub> SCREW-TYPE STEAM ENGINE, 2004
- [3] KRISTER STAHL, MAGNUS NEERGAARD; IGCC POWER PLANT FOR BIOMASS UTILISATION, VARNAMO, SWEDEN 1998
- [4] INGWALD OBERNBERGER, PETER THONHOFER, ERWIN REISENHOFER; Description and evaluation of the new 1.000 kW<sub>el</sub> Organic Rankine Cycle process integrated in the biomass CHP plant in Lidný, Austria, 2002
- [4] MORTEN TONY HANSEN; Biomass based combined heat and power generation; Denmark;2004
- [5] STEFANO CORDINER, MASSIMO FEOLA, VINCENZO MULONE, FABIO ROMANELLI; Analysis of a SOFC energy generation system fuelled with biomass reformat; Universita di Roma; 2007

### POUŽITÉ ODKAZY NA INTERNETU:

- [1] <http://www.bios-bioenergy.at/>
- [2] <http://www.tzb-info.cz/>
- [3] <http://www.sciencedirect.com/>

# SPALOVACÍ TEST SE SMĚSÍ BIOPELET SUFLET A HNĚDÉHO UHLÍ

Lukáš PILAŘ , Pavel KOLAT , Bohumír ČECH

*Současná situace využívání energetických zdrojů směřuje jednoznačně ke hledání nových netradičních zdrojů, včetně zdrojů obnovitelných a k nízké produkci emisí CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>. Tradiční fosilní zdroje jsou limitovány, neboť jsou vyčerpateľné. Z obnovitelných zdrojů energie má největší význam biomasa, protože zaujímá až 75 % v rámci všech obnovitelných forem biomasy (voda, vítr, solární energie apod.). Její výhodou je i to, že ji lze "konzervovat" - může se usušit, uskladnit a použít v době, kdy je potřeba.*

## ÚVOD

Dne 12.1.2007 byly provedeny spalovací zkoušky s různými podíly biomasy s hnědým uhlím a s čistou biomasou na kotli K4 . Kotel K4 je původně konstruován na hnědé uhlí, koncem 90tých let byl z důvodu zpřísnění emisních limitů předělán na černé uhlí.

Zkouška se provedla z důvodu snižování emisí a odzkoušelo se spalování biopellet SUFLET. Na základě této jednorázové zkoušky bude rozhodnuto o případném trvalém spalování biomasy na kotli K4 v podílu vyšším než 25 % tepelného příkonu. V rámci zkoušky byly jak kontrolované plynné emise tak obsah těžkých kovů a stopových prvků tak také chování kotle a jeho výkon.

## POPIS KOTLE, SPALOVANÝCH PALIV A PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY

### POPIS KOTLE

Kotel K4 v areálu teplárny Krnov je jednobubnový roštový strmotrubný kotel s přirozenou cirkulací, který má následující hlavní parametry:

|                                 |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| Výrobce                         | ČKD Dukla Tatra Kolín  |
| Výrobní číslo                   | 984                    |
| Rok výroby                      | 1967                   |
| Jmenovitý výkon                 | 27,5 MW                |
| Jmenovitá výroba páry           | 35 t.hod <sup>-1</sup> |
| Minimální výroba páry           | 10 t.hod <sup>-1</sup> |
| Jmenovitý tlak páry             | 3,72 MPa               |
| Jmenovitá teplota přehřáté páry | 445 °C                 |
| Jmenovitá teplota napájecí vody | 105 °C                 |

## CHARAKTERISTIKA PALIV

Spalovací zkoušky byly provedeny se dvěma různými palivy :

### HNĚDÉ UHLÍ

Jako přídatné palivo se spalovalo hnědé uhlí s těmito vlastnostmi . Z dolu Bílina

| Hrubý rozbor |                        |       | Elementární analýza |     |       |
|--------------|------------------------|-------|---------------------|-----|-------|
| $W^r$        | [%]                    | 26,66 | H                   | [%] | 3,13  |
| $A^r$        | [%]                    | 18,76 | C                   | [%] | 37,99 |
| $Q_i^r$      | [kJ.kg <sup>-1</sup> ] | 14625 | N                   | [%] | 0,53  |
| $Q_s^{daf}$  | [kJ.kg <sup>-1</sup> ] | 15966 | O                   | [%] | 12,26 |
| $V^{daf}$    | [%]                    | 27,99 | S                   | [%] | 0,72  |



Obr č .1 a tab č .1 . Vzorek hnědého uhlí a hrubý rozbor

### BIOPELETY

Jako bio palivo byly použity peletky z obilného květu SUFLET .



| Hrubý rozbor |                        |       | Elementární analýza |     |       |
|--------------|------------------------|-------|---------------------|-----|-------|
| $W^r$        | [%]                    | 10,52 | H                   | [%] | 5,58  |
| $A^r$        | [%]                    | 8,22  | C                   | [%] | 39,28 |
| $Q_i^r$      | [kJ.kg <sup>-1</sup> ] | 14931 | N                   | [%] | 3,16  |
| $Q_s^{daf}$  | [kJ.kg <sup>-1</sup> ] | 16413 | O                   | [%] | 33,24 |
| $V^{daf}$    | [%]                    | 65,45 | S                   | [%] | 0,16  |

Obr č.2 a tab č.2. Vzorek biopelet SUFLET a hrubý rozbor

**PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY**

| Označení zkoušky | Čas provedení zkoušky | Datum provedení zkoušky | Poměr spalovaných paliv v jejich tepelném příkonu            | Poměr spalovaných paliv v jejich hmotnostním poměru |
|------------------|-----------------------|-------------------------|--|---|
| Zkouška č.1      | 10:45-13:45           | 12.1.2007               | 10,451 MJ.kg <sup>-1</sup> BIO: 4,388 MJ.kg <sup>-1</sup> HU | 70% BIO: 30% HU                                     |
| Zkouška č.2      | 15:00-18:00           |                         | 13,437 MJ.kg <sup>-1</sup> BIO: 1,463 MJ.kg <sup>-1</sup> HU | 90% BIO: 10% HU                                     |
| Zkouška č.3      | 19:00-22:00           |                         | 14,93 MJ.kg <sup>-1</sup> BIO                                | 100% BIO  |

Tab č.3 Seznam prováděných zkoušek

V následující tabulce jsou uvedeny náplně jednotlivých zkoušek :

| Označení zkoušky | Náplň jednotlivých zkoušek  |
|------------------|---|
| Zkouška č.1      | Odběr vstupujících a vystupujících hmot, , měření plynných emisí CO,NO <sub>x</sub> ,SO <sub>2</sub> a kyslíku, měření koncentrace TOC ,PAU,PCB,PCCD/F a těžkých kovů |
| Zkouška č.2      | Odběr vstupujících a vystupujících hmot, , měření plynných emisí CO,NO <sub>x</sub> ,SO <sub>2</sub> a kyslíku, měření koncentrace TOC, PAU,PCB,PCCD/F a těžkých kovů |
| Zkouška č.3      | Odběr vstupujících a vystupujících hmot, , měření plynných emisí CO,NO <sub>x</sub> ,SO <sub>2</sub> a kyslíku, měření koncentrace TOC ,PAU,PCB,PCCD/F a těžkých kovů |

Tab.č.4 Náplň jednotlivých zkoušek

**VÝSLEDKY MĚŘENÍ****MĚŘENÍ PLYNNÝCH EMISÍ**

Při spalovacích zkouškách spalování biopaliva s hnědým uhlím bylo provedeno měření plynných emisí CO,NO<sub>x</sub>,SO<sub>2</sub> a TOC na výstupu z kotle

Emisní limity zjištěné ze sbírky zákonů č. 352/2002 jsou :

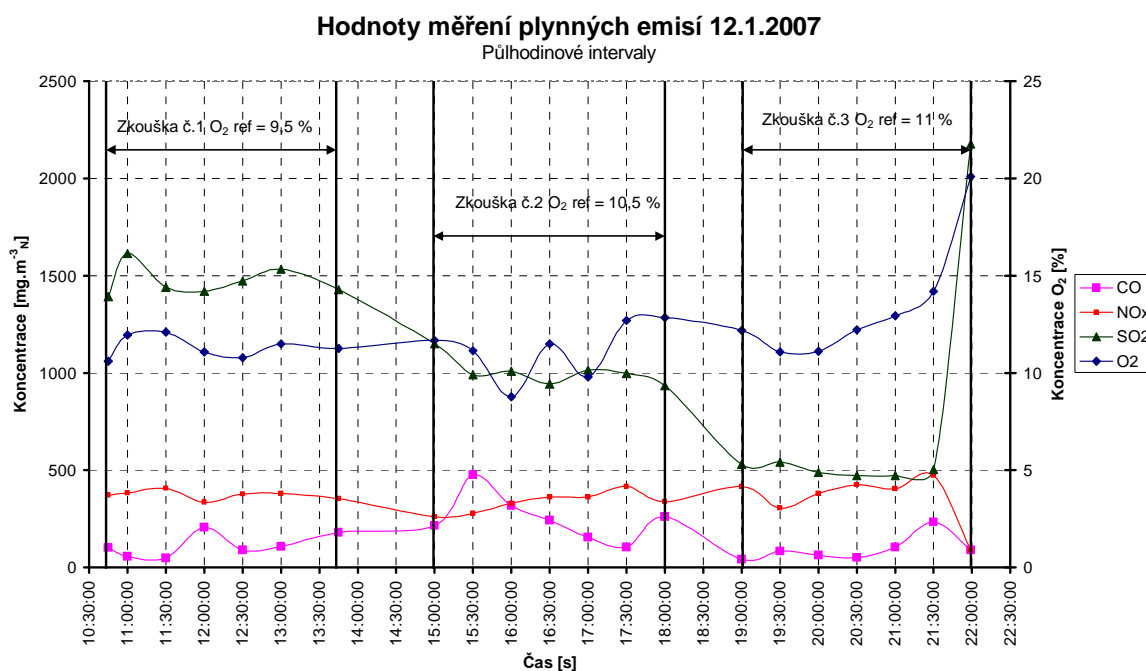
Pro SO<sub>2</sub> = 2500 mg.m<sup>-3</sup><sub>N</sub>, NO<sub>x</sub> = 650 mg.m<sup>-3</sup><sub>N</sub>, Zkouška č.1 CO = 456 mg.m<sup>-3</sup><sub>N</sub>, Zkouška č.2 CO = 623 mg.m<sup>-3</sup><sub>N</sub>, Zkouška č. 3 CO = 650 mg.m<sup>-3</sup><sub>N</sub>.

Obsah referenčního kyslíku pro jednotlivé zkoušky byl vypočítán dle tepelného příkonu jednotlivých druhů paliv dle sbírky zákonů č. 352/2002

| Čas                     | O <sub>2</sub> | O <sub>2ref</sub> | CO                | NO <sub>x</sub>   | SO <sub>2</sub>   |
|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                         | %              | %                 | mg/m <sup>3</sup> | mg/m <sup>3</sup> | mg/m <sup>3</sup> |
| 12.1.2007 10:45 - 13:45 | 11,327         | 9,5               | 112,979           | 372,322           | 1471,242          |
| 12.1.2007 15:00 - 18:00 | 11,204         | 10,5              | 253,766           | 335,216           | 1005,646          |
| 12.1.2007 19:00 - 21:54 | 13,394         | 11,0              | 95,575            | 356,298           | 740,67            |

Tab č.5 Průběh plynných emisí

Výsledky měření plynných emisí jsou společně pro všechny zkoušky uvedeny do grafu po půlhodinových hodnotách.



Graf č.3 Průběh půlhodinových hodnot plynných emisí

## PROVOZNÍ MĚŘENÍ

Hodnoty provozního měření byly získány od Teplárny Krnov

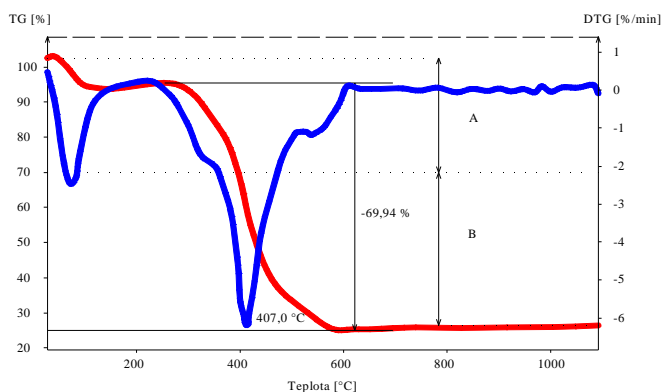
| Zkouška | Čas           | Množství páry | Teplota páry | Tlak páry | Tepelný výkon | Teplota NV |
|---------|---------------|---------------|--------------|-----------|---------------|------------|
|         |               | t/h           | °C           | MPa       | MW            | °C         |
| ZK1     | 10:45 - 13:45 | 17,64         | 424,67       | 3,66      | 16,05         | 104,86     |
| ZK2     | 15:00 - 18:00 | 17,97         | 417,47       | 3,66      | 16,28         | 105,86     |
| ZK3     | 19:00 - 21:54 | 18,85         | 436,87       | 3,69      | 17,3          | 106,16     |

Tab č.6. Provozní hodnoty

## TERMICKÁ ANALÝZA

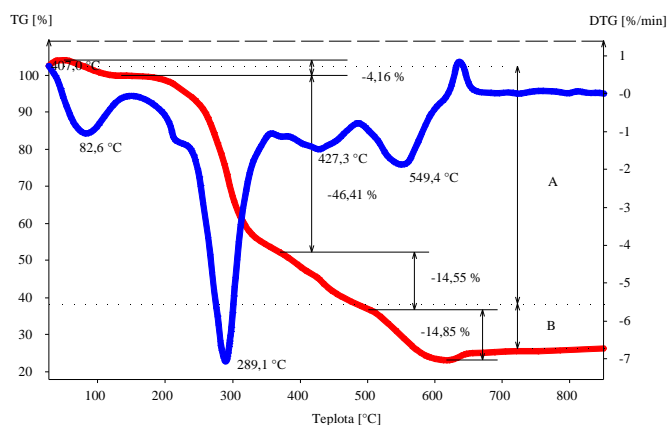
### UHLÍ

Byla provedena termická analýza vzorku uhlí. Průběh termické analýzy je uveden na přiloženém grafu, z něhož vyplývá, že největší úbytek a tedy oxidace uhlíkatých složek je při teplotě 407,0 °C, tento úbytek činí 69,94 %, po této teplotě dochází k pozvolnému dohoření vzorku. Počáteční úbytek, který odpovídá oxidační pyrolýze složek uhlí uvolnění prchavých látek a její oxidace v plynné fázi činí 8,85 %.



### BIOPELETY SUFLET

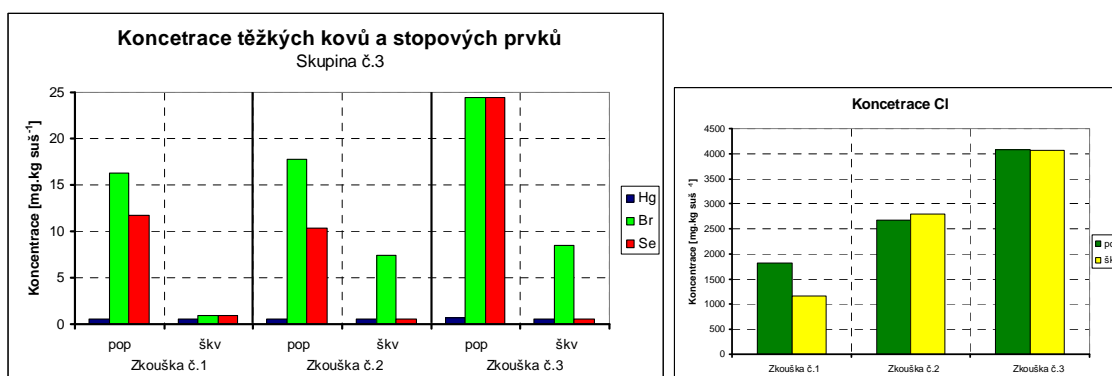
V rámci provedení termické analýzy byla provedena analýza biopaliva. Z grafu vyplývá, že průběh termogravimetrické křivky teploty je jiný než u vzorku uhlí. Nejviditelnější rozdíl je ve velikosti maximální teploty, u vzorku biopaliva je 289,1 °C. Dále průběh TG křivky biopaliva je oproti průběhu TG uhlí složený z více skoků. Oxidační pyrolýza složek biomasy je při teplotě 82,6 °C a úbytek činí 4,16 %. Dále následuje maximální úbytek při teplotě 289,1 °C následují další úbytky a to při teplotě 427,3 °C a 549,4 °C a jednotlivé úbytky při těchto teplotách jsou 14,55 % a 14,85 % pak následuje pozvolná oxidace zbylého koksů až do úplného vyhoření.



## KONCENTRACE TĚŽKÝCH KOVŮ A STOPOVÝCH PRVKŮ

Těžké kovy a stopové prvky se rozdělují do skupin podle těkavosti. Jsou rozděleny do třech skupin. V první skupině jsou prvky jejichž koncentrace je rozdělena rovnoměrně mezi produkty po spalování (v našem případě škvára a popílek).

**3. Skupina** – Hg, Br, Cl, F, prvky patřící jak mezi skupinu č.2 tak skupinu č. 3 B, Se, I. Na přiloženém grafu jsou uvedeny jen některé z nich, které byly k dispozici při dodané chemické analýze. Koncentrace rtuti se pohybuje okolo  $0,62 \text{ mg.kg suš}^{-1}$ . Největší je koncentrace Cl<sup>-</sup>, protože samotné palivo obsahuje velkou koncentraci chlóru, hodnota se pohybuje u spalování čisté biomasy okolo  $4090 \text{ mg.kg suš}^{-1}$ .

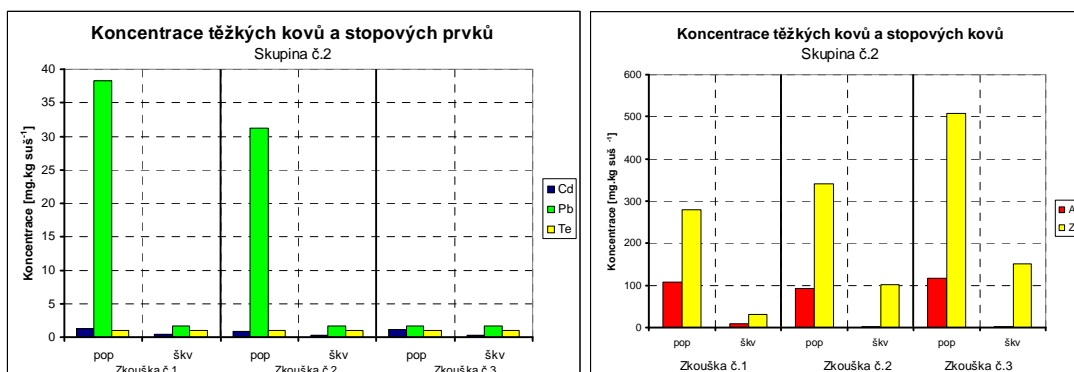


Graf č.4 Koncentrace těžkých kovů a stopových prvků koncentrace Cl<sup>-</sup>

Z uvedených grafů vyplývá, že prvky 3 skupiny se vážou na popílek, který má větší měrný povrch.

Graf chlóru je uveden samostatně, protože biopalivo SUFLET obsahuje velké množství chlóru.

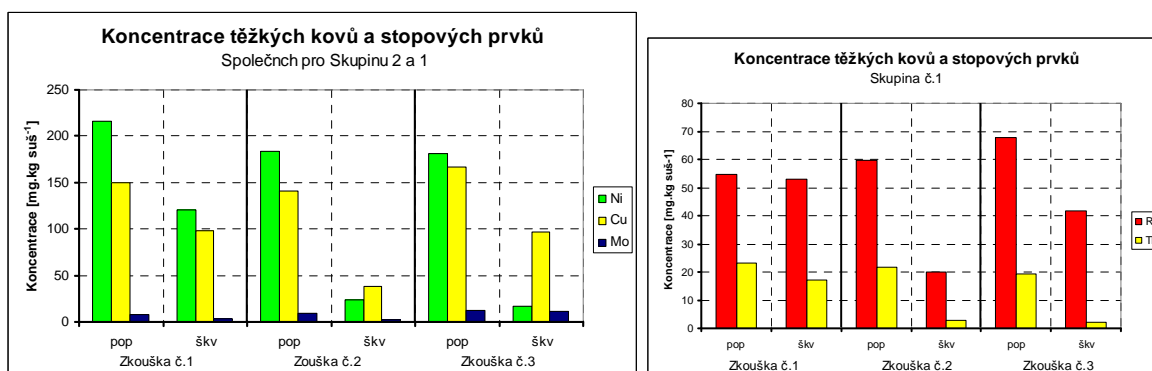
**2. Skupina** – As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sb, Sr, Te, Tl, Zn , prvky patřící jak mezi skupinu č.2 tak skupinu č.1 Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Mo, Ni, U, V, W. Koncentrace olova se pohybuje u čisté biomasy okolo hodnoty 1,7 mg.kg suš<sup>-1</sup>. Vyšší je hodnota Zn , která je u koncentrace v popílku u spalování biomasy okolo hodnoty 508 mg.kg suš<sup>-1</sup>.



Graf č.5 Koncentrace těžkých kovů a stopových prvků

Graf Arsenu a Zinku je uveden samostatně , z důvodů vysokých hodnot těchto prvků.

**1. Skupina** – Hf, La, Mn, Rb, Sc, Sm, Th, Zn.



Graf č.6 Koncentrace těžkých kovů a stopových prvků

Graf Rb a Th je uveden samostatně , z důvodů vysokých hodnot těchto prvků.

## ZÁVĚR

Dne 12.11.2007 byly na kotli K4 Teplárny Krnov provedeny spalovací zkoušky se směsí biomasy a uhlí dále s čistou biomasou bez přídavku uhlí . První zkouška byla provedena se 70 % podílu hmotnosti peletek SUFLET s 30 % podílu hmotnostní hnědé uhlí Bílina . Druhá zkouška byla provedena s 90 % hmotnostními peletek SUFLET s 10 % hnědé uhlí Bílina . Třetí zkouška byla provedena s čistou biomasou peletek SUFLET .

Cílem zkoušky byla možnost ověření spalování samotné biomasy při podílu vyšším než 25 % tepelného příkonu a zároveň proměření emisí při spalování tohoto materiálu . Z provedených zkoušek vyplývá , že nedošlo k porušení emisních limitů . Tedy dle výsledku lze říci , že je vhodné spalování biopaliva ve formě biopelletek a lze toto palivo používat bez příměsí uhlí. Jediná komplikace nastala z prachovou frakcí v palivu , ale tato prachová frakce by se dala odloučit a spalovat na vedlejším kotli K5, který je přizpůsoben pro spalování paliv menší zrnitosti.

### **POUŽITÁ LITERATURA**

- [1] ČECH, Bohumír. Technická zpráva ze Spalovacích zkoušek na kotli K4 v Teplárně Krnov. Ostrava, leden 2007
- [2] BLAŽEK, Antonín. Termická analýza, Praha, SNTL 1974

### **PODĚKOVÁNÍ**

Příspěvek vznikl za podpory grantů GAČR 101/03/H064 „Energie z biomasy“ a MSM 619890019 „DeCO<sub>x</sub> Processes“

## VYUŽITIE SOLÁRNEJ ENERGIE PRI CHLADENÍ SORPČNÝMI CHLADIACIMI SYSTÉMAMI

**Peter Pilát, Radovan Nosek, Blanka Paulinyová**

*Abstrakt: Príspevok pojednáva o možnostiach využitia tepelnej energie zo slnečných kolektorov v letných mesiacoch pre chladenie v sorpčných chladiacich systémoch. V príspevku sú analyzované absorpčné a adsorpčné systémy chladenia a podmienky využitia solárnej techniky v týchto systémoch..*

Kľúčové slová: sorpčný, absorpčný, adsorpčný systém, slnečné kolektory, chladenie

### ÚVOD

Solárne systémy dnes už nie sú žiadnou novinkou pri použití na ohrev teplej vody či vykurovanie. Použitím nových technológií účinnosť slnečných kolektorov značne stúpla a to hlavne pri použití vákua ako tepelného izolantu, čím sa predĺžila aj ich využiteľnosť počas celej sezóny. Nie je nič výnimočné využívať slnečné kolektory naplno počas slnečných januárových dní, kedy je teplota vzduchu v exteriéry pod nulou.

Problémom však je, že tepelné požiadavky na tepelnú energiu v domácnostiach sa značne zvyšujú práve v obdobiach, keď je intenzita slnečného žiarenia je nízka a takisto pomer slnečných dní ku zamračeným je malý resp. naopak. Práve z toho dôvodu tu sa ukazuje ako veľmi perspektívne využitie vyprodukovaného tepla slnečnými kolektormi pre sorpčné chladiace systémy. Tým sa pre solárne kolektory otvárajú nové možnosti a teda využitie kolektorov v zime pre vykurovanie a v lete pre chladenie resp. klimatizáciu. Aplikáciou slnečných kolektorov pre chladenie sa nielenže zvýši využitie kolektora, ale takisto sa znížia aj náklady na chladenie a klimatizáciu v letnom období.

Sorpčné chladiace systémy fungujú na základe javu absorpcie alebo adsorpcie niektorých látok, ktoré pohlcujú pary iných látok, ktoré sú v našom prípade chladivom. Teplo z kolektora sa v týchto systémoch využíva na vypudenie chladiva z absorbentu alebo adsorbentu a jav sa môže opakovať odznova.

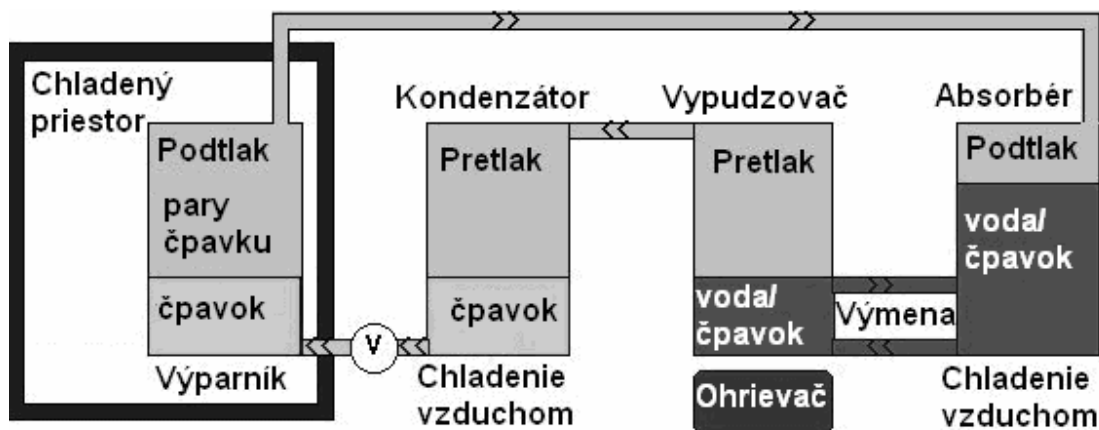
### ABSORPČNÉ CHLADIACE ZARIADENIA

Absorpčné chladenie je systém využívajúci absorpčný jav. Pre absorpčné chladenie dodnes nie sú známe všetky dvojice, ktoré môžu pracovať ako pracovné látky. Skúšalo sa ich už mnoho, no ako najpoužívanejšie sú v súčasnosti dvojice pri absorpčnom chladení LiBr (bromid lítny alebo často používaný názov lítiumbróm)/voda alebo čpavok(NH<sub>3</sub>)/voda.

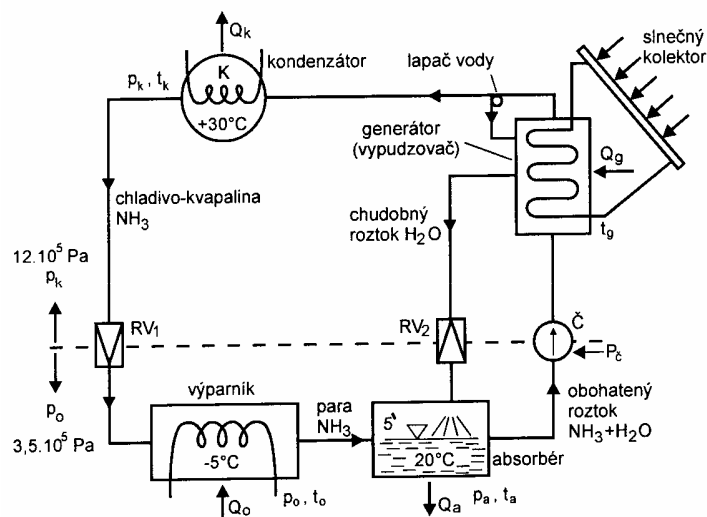
Absorpčný chladiaci systém je charakterizovaný tým, že pracuje kontinuálne, obr.č.1. Skladá sa zo štyroch hlavných prvkov a to z výparníka, absorbéra, vypudzovača a kondenzátora. Z výparníka sa uvoľňujú pary chladiva – NH<sub>3</sub>, čím sa výparník ochladzuje. Uvoľnené pary sú nasávané podtlakom do absorbéra – do vody. Z absorbéra sa nasýtený roztok vody prečerpáva do

vypudzovača, kde sa  $\text{NH}_3$  vypudí z vody za pomoci dodaného tepla. Roztok treba zohriať na cca  $110\text{ }^\circ\text{C}$ . Ochudobnená voda o  $\text{NH}_3$  sa vracia späť do absorbéra a vypudené pary chladiva pokračujú do kondenzátora, kde skondenzujú. V kondenzátore sa kondenzát ochladí a škrtiacim ventilom prechádza opäť do výparníka a tým je cyklus uzavretý.

Energetický vstup do absorpčného chladiaceho systému predstavuje energia na vypudzovanie chladiva z absorbentu a energia potrebná na pohon čerpadla v chladiacom systéme. Tepelnú energiu na vypudzovanie chladiva je možné do absorpčného chladiaceho systému privádzať zo slnečného kolektora, obr.č. 2.

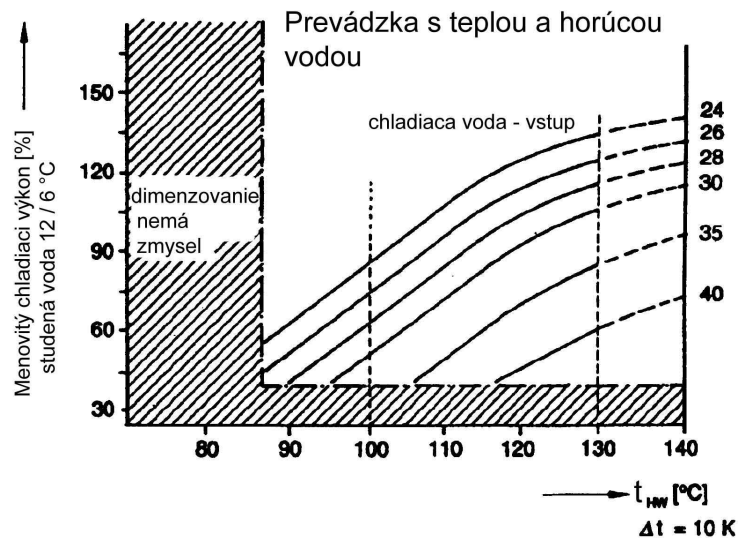


Obr. č. 1 Princíp kontinuálneho absorpčného chladienia



Obr. č. 2 Schematické zapojenie absorpčného chladiaceho zariadenia s pracovnými látkami voda/ $\text{NH}_3$  so slnečným kolektorom

Z obr.č 3 je vidieť veľmi zaujímavá a zásadná skutočnosť, [2], [3]. Z grafu je vidieť do akej miery je chladiaci výkon absorpčnej chladiacej jednotky LiBr/voda závislý od teploty chladiacej vody a teploty ohrievacej vody pre vypudzovanie. Čím je vyššia teplota vody pre vypudzovanie tým je chladiaci výkon vyšší a naopak. Opačne to platí i vo vzťahu ku chladiacej vode. Z toho vyplýva, že aplikáciou slnečných kolektorov je potrebné dosiahnuť čo najvyššej teploty ohrievacej vody. Preto ako najvhodnejší spôsob výroby tepla zo slnečnej energie pre ohrev roztoku vo vypudzovači sa ukazuje aplikácia vákuových slnečných kolektorov.



Obr. č. 3 Závislosť chladiaceho výkonu absorpčnej chladiacej jednotky LiBr/voda od teploty chladiacej vody a teploty ohrievacej vody

### ADSORPČNÉ CHLADIACE ZARIADENIA.

Tieto zariadenia sú jednoduché na konštrukciu, obr. č. 5. Adsorpčné chladiace systémy sa skladajú z dvoch základných častí. V jednej je adsorbent pohlcujúci pary chladiva, v druhom je chladivo v tekutom stave. Tieto dve časti sú navzájom prepojené potrubím, na ktorom je ventil, ktorým sa ovláda prívod pár k adsorbentu čím sa ovláda aj výkon zariadenia. Adsorpčné chladiace zariadenia na rozdiel od absorpčných nepracujú kontinuálne, nakoľko adsorbent je tuhá látka t.j. keď sa adsorbent nasýti chladivom, treba vykonať jeho desorpciu dodaním tepla čím sa chladivo z adsorbentu odparí, obr.č.6. [1]

Adsorbentov je taktiež viacero druhov, no ako najperspektívnejší sa javí zeolit nasávajúci vodné pary, z toho vyplýva, že ako chladivo sa používa voda. Jeho prednosťou, na rozdiel od iných adsorbentov je hlavne dostupnosť a cena. Zeolity sú vlastne kryštalické hliníkokremičitany ( obr.č.4), ktoré sa v prírode vyskytujú ako horniny, ale takisto sa vyrábajú synteticky. Sú nejedovaté, nehorľavé a ekologicky neškodné. Majú vysokú adsorpčnú schopnosť, preto sa aj využívajú v chladiacich a odvlhčovacích zariadeniach. Ani po niekoľko tisícoch cyklov sa jeho štruktúra nemení, akurát sa nesmie presiahnuť tlak 1 bar a teplota 900K.

Po otvorení ventilu začne zeolit prudko odsávať pary chladiva. Ak dostatočne nedodávame chladivu (vode) teplo, voda zamrzne. Aby sme mohli dosahovať podnulové teploty, ako chladivo

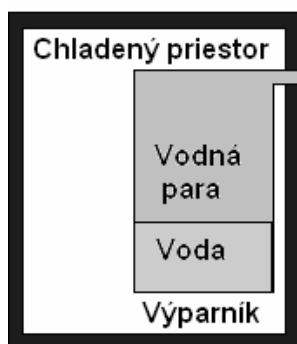
použijeme roztok vody a kuchynskej soli – soľanku, pričom môžeme dosiahnuť teploty až  $-30^{\circ}\text{C}$ . Zeolit sa pritom ohrieva až na  $130^{\circ}\text{C}$ . Chladiaca kapacita zeolitu je  $100\text{ Wh}$  a na teplej strane sa odovzdá  $130\text{Wh}$ .



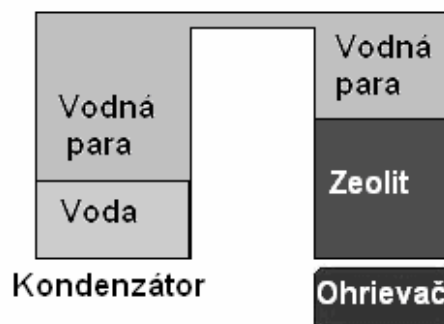
Obr. č. 4 Zeolit

Keď sa zeolit nasýti vodou, jeho adsorpčná schopnosť sa zastaví a zariadenie prestáva chlaďiť. Aby sme mohli v procese chladenia pokračovať, musíme zo zeolitu vypudiť vodu. Pri desorpcii sa zeolit odvlhčuje, čiže regeneruje za pomoci dodaného tepla. Desorpčné teploty sú od  $180 - 360^{\circ}\text{C}$  podľa stupňa regenerácie.. Pri desorpcii vypudzovaná para kondenzuje v druhej časti zariadenia – odparník sa stáva kondenzátorom. Kondenzátor môžeme chlaďiť, čím je chladenie intenzívnejšie tým para rýchlejšie a lepšie kondenzuje. Po vysušení zeolitu ešte stále zeolit nie je schopný adsorbovať pary, pretože je horúci, preto je dobré aby vychladol aspoň na  $80^{\circ}\text{C}$ . Potom sa proces chladenia môže opäť opakovať. Ak potrebujeme chlaďiť súvisle, potrebujeme takéto systémy minimálne dva, jeden bude chlaďiť a z druhého za ten čas budeme paru vypudzovať.

Výhodou tohto zariadenia je jeho jednoduchosť, dostupnosť pracovných látok, ich dá sa povedať úplná ekologická nezávadnosť a v konečnom dôsledku i cena a v spojení so solárnym zariadením aj ekonomická nenáročnosť. Pri adsorpčných zariadeniach je taktiež možné na vypudzovanie chladiva použiť tepelnú energiu z kolektora. Problémom je dosiahnutia desorpčných teplôt od  $180 - 360^{\circ}\text{C}$ . Pri použití vákuového kolektora, sa dajú dosiahnuť teploty do  $200^{\circ}\text{C}$  avšak pri použití koncentrátorových kolektorov tento rozsah teplôt by nemal byť problémom. Ak by dosiahnuté teploty sú nedostačujú je potrebné použiť dohrev z iný zdrojov tepla (plynový alebo elektrický).



Obr. č. 5 Princíp práce jednoduchého diskontinuálneho adsorpčného chladiaceho zariadenia



Obr. č. 6 Desorpcia vody zo zeolitu ohrievaním

## ZÁVER

Aplikácia slnečných kolektorov pri sorpčných chladiacich systémoch má do budúcnosti vysokú perspektívu, avšak výstupné parametre teplonosného média z kolektora musia byť prispôbené danému spôsobu chladenia hlavne z hľadiska dosiahnutia požadovaných teplôt.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] MASARYK, M. (1997): Využitie zeolitových technológií v klimatizačnej technike, Zpravodaj českého zväzu chladiacej techniky 6/97 (ČR), str. 14-18
- [2] JANDAČKA, J.; MALCHO, M.; SMATANOVÁ, H. (2004): Vplyv niektorých parametrov na chladiaci výkon absorbných chladiacich jednotiek pracujúcich s roztokom voda – lítium bromid. Acta Mechanica Slovaca 3-A/2004, Košice str. 581, ISSN 1335-2393
- [3] JANDAČKA, J.; MALCHO, M. (2004): Vplyv prevádzkových parametrov absorbných klimatizačných systémov na zabezpečenie chladiaceho výkonu; Zborník prednášok; 9.konferencia so zahraničnou účasťou; Vetranie a klimatizácia 2004, Liptovský Ján; jún 2004; str.103, ISBN 80-969030-4-7

## POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ DŘEVĚNÝCH PELET A PELET Z BYLIN STANOVANÝCH PODLE TECHNICKÝCH STANDARDŮ CEN

**Diana Sedláčková, Sergej Skoblja**

*abstrakt*

*Pro rozvoj evropského trhu s pevnými biopalivy jsou nezbytné jednotné evropské normy. Evropská komise pověřila Centrální evropskou komisi pro normování (CEN) jejich vytvořením. CEN vydala technické standardy, které byly přejaty i do českých státních norem jako ČSN P CEN/TS. Technické standardy CEN jsou pro stanovení vlastností pelet z bylin vhodnější než postupy podle stávajících norem pro dřevěné pelety, především kvůli teplotě stanovení obsahu popela.*

*Byly stanoveny základní fyzikální a mechanické vlastnosti vzorku dřevní štěpky, 11 vzorků dřevěných pelet od různých výrobců a sedmi vzorků pelet z různých druhů bylin podle technických standardů CEN. Naměřené výsledky pro dřevěné pelety a pelety bylin byly mezi sebou porovnány. Studie ukázala, že vlastnosti dřevěných pelet jsou podobné, naopak pelety z bylin mají rozdílné vlastnosti v závislosti na použité biomase a aditivech.*

**Klíčová slova:** pevná biopaliva, stanovení vlastností pelet, rozdíly mezi dřevěnými a bylinnými peletami, CEN/TS,

### STANOVÁNÍ VLASTNOSTÍ PELET

Pelety jsou malé válcovité výlisky z přírodních dřevěných odpadů nebo ze zemědělských zbytků. Pelety se smí podle technického standardu CEN/TS 14961 vyrábět ze dřeva, bylin a ovoce. Pro zlepšení kvality pelet je možné přidávat různé příměsi. Jedná se o pomocná lisovací činidla, inhibitory struskování nebo jakákoliv jiná aditiva. Pelety jsou palivo s relativně vysokou výhřevností a nízkým obsahem vody a popela, nemají velké nároky na skladovací prostor a proces spalování může být automatizovaný. Dřevěné pelety jsou normované palivo. [10]

Pelety ze dřeva a bylin mají různé elementární složení, proto se liší svými vlastnostmi, především obsahem popela a jeho teplotou měknutí. Hlavně u pelet z bylin se parametry velmi liší v závislosti na druhu použité biomasy. I přísady mají na kvalitu pelet velký vliv. Klasifikační systém CEN/TS 14961 definuje normované a informativní parametry pro dřevěné pelety. Tyto parametry jsou důležité z hlediska jejich spalování a skladování. Mezi normované parametry patří jemný podíl, mechanická pevnost, obsah vody a popela. Informativní parametry jsou výhřevnost a sypná hmotnost. Podle hodnot normovaných parametrů se dřevěné pelety dělí na pelety vhodné pro použití v domácnostech a ostatní. [3]

Stanovení jemného podílu, mechanické pevnosti a sypné hmotnosti bylo provedeno s deseti vzorky dřevěných pelet a sedmi vzorky pelet z obilnin, které jsou uvedeny v Tab. 1. Obsah vody a popela byl navíc stanoven u vzorků P1 a P2. Stanovení výhřevnosti bylo provedeno se vzorky P1 a P2 a se šesti vzorky pelet z obilnin (mimo vzorek 2).

| Označení vzorku | Název vzorku              | Popis vzorku              |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| Dřevěné pelety  |                           |                           |
| D1              | C*Plus 12015              | 0,5 % škrobu, průměr 6 mm |
| D2              | PT 20002 Cerestar         | Průměr 6 mm               |
| D3              | PT 2002 Cerestar          | Průměr 6 mm               |
| D4              | C*Plus 120015             | 1,5 % škrobu, průměr 6 mm |
| D5              | C-Gel 03401               | 1,5 % škrobu, průměr 6 mm |
| D6              | C-Gel 03401               | 2,0 % škrobu, průměr 6 mm |
| D7              | C-Gel 03401               | 0,5 % škrobu, průměr 6 mm |
| D8              | C-Gel 30002               | 1,5 % škrobu, průměr 6 mm |
| D9              | C-Gel 30002               | 0,5 % škrobu, průměr 6 mm |
| D10             | RGM 1370                  | 1,5 % škrobu, průměr 6 mm |
| P1              | Dřevní štěpka             |                           |
| P2              | Dřevěné pelety            | Průměr 6 mm               |
| Pelety z bylin  |                           |                           |
| 1               | Sláma pšenice ozimé       | Průměr 6 mm               |
| 2               | Sláma pšenice ozimé       | Průměr 8 mm               |
| 5               | Sláma pšenice ozimé       | 3 % jílů, průměr 6 mm     |
| 7a              | Sláma ozimého žita        | Průměr 8 mm               |
| 9               | Sláma ozimého žita        | 3 % jílů, průměr 6mm      |
| 12              | Triticale (celé rostliny) | Průměr 8 mm               |
| 14              | Triticale (celé rostliny) | 3 % jílů, průměr 6 mm     |

Tab. 1 Přehled použitých vzorků pelet

Stanovení jemného podílu se provádělo podle CEN/TS 15149-2. Vzorek pelet se prosíval sítím o průměru ok 3,15 mm. Jemný podíl je definován poměrem hmotností podsítné frakce a původní navážky. Výsledek se zaokrouhlil na 0,1 %. Jemný podíl by měl být co nejmenší, protože může vést k provozním poruchám kotle. Vzniká manipulací a při dopravování pelet. [5, 10]

Stanovení mechanické pevnosti, která je definovaná mechanickou odolností pelet vůči definovanému zatížení, bylo provedeno podle CEN/TS 15210-1 v měřicím přístroji (500 otáček s frekvencí  $(50 \pm 2) \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$ ) a pevnost byla vypočtena jako poměr hmotností pelet větších než 3,15 mm po zkoušce a před zkouškou. [6, 10]

Na obsahu vody závisí výhřevnost pelet. Podle CEN/TS 14774-2 se obsah vody stanovuje ze ztráty hmoty při sušení na vzduchu při teplotě 105°C do konstantní hmotnosti. Výsledek se zaokrouhlil na 0,1 %. [1]

Obsah popela byl stanoven podle CEN/TS 14775 z množství zbytku, který zůstal po ohřevu vzorků na teplotu  $(550 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$  na vzduchu při regulovaných podmínkách. Výsledek se zaokrouhlil na 0,1 %. Obsah popela byl stanoven také podle normy DIN 51719 platné pro všechna pevná paliva při teplotě  $(815 \pm 10)^\circ\text{C}$ . a výsledky byly mezi sebou porovnány. Obsah popela mimo jiné ovlivňuje emise prachu. [2, 8]

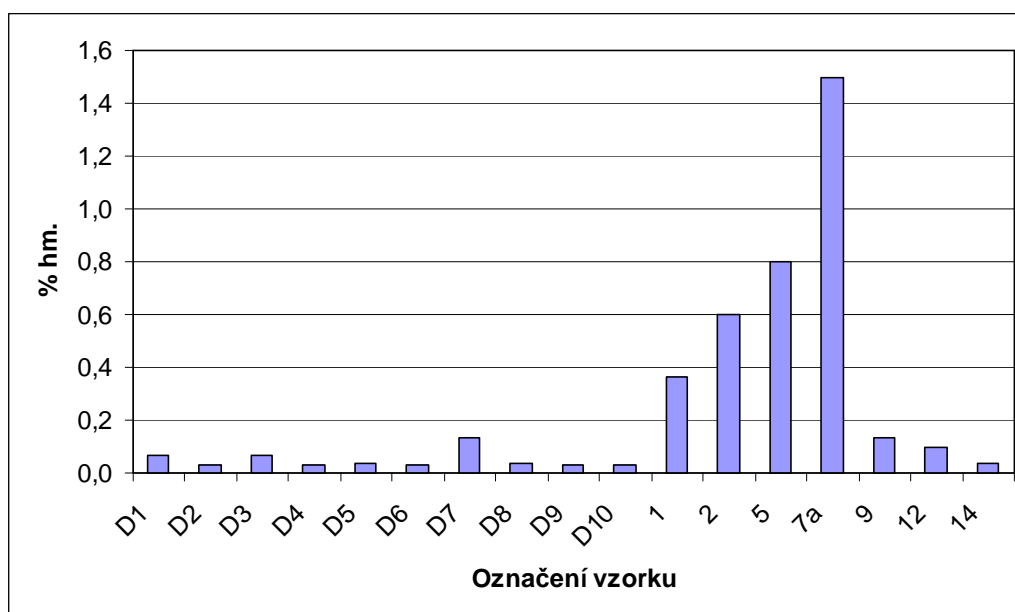
Sypná hmotnost pelet je důležitá vlastnost, a to z hlediska skladování pelet i manipulace při spalování. Stanovení sypné hmotnosti bylo provedeno podle CEN/TS 15103. Testované množství bylo dáno do standardního zásobníku definované velikosti a formy a zváženo. Z čisté hmotnosti vzorku a standardního objemu zásobníku byla vypočítaná sypná hmotnost. Výsledky jednotlivých stanovení se zaokrouhlily na 0,1 %, průměr se zaokrouhlil na 10 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). [4, 9]

Podle CEN/TS 15400 se spalné teplo stanovuje v kalorimetru, který je kalibrován spálením certifikované kyseliny benzoové, při konstantním objemu a referenční teplotě 25 °C. Stanovení spalného tepla bylo prováděno v kalorimetru C 200 od firmy IKA. Byla provedena

korekce na vzniklou  $\text{HNO}_3$  a z této hodnoty byla vypočítaná výhřevnost. Výsledek se zaokrouhlil na desetiny  $\text{MJ.kg}^{-1}$ . [7]

## VÝSLEDKY A DISKUZE

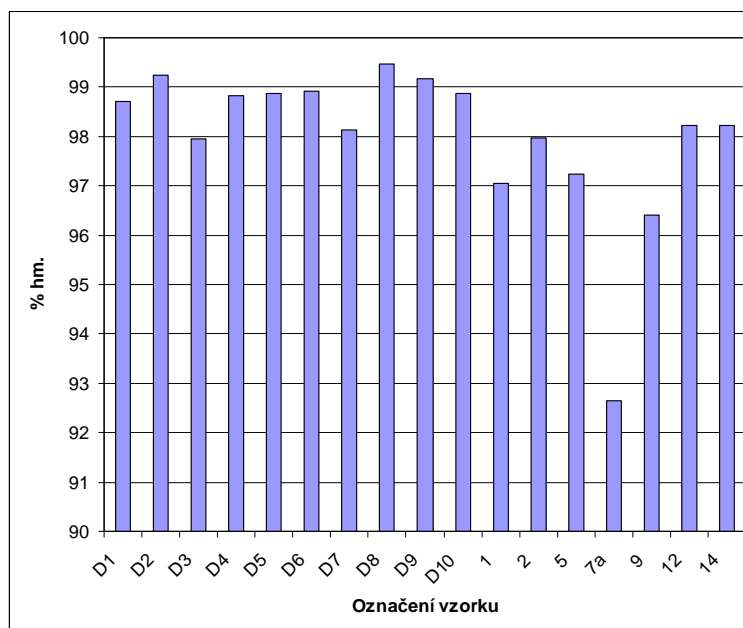
Obsah jemného podílu dřevěných pelet byl velmi nízký. Všechny hodnoty byly nižší než 1 % hm. a proto splňují limit CEN/TS 14961 pro dřevěné pelety vhodné k použití v domácnostech. Tuto hodnotu také uvádí většina výrobců ve stavu nakládání. Obsah jemného podílu pelet z bylin byl ve čtyřech případech vyšší než průměrná hodnota jemného podílu dřevěných pelet a v jednom případě překonal i hranici 1 % hm. Srovnání obsahu jemného podílu mezi peletami ze dřeva a bylin je uvedeno na Obr. 1. K nejméně pevným peletám patří pelety z žitné (7a) a pšeničné slámy (1, 2, 5). Je vidět, že také větší průměr pelet (2) se podepisuje na jejich horší pevnosti (v důsledku nižších lokálních lisovacích tlaků). Pelety (9 a 14) obsahující jíl mají velmi nízký jemný podíl ve srovnání s peletami z čistých obilnin (7a a 12). U pšeničných pelet je vliv přísadky jílu opačný. (1, 2 a 5). [3]



Obr. 1 Jemný podíl vzorků

Mechanická pevnost vzorků dřevěných pelet je velmi vysoká, pohybuje se v rozmezí 98 - 99,5 % hm. CEN/TS 14961 stanovuje minimální mechanickou pevnost dřevěných pelet vhodných do domácností na 97,5 % hm., tuto hodnotu překročily všechny vzorky dřevěných pelet. Mechanická pevnost vzorků pelet z bylin je nižší, většina naměřených hodnot je mezi 96,4 a 98,2 % hm. Výjimku představuje vzorek pelet z žitné slámy s mechanickou pevností 92,6 % hm. Srovnání výsledků mezi peletami ze dřeva a bylin je uvedeno na Obr. 2. Přítomnost jílu zvyšuje výrazně mechanickou pevnost pelet z žitné slámy (7a, 9), u pelet z Triticale nebyl pozorován žádný rozdíl (12, 14) a u pelet z pšeničné slámy přísadka jílu zvýšil mechanickou pevnost pouze nepatrně v jednom případě (1, 5), v porovnání se vzorkem 2 je ale mechanická pevnost nižší. [3]

Hodnoty obsahu vody všech dřevěných pelet jsou nižší než 10 % hm., to je limit obsahu vody pelet pro domácnosti, pohybují se v rozmezí 7,0 – 8,7 % hm. v původním vzorku. Obsah vody v dřevní štěpce je nižší než u dřevěných pelet. Obsah vody v peletách z bylin je vyšší než u dřevěných pelet, obsah vody leží mezi 9,4 a 12,4 % hm., jak je uvedeno v Tab. 2. Přísadka jílu má na obsah vody pelet zanedbatelný vliv. [3]



Obr. 2 Srovnání mechanické pevnosti vzorků pelet

| Vzorek | Obsah vody<br>V původním vzorku (% hm.) | Obsah vody<br>vztážený na bezvodý vzorek (% hm.) |
|--------|---|--|
| P1     | 6,7                                     | 7,2  |
| P2     | 7,0                                     | 7,5  |
| D1     | 7,8                                     | 8,4  |
| D2     | 8,7                                     | 9,5  |
| D3     | 8,4                                     | 9,1  |
| D4     | 7,7                                     | 8,4  |
| D5     | 8,1                                     | 8,8  |
| D6     | 7,9                                     | 8,5  |
| D7     | 8,0                                     | 8,7  |
| D8     | 8,4                                     | 9,2  |
| D9     | 8,6                                     | 9,4  |
| D10    | 7,7                                     | 8,3  |
| 1      | 10,3                                    | 11,4   |
| 2      | 10,8                                    | 12,1   |
| 5      | 10,7                                    | 12,0   |
| 7a     | 9,6                                     | 10,7   |
| 9      | 9,4                                     | 10,3   |
| 12     | 12,4                                    | 14,1   |
| 14     | 12,0                                    | 13,7   |

Tab. 2 Obsah vody celých pelet a dřevní štěpky

Stanovení obsahu popela podle CEN/TS 14775 se liší od stanovení podle DIN 51719 teplotou (550°C a 815°C) a obsahem vody použitým při výpočtu ( CEN/TS – obsah vody vztážený na vlhkou hmotu, DIN – vlhkost). Výsledky stanovení podle obou metod jsou uvedeny v Tab. 3. V porovnání se dřevní štěpkou mají dřevěné pelety nižší obsah popela. Vzorky dřevěných pelet vykazují nižší hodnoty obsahu popela v rozmezí 0,1 - 0,4 % hm. (podle DIN 51719) s výjimkou vzorku P2. Při stanovování obsahu popela podle CEN/TS 14775 ležel obsah popela dřevěných pelet většinou v rozmezí 0,2 a 0,5 % hm., pouze obsah popela ve vzorcích D2 a P2 byl zřetelně vyšší. Tyto vzorky nesplnily limit obsahu popela podle CEN/TS 14961, který je 0,7 % hm. Obsah popela pelet z bylin je kvůli jejich složení mnohem vyšší. Výsledky vzorků pelet z bylin leží v rozmezí 5,9 - 10,3 % hm. (podle DIN 51719) a 7,2 – 10,8 % (podle CEN/TS 14775). Příklad jílů způsobuje zvýšení obsahu popela. Nejméně popela obsahují

pelety z žitné slámy (7a), nejvíce pelety z pšeničné slámy s jilem (5). Nižší teplota při stanovení obsahu popela je vhodnější pro pelety z bylin, které mají nízký bod tání popela. Při elementární analýze popela bylo potvrzeno, že vzorky pelet byly i při 550 °C úplně zpopelněny. [3]

| Vzorek | Obsah popela podle CEN/TS 14775 (% hm.) | Obsah popela podle DIN 51719 vztažený na bezvodý vzorek (% hm.) |
|--------|---|---|
| P1     | 1,3                                     | 1,1   |
| P2     | 1,1                                     | 0,9   |
| D1     | 0,4                                     | 0,4   |
| D2     | 0,8                                     | 0,2   |
| D3     | 0,3                                     | 0,1   |
| D4     | 0,4                                     | 0,1   |
| D5     | 0,2                                     | 0,2   |
| D6     | 0,3                                     | 0,3   |
| D7     | 0,5                                     | 0,3   |
| D8     | 0,5                                     | 0,2   |
| D9     | 0,3                                     | 0,3   |
| D10    | 0,4                                     | 0,3   |
| 1      | 9,0                                     | 7,5   |
| 2      | 8,9                                     | 8,2   |
| 5      | 10,8                                    | 10,2  |
| 7a     | 7,2                                     | 5,9   |
| 9      | 8,9                                     | 7,7   |
| 12     | 7,8                                     | 7,2   |
| 14     | 10,7                                    | 10,2  |

Tab. 3 Obsah popela vzorků

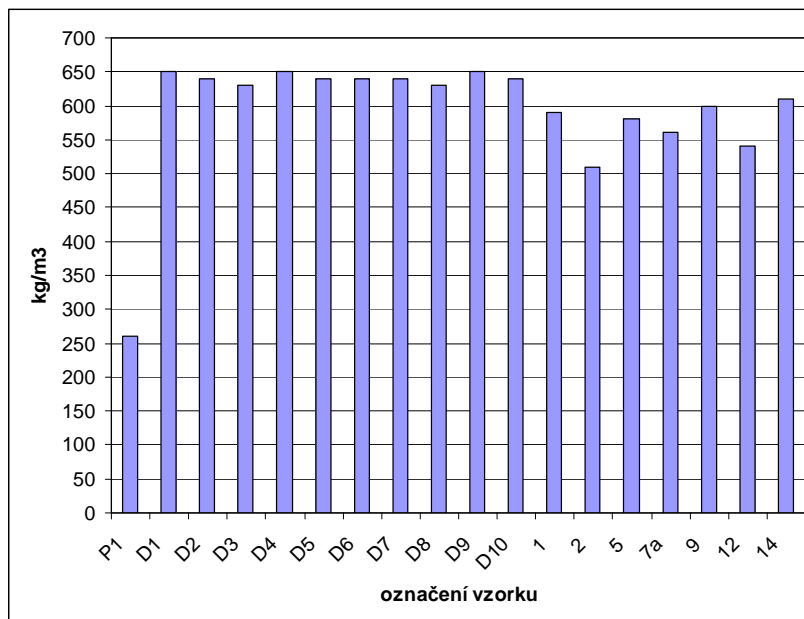
Spalná tepla a výhřevnosti vybraných vzorků pelet jsou uvedeny v Tab. 4. Výhřevnost vzorků P1 (štěpka) a P2 (pelety) se liší pouze nepatrně. Klasifikační systém CEN/TS 14961 požaduje pro pelety používané ve spalovacích zařízeních malých výkonů výhřevnost minimálně 16,9 MJ.kg<sup>-1</sup>, tento požadavek vzorek P2 splnil. Výhřevnost pelet z bylin dosahuje nižších hodnot. Rozmezí výsledků výhřevnosti vzorků pelet z bylin činí 14,0 – 15,4 MJ.kg<sup>-1</sup>. Příklad přidavku jílů se projevil poklesem výhřevnosti o 0,4 MJ.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší výhřevnost mají pelety z pšeničné slámy (1), nejnižší pelety z Triticale s jilem (14). [3]

| Vzorek | Spalné teplo po korekci na HNO <sub>3</sub> (MJ.kg <sup>-1</sup> ) | Výhřevnost (MJ.kg <sup>-1</sup> ) |
|--------|--|-----------------------------------|
| P1     | 19,2   | 17,7                              |
| P2     | 18,9   | 17,3                              |
| 1      | 16,4   | 14,8                              |
| 5      | 15,9   | 14,4                              |
| 7a     | 16,9   | 15,4                              |
| 9      | 16,5   | 15,0                              |
| 12     | 16,0   | 14,4                              |
| 14     | 15,6   | 14,0                              |

Tab. 4 Spalné teplo a výhřevnost vybraných vzorků

Sypná hmotnost dřevěných pelet ve stavu dodání se pohybovala mezi 630 a 650 kg.m<sup>-3</sup>. V porovnání se dřevní štěpkou mají dřevěné pelety 2,5krát vyšší sypnou hmotnost. Sypná hmotnost pelet z bylin je nižší. Hodnoty sypné hmotnosti dřevěných pelet a pelet z bylin jsou uvedeny v Tab. 4. Ve většině případů leží sypná hmotnost pelet z bylin pod hranicí 600 kg.m<sup>-3</sup>. Sypná hmotnost závisí na rozměrech pelet, pelety o průměru 8 mm mají nižší sypnou hmotnost (2, 7a, 12). Nejvyšší sypnou hmotnost mezi peletami z bylin měl vzorek 14

( $610 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Nejnižší sypnou hmotnost měl vzorek 2 ( $510 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). I přestože sypná hmotnost pelet z bylin je nižší než dřevěných pelet, lze konstatovat, že proti původnímu palivu to představuje mnohonásobné snížení objemu dopravovaných biopaliv a zvýšení jejich energetické hustoty.



Obr. 3 Srovnání sypné hmotnosti vzorků všech biopaliv

## ZÁVĚR

Vlastnosti dřevěných pelet jsou velice podobné. Devět vzorků splňuje parametry pro pelety vhodné k použití v domácnostech podle CEN/TS 14961. Vzorky D2 a P2 nesplňují limit obsahu popela podle CEN/TS 14961. V porovnání se dřevní štěpkou mají dřevěné pelety výrazně vyšší sypnou hmotnost a nižší obsah popela. Naproti tomu jsou vlastnosti pelet z bylin velmi rozdílné, a to v závislosti na druhu použitých rostlin. Velký vliv na jejich vlastnosti má i použití aditiv, v tomto případě jílu. Proto je srovnání vlastností pelet z různých bylin velmi obtížné. Technické standardy CEN jsou vhodné pro stanovení vlastností pelet z bylin. Především se jedná o stanovení obsahu popela, protože teplota stanovení uvedená v normách pro dřevěné pelety je vyšší než teplota tání popela některých bylin.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] CEN/TS 14774-2: Methoden der Bestimmung des Wassergehaltes, Gehalt an Gesamtwasser – Teil 2: Vereinfachtes Verfahren
- [2] CEN/TS 14775: Methoden der Bestimmung des Aschegehaltes
- [3] CEN/TS 14961: Solid biofuels – Fuels specifications and classes
- [4] CEN/TS 15103: Bestimmung der Schüttdichte
- [5] CEN/TS 15199-2: Bestimmung der Teilchengrößenverteilung – Teil 2: Rüttelsiebverfahren mit Sieb-Lochgrößen von 3,15 mm und darunter
- [6] CEN/TS 15210-1: Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Pellets und Briketts - Teil 1: Pellets
- [7] ČSN P CEN/TS 15400: Metody pro stanovení spalného tepla a výhřevnosti
- [8] DIN 51719: Bestimmung des Aschegehaltes
- [9] <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/pellets/pellets.html>, staženo 14.3.2007

[10] [http://www.rhoen-hessen-forstconsulting.de/normen\\_essen.htm](http://www.rhoen-hessen-forstconsulting.de/normen_essen.htm), staženo 12.3.2007

## VYUŽITÍ BIOPLYNU Z ANAEROBNÍ DIGESCE V DOPRAVĚ

Pavel Šumpela, Jaroslav Pavlů

*V současné době se bioplyn získaný anaerobní digestí využívá především k vytápění či pro pohon kogeneračních jednotek. Ovšem najdou se i projekty kde se bioplyn využívá pro pohon spalovacích zážehových motorů v dopravních prostředcích. Spalovací motory pro tento typ paliva jsou speciálně koncipované, u nichž se klade veliký důraz zejména na účinnost a emise těchto agregátů.*

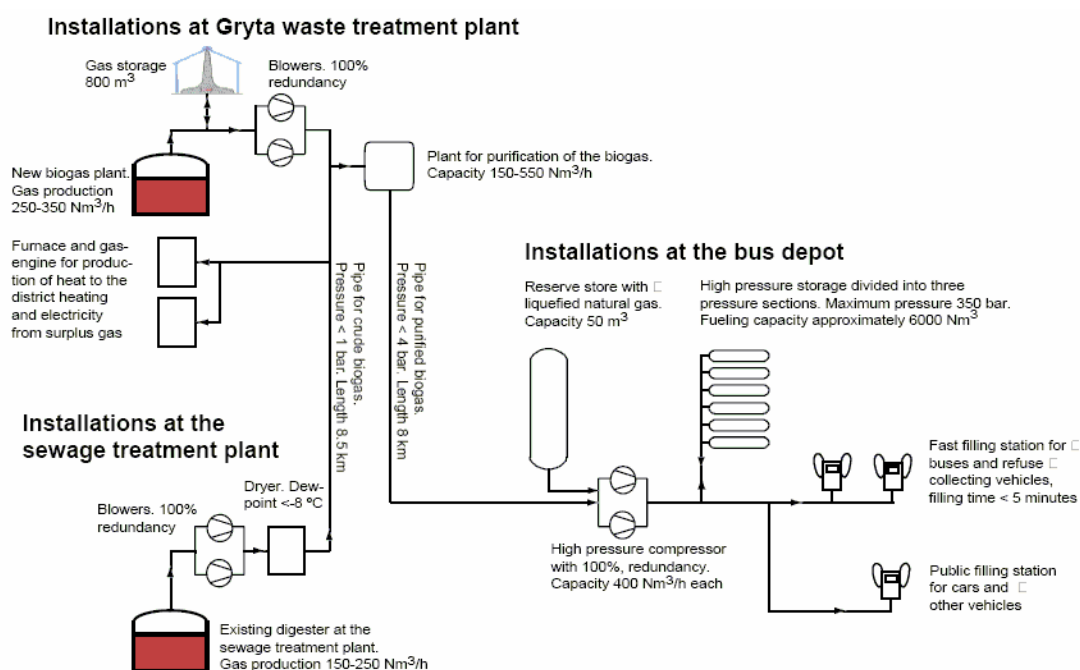
**Klíčová slova:** Anaerobní digesce, bioplynová stanice, úprava bioplynu, Växkraft

### PROJEKT VÄXKRAFT

Jedním z projektů využití bioplynu jako paliva pro pohon speciálně upravených spalovacích motorů osobních aut, autobusů a sběracích vozů je např. projekt Växkraft. Tento projekt běží ve Švédském městě Västerås (asi 100km severozápadně od Stockholmu) které čítá okolo 40 000 obyvatel.

První myšlenka postavit bioplynovou stanici využívající bioodpad společně se senáží přišla v roce 1990. Bioplynová stanice, společně s úpravnou bioplynu pro pohon zážehových motorů byla uvedena do provozu v červnu roku 2005.

V tomto projektu je bioplyn produkován z organického bioodpadu produkovaného městem a okolí města společně s biomasou kterou převážně tvoří různé druhy stébelnin (senáž). Produkci biomasy zajišťuje místní spolek farmářů, kteří jsou spoluvlastníky bioplynové stanice.



Obrázek 1. Schéma plynovodu v městě Västerås

Základem projektu je bioplynová stanice Gryta (situována v severní části města), která zpracovává bioodpad produkovaný městem společně se senází. Tato bioplynová stanice produkuje 250-350 Nm<sup>3</sup>/h bioplynu za hodinu a je stěžejním zdrojem produkce plynu. Druhým producentem bioplynu je čistička odpadních vod, která je situována na jižní straně města. Její nominální produkce bioplynu je 150-250Nm<sup>3</sup>/h. Bioplyn z obou producentů je následně čištěn v úpravně bioplynu která má kapacitu 150-550Nm<sup>3</sup>/h. Vyčištěný plyn je veden potrubím o tlaku menším než 4 bary do vozovny autobusů, kde je kompresorem stlačen. Zde je bioplyn uskladněn v tlakových nádobách o celkovém objemu 6000Nm<sup>3</sup>, které jsou rozděleny do tří tlakových sekcí, přičemž nejvyšší tlak v nádržích je 350 bar. Schéma celé bioplynové sítě je znázorněno v **obrázku 1**.

## BIOPLYNOVÁ STANICE GRYTA

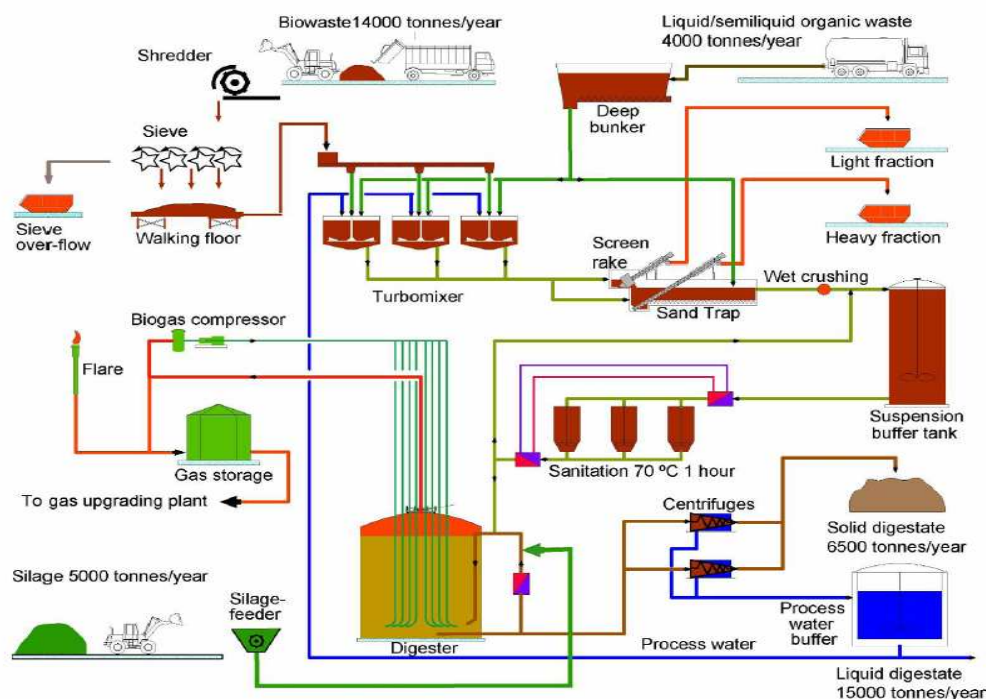
Na následujícím schématu (viz. **obrázek 2**.) je znázorněna funkce bioplynové stanice zpracovávající tříděný biologický odpad z komunální sféry společně se senází. Senáž je skladována v silážních plastických vacích, pro zajištění dodávek v období vegetačního klidu.

Bioodpad vstupuje do procesu přes kladívkový drtič, do síta, kde se zachytí a separují hrubé nečistoty. Ze síta bioodpad spadne na podavač, jehož hlavní funkcí je zajistit kontinuální dávkování materiálu. Ten je posléze veden šnekovým dopravníkem do desintegrátorů. Zásobník o objemu 100m<sup>3</sup>, pro tekutý a polotekutý odpad je umístěn pod podlahou. Z něho se odpad čerpá pomocí pístových čerpadel do desintegrátorů, nebo do separátoru nečistot. Tento zásobník může být eventuálně využit jako rezerva dodávek bioodpadu, například při poruše podavače bioodpadu.

Tuhý bioodpad je následně dopraven do tří desintegrátorů, které společně s procesní vodou (při každém oběhu se přidává pouze cca. 10% čisté vody) tvoří homogenní kal s obsahem sušiny 8-10%. Po dezintegraci, jsou z kalu separovány nečistoty které jsou rozděleny na lehké frakce a těžké frakce. Síťové hrábě oddělí nečistoty větší než 15mm, které plavou na hladině. Nejčastěji jsou to různé kusy plastu nebo delší kusy organického či neorganického materiálu. Těžké frakce jako např. kamení, sklo, kosti jsou usazeny na dně a jsou oddělit pomocí šnekového dopravníku.

Separování anorganického materiálu je důležité ze tří aspektů:

- Kvalita digestátu je přímo úměrná s kvalitou vstupního materiálu.
- Tvrdé částice způsobují velkou abrazi na zařízení
- Cizí materiál může způsobovat problémy ve fermentoru (ucpání potrubí, atd.)



Obrázek 2. Schéma bioplynové stanice Gryta

Pro zajištění kontinuálních dodávek materiálu do hygienizačních nádrží a následně do fermentoru, je kal nejdříve přečerpán do zásobníku o objemu 270m<sup>3</sup>. Tento zásobník zajistí nepřetržitý chod fermentoru po dobu 48. hodin.

Před samotným zavedením kalu do fermentoru musí materiál projít hygienizací. Je to hlavně z důvodu obsahu živočišných zbytků které mohou být zdrojem různých choroboplodných zárodků, jako např. bakterie salmonely atd. Hygienizace je zajištěna pomocí tří sanitačních nádrží, kde se materiál zahřeje po dobu delší jak jedna hodina na teplotu 70°C (EU vyhláška 1774/2002). Pro minimalizování energetické potřeby na ohřev materiálu je teplo z vystupujícího kalu přes výměník odebráno a pomocí teplonosného media a výměníku tepla předáno zpět vstupnímu materiálu do sanitačních nádrží. Tím je podstatně snížena energetická náročnost celé bioplynové stanice.

Produkce bioplynu probíhá ve venkovním fermentoru o objemu 4000m<sup>3</sup>. Fermentor pracuje nepřetržitě 24 hodin denně při době zadržení materiálu přibližně 20 dní. V digestoru je udržována stabilní teplota 37°C (mezofilní oblast). Dalším materiálem vstupujícím do fermentoru je sušená senáž. Sušená a upravená senáž crop se přidává přímo do fermentoru bez přeúpravy. Tvoří asi 1/3 celkového vstupního materiálu, čímž zvyšuje obsah sušiny v substrátu. Míchání kalu ve fermentoru je zajištěno pomocí stlačeného bioplynu. Část bioplynu vystupujícího z fermentoru je stlačena pomocí čerpadla a vedena 12 trubkami zpět na dno nádrže, kde je plyn uvolněn. Proti nadměrnému tlaku je fermentor navrchu vybaven pojistným přetlakovým ventilem.

Z fermentoru jde následně syrový bioplyn jímán do plynojemu. Ten je vyroben z gumového vaku, který je opláštěn ocelovou konstrukcí. Bioplyn zde není pod velkým tlakem max. (1.5 bar), a je konstruován tak, aby byl schopný pokrýt přibližně dvou hodinovou produkci bioplynu.

V případě, že dojde k výpadku úpravy plynu, při odstávce nebo v případě že je plynojem plný, je v systému umístěn bezpečnostní hořák, který je navržen na 150% produkci bioplynu.

Odpadní materiál, digestát se odděluje na tekutou a tuhou frakci pomocí dvou odstředivek. Tuhý digestát má obsah 25-30% sušiny. Po separaci je naložen na kontejner a transportován místním farmářům, kde je použit jako fosforečné hnojivo. Většina tekutého digestátu se vrací zpátky do procesu. Zbytek je jímán do betonových jímek o objemu 2500m<sup>3</sup> s dobou zdržení 2 měsíce. Je to z důvodu vysokého obsahu těkavých látek, hlavně čpavku. Po této době je tekutý digestát, který obsahuje 2-3% sušiny, následně využit jako dusíkaté hnojivo.

## ÚPRAVA BIOPLYNU

Požadavky na bioplyn, jako palivo pro motorová vozidla, jsou specifikovány ve švédské normě SS 155438 [4]. Tato norma byla přijata s cílem zajistit, aby plnicí zařízení a vybavení vozidel vyvinutá pro provoz na zemní plyn, bylo možno také využívat pro bioplyn. Norma je rozdělena na dvě části (viz. **tabulka 1**), první je určena pro vozidla bez regulace lambda (bioplyn typu A), zatímco druhá je pro motory s regulací lambda (typ B). Aby bylo možno aplikovat bioplyn pro pohon vozidel, musí být zvýšen jeho obsah metanu na alespoň 96 %. Motory bez regulace lambda pracují na principu „chudého spalování“ s vysokým přebytkem vzduchu. Tyto motory mají vyšší výkon než stechiometrické motory (s lambda regulací), ale obtížněji se přizpůsobují změnám wobbeho indexu nebo obsahu metanu. Jak motory s chudým spalováním, které jsou hlavně v těžkých vozidlech, tak stechiometrické motory, které používají lehčí vozidla, mají nižší výkon než normální dieselový motor. Studie vypracovaná v Trollhättanu, která porovnávala plynové a dieselové autobusy ukázala, že plynové autobusy vyžadují cca o 20 % více energie na km než v případě jejich dieselových protějšků.

U projektu Vaxkraft je bioplyn čištěn a sušen v úpravně plynu (viz **obrázek 3.**), která je situována v těsné blízkosti bioplynové stanice. Bioplyn z čističky odpadních vod je do úpravny plynu veden podzemním plynovodem. Zde je plyn čištěn na požadované hodnoty dle normy SS 155438.

| vlastnost   | jednotka           | typ A  | typ B  |
|---|--------------------|--------|--------|
| Wobbe index, min  | MJ/Nm <sup>3</sup> | 44.7   | 43.9   |
| Wobbe index, max  | MJ/Nm <sup>3</sup> | 46.8   | 47.3   |
| metan   | obj. %             | 97 ± 1 | 97 ± 2 |
| H <sub>2</sub> O, max                                   | mg/Nm <sup>3</sup> | 32     | 32     |
| O <sub>2</sub> , max                                    | obj. %             | 1.0    | 1.0    |
| CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> , max | obj. %             | 4.0    | 5.0    |
| H <sub>2</sub> S, max                                   | mg/Nm <sup>3</sup> | 23     | 23     |
| metanol   | obj. %             | 0      | 0      |
| částice nebo pevné polutanty                            | µm                 | 5      | 5      |

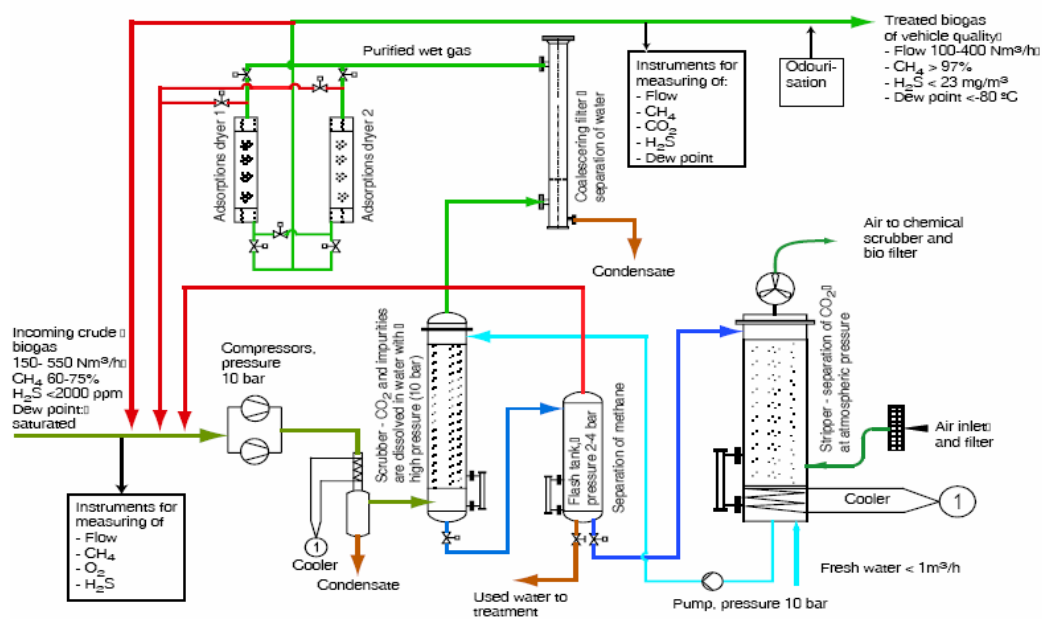
Tabulka 1. Výtah ze švédské normy SS 155438 pro bioplyn k pohonu vozidel

Prvním stupněm čištění bioplynu je zvýšení koncentrace CH<sub>4</sub> snížením obsahu CO<sub>2</sub> (v syrovém bioplynu 30-40% CO<sub>2</sub>), a též odstranit ostatní nečistoty (nejvíce H<sub>2</sub>S). Po vyčištění je bioplyn sušen tak, aby jeho teplota rosného byla menší než -80°C.

Kapacita úpravny bioplynu je 150-550Nm<sup>3</sup>/h syrového bioplynu. První stupeň čištění je prováděno ve vodní prače plynu. Princip čištění spočívá v tom, že CO<sub>2</sub> a ostatní nečistoty se při tlaku 10-12bar vážou na molekuly vody, methan však nikoliv. Po vyprání je voda vedena do tlakové nádoby kde je tlak zredukován na 2-4 bary za účelem opětovného získání methanu, který je unášen vodou, a tím snížit ztráty methanu z bioplynové stanice.

Shromážděný plyn z tlakové nádoby je přiveden zpátky do vstupu kompresoru syrového bioplynu. Použitá voda je opětovně regenerována v odplyňováku. Odplynění probíhá za

atmosférického tlaku za přítomnosti vzduchu proudícího skrz odplyňovák. Množství vody potřebné pro čištění je menší než  $1\text{ m}^3/\text{h}$ .



Obrázek 3. Schéma úpravy bioplynu

Vyčištěný bioplyn z pračky plynu je veden přes koalescentní filtr do absorpční sušičky. Zde je plyn sušen tak, aby teplota rosného bodu bioplynu byla nižší než  $-80^{\circ}\text{C}$ . Absorpční sušička je sestavena z dvou nádob obsahující sušící substanci. Obě nádoby pracují střídavě. Zatímco jedna je v procesu sušení, druhá je v procesu regenerace sušící látky, pomocí horkého plynu. Výsledné složení plynu je vyhodnoceno měřením a v případě, že nesplňuje požadavky kladené normou SS155438, je bioplyn zaveden zpět na vstup celého procesu čištění. Výsledný vyčištěný bioplyn má pak koncentraci methanu vyšší než 97% a obsahuje množství sulfanu nižší než  $23\text{ mg}/\text{m}^3$ . Celková produkce bioplynu čistící stanice je mezi  $100\text{--}400\text{ Nm}^3/\text{h}$ .

Následně je vyčištěný plyn z úpravy plynu veden plynovodem o tlaku 4 bary do vozovny městské hromadné dopravy, která je situována ve středu města. Zde je dvěma čerpadly stlačen a skladován v tlakových nádobách za tlaku až 350bar. V těchto podmínkách je již připraven na natankování do autobusu či osobních aut. Plné natankování autobusu netrvá déle jak 5 min.

## ZÁVĚR

Celková roční produkce bioplynu je 22,3 milionu  $\text{Nm}^3$  (*tabulka 2.*) odpovídající energii 23GWh. Vyprodukovaný bioplyn koresponduje s 4,4 miliony kilometru najetých ročně s autobusy jezdící na tento pohon. Nominální úspora nafty je pak tedy okolo  $1800\text{ Nm}^3$  ročně. Úspora emisí kyslíčnatého uhlíkatého po spálení  $1800\text{ Nm}^3$  nafty v dieselových motorech pak ročně činí  $4800\text{ tun CO}_2$ .

Celý projekt Vaxkraft byl vybudován za výrazné podpory EU a švédské vlády. Jeho provoz však počítá do budoucna se stoupající cenou ropy na světovém trhu. Zda-li bude tento projekt i ekonomicky úspěšný ukážou následující léta.

|  |                |
|--|----------------|
| Vstupující substráty do bioplynové stanice                         |                |
| • Separovaný organický materiál z domácností,<br>obsah sušiny 30 % | 14 000 tun     |
| • Tekutý bioodpad (tuky, kaly),<br>obsah sušiny 4 %                | 4 000 tun      |
| • biomasa-senaže sklizené z 300hektarů<br>obsah sušiny 35%         | 5 000 tun      |
| Roční produkce (energetická hodnota)                               |                |
| • Bioplyn z bioplynové stanice                                     | 15 000 MWh     |
| • Bioplyn z čističky odpadních vod                                 | 8 000 MWh      |
| • Upravený bioplyn z úpravny bioplynu                              | 23 000 MWh     |
| Ekvivalent pro benzín  | 2,3 mil. litrů |
| Digestát   |                |
| Tuhý digestát, obsah sušiny 25-30%                                 | 6 500 tun      |
| Tekutý digestát, obsah sušiny 2-3%                                 | 15 000 tun     |

Tabulka 2. Výstupní data projektu Vaxkraft

**LITERATURA:**

- [1] Växtkraft – Process description of the Biogas plant in Västerås; Agropti-gas; Sarah Nilsson, 2006 ([www.agroptigas.com](http://www.agroptigas.com))
- [2] THUNELL, J. Energigasernas miljöeffekter - fakthandbok [The environmental effects of gas - a handbook]. Report 075, Svensk Gasteknik Center, November 2000.
- [3] Socio-economic analysis of the AGROPTI-bas system, Final report WP5 Socio-economic; Andreas Baky; JTI –Institute för jordbruks-och miljöteknik ;2006
- [4] SS 155438 Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbglöende ottomotorer (Motor fuels - Biogas as fuel for high-speed otto engines). Swedish Standards Institute (SIS), 1999

# NOVÝ TYP ZAŘÍZENÍ PRO SPALOVÁNÍ BIOMASY A FYTOMASY I. TECHNOLOGIE A KONCEPCE EXPERIMENTÁLNÍ JEDNOTKY

Lukáš Urban, Vítězslav Máša

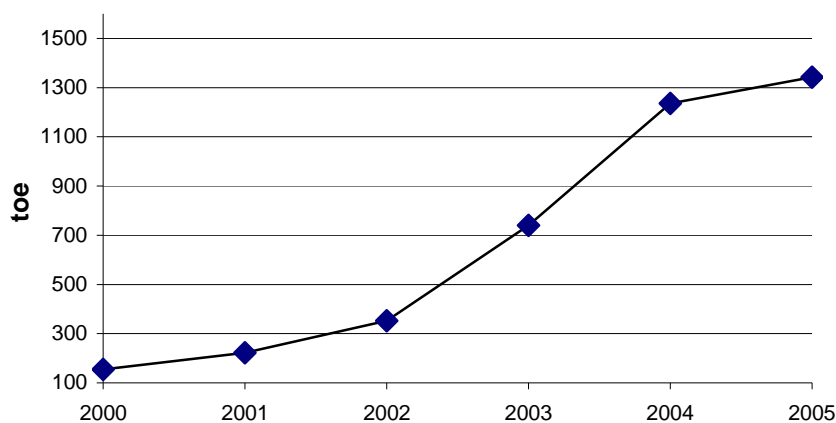
*Tento příspěvek se zabývá aktuální problematikou využití biomasy jako paliva v systémech dodávky tepla pokrývající požadavky spotřebitelů v jednotkách MW. V článku je představena nová moderní experimentální jednotka pro energetické využití různých druhů biomasy a fytomasy, umožňující testování v provozním měřítku. Prototyp se vyznačuje „netradičními“ prvky na straně spalínového hospodářství, které mají zvýšit účinnost kotle oproti současnému standardu. Tyto prvky umožňují spalování různých druhů biomasy a fytomasy při současném maximálním využití tepla. Výzkum, který v současné době probíhá, umožní získat zcela nové a původní zařízení s přínosem ekologickým, energetickým a ekonomickým.*

**Klíčová slova:** biomasa, recirkulace spalín, předehřev vzduchu, výhřevnost

## ÚVOD

Přestože se zlepšuje účinnost energetických transformací od primárních forem energie k jejich konečným formám, spotřeba energie velmi rychle roste a proto je využívání obnovitelných zdrojů energie, především biomasy, jednou z priorit energetické koncepce ČR. Biomasu lze považovat za lokální energetický zdroj, který má ekologické a regionální přínosy [1].

Spotřeba biomasy se v ČR neustále zvyšuje (obr. 1). Tento trend můžeme očekávat i v budoucnu.



toe – Tonne of oil equivalent

Obr. 1 Spotřeba biomasy v ČR [2]

## OPTIMÁLNÍ VOLBA VÝKONU BIOMASOVÉHO KOTLE

Kotle na biomasu se vyznačují odlišnou konstrukcí – oproti kotlům plynovým mají větší rozměry a zhoršenou dynamiku. Proto je doporučeno tyto kotle provozovat v rovnoměrném režimu bez rychlých výkyvů. V praxi je tuto problematiku možné řešit tak, že kotel na biomasu pokrývá pouze základní potřebu tepla. Je tedy provozován v dlouhodobém a stálém využití a vyrábí majoritní podíl veškerého tepla. Pro pokrytí energetických špiček je systém doplněn plynovým kotlem, který je uváděn do činnosti pouze v období zvýšené potřeby tepla (v zimních měsících, energetické špičky) a je v provozu pouze několik hodin denně. Takovýto zdroj pak nazýváme vícepalivový. Volba optimálního výkonu biomasového kotle je velmi důležitá a má přímý vliv na ekonomiku (nalezení optima mezi investičními a palivovými náklady), účinnost i emisní hodnoty. Při návrhu poměru výkonů plynové a biomasové části se vychází z roční křivky trvání spotřeby tepla a současných cen paliv a mnoha dalších faktorů. Metodika integrace biomasových kotlů do velkého energetického systému byla popsána v [3].

## FLEXIBILITA PROVOZU

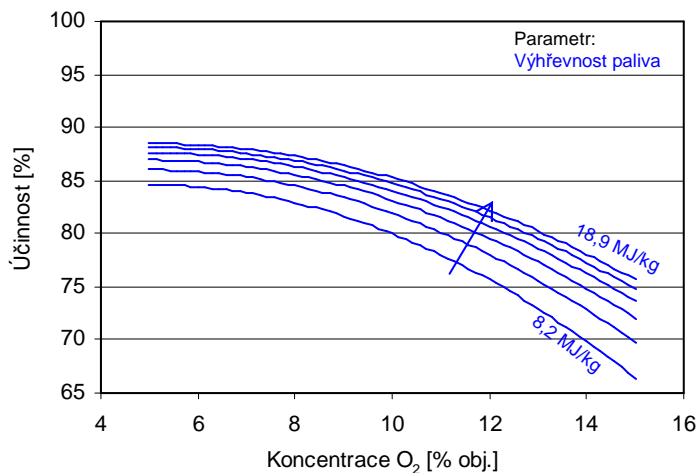
Základní podmínka pro efektivní využití biomasy, ať již ve formě odpadu ze zpracování dřeva či účelově pěstované pro energetické účely, je, že musí být zužitkována v místě jejího vzniku. Transport na dlouhé vzdálenosti výrazně zvyšuje její cenu a redukuje také environmentální přínosy. Z pohledu investorů lze přijatelnou návratnost investic dosáhnout pouze v případě dostupnosti cenově výhodné biomasy v nejbližším okolí. V současnosti je většina z nabízených kotlů z důvodů různých provozních problémů přednostně uzpůsobena pro jeden druh paliva [4]. Vzhledem k tomu, že se situace na lokálním trhu s biomasou může rychle měnit a také z důvodu, že biomasa se stává čím dál více obchodním zbožím, moderní jednotky respektující současné trendy včetně tras dávkování biomasy musí být schopné zvládnout různé typy paliv. Tím lze zajistit nezávislost zdroje pouze na jednom druhu paliva a do budoucna umožní optimalizovat provoz při nárůstu cen paliv.

## PRVKY ZARUČUJÍCÍ VYSOKOU ÚČINNOST

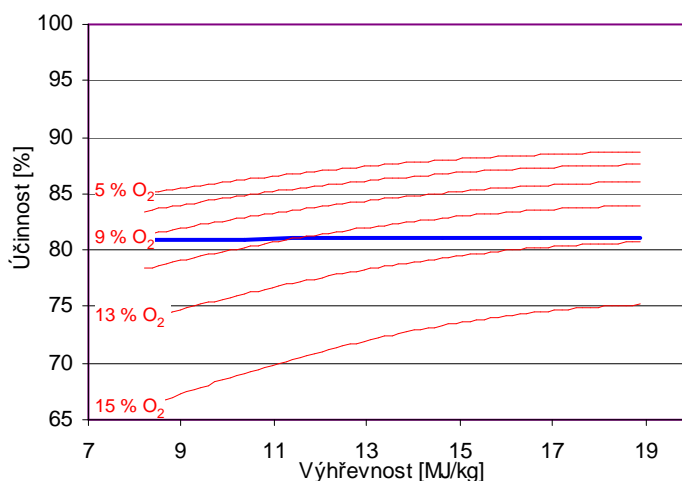
Obecně platí, že snižování koncentrace kyslíku ve spalínách vystupujících z kotle se příznivě projeví na zvyšování celkové účinnosti systému. Na obr. 2 jsou zobrazeny výsledky výpočtu závislosti termické účinnosti kotle na obsahu kyslíku ve spalínách pro různá paliva (s krajními hodnotami pro vlhkou dřevní štěpku o výhřevnosti 8.2 MJ/kg a suchou odpadní hmotu z dřevozpracujícího průmyslu s výhřevností 18.9 MJ/kg). Spalovací vzduch byl uvažován nepředehřátý a teplota spalín na výstupu z kotle byla 180 °C. Současně musí být zajištěny podmínky pro dokonalý spalovací proces s nízkými emisemi. Jedním z prvků, který umožní provozovat kotel středních výkonů s vysokou termickou účinností při spalování různých druhů biomasových a fytomasových paliv je výrazná recirkulace spalín zpět do prostoru spalovací komory. Snížení obsahu kyslíku tedy představuje způsob, jak zvýšit účinnost kotle, ale koncentraci O<sub>2</sub> nelze snižovat libovolně. Je nutné vyvarovat se nadměrným teplotám ve spalovací komoře, při kterých by mohlo docházet ke spékání popele na roštu a zvýšené tvorbě nálepu při spalování určitých typů fytomasy nebo nadměrnému tepelnému zatížení vyzdívkou kotle. Při spalování výhřevnějších paliv (s nízkým obsahem vlhkosti) musí být prostor spalovací komory více ochlazován zvýšeným přívodem spalovacího vzduchu. Očekávaný efekt nárůstu účinnosti v důsledku spalování výhřevnějšího paliva je pak negativně snižován nárůstem kyslíku ve spalínách a nelze dosáhnout podstatného zvýšení účinnosti kotle. Na základě výsledků celé řady bilančních výpočtů byly sestrojeny grafické závislosti uvedené na následujících obrázcích. Obr. 3 ukazuje výsledky výpočtu pro teplotu v sekundární komoře

900 °C, kdy je účinnost kotle v podstatě nezávislá na výhřevnosti spalovaného paliva. Přívod spalovacího vzduchu se snižuje, což příznivě působí na účinnost kotle (obr. 2).

O zvyšování termické účinnosti, metodách výpočtu účinnosti a řízení kotle je pojednáno v [5].



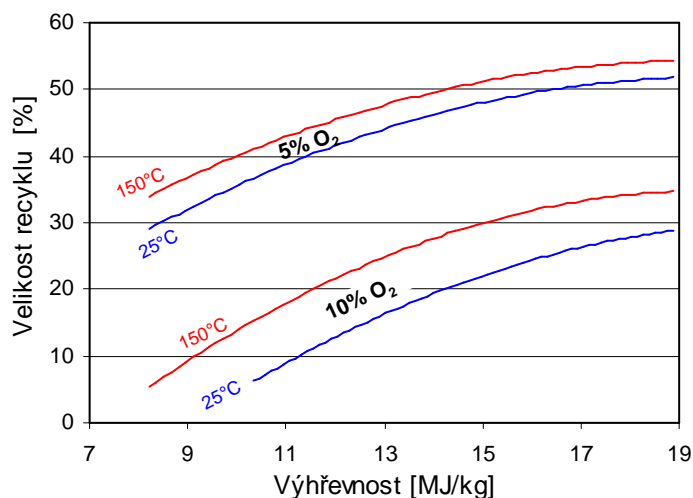
Obr. 2 Závislost termické účinnosti konvenčního kotle na množství  $O_2$  ve spalinách na výstupu z kotle



Obr. 3 Závislost termické účinnosti konvenčního kotle na výhřevnosti paliva pro teplotu ve spalovací komoře 900 °C (bez předehřevu vzduchu, teplota spalin za kotlem 180 °C)

Způsobem, jak snížit obsah kyslíku ve spalinách při spalování paliva s vyšší výhřevností při současném udržení přijatelné teploty v komoře, je použití částečné recirkulace spalin zpět do spalovací komory, kdy ve spalinách obsažený kyslík je zpětně využit. Prostor komory je současně recyklem ochlazován. Pro konkrétní teplotu ve spalovací komoře je optimální množství recyklu závislé zvláště na požadovaném obsahu kyslíku (viz obr. 4). Křivky v grafu na obr. 4 byly spočteny pro teplotu v sekundární komoře 900 °C a spalovací vzduch byl přiváděn o teplotě 25 °C, nebo předehříván na teplotu 150 °C. Čím nižší má být obsah kyslíku, tím více spalin je recirkulováno. Při požadavku vysokého přebytku vzduchu už nelze spaliny recirkulovat, protože by ve spalovací komoře nebyla dosažena požadovaná teplota. Velikost potřebného recyklu mírně vzrůstá také v důsledku předehřevu spalovacího vzduchu. Na

základě obdobných grafů vycházejících z bilančních výpočtů lze stanovit další závislosti a provozní doporučení.



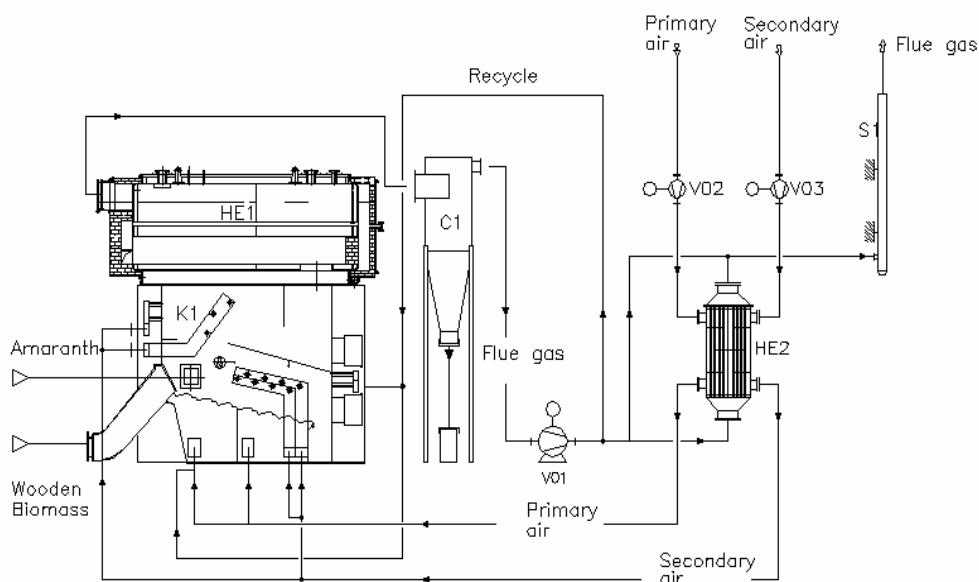
Obr. 4 Závislost velikosti recyklovaného množství spalin na výhřevnosti paliva pro teplotu 900 °C a požadovaný obsah kyslíku ve spalínách. Teplota spalovacího vzduchu 25 °C, nebo předehříván na teplotu 150 °C.

### EXPERIMENTÁLNÍ JEDNOTKA PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ RŮZNÝCH DRUHŮ BIOMASY A FYTOMASY

Na základě výše uvedených faktů lze konstatovat, že v budoucnu lze očekávat zvýšený zájem o moderní kotle na spalování biomasy středních výkonů (tj. jednotek s výkonem v rozmezí 1 až 3 MW). Charakteristickým rysem výzkumu a vývoje těchto jednotek je:

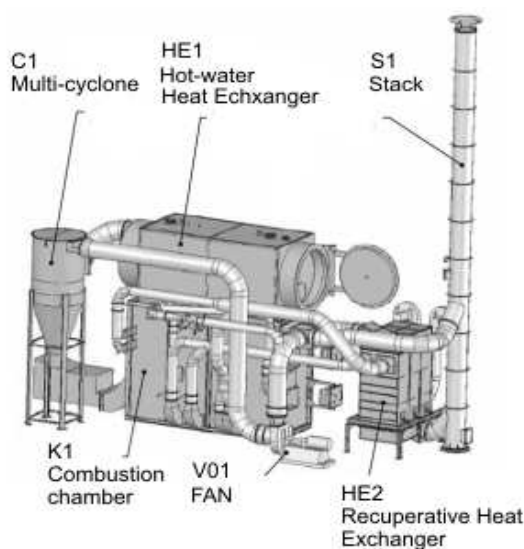
- snaha zabudovat osvědčené elementární prvky v současnosti používaných jednotek do celkově nové technologické jednotky. Ta bude obsahovat a maximálně využívat také prvky přispívající k vysoké účinnosti a provozní flexibilitě ( recirkulaci spalin a předehřev vzduchu).
- možnost spalování různých druhů biomasy od pilin a standardní dřevní štěpky až po cíleně pěstovanou energetickou fytomasu (např. amarant). Samozřejmě v jednom zařízení nelze zpracovat všechny typy paliv. Zejména paliva na bázi slámy vzhledem k odlišnému průběhu spalování vyžadují odlišnou konstrukci kotle.

Technologické schéma takové moderní jednotky a 3D model prototypu jsou zobrazeny na následujících obrázcích 5 a 6.



Obr. 5 Zjednodušené technologické schéma jednotky

System dopravy paliva do kotle se skládá ze dvou oddělených cest – pro dřevní biomasu a fytomasu. Vlastní spalování probíhá na šikmém hydraulickém roštu a v sekundární komoře uvnitř spalovací komory (K1). Vzniklé spaliny pak proudí teplosměnným svazkem trubek ve výměňkové části kotle (HE1), ochlazené spaliny jsou dočištěny od jemného popílku v multicyklonu (C1). Za multicyklonem je umístěn spalinový ventilátor (V01), který je jediným hnacím zařízením celé spalinové trasy od spalovací komory až po komín (S1). Za ventilátorem je provedena odbočka tzv. recyklu spalin. Pomocí tohoto recyklu je část spalin z výstupu z kotle přivedena zpět do spalovací komory kotle, čímž se zvyšuje pyrolýzní efekt, palivo se před zapálením rychleji vysuší a zvyšuje se tak celková účinnost kotle. Za odbočkou recyklu spalin následuje předehřev primárního a sekundárního spalovacího vzduchu ve speciálním rekuperačním výměňku (HE2). V tomto výměňku je využito tepla spalin do maximální možné míry, aby ještě nedocházelo k přílišnému zalepování spalinové strany výměňku. Snahou je ochladit spaliny na co možná nejnižší teplotu a tím eliminovat komínové ztráty. Spaliny ochlazené ve výměňku následně ústí do komína (S1).



Obr. 6 3D model prototypu jednotky pro energetické využití různých druhů biomasy a fytomasy

## ZÁVĚR

V této práci byly zhodnoceny hlavní trendy a problémy související s energetickým využitím biomasy v kotlích středních výkonů. Na příkladu moderní technologie byly popsány prvky, které umožňují maximálně efektivní a flexibilní provoz jednotky. Jako příklad byla zmíněna recirkulace spalin. Její význam byl vyhodnocen na základě celé řady bilančních výpočtů. Nejdůležitější výsledky výpočtu jsou demonstrovány a diskutovány. Výsledky bilancí (parametry hlavních procesních proudů) byly použity pro následný konstrukční návrh prototypu technologické jednotky. Platnost vytvořených a použitých bilančních modelů bude experimentálně ověřena při provozním měření na reálné jednotce.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Klass D. L., (1998): Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. San Diego: Academic Press
- [2] Supply, transformation, consumption – renewables and wastes, annual data, 2005, EEA-European Environmental Agency, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- [3] Pavlas, M., Stehlík, P., Oral J. and Šikula J., (2006): Integrating renewable sources of energy into an existing combined heat and power system, Energy, Volume 31, Issue 13, pp. 2499-2511
- [4] Sjaak v. L., J. Koppejan, (2002): Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing, Twente University Press, ISBN 9036517737
- [5] Máša, V., (2007): Nový typ zařízení pro spalování biomasy a fytomasy. II. - Zvyšování termické účinnosti a řízení

Používání dat a informací publikovaných t tomto sborníku v dalších pracích, člancích, přednáškách a prezentacích bez uvedení zdroje, resp. autora je nepřípustné.

Příklady způsobu citace článků uvedených ve sborníku:

[1] BRANC, M. (2007): Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy – 2. etapa projektu řešeného v rámci programu INTERREG IIIA. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy VI“. VŠB – TU Ostrava. ISBN 978-80-248-1535-0

[2] J. Najser: *Výroba elektřiny zplyňováním biomasy v ČR a v zahraničí*. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy VI“. VŠB – TU Ostrava. ISBN 978-80-248-1535-0

[3] Kyjovský, M.: Hodnocení vlivu různých forem paliva na kvalitu plynu ve zplyňovacím procesu. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy VI“. VŠB – TU Ostrava. ISBN 978-80-248-1535-0

editor:  
Ing. Miroslav Kyjovský

Autor: Kolektiv autorů

ENERGIE Z BIOMASY VI  
Sborník příspěvků ze semináře

Vydavatel: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Výzkumné energetické centrum (740)

Vydání: první

Rok vydání: 2007, Ostrava

Náklad: 20

Počet stran: 119

Tisk: Výzkumné energetické centrum (740), VŠB - TUO

Neprodejné

**ISBN 978-80-248-1535-0**