

## POROVNÁNÍ KVALITY PLYNŮ PRODUKOVANÝCH SOUPROUDÝMI GENERÁTORY V ČESKÉ REPUBLICE

Zdeněk Beňo, Siarhei Skoblia

*Energetické využití biomasy se vzhledem k růstu cen fosilních paliv dostalo opět do popředí zájmu. V příspěvku jsou prezentovány a komentovány výsledky z měření na dvou technicky relativně vyspělých kogeneračních jednotkách umístěných v ČR. Jednotky se vyznačují především vysokým stupněm automatizace a použitím sofistikovaného vysokoteplotního způsobu čištění výstupního plynu*

Klíčová slova: zplyňování, biomasa, čištění plynu, kogenerace, Imbert

### ÚVOD

V České republice, stejně jako v jiných zemích Evropy, je intenzivně podporována produkce energie z obnovitelných zdrojů. Z těchto zdrojů má v podmínkách České republiky největší potenciál biomasa. Vzhledem k důrazu na výrobu energie s co nejvyšší účinností se pozornost vývojářů zaměřuje na technologii zplynění biomasy s následnou produkcí elektrické energie, tepla, případně chladu. Nejčastěji se u jednotek s výkonem do stovek kW<sub>e</sub> používá souproudý zplyňovací generátor v kombinaci s plynovým motorem, a to hlavně díky velké toleranci spalovacího motoru k nízké kvalitě produkovaného plynu. U výkonu generátoru v řádu jednotek až desítek MW<sub>e</sub> je vhodnější zvolit generátory fluidní. Mají-li být vyvíjené jednotky v evropském měřítku komerčně úspěšné, je nutné dodržet splnění několika důležitých kritérií. Hlavním je dosažení přijatelné ekonomiky provozu. Tu lze ovlivnit především nízkou cenou vstupů a spolehlivostí provozované technologie. Z toho důvodu se jako zplyňovacího média převážně používá vzduch. Typickým palivem souproudých zplyňovacích generátorů je kvalitní kusové dřevo [1], nicméně jeho cena v současné době roste, a proto je pozornost upřena k méně kvalitním a méně nákladným palivům typu dřevěné štěpky a odpadů z dřevovýroby. Dalším významným faktorem ovlivňujícím provozní náklady kogenerační jednotky založené na technologii zplyňování biomasy je potřeba lidské obsluhy a servisních úkonů. Pro dosažení příznivé ekonomiky provozu je žádoucí minimalizovat potřebu lidské obsluhy díky komplexní automatizaci technologických procesů. S tímto je rovněž spojena náročnost jednotky na údržbu a servis. Jednou z nejhroznivějších částí zařízení je především samotný plynový motor. V případě nízké kvality plynu (vysoký obsah dehtu a prachových částic) vstupujícího do motoru mohou nastat, a také nastávají, poruchy spojené především se zrychleným opotřebením pístů a válců. Typickým příkladem je nedostatečně odprašovaný a oddehtovaný plyn obsahující velké množství pevných částic (TZL) a kondenzovaných aromatických uhlovodíků se dvěma a více benzenovými jádry. Po spálení v motoru se tvoří uhlíkaté úsady, jenž společně s pevnými anorganickými částicemi zvyšují opotřebením válců, snižují životnost motoru a s tímto je spojena potřeba častějších servisních úkonů a odstávek a dochází tím k významným ekonomickým ztrátám. Z tohoto příkladu jasně vyplývá, že čistota produkovaného plynu je stěžejní záležitostí pro bezproblémový chod celé jednotky. Vhodné kvality plynu, je možné docílit v zásadě dvěma způsoby, které se v praxi samozřejmě kombinují a doplňují. Prvním je volba vhodného typu generátoru pro danou aplikaci a optimalizace jeho provozních parametrů, aby koncentrace nežádoucích složek plynu na výstupu z generátoru, byla nejnížší možná. S tím je spojená volba paliva o přijatelných parametrech pro daný typ generátoru, eventuelně nutnost modifikací samotného generátoru, je-li použito palivo svými parametry nevhodné.

Tab. 1 Typy zplyňovacích generátorů a jejich parametry

Typ reaktoru	Výstupní teplota plynu °C	Obsah dehtu v plynu g.m <sup>-3</sup>	Obsah TZL v plynu g.m <sup>-3</sup>	Požadavky na kvalitu paliva	Výkony
Sesuvný souproudý	500-850	0,1-2	0,1-1	vysoké	nízké
Sesuvný protiproudý	70-300	10-100	0,1-0.5	střední	střední
Stacionární fluidní	750-950	2-5	20-100	nízké	vysoké
Cirkulační fluidní	750-950	1-20	5-50	nízké	vysoké
Práškový	1000-1300	-	-	vysoké	vysoké
Dvoustupňový	700-750	>0.005	0,1-100	nízké	nízké

Jak z **Tab. 1** vyplývá, je pro jednotky nízkých výkonů optimální volba souprůdého generátoru, jehož zásadními výhodami jsou prověřená konstrukce, relativně nízké investiční náklady a vhodná kvalita plynu, který obsahuje relativně nízkou koncentraci dehtu. Další variantou by bylo použití dvoustupňového generátoru, který se také vyznačuje vysokou kvalitou plynu [2], nicméně ten je stále ve vývoji a podle dostupných zdrojů tento typ dosud nebyl komerčně aplikován. Druhou možností ovlivnění kvality plynu je vyčištění plynu od přítomných nežádoucích složek v čistícím zařízení umístěném za generátorem. V minulosti byla často volena kombinace multicyklonu pro odstraňování pevných částic a vodní vypírky pro odstraňování dehtů a anorganických látek ( $\text{NH}_3, \text{HCl}$ ). Zásadními problémy uvedené technologie je ovšem nedostatečná účinnost odstraňování pevných částic (TZL) a relativně nízká účinnost vodní vypírky při odstranění dehtovitých látek. Nezanedbatelným faktorem je také skutečnost, že dochází ke vzniku odpadní vody znečištěné polyaromatickými uhlovodíky, jejíž čištění je náročné a drahé, což má rovněž nepříznivý vliv na ekonomiku celého provozu. Proto se nyní pozornost zaměřuje na bezodpadové a vysokoteplotní technologie čištění plynu, které mají některé významné výhody. Filtrace pevných částic je nejčastěji realizována pomocí keramických, eventuelně tkaninových filtrů, které jsou při správném používání efektivní při odstraňování pevných částic všech rozměrů. K odstraňování dehtu se v poslední době využívá častěji vypírka organickou kapalinou, která je mnohem účinnější při odstraňování dehtových látek. Použitá organická kapalina se může buď regenerovat stripováním, kdy jsou vystripované dehty přiváděny opětovně do zplyňovacího generátoru a následně je kapalina znovu použita, nebo může být rovnou spálena v generátoru. Výhoda obou možností je, že se jedná o bezodpadovou technologii a vzhledem k tomu, že odstraněné uhlovodíky jsou zpět vráceny do procesu, kde jsou zplyněny a nedochází ke snížení energetického obsahu plynu.

V České republice je několik společností, nebo akademických institucí, které se s větším či menším úspěchem snaží o uvedení do provozu konkurenceschopné kogenerační jednotky založené na zplyňování biomasy. Některé technické a technologické prvky tyto jednotky mají společné, v některých se zase dosti výrazně liší. Zdrojem plynu v obou případech je souprůdý generátor typu Imbert, který byl podroben modifikacím, zaměřeným především na zlepšení a stabilizaci kvality plynu a také na zvýšení účinnosti celého procesu a již byly blíže popsány [2,4]. Některé instituce se pokoušejí i o vlastní konstrukce zplyňovacích generátorů [3]. Ve všech případech je zplyňovacím médiem vzduch a jako palivo je využíváno buď kusové dřevo, nebo dřevný odpad například ve formě štěrky, nicméně tento způsobuje v klasických generátorech typu Imbert provozní problémy. Ve většině případů je vidět snaha o maximální implementaci automatizace klíčových procesů a pokročilých systémů řízení provozu komplexních jednotek.



Obr. 1 Celkový pohled na generátor, detailní pohled na uzavírací klapku a mobilní palivový vozík

V tomto příspěvku jsou blíže popsány dvě jednotky, které mají relativně blízko ke stavu, kdy by mohly být komerčně aplikovatelné a konkurenceschopné. Jsou to instalace společností TARPO s.r.o. Kněžves u Rakovníka a společnosti BOSS Engineering Bučovice. Bližší údaje o typu a výkonu generátoru a v něm používaném palivu jsou uvedeny v **Tab. 2**.

Tab. 2 Parametry prezentovaných technologických celků

Technologické zařízení	Výkon [kW <sub>e</sub> ]	typ zplyňovacího generátoru	druh a vlhkost paliva
BOSS, Louka	100(200)	modifikovaný Imbert	dřevní štěpka, 5% hm.
TARPO, Rakovník	100(200)	modifikovaný Imbert	dřevní štěpka, 10% hm.

Zařízení společnosti BOSS Engineering (Obr. 1) umístěné v obci Louka bylo včetně provedených modifikací podrobně popsáno již v předchozích příspěvcích [2,4,5]. Zdrojem plynu v kogeneračním zařízení společnosti TARPO s.r.o. (Obr. 2) je upravený generátor typu Imbert, jehož hlavní modifikace jsou zaměřeny především na rekuperaci tepla a vyšší účinnost termochemické konverze biomasy na plynné palivo.



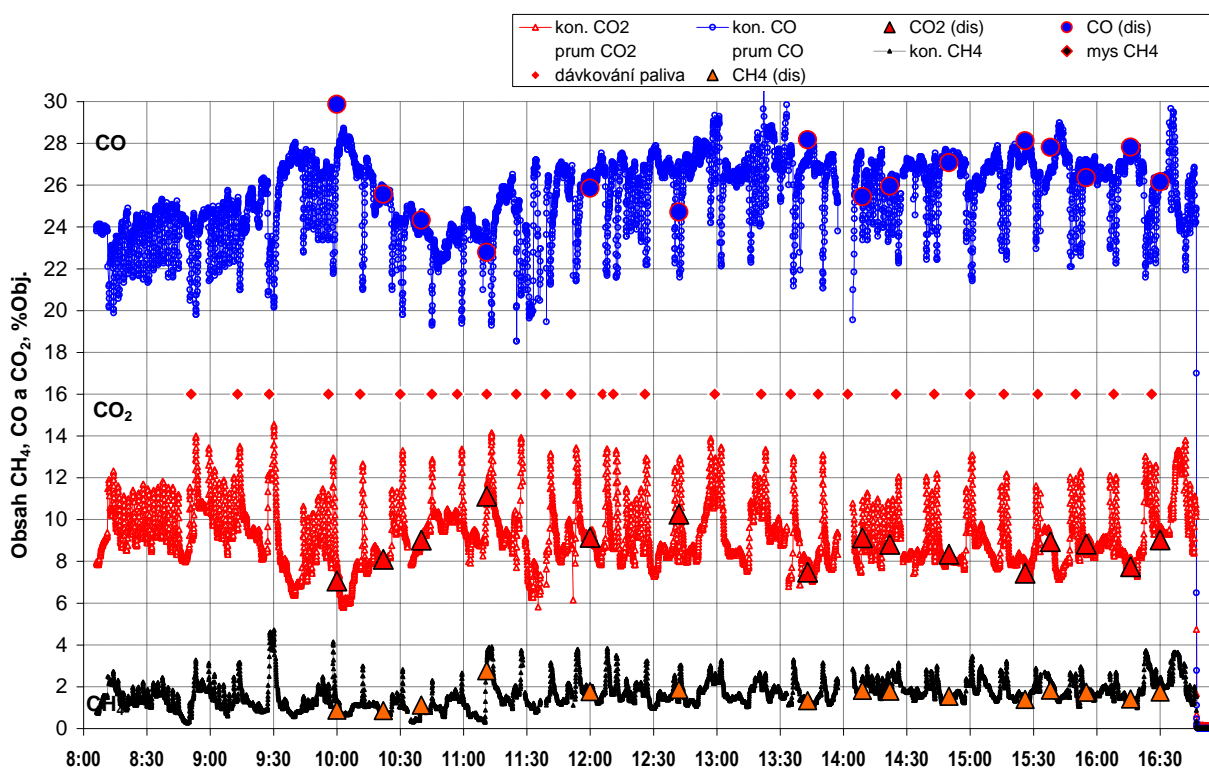
Obr. 2 Zplyňovací generátor a horký filtr společnosti TARPO s.r.o. umístěný v obci Kněžves u Rakovníka

Průměrné složení plynu produkovaného oběma generátory je uvedeno v Tab. 3. V obou případech se jedná o plyn vznikající zplyněním biomasy vzduchem. Jak je v Tab. 3 vidět, plyn produkovaný generátorem z Louky má poněkud vyšší obsah CO a nižší obsah CO<sub>2</sub>. Nižší obsah dusíku v plynu (<50%), poukazuje na to, že oba generátory pracují při nižším zplyňovacím poměru, t.z. vyšší účinnosti než podobná zařízení, což se také projevuje i na vyšší hodnotě spalného tepla.

Tab. 3 Průměrné složení plynu produkovaného souprůdými generátory

Technologické zařízení	Obsah v plynu [% obj.]					Q [MJ.m <sup>-3</sup> ]
	CO	CO	H	CH	N	
BOSS, Louka *	26,2-28,1	7,4-9,1	16,6-19,0	1,4-1,8	42-44	6,6-6,8
TARPO, Rakovník**	16,8-23,2	9,8-13,3	17,6-20,6	1,3-2,0	45-48	5,8-6,4

O chování generátoru mnohem více než průměrné složení plynu vypoví online záznam koncentrace některých majoritních složek. Příkladem může být online záznam koncentrace CO, CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> v plynu ze zařízení umístěného v obci Louka (Obr. 3). Na průběhu záznamu se zřetelně projevuje vliv způsobu přidávání paliva do generátoru. Jedná se o kontrolu hladiny paliva v generátoru a proces dávkování paliva (na záznamu označený červeným bodem). Během těchto úkonů dochází totiž k otevření horní klapky, což má za následek změnu proudění v generátoru, snížení poměru koncentrací CO/CO<sub>2</sub>. Rovněž dochází ke zvýšení koncentrace methanu, který indikuje také zvýšenou koncentraci dehtu v plynu.



Obr. 3 Online záznam koncentrace CO, CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> v plynu na výstupu z generátoru (Louka)

Jak vyplývá z Tab. 4, modifikace konstrukce generátorů obou jednotek měly pozitivní vliv na snížení koncentrace minoritních složek (dehtu) v plynu. Bližší údaje o odběru a analýze vzorků dehtu je možné najít v literatuře [6]. Hlavními složkami dehtu byly především toluen, xyleny a styren. Z polyaromatických uhlovodíků byly nejvíce zastoupeny naftalen, methylnaftaleny a acenaftylen. Koncentrace vyšších polyaromatických uhlovodíků nepřekročila jednotky miligramů na kubický metr. Koncentrace kyslíkatých složek, které jsou nejvíce obsaženy v dehtech z nízkoteplotních procesů, byly v plynech relativně nízké (18,5 mg/m<sup>3</sup> u zařízení v Louce, respektive 31,9 mg/m<sup>3</sup> u zařízení v Kněževsi), což indikovalo vysoké teploty v reakčních zónách reaktorů a také vysokou účinnost štěpení dehtů.

Tab. 4 Složení a obsah dehtu v plynech na výstupu z generátoru

generátor	BOSS	TARPO
sloučenina	obsah [mg/m <sup>3</sup> ]	
benzen	689,7	38,4
toluen	221,9	116,9
m+p+o-xylen+ethylbenzen	50,0	24,7
styren	43,7	36,4
BTX suma	1012,9	221,0
suma kyslíkatých látek	18,5	31,9
indene+indane	5,0	0,2
naftalen	68,2	41,8
methylnaftaleny	10,6	4,7
alkyl naftaleny (Alkyl ≥C2)	1,0	0,7
bifenyl	3,9	4,4
acenaftylen	16,6	6,4
acenaften	1,2	0,2
fluorene	1,5	0,0
PAH M/Z=165,166	0,5	0,0
fenantrene	5,1	7,1
antracene	3,1	0,9
fenylnaftaleny	0,1	0,5
fluoranthen	0,8	1,1
pyren	1,4	0,8
Ostatní složky dehtu (výševroucí PAHy)	1,5	4,7
suma dehet (kromě BTX)	139,3	105,6
dehet dle "Tar protocol"	462,4	288,2

Čistící tratě se u jednotlivých jednotek poněkud lišily (viz. Tab. 5). Zařízení v Louce bylo vybaveno multicyklonem v kombinaci s vodní pračkou, ale rovněž se provádělo testování tratě složené z multicyklonu a horkých rukávcových filtrů. Bylo prokázáno, že voda je účinná při odstraňování polárních složek dehtů a rozpustných anorganických látek. Účinnost odstraňování dehtu nebyla vysoká, i když byla použita konstrukčně sofistikovaná vodní pračka [4]. V případě použití horkého tkaninového filtru byly koncentrace dehtu za čistící tratí poněkud vyšší (viz. Tab. 5.), nicméně hlavní složkou byl toluen, který nemá negativní vliv na výkon motoru. Na pevných tuhých částicích (TZL) zachycených na rukávcových filtrech byly také zjištěny adsorbované vyšší polyaromatické uhlovodíky (fenantren a vyšší) a v plynu za nimi odpovídající snížení obsahu uvedených složek [4].

U zařízení společnosti TARPO s.r.o. je jako u jediného v ČR využita k čištění plynu technologie založená na vypírce organickou kapalinou. Plyn vystupující z generátoru je odprášen na keramických svíčkových filtrech při teplotě cca 400°C a poté je ochlazen a přiveden do olejové pračky. Odstraňování dehtu probíhá dvoustupňově a použitý olej se zachycenými složkami dehtu je regenerován stripováním horkým vzduchem. Vzduch nasycený dehtovitými látkami je následně zpětně veden do generátoru a použit jako zplyňovací medium. Výstupní koncentrace dehtu činila 170 mg/m<sup>3</sup>, nicméně opět byl hlavní složkou toluen. Během dlouhodobého provozu plynového motoru, který spaloval plyn s již uvedeným obsahem minoritních složek, nebyly pozorovány žádné technické problémy spojené s přítomností dehtu nebo TZL v plynu.

Tab. 5 Systém čištění a obsah dehtu před a za čisticí trati u představovaných jednotek.

Technologické zařízení	čisticí trať		obsah dehtu* [mg/m <sup>3</sup> ]	
	prach	dehet	surový plyn	vyčištěný
BOSS, Louka	cyklon	vodní pračka	320-480	220-250
	cyklon, tkaninový filtr (100-120°C)			275-320
TARPO, Rakovník	horký svíčkový filtr	olejová pračka	290	170

\* obsah dehtu dle Tar Protocolu

## ZÁVĚR

Prezentované údaje ukazují, že modifikované souprůdné generátory typu Imbert jsou za určitých podmínek schopny produkovat plyn s nízkým obsahem dehtu, který je po odstranění TZL a dehtu vhodný k využití ve spalovacím motoru. Stabilní a dlouhodobý provoz těchto jednotek je silně závislý na technické realizaci a vědeckém přístupu k procesu zplyňování a čištění plynu. Pro účinné čištění je nutné oddělit proces filtrace pevných částic od procesu odstraňování dehtu. Vhodné jsou vysokoteplotní procesy pro vyvarování se kondenzace dehtu a ucpání filtru. Vodní vypírka je nevhodná pro odstranění nízkých koncentrací dehtu z plynu produkovaného generátory typu Imbert díky její nízké a nedostačující účinnosti, a také díky produkci značného množství vody znečištěné organickými látkami.

## POUŽITÁ LITERATURA

[1] REED, Thomas B., DAS, Agua. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier System*. Golden, Colorado : Solar Energy Research Institute, 1988. 140 s. ISBN 1890607002.

[2] BEŇO, Zdeněk; SKOBLIA, Siarhei.: *Souprůdné zplyňovací generátory a jejich použití pro výrobu elektrické energie z biomasy*. In ENERGIE Z BIOMASY X. Brno, 2009. s. 15-20. ISBN 978-80-214-4027-2.

[3] Šulc J., Richter M., Svoboda K., Vacek J.: *Obnovitelný zdroj energie – zplyňování biomasy s kogenerací*. Sborník mezinárodního symposia Odpadové fórum, Kouty nad Desnou 21.4. - 24.4.2010

[4] BEŇO, Zdeněk, SKOBLIA, Siarhei.: *Renesance zplyňovacích generátorů typu Imbert v České republice*. In ENERGIE Z BIOMASY IX. Brno :2008. s. 28-35. ISBN 978 - 80 - 21..

[5] SKOBLIA, S. a kol: *Vlastnosti plynu produkovaného souprůdným generátorem*, zpráva MPO FT-TA3/112, VŠCHT Praha, říjen 2009.

[6] SKOBLIA, Siarhei.: *Úprava složení plynu ze zplyňování biomasy*. Praha, 2004. 154 s. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

Autoři děkují MŠMT ČR za finanční prostředky poskytnuté v rámci výzkumného záměru MŠMT ČR č. MSM6046137304. Část práce uvedená v dané publikaci byla provedena za podpory MPO, a to v rámci projektu FT-T11/219.