



Termochemická konverze pevných paliv

Michael Pohořelý

Ústav energetiky, VŠCHT Praha
Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.
České asociace pro pyrolýzu a zplyňování o.s.

Pevná biopaliva

Dřevní biomasa (dendromasa, lignocelulózová biomasa)

- kůra a jehličí zvyšuje zejména obsah popela a N (teplota tání popela > 1150°C)

Rostliná a zemědělská biomasa (sláma, traviny)

- násobně vyšší obsah popela než u dřevní biomasy
- řádově vyšší obsah Cl než u dřevní biomasy
- obvykle řádově až násobně vyšší obsah S než u dřevní biomasy
- násobně až řádově vyšší obsah N než u dřevní biomasy
- řádově až násobně vyšší obsah K než u dřevní biomasy a násobně vyšší obsah Ca a P než u dřevní biomasy
- významně nižší teplota tání popelovin než u dřevní biomasy
(K_2O $t_f = 740$ °C, KCl $t_f = 771$ °C)
- vznik eutektických směsí $K_2O + 4SiO_2 \rightarrow K_2O \cdot 4SiO_2$ $t_f = 770$ °C
 $2CaO + 3P_2O_5 \rightarrow 2CaO \cdot 3P_2O_5$ $t_f = 774$ °C

Tuhá alternativní paliva

Klasifikace TAP dle EN 15359 (v ČR zatím neplatí; platná v Rakousku, Estonsku, Finsku, Irsku, Nizozemí, Švédsku, VB)

Fuel Parameter	Statistical measure	Units	Classes				
			1	2	3	4	5
Net calorific Value (H_u)	Mean value	MJ/kg (ar)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Chlorine (Cl)	Mean value	% (d)	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	≤ 3
Mercury (Hg)	Median 80th percentile	mg/MJ (ar) mg/MJ (ar)	$\leq 0,02$ $\leq 0,04$	$\leq 0,03$ $\leq 0,06$	$\leq 0,08$ $\leq 0,16$	$\leq 0,15$ $\leq 0,30$	$\leq 0,50$ $\leq 1,00$

RDF (Refuse Derived Fuel), SRF (Solid Recovered Fuel), TTS (tuhá topná směs) a TAP (tuhé alternativní palivo) jsou stejné materiály, a jedná se tedy jen o různou terminologii.

Skladba komunálního odpadu v ČR

složka KO	obsah (v hm. %)
papír	13
plast	12
sklo	4
nápojové kartóny	2
kov	2
bioodpad	25
textil	7
ostatní (nebezpečný odpad, minerální odpad, dřevo, elektroodpad, apod.)	35

Pro jednotlivé složky komunálního odpadu lze uvést následující způsoby nakládání:

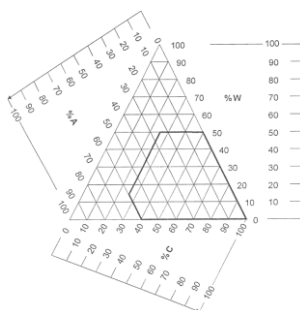
- bioodpad (zejména potravinářské zbytky) - nerecyklovatelný, vhodný zejména pro produkci bioplynu,
- papír - vhodný zejména pro přípravu tuhé alternativního paliva (TAP),
- plasty - velmi výhodně vhodné zejména pro přípravu TAP,
- sklo - obtížně separovatelné z KO, vhodné k recyklaci,
- kovy - relativně dobře separovatelné, vhodné k recyklaci,
- ostatní - spalitelné složky vhodné k přípravě TAP, elektroodpad či kartony vhodné k recyklaci.

Produkce odpadu v ČR:
cca 400 kg/os./rok (rok 2006)

Vlastnosti odpadů I

- Mezní parametry odpadu:

- výhřevnost ≥ 5 MJ.kg⁻¹
- obsah popela $A \leq 60$ %
- obsah vlhkosti $W \leq 50$ %
- obsah hořlaviny ≥ 25 %



Vlastnosti odpadů II

spalitelné složky

Složka	Voda		C	H	O	N	S	Popel		Výhřevnost
	hm. %	hm. %						hm. %	hm. %	
popel z kamen	16,6	14,4	0,2	0,2	-	1,6	67	4,1		
papír	5,5	35	5,1	39		0,2	15,5	15,5		
zelenina	76,5	11,1	1,4	8,1	0,7	0,1	2,1	4,7		
textil	14	31	5,4	38,7	2,3	0,5	8,1	15,8		
plasty-PET	0	62	33	4,2	-	-	0,1	22,1		

inertní složky

- sklo
- kovy
- minerální odpad

průměrná výhřevnost:

$$Q_i (\text{LHV}) = 8\text{-}12 \text{ MJ.kg}^{-1}$$

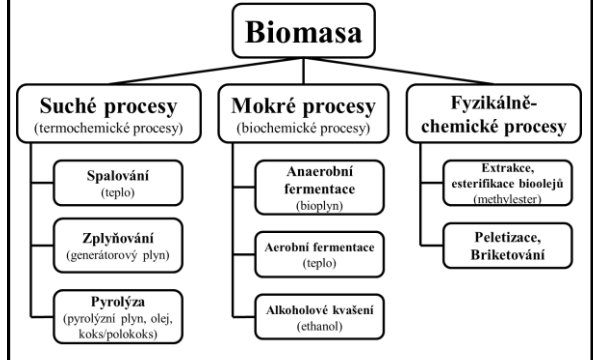
teplota tání popela > 1150°C

Pevná paliva

Technický a elementární rozbor pevných paliv – porovnání

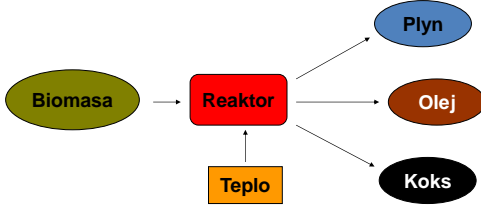
velična	A ^d	H ^d	V ^d	FC ^d	HHV ^d	LHV ^d	c ^{dry}	H ^{dry}	N ^{dry}	O ^{dry}	S ^{dry}	Cl ^d
jednotka	hm. %	hm. %	hm. %	hm. %	MJ.kg ⁻¹	MJ.kg ⁻¹	hm. %	hm. %	hm. %	hm. %	hm. %	g.kg
papír	7.8	92.8	80.0	12.9	19.3	12.9	50.2	6.9	0.3	42.5	0.1	0.4
kancelářský papír	5.1	94.9	82.5	12.4	16.8	15.4	44.1	6.4	0.1	49.4	0.0	0.4
recyklovatelný papír	6.8	93.2	80.8	12.4	17.0	15.7	45.7	6.4	0.1	47.9	0.0	0.4
sbránový papír	12.1	87.9	77.3	10.6	18.7	17.4	50.4	6.9	0.5	42.0	0.1	2.2
plasty												
PE	-	100.0	100.0	-	40.6	37.5	85.6	13.4	-	-	-	-
PP	-	100.0	100.0	-	45.4	42.4	85.6	13.4	-	-	-	-
PET	-	100.0	93.4	6.4	23.0	22.1	62.5	4.2	-	33.3	-	-
PS	-	100.0	99.4	0.6	43.3	41.6	92.3	7.7	-	-	-	-
PVC	0.4	99.6	92.6	7.0	21.0	19.9	38.4	4.8	-	-	-	56.7
dřevní biomasa	3.5	96.5	78	18.5	19.9	18.6	52.1	6.2	0.4	41.2	0.1	-
rostlinní a zemědělská biomasa	5.7	94.3	75.2	19.1	20.2	18.8	49.9	6.2	1.2	42.6	0.2	-

Termické využití biomasy



Pyrolýza

Termický rozklad materiálu za nepřístupu médií obsahujících volný kyslík.



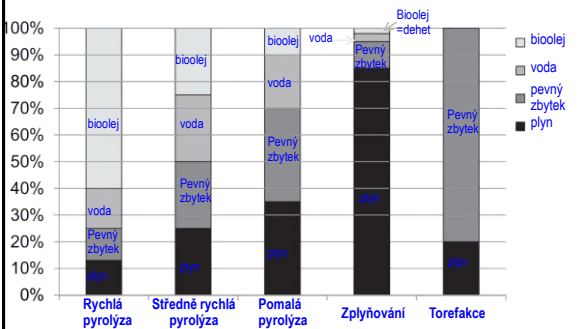
Podmínky pyrolýzy

Poměr produktů (plyn, olej, koks,) závisí na:

- Složení vstupní materiálu (biomasa, TAP).
- Teplotě.
- Době zdržení.

- s rostoucí teplotou se posouvá distribuce produktů od pevné fáze směrem ke kapalné a plynné fázi

Rozdíly v distribuci hlavních produktů termokonverze



Výtěžky organických olejů, vody, plynu a pevného zbytku v závislosti na podmínkách procesu

Bridgewater, Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, Biomass and Bioenergy 38 (2012) 68-94

TOREFAKCE

Torefakce je procesem termického zpracování biomasy při teplotách 220 až 280°C za podmínek pomalé pyrolýzy a nepřítomnosti kyslíku používaným hlavně pro výrobu unifikovaných pevných paliv s vylepšenými reologickými a fyzikálně-chemickými vlastnostmi.

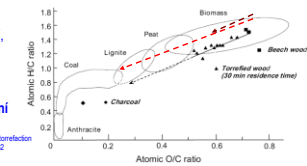
Torefakce umožňuje zlepšit vlastnosti paliv na bázi biomasy:

- zvýšit energetickou hustotu a výhřevnost (18-23 MJ/kg), redukce velikosti částic
- snížení obsahu vlhkosti (W), zastoupení kyslíku (O) a vodíku (H), zvýšení podílu uhlíku (C),
- zlepšit dlouhodobou skladovací stabilitu (teplotní stabilizace biologicky rozložitelných materiálů), zvýšení „hydrofobních“ vlastností biomasy, zvýšení rezistence vůči zpětnému vlnnutí

- zlepšit spalovací vlastnosti pro energetické a materiálové zpracování (snadné mletí, a drcení, méně náročná příprava pro zpracování v práškových a hořákových spalovacích a zplyňovacích zařízeních).

• první fáze přípravy pro hořákové zplyňování

M.J.C. van der Stek, H. Garhauer, J.H.A. Kok, K.J. Ptasinski, Biomass upgrading for torrefaction for the production of biofuels: A review, Biomass and Bioenergy, 35 (2011), 3748-3762



Parametry ovlivňující stupeň procesu TOREFAKCE

Hlavní parametry ovlivňující účinnost procesu torefakce:

- teplota procesu (230-280°C)**
 - stupeň transformace (podíl pevné a plynné frakce stoupá s teplotou)
 - škála uvolňovaných sloučenin se rozšiřuje (furfural, kyselina mravenčí, kyselina mléčná, methanol..., v plynu se objevuje CH₄)
- doba ohřevu (180-30 min, dle teploty)**
 - kontaktní doba je závislá na způsobu ohřevu (sdílení tepla uvnitř částic upravovaného materiálu, ovlivňuje mechanismus štěpení)
 - má menší vliv než teplota na hloubku transformace biomasy
 - za vyšších teplot (>250°C) stačí kratší kontaktní doba (cca 30 min)

M.J.C. van der Stelt, H. Gerhauser, J.H.A. Kiel, K.J. Ptasinis: Biomass upgrading by torefaction for the production of biofuels: A Review, Biomass and Bioenergy, 35 (2011), 3748-3762

Výhody TOREFAKCE

Nevýhody procesu torefakce

- Při teplotách mezi 150-170°C dochází k samovznícení a zahoření
- Riziko výbuchu je vyšší ve srovnání s konvenční biomasou, ale pravděpodobně nižší než ve srovnání s uhlím.
- Obtížnější příprava peletek/briket.
- Musí být definovány dodatečné vlastnosti paliv (např. stupeň torefakce, melitelnost, hydrofobita, odolnost vůči biodegradaci) a další kritéria udržitelnosti (vytvoření norem).

Výhody procesu torefakce:

- Rozšíření palivové základny
- Vysoká energetická hustota produktů
- Snížené zařizování vody (hydrofobita)
- Snížená možnost biodegradace
- Zlepšená melitelnost
- Nižší náklady na přepravu a skladování

U specifických druhů biomasy může torefakce významně snížit náklady na mletí.

Snížení množství energie potřebné pro rozemletí částic různých typů paliv v závislosti na teplotě torefakce.

ZWART, Robijn et al., In: 5th International Freiberg Conference on IGCC & XL Technologies, 2012.

Melitelnost dřevní biomasy

Porovnání závislosti spotřeby energie u mletí na žádanou střední velikost částic u torefikovaného dřeva, suchého dřeva a předsušeného dřeva

Svoboda K., Pohořelý M., Hartman M., Martinec J.: Pretreatment and Feeding of Biomass for Pressurized Entrained Flow Gasification, (Eng) Fuel Process. Technol. 80(5), 523-535 (2009).

Technologie použité pro TOREFAKCI

Různé typy zařízení používaných pro proces torefakce

ZWART, Robijn et al., In: 5th International Freiberg Conference on IGCC & XL Technologies, 2012.

Středně rychlá pyrolýza

Palivo < 0,1 mm ⇒ biomasu nelze dávkovat přímo.

www.choren.com

Pomalá pyrolýza biomasy, výroba dřevního uhlí

Dřevěné uhlí je pevným zbytkem zůstávajícím při "karbonizaci" nebo-li "pyrolýze" dřeva za kontrolovaných podmínek v uzavřeném prostoru. V průběhu procesu je kontrolován (omezován) vstup vzduchu potřebného pro kontrolovanou oxidaci a získávání tepla potřebného pro získání pevného pyrolyzního uhlíku.

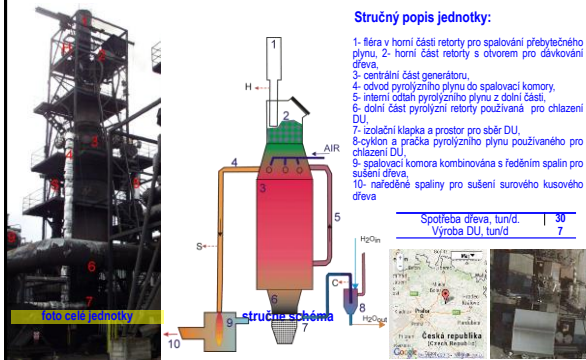
Proces výroby dřevního uhlí začíná při teplotě od 280°C, kdy začíná spontánně probíhat štěpení hlavních složek biomasy za vzniku plyných a kondenzujících složek. Proces pokračuje do teploty minimálně nad 400°C. Složení a výtěžek karbonizačního zbytku, míra jeho prouhelnatění je závislá na teplotě a délce procesu.

Při nižších teplotách uhlí obsahuje určitý obsah kyslíku, a těkavých látek, a jeho další termokonverzní zpracování je doprovázeno uvolněním prchavé hořlaviny a primárních dehtů. Teplota procesu ovlivňuje kvalitu uhlí, přijatelných výsledků z hlediska kvality lze dosáhnout při teplotě nad 500°C

karbonizační teplota, °C	výtěžek dřevního uhlí % hm.	fixní uhlík, % hm	prchavá hořlavina % hm.
300	42	68	31
500	33	86	13
700	30	92	7

Kontinuální výroba dřevního uhlí

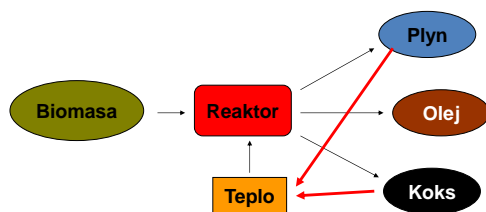
Servis Les/ Dymokury-Činěves, Česká republika



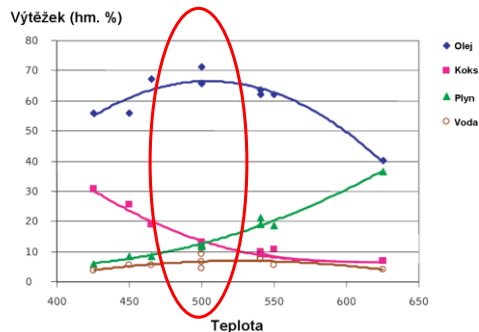
Rychlá pyrolýza (flash pyrolysis)

- Hlavním produktem je kapalná frakce.
- Teplota cca 500 °C.
- Velmi krátká doba zdržení (1-2 s):
 - Intenzivní ohřev materiálu.
 - Rychlé ochlazení pyrolyzních par.

Zdroj tepla pro rychlou pyrolýzu



Rychlá pyrolýza – vliv teploty



Rychlá pyrolýza – vliv suroviny

[hm %]	dřevo	kůra	výlisky	papír
bio-olej	71-80	60-67	75-81	71-93
koks	12-20	16-28	12-14	4-20
plyn	5-12	8-17	5-10	2-12
Q_s oleje				
[MJ/kg]:	15,8-19,5	18,1-20,7	17,9-19,5	15,6-18,6

Vlastnosti bio-oleje

Vlastnost	Jednotka	bio-olej	TTO
Spalné teplo	MJ/kg	16-19	42,5
Bod vzplanutí	°C	48-55	60
Bod tuhnutí	°C	-15	
Hustota (15°C)	kg/l	1,2	0,986
pH		2-3	
Pevné částice (koks)	hm. %	0,01-0,20	
Vlhkost	hm. %	20-25	< 0,5
Popel	hm. %	<0,02	0,08
Kinematická viskozita při:	mm ² .s ⁻¹		
20 °C		70	2000-9000
40 °C		19	500-1000
60 °C		8	100-200
80 °C		4	40-70

Složení čistého bio-oleje

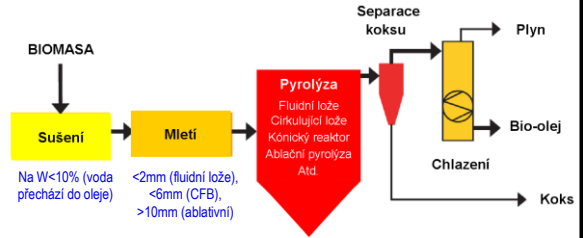


	Bio-olej	TTO
Popel	< 0,02	0,02-0,08
C	42-47	85,7
H	6-8	10,5
N	< 0,1	0,18
S	< 0,02	< 2,8
O	46-51	0,38

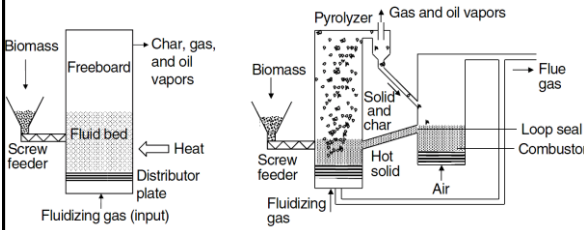
hm. %	Sloučenina
13,0	Hydroxyacetaldehyd
12,0	Kyselina octová
9,1	Kyselina mravenčí
8,5	Acetaldehyd
7,4	Acetol
7,2	Isoeugenol
5,2	furfurylalkohol
4,8	2,6-DiOMe fenol
4,6	ethanedial
3,8	Fenol
3,3	Formaldehyd
3,2	Cellobiosan
3,1	1,6 Anhydroglucofuranon
2,9	Fruktóza
2,8	Aceton
2,4	Methanol
2,3	Eugenol
2,2	5-OH-methyl-2-furfural
2,0	Ethylenglykol
...	...

Uspořádání technologických prvků

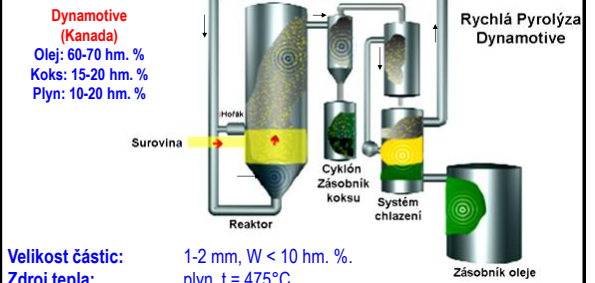
Typické technologické schéma rychlé pyrolýzy



Reaktory s bublinovou a cirkulující fluidní vrstvou



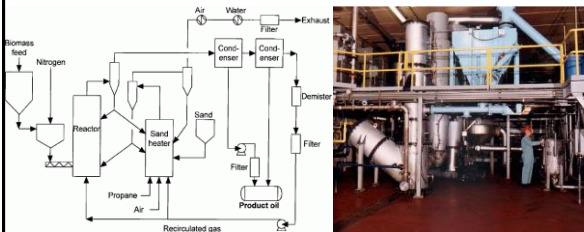
Reaktor s bublinovou fluidní vrstvou



Dynamotive (Kanada)
 Olej: 60-70 hm. %
 Koks: 15-20 hm. %
 Plyn: 10-20 hm. %

Velikost částic: 1-2 mm, W < 10 hm. %
Zdroj tepla: plyn, t = 475°C
Doba zdržení: 2 s.,
Velikost jednotky: až 200 t/den suché biomasy

Reaktor s cirkulující fluidní vrstvou



Ensys (Kanada)
 Olej 71-80 hm. %
 Koks 12-20 hm. %
 Plyn 5-12 hm. %

Velikost částic: 1-2 (6) mm, W < 10 hm. %
Retenční čas: 2 s
Velikost jednotky: až 200 t/den suché biomasy

Rychlý šnekový pyrolýzer



ISU, CFSET (USA), produkty:
 Olej: 40-50 hm. %
 Koks: 25-30 hm. %
 Plyn: 20-35 hm. %

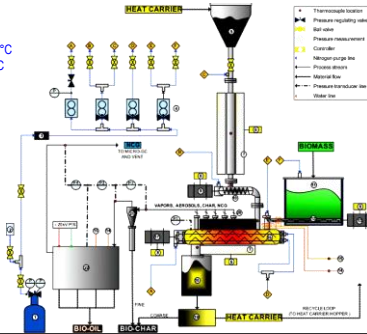
Brown, J.N. Development of a lab-scale auger reactor for biomass fast pyrolysis and process optimization using response surface methodology. M.S. thesis, Iowa State University, Ames, 2009.

Rychlý šnekový pyrolýzer

Princip funkce je založen na přímém ohřevu konvertovaného materiálu kontaktem s horkými kuličkami a to prosřednictvím intenzivního promíchávání částic s kuličkami za pomoci dvou šneků.

Zdroj tepla: koks (elektřina)
Doba zdržení: <2 s
Teplota: reaktor 450-580°C
 nosič 450-750°C
Velikost částic: 0,5-1,0 (2) mm
Vlhkost paliva: < 15 % hm.
Velikost jednotky: 1-2 kg/h

ISU, CFSET (USA)
Produkty:
 Olej: 40-50 hm. %
 Koks: 25-30 hm. %
 Plyn: 20-35 hm. %

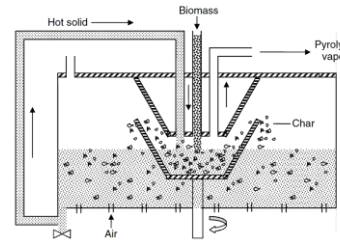
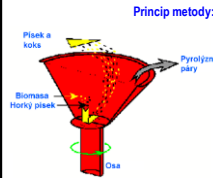


Brown, J.N. Development of a lab-scale auger reactor for biomass fast pyrolysis and process optimization using response surface methodology. M.S. thesis, Iowa State University, Ames, 2005.

Rotující kónický reaktor

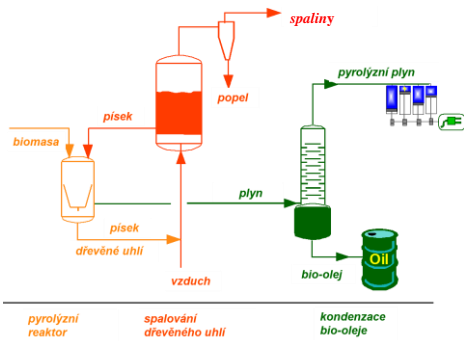
BTG (Nizozemi)
 Olej: cca 70 hm. %
 Koks: 15 (0) hm. %
 Plyn: 15 hm. %

Zjednodušené schéma zařízení:



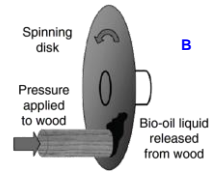
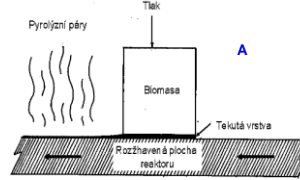
Velikost částic: 10 mm, W < 10 hm. % (není zapotřebí provozní plyn)
Zdroj tepla: koks, retenční čas 0,3-1 s. (500°C/s)
Velikost jednotky: až 50 t/den suché biomasy

Rotující kónický reaktor



Ablativní pyrolýza

Princip funkce je založen na překonání omezení spojených s transferem tepla částici biomasy, kterého je dosaženo kontrolovaným vytlačováním biomasy na horky pohybující se plech (a) případně rotující kotouč (b). Teplo je převáděno z horké stěny reaktoru na proti němu tlačenu vrstvu biomasy, která se na plechu začíná „roztavovat“ jako „máslo na horké pánvi“.



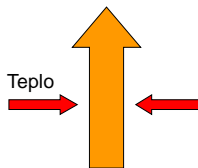
PyTec (Německo)
 Olej: 65-75 hm. %
 Koks: 15-20 hm. %
 Plyn: 10-15 hm. %

Velikost částic: > 10 mm, W < 10 hm. %
Zdroj tepla: koks, retenční čas 1 s, t = 500°C
Sušení vstupní biomasy: plymem
Velikost jednotky: až 50 t/den suché biomasy

Brüggwater, Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, Biomass and Bioenergy 38 (2012) 68-94

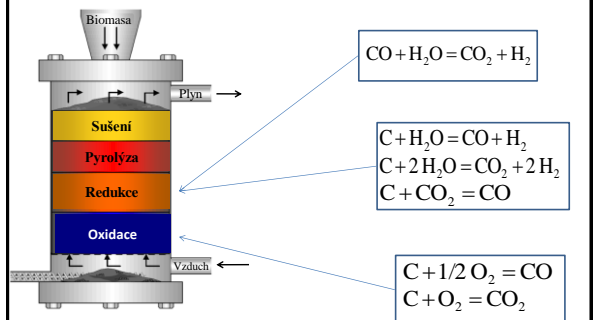
Zplyňování

$H_2 + CO + CH_4 + \text{minoritní sloučeniny} + CO_2 + H_2O + (N_2)$
 + nečistoty (dehet, prach, sloučeniny síry, chloru apod.)



Paivo + zplyňovací médium (vzduch, O₂, pára, CO₂)

Zplyňování (princip)



Olofsson I, Nordin A, Söderlind U: Initial Review and Evaluation of Process Technologies and System Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels (2005).

Výhody zplyňování oproti spalování

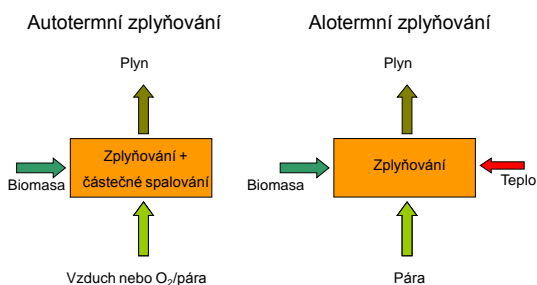
- Převedení tuhého paliva s velkým měrným objemem (pevné palivo) na plynné palivo s možností spalování v tepelných strojích.
- Kogenerace s vyšším teplotním modulem.
 - Nižší provozní náklady.
 - Úspora primárních paliv na jednotku výkonu.
 - Snížení produkce CO_2 , SO_2 , NO_x , CO , TZL, POP apod. na jednotku el. výkonu.

Platí pro výkonové měřítko do cca 10 MW_e

Zplyňování - přednosti (g) oproti (s) palivu

- snadnější doprava
- snadnější odstraňování škodlivin
- spalováním nevznikají tuhé emise
- proces spalování lze lépe řídit
- lze dokonaleji spalovat s menší λ a vyšší η
- vyšší spalovací teploty
- zajistí rovnoměrný ohřev velkých ploch

Zplyňování (přísun tepla)



H. Hofbauer: Fluidized Bed Gasification – State of Technology, International Conference on Biomass gasification for an efficient provision of electricity and fuels - state of knowledge, Leipzig (2007).

Vlastnosti plynu závisí na:

- Fyzikálně chemických vlastnostech paliva.
- Typu zplyňovacího generátoru.
- Provozních podmínkách generátoru:
 - 1) Zplyňovací médium.
 - 2) Stechiometrický koeficient vzduchu (autotermní zplyňování).
 - 3) Teplota.
 - 4) Tlak.
 - 5) Přítomnost katalyzátorů (ve fluidním loži).
 - 6) Doba zdržení v reakční zóně.
 - 7) Tepelné zatížení.
 - 8) Způsob dávkování.

Příklad složení plynu (majoritní složky, palivo dřevní biomasa)

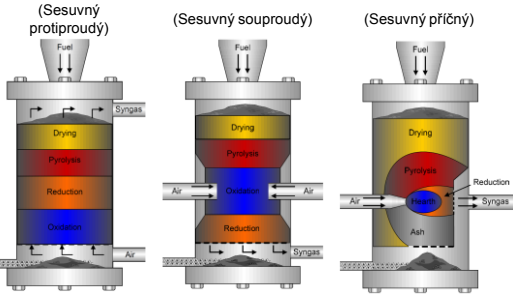
	Zplyňování vzduchem (autotermní)	Zplyňování párou (alotermní)	Zplyňování směsí H ₂ O+O ₂ (autotermní)
Výhřevnost [MJ/Nm ³]	4 – 6	12 – 14	12 – 15
H ₂ [%]	11 – 16	35 – 40	25 – 30
CO [%]	13 – 18	25 – 30	30 – 35
CO ₂ [%]	12 – 16	20 – 25	23 – 28
CH ₄ [%]	3 – 6	9 – 11	8 – 10
N ₂ [%]	40 – 60	< 1	< 1

Typy zplyňovacích generátorů

- Generátory se sesuvným ložem (moving bed).
- Vícestupňové generátory (multistage)
- Hořákové generátory (entrained flow).
- Generátory s fluidním ložem (fluidized bed).

Generátory se sesuvným ložem

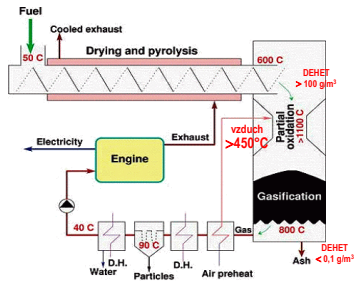
Nelze dávkovat malé částice paliva (do 5 mm).



Olofsson I, Nordin A, Söderlund U: Initial Review and Evaluation of Process Technologies and System Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels (2006).

Dvoustupňový generátor

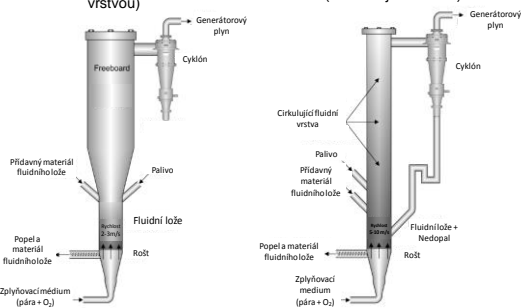
Nelze dávkovat malé částice paliva (do 5 mm).



Knoef H.A.M. Handbook Biomass Gasification, BTG (2012).

Fluidní generátory (autotermní) I

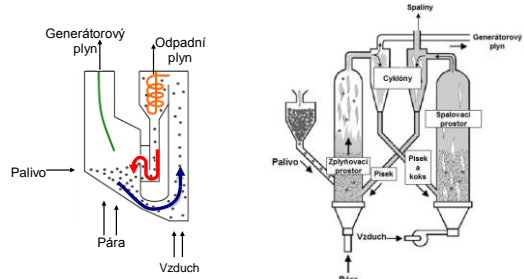
(Se stacionární vrstvou) (S cirkulující vrstvou)



Olofsson I, Nordin A, Söderlund U: Initial Review and Evaluation of Process Technologies and System Suitable for Cost-Efficient Medium-Scale Gasification for Biomass to Liquid Fuels (2006).

Fluidní generátory (alotermní)

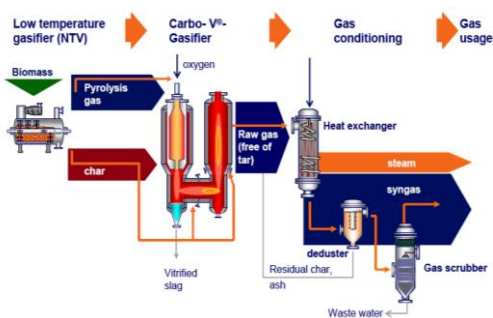
(FICFB) (Battelle)



H. Hofbauer: Fluidized Bed Gasification - State of Technology. International Conference on Biomass gasification for an efficient provision of electricity and fuels - state of knowledge, Leipzig (2007).
Farris M, Paisley MA, Irving J, Overend RP: The Biomass Gasification Process by Battelle/Ferco Design, Engineering, Construction and Startup (1998).

Hořákové generátory

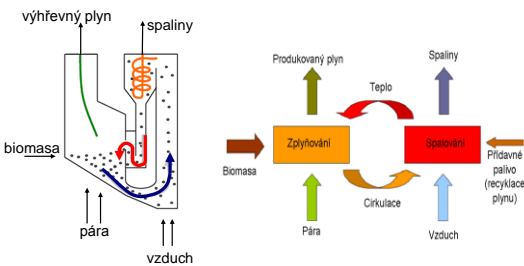
Palivo < 0,1 mm ⇒ biomasu nelze dávkovat přímo.



www.choren.com

Elektrárna Grüssing

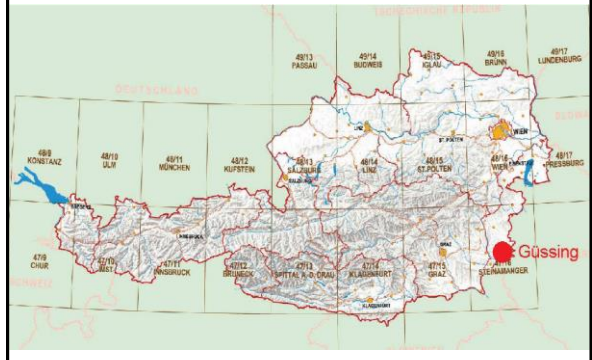
Fast Internal Circulating Fluidized Bed (FICFB)



Elektrárna FICTFB

Institute	Instalace	Období
TU Vídeň	10 kW pokusné zařízení	1993-1996
TU Vídeň + AE Energietechnik	100 kW pilotní zařízení + čištění plynu	1997-2002
Renet Austria	8 MW demonstrační jednotka	2000-2004

Elektrárna v Grüssingu (Rakousko)



Základní údaje

- **Začátek stavby** Září 2000
- **Spuštění** Listopad 2001

- **Palivo** Dřevěná štěpka,
odpadní dřevo z
průmyslu (W=15-35 %)
- **Palivový příkon** 8 MW (2,3 t/h)
- **Elektrický výkon** 2 MW
- **Tepelný výkon** 4,5 MW
- **Elektrická účinnost** 25 %
- **Celková účinnost** 80 %

Složení výhřevného plynu

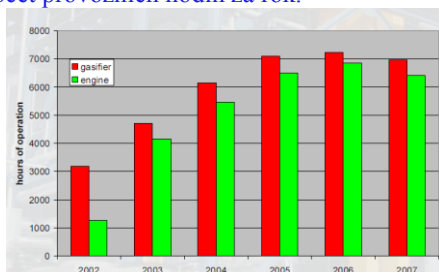
Vodík	H ₂	35-45 %
Oxid uhelnatý	CO	22-25 %
Oxid uhličitý	CO ₂	20-23 %
Methan	CH ₄	9-12 %
Ethen	CH ₂ =CH ₂	2-3 %
Dusík	N ₂	2-3 %

Palivo

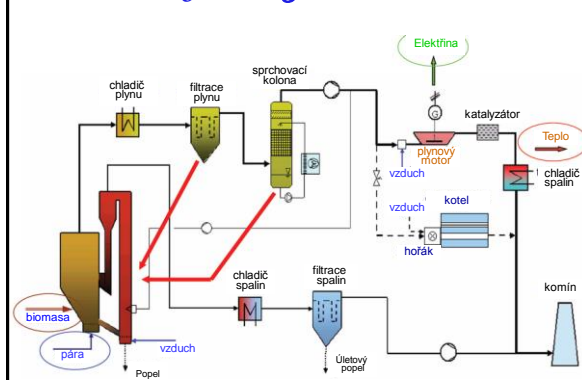


Doba provozu

Počet provozních hodin za rok.



Grüssing - schéma

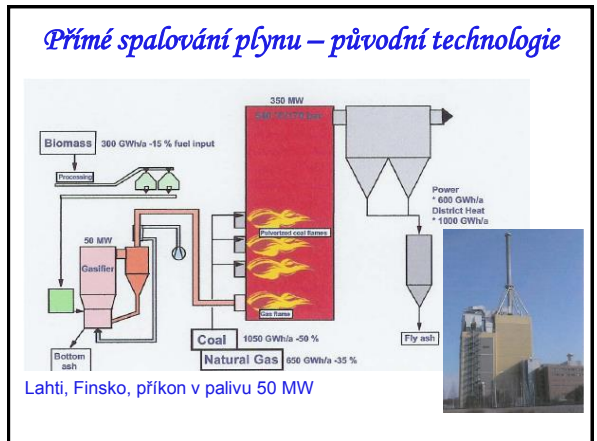
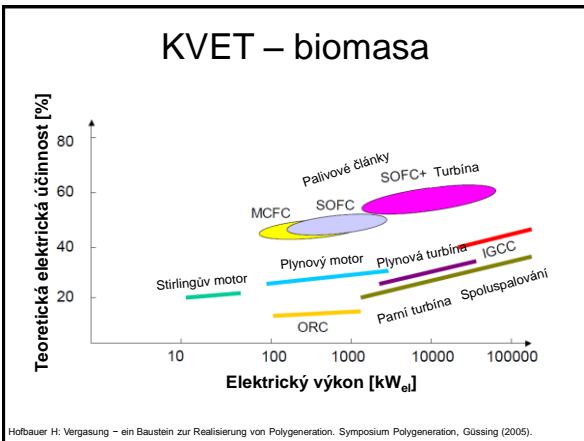
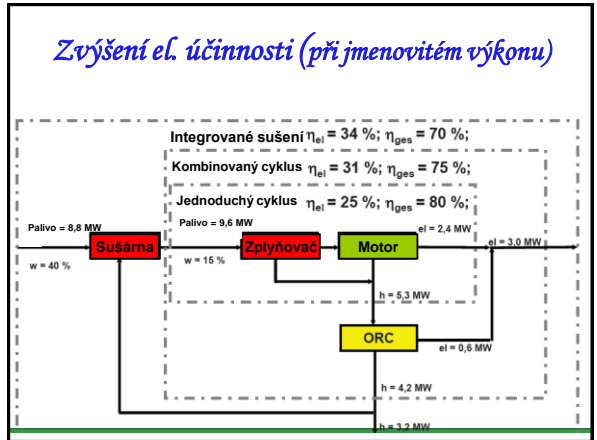
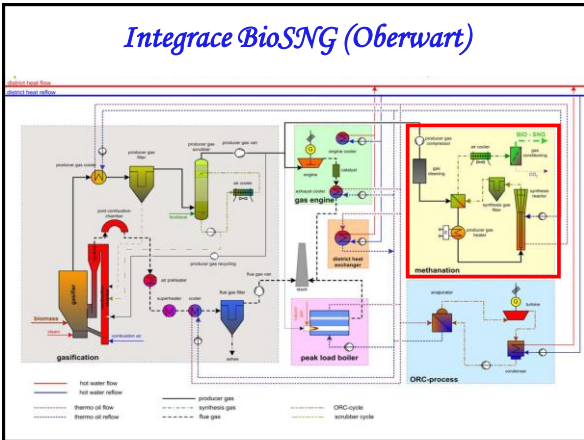
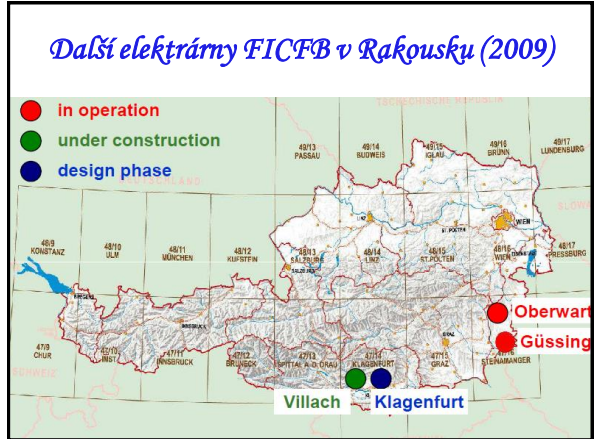


Využití tepla a elektřiny

- **Dálkové topení.**
 - 300 rodinných domů.
 - 50 obecních objektů.
 - 10 průmyslových aplikací (sušárny).
- **27 km topných potrubí.**
 - Dvě různé teploty.
- **Cena tepla (do sítě)** 2,0 Centy/kWh.
- **Cena tepla (spotřebitel)** 3,9 Centů/kWh.
- **Elektřina (do sítě)** 12,3 Centy/kWh.

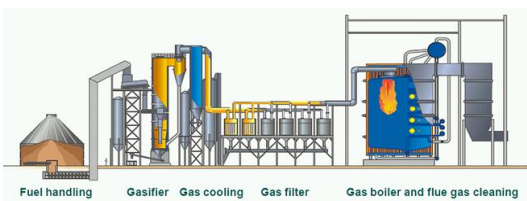
Další FICFB

Location	Electricity production	Fuel / Electr. MW, MWel	Start up	Status
Güssing, AT	Gas engine	8,0 / 2,0	2002	operational
Oberwart, AT	Gas engine / ORC	8,5 / 2,8	2008	operational
Villach, AT	Gas engine	15 / 3,7	2009	construction
Klagenfurt, AT	Gas engine	10 / 2,5	2010	contract signed
Ulm, DE	Gas engine / ORC	20 / 6,4	n. d.	contract for detailed engineering
Geislingen, DE	AER-process/ Gas engine / ORC	10 / 3,2	n. d.	contract for detailed engineering



Přímé spalování plynu – současná technologie

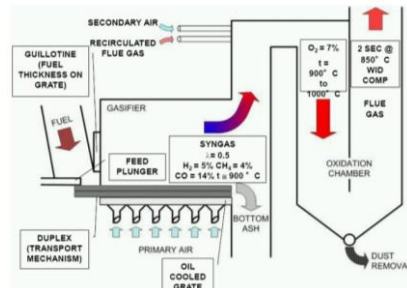
- Lahti, Finsko, rok uvedení do provozu 2012
- Palivo: TAP, cca 250 tis. t/rok
- Vlastník: městská organizace Lahti Energia
- Generátor: fluidní 2x 80 MW
- Výstupní teplota plynu z generátoru 900 °C
- Čištění plynu: keramické filtry
- Vstupní teplota plynu do parního kotle 400 °C
- Elektrický výkon 50 MW, maximální tepelný výkon 90 MW
- CZT (parametry páry 540 °C a 12,1 bar)



<http://www.lahitgasification.com>, <http://www.metsu.com>, <http://www.cpga.cz/>

Dvoustupňové spalování komunálního odpadu I

ENERGOS Limited – skupina ENER-G



<http://www.energ-group.com/energy-from-waste/energos-technology/>, <http://www.cpga.cz/>

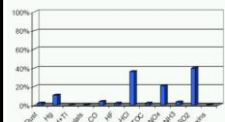
Dvoustupňové spalování komunálního odpadu II

ENERGOS Limited, skupina ENER-G

- šest zařízení v provozu (z toho čtyři v Norsku, jedno v Německu a jedno ve Velké Británii)
- celkem 500 tis. provozních hodin
- dalších šest projektů ve stádiu výstavby a brzkého zprovoznění – všechny se nacházejí ve Velké Británii (Newport, Irvine, Lincolnshire, Barry, Doncaster, Knowsley a Glasgow).

Component	Plant	Capacity	Location	Year	Status
1	1	100	Norway	2001	Operating
2	2	100	Norway	2001	Operating
3	3	100	Norway	2001	Operating
4	4	100	Norway	2001	Operating
5	5	100	Norway	2001	Operating
6	6	100	Germany	2001	Operating
7	7	100	UK	2001	Operating
8	8	100	UK	2001	Operating
9	9	100	UK	2001	Operating
10	10	100	UK	2001	Operating
11	11	100	UK	2001	Operating
12	12	100	UK	2001	Operating
13	13	100	UK	2001	Operating
14	14	100	UK	2001	Operating
15	15	100	UK	2001	Operating
16	16	100	UK	2001	Operating
17	17	100	UK	2001	Operating
18	18	100	UK	2001	Operating
19	19	100	UK	2001	Operating
20	20	100	UK	2001	Operating
21	21	100	UK	2001	Operating
22	22	100	UK	2001	Operating
23	23	100	UK	2001	Operating
24	24	100	UK	2001	Operating
25	25	100	UK	2001	Operating
26	26	100	UK	2001	Operating
27	27	100	UK	2001	Operating
28	28	100	UK	2001	Operating
29	29	100	UK	2001	Operating
30	30	100	UK	2001	Operating

ISWA White Paper on Alternative Waste Conversion Technologies, 2013



<http://www.energ-group.com/energy-from-waste/energos-technology/>, <http://www.cpga.cz/>

Představení realizací víceúrovňového generátoru (TARPO – success story)

Lokalita	Motor	Zahájení provozu generátor	Instalovaný výkon
Kněževés	ČKD, 2x6S160 271, R6	2011 GP200	2x100 kW _e
Odry	Jenbacher 2xJ316 (48l, R16)	2012 2xGP500	2x500kW _e
Olešnice	ČKD, 2x6S160	2013 GP200	2x100 kW _e
Kozomín	Jenbacher, 3xJ320 (60l, R20)	2014 5xGP750	2,1MW _e (3x710kW _e) 4,2MW _e (plyn)
Dobříš	Guascor, FBLD480 (48l, V16)	2014 1xGP750	650 kW _e
Handlová	Guascor, FBLD560 (56l, V16)	2014 2xGP750	2x750kW _e

Kogenerační jednotka GP300/GP200

V březnu 2012 jednotka GP300 byla nahrazena dvoustupňovým zplyňovacím generátorem GP200



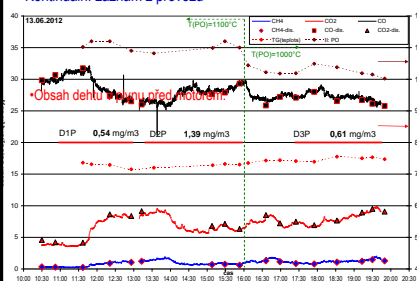
Základní parametry jednotky GP 300:
Spotřeba paliva: 94,5 kg/hod (90kW_e)
Účinnost zplyň. Gen.: 75 %
Odstaňování TZL: Keramické svíčkové filtry, 400-520°C
Odstaňování dehtu: olej, výpřeka: 60°C/regenerace 120°C
Účinnost celková: ~24 %

Základní parametry jednotky GP 200:
Spotřeba paliva: max. 90 kg/hod (100kW_e)
Účinnost zplyň. Gen.: min. 85 %
Odstaňování TZL: Keramické svíčkové filtry, 390-520°C
Odstaňování dehtu: olejová výpřeka - odpojka
Účinnost celková: ~27 %

Spalovací motor: 6S160 ČKD Hořovice (6 válců, 27 dm³)
Kompresní poměr: 11,5:1
Účinnost kog. jedn.: 32 %

• Průměrné složení plynu z prototypu dvoustupňového generátoru (200kW_e, Kněževés)

Kontinuální záznam z provozu



Průměrné složení plynu

sloučenina, %	průměr
O ₂ ve vzorku	0,95
CO ₂	5,90
H ₂	21,87
CO	27,65
CH ₄	0,89
N ₂	41,76
Ar*	0,49
ethan	0,0015
acetylen	0,0002
propan	-
butany	-
1,3-butadien	-
propin	-
1-butien-3-in	-
cyklopentadien	-
metan	0,0005
toluen	0,0003
ostatní	0,0002
Výhřevnost (1515C), MJ/m ³	6,86

Kněžves

GP200 pohled ze zadní části, odběr vzorku pro stanovení obsahu dehtu, 2011/12

Horký filtr

Patrony HF

Ivo Pícek, popisuje úpravy CKD motoru

Vícetupňový zplyňovací systém TARPO

Zjednodušené schéma procesu TARPO : AIR

VN

IC engine

2 PYROLYSER

3 POX

gas generator

4 cooling I

5 gas cleaning

6 cooling II

cool clean gas

ash removal

char

reduction area

exhaust gases

fuel

fuel input

cool clean gas

Základní parametry komerčního projektu GP500, navrhovaného v r 2010 pro Odry:

Jmenovitý el. výkon	2x 500 kW _e
Spotřeba dřevní štěpky (abs. suché)	360 kg/hod
Velikost štěpky	20 až 80 mm (1-80 mm)
Vlhkost	až 60%
Odpadní teplo chladicí vody (80°-90°C)	650 kW
Elektrická účinnost	32,4% (min. 30%, max. 34%)
Specifická spotřeba paliva (abs. suché)	cca 0,7 kg/kWh _{el}
Specifická el. práce	cca 1,43 kWh _e /kg

Vlastnosti použitého paliva

Distribuce velikosti a obsah popelce ve frakcích štěpky

Základní vlastnosti dřevní štěpky

Vlastnost	Veličina	vzorek D2S		
stav palivá		a	d	daf
vlhkost, W	% hm.	30.11	0.00	0.00
hořlavina, h	% hm.	67.35	96.36	100.00
popel, A	% hm.	2.54	3.64	0.00
prchavá h., V	% hm.	54.39	77.82	80.75
fixní uhlík FC	% hm.	12.96	18.54	19.25
Qs	MJ.kg ⁻¹	13.725	19.640	20.379
Qi	MJ.kg ⁻¹	12.853	18.390	19.085
C	% hm.	34.28	49.05	50.90
H	% hm.	4.22	6.03	6.26
N	% hm.	0.18	0.26	0.27
O*	% hm.	28.67	41.02	42.57
S celk	% hm.	-	-	-

obeah, % hm.

frakce paliva

ořech, % hm.

podíl frakce

obsah popelce

Typický vzhled paliva

Odry

Odry

celný pohled na elektrárnu

Vstup paliva do prostoru sušárny

Fiera při provozu

Generátor plynu GP500

Olešnice

GP200

Řečezd generátoru

Čistý plyn

Sušárna paliva

Dobříš

Generátor GP750

Pojistný filtr/HEPA

Motorgenerátor 650kW Guascor, FBLD480

Filtr pro záchyt TZL (-120° C)

Centrum aplikovaného výzkumu Dobříš (<http://www.cavd.cz/index.php?page=uvod&lang=CZ>)

Kozomín

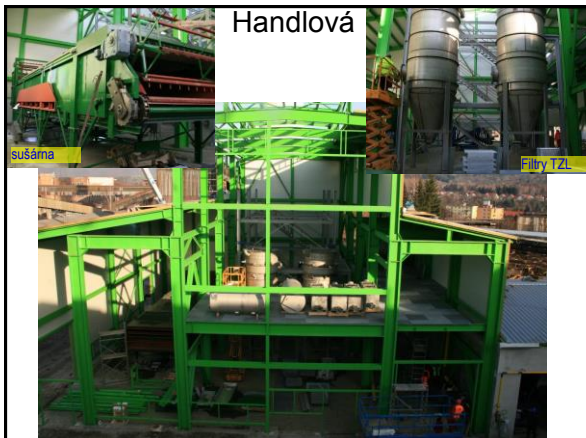
Pohled na generátorovou halu s pěti generátory GP750



Handlová



Handlová



Účinnost výroby elektrické energie

Elektrická účinnost celého kogeneračního systému (η) je definována násobkem účinnosti výroby plyného paliva (η_{pl}) a hodnotou účinnosti výroby elektrické energie v kogenerační jednotce (η_{kj})

$$\eta = \eta_{pl} \cdot \eta_{kj}$$

Zařízení použitá pro výrobu elektrické energie	Účinnost konverze η_{pl} , %	Účinnost výroby, η_{kj} , %	Celková účinnost η , %	Náklady tis Kč./KW _e
1. Spalovací elektrárna s parní turbínou (11 MW _e) (Zelený kotol, 33 MW _t), 2010, Píseň	-	-	27,6	80
2. Souproutý generátor „Imbert“ (100 kW _e) (ZMT) Boss engineering s.r.o., Louka, 2005, Staré město, 2009	65	max. 30 líaz M1,2, 12dm ³ , 6 C	max. 20	60
3. Souproutý „GP300“ (200 kW _e) Tarpo s.r.o., Kněžves, 2009	75	~ 32 ČKD 6S160 27 dm ³ , 6C	~ 24	60-70
4. Fluidní generátor/diesel motor, 180/110kW _e *** BURKHARD GMBH,	-	MAN D26, 12,4 dm ³ , 6 Cyl.	31,6	vysoké
5. Prototyp výcestupového generátoru (200kW _e) GP300 Tarpo s.r.o., Kněžves, 2011/2012	min. 85	~32 (viz 3)	~ 27,2	80-90
6. Dvoustupový generátor ODY (2x530kW _e) Tarpo s.r.o., Air Technic s.r.o., 2012	~ 90	~ 36*	~ 32,4	80-100

* Jenbacher AB, J316 GC (J320GC)

** Wood Gasifier with cogeneration unit, BURKHARD GMBH, calculation on 110 kg/h pellets and 3,7 kg/h oil

***The first commercial implementation in CR Jenbacher

Účinnost výroby elektrické energie z biomasy a tuhých alternativních paliv

Technologie	Stav vývoje	Výkon [MW]	η [%]	citace
Parní turbína s otevřeným cyklem	K	0,5-240	35-47	1
Plynová turbína s uzavřeným cyklem	V	0,1-240	18-30	3
ORC	D,K	0,3-1,5	10-18	3
Šroubový parní stroj	D	0,02-1,0	10-12	4
Stirlingův motor	D	<0,1	5-45	5
Spalovací motor	D	0,1-2,0	22-45	5
Spalovací plynová turbína	K	0,1-240	22-42	5,1
Mikroturbína	V	<0,1	22-30	5
Paroplynový cyklus IGCC	D	>10	39-45	1
Palivový článek	V	<1	30-63	5

stav vývoje: V- výzkum a vývoj, D- demonstrační jednotky, K- konečné využívání

VATAPOLLOS, Konstantinos, David ANDREWS, Johan CARLSSON, Ioanna PAPAIOANNOU a Ghassan ZUBI. Study on the state of play of energy efficiency of heat and electricity production technologies. Joint Research Centre, Luxembourg: Publications Office. ISBN 978-92-76-0732-2.
2. Seebregts, A.J. Gas-Fired Power, Energy Technology Systems Analysis Programme, Technology Brief EB2, April 2010. http://www.iea-etsap.org/web-techs/pdf/eb2-gas_fired_power-gs-ad-gst.pdf
3. Eorby v 2009. Final report: Evaluation of improvements in end-conversion efficiency for biomass production. Retrieved October 16, 2011 from http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/doc/2010_report/2010_02_25_report_conversion_efficiency.pdf
4. Screw type engine. BPS BIOENERGIESYSTEME GMBH. <-Electricity from biomass-> [online]. [cit. 2014-01-14]. Dostupné z: <http://www.bps-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/screw-type-engine.html>
5. Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies U. S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership September 2007. Dostupné z: http://www.epa.gov/chp/documents/biomass_chp_catalog.pdf



Děkuji za pozornost.

Ing. Michael Pohořelý, Ph.D.
tel.: 737 251 462
email: pohorely@icpf.cas.cz
email: pohorelm@vscht.cz

Fluidní generátor
Ústav chemických
procesů AV ČR, v.v.i.