



národní
úložiště
šedé
literatury

Možnost aplikace primárních opatření u generátorů s pevným ložem.

Beňo, Z.
2016

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-263097>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 04.10.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .



Možnost aplikace primárních opatření u generátorů s pevným ložem

Zdeněk BEŇO^{1,*}, Sjarhei SKOBLIA¹, Michael POHOŘELÝ^{2,3}

¹ Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha, Technická 5, Praha 166 28 Praha 6

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

³ Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i., Rozvojová 1/135, 165 02 Praha 6–Suchbátka

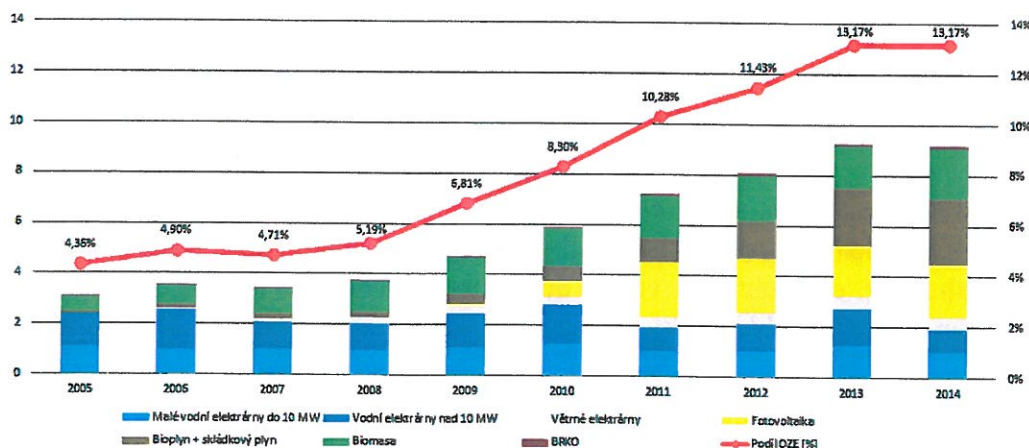
* Email: zdenek.beno@vscht.cz

Přítomnost dehtu v plynu je jedním z největších problémů v oblasti zplyňování biomasy. Příspěvek se zabývá možností aplikace primárních opatření u zplyňovacích generátorů s pevným ložem zaměřených především na minimalizaci obsahu dehtu v plynu. V příspěvku jsou diskutovány především možnosti konstrukčních úprav generátoru a jejich dopad na požadavky minimální kvality použitých paliv a vlastnosti produkovaného plynu.

Klíčová slova: klíčová slova k příspěvku, malými písmeny, oddělená čárkami

1 Úvod

Současná výroba elektrické energie z fosilních zdrojů v kombinaci s globálními změnami klimatu značně přispívá ke snahám o energetické využití biomasy, jednoho z obnovitelných zdrojů energie (OZE). Na **Obr. 1** je graficky zobrazen vývoj výroby elektrické energie z OZE v ČR od roku 2005 do roku 2014 [1]. Je zřejmé, že za poslední dekádu došlo v oblasti výroby energie z OZE k poměrně bouřlivému vývoji. Z grafu rovněž vyplývá, že výroba elektřiny z biomasy, eventuálně z produktů její konverze (bioplyn), zastupuje v daném mixu největší podíl.

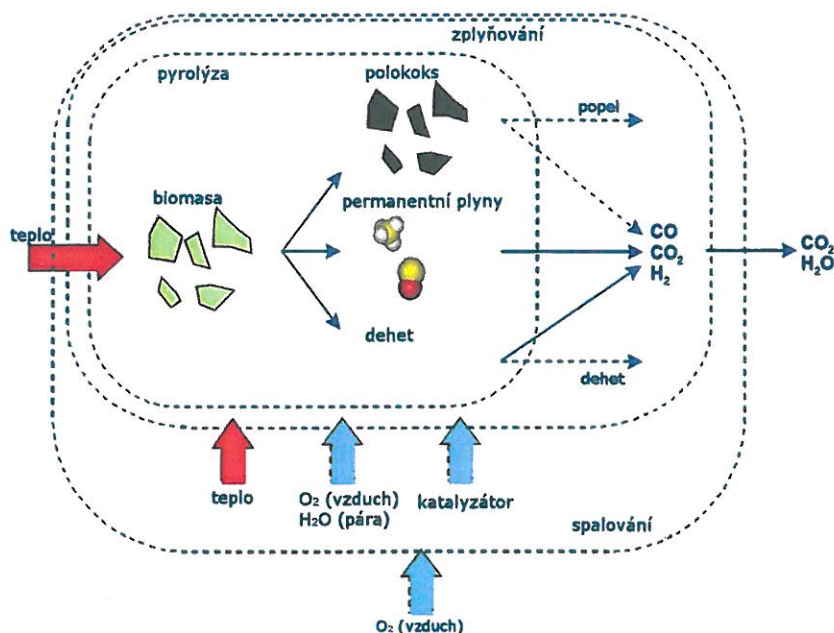
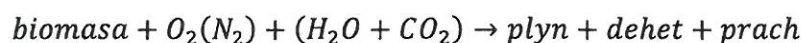


Obr. 1: Vývoj výroby elektřiny z OZE v České republice do roku 2014 [1]

Dosavadní vývoj a současné zkušenosti ukazují na to, že důležitost a využití obnovitelných zdrojů a obzvláště biomasy v budoucnosti i nadále poroste. Lze předpokládat také intenzivnější energetické využívání jak biomasy, tak i odpadních materiálů ze zemědělské výroby, a to s co největší účinností výroby elektrické energie a tepla. Dlouhodobé zkušenosti ukazují, že kogenerační elektrárny založené na kombinované produkci tepla a elektrické energie (KVET) zplyňováním biomasy a spalováním plynu v moderních kogeneračních jednotkách malého měřítká (do 700 kW_e), jsou schopny produkovat elektrickou energii a teplo s vysokou celkovou účinností srovnatelnou s účinností velkých energetických zdrojů [2].

2 Zplyňování

Zplyňování je termochemický proces, při kterém dochází k parciální oxidaci organického materiálu působením zplyňovacího média za vysokých teplot za vzniku plynného paliva a dalších doprovodných produktů. Proces je možné vyjádřit souhrnnou rovnicí:



Obr. 2: Schematické znázornění zplyňování (upraveno podle Stassen [4])

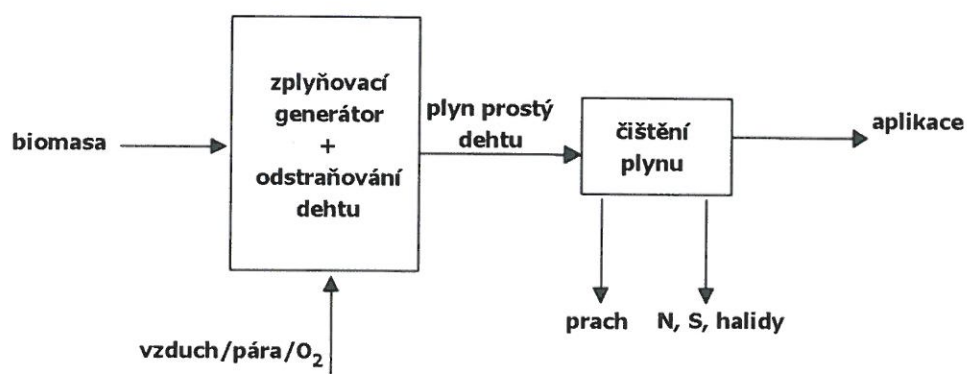
Jako zplyňovací medium se nejčastěji používá kyslík (ze vzduchu nebo čistý), vodní pára, či oxid uhličitý. Uvedený proces je schematicky znázorněn na **Obr. 2**. Hlavními složkami plynu jsou oxid uhelnatý, oxid uhličitý, vodík, dusík (je-li zplyňovacím médiem vzduch), vodní pára, methan a plynné uhlovodíky přítomné v nižších koncentracích. Dále jsou v plynu obsaženy nežádoucí složky, mezi které se řadí tuhé znečišťující látky, dehet, amoniak a sloučeniny síry a chloru.

Proces zplyňování je komplexním dějem složeným z několika vzájemně provázaných subprocesů, které probíhají buď prostorově odděleně, jak se tomu děje například u generátorů s pevným ložem, nebo probíhají na jednom místě s určitým časovým posunem, jako třeba

v případě generátorů fluidních, či hořákových. Pochopení průběhu a chemismu jednotlivých sub procesů a parametrů určujících stupeň jejich podílu na výsledném ději je důležitým faktorem potřebným pro zjištění vlivu jednotlivých sub procesů na finální složení produkovaného plynu. Tyto znalosti umožňují realizovat návrh vhodného uspořádání generátoru, a také umožňují optimalizaci klíčových provozních parametrů potřebných pro spolehlivý a efektivní provoz zplyňovacích generátorů. K uvedeným sub procesům patří:

- Sušení
- Následná termální dekompozice materiálu (pyrolýza)
- Parciální oxidace hořlavých složek plynu
- Redukční procesy zahrnující produkty oxidace a pyrolýzy

Z hlediska výsledného použití plynu je kritická čistota plynu a především obsah uhlovodíků s bodem varu vyšším než benzen, které souhrnně označujeme pojmem dehet. Odstraňování dehtu může být prováděno jak „primárními“, tak i „sekundárními“ metodami. Opatření pro minimalizaci tvorby dehtu, či jeho konverzi na plynné složky, která jsou realizována přímo v generátoru, jsou nazývána primárními metodami odstraňování dehtu. V ideálním případě vhodnou aplikací primárních metod snížíme či eliminujeme potřebu metod sekundárních, které spočívají v aplikaci dodatečných technologií čištění plynu za generátorem. Koncept primárních metod zaměřených na snížení obsahu dehtu ilustruje schéma na **Obr. 3**. Nejvíce a nejčastěji jsou primární opatření realizována u generátoru s fluidním ložem, kde to nevyžaduje úpravy konstrukce generátoru.



Obr. 3: Koncept redukce obsahu dehtu pomocí primárních metod

Přehled vhodných primárních metod je například uveden v příspěvku Devi a kol.[7]. Mezi hlavní metody patří:

- výběr vhodných operačních podmínek,
- použití vhodných aditiv k materiálu lože,
- vhodný design zplyňovacího generátoru.

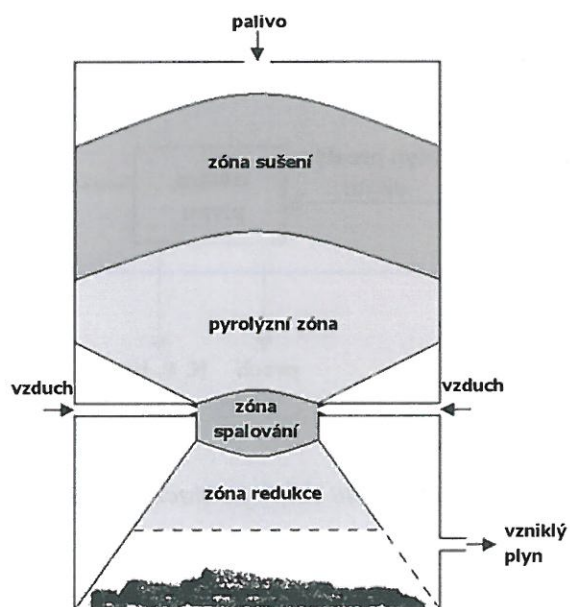
S určitou výhodou lze primární opatření realizovat i u generátoru s pevným ložem. Hlavními parametry ovlivňujícími děje probíhající u těchto generátorů jsou: teplota, tlak, druh zplyňovacího media a konstrukce generátoru. Volba vhodných operačních podmínek



významným způsobem ovlivňuje také i konverzi uhlíku, složení plynu a tvorbu a konverzi dehtu.

2.1 Generátory s pevným ložem

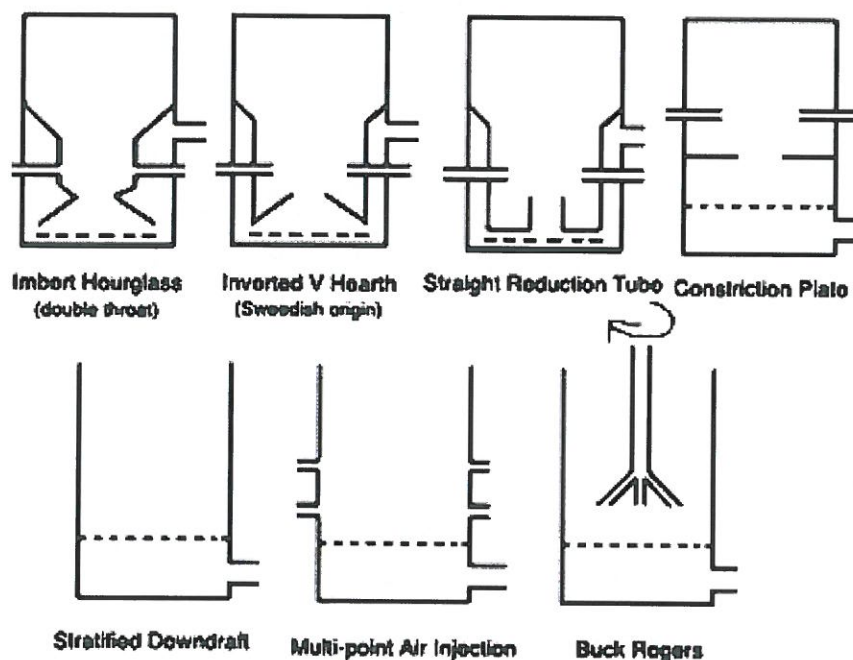
Pro nízko výkonové aplikace se nejčastěji využívají souprouté generátory s pevným ložem. Do nedávné doby se jednalo především o generátory Imbert. Generátor Imbert se vyznačuje zúžením v místě přívodu zplyňovacího média neboli hrdla, umístěném v dolní části generátoru nad jeho roštem. Jedná se o opatření za účelem ustavení homogenní vysokoteplotní zóny zajišťující intenzivní míchání prchavé hořlaviny se zplyňovacím vzduchem potřebným pro její účinnou konverzi na plynné složky. Výhodou tohoto generátoru je rovněž i nízký obsah pevných částic v plynu, neboť lože z pevného uhlíku funguje samo o sobě i jako účinný objemový filtr. Nevýhodou tohoto typu generátoru je jeho velikostní omezení na tepelný výkon do 1 MW. Termická destrukce dehtu si žádá vysokou teplotu v oxidační zóně hrdla. U větších generátorů vyšších výkonů se zvyšuje průměr generátoru, což může vést k narušení nehomogenity rozložení teplot v dané oblasti. Důsledkem toho je snížení kvality plynu a zvýšení obsahu dehtu v něm. Na rozdíl od generátoru s fluidním ložem nelze u uvedeného generátoru regulovat teplotu a měnit zplyňovací poměr a množství přísávaného oxidačního vzduchu závisí na intenzitě odběru vznikajícího plynu. Se změnou produkce plynu se zplyňovací poměr příliš nemění. Změnu lze způsobit např. změnou vlhkosti paliva.



Obr. 4: Schematické znázornění souproutého generátoru Imbert

Většina modifikací spočívá především v úpravě prostoru hrdla, nebo celého tvaru generátoru. Možné varianty úprav prostoru hrdla jsou zobrazeny na **Obr. 5**. Hlavním cílem uvedených úprav je zlepšit homogenitu a velikost vysokoteplotního pásma v oblasti hrdla, čehož se dosahuje změnou jeho konstrukce a umístěním dodatečných vstupů pro zplyňovací vzduch. Další úpravy spočívají ve využití keramické vyzdívky vnitřního prostoru generátoru. Podrobnosti je možné nalézt například v těchto publikacích Devi [7], Bhavanam [8]. Vliv

vlastností paliva na kvalitu výstupního plynu pro případ souprůdných generátorů byl diskutován v práci Reeda [5]. Ideální pro tento typ generátoru jsou velké, velikostně uniformní kusy dřeva listnatých stromů s minimálním podílem jemných částic. Jemné částice v palivu totiž způsobují provozní problémy spočívající například v tvorbě klenby, či tvorbě zkratových kanálů, kterými proudí prchavá hořlavina nepodléhající rozkladu. Proto jsou na podobných generátorech instalována opatření zaměřená na rozrušování klenby a destrukci těchto zkratových kanálů. Vlhkost paliva je jedním z důležitých faktorů, a to kvůli vysoké výparné entalpii vody. Přílišný obsah vody v palivu má za následek ochlazení reakční zóny a nedostatečnou destrukci dehtu. Experimentálně bylo zjištěno, že vlhkost paliva by u tohoto typu generátoru neměla přesáhnout 20 % hm. Další možnosti aplikace primárních opatření u daného typu generátoru jsou problematické.



Obr. 5: Varianty úpravy hrdla souprůdných generátorů s pevným ložem

2.2 Praktický příklad aplikace primárních opatření u souprůdného generátoru s hrdlem Imbert





Možnost aplikace primárních opatření u hrdlových generátorů s pevným ložem byla otestována u generátoru lokalizovaného v obci Louka. Zařízení je zobrazeno na Obr. 6. Jedná se o zplyňovací generátor s pevným ložem. Na generátoru byly provedeny konstrukční úpravy zaměřené na zlepšení odolnosti oxidační zóny, byla upravena distribuce oxidačního média a byla zvýšena i účinnost procesu vlivem předehřevu paliva výstupním plynem. Generátor původně pracoval s unifikovanými kusy dřeva o velikosti 5 až 10 cm. Bylo využíváno jak tvrdé dřevo, tak i dřevo jehličnanové. Následně byla využívána i štěrka s širokou distribucí tvarů a rozměrů. Modifikace generátoru byly zaměřeny na zvýšení schopnosti generátoru zpracovávat paliva nižší kvality. Tyto změny spočívaly ve vícebodovém nástřiku oxidačního média a rovněž v instalaci žáruvzdorné keramické vyzdívky v celé vysokoteplotní oblasti generátoru. Uvedené inovace zlepšily odolnost vnitřních částí generátoru vůči vysokým teplotám při provozu v mezních stavech a také

zvýšily jeho vnitřní tepelnou kapacitu a příznivě ovlivnily provozní stabilitu. Typický vzhled původního paliva, paliva po realizovaných úpravách a jejich parametry jsou uvedeny v Tab. 1.



Obr. 6: Souproudý generátor Imbert lokalizovaný v obci Louka

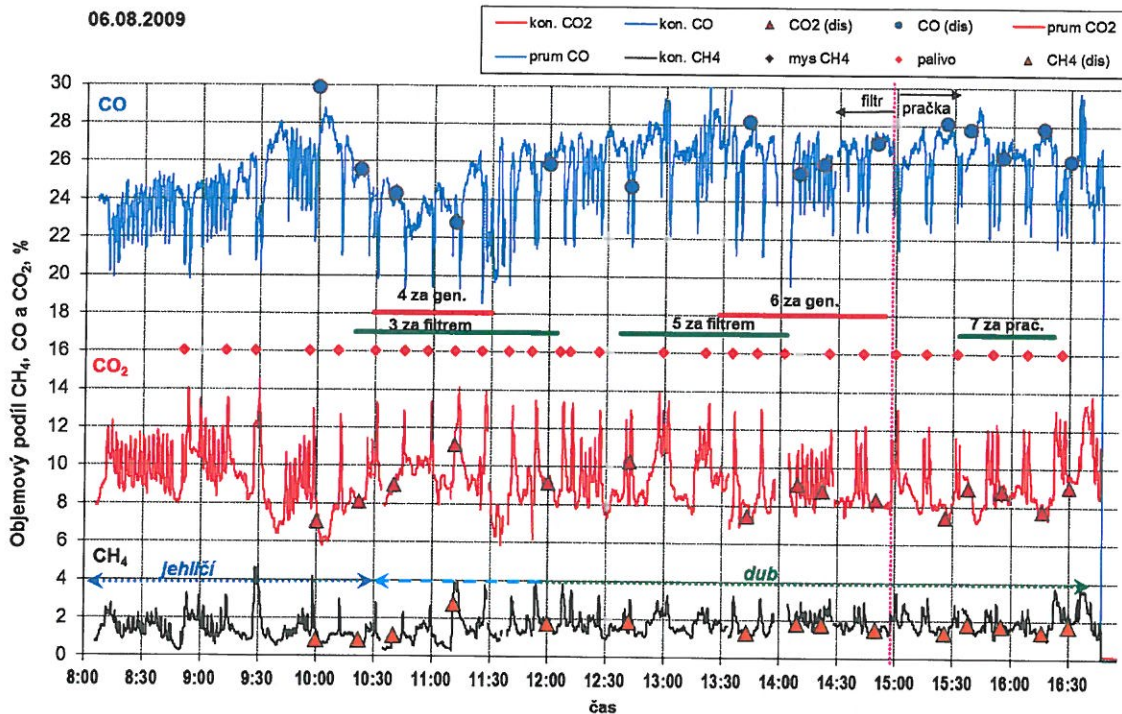
Tab. 1: Vlastnosti použitého směšného paliva použitého pro provoz generátoru Imbert (hodnoty vztaženy na suchý stav)

Generátor		Imbert	Imbert	Imbert	TARPO GP200
Typ paliva		Jehličnanové dřevo	Dubové dřevo	Směsná štěpka	
					
Technický rozbor					
vlhkost, W ^r	% hm.	4,81	10,92	4,78	7,8
Prchavá hořlavina, V ^d	% hm.	2,25	0,30	76,96	83,37
fixní uhlík, FC ^d	% hm.	77,90	82,99	21,79	15,32
popel, A ^d	% hm.	19,86	16,71	1,24	1,31
Elementární analýza					
C	% hm.	48,37	49,86	49,50	48,49
H	% hm.	5,78	6,14	6,15	5,99
O	% hm.	43,12	0,31	42,87	43,94
N	% hm.	0,47	43,38	0,22	0,2
S	% hm.	0,01	0,01	<0,02	0,07
spalné teplo, Q ^d _s	MJ/kg	19,40	20,52	19,47	20,16

V případě použití jak kusového paliva, tak směsné štěpky, pracoval generátor stabilně. Záznam koncentrace majoritních složek plynu při zplyňování kusových paliv je zobrazen na Obr. 7. Typické krátkodobé i dlouhodobé kolísání obsahu majoritních složek (CO, CO₂) je standardní vlastností testovaného zplyňovacího generátoru. Uvedené chování je způsobeno hlavně reakcí oxidu uhličitého s uhlíkatým zbytkem a poměr CO/CO₂ závisí na teplotě reakce v pyrolýzně-oxidační a redukční oblasti za hrdlem generátoru. Lze předpokládat, že vysoký poměr CO/CO₂ charakterizuje stav nastávající po pádu klenby do horkého prostoru nad



hrdlem. Propadlý materiál rychle podléhá endotermním reakcím, zplyňovací poměr dočasně klesá a převládající endotermní reakce způsobují postupné ochlazování této oblasti. Propad vzniklé klenby bývá zpravidla iniciován vhozením další dávky čerstvého paliva, jejíž pádová kinetická energie se využije k destrukci spojených a slepených fragmentů karbonizovaného paliva v generátoru. Popsané chování bylo blíže komentováno v těchto publikacích [9],[12].



Obr. 7: Záznam koncentrace majoritních složek při zplyňování kusů jehličnanů a tvrdého dřeva

V Tab. 2. je uvedeno průměrné složení plynu při zplyňování různých druhů paliv. Plyn vzniklý zplyněním tvrdého dřeva obsahoval více hořlavých složek a vykazoval nižší obsah dusíku, což by odpovídalo provozu za nižšího zplyňovacího poměru. Uvedená změna mohla být také vyvolána nižším obsahem vlhkosti v palivu (4,8 % oproti 10,8 %), či lepší konverzí paliva v důsledku jeho poněkud odlišných fyzikálně-chemických vlastností. Plyn vzniklý zplyněním směsné štěpky měl poněkud odlišné složení. Průměrný objemový podíl dusíku v plynu se pohyboval okolo 47 %, obsah oxidu uhelnatého okolo 24,5 %, vodíku okolo 15,4 % a oxidu uhličitého okolo 9,3 %. Při detailnějším zkoumání je vidět, že plyn vyráběný při zplyňování směsné štěpky má takřka stejné spalné teplo (6,4 MJ/m³) jako plyn vznikající z kusového tvrdého dřeva (6,5 MJ/m³). Ten má vyšší spalné teplo než plyn z měkkého dřeva (5,8 MJ/m³) přestože obsahuje větší objemový podíl dusíku (47 % oproti 44 %) než plyn z tohoto dřeva. Vyšší výhřevnost plynu vznikajícího ze směsné dřevní štěpky je způsobena vyšším obsahem organických látek v plynu. Tak se průměrný objemový podíl methanu pohybuje okolo 2,1 % oproti max. 1,7 % u plynu vznikajícího z kusového dubového paliva. Mnohem větší vliv mělo použití směsné štěpky na obsah dehtu v plynu. Jak je vidět z Tab 3., obsah dehtu v plynu za generátorem pracujícím s kusovým palivem je poměrně nízký. Z látek získaných chromatografickou analýzou jsou do skupiny dehtu zahrnuty látky s bodem varu vyšším než má toluen; pro porovnání je také uveden obsah dehtu dle „ČSN P CEN/TS 15439“, kde toluen a další uhlovodíky skupiny BTX (mimo benzen) jsou zahrnuty

do dehtu (tar protocol). Koncentrace dehtu v plynu za generátorem v případě zplyňování vhodného paliva byla zpravidla nižší než 250 mg/m³. Ze složení dehtu také vyplývá, že se jedná výhradně o terciární dehet zastoupený hlavně aromatickými a polyaromatickými uhlovodíky, případně jejich methyl deriváty. Substituenty s delšími řetězci v dehtu nalezeny nebyly. Hlavní složkou dehtu byl výhradně naftalen (nepočítáme-li benzen a toluen) a jeho hmotnostní podíl se pohyboval mezi 35 až 39 %. Ostatní složky byly zastoupeny v menším množství: acenaftylen cca 11-20 %, inden 3,6-5,6 %, fenanthren 3,7-8,0 %, fluoranthen 0,6-3,9 % a pyren 1,0-5,8 %. V dehtu ze zplyňování obou typů paliv byly nalezeny i kyslíkaté sloučeniny spadající do skupiny sekundárních dehtů a jejich celkový hmotnostní podíl nepřesahoval 13 %, avšak distribuce mezi jednotlivé látky se poněkud lišila.

Tab. 2: Průměrné složení plynu při zplyňování různých druhů paliv v generátoru Imbert

vzorek	Jehličnany	Tvrdé dřevo	Směsná štěpka
	Objemový podíl složek, %		
O ₂ ve vzorku	0,26	0,39	0,80
CO ₂	8,75	8,80	9,26
H ₂	18,87	18,67	15,44
CO	25,25	26,27	24,52
CH ₄	1,25	1,67	2,13
N ₂	45,21	43,84	47,45
Ar	0,53	0,51	0,56
ethan	0,005	0,015	0,062
ethylen	0,079	0,166	0,395
ethyn	0,035	0,012	0,079
propan	<0,001	<0,001	0,004
propen	0,001	0,005	0,037
butany	-	-	<0,001
buta-1,3-dien	<0,001	0,001	0,012
propyn	<0,001	0,001	0,006
but-1-en-3-yn	<0,001	<0,001	0,002
cyklopentadien	-	<0,001	0,004
benzen	0,020	0,019	0,030
toluen	0,001	0,001	0,004
ostatní	0,000	0,001	0,011
Q _s , MJ/m ³ (15 / 15 °C)	5,80	6,53	6,40

Odlíšná situace nastala při zplyňování směsné štěpky. Jak je vidět z Tab. 3, průměrný obsah dehtu v plynu za generátorem byl podstatně vyšší, než obsah zjištěný v plynu při zplyňování větších jehličnanových a dubových kusů. Hlavním důvodem vedoucím ke zvýšení obsahu dehtu v plynu za generátorem je pravděpodobně použití paliva o menší velikosti. Chování štěpky v žárovém pásmu hrdla tak má vliv na proudění vznikajícího plynu a distribuci oxidačního vzduchu a ovlivňuje tak homogenitu koncentračního a teplotního pole v této oblasti. Přítomnost zkratových kanálů, případně oblastí s nižší teplotou, snižuje stupeň konverze uvolněné prchavé hořlaviny a poněkud zvyšuje obsah dehtu v plynu. Zároveň byl pozorován i pozvolný nárůst podílu kyslíkatých složek v plynu (fenoly, methylfenoly). V případě použití štěpky jako paliva dosáhla koncentrace kyslíkatých složek (fenoly, alkylfenoly, furany) hodnoty 643 mg/m³. Jak už bylo dříve zmíněno, vlhkost paliva byla ve všech případech velice nízká a tak nemohla prostřednictvím snížení teploty žárového pásma negativně ovlivnit obsah dehtu v plynu. Koncentrace dehtu v plynu za generátorem dosáhla hodnoty až 1920 mg/m³. Největší zastoupení v dehtu měl naftalen a fenol. Hmotnostní podíl naftalenu se pohyboval mezi 17-25 % a podíl fenolu 15-16 %. Z detailní analýzy složení dehtu také vyplývá, že se opět převážně jedná o terciární dehet zastoupený hlavně aromatickými a polykondenzovanými aromatickými uhlovodíky, případně jejich methyl a

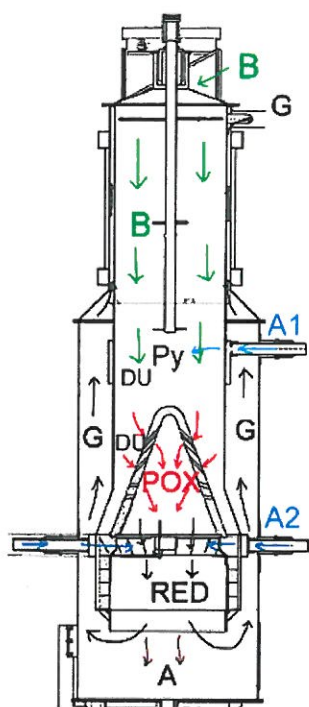
ethyl deriváty. Faktem ovšem je, že kogenerační jednotka připojená ke sledovanému generátoru nevykazovala ani v tomto případě provozní problémy.

Tab. 3: Porovnání obsahu a složení dehtu ze zplyňování odlišných druhů paliv v generátoru Imbert

Použité palivo	Jehličnany	Tvrdé dřevo	Směsná štěpka
koncentrace složek dehtu v plynu, mg/m ³			
BTX suma	757,3	1012,9	3005,4
toluen	98,6	221,9	686,5
kyslíkaté suma	26,1	18,5	643,3
dusíkaté	-	-	-
inden+indan	11,7	5,0	83,9
naftalen	77,0	68,2	341,6
fenanthren	17,6	5,1	109,6
anthracen	6,2	3,1	23,9
ostatní látky	1,2	0,9	143,5
suma DEHET	231,4	148,8	1919,7
DEHET dle CEN/TS 15439 (tar protocol)	375,8	472,0	3041,7

Současný vývoj generátorů produkujících plyn s nízkým obsahem dehtu se soustředil na zařízení, kde jednotlivé pochody probíhající v generátoru jsou vzájemně odděleny do různých částí zařízení, a to takovým způsobem, aby prchavá hořlavina uvolněná při pyrolýze v jedné části zařízení byla kompletně konvertována (oxidovaná) na plynné produkty prosté dehtu v oxidační části zařízení, aniž by nastal její průnik do finálního plynu vystupujícího z redukční části generátoru. Pro realizaci podobného typu generátoru bylo zároveň nutno vyřešit další problém spojený se zajištěním optimálních podmínek pro průběh jednotlivých sub procesů, mimo jiné vyžadujících přívod potřebného reakčního tepla nezbytného pro pyrolýzu (uvolnění prchavé hořlaviny) a zplyňování uhlíkatého zbytku.

Vývoj konstrukčních úprav generátorů byl shrnut již v předchozích příspěvcích, například v práci Skoblji [6]. Jedním z typických zástupců této kategorie generátorů je generátor původně vyvinutý firmou TARPO s.r.o. Rozdělení jednotlivých reakčních zón je zajištěno pomocí speciálního keramického kuželu umístěného do vnitřního prostoru generátoru (viz. **Obr. 8**). V pyrolýzní části nastává ohřev předem vysušeného dřeva na teplotu 450 °C až 550 °C. Na rozdíl od jiných typů vícestupňových generátorů se pro uvolnění prchavé hořlaviny v pyrolýzní části vícestupňového generátoru používá kombinace jak tepla získaného oxidační částí paliva primárním vzduchem, tak i externího tepla prostupujícího povrchem kuželu (radiací, vedením), nebo vnější stěnou pyrolyzéry, okolo které proudí horký plyn vystupující z redukční zóny. Uvolněná prchavá hořlavina je odváděna otvory ve stěně kužele do jeho vnitřní části, kde se nachází parciálně oxidační komora. V parciálně-oxidační komoře nastává dokonalé mísení prchavé hořlaviny s přiváděným zplyňovacím vzduchem, kdy se v důsledku intenzivního spalování zvyšuje teplota nad 1000 °C. Horké plyny z parciálně oxidační komory obsahující převážně CO₂, CO, H₂O a CH₄ dále vstupují do kontaktu s redukčním uhlíkovým ložem, umístěným nad kovovým roštem. Průchodem uhlíkatým ložem se plyn chemicky ochlazuje endotermními reakcemi CO₂, H₂O s uhlíkem, v důsledku čehož se zvyšuje obsah CO a H₂ v plynu a jeho teplota klesá pod 750 °C. Ochlazený plyn dále prochází kovovým otočným roštem a vstupuje do pláště generátoru, kde předává své teplo palivu v pyrolýzní části generátoru. Plyn vystupuje s generátoru v horní části a jeho teplota na výstupu s generátoru se pohybuje v rozmezí 400-500 °C v závislosti na zatížení generátoru a podmínkách jeho provozu (druh a vlhkost paliva).

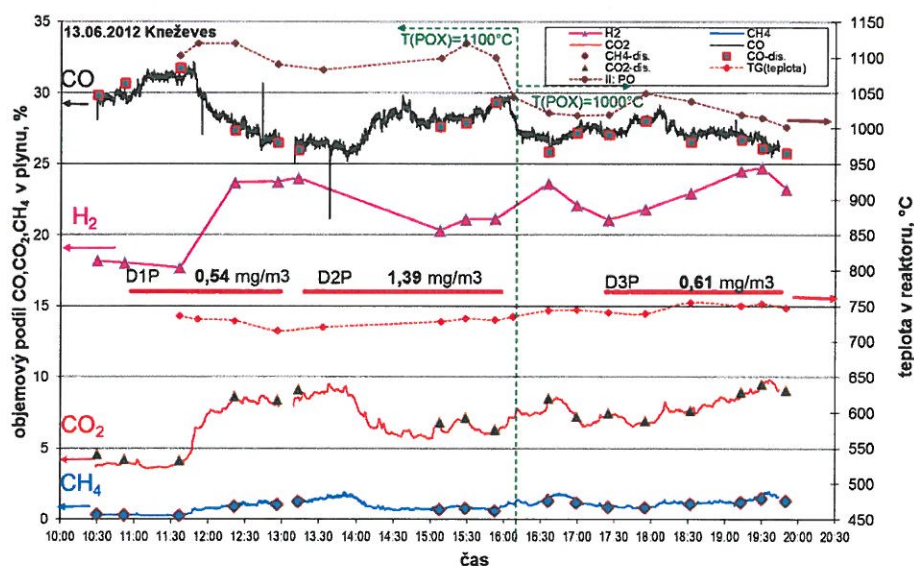


a) Stručné schéma generátoru



b) foto generátoru i s odběrovým místem pro stanovení obsahu dehtu v plynu za generátorem a horkým filtrem

Obr. 8: Schéma a fotografie dvoustupňového generátoru TARPO GP200



Obr. 9: Záznam obsahu vybraných složek plynu na výstupu z vícestupňového generátoru

V Tab. 1 jsou také uvedeny vlastnosti a vzhled paliva použitého pro zplyňování v generátoru TARPO. Jak je vidět, tvar a velikost paliva se razantně liší od paliva používaného v běžných souprůdých generátorech (viz

Tab. 1). Generátor označovaný GP 200 je schopen zpracovat štěpku o velikosti 5-25 mm. Vlhkost uvedeného paliva na vstupu do generátoru se pohybovala v rozmezí 5-10 %. Na **Obr. 9** je zobrazen kontinuální záznam složení plynu na výstupu z generátoru GP200. Jak je vidět, má plyn nízký objemový podíl methanu a CO₂ a naopak vysoký obsah CO. Rovněž vysoký je objemový podíl vodíku. Průměrný obsah dusíku v produkovaném plynu byl okolo 41-42 %. Zdrojem dusíku v plynu je zplyňovací vzduch, proto svědčí nižší obsah dusíku také o nižším množství použitého zplyňovacího vzduchu, a de-facto také o vyšší účinnosti výroby plynu.

Tab. 4: Obsah a složení dehtu v plynu z víceetapňového generátoru GP200

složka	koncentrace složek dehtu v plynu, mg/m ³
toluen	0,8
BTX suma	1,0
fenol	<0,01
kyslíkaté suma	0,1
dusíkaté	<0,01
inden+indan	<0,01
naftalen	1,10
fenanthren	0,05
antracen	0,01
ostatní látky	0,01
suma DEHET	1,39
DEHET dle CEN/TS 15439,	2,38

Progresivita dané koncepce se jasně projevila i v obsahu a složení dehtu v plynu z popisovaného generátoru GP200. Jak je vidět z Tab. 4, koncentrace dehtu v plynu za generátorem byla extrémně nízká a pohybovala se kolem hodnoty 2,4 mg/m³. Hlavní složkou plynu byl naftalen, jehož hmotnostní podíl v dehtu se pohyboval kolem 50 %. Obsah kyslíkatých složek (fenolů) byl minimální. V plynu byly také identifikovány další složky jako bifenyl, fenanthren, anthracen a pyren, ale jejich podíl byl velice nízký. Lze konstatovat, že dehet přítomný v plynu byl zastoupen zbytky terciárních podílů. Tak nízký obsah dehtu byl zcela bezproblémový pro provoz spalovacích motorů.

Rozvoj dané koncepce měl vyústění v generátorech vyšších výkonů 500 a 750 kW. Přehled současného stavu aplikace víceetapňových zařízení lze nalézt v posledních publikacích [13], [14], [15].

3 Závěr

Příspěvek se zabýval aplikací primárních opatření u generátorů s pevným ložem. Primární opatření spočívají v případě generátorů s pevným ložem v optimalizaci jak vlastností paliva, tak i provozních parametrů. Za optimálních podmínek může plyn produkovaný souproudým generátorem po odstranění TZL, ochlazení a vykondenzování vody být bez problémů použit pro pohon spalovacích motorů. Testovaný komerční souproudý generátor byl schopen při zplyňování dubového kusového paliva stabilně produkovat plyn s průměrným obsahem dehtu pod 250 mg/m³. Bohužel se při použití jemnějšího paliva, případně paliva s vyšším obsahem vlhkosti, stabilita provozu generátoru zhoršovala a obsah dehtu v plynu stoupal na hodnoty kolem 2000 mg/m³. Praktické možnosti aplikace primárních opatření na

testovaném souproudém zplyňovacím generátoru s hrdlem jsou velice omezené. Jednou z možností je optimalizace hospodaření s teplem a aplikace předeřevu zplyňovacího media odpadním teplem z generátoru či samotného plynu. Další relativně účinnou možností je použití vhodného paliva. Bylo prokázáno, že použití paliva o nízkém obsahu vlhkosti je pro daný typ generátoru krucální podmínkou. Rovněž bylo prokázáno, že je generátor možné upravit pro jeden daný typ paliva, kdy produkuje relativně kvalitní plyn s velmi nízkým obsahem dehtu. Nicméně použití jiného druhu paliva způsobí podstatné zhoršení kvality plynu. Lze konstatovat, že palivo s velkým podílem frakce o rozměrech v řádu jednotek centimetrů je pro daný generátor zcela nevhodné.

Pro zvýšení účinnosti výroby elektrické energie je nutno použít moderní termokonverzní technologii s vyšší účinností výroby studeného plynu založenou na použití vícestupňových procesů. Podstata uvedeného procesu spočívá v prostorovém oddělení pyrolýzy původního paliva do pyrolýzní části generátoru s následnou vysokoteplotní parciální oxidací prchavé hořlaviny a reakcí horkých plynných produktů s uhlíkatým zbytkem v redukční části generátoru. Vícestupňový generátor GP200 ukázal možnost produkce plynu s nízkým obsahem dehtu ($< 5\text{mg/m}^3$) a s vyšším stupněm konverze než v případě běžných souproudých generátorů. Plyn se vyznačoval vysokým poměrem CO/CO_2 a nízkým obsahem dusíku v plynu, což se kladně projevilo na jeho výhřevnosti. Dalším kladem oproti souproudým generátorům je mnohem větší variabilita týkající se distribuce velikosti částic paliva a jeho schopnost pracovat se štěpkou o velikosti do 6 mm. Všechny výše uvedené vlastnosti řadí vícestupňový generátor a jeho výkonnější verze mezi vhodné kandidáty pro decentralizované kogenerační jednotky.

Poděkování

Část práce prezentovaná v uvedené publikaci vznikla díky finanční podpoře projektu Technologické agentury České republiky číslo TA04020583.

Použitá literatura

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ Roční zpráva o provozu ES ČR 2014. 1st ed. ERÚ, 2015.
- [2] GØBEL, B., HENRIKSEN, U. B., AHRENFELDT, J., JENSEN, T. K., HINDSGAUL, C., BENTZEN, J. D., SØRENSEN, L. H. Status - 2000 Hours of Operation with the Viking Gasifier. In VAN SWAAIJ, W. P. M., FJÄLLSTRÖM, T., HELM, P., GRASSI, A. (ed.). Proceedings of 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy and Industry. Rome: ETA-Florence & WIP-Munich, 2004,
- [3] KINOSHITA, C., WANG, Y., ZHOU, J. Tar formation under different biomass gasification conditions. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1994, vol. 29, no. 2, p. 169–191.
- [4] STASSEN, H. E. M., PRINS, W., SWAAIJ, W. P. M., 2002, Thermal conversion of biomass into secondary products: the case of gasification and pyrolysis, 12th European Biomass Conference, 17-21 June, Amsterdam, The Netherlands, 38-44.
- [5] REED, T. B., DAS, A. Handbook of Biomass Downdraft Gasifier System. 2nd ed. 1998. ISBN 1-890607-00-2.

- [6] SKOBLIA, S., BEŇO, Z., BRYNDA, J., POHOŘELÝ, M., PICEK, I. Zkušenosti s provozem vícestupňových generátorů v ČR. In *Energie z biomasy XVI*. 2015, p. 78–92. ISBN 978-80-214-5286-2.
- [7] DEVI, L., PTASINSKI, K. J., JANSSEN, F. J. J. G. A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes. *Biomass and Bioenergy*, 2003, vol. 24, p. 125–140.
- [8] BHAVANAM, A., SASTRY, R. C. Biomass Gasification Processes in Downdraft Fixed Bed Reactors: A Review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 2011, vol. 2, no. 6, p. 425–433.
- [9] BEŇO, Z., SKOBLIA, S.. Renaissance zplyňovacích generátorů typu Imbert v České republice. In *Energie z biomasy IX*. Brno : [s.n.], 2008. s. 28-35. ISBN 978 - 80 – 21
- [10] BEŇO, Z., et al. Zkušenosti s provozem souprůdných zplyňovacích generátorů typu Imbert v České republice. In *Energetika a biomasa 2009*. Praha : [s.n.], 2009. s. 150-158. ISBN 978-80-01-04295-3,
- [11] BEŇO, Z., et al. Zplyňování dřeva v malých kogeneračních jednotkách. In *VOC 2009: Emise organických látek z technologických procesů a metody jejich snižování*. 1. vyd. Pardubice : [s.n.], 2009. s. 43-48. ISBN 978-80-02-01939-1,
- [12] BEŇO, Z.; SKOBLIA, S.: Souprůdné zplyňovací generátory a jejich použití pro výrobu elektrické energie z biomasy. In *Energie z biomasy X*. Brno : [s.n.], 2009. s. 15-20. ISBN 978-80-214-4027-2,
- [13] SKOBLIA, S., BENO, Z., BRYNDA, J., MOSKO, J., POHORELY, M. Experience with Operation of Multi-Stage (Two-Stage) Fixed-Bed Gasifiers in the Czech and Slovak Republic. In [International Freiberg Conference. Cologne. 2016, p. 32–33. ISBN N.
- [14] SKOBLIA, S., BEŇO, Z., BRYNDA, J., POHOŘELÝ, M., PICEK, I. Vícestupňové zplyňování biomasy. In LISY, M. (ed.). *Seminář Středoevropského energetického institutu CENERGI II*. Dolní Morava. 2015, p. 84–96. ISBN 978-80-214-5288-6.
- [15] SKOBLIA, S., BEŇO, Z., BRYNDA, J., POHOŘELÝ, M., PICEK, I. Použití vícestupňových zplyňovacích generátorů v České republice pro vysokoúčinnou kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla z biomasy. In *Konference chemického a procesního inženýrství - CHISA 2015 (62.)*, hotel Jezerka, přehrada Seč. 2015, p. 139. ISBN N.

