

Energetického využití odpadů

Energetické využití odpadů (dále jen EVO) je v české legislativě specifikováno v příloze č. 3 zákona o odpadech a je vyjádřené kódem R₁, tj. „Využití odpadu způsobu obdobným jako paliva nebo jiným způsobem k výrobě energie.“

Spalování odpadů (tj. technologickými procesy s nadstechiometrickým přívodem vzduchu) se dále týkají §22 a §23 zákona o odpadech kde je uvedeno:

§ 22:

- Odst. 1 Odpady lze spalovat, jen jsou-li splněny podmínky stanovené právními předpisy o ochraně ovzduší a o hospodaření energií.
- Odst. 2 Technické požadavky pro nakládání s odpady vzniklémi při spalování nebezpečného odpadu ve spalovnách stanoví ministerstvo vyhláškou.

§ 23:

- Odst. 1 Spalování odpadu ve spalovně komunálních odpadů, která dosahuje vysokého stupně energetické účinnosti, se považuje za využívání odpadů způsobem uvedeným pod kódem R₁ v příloze č. 3 k tomuto zákonu. Výše požadované energetické účinnosti a vzorec pro její výpočet je uveden v příloze č. 12 k tomuto zákonu.
- Odst. 2 Spalovny odpadů, u nichž nejsou splněny podmínky spalování uvedené v odstavci 1, jsou zařízeními k odstraňování odpadů.

1

Účinnost energetického využití odpadů

Vzorec pro výpočet energetické účinnosti, která rozhoduje, zda se nakládání s odpadem v zařízení považuje za EVO nebo odstraňování je uveden v příloze č. 12 zákona o odpadech:

$$\eta = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \cdot (E_w + E_f)}$$

kde:

E_p (GJ/rok) se rozumí roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny. Vypočítá se tak, že se energie ve formě elektřiny vynásobí hodnotou 2,6 a teplo vyrobené pro komerční využití hodnotou 1,1 (hodnoty 2,6 a 1,1 = energetické ekvivalenty výroby elektřiny a tepla)

E_f (GJ/rok) se rozumí roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry

E_w (GJ/rok) se rozumí roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů (GJ/rok).

E_i (GJ/rok) se rozumí roční dodaná energie bez E_w a E_f

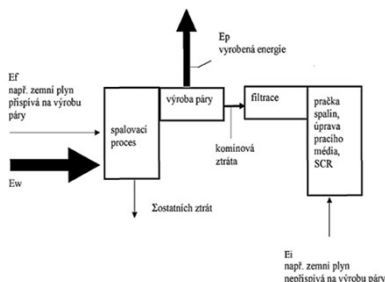
0,97 je činitelem energetických ztrát v důsledku vzniklého popela a vyzařování.

2

Účinnost energetického využití odpadů

Uvažovaný technologický řetězec ZEVO se skládá z:

- ohniště
- patřičně dimenzovaného parního kotle
- filtrace spalin
- chemicko-fyzikálního čištění spalin
- katalytického omezení emisí oxidu dusíku a organických látek typu PCDD/F



Technologické vody z procesu čištění spalin (prací média) jsou čířeny a odváděny do kanalizace či do vodoteče.

Dále je v obrázku uvedena komínová ztráta kotle a suma ostatních ztrát (chemickým nedopalem, mechanickým nedopalem, fyzickým teplem)

3

Účinnost energetického využití odpadů

Nejnižší požadovaná výše energetické účinnosti pro využívání odpadů způsobem R₁ je definována takto:

- pro zařízení, která získala souhlas k provozu zařízení před 1. lednem 2009 - 0,60
- pro zařízení, která získala souhlas k provozu zařízení po 31. prosinci 2008 - 0,65

ÚEVO je bezrozměrné kritérium, které za určitých okolností a v důsledku dosazování v tzv. ekvivalentních jednotkách může přesahovat hodnotu 1 (vysoká dodávka tepla + moderní účinné technologie výroby elektřiny).

Zavedené energetické ekvivalenty 2,6 a 1,1 odpovídají:

- účinnosti kondenzační výroby elektrické energie 38,5%
- monovýroby výroby tepla 91%

Požadavkem na dosažení alespoň 60% energetické účinnosti u starších resp. 65% účinnosti u nových zařízení a činitelem energetických ztrát 0,97 se pak redukuje kritérium účinnosti energetického využití odpadů při kondenzační výrobě elektřiny na 23,8 % resp. 25,8 % a u monovýroby tepla na 56,2 % resp. 60,9 %, což již jsou hodnoty v praxi dosažitelné.

4

Účinnost energetického využití odpadů

Pro dosažení co nejvyšší účinnosti energetického využití odpadů platí tyto zásady:

1. Zařízení na energetické využívání odpadu provozovat v režimu kombinované výroby elektrické a tepelné energie po celou dobu ročního provozního fondu
2. Zařízení dimenzovat a samozřejmě provozovat tak, aby byla možná pouze jedna, maximálně dvě odstávky za rok. Takto lze výrazně omezit E_f - roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry = energie paliva, které je potřeba pro řádné zprovoznění zařízení ze studeného stavu
3. Technologický řetězec sestavit tak, aby nebylo nutné používat palivo, které se nepodílí na výrobě páry, tedy energie E_i by měla být nulová. Takového výsledku lze dosáhnout konsekventním eliminováním tzv. meziuhřevu či ohřevu spalin za účelem
 - a. optického eliminování bílé vlečky spalin vystupujících z procesu fyzikálně-chemické absorpce
 - b. instalace zařízení na omezení emisí oxidu dusíku a emisí látek PCDD/F na straně spalin po průchodu fyzikálně-chemickou absorpcí.

Tohoto lze dosáhnout

- a. použitím nekatalytické redukce pro omezení emisí oxidu dusíku
- b. použitím katalyzátoru či katalyzátorových filtrů vhodných pro provoz v surových, tedy v nevyčištěných spalinách, které vykazují zpravidla teploty vhodné pro katalytický provoz

5

Úrovně energetické účinnosti spojené s nejlepšími dostupnými technikami (BAT-AEEL)

Uvedeny v referenčním dokumentu PROVÁDĚCÍ ROZHODNUTÍ KOMISE (EU) 2019/2010 ze dne 12. listopadu 2019, kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro spalování odpadu podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU

Úrovně BAT-AEEL uvedené v závěrech o BAT pro spalování jiného odpadu neklasifikovaného jako nebezpečný, než je čistírenský kal, a nebezpečného dřevěného odpadu jsou vyjádřeny jako:

- hrubá elektrická účinnost spalovacího zařízení nebo části spalovacího zařízení, které vyrábí elektřinu pomocí kondenzační turbíny,
- hrubá energetická účinnost spalovacího zařízení nebo části spalovacího zařízení, které:
 - vyrábí pouze teplo nebo
 - vyrábí elektřinu pomocí protitlaké turbíny a teplo za použití páry opouštějící turbínu.

6

Úrovně energetické účinnosti spojené s nejlepšími dostupnými technikami (BAT-AEEL)

Účinnost se vypočte podle vztahů:

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_{th}} \cdot \left(\frac{Q_b}{Q_b - Q_i} \right)$$

$$\eta_h = \frac{W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i}{Q_{th}}$$

kde:

W_e : vyrobený elektrický výkon v MW,

Q_{he} : tepelný výkon dodávaný do tepelných výměníků na primární straně v MW,

Q_{de} : přímo prodávaný tepelný výkon (ve formě páry nebo horké vody) bez tepelného výkonu vratného média v MW,

Q_b : tepelný výkon produkovaný kotlem v MW,

Q_i : tepelný výkon (ve formě páry nebo horké vody), který se využívá interně (např. pro ohřev spalin) v MW,

Q_{th} : tepelný příkon do zařízení pro tepelného zpracování odpadu (např. kotlů), včetně odpadu a pomocných paliv, která jsou používána nepřetržitě (s výjimkou najížděcích) v MW_{th}, vyjádřený jako výhřevnost.

7

Úrovně energetické účinnosti spojené s nejlepšími dostupnými technikami (BAT-AEEL)

BAT-AEEL				
Zařízení	Tuhý komunální odpad, jiný odpad neklasifikovaný jako nebezpečný a nebezpečný dřevitý odpad	Nebezpečný odpad jiný než nebezpečný dřevitý odpad (*)	Čistírenský kal	
	Hrubá elektrická účinnost (%) (†)	Hrubá energetická účinnost (%)	Účinnost kotle	
Nové zařízení	25–35	72–91 (%)	60–80	60–70 (%)
Stávající zařízení	20–35			

(†) BAT-AEEL se použijí pouze v případech, kdy je použitelný kotel na využití odpadního tepla.
 (*) BAT-AEEL pro hrubou elektrickou účinnost se použijí pouze na zařízení nebo části zařízení vyrábějící elektřinu pomocí kondenzační turbíny.
 (†) Horní hranice rozsahu BAT-AEEL lze dosáhnout při použití BAT 20 f.
 (†) BAT-AEEL pro hrubou energetickou účinnost se použijí pouze na zařízení nebo části zařízení vyrábějící elektřinu pomocí protlaké turbíny a teplo z páry vystupující z turbíny.
 (†) Hrubé energetické účinnosti přesahující horní hranici rozsahu BAT-AEEL (i nad 100 %) lze dosáhnout při použití kondenzátoru spalin.
 (†) U spalování čistírenského kalu je účinnost kotle značně závislá na obsahu vody v čistírenském kalu v okamžiku vsázky do pece.

8

Jiné přístupy k hodnocení energetické efektivity energetických zdrojů

Energetická účinnost

Metodika vychází z obecné energetické bilance, která nečiní rozdíl mezi různými vyráběné energie – elektřinou a užitečným teplem

Účinnost jejich získávání hodnotí vůči energetickému vstupu do procesu jejich výroby, kterým je teplo přivedené do procesu v palivu $Q_{pal, KJ}$ (MWh) charakterizované jeho výhřevností.

Energetickým výstupem jev případě kombinované výroby

- vyrobená elektřina E_{sv} (MWh)
- užitečné teplo $Q_{už}$ (MWh)

Poměrem těchto veličin se určí tzv. hrubá účinnost vztážená k výrobě

Určovat lze též tzv. čistou účinnost vztáženou k dodávce na patě zdroje, která proti hrubé účinnosti zohledňuje vlastní spotřebu elektřiny a tepla zdroje pro zajištění provozu.

9

Jiné přístupy k hodnocení energetické efektivity energetických zdrojů

Energetická účinnost

Tímto způsobem lze určovat

- elektrickou účinnost $\eta_{el} = \frac{E_{sv}}{Q_{pal, KJ}}$
- tepelnou účinnost $\eta_t = \frac{Q_{už}}{Q_{pal, KJ}}$
- celkovou účinnost $\eta_{CELK} = \frac{E_{sv} + Q_{už}}{Q_{pal, KJ}} = \eta_{el} + \eta_t$

Přístup nezohledňuje rozdíl v kvalitě, rozdíl v energetické náročnosti získávání elektrické energie a užitečného tepla, proto lze použít zejména pro obecné hodnocení energetických procesů a jejich vzájemné porovnávání

10

Jiné přístupy k hodnocení energetické efektivity energetických zdrojů

Úspora primární energie

Ukazatel byl zaveden pro hodnocení energetické efektivity kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET) proti standardizovaným způsobům jejich oddělené výroby

Základním hlediskem pro bilanci ÚPE resp. množství elektřiny vyrobené kombinovaným způsobem je energetická účinnost – viz výše. Pak platí

- celková účinnost $\geq 75\%$ (popř. 80% - dle kogenerační jednotky), pak lze veškerou elektřinu považovat za vyrobenou v KVET

$$E_{KVET} = E_{SV}$$

- celková účinnost $< 75\%$ (popř. 80% - dle kogenerační jednotky), pak E_{KVET} je pouze část E_{sv} vázané na dodávku užitečného tepla z KVET

$$E_{KVET} = Q_{už} \cdot C_{SKUT}$$

kde:

$Q_{už}$ – množství užitečného tepla

C_{SKUT} – poměr elektřiny a tepla vyjadřující poměr mezi E_{KVET} a množstvím $Q_{už}$ při jeho nejvyšší výrobě v běžném provozu - tedy $Q_{už, max}$

11

Jiné přístupy k hodnocení energetické efektivity energetických zdrojů

Úspora primární energie

$$\dot{UPE} = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_q^E} + \frac{\eta_e^T}{\eta_e^E}} \right) \cdot 100\%$$

kde: $\eta_q^T = Q_{už} / Q_{pal, KJ}$ $\eta_e^T = E_{KVET} / Q_{pal, KJ}$
 η_q^E - výsledná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla
 η_e^E - výsledná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny

Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu tepla a elektřiny jsou uvedeny v příloze č. 2 k vyhlášce č. 453/2012 Sb. Pro spalování biologicky rozložitelné i nerozložitelné složky komunálního nebo průmyslového odpadu je $\eta_q^E = 80\%$ a $\eta_e^E = 25\%$.

Za vysokoúčinné jsou považovány zdroje s instalovaným výkonem:

- ≤ 1 MWe pokud $\dot{UPE} > 0\%$,
- > 1 MWe pokud $\dot{UPE} \geq 10\%$

ÚPE je hlavním kritériem pro klasifikaci kombinované výroby jako vysocoúčinné, což je podmínka pro získání podpory elektřiny vyrobené tímto způsobem.

12

Provozní podpora EVO

Pro ZEVO s kogenerační výrobou elektřiny a tepla obecně připadají v úvahu tyto možnosti čerpání provozní podpory za vyrobenou elektřinu:

- zelený bonus na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE)
- zelený bonus na výrobu elektřiny z druhotných zdrojů energie (DZE)
- příplatek na výrobu elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET)

Výši provozní podpory jednotlivých typů výroben elektřiny a tepla upravují cenová rozhodnutí vydávaná Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) obvykle platná pro jeden následující rok

13

Podpora výroby elektřiny z OZE

Podpora se vztahuje i na výrobu elektřiny ze spalování odpadu nebo jeho společným spalováním s jinými palivy

r./s/	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Kategorie biomasy a proces využití	Jednotarňní pásmo provedení	
		od (včetně)	do (včetně)		Výkonní sazby [Kč/MWh]	Zelená bonusy [Kč/MWh]
	a	b	c	d	e	m
230	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	1.1.2016	31.12.2019	-	3720*	590

Pravidla podpory upřesňuje zákon 165/2012 Sb. o POZE

U elektřiny vyrobené energetickým využitím komunálního odpadu se podpora vztahuje pouze na elektřinu vyrobenou z biologicky rozložitelné části komunálního odpadu.

Vyhláška č. 477/2012 Sb. stanoví podíl biologicky rozložitelné části nevytříděného komunálního odpadu na celkovém energetickém obsahu na 60 %, pokud výrobce energie neprokáže vyšší hodnotu.

14

Podpora výroby elektřiny z druhotných zdrojů

V případě elektřiny vyrobené energetickým využíváním komunálního odpadu se podpora elektřiny z druhotných zdrojů vztahuje pouze na elektřinu vyrobenou z jeho biologicky nerozložitelné části při splnění podmínky, že se jedná o elektřinu vyrobenou při kombinované výrobě elektřiny a tepla.

V části 2.2. CR č. 3/2018 Roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny spalováním komunálního odpadu a ostatních druhotných zdrojů je specifikována provozní podpora pro takovéto výroby elektřiny uvedené do provozu do 31. 12. 2012.

Výše zeleného bonusu v této kategorii provozní podpory byla pro rok 2019 stanovena na 45 Kč/MWh.

15

Podpora elektřiny z vysokoúčinné KVET

Roční zelený bonus na elektřinu z KVET se skládá ze dvou sazeb:

- základní sazba je určena zvlášť pro výroby s instalovaným el. výkonem do 5 MWe a nad 5 MWe
- doplňková sazba zeleného bonusu se vztahuje pouze pro výroby spalující odpad s výkonem max. 5 MW a uvedené do provozu do 31. 12. 2012

Výše bonusu je vázána na velikost ÚPE a celkové účinnosti KJ.

Na konci části 3 CR ERÚ jsou uvedeny následující podmínky:

(3.10.) Pro výroby elektřiny ze spalování odpadů uvedené do provozu od 1. 1. 2013 včetně do 31. 12. 2015 včetně nelze zelený bonus uplatnit.

(3.11.) Pro výroby elektřiny uvedené do provozu nebo rekonstruované od 1.1.2016 včetně platí následující další podmínky:

- provozní finanční podporu formou zeleného bonusu na elektřinu z KVET nelze kombinovat s žádnou jinou formou provozní podpory,
- zelený bonus na elektřinu z KVET nelze uplatnit pro výrobu elektřiny z KVET při spalování odpadů.

16

Podpora elektřiny z vysokoúčinné KVET

r./s/	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu*		ÚPE kogenerační jednotky [%]		Celková účinnost kogenerační jednotky [%]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od (včetně)	do (včetně)	od (včetně)	do (včetně)	
	a	b	c	d	e	f	g	m
750	Elektřina z KVET	-	31.12.2019	10	15	-	-	173
751		-	31.12.2019	15	-	-	45	188
752		-	31.12.2019	15	-	45	75	268
753	Elektřina z KVET v rekonstruované výrobní elektřiny	-	31.12.2019	15	-	75	-	328
754		1.1.2013	31.12.2019	15	-	45	-	328

Z uvedeného vychází, že lze uplatnit následující bonusy pro

- ZEVO uvedené do provozu před 1.1.2013
- za výrobu elektřiny z DZ pouze za výrobu z biologicky nerozložitelné části SKO (40 %)
- zelený bonus na elektřinu z KVET
- ZEVO uvedené do provozu mezi 1.1.2013 až 1.1.2016
- zelený bonus na elektřinu z KVET
- ZEVO uvedené do provozu po 1.1.2016
- zelený bonus za elektřinu vyrobenou z biomasy (60 % SKO)

17

Parametry ZEVO

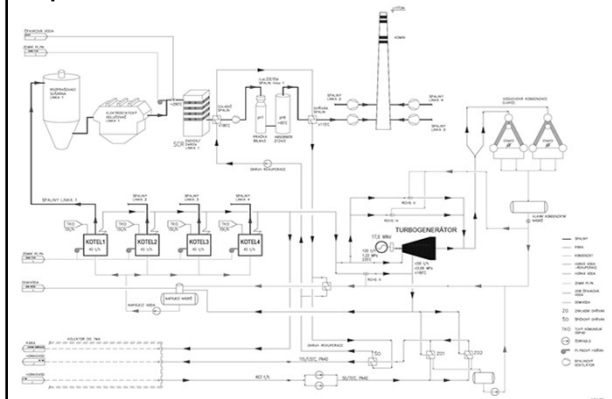
	výkon kotlů (t/h)	teplota páry (°C)	tlak páry (MPa)	výkon TG MW
ZEVO Malšice	4 x 40	235	1,37	17,6
SAKO Brno	2 x 52,3	400	4,1	22,7
TERMIZO Liberec	1 x 38 (45)	400	4,3	3,5 + 1
ZEVO Chotikov	1 x 42,4	425	5,1	7,3

obecný problém – závislost provozu ZEVO na sezonním odběru tepla

- ZEVO Malšice
 - původně postaven jako výtopna
 - v r. 2010 instalována nízkotlaká odběrová parní turbína
- ostatní ZEVO již postaveny jako teplárny
- v případě TERMIZO s protitlakou turbínou – omezení letního provozu řešeno dodatečnou instalací kondenzační nízkotlaké turbíny

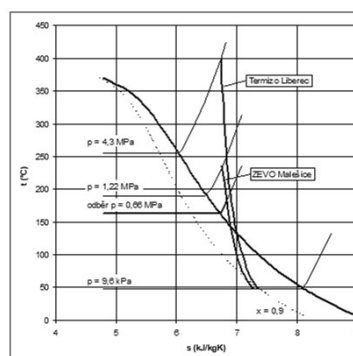
18

Tepelné schéma ZEVO Malešice



19

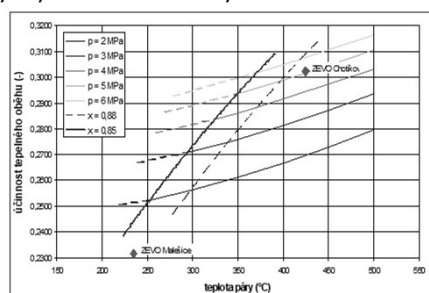
Vliv parametrů páry na účinnost výroby elektřiny



20

Vliv parametrů páry na účinnost výroby elektřiny

Vliv parametrů vyráběné páry na účinnost reálného tepelného oběhu výroby kondenzační elektřiny



po započtení účinnosti dílčích zařízení (kotel, generátor) účinnost kondenzační výroby elektřiny v ZEVO Malešice vychází 17,25 %

21

Možnosti zvyšování účinnosti EVO

- kromě již zmíněných provozních opatření cesta vede přes zvýšení parametrů vyráběné páry
- v 70. letech MS bylo v Německu a ve Francii postaveno několik spaloven SKO s elektrárenskými parametry páry
- po několika měsících provozu u nich došlo k poruše těsnosti přehříváků působením chlorové koroze, jejíž intenzita s teplotou materiálu prudce roste
- vliv chloru na korozi spalovenských kotlů se i dnes ukazuje jako limitující faktor pro volbu jejich parametrů

22

Chloru v odpadu

Spalovaný odpad může obsahovat vyšší podíl chloru

Chlor má negativní dopad na spalovenský kotel

- způsobuje korozi výhřevných ploch
- podporuje intenzivní zanášení kotle
- je zdrojem emisí

23

Chloru v odpadu – vliv na korozi kotle

- Intenzivní vliv chloru na korozi teplosměnných ploch kotle (i na vyzdívkách) je znám především u zařízení na spalování odpadů a rostlinné biomasy.
- Chlor je v odpadu vázán
 - v plastech (PVC)
 - jako chlorid sodný v potravinách a potravinových obalech
 - jako chlorid draselný v BRO
- SKO může obsahovat 0,4 až 1,2 % Cl^d
- Z hlediska vlivu na korozi kotle lze za vysoký považovat obsah Cl^d nad 0,35 %

	Odpady komunální
Obsah Cl % (d)	do 1,0
Obsah S % (d)	do 1,0
Typ ohniště	Roštové
Spaliny na výstupu z ohniště	
Obsah HCl mg/Nm ³	? 500
Obsah SO ₂ mg/Nm ³	? 200
ClSO _x mg/mg	< 10
Odhadnutý účinek koroze	
Běžná mm/h	< 25 - 50
Silná (lokální) mm/h	500 - 1000

24

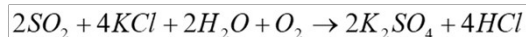
Chlor ve spalovacím procesu

- Během spalování dochází k uvolňování organického chloru do plynné fáze
- uvolnění chloru (dechlorace) během spalování proběhlo za cca 200 ms a to i pro částice o velikosti 300 μm při obsahu chloru 0,54%, až 0,83%.
- k uvolňování chloru dochází již i při teplotách 258°C, kdy se 40-60% chloru uvolňuje jako HCl případně i Cl₂ (nizkoteplotní dechlorace)
- Větší korozní riziko představují těkavé chloridy alkalicckých kovů
 - KCl s teplotou tání je okolo 760°C
 - NaCl s teplotou tání je okolo 820
 - kondenzují na chladnějších stěnách teplosměnných ploch
 - vytvářejí sloučeniny, které jsou k materiálu trubek vysoce korozně agresivní

25

Chlor ve spalovacím procesu

- Velký efekt na podíl jednotlivých typů sloučenin chloru ve spalinách má síra, resp. koncentrace SO₂ - reaguje s chloridy



- síran draselný je netěkavý a odstraní se spolu s popílkem v odlučovačích
- HCl je výrazně menším korozním rizikem, neboť i při nižších teplotách zůstává vysoce zředěná v plynné fázi (kondenzuje při 48 – 110°C)

Intenzivnější chlorová koroze proto hrozí

- při spalování paliv s malým obsahem síry – biomasa
- při aditivním odsířování přímo ve spalovací komoře – fluidní kotle

26

Chlorová koroze

Riziko vzniku chlorové koroze výhřevných ploch kotle dle obsahu chloru v uhlí lze očekávat:

Cl < 0,15 %	malé riziko
Cl = (0,15 až 0,35)	střední riziko
Cl > 0,35	vysoké riziko

Účinky jsou závislé

- na množství uvolněného chloru,
- na lokálních provozních podmínkách, které spolupůsobí při korozi a jsou charakteristické pro mechanismus korozního působení v dané oblasti.

Odděleně se posuzuje vliv obsahu chloru na korozi:

- v oblasti ohniště
- v oblasti přehříváků páry
- v oblasti tzv. nizkoteplotní koroze („studený konec kotle“)

27

Mechanismus vysokoteplotní koroze

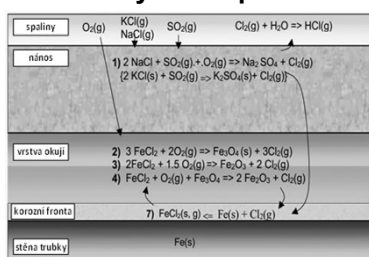
Určující je přítomnost volného Cl₂

Podstatné kroky tohoto mechanismu jsou:

- tvorba chloridu železnatého na povrchu materiálu
- zplyňování chloridu železnatého v závislosti na lokální provozní teplotě
- rozklad chloridu železnatého reakcí s kyslíkem a kyslíčkem síry, které difundují ze spalin směrem ke stěně trubky.

28

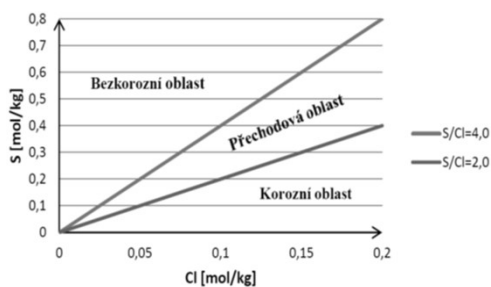
Mechanismus vysokoteplotní koroze



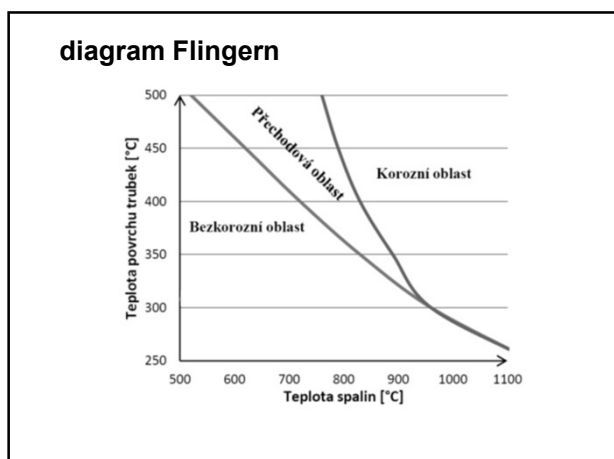
- oxid železa se vytváří vzdáleně od stěny trubky a znemožňuje vznik plynotěsné ochranné oxidační vrstvy Fe₃O₄ na povrchu oceli
- kyslík se spotřebovává na vnějších vrstvách povrchu stěny (okuje, nánosy),
- tím se vytváří na korozní frontě redukční atmosféra, která pak umožňuje tvorbu chloridu železa na stěně trubky.
- sulfatizace chloridů obsažených v popelovém nánosy, přispívá pak k dosažení dostatečně vysokého parciálního tlaku chloru na rozhraní okuje - materiál stěny, kde vzniká cyklický korozní mechanismus

29

Diagram chlorové koroze



30



31