

Odborný seminář
ENVIRONMENTÁLNÍ SOUVISLOSTI NAKLÁDÁNÍ S ODPADY

Císařský sál, Karolinum

Ovocný trh 3, Praha 1

2. října 2012

**Vybrané statě projektování zařízení na
energetické využívání odpadů**

Jaroslav Hyžík

Sdružení provozovatelů technologií pro ekologické využívání odpadů v ČR (STEO)

28. pluku 524/25, CZ-101 00 Praha 10

Technická univerzita v Liberci

Studentská 2, 461 17 Liberec

EIC AG, EIC spol. s r.o. - Ecological and Industrial Consulting

Mellingerstrasse 6, CH-5400 Baden, Modřínová 10, 182 00 Praha

hyzik@eiconsult.eu , www.eiconsult.eu

OBSAH

VÝCHOZÍ SITUACE

SLOŽENÍ ODPADU

SPALOVACÍ PROCES

MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI TECHNOLOGICKÉHO ŘETĚZCE

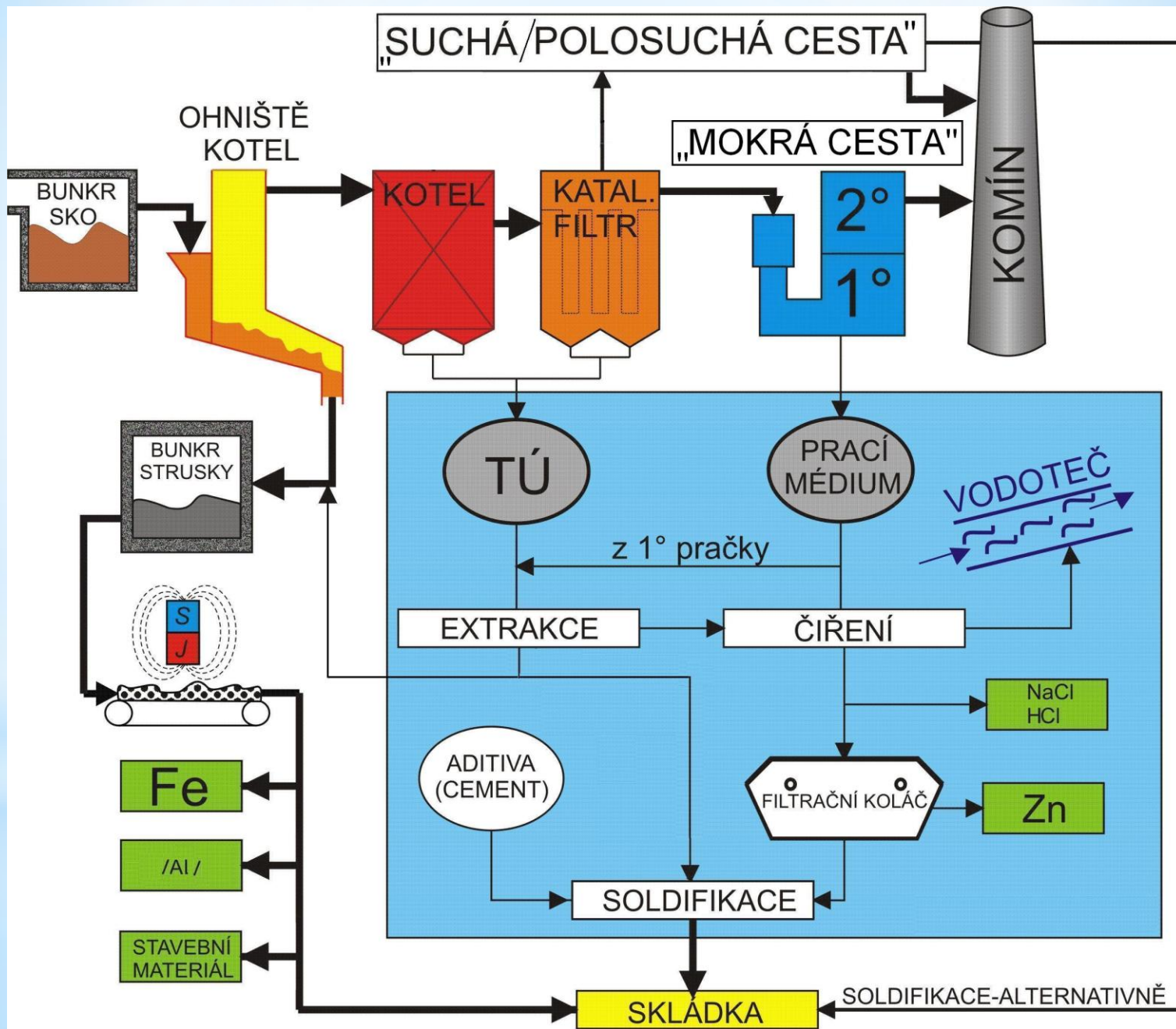
- **PARAMETRY PŘEHŘÁTÉ PÁRY**
- **KONSTANTNÍ TEPLOTA SPALIN NA VÝSTUPU Z KOTLE**
- **SNIŽOVÁNÍ MNOŽSTVÍ SPALIN**
- **PŘIHŘÍVÁNÍ PÁRY**
- **DALŠÍ MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI**

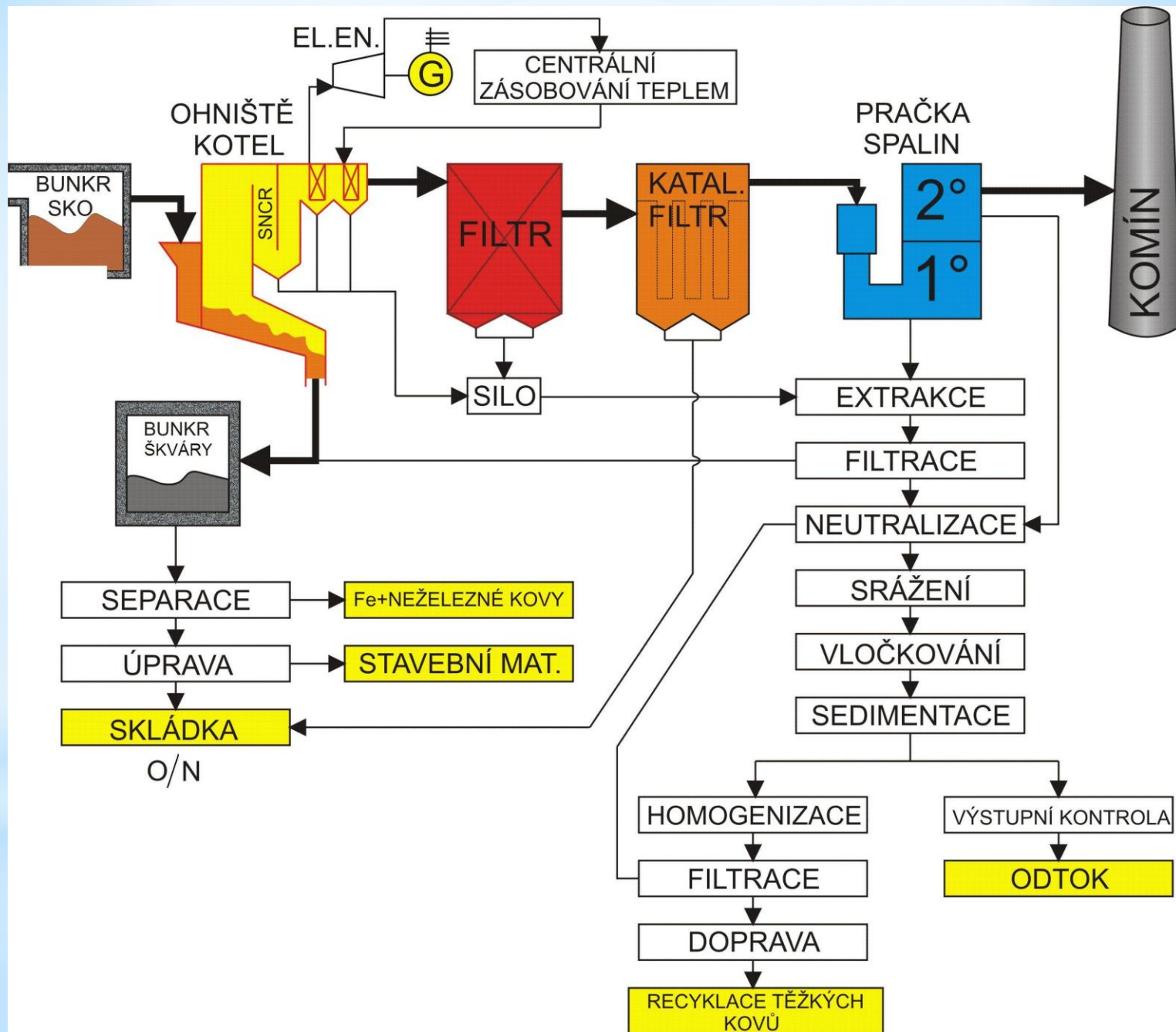
ZDROJE

- Česká republika nesplňuje požadavky EU na skládkování odpadu.
- Většina evropských států směsný zbytkový odpad z domácností a ze živností - tedy spalitelný odpad, který se nedá dále jinak využít, spaluje v zařízeních.
- Evropa - přes 400 zařízení (DK 30, CH 30)
- V ČR bylo za posledních třináct let uvedeno do provozu pouze jedno nové zařízení na energetické využívání odpadů a jedno bylo kompletně rekonstruováno (Termizo v Liberci v roce 1999, SAKO Brno v roce 2011).
- Vznikly nové projekty. Nesetkaly se s podporou MŽP a NGO ani s pochopením občanských iniciativ a sdružení, které nebyly dostatečně informovány o výhodách energetického využívání odpadu a o jeho skutečných dopadech na životní prostředí.
- Nicméně se situace v ČR v posledních dvou letech výrazně změnila a je cítit (zatím verbální) podpora energetického využívání odpadů.

- Proces spalování odpadu v technických zařízeních má zhruba 150 letou tradici.
- Vyspělé technologie (vlastního spalování, využití energie, čištění spalin a zpracování zbytkových látek).
- Až do poměrně nedávné doby byla jedním z hlavních kritérií spolehlivost technologického řetězce.
- V poslední době - efektivita přeměny chemické energie paliva a její další využití, tedy zvyšování energetické účinnosti či tzv. energetické efektivity.
- Hodnota musí dosáhnout určité úrovně, má-li být zařízení EVO posuzováno jako zařízení využívající energii.

- Švýcarsko - větší a větší důraz na udržitelné hospodaření se zdroji a z tohoto důvodu také na využívání zbytkových látek z procesu energetického využívání odpadů.
- SRN - větší důraz na energetickou účinnost. Výsledkem jsou pak zařízení s jednoduchým čištěním spalin generující nezpracovatelné zbytkové látky.
- Zvyšování účinnosti - třeba sledovat kompletní technologický řetězec, kde jsou různé možnosti - od optimalizace vlastního spalovacího procesu a optimalizace výroby páry po využívání „zbytkového“ tepla a snižování vlastní spotřeby energie.
- Příspěvek - hlavně spalovací procese (tedy ohniště) a výroba páry (tedy parním spalovenský kotel).





SLOŽENÍ ODPADU - ZÍSKÁNÍ DAT PRO ODPADOVOU MATICI

- Průzkumy byly na mnoha místech (např. TU Cádiz, TU Berlín, TU Vídeň) podrobně prováděny.
- Výsledkem byly vždy údaje, které sice umožňují určité informace o složení odpadu, nicméně jsou pro technické dimenzování pouze směrné.
- V ČR se skladbou komunálního odpadu podrobně zabývá např. pracoviště Přírodovědecké fakulty UK (Ing.L. Benešová, CSc.) a další (Ing. B. Černík, Ing. Z. Kotoulová).
- Je zřejmé, že pro volbu technologie nakládání s odpady informace o složení odpadu podle jednotlivých látkových skupin úplně nestačí. S výhodou se dá sestavit tzv. matice odpadu, která může poskytnout informace o jeho fyzikálně chemických vlastnostech:

SLOŽENÍ ODPADU - ODPADOVÁ MATICE

	váh. %	Výhř. MJ/kg	Ztráta žih váh. %	Anorg. váh. %	C váh. %	O váh. %	H ₂ O váh. %	H váh. %	S váh. %	N g/kg	Cl g/kg	F mg/kg	Fe g/kg	Zn g/kg	Pb g/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg
Papír	23	11	90	10	38	10	5	6	0,09	0,1	0,3	0,03	2	0,4	0,1	2	0,15
Textil	9	18	90	10	35	35	20	7	0,02	5	2,2	0,02	5	1	0,8	15	0,45
Kovy	9	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	600	38	22	##	22
Plasty	14	38	60	40	45	0	0	9	0,8	0	8	12	0	2,5	0	10	0
Sklo	10	0	1	99	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
Dřevo	10	16	90	10	40												
Organický	10	5	75	25	50	30	10	3	0,1	3	0,14	30	13	1,2	0,5	3	0,35
Ostatní	15	10	60	40	30	35	55	5,5	0,09	8	0,13	4	7	0,8	1	5	2
Totál	100	13,07	62,8	37,2	31,69	13,7	13	4,4	0,16	1,97	1,42	5,29	57,3	4,19	2,3	15	2,39

C	0,3169	kg/kg pal.
O	0,137	kg/kg pal.
H ₂ O	0,127	kg/kg pal.
Anorganika	0,372	kg/kg pal.
H	0,04	kg/kg pal.
S	0,0013	kg/kg pal.
N	0,002	kg/kg pal.
Cl	0,0011	kg/kg pal.
F	4,8E-06	kg/kg pal.
Součet	1,00	kg/kg pal.
Výhřevnost	13 041	kJ/kgBS
Prosazení	10 000	kg/h
Podíl TS	0,873	%

Ze složení konzumních výrobků a z chování konzumentů

Údaje o složení výrobků – jednoduché, nejsou k dispozici
údaje o váhových podílech jednotlivých látkových skupin
v TKO a údaje ročním množstvím odpadu (meziskladování u
konzumenta)

Z analýzy TKO

Pracná metoda – nelze analyzovat veškerý TKO - důležitý
je plán odběru vzorku, který respektuje druh odpadu (jen
domovní odpad, domovní odpad s podílem živnostenského
odpadu, objemový odpad) a sídelní struktur (bytová
zástavba, rodinné domy, průmyslová zóna, hustota
obyvatelstva..)

Třídící analýza je prováděna na třídících stolech opatřených sítím (8 mm) a získávají se např. uvedené frakce:

- Papír
- Karton
- Znečištěný papír, hygienický papír
- Umělé hmoty
- Textil
- Dřevo,
- Kůže, gumové materiály
- Organický podíl
- Kovy
- Problémové odpady (baterie)
- Sklo
- Inertní materiály
- Jemný podíl < 8mm

Z analýzy zbytkových produktů ze zpracování TKO

Těžké kovy - koncentrace na tunu TKO (g/t TKO) se určí z koncentrace kovu ve zbytkových látkách k (g/kg) a z jejich množství na 1 tunu TKO(kg):

- Struska spolu s popílkem z kotle - 300 kg/t TKO
- Popílek z filtru – 30 kg/t TKO
- Zbytkové látky z čištění spalin – 5 kg/t TKO

$$k_{\text{Zn,TKO}} = k_{\text{Zn,struska}} \cdot m_{\text{struska}} + k_{\text{Zn,pop.EF}} \cdot m_{\text{pop.EF}} + k_{\text{Zn,zb.č.sp.}} \cdot m_{\text{zb.č.sp.}}$$

Výhřevnost - výpočet na základě daných skutečností: množství a entalpie vyrobené páry, množství TKO za dostatečně dlouhý časový úsek, účinnost kotle. V zásadě podle vzorce:

$$Q_i = \frac{m_{\text{páry}} \cdot i_{\text{páry}}}{m_{\text{TKO}} \cdot \eta_{\text{KOTEL}}}$$



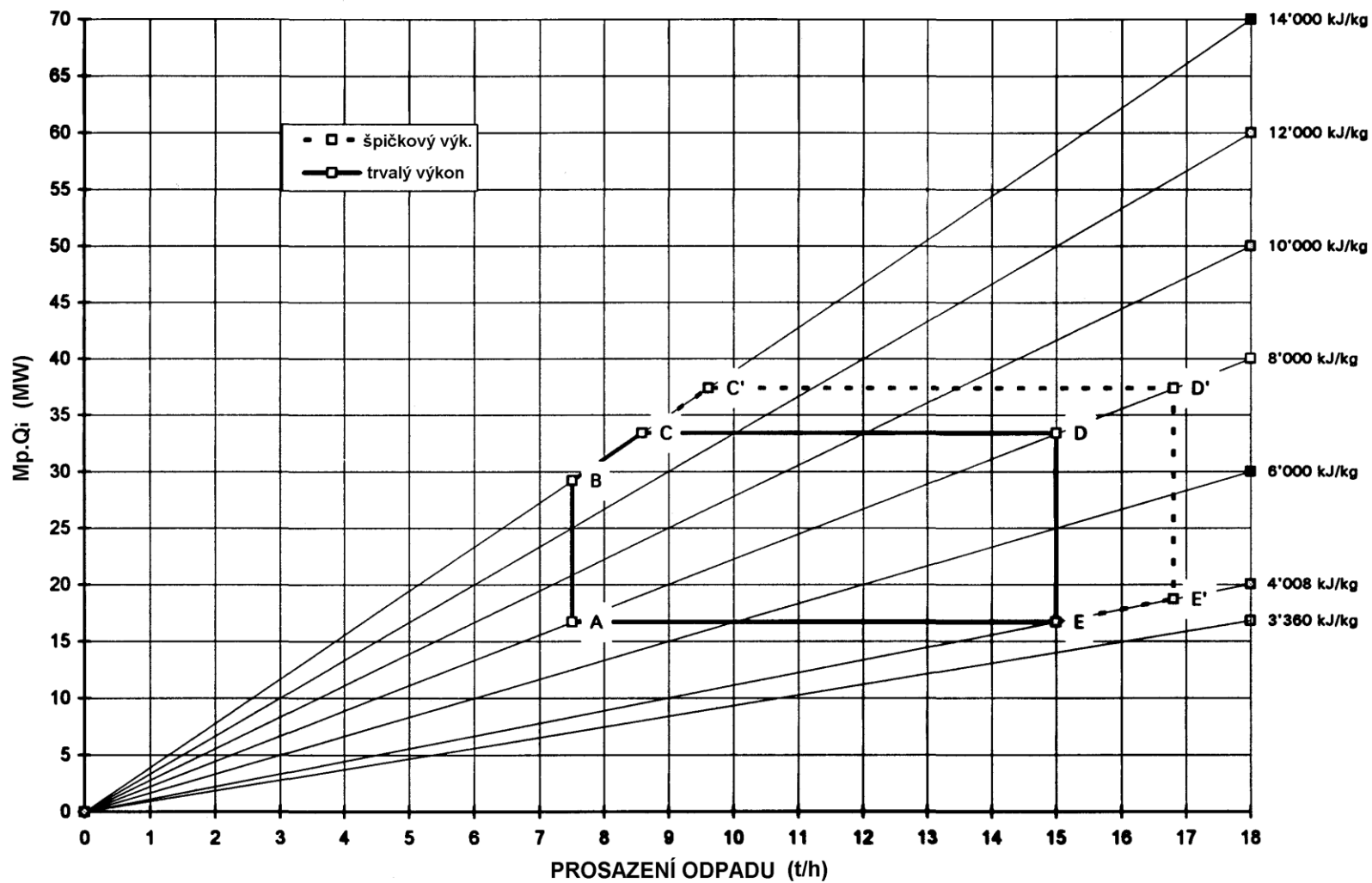
- Pro návrh zařízení je poměrně často (dlužno říct od méně zkušených firem) požadována analýza skladby komunálního odpadu v různých typech zástavby, je požadováno definovat, z jakého složení odpadů se vychází (% papíru, lepenky, rostlinného a živočišného odpadu, skla, kovů, plastů, textilu.)
- Rovněž je často požadováno vyhodnocení energetického obsahu – výhřevnosti odpadu, stanovení dalších fyzikálních a chemických charakteristik komunálního odpadu s cílem zjistit podrobnější údaje o vlastnostech tohoto odpadu s ohledem na možnost jeho následného zpracování a možnost jeho energetického využití (sledované parametry – vlhkost, homogenita materiálu, popelnatost, zrnitost, obsah chlóru a síry, těžkých kovů).

Obecně platí:

- K návrhu a k dimenzování technologického řetězce zařízení k energetickému využívání odpadu není nutné znát jeho (v každém případě nepřesné) složení z různých typů zástavby.
- Při pohledu na skladovaný odpad je zřejmé, že na základě průzkumů o složení odpadu zařízení na energetické využívání navrhnout nelze.
- Při návrhu a dimenzování zařízení k energetickému využívání odpadu se vychází z určitého rozsahu jeho výhřevnosti. Tato vlastnost odpadu (a každého paliva) je určena podíly hořlaviny, popeloviny a vody. Energetický obsah hořlaviny je dán hlavně jejím obsahem uhlíku. Méně významně se podílejí ostatní elementy.

- Znalost rozsahu výhřevnosti odpadu a jeho množství umožní dimenzovat kompletní technologický řetězec zařízení k energetickému využívání odpadu (ohniště, parní kotel, využití energie, odlučování tuhého úletu, čištění spalin, zpracování zbytkových materiálů atd..).
- K tomuto účelu slouží známý výkonový diagram roštu či ohniště, který definuje právě rozsah výhřevnosti a hodinové prosazení odpadu.
- Tento diagram je jedním ze základních dokumentů technologického řetězce a zařízení musí splňovat v celém jeho rozsahu veškeré materiállové, výkonové a funkční garance.
- Z vyhodnocení údajů dostatečného počtu evropských zařízení k energetickému využití odpadu vyplývá, že vhodný rozsah výhřevnosti je 7,0 – 22 MJ/kg. Ze zkušenosti se ví, že se výhřevnost směsného odpadu pohybuje nejčastěji kolem 9,0-13 MJ/kg.

VÝKONOVÝ DIAGRAM ROŠTU - Spalovna Praha



Spalovací proces

- Odpad - velmi komplikované palivo s neustále se měnícími vlastnostmi - vykazuje nerovnoměrné hodnoty výhřevností.
- Při vysokých a vyšších výhřevnostech hoří odpad v přední části roštu, zatímco u nízkých výhřevností přesídí hlavní spalovací zóna do zadní části ohniště, což má za následek nepravidelný teplotní profil i nepravidelný parní výkon.
- Proces spalování musí být přesto řízen tak, aby mohla být vyrobená energie dodávána do rozvodných soustav pravidelně.
- Systém řízení výkonu spalovacího procesu musí umožnit produkci páry tak, že přes 90% všech měřených hodnot parního výkonu bude v intervalu $\pm 5\%$.

- Řízení výkonu ohniště - různé (někdy i krkolomné) systémy.
- Nicméně základem účinného řízení je splnění jednoduché základní podmínky:
- Součet množství primárního a sekundárního vzduchu musí být pro daný parní výkon konstantní.
- Výkon nepřímo úměrný obsahu O₂ za kotlem.
- Pozor: obsluha jeřábu!
- T v ohništi . Infračervené kamery.

PŘÍKLAD AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ SPALOVACÍHO PROCESU

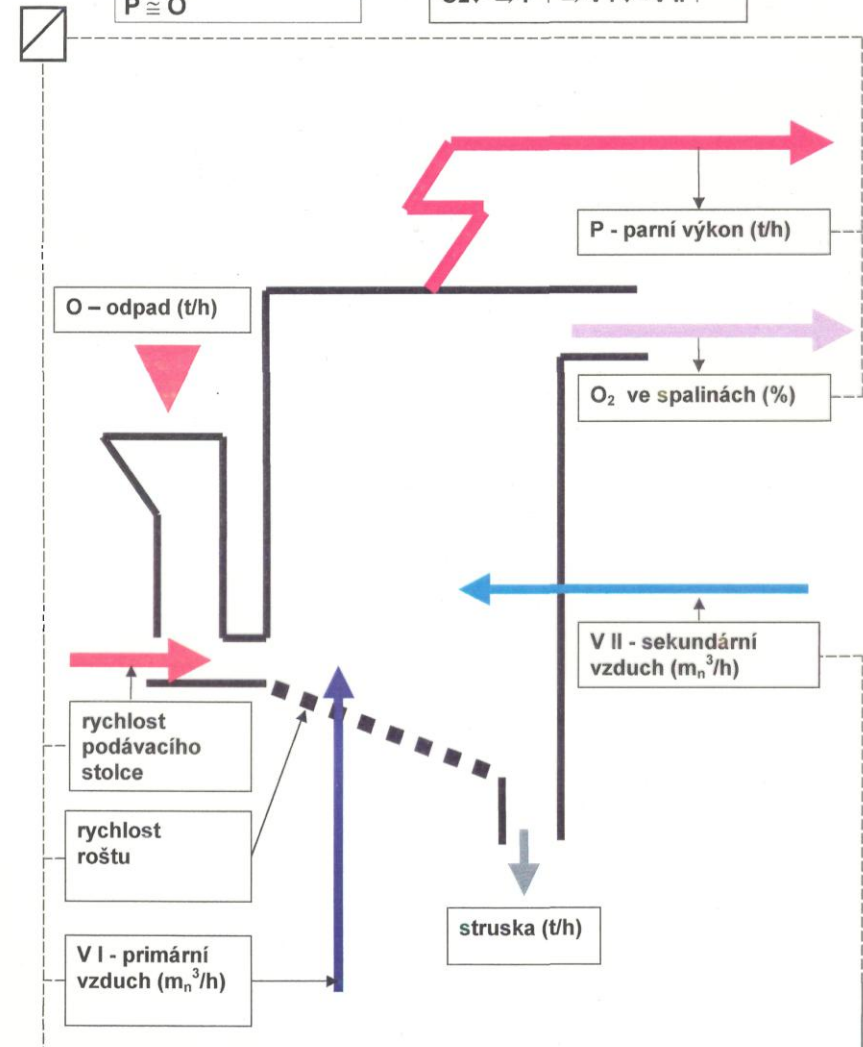
$$P = P(O_2^{-1})$$

$$V I + V II = \text{konst.}$$

$$P \approx 0$$

$$O_2 \uparrow \Rightarrow P \downarrow \Rightarrow V I \uparrow + V II \downarrow$$

$$O_2 \downarrow \Rightarrow P \uparrow \Rightarrow V I \downarrow + V II \uparrow$$



1 Napájecí voda

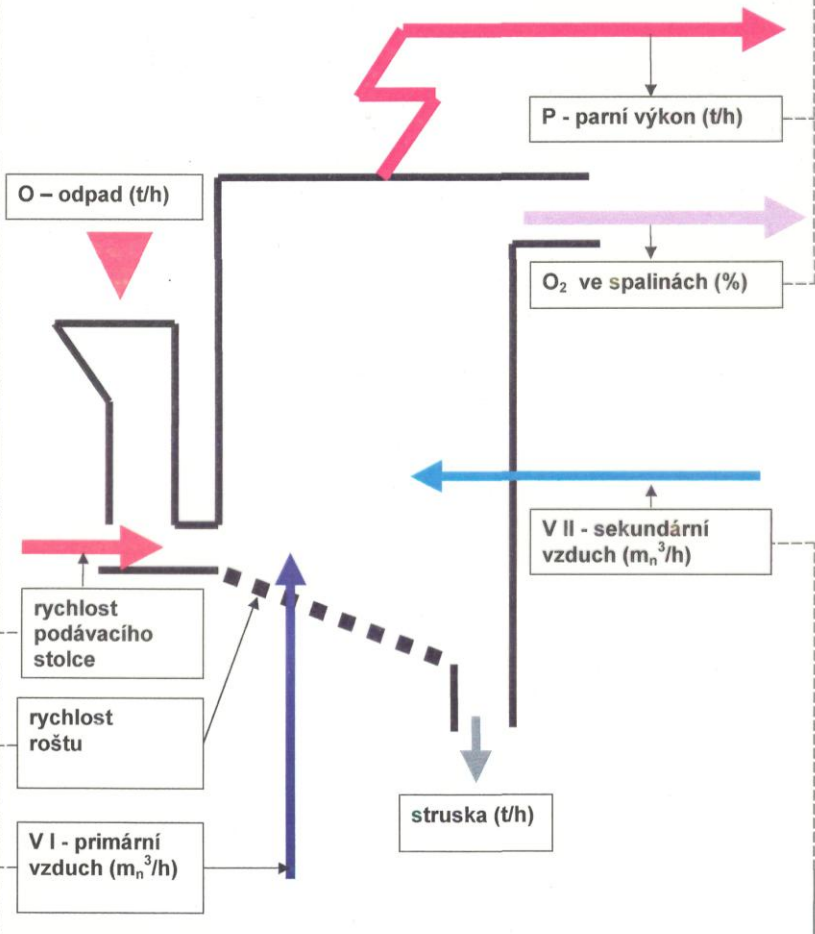
2 T páry

3 Podtlak v ohništi

4 Tlak páry

5 Vzduch

Zjednodušené schéma regulace kotle

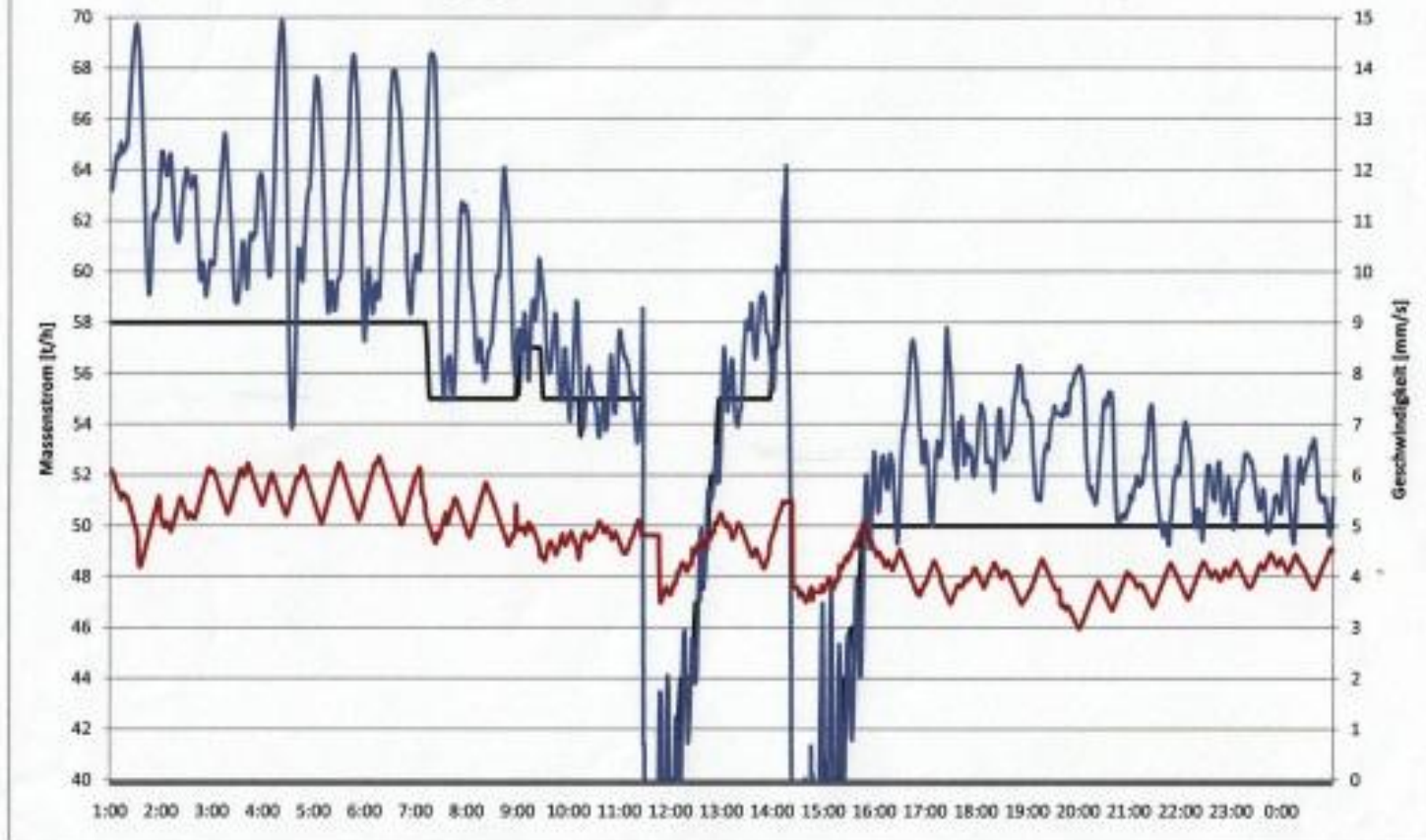


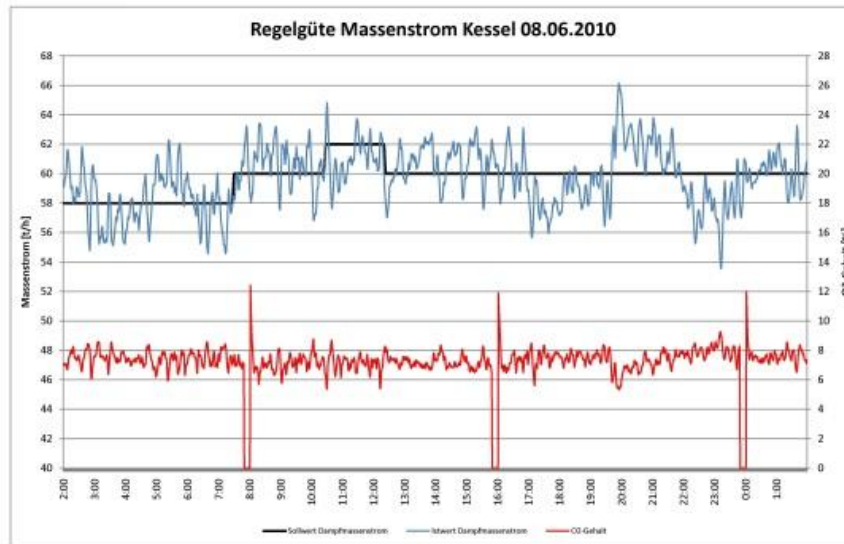
Poměrně často je při navrhování zařízení podceněno dimenzování sekundárního ventilátoru, který má pro řízení parního výkonu svoji nezastupitelnou funkci, zvláště při vyšší výhřevnosti odpadu s vysokým podílem těkavé hořlaviny.

Poznámka:

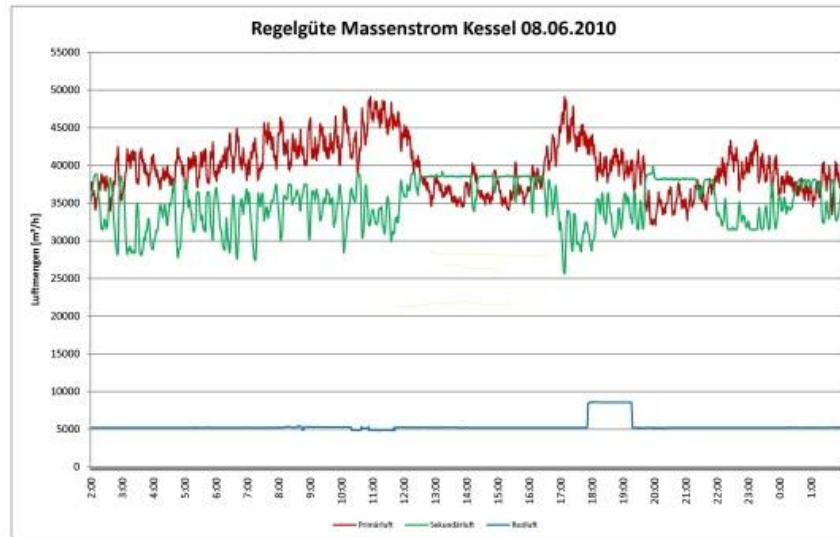
Je známé, že některá paliva mají malý podíl těkavé hořlaviny a není tak třeba pro jejich spalování používat sekundární vzduch.

Regelgüte Massenstrom Kessel 26.11.2009





2010-06-08_RegelgüteAuswertung.xls

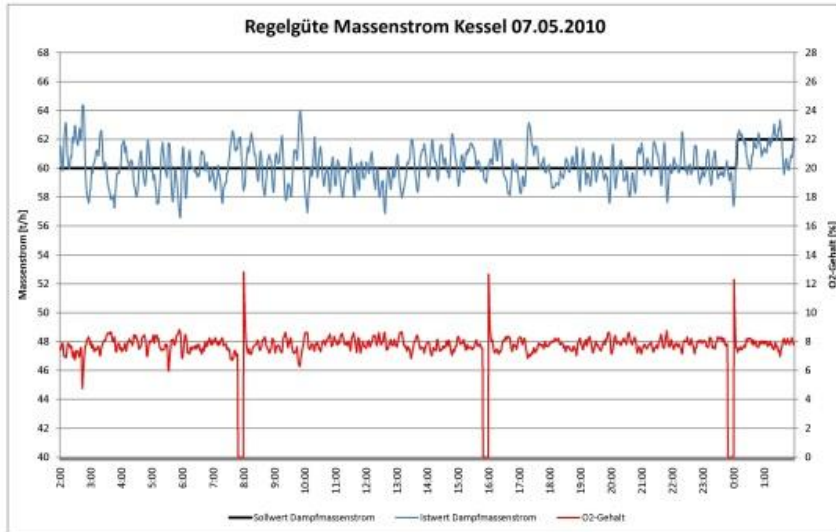


2010-06-08_RegelgüteAuswertung.xls

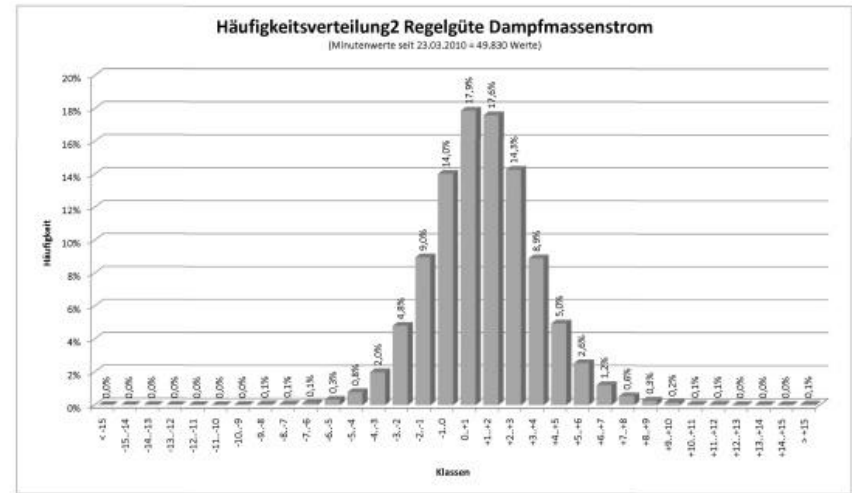
Vlastní konstrukce roštu (na trhu se nachází několik systémů), spolu s korektním rozdělením primárního vzduchu pod jednotlivé zóny roštu má přímý vliv na kvalitu spalování, resp. na chemický nedopal ve škváře.

Optimalizovaný spalovací proces vykazuje zejména:

- Nedopal <1%.
- Rovnoměrný parní výkon - přes 90% všech měřených hodnot parního výkonu je v intervalu $\pm 5\%$
- Koncentrace O_2 ve spalinách 6-7 % (v závislosti na podmínkách - u starších konstrukcí 10%) - ověření síťovým měřením.
- Koncentrace CO hluboko pod 50 mg/Nm^3 - ověření síťovým měřením.



2010-05-07_RegelgüteAuswertung.xls



31.05.2010

Rovnoměrný parní výkon:
94,3% všech měřených hodnot parního výkonu je v intervalu $\pm 5\%$

Možnosti zvyšování účinnosti technologického řetězce

Bez optimálně fungujícího řízení spalovacího procesu je snaha o zvyšování účinnosti v podstatě zbytečná.

Parametry přehřáté páry

S „legitimizací“ EVO v ČR - diskuse ohledně parametrů páry.

Jak to tedy je?

- Parní spalovenské kotle se navrhují zpravidla na parametry páry těsně kolem 400° C, 4,0 MPa.
- V praxi je trvale a mnohonásobně prokázáno, že lze takto navržený parní spalovenský kotel spolehlivě provozovat.
- Velmi opatrně lze uvažovat o určitém zvýšení parametrů vyráběné páry.
- Rizika havárie tlakové části.

- Parametry páry nad 400°C 4,0 MPa mohou přispět určitým způsobem k větší výrobě elektrické energie.
- Určitý pozitivní vliv při kondenzačním provozu tedy zvýšení účinnosti technologického řetězce.
- Na účinnost vlastního parního kotle nemají žádný vliv.
- Náklady spojené se zvýšením parametrů páry u zařízení na energetické využívání odpadu nejsou adekvátní k výnosům a provozním rizikům.
- Z hlediska výroby tepelné energie je vliv zvýšených parametrů páry nulový.
- Velká většina zařízení EVO je konfigurována jako teplárna - zvyšování parametrů páry je bez většího vlivu na celkovou účinnost.

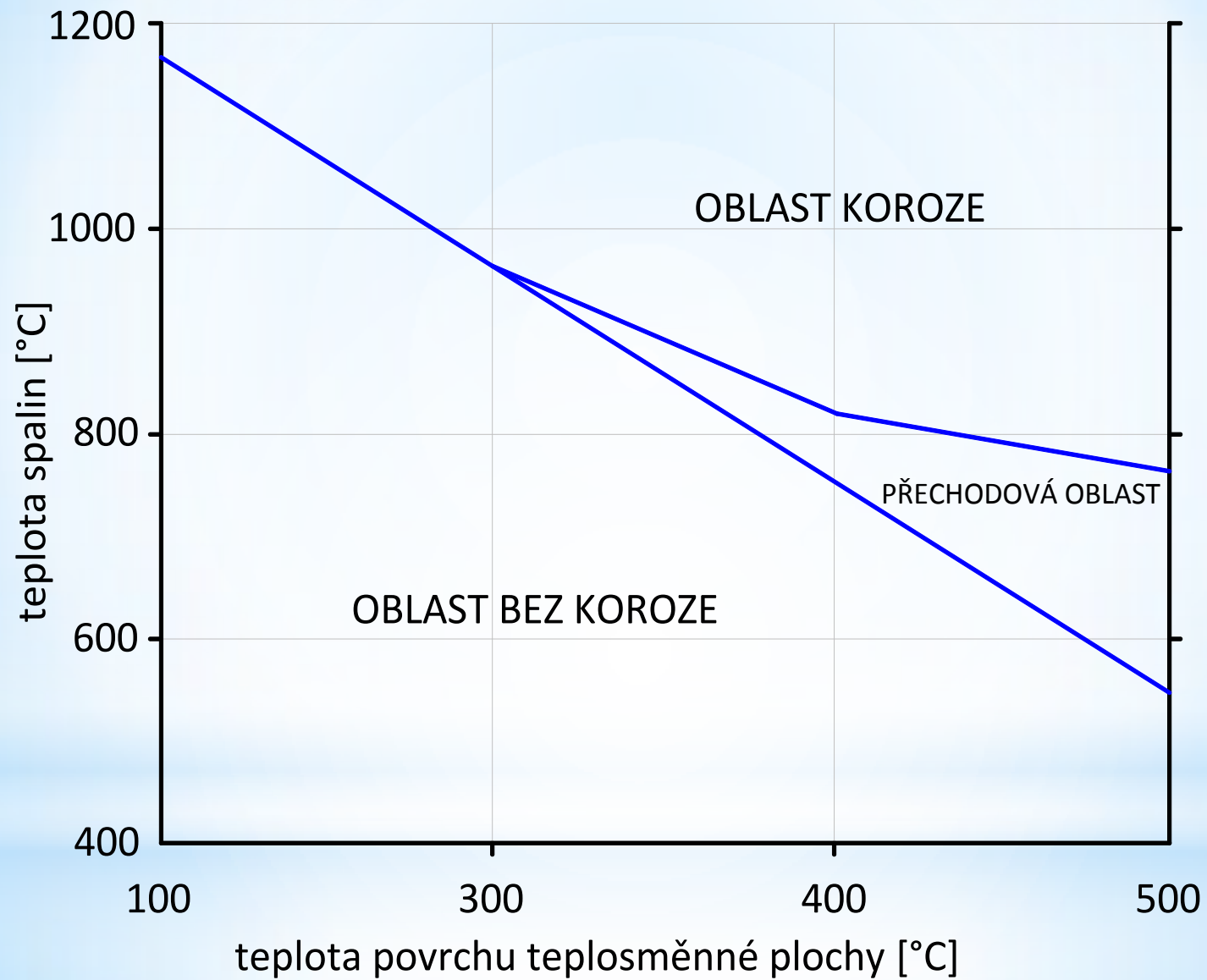
- Zvláště u spaloven průmyslových (nebezpečných) odpadů je nutné věnovat kotli náležitou pozornost.
- V těchto zařízeních jsou zpracovávány pevné, pastovité a tekuté průmyslové odpady proměnlivého složení, obsahující množství nejrůznějších látek.
- Úletový popílek vykazuje vlivem obsahu alkálií (sodík, draslík) relativně nízký bod měknutí.
- K překročení bodu měknutí úletového popílku dochází při teplotách přes 700°C. Kolem 900°C má těstovitý charakter a při teplotách přes 1100°C přechází do tekutého stavu.
- Eroze teplosměnných ploch
- Tvorba usazenin či nápeků (nálepů).
- Tento úkaz významně zhoršuje přestup tepla ze strany spalin a zkracuje provozní dobu kotle.

- Problematické úletové popílky obsahující sloučeniny alkálií a korozivní složky spalin s obsahem síry a chloru jsou nejčastějšími příčinami havárií teplosměnných ploch kotlů pro energetické využívání odpadu.
- Body měknutí některých látek a látkových směsí:

samotná látka	bod měknutí (°C)	směsi látek (údaje v %)	bod měknutí (°C)
NaCl	801	25 NaCl - 75 FeCl ₃	156
KCl	772	55ZnCl ₂ -45KCl	230
MgCl ₂	714	60 KCl - 40 FeCl ₂	355
CaCl ₂	772	58 NaCl - 42 FeCl ₂	370
FeCl ₂	676	90PbCl ₂ -10MgCl ₂	460
FeCl ₃	303	49 NaCl-51 CaCl ₂	500

Orientační složení spalin z energetického využívání komunálních a průmyslových odpadů po výstupu z ohniště.

		komunální	průmyslové
		odpady	odpady
teplota spalin po výstupu z ohniště	°C	900°C	1200°C
vlhkost spalin (H ₂ O)	obj. %	15	20
CO ₂	%	5	5
O ₂	obj.%	6 - 10	6 - 12
úletový popílek	g/Nm ³	5	10
HCl	mg/Nm ³	1 000	20 000
HF	mg/Nm ³	10	50
SO ₂	mg/Nm ³	500	5 000
NO _x	mg/Nm ³	400	600
CO	mg/Nm ³	50	50
Pb	mg/Nm ³	10	50
Zn	mg/Nm ³	30	50
Cd	mg/Nm ³	1	5
Hg	mg/Nm ³	0.4	3
PCDD/F	ngTE/Nm ³	2	5





Umístění ochranného výparníku

Požadavek teploty spalin 650°C před přehřívákem i na konci provozní periody!

Tedy na počátku provozní periody cca přes 550°C - limitující podmínka pro teplotu přehřáté páry.

- Spalovenské kotle s parametry páry kolem 350 °C, 3,0 MPa jsou bez havárií výhřevných ploch desítky let v provozu.
- Školní příklad bernského zařízení EVO, kde byl instalován kotel s parametry páry 475 °C, 6,2 MPa.
- Vertikálním uspořádání tahů, poslední přehřívák byl na vstupu do 3. tahu kotle.
- Havárie přehříváku na sebe nenechala dlouho čekat a z důvodů opakovaných přerušení provozu musely být oba kotle asanovány.

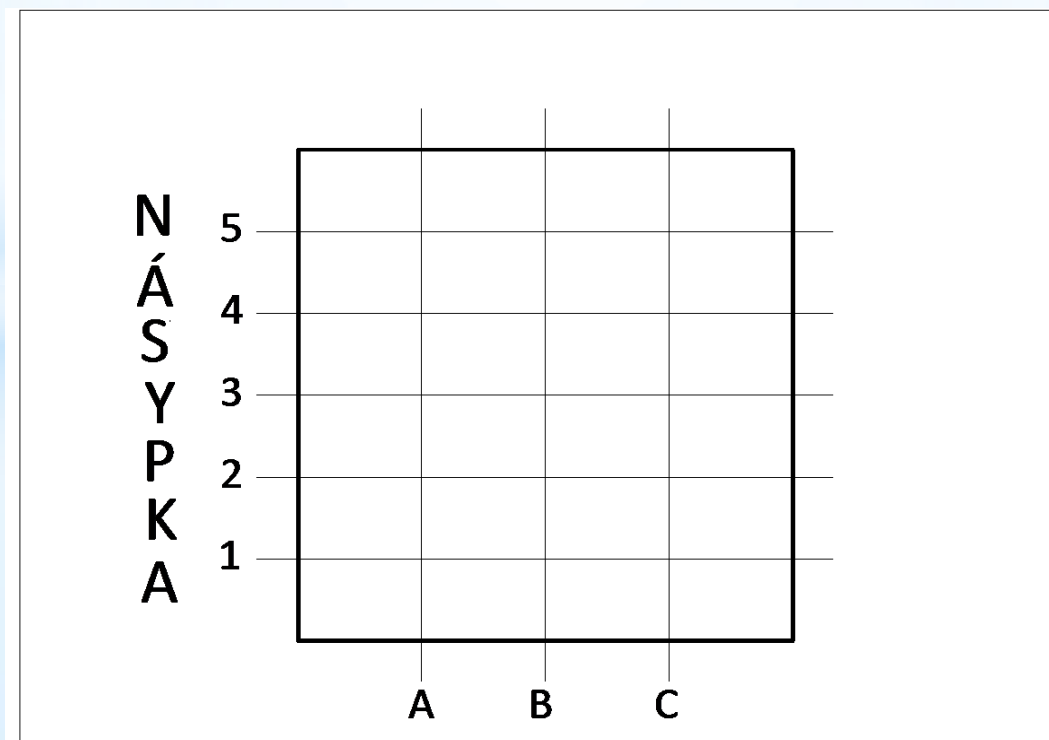
Hlavní asanační opatření:

- Instalace nového přesuvného roštu.
- Instalace stranových desek - terciární vzduch.
- Optimalizování výdusky stěn ohniště.
- Instalace „mříže“ výparníku mezi 1. a 2. tahem kotle.
- Zlepšení profilu spalin na vstupu do 3. tahu kotle.
- Instalace ochranného výparníku před poslední přehřívák.

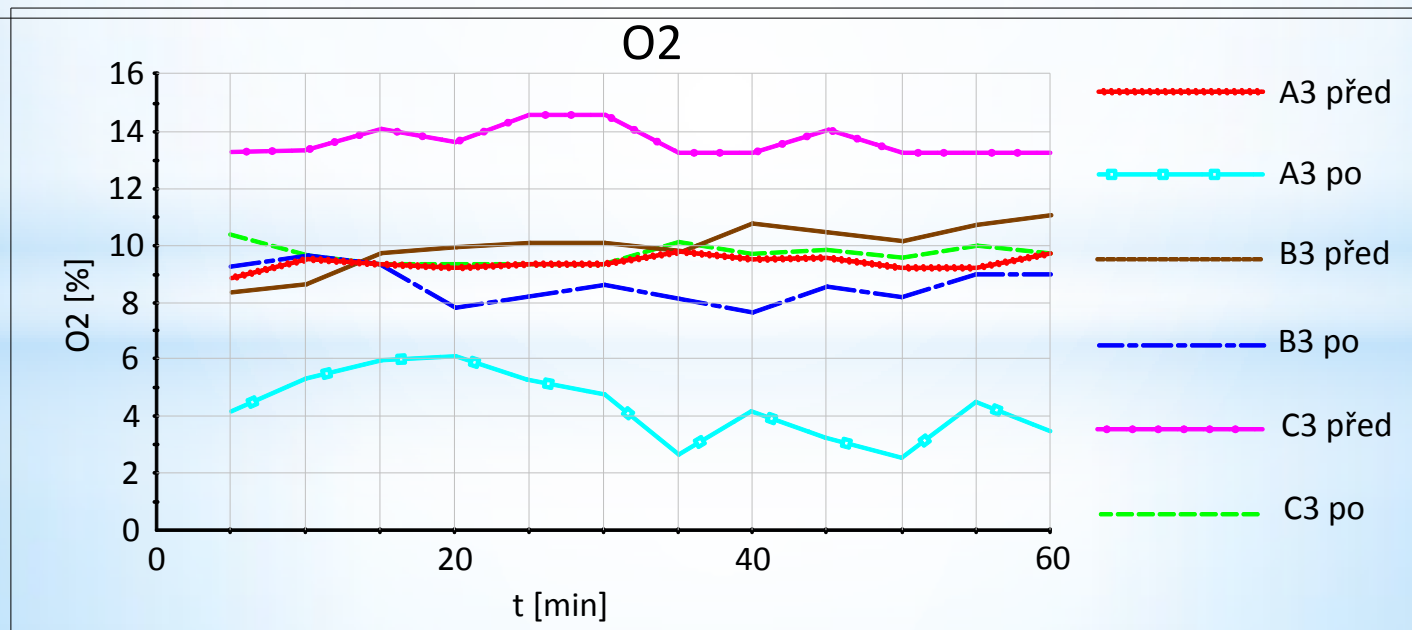
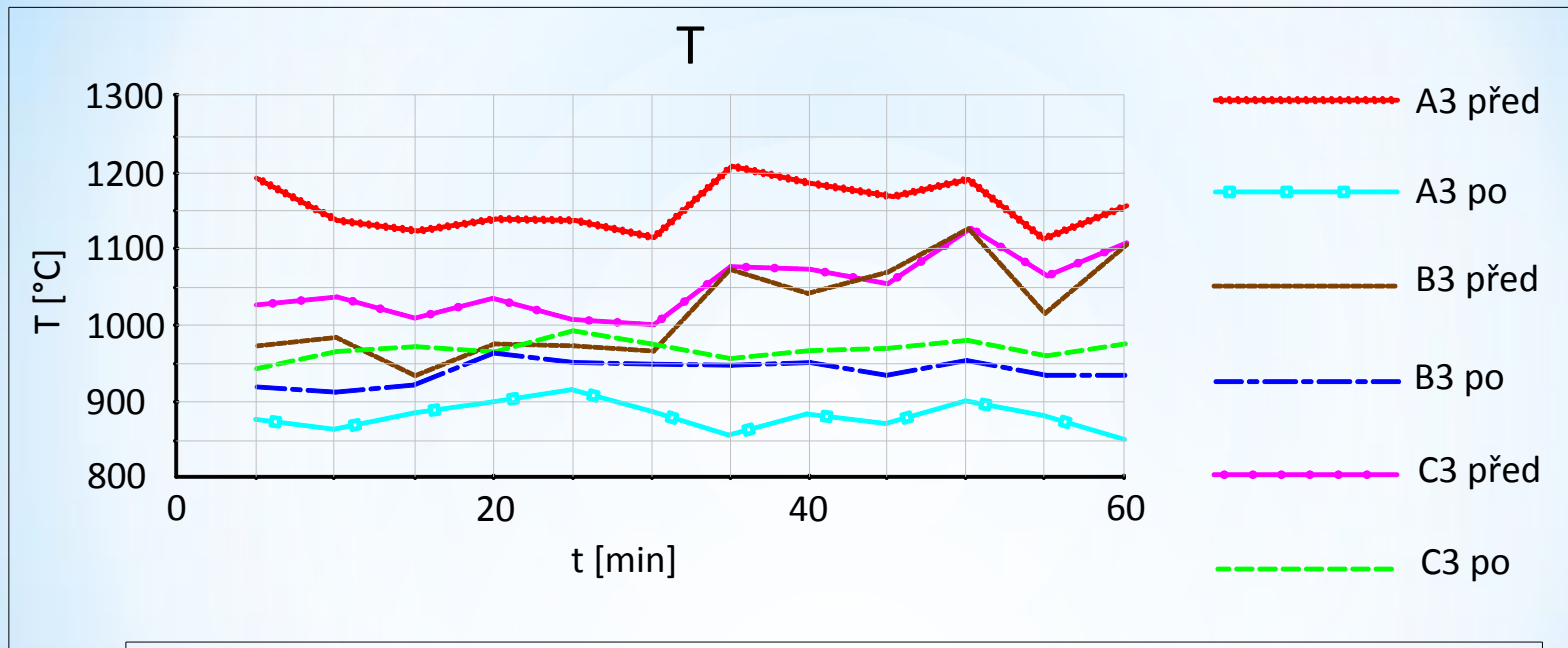
V provozu od 1985 dosud - nové zařízení EVO 2013

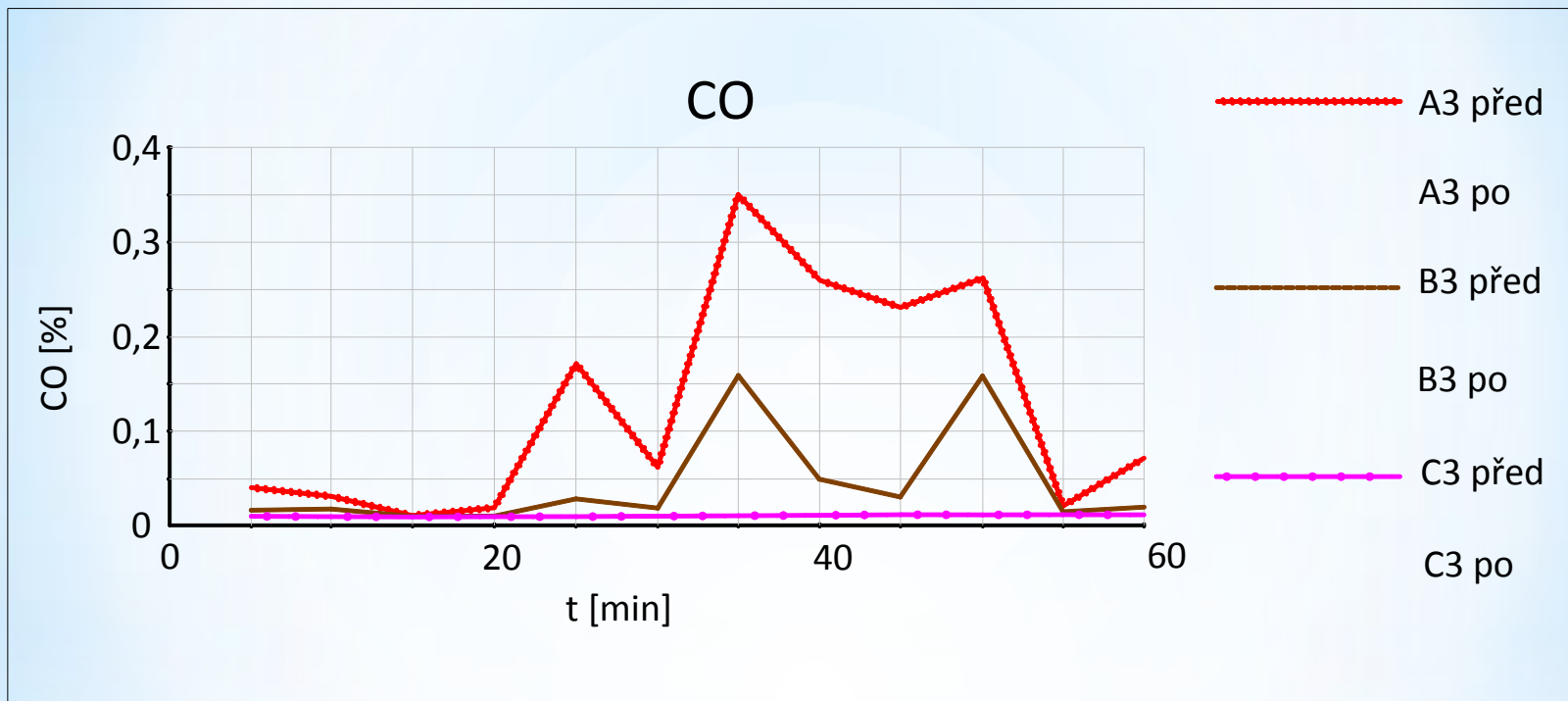
Účinek asanačních opatření:

- T v prvním tahu kotle pod 1000C
- O₂ pravidelně 8-10%
- CO cca 0,001%



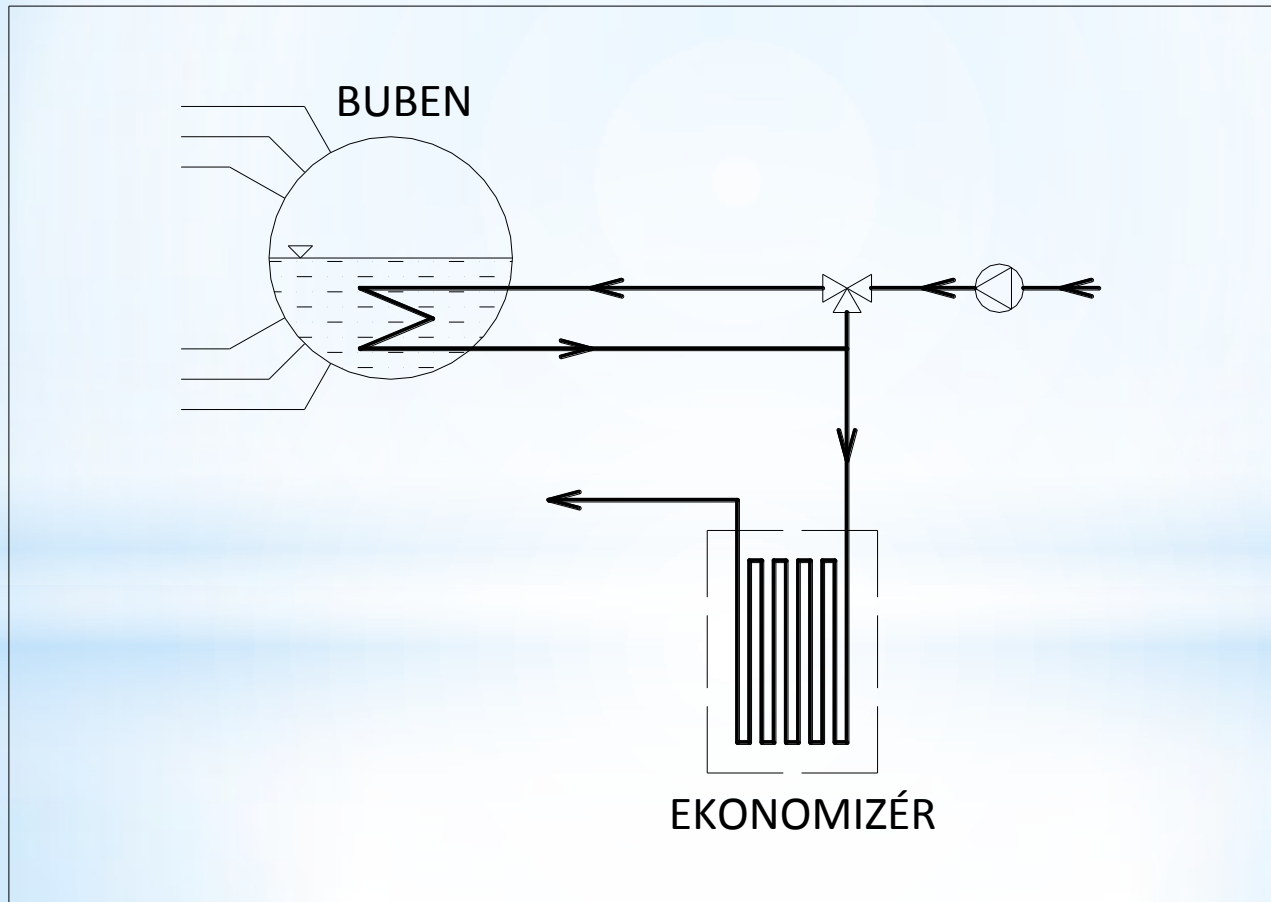
Výsledky síťových měření (T, O₂, CO) v ose 3





(0,1% obj. CO = 1250mg/Nm³)

Konstantní teplota spalin na výstupu z kotle



V okamžiku, kdy není možné teplotu vystupujících spalin na určité úrovni udržet, musí být kotel odstaven a vyčištěn

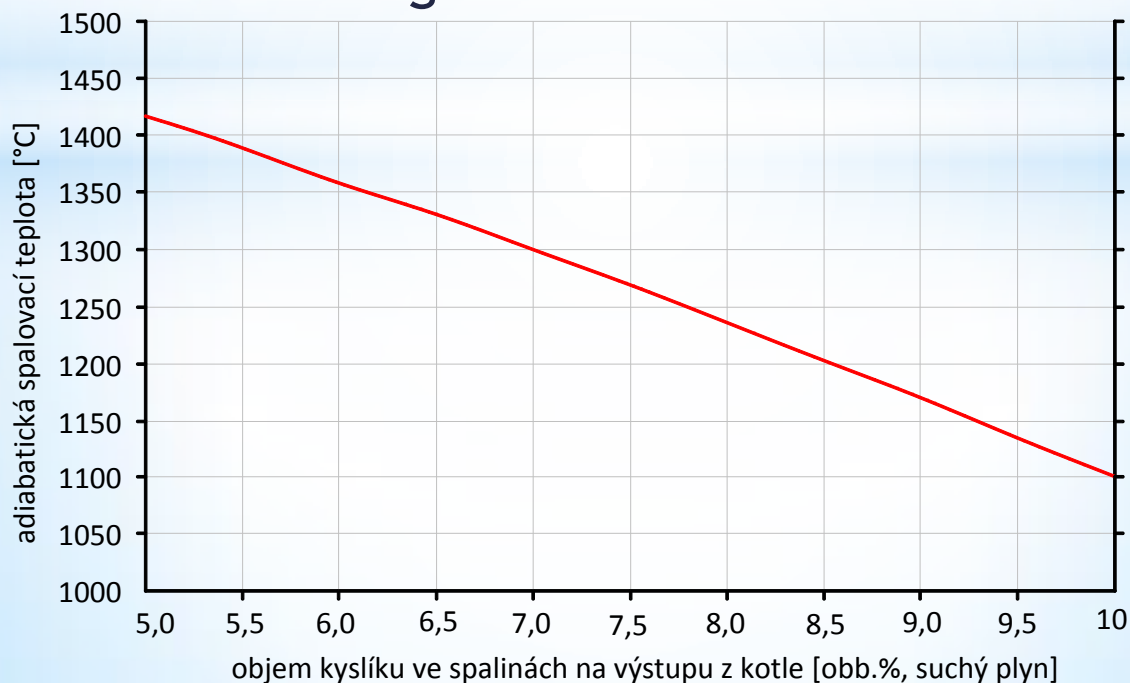
Snižování množství spalin.

Lze v podstatě jen dvěma způsoby:

- Snížením obsahu kyslíku ve spalinách
- Omezení či eliminování netěsností (vyloučení tzv. falešného vzduchu).

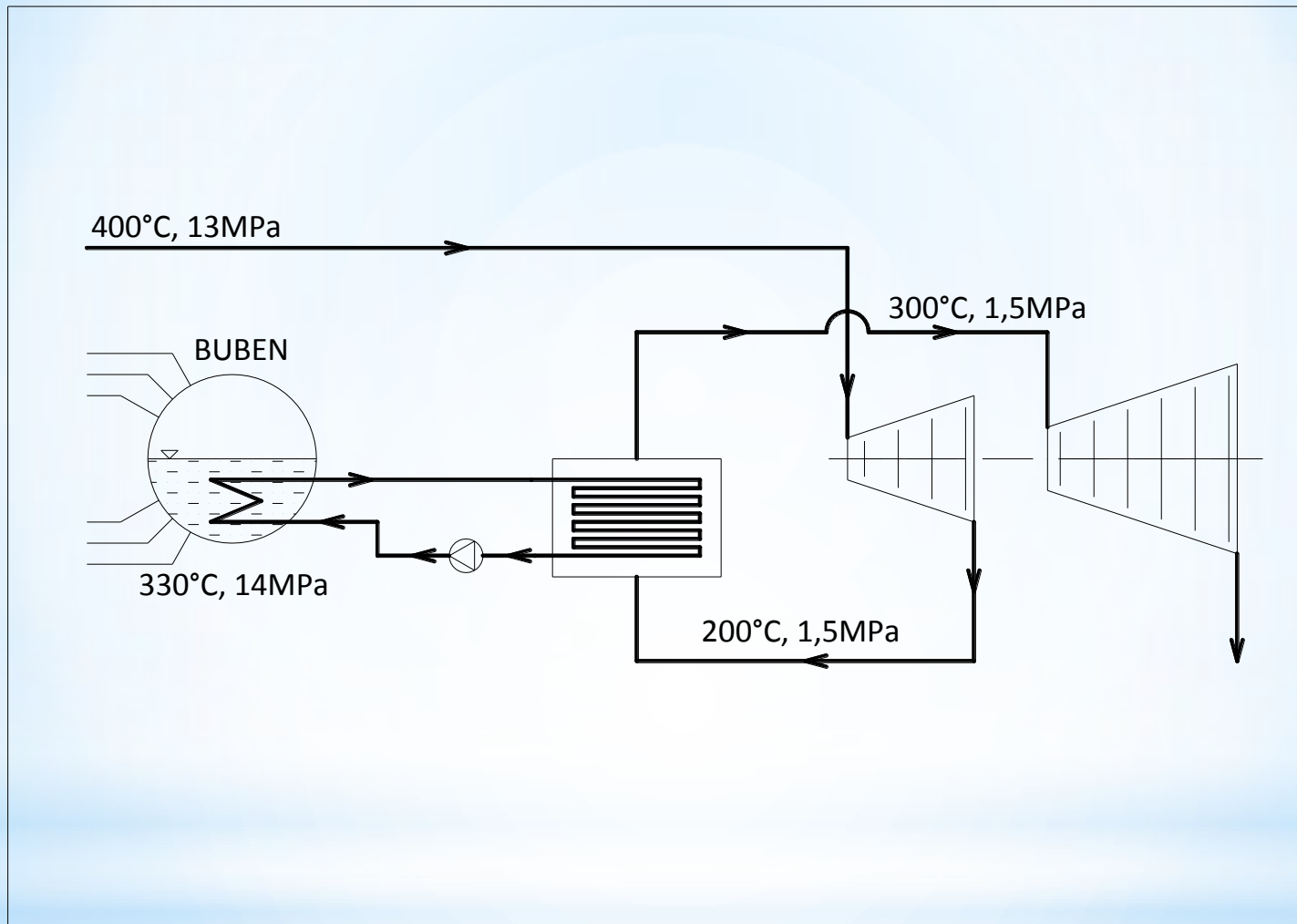
Obsah O₂ ve spalinách není možné libovolně snižovat - vysoká adiabatická teploty spalin.

Z druhé strany je užitečné eliminovat či omezit vstupy vzduchu do technologického řetězce.

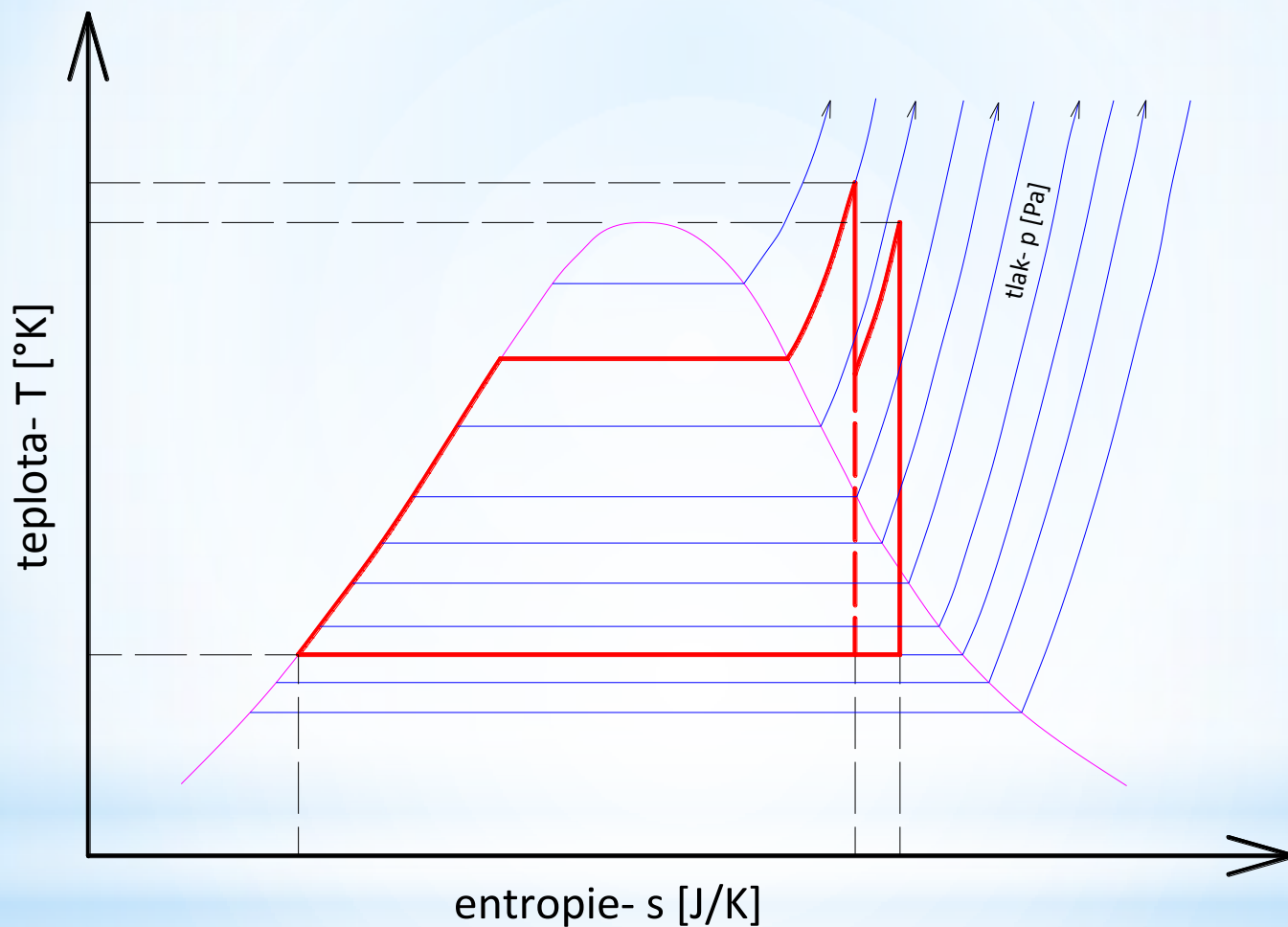


Přihřívání páry

- V klasické energetice běžně používání přihřívání páry pomocí spalínových mezipřehříváků naráží u spalovenkých kotlů na limity v souvislosti se zmíněnou problematikou korozivních úkazů.
- U EVO lze umístit mezipřehřívák mimo kotel a páru z vysokotlakého stupně lze přihřívát ve spojení s bubnem kotle. V takovém případě je třeba volit řádově vyšší tlak páry se všemi důsledky (konstrukce, výkon napájecího čerpadla).
- Přihřátím páry lze očekávat zlepšení účinnosti cca 2-4%.



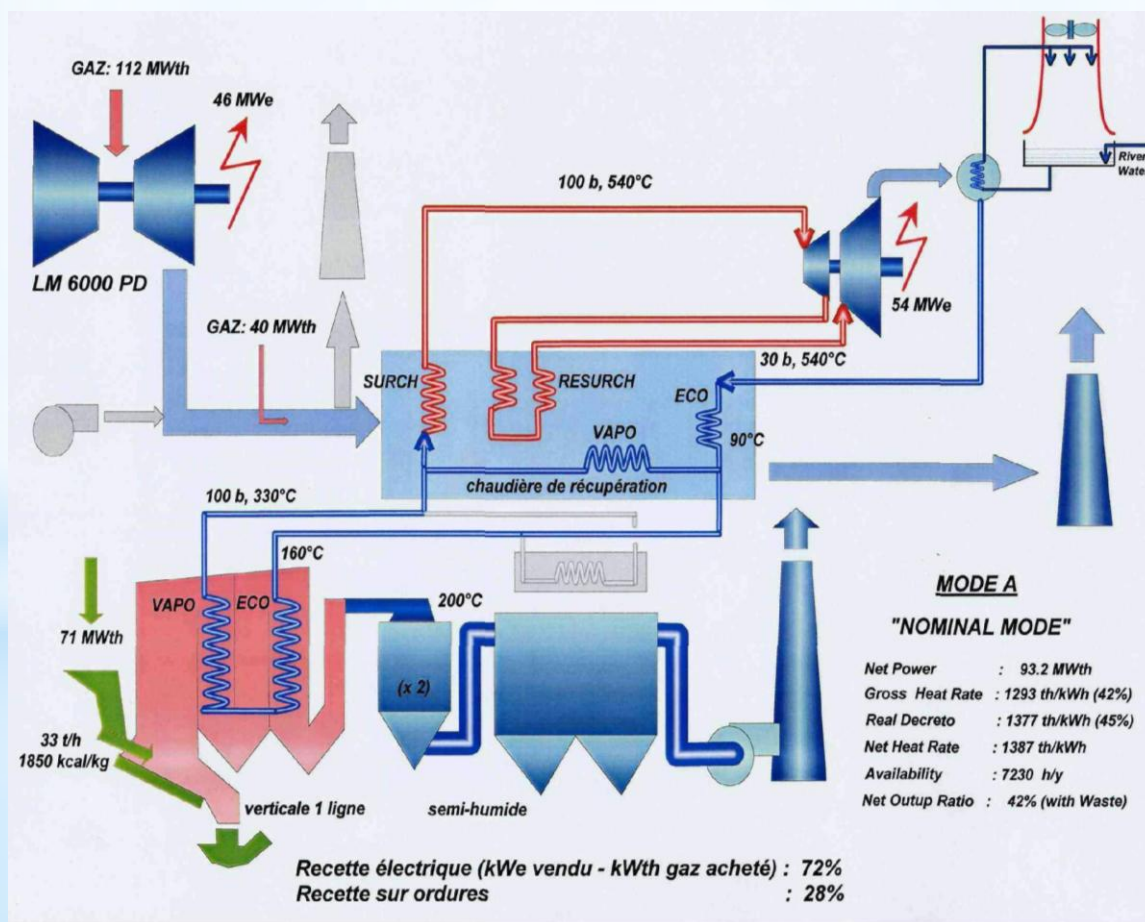
Princip řazení vnějšího mezipřehříváku



Přehřívání páry v T-s diagramu

Poznámka:

Spalinový mezipřehřívák byl v souvislosti s energetickým využíváním odpadu instalován v zařízení ve španělském Bilbau, ale byl instalován do kotle paroplynového cyklu.



Další možnosti zvyšování účinnosti

Obecně platí, že existuje řada dalších možností zvyšování účinnosti zařízení:

- Vlastní spotřeba energie
- Nedopal (škvára, popílek)
- Radiační ztráty
- Teplota spalovacího vzduchu (primární, sekundární)
- Odluh
- Čištění spalin
- Údržba

Významně, v řádu procent, lze zvýšit účinnost zařízení prodloužením fondu provozní doby, tzv. disponibility zařízení.

Zdroje

- Alessio, Muck: Möglichkeiten und Grenzen der Effizienzsteigerung in Abfallverbrennungsanlagen, 10. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, Münster, D, 2007
- Hyžík J.: Úskalí a možnosti zvyšování energetické účinnosti u energetického využívání odpadů, seminář Effektive Energetik ISBN 80-248-1063-8, Neustift, A, 2012
- Hyžík J.: Projektování zařízení na energetické využívání odpadu z hlediska energetické účinnosti, Kotle a energetická zařízení, Asociace výzkumných organizací, ISSN 1801-1306, Brno, 2009
- Hyžík J.: Kotle pro energetické využívání odpadu seminář, Kotle a energetická zařízení, Asociace výzkumných organizací, ISSN 1801-306, Brno, 2005
- Lemann M.: Abfalltechnik, Verlag Peter Lang AG, Bern, CH, 2005
- Provozní údaje zařízení na energetické využívání odpadu.
- Firemní podklady (E.I.C. spol. s r. o.)

**Děkuji za trpělivost, prosím
o případné dotazy**