



# Vícestupňové zplyňování dlouhá cesta od myšlenky k realizaci

Skoblia Siarhei<sup>2</sup>, Picek Ivo<sup>1</sup>, Beňo Zdeněk<sup>2</sup>, Pohořely Michael<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>TARPO s.r.o

<sup>2</sup>Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha

<sup>3</sup>Ústav energetiky, VŠCHT Praha

<sup>4</sup>Ústav chemických procesů AV ČR, v.v.i.

**Nové technologie pro energetické využití odpadů pyrolýzou a zplyňováním**

**5. prosince 2013, Hotel Jihlava**

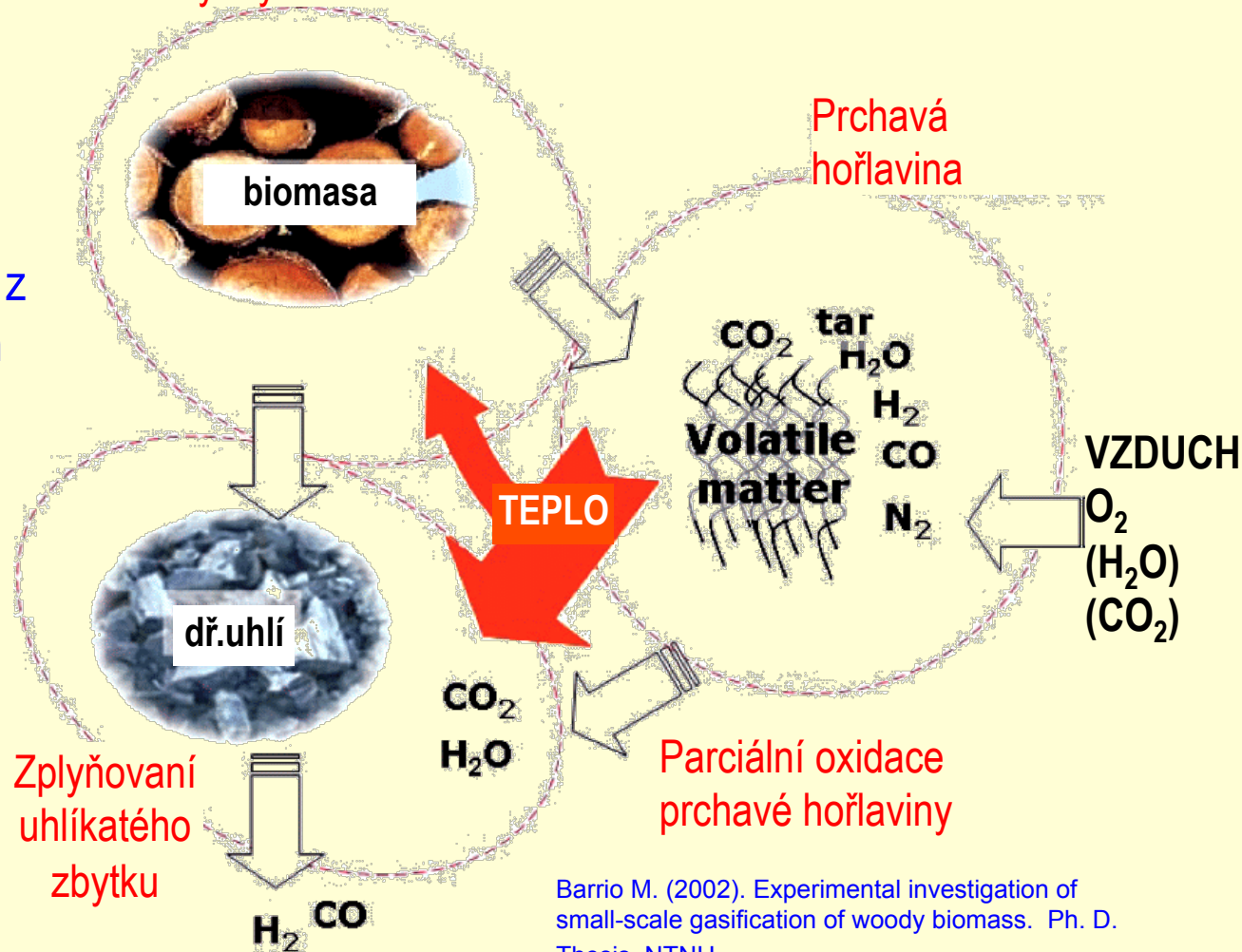
# Zplyňování

biomasa + O<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>) +

... → plyn + C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> + dehet + prach

$$\eta_{pl} \approx \frac{Q_{\text{PLYN}}}{Q_{\text{PALIVA}}}$$

Proces zplyňování má komplexní povahu a je složen z více dílčích kroků zahrnujících **rychlou** pyrolýzu biomasy, **pomalejší** heterogenní reakci dřevného uhlí se zplyňovacím médiem, **rychlé** homogenní spalovací reakce zajišťující přívod tepla pro celý proces a další reakce probíhající v plynné fázi.



Barrio M. (2002). Experimental investigation of small-scale gasification of woody biomass. Ph. D. Thesis, NTNU.

# Účinnost výroby elektrické energie

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

Elektrická *účinnost celého kogeneračního systému* ( $\eta$ ) je definována násobkem *účinnosti výroby plynného paliva* ( $\eta_{pl}$ ) a hodnotou *účinnosti výroby elektrické energie v kogenerační jednotce* ( $\eta_{kj}$ )

Zařízení použitá pro výrobu elektrické energie	Účinnost konverze $\eta_{pl}$ , %	Účinnost výroby, $\eta_{kj}$ , %	Celková účinnost $\eta$ , %	Náklady tis kč./kW <sub>e</sub>
1. Spalovací elektrárna s parní turbinou (11 MW <sub>e</sub> ) (Zelený kotelník, 33 MW <sub>t</sub> ), 2010, Plzeň	-	-	27,6	80
2. Souproudý generátor „Imbert“ (100 kW <sub>e</sub> ) (ZMT) Boss engineering s.r.o., Louka, 2005, Staré město, 2009	65	max. 30 liaz M1.2, 12 dm <sup>3</sup> , 6 C	max. 20	60
3. Souproudý vrstevnatý „GP300“ (200 kW <sub>e</sub> ) Tarpo s.r.o., Kněžves, 2009	75	~ 32 ČKD 6S160, 27 dm <sup>3</sup> , 6C	~ 24	60-70
4. Fluidní generátor./diesel motor, 180/110 kW <sub>e</sub> ** BURKHARD GMBH,	-	MAN D26, 12,4 dm <sup>3</sup> , 6 Cyl.	31,6	vysoké
5. Prototyp dvoustupňového generátoru (200 kW <sub>e</sub> ) GP200 Tarpo s.r.o., Kněžves, 2011/2012	min. 85	~32 (viz 3) max. 36 (viz 6)*	~ 27,2 ~ 30,6	80-90 80-100
6. Dvoustupňový generátor ODRY (2x530 kW <sub>e</sub> ) Tarpo s.r.o., Air Technic s.r.o., 2012	~ 90	~ 36*	~ 32,4	80***

\* Jenbacher AB, J316 GC (J320GC)

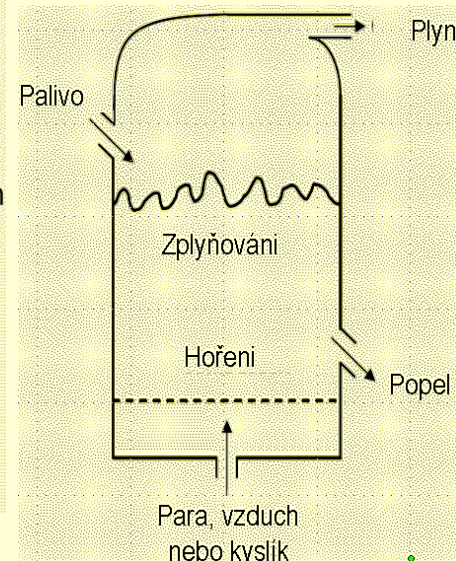
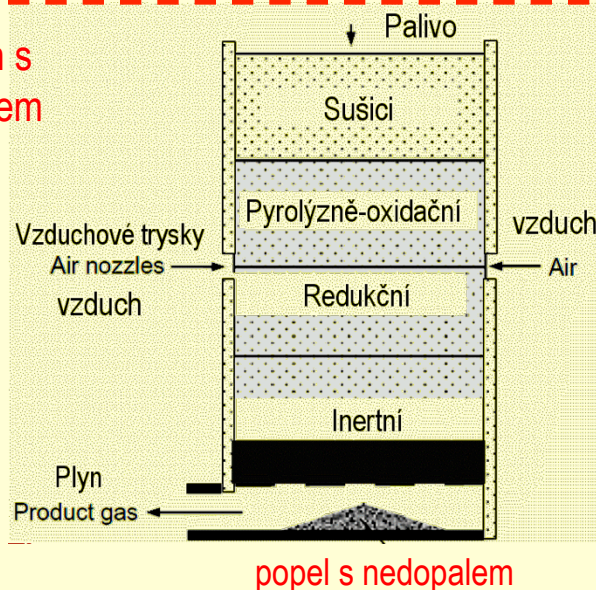
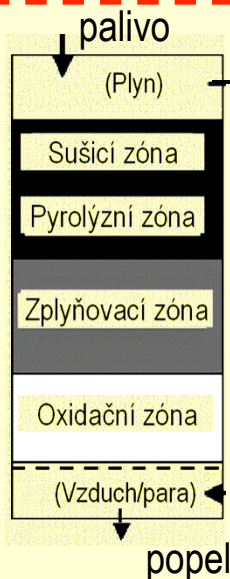
\*\* Wood Gasifier with cogeneration unit, BURKHARD GMBH, calculation on 110 kg/h pelets and 3,7 kg/h oil

\*\*\*The first commercial implementation in CR Jenbacher,

J624\* GC with 2 stage turbocharger  $\eta_{kj}$  = 46,1% 4,35 MW<sub>e</sub>, J920\* GC with 2 stage turbocharger  $\eta_{kj}$  = 48,7%(NG) 9,5 MW<sub>e</sub>

# Vlastnosti zplyňovacích generátorů

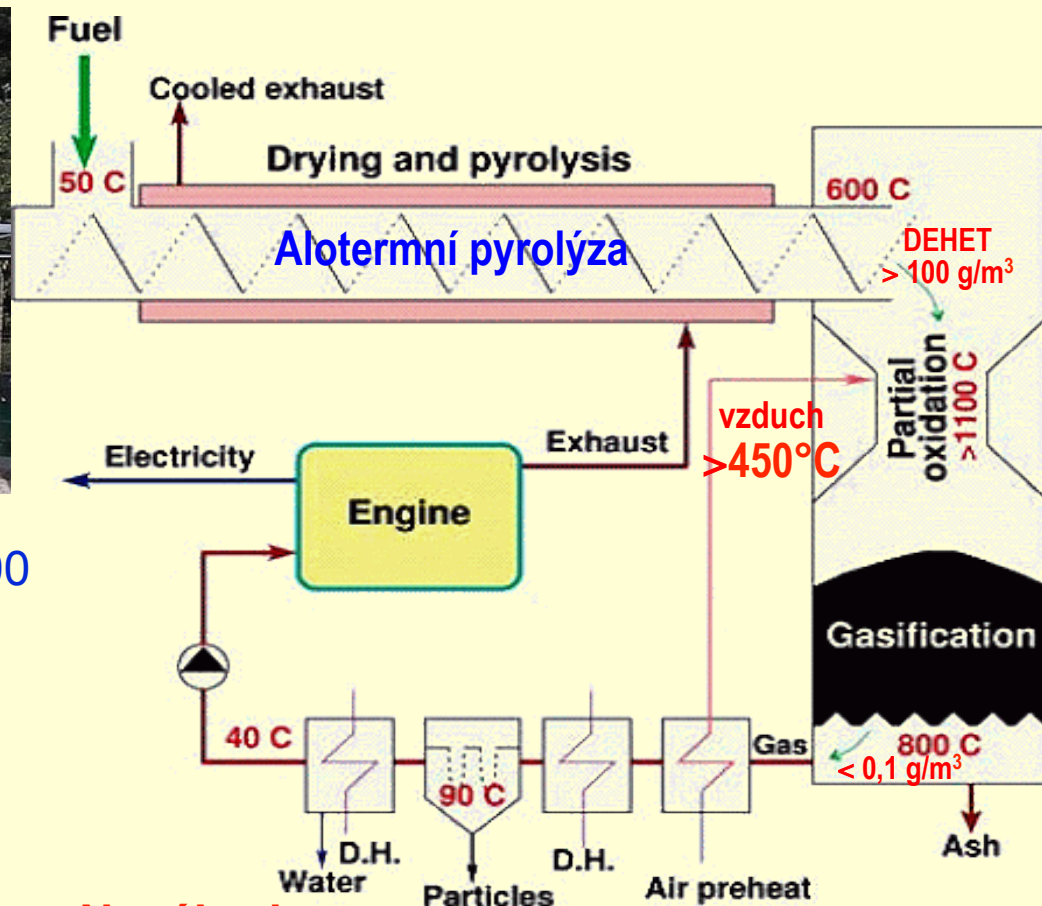
Vlastnosti plynu z generátoru	protiproudý	souproudý	fluidní
Výstupní teplota. [°C]	90-200	200-700	700-900
TZL [g.m <sup>-3</sup> ]	1-10	1-8	5-50
DEHET [g.m <sup>-3</sup> ]	>100	0,1-5	1-10
typ dehtu	primární/terciární	terciární/sekundární	primární/terciární/sekundární
Spalné teplo [MJ. m <sup>-3</sup> ]	5,5-7	5-5,5	4,5-5,5
Výhody	vysoká termická účinnost ( $\eta_{HE} > \eta_{CE}$ ) vysoká konv. paliva, vlhkosti paliva	nízký obsah dehtu !!!! za určitých podmínek „tarfree“ gas	flexibilní provoz (T,λ, katalizátor) více stupňů volnosti
Nevýhody	vysoký obsah dehtu, nebezpečné odpadní vody	Velikost zařízení max 1-2 (10) MW <sub>t</sub> vysoké požadavky na palivo vlhkost v palivu < 15-20 %	Vysoký obsah prachu
Účinnost $\eta$ [%]	65-70	60-70	60-65





# Dvoustupňový zplyňovací generátor Viking

Základním principem generátoru je prostorové oddělení zóny sušení a pyrolýzy od oxidační a redukční zóny, využití dodatečného externího tepla horkého plynu a spalin



**Viking** o výkonu 75kW<sub>t</sub> DTU (DK), 2000

Účinnost zplyň. Gen.: min. 90 %

Tepelný výkon: 70 kW<sub>t</sub>

Elektrický výkon: 17,5 kW<sub>e</sub>

Účinnost celková.: ~25 %

## Výhody:

- vysoký stupeň využití tepla,
- **95% účinnost** ( $\eta_{CE}$ ) výroby studeného plynu
- nižší podíl balastu v plynu ( $N_2, CO_2$ ),  $\uparrow Q_s$ ,
  - Nízký obsah dehtu <50 (10) mg/m<sup>3</sup> (tarfree gas) !!

## •Nevýhody:

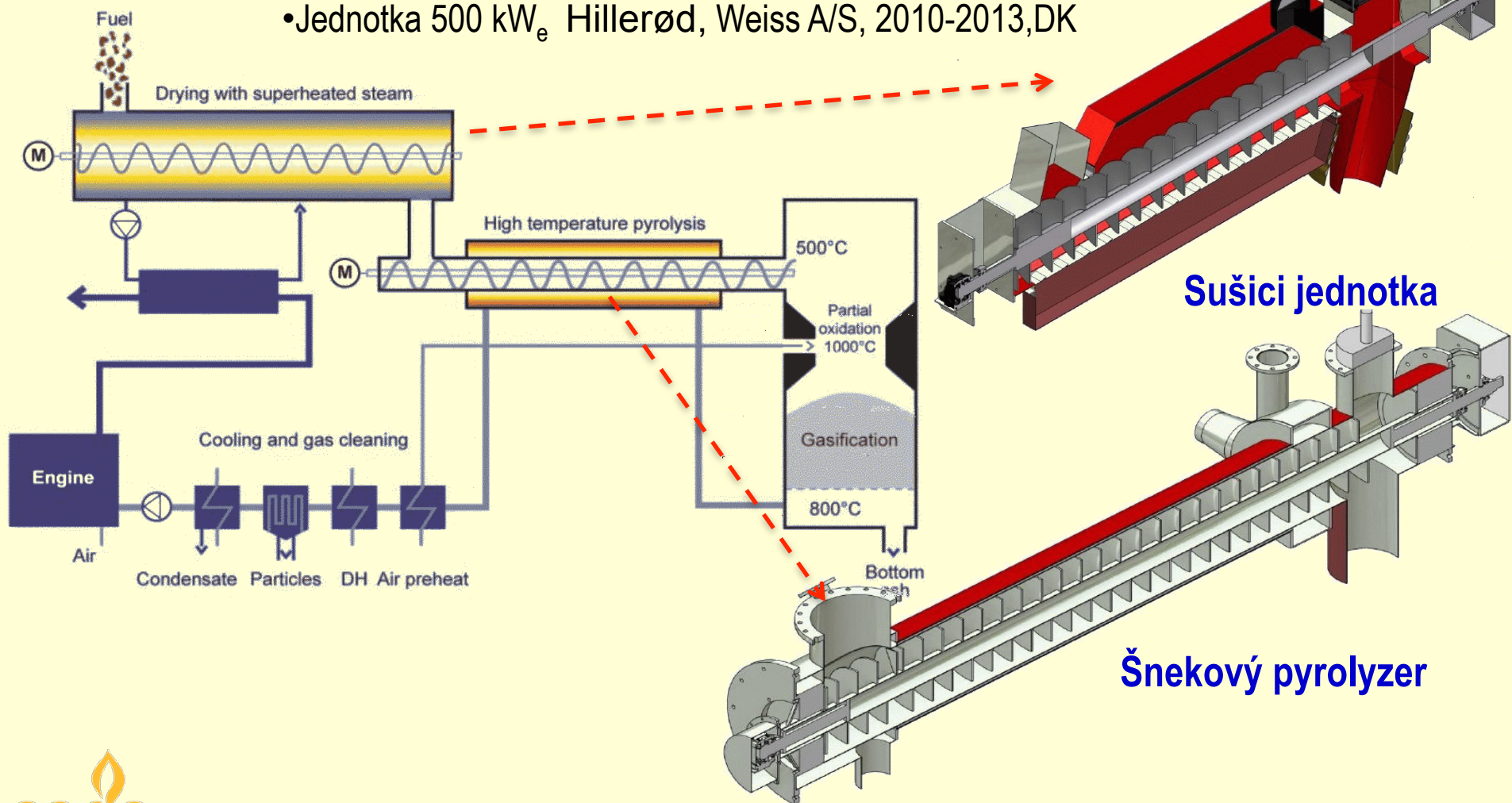
- nepřímý ohřev paíva pomocí šneku komplikuje snadné zvyšování výkonu Vikingu (**scale up**),
- problémy s vynášením popelovin roštem (typické pro souproud)

# Up scale generátoru Viking

zvýšování výkonu generátoru Viking bez jeho zásadního konstrukčního re-designu není možné a je hlavní překážkou široké aplikace uvedené technologie v praxi !

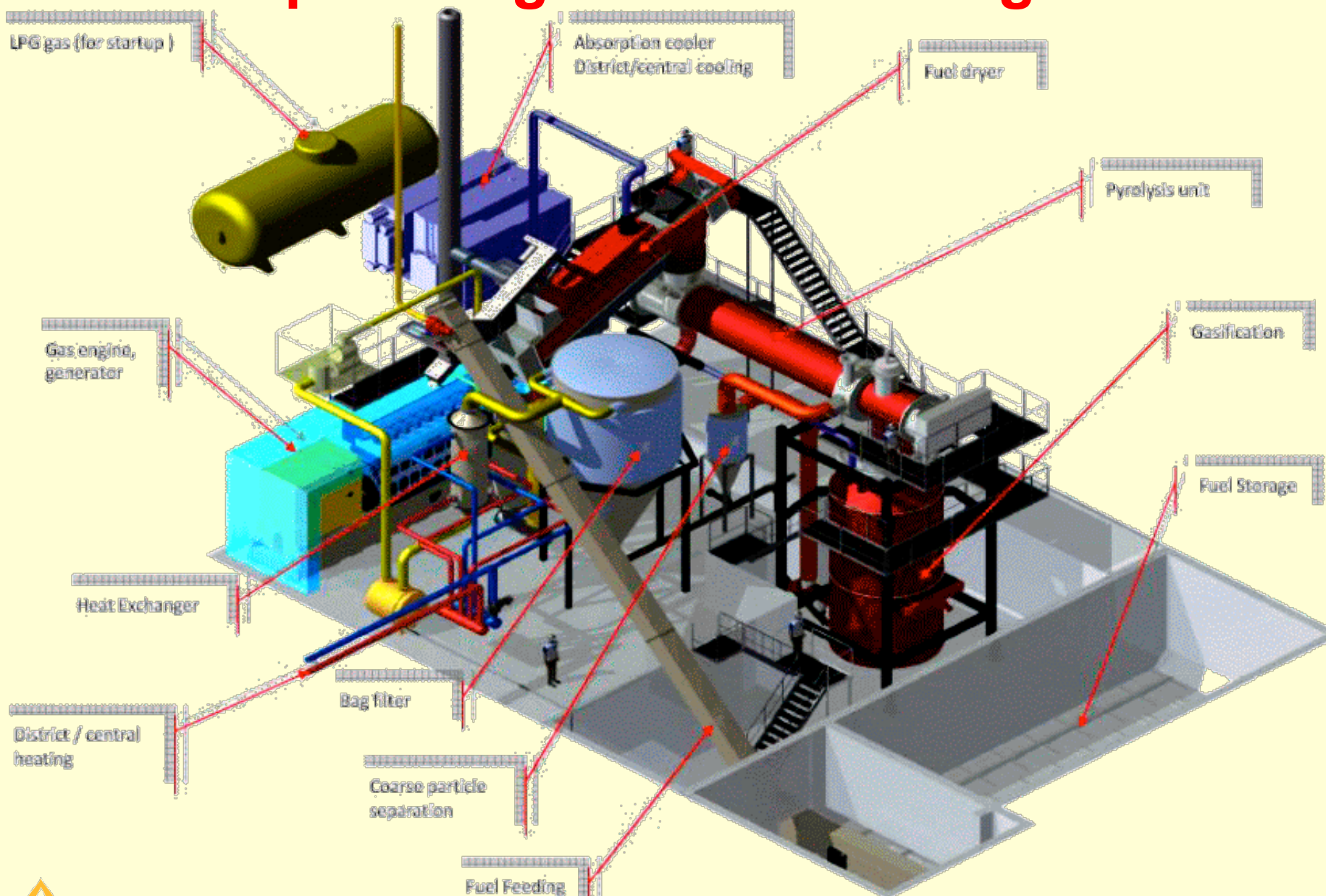
## Komerční realizace (up scale) Vikingu:

- Jednotka 200 kW<sub>e</sub> Hadsund, Weiss A/S, 2007, DK
- Jednotka 500 kW<sub>e</sub> Hillerød, Weiss A/S, 2010-2013, DK





# Up scale generátoru Viking

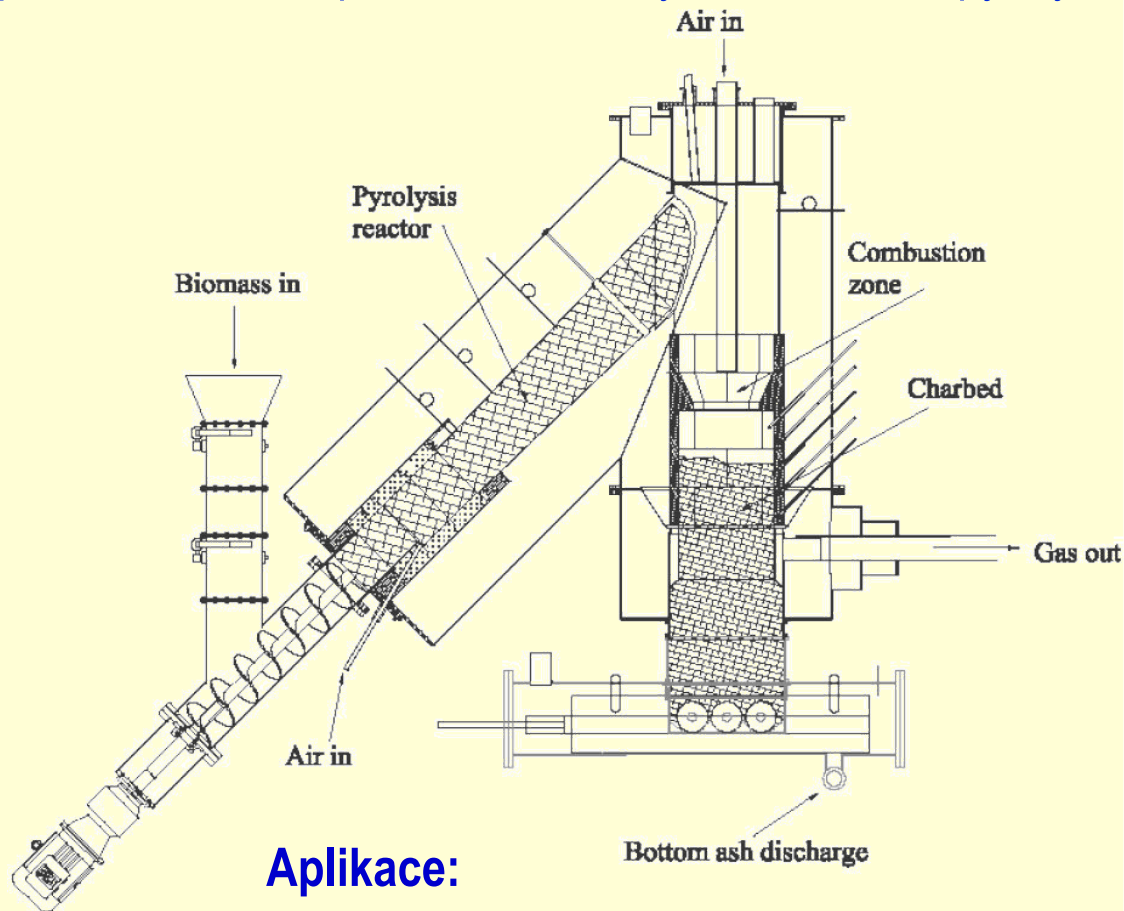


Jednotka 500 (1000) kW<sub>e</sub> Hillerød, Weiss A/S, 2010-2013,DK

Nové technologie pro energetické využití odpadů pyrolýzou a zplyňováním 5. prosince 2013, Hotel Jihlava

# Třístupnový generátor TK Energi

- části paliva se štěpí přímo v pyrolýzeru pomocí vzduchu předehřátého na  $600^{\circ}\text{C}$  ( $\lambda < 0,1$ )
- parciální oxidace prchavé hořlaviny a redukce na pyrolýzním zbytku (dřevním uhlím)

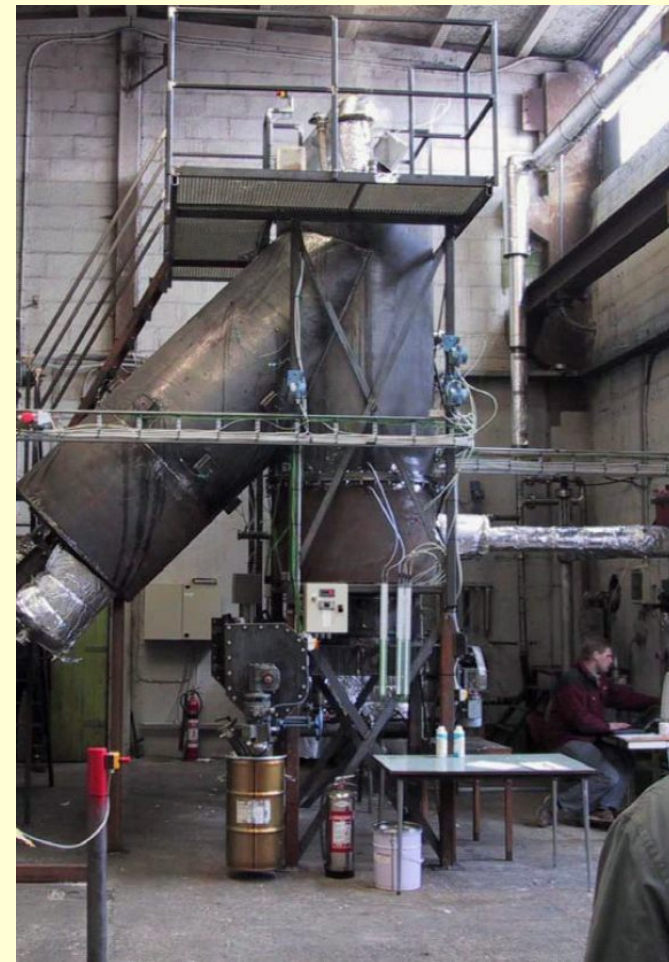


**Aplikace:**

125 kW<sub>e</sub>, TK Energi A/S

**Nevýhody:**

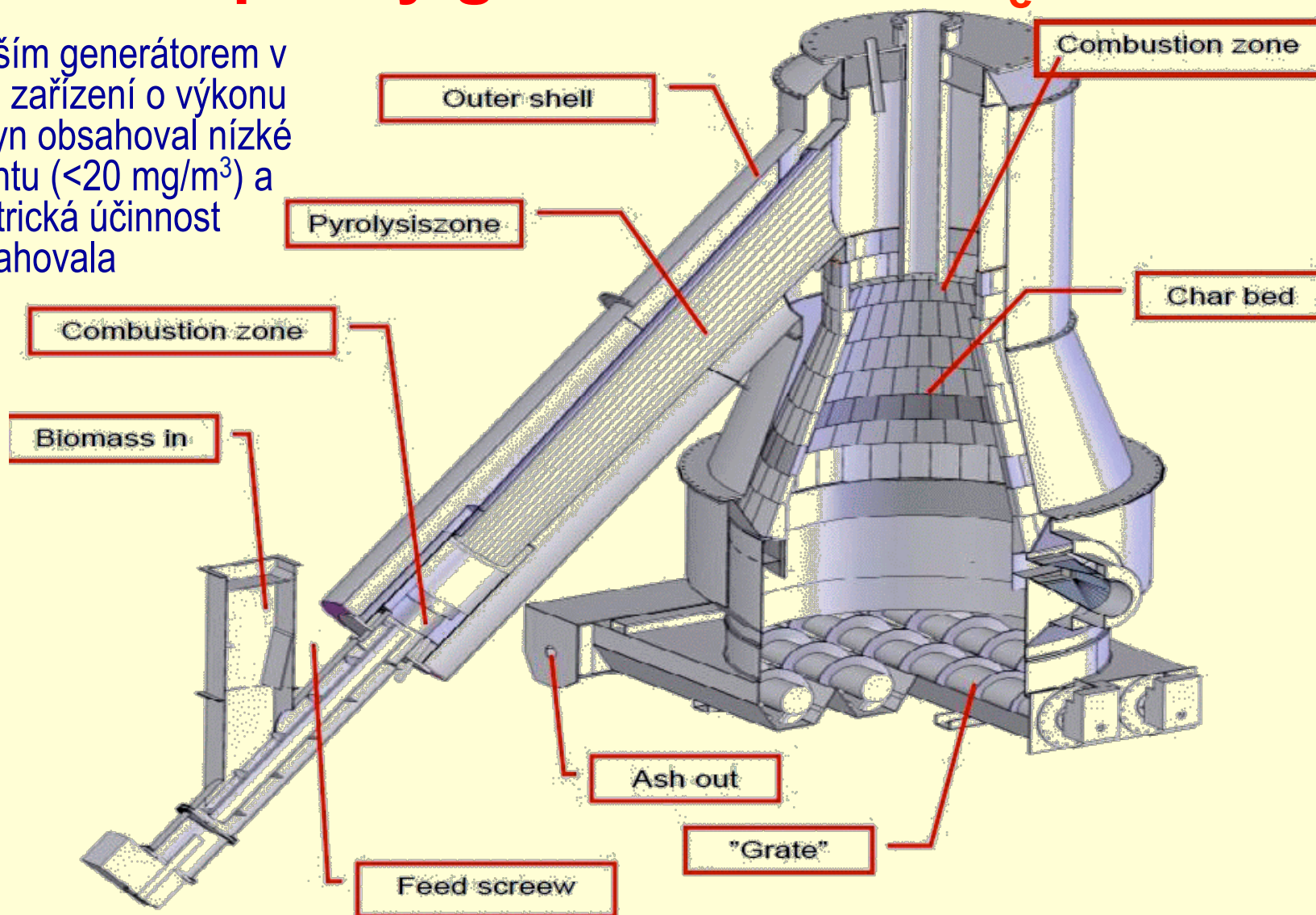
- Spalování části paliva v pyrolýzeru vede ke snížení účinnosti výroby studeného plynu ( $\eta_{ce} = 85\%$ )





# Třístupnový generátor 700kW<sub>e</sub>

Nejvýkonnějším generátorem v provozu bylo zařízení o výkonu 125 kW<sub>e</sub>. Plyn obsahoval nízké množství dehtu (<20 mg/m<sup>3</sup>) a celková elektrická účinnost zařízení dosahovala okolo 30 %.



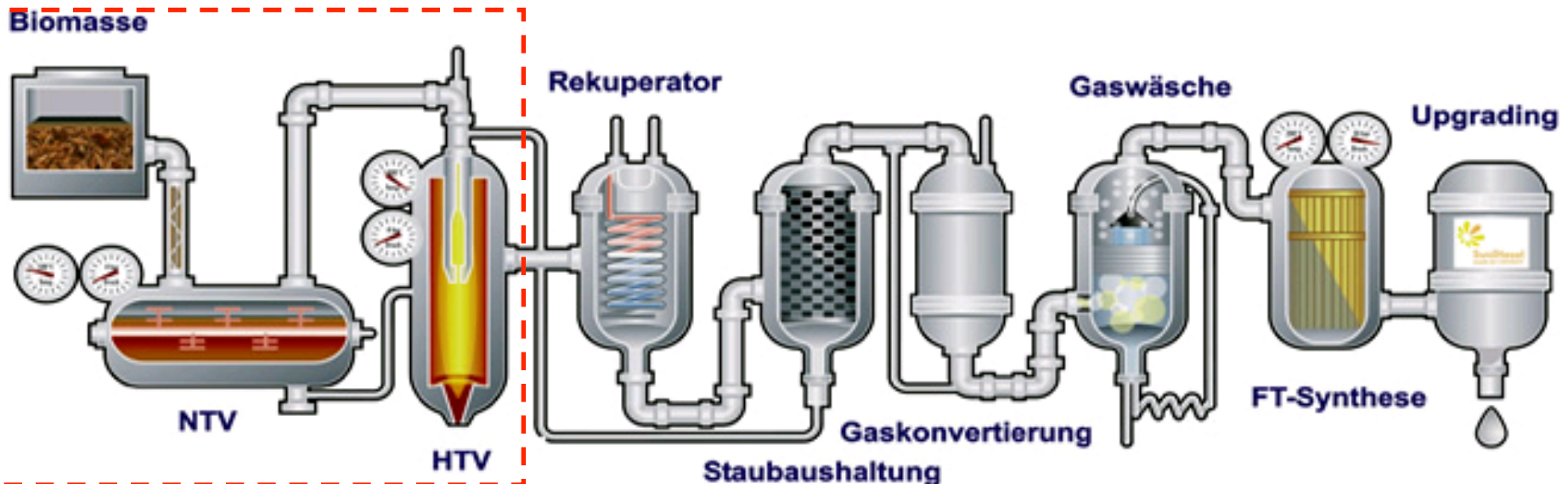
Největší projektovanou, ale bohužel nezprovozněnou jednotkou, byl 700kW<sub>e</sub> generátor zlepšené konstrukce v Gjol (2006,DK).

# Další víceetapňové zplyňovací systémy

## Generátory vyššího výkonu

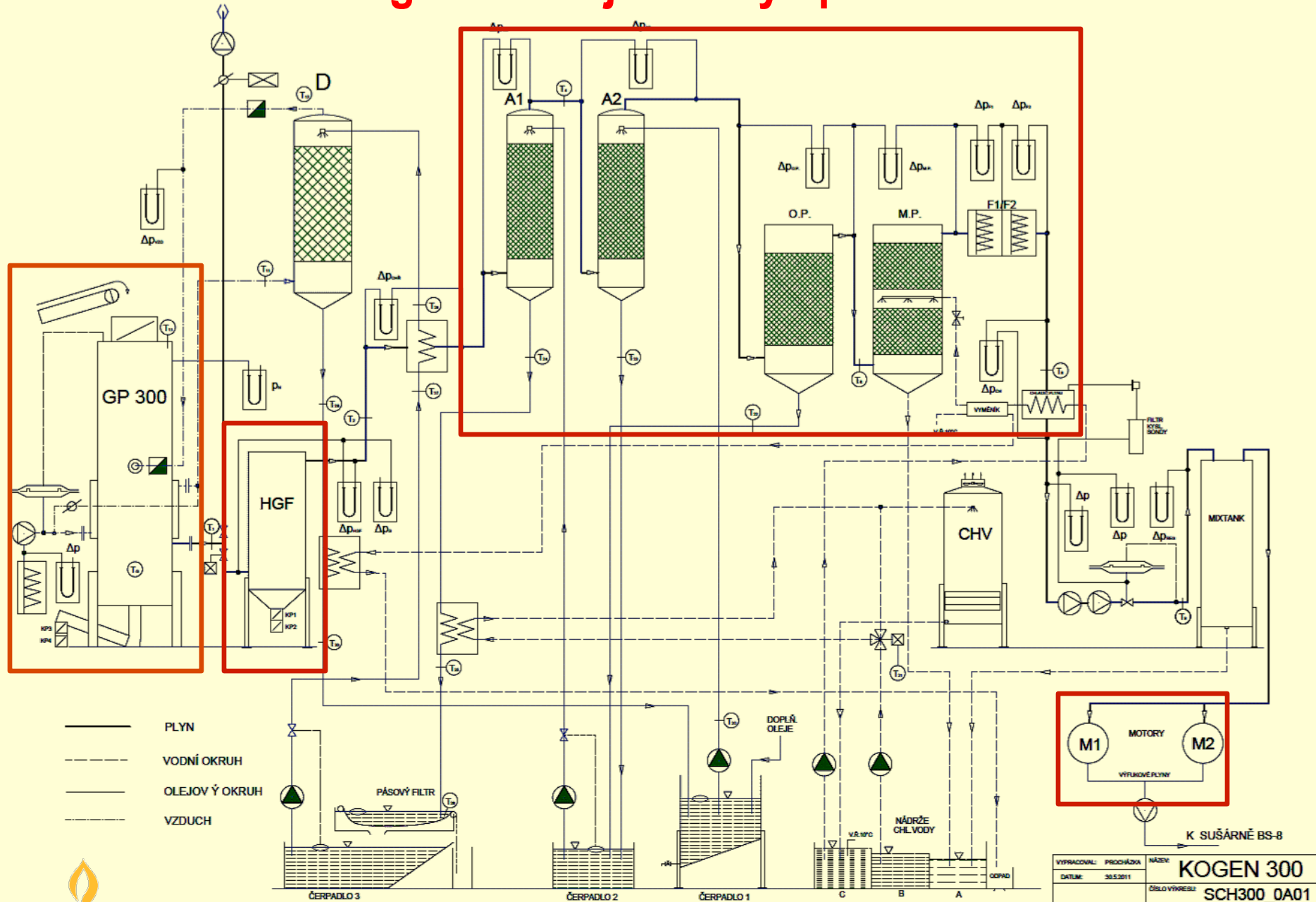
• **CHOREN Carbo-V** používanou pro výrobu syntézního plynu prostého dehtu a použitou pro Fischer-Tropschovou syntézu.

**Nízkoteplotní pyrolýza** (500°C) jemné rozemleté biomasy je prováděna ve speciálním pyrolýzeru. **zplyňování prchavé hořlaviny parokyslíkovou směsí** (1400°C) v hořákovém generátoru, kam se také nastříkuje pevný pyrolýzní zbytek, který v důsledku probíhajících endotermních zplyňovacích reakcí ochlazuje takto vznikající plyn na teplotu pod 800°C.



• **Low-Tar BIG koncept nebo Low-Temperature Circulating Fluid Bed** pyrolýza vstupního materiálu například pomocí předehřáté páry, případně víceetapňového nepřímého ohřevu paliva spalinami apod.

# Schéma kogenerační jednotky spol. TARPO GP300





# Kogenerační jednotka GP300/GP200

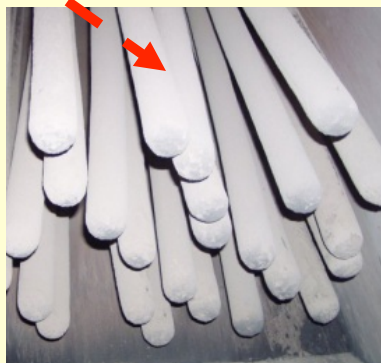
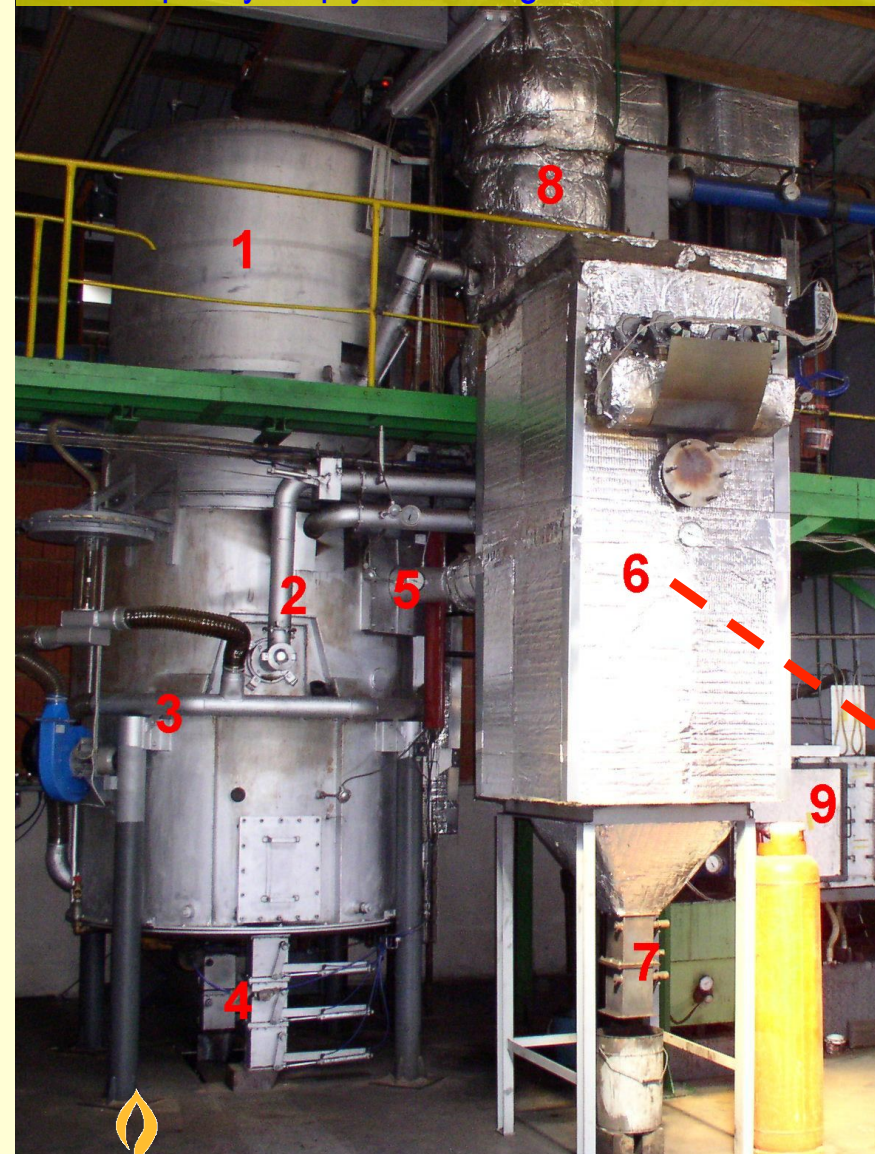
V březnu 2012 jednotka GP300 byla nahrazena dvoustupňovým zplyňovacím generátorem GP200.

## Základní parametry jednotky GP 300:

Spotřeba paliva:	94,5 kg/hod (90kW <sub>e</sub> )
Účinnost zplyň. Gen.:	75 %
Odstraňování TZL:	<b>Keramické svíčkové filtry, 400-520°C</b>
Odstraňování dehtu:	<b>olej. vypírka: 60°C/regenerace 120°C</b>
<b>Účinnost celková.:</b>	<b>~24 %</b>

## Základní parametry jednotky GP 200:

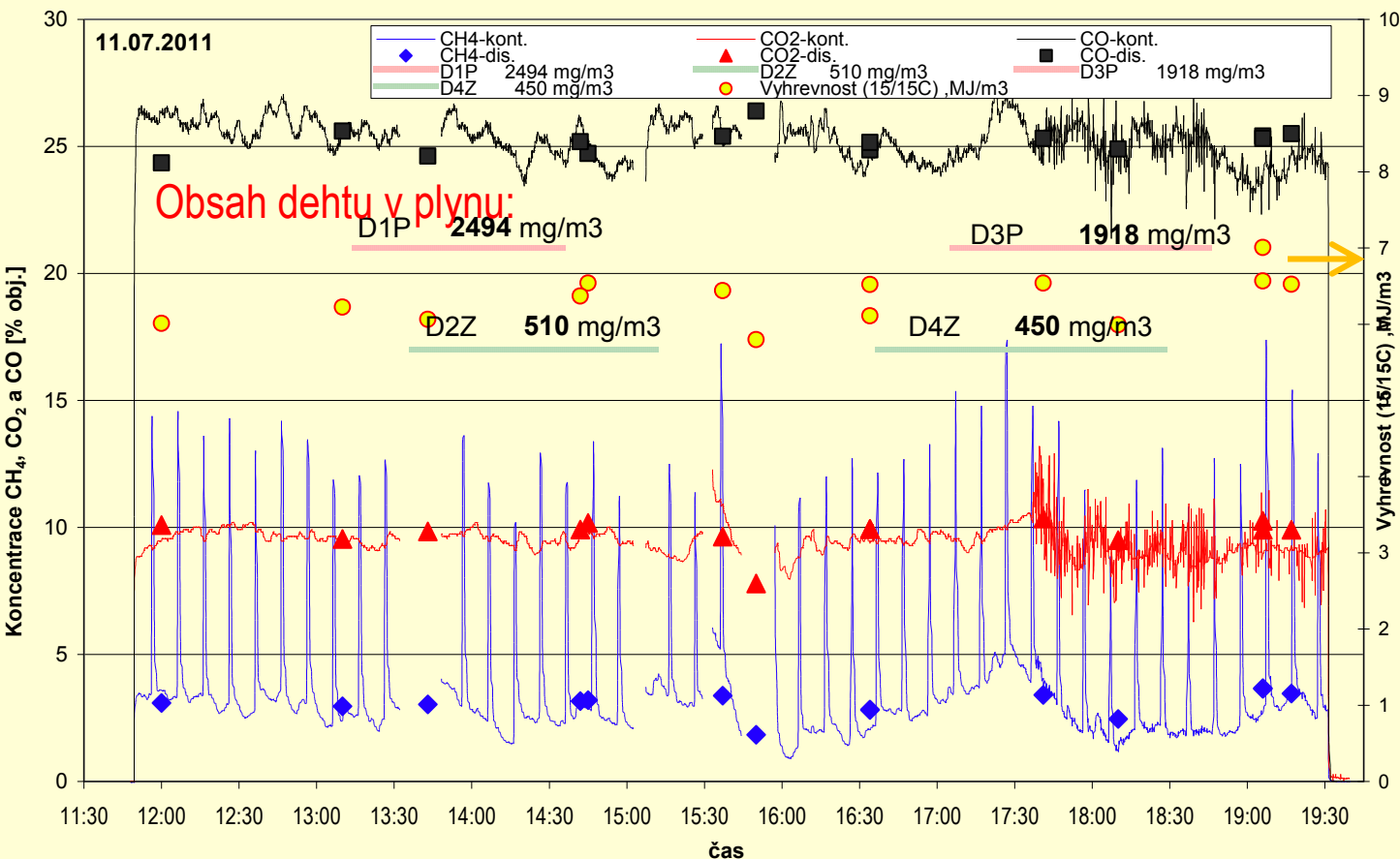
Spotřeba paliva:	max. 90 kg/hod (100kW <sub>e</sub> )
Účinnost zplyň. Gen.:	min. 85 %
Odstraňování TZL:	<b>Keramické svíčkové filtry, 390-520°C</b>
Odstraňování dehtu:	olejová vypírka/ odpojena vodní pračka
<b>Účinnost celková.:</b>	<b>~27 %</b>
<b>Spalovací motor:</b>	6S160 ČKD Hořovice (6 válců, 27 dm <sup>3</sup> )
Kompresní poměr:	11,5:1
Účinnost kog. jedn.:	32 %





# Složení plynu z generátoru GP300

## Průměrné složení plynu

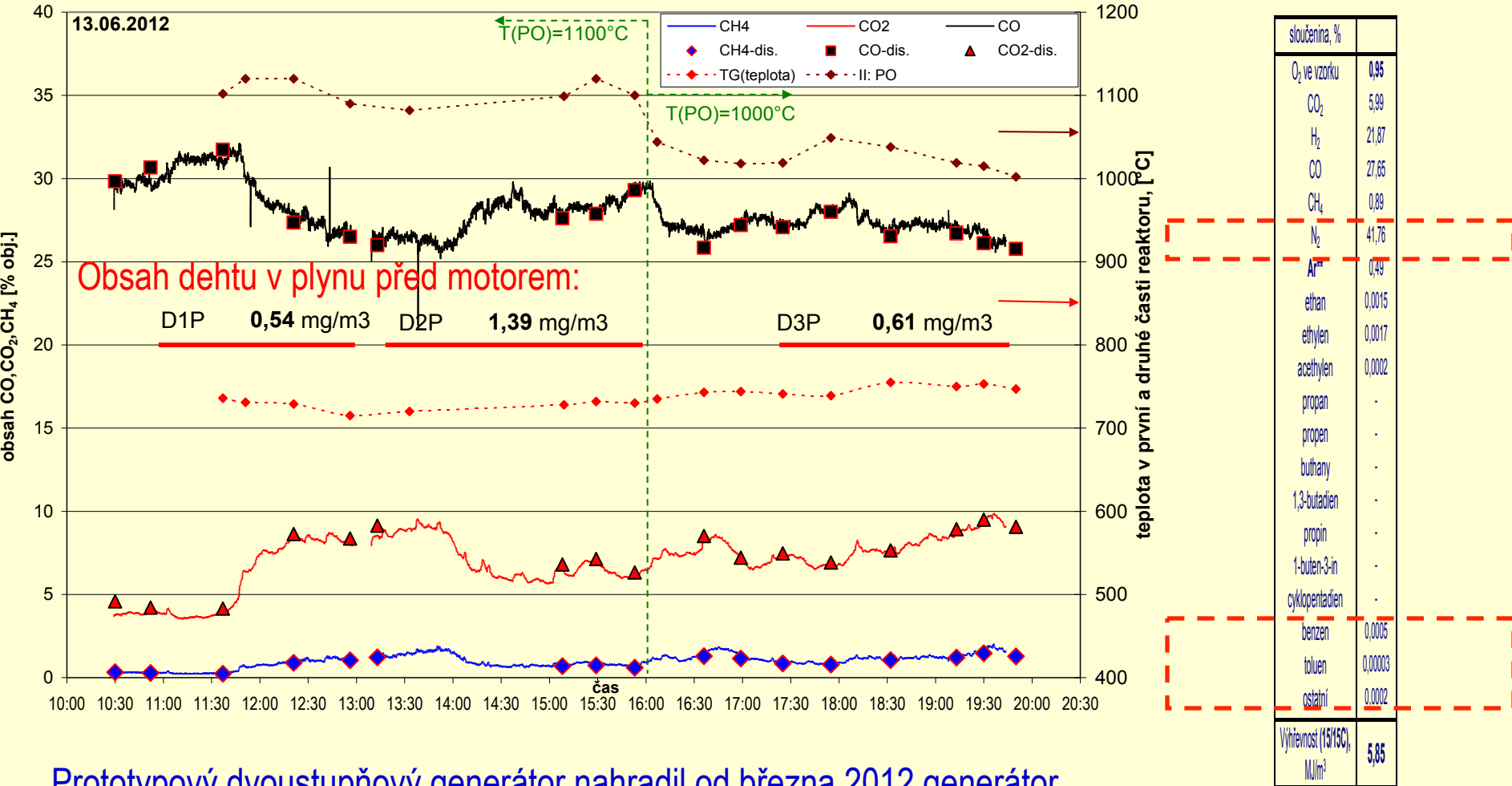


sloučenina	koncentrace [% obj.]
CO <sub>2</sub>	9,57
H <sub>2</sub>	17,19
CO	25,51
CH <sub>4</sub>	3,04
N <sub>2</sub>	43,40
Ar**	0,51
ethan	0,090
ethylen	0,487
acethylen	0,042
propan	0,061
propen	0,043
buthany	0,001
1,3-butadien	0,010
propin	0,004
1-buten-3-in	0,001
cyklopentadien	0,002
benzen	0,033
toluen	0,003
ostatni	0,010
Q <sub>s</sub> [MJ/m <sup>3</sup> ]	6,35

# Průměrné složení plynu z prototypu dvoustupňového generátoru GP200 (200kW<sub>e</sub>, Tarpo, Kněževés)

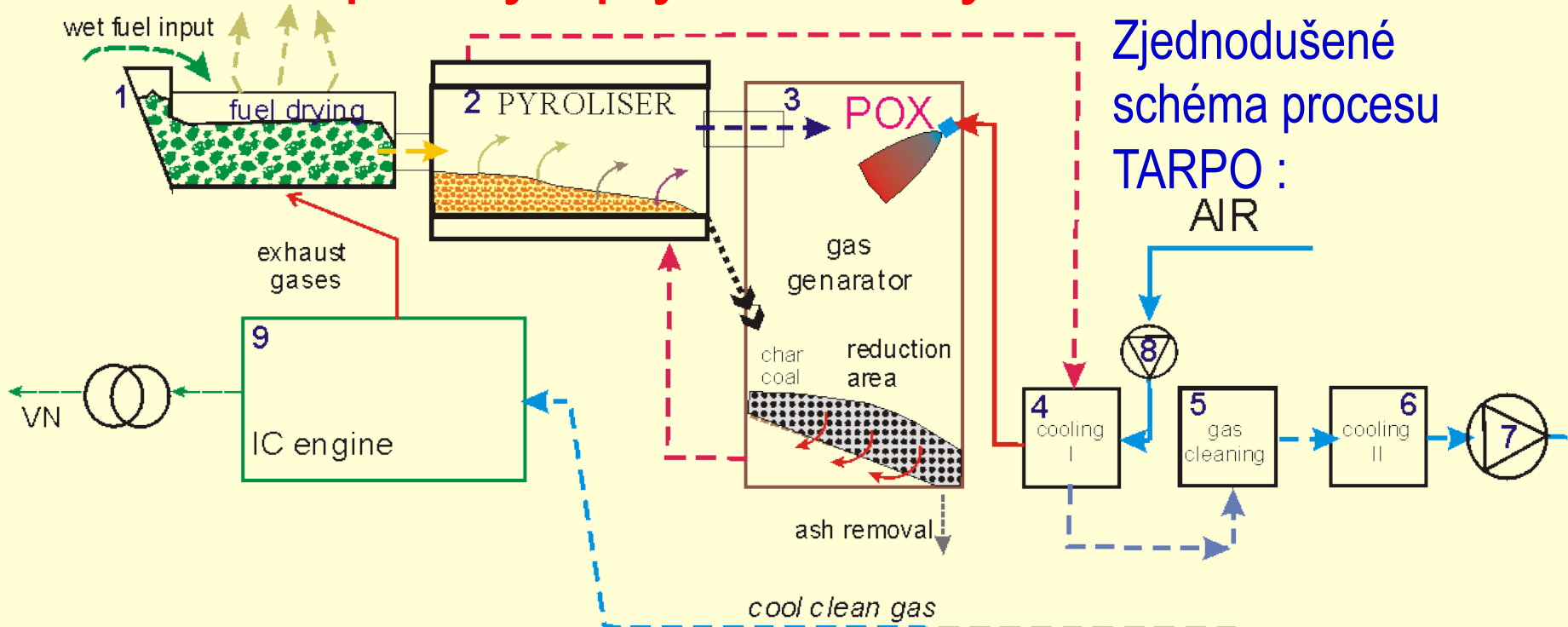
Kontinuální záznam z provozu na spalovací motor a fléru

Průměrné složení plynu



Prototypový dvoustupňový generátor nahradil od března 2012 generátor GP300 v technologické lince elektrárny v areálu TARPO (Kneževés).

# Vícestupňový zplyňovací systém TARPO



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

## Jmenovitý el. výkon

Spotřeba dřevní štěpky (abs. suché)

Velikost štěpky

Vlhkost

Odpadní teplo chladící vody (80°-90°C)

## Elektrická účinnost

Specifická spotřeba paliva (abs. Suché)

Specifická el. práce

**2x 500 kW<sub>e</sub>**

360 kg/hod

20 až 80 mm (1-80 mm)

až 60%

650 kW

**34% (min. 32%)**

cca 0,7 kg/ kWh<sub>el</sub>

cca 1,43 kWh<sub>el</sub>/kg



# 3D Vizualizace elektrárny v Odrách (1)

Zásobník paliva

Zplyňovací  
Generátory

Motory Jenbacher  
J316

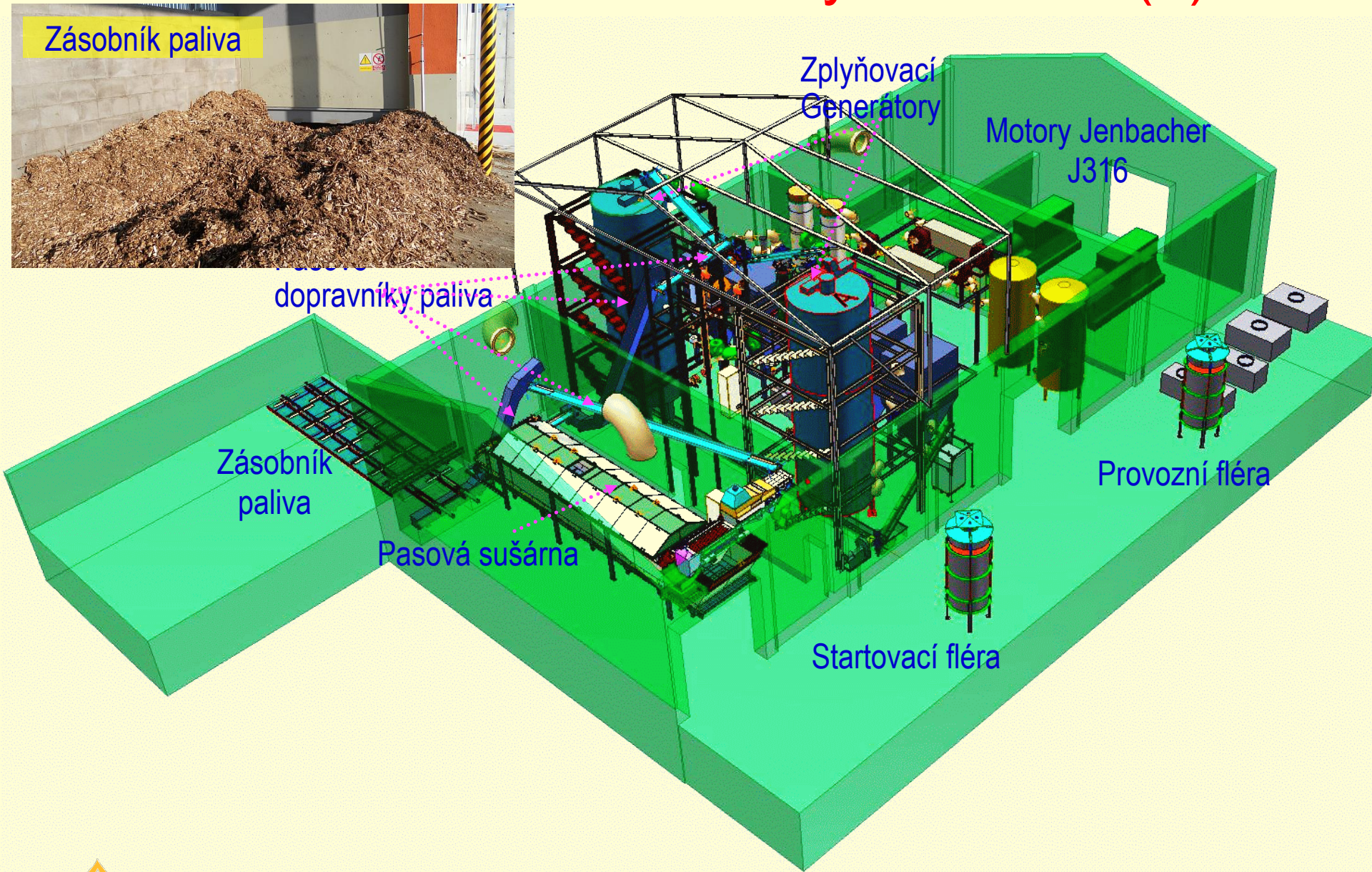
dopravníky paliva

Zásobník  
paliva

Pasová sušárna

Provozní fléra

Startovací fléra

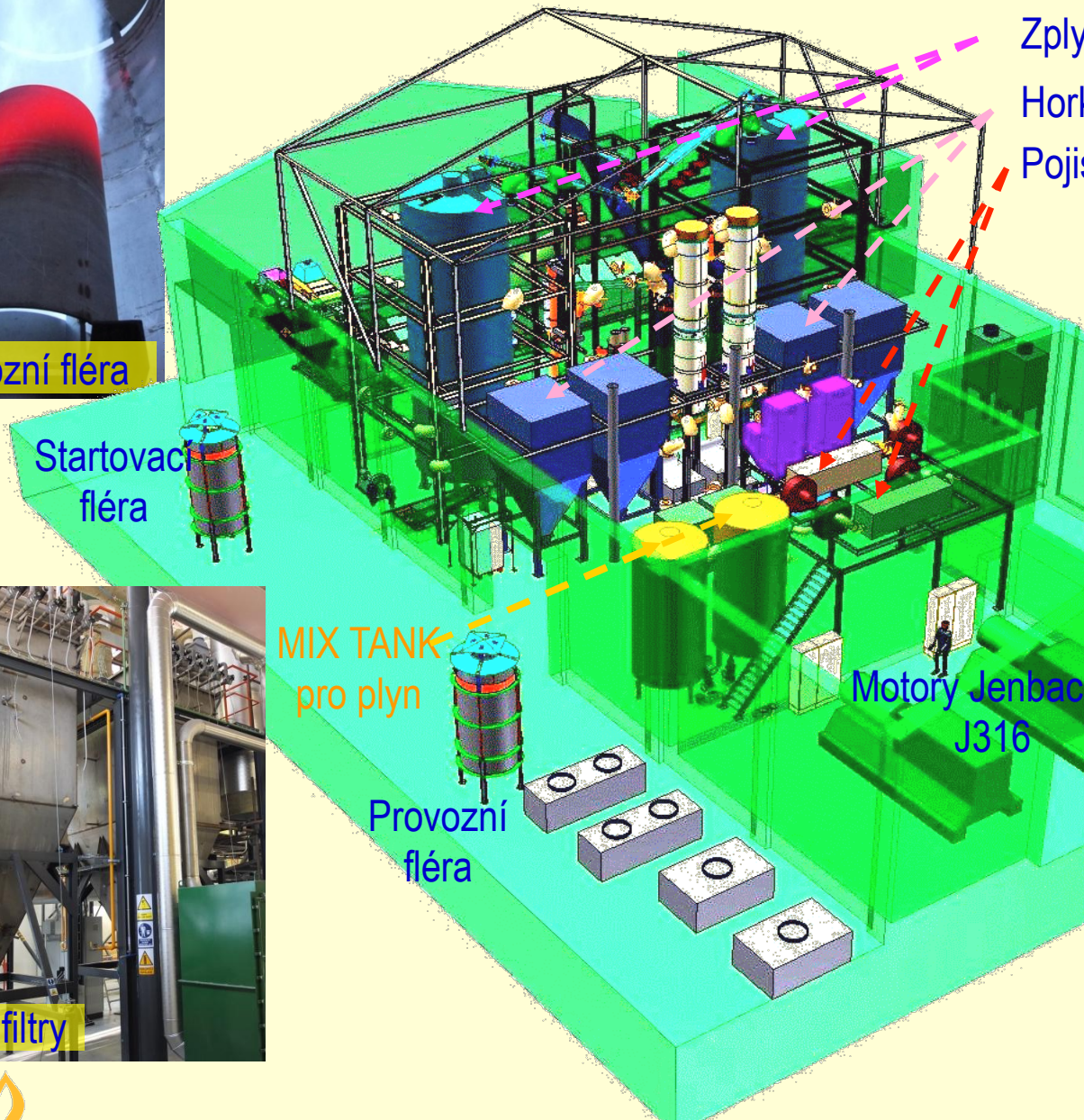




# 3D Vizualizace elektrárny v Odrách (2)



Provozní fléra



Zplyňovací generátory

Horké filtry

Pojistné filtry před motorem



Horké filtry



Horké filtry



Jenbacher J316

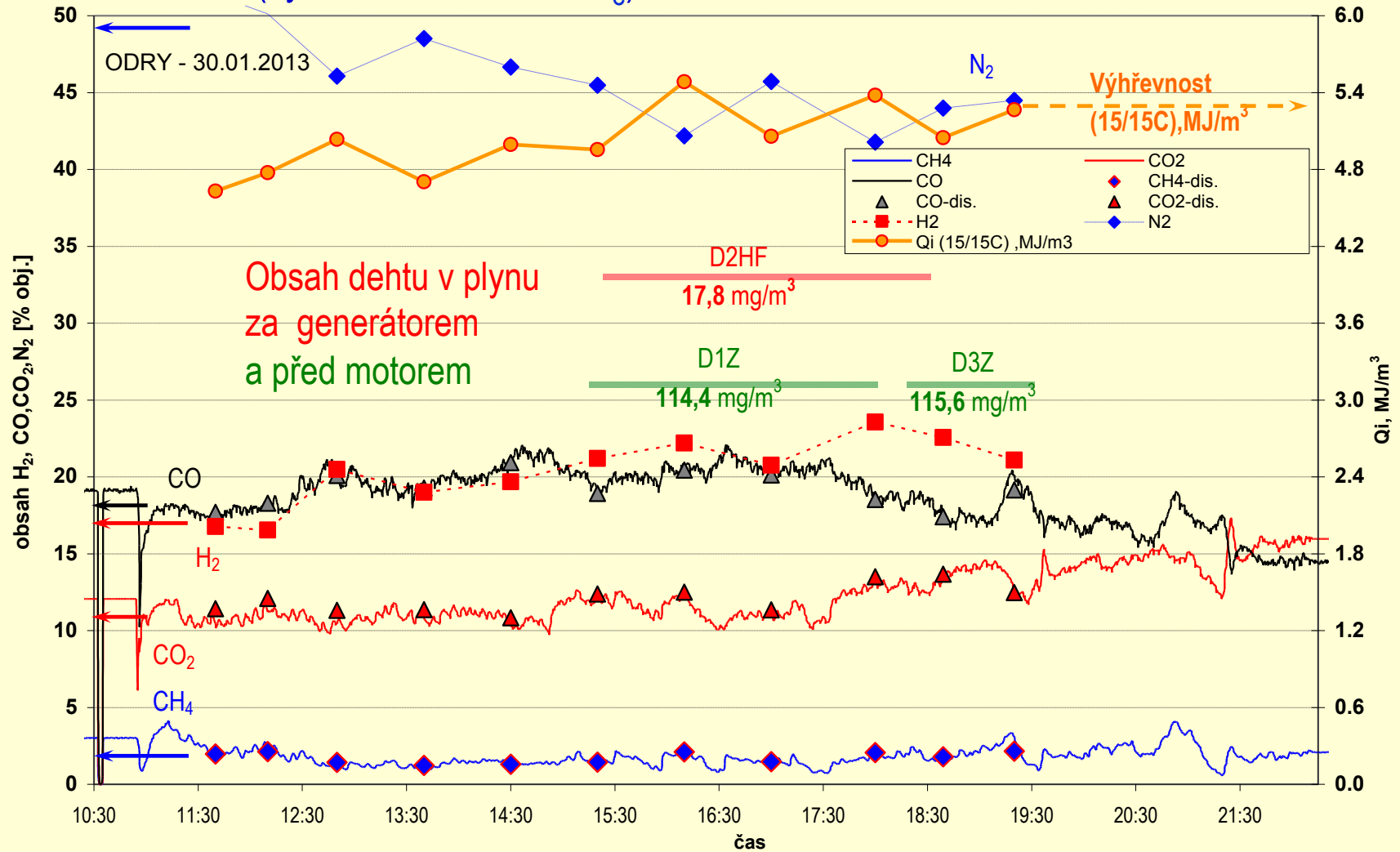


# Elektrárna v Odrách



# Záznam složení vybraných složek plynu GP500, Odry

Kontinuální záznam (výkon motoru 300 kW<sub>e</sub>)



Teploty okolo 1000°C v oxidační části reaktoru umožňují produkovat plyn s nízkým obsahem dehtu a uhlovodíků (BTX).

Olejeový sprchový kontaktní chladič (pojistka-akumulátor dehtu), fungovala a zachycovala a poté uvolňovala dehet

Složení dehtu: 80-90% naftalen, 3%- 1MN+2MN, 3-4% Acenaften, > 1% - fenatren+antracen

# Porovnání složení plynů z různých generátoru

datum	2011.08.12		2012.06.06	2012.06.13		2012.11.14	2012.11.15
generátor	soudproudý GP300		dvoust. GP200, TARPO			dvoust. GP500, ODRY	
místo odběru teplota POX, °C	za gen.	za HF	za HF	za HF	za HF	za HF	za HF
	-	-	~1040	~1020	~1100	~1000	~990
sloučeniny	obsah, % obj.						
CO <sub>2</sub>	9,57	10,02	8,00	8,16	6,60	9,50	9,64
H <sub>2</sub>	17,19	18,67	21,71	23,00	20,87	22,28	21,59
CO	25,51	24,40	26,22	26,65	28,54	24,67	23,88
CH <sub>4</sub>	3,04	3,00	0,91	1,14	0,67	1,94	1,99
N <sub>2</sub>	43,40	42,74	42,65	40,58	42,82	41,12	42,36
Ar	0,51	0,50	0,50	0,48	0,50	0,48	0,50
ethan	0,090	0,071	0,003	0,002	0,001	0,002	0,004
ethylen	0,487	0,464	0,002	0,002	0,002	0,004	0,019
acetylen	0,042	0,042	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0008
benzen	0,033	0,019	0,0007	0,0005	0,0004	0,0064	0,0137
toluen	0,003	0,001	-	-	-	0,0002	0,0003
ostatní	0,132	0,065	0,0002	0,0002	0,0003	0,0006	0,0006
Výhřevnost (0/0C), MJ/m <sup>3</sup>	6,70	6,59	5,98	6,25	6,09	6,22	6,09
Suma DEHET, mg/m <sup>3</sup>	382	1336	6,2	0,5	1,4	34,0	28,7
Suma DEHET dle TAR protokolu, mg/m <sup>3</sup>	947	2161	7,8	0,5	2,4	37,5	29,6

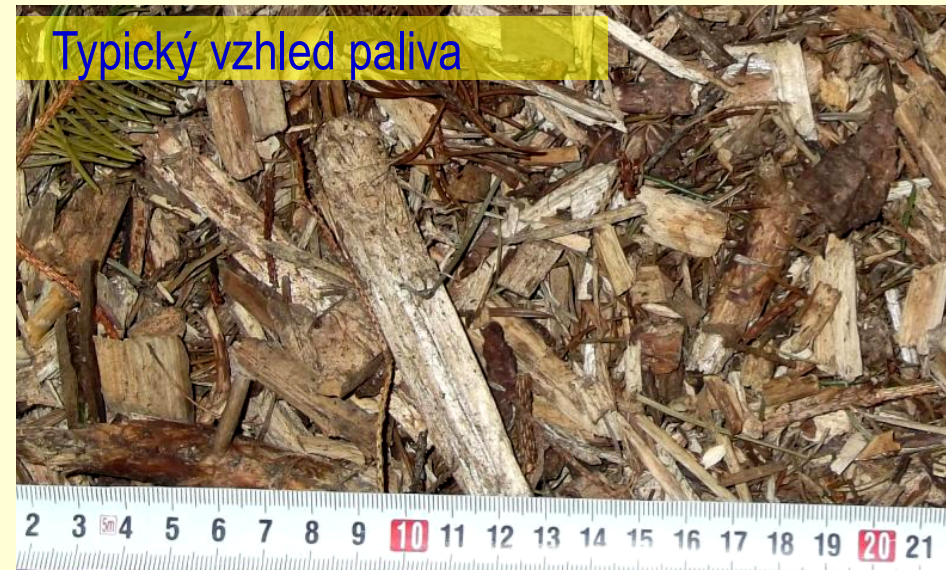
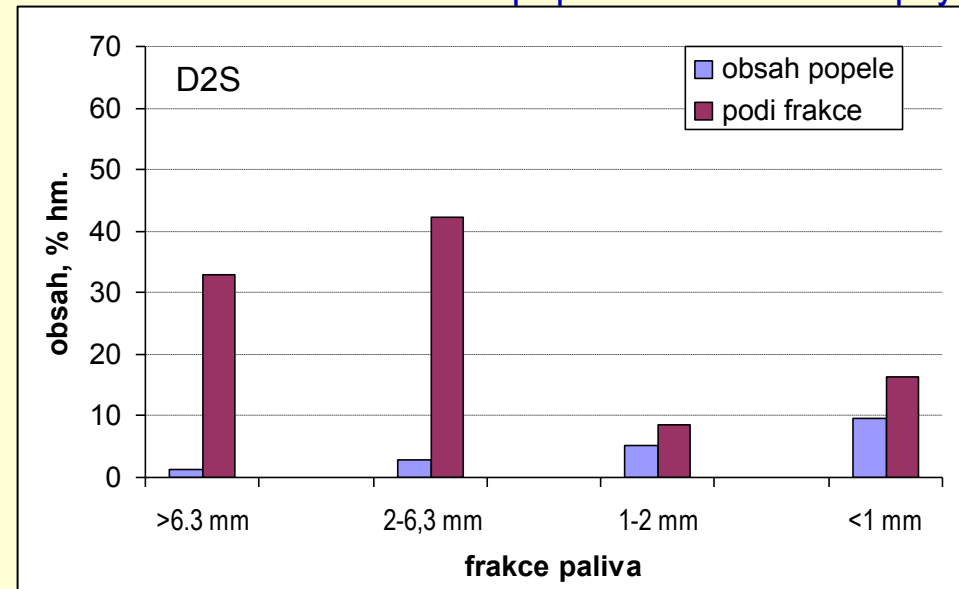


# Vlastnosti použitého paliva

## Základní vlastnosti dřevní štěpky

Vlastnost	Veličina	vzorek D2S		
		a	d	daf
stav palivá				
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 <sup>-1</sup>	13.725	19.640	20.379
Qi	MJ.kg <sup>-1</sup>	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.	-	-	-

## Distribuce velikosti a obsah popele ve frakcích štěpky



## Poděkování

Část práce prezentovaná v uvedené publikaci vznikla díky finanční podpoře projektu Technologické agentury České republiky číslo TA01021279 a [TA01020366](#)

# Děkuji za pozornost

