

Negativní vliv energetického využití biomasy

Ing. Marek Baláš, Ph.D.

Osnova

2

- Legislativa
- Biomasa
 - druhy
 - složení
- Emise – vznik, množství, vlastnosti, dopad na ŽP a zdraví, opatření
 - CO
 - SO₂
 - NO_x
 - Chlor
 - TZL

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Základní dokumenty

3

- zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší (dříve 86/2002)
- Ochrana ovzduší se rozumí předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícím ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší.
- Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje,
 - přípustné úrovně znečištění a znečišťování ovzduší,
 - způsob posuzování přípustné úrovně znečištění a znečišťování ovzduší a jejich vyhodnocení,
 - nástroje ke snižování znečištění a znečišťování ovzduší,
 - práva a povinnosti osob a působnost orgánů veřejné správy při ochraně ovzduší,
 - práva a povinnosti dodavatelů pohonných hmot a působnost orgánů veřejné správy při sledování a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot v dopravě.

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Emisní limity zvláště velkých zdrojů

4

Tabulka 2 - Specifické emisní limity pro spalovací stacionární zdroje, pro něž byla podána kompletní žádost o první povolení provozu 7. ledna 2013 nebo později nebo byly uvedeny do provozu po 7. lednu 2014

Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m ⁻³]											
	> 100 MW			> 100-100 MW			> 300 MW					
	SO ₂	NO _x	TZL	CO	SO ₂	NO _x	TZL	CO	SO ₂	NO _x	TZL	CO
Pevné palivo	400	300	20	250	200	200	20	250	150	150	10	250
Biomasa podle § 2 písm. a)	200	250	20	250	200	200	20	250	150	150	20	250
Bakulina	300	250	20	250	300	200	20	250	150	150	20	250
Kapalná paliva	350	300	20	175	200	150	20	175	150	100	10	175
Kapalná paliva	500	500	100 ¹⁾	100 ¹⁾	500	500	100 ¹⁾	100 ¹⁾	500	500	100 ¹⁾	100 ¹⁾
Zkapalňovací plyn	5	300	5	175	5	150	5	175	5	150	5	175
Plyné palivo	35	100	5	100	35	100	5	100	35	100	5	100
Plyné palivo	50 ²⁾	75 ³⁾	5	100	50 ²⁾	75 ³⁾	5	100	50 ²⁾	75 ³⁾	5	100
Zemní plyn	35	100	5	100	35	100	5	100	35	100	5	100
Kukarské plyn	400	100	30	100	400	100	30	100	400	100	30	100
Výzkladovací plyn	200	100	10	100	200	100	10	100	200	100	10	100
Plyn ze spalování odpadních materiálů	35	100	5	100	35	100	5	100	35	100	5	100

Vývody:
 1) Vznikají ze plynů na spalování pevných a kapalných paliv.
 2) Vznikají ze plynů na spalování v Růžovicích.
 3) Vznikají ze plynů na spalování v Jáchymovské ulici, které mají účinnost sálití asi 35 % (stanovenou na základě podmínek Manipulační opatření pro normalizaci ISO) platí emisní limity ve výš 50-75, kde je je účinnost plynové tarlny pracující v základním režimu (podle ISO) vyloučena v procentech.
 4) Plynové tarlny, včetně plynových tarlní v kombinované cyklu, emisní limity platí pouze při nastavení účinnosti asi 70 %.
 5) Vznikají ze plynů na spalování motorů.
 6) Vznikají ze plynů na spalování motorů, včetně plynových tarlní v kombinované cyklu.

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Emisní limity menších zdrojů

5

Tabulka 1.1 - Specifické emisní limity platné od 1. ledna 2018

Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m ⁻³]											
	> 0,3-1 MW				> 1-5 MW				> 5-50 MW			
	SO ₂	NO _x	TZL	CO	SO ₂	NO _x	TZL	CO	SO ₂	NO _x	TZL	CO
Pevné palivo	-	600	100	400	-	500	50	500	1500 ¹⁾	500	30	300
Kapalná paliva	-	130	-	80	-	130	450 ²⁾	50	80	1500 ³⁾	130	450 ²⁾
Plyné palivo a odpadní plyn	-	100 ⁴⁾	-	50	-	100 ⁴⁾	-	50	-	100 ⁴⁾	-	50

Vývody:
 1) Neplatí pro stacionární zdroje spalující biokohli, provozované napříč 1200 provozními hodinami, se vnitřní specifický emisní limity 2000 mg.m⁻³.
 2) Pokud nelze tyto hodnoty z technických důvodů dosáhnout použitím nízkosulfurových paliv, platí specifický emisní limity 200 mg.m⁻³.
 3) Platí v případě spalování biomasy pro spalování ve stacionárních zdrojích s výstupní emisní účinností z nízké biomasy.
 4) Vznikají ze plynů na spalování odpadních materiálů a plynů podzemních kapalných paliv.

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Biomasa

6

- z hlediska energetiky můžeme pojem biomasy charakterizovat jako zdroj obnovitelné energie, vzniklý fotosyntézou (fytomasa, dendromasa) společně s hmotou živočišného původu; jde zejména o:
 - dřevní hmotu a její odpad,
 - slámu, stěbelniny, traviny, popí, jiné zemědělské zbytky,
 - ekrementy užitkových zvířat,
 - energeticky využitelný organický odpad vznikající lidskou činností,
 - plynné produkty z provozu čistíren odpadních vod a skládek.
- z hlediska využitelnosti můžeme biomasu rozdělovat jako
 - čistá
 - odpadní – odpady z lesnictví a zemědělství
 - záměrně pěstovanou – rychlerostoucí dřeviny
 - složení: C, H, O, N, stopové množství S, Cl
 - kontaminovanou – odpady z dřevozpracujícího průmyslu
 - biomasa je kontaminována lepidly, pojivy, aditivy, barvami, plasty atp.
 - složení: C, H, O, N, stopové množství: S, Cl, těžkých kovů (TO, Pb, Cd, Mn) atd.

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Dělení škodlivin

7

- vznik se nedá ovlivnit spalovacím procesem
- jsou dány složením paliva
- SO₂, sloučeniny chlóru a fluoru, těžké kovy
- vznik můžeme ovlivnit spalovacím procesem
- CO, NO_x,
- dioxiny, furany, PAH
- látky, které nejsou klasifikovány jako škodliviny, ale mají patří mezi skleníkové plyny
- CO₂, H₂O

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Oxidy uhlíku

8

- emise oxidů uhlíku jsou závislé především na dokonalosti technologie spalování
- saze – C
 - vznikají rychlým ochlazením plamene (ten tvoří především CO)
 - endotermické reakce – ztráty tepla
 - dopady: způsobuje nánosy, zanáší plíce
- CO a CO₂

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



oxid uhelnatý – CO

9

- vznik
 - vzniká nedokonalým spálením uhlíku
 - výfuk automobilů, letadel, lesní požáry, topeniště, sopečná činnost
- vlastnosti
 - bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, lehčí než vzduch, nedráždivý, jedovatý, hoří modrým plamenem
 - t_{lání} = -204 °C, t_{varu} = 191,5 °C, ρ = 1,25 kg·m⁻³
- reakce
 - CO + O → CO₂ + M
 - CO + ½ O₂ → CO₂ + Q
 - CO + O₂ → CO₂ + O₂
 - CO + OH → CO₂ + H - velmi rychlá reakce – smog
 - CO + 3H₂ → CH₄ + H₂O - bakterie
- dopad
 - způsobuje energetické ztráty
 - způsobuje otravu – vysoká afinita k hemoglobinu
- opatření
 - spalování s přebytkem vzduchu, optimální zavádění vzduchu do spalovací komory

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



oxid uhličitý – CO₂

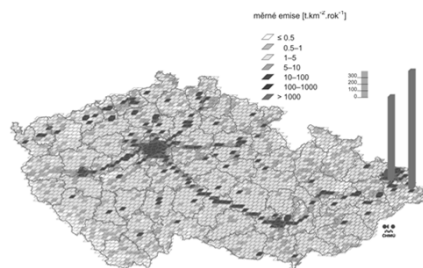
10

- vznik
 - vzniká spalováním uhlíku – nutný produkt termického využívání biomasy
 - spalování, odlesňování, eroze hornin
- C + O₂ → CO₂
- vlastnosti
 - bezbarvý, kyselá chuť, ostrý zápach, těžší než vzduch,
 - t_{lání} = -78,5 °C, t_{varu} = -56,6 °C, ρ = 1,9768 kg·m⁻³
- reakce
- dopad
 - podílí se na skleníkovém efektu
- opatření
 - spalování s přebytkem vzduchu, optimální zavádění vzduchu do spalovací komory

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



11



Obr. 1.1.9 Emisní hustoty oxidu uhelnatého ze čtvrcí 5x5 km, 2010

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Oxid siřičitý SO₂

12

- vznik - S + O₂ → SO₂
- vlastnosti
 - bezbarvý plyn, štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn s hustotou vyšší než vzduch, snadno se rozpouští ve vodě a organických rozpouštědlech
 - t_{lání} = -75,7 °C, t_{varu} = -10 °C, ρ = 2,926 kg·m⁻³
- reakce
 - reaguje na povrchu různých tuhých suspendovaných částic (SO₂ + ½ O₂ → SO₃ + H₂O → H₂SO₄) a může být oxidován uvnitř vodních kapiček rozptýlených v ovzduší
- dopad
 - dráždí dýchací cesty, toxický, způsobuje tzv. kyselý déšť a smog londýnského typu
- opatření
 - nepoužívat simaté palivo, odsíření paliva, odsíření spalin

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Sloučeniny síry

13

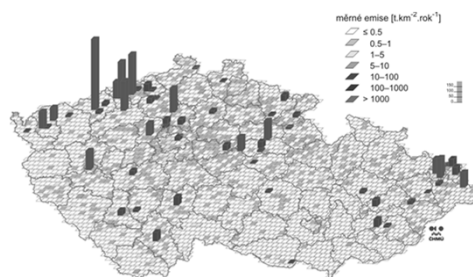
- v palivu je množství vodní páry a vodíku, takže síra se spíše přeměňuje na H_2S
- sulfan H_2S (sirovodík)
 - vznik $S + H_2 \rightarrow H_2S$
 - bezbarvý, zapáchající plyn, těžší než vzduch
 - dopad: prudce jedovatý, toxický, způsobuje tzv. kyselá deště
- sírouhlík CS_2
 - vznik $C + 2 \cdot S \rightarrow CS_2$
 - bezbarvá kapalina, která velmi silně zapáchá
 - dopad: jedovatý a toxický

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Emisní hustoty SO_2

14



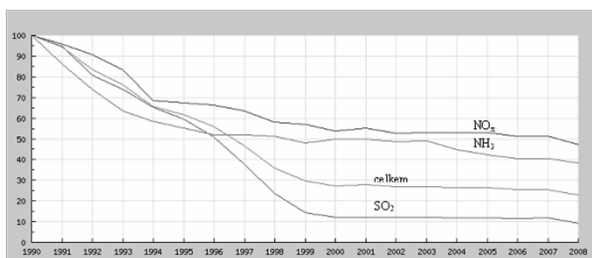
Obr. I.1.8 Emisní hustoty oxidu siřičitého ze čtverců 5x5 km, 2010

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Snížení SO_2

15



Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Možnosti snížení emisí oxidů síry

16

- absolutní snížení spotřeby paliv**
 - spalování v zařízeních s vyšší energetickou účinností
 - spotřebiči s nižší energetickou náročností - snížením spotřeby tepla
- náhradou paliv za paliva nízkosírná nebo bez síry**
 - náhrada uhlí s vysokým obsahem síry za uhlí nízkosírná, za kapalná paliva s nízkým obsahem síry nebo zemní plyn
- odsířování uhlí**
- odsířování spalin**

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Základní principy odsířování

17

- průtočné procesy**
 - čínidlo na sebe naváže SO_2 a směs vystupuje z procesu ve formě popílku
- regenerační procesy**
 - oproti průtočným použité čínidlo regenerují a vracejí jej zpět do absorpce
- mokrý procesy**
 - SO_2 reaguje s vodním roztokem alkalických látek
- suché procesy**
 - sorpční a katalytické procesy s tuhým zbytkem jako produktem
 - teplota spalin neklesne pod rosný bod
- absorpční
- adsorpční
- procesy katalytické

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Používaná odsířovací aditiva

18

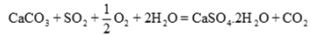
- aditiva na bázi vápnicku či hořčíku
 - CaO , $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, $Mg(OH)_2$
 - důraz na co největší měrný povrch aditiva
- požadavky na odsířovací metodu
 - reakční látka má být dostupná, levná, nesmí škodit ŽP
 - produkt odsíření musí být následně využitelný
 - mimo hlavní látky není třeba využívat jiných činitelů
 - technologie má vysokou životnost (min 15 let) a bezporuchovost
 - výkon a odlučivost je možno regulovat
 - energeticky nenáročná
 - co nejnižší investice – finanční i prostorová
 - účinnost a výsledná koncentrace SO_2 ve spalinách

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz

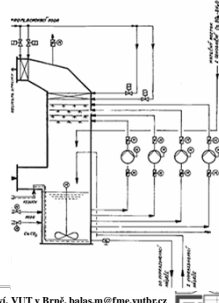


Mokrú vápencová metoda

19



- spočívá ve vypírání SO₂ vodní suspenzí vápna nebo vápence
- teplota reakcí - okolo 60 °C
- řídicím mechanismem procesu je rychlost rozpouštění vápence
- optimální pH 5-6, při nižším se zvyšuje tvorba úsad
- účinnost odsiřování
 - CaCO₃:SO₂=1,02-1,07 η = 95%
- zachytávány jsou i HCl a HF

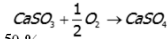
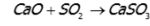
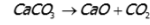


Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz

Suchá vápencová metoda

20

- spočívá v nastříkávání jemně rozemletého vápence se vzduchem do spalin v kotli nebo v přidávání mletého vápence do uhlí před mlýny
- CaSO₄ je společně s popílkem následně odseparován v EO



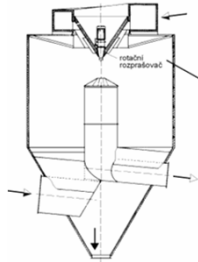
- α = 2, η_{SO₂} = max 50 %
- vápenc musí být dostatečně rozemlet, minimálně 90 % částic < 60 μm
- předností technologie je nízký náklad na strojní zařízení
- nevýhody
 - nízké využití CaO spojené s nízkou účinností
 - složité zavádění aditiva do reakčního prostoru
 - poruchy způsobené práškovým vápencem (zanášením)
 - nutnost rekonstruovat elektrostatický odlučovač
 - zvýšené množství odpadního produktu - nevyužitelné

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz

Polosuchá vápenná metoda

21

- účinnost
 - při Ca:S = 1,5 η=75 %
 - při Ca:S = 1,7 η=80 %
- důležité parametry
 - relativní vlhkost spalin
 - recirkulace popílku a absorpčního materiálu
- výhody
 - suchý rámcově využitelný produkt bez odpadní vody
 - nízká tlaková ztráta
 - spolehlivý provoz, snadná údržba
- metoda NID – recirkulace sorbentu



Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz

Přehled obvyklých parametrů a měrných investičních náročností technologií.

22

- Úrovně investičních nákladů a dosažitelnosti limitu jsou rámcové a jsou obecně závislé na mnoha parametrech. Uvedená data jsou platná zejména pro technologie, jejichž navazující zařízení bylo primárně přizpůsobeno pro uvedenou technologii.

Technologie	Účinnost [%]	Limit SO ₂ [mg/Nm ³]	Investiční náklad [CZK/kWhe]
Mokrú metoda odsiření	90 - 99	100 - 400	2250 – 3000
Polosuchá metoda odsiření	90 - 97	200 - 500	1500 - 1950
Suchá metoda	70 – 95	200 - 500	1000 - 1800

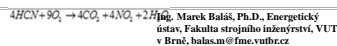
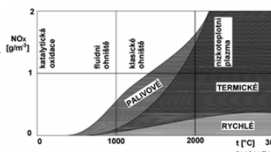
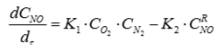
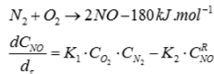
Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz

Oxidy dusíku

• souhrnné označení pro směs N₂O, NO (89 %), NO₂ (10 %) a další

• podle vzniku rozlišujeme tři druhy

- termické NO_x
 - vznikají v oblasti vysokých teplot ve spalovacích komorách (nad 1300 °C) oxidací vzdušného dusíku
 - O + N₂ → NO + N
 - N + O₂ → NO + O
 - N + OH → NO + H
- promptní NO_x
 - vzniká z uhlíkovitých na rozhraní plamene
 - vznik souvisí s vazbou molekul dusíku s radikály
 - v reakcích s nízkou energetickou bariérou
 - hrají podružnou roli – malé množství
- palivové NO_x
 - vznikají z dusíku obsaženém v palivu od 700 °C
 - N_{palivový} + 1/2 O₂ → NO



Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz

Oxidy dusíku

24

- oxid dusný – N₂O
 - vzniká nízkoteplotním spalováním palivového dusíku
 - bezbarvý, nehořlavý plyn s nevýraznou, ale příjemnou vůní a nasládlou chutí, „rajský plyn“.
- narušuje ozonovou vrstvu, podporuje skleníkový efekt – patří mezi nejvýznamnější skleníkové plyny
- oxid dusnatý – NO
 - vzniká při teplotách nad 1000 °C a většina ho oxiduje na NO₂
 - 2NO + O₂ → 2NO₂ + - 112,6 kJ.kmol⁻¹
 - NO + O₃ → NO₂ + O₂
 - bezbarvý, relativně málo reaktivní plyn, ve větším množství jedovatý
 - patří vedle chlóru a chlórovaných typů freonů k hlavním likvidátorům ozónové vrstvy reakcí s ozónem NO + O₃ → NO₂ + O₂

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz

Oxidy dusíku

25

- oxid dusičitý – NO₂
 - tvorba přímo NO₂ je velice nízká, vzniká následně oxidací NO
 - červenohnědý plyn, dráždivý, prudce jedovatý, rozpustný ve vodě
 - $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2 - 116,1 kJ \cdot kmol^{-1}$
 - $2NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_2 + NO + O_2$
- způsobuje dýchací potíže,
- je příčinou tvorby tzv. fotochemického smogu (tvorba přizemního ozonu),
 - $NO_2 + h \cdot \vartheta \rightarrow NO + O$
 - $O + O_2 \rightarrow O_3$
 - $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 + 205 kJ \cdot kmol^{-1}$
 - $O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Sloučeniny dusíku

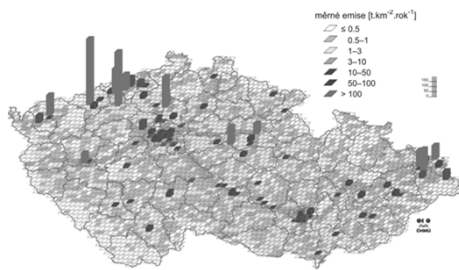
26

- při přítomnosti O₂ nebo O₃ většina NO oxiduje na NO₂
- případně se přeměňuje na dusičnany, které způsobují kyselý dešť (HNO₃), okyselují půdu,
- amoniak – NH₃
 - vzniká v redukční atmosféře za přítomnosti vodíku, mikrobiálním rozkladem organických zbytků, exkrementů a moči živočichů
 - bezbarvý plyn, ostrého štiplavého zápachu, při odpařování z kapalného stavu tvoří chladné mlhy, které jsou těžší vzduchu
 - silně dráždí a leptá oči, dýchací cesty, plíce, kůže, způsobuje dráždivý kašel a dušnost, křeče dýchání mohou vést až k udušení,

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



27



Obr. I.1.6 Emisní hustoty oxidů dusíku ze čtverců 5x5 km, 2010

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Oxidy dusíku - opatření

28

- primární metody
 - zabraňují vzniku NO_x
 - změna podmínek spalování
 - vyvíjely se v několika generacích
- sekundární metody
 - slouží k odstranění vzniklých NO_x
 - dávkování amoniaku do spalin a jeho následná reakce s oxidy dusíku
 - selektivní katalytická redukce
 - selektivní nekatalytická redukce

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Zeldovičův mechanismus

29

- pro výpočet tvorby termických NO_x
- pro ZP
 - $[NO] = k_1 \cdot e^{-\frac{k_2}{T}} \cdot [N_2] \cdot [O_2]^{0,5} \cdot t$
 - $k_1 = 5,74 \cdot 10^{14}$
 - $k_2 = 6447,65 K$
- ze Zeldovičova vztahu vyplývá závislost tvorby NO_x na:
 - teplotě
 - koncentraci dusíku
 - koncentraci atomárního kyslíku vzniklého disociací O₂
 - době setrvání při vysokých teplotách

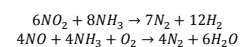
Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Oxidy dusíku - opatření

30

- primární
 - zabraňují vzniku NO_x
 - na vznik má vliv
 - teplota
 - koncentrace dusíku a kyslíku
 - doba setrvání při vysokých teplotách
 - opatření
 - spalování paliva s nízkým přebytkem spalovacího vzduchu
 - snížení přetlaků spalovacího vzduchu
 - vícetapové zavádění paliva
 - zavádění části vzduchu nad hořáky
 - zavedení recirkulace spalin
 - reburning
- sekundární
 - slouží k odstranění vzniklých NO_x
 - dávkování amoniaku do spalin a jeho následná reakce s oxidy dusíku
 - selektivní katalytická redukce
 - selektivní nekatalytická redukce



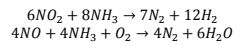
Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Oxidy dusíku - opatření

31

- sekundární
 - slouží k odstranění vzniklých NO_x
 - dávkování amoniaku do spalin a jeho následná reakce s oxidy dusíku
 - selektivní katalytická redukce
 - selektivní nekatalytická redukce



Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Selektivní nekatalytická redukce (SNCR)

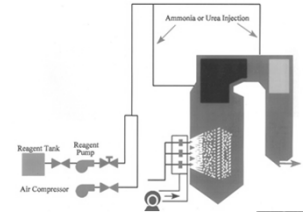
32

- redukce NO v teplotním okně 850 - 1100 °C
 - nižší teplota – pomalé reakce, únik NH_3 do atmosféry
 - vyšší teplota – rozklad NH_3 na NO

$$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$$

$$4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$$
 - nastikuje se ve více místech v uvedené oblasti, protože teplotní okno se posouvá s výkonem kotle

SNCR PROCESS OVERVIEW

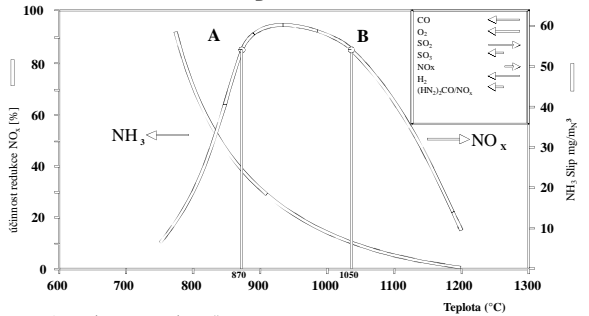


Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Selektivní nekatalytická redukce

33



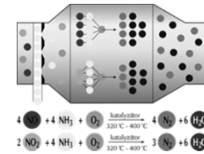
Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Selektivní katalytická redukce (SCR)

34

- redukce NO na N_2 v teplotním okně 80-420 °C za pomocí katalyzátoru
- činidlo
 - plynný amoniak - NH_3
 - vodný 25% roztok NH_3 ve vodě - NH_4OH
 - vodný roztok močoviny $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- katalyzátor
 - na bázi kovu
 - na bázi zeolitu
 - aktivní uhlíkové materiály

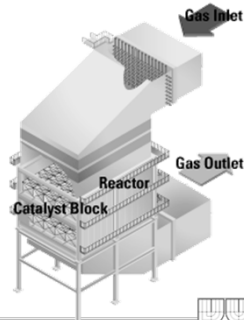
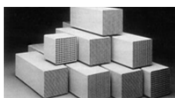


Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Selektivní katalytická redukce (SCR)

35



Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Kovy

36

- těžké kovy:
 - Fe, Cu, Zn, Cr, Ni, Cd, Pb, Tl, Hg
 - pro svoji toxicitu jsou sledované
 - Cd - je jedovaté již v nejmenších koncentracích, akumuluje se v játrech a ledvinách
 - Pb - je jedovaté jako kov i ve svých sloučeninách. Usazuje se v kostech, z nich vytěšňuje vápník
 - Hg - sloučeniny Hg vykazují ze všech těžkých kovů nejvyšší toxicitu
- kovy alkalických zemin:
 - draslík a sodík (v kombinaci s chlorem a sírou) jsou hlavní příčinou vzniku koroze
 - podílí se na vytváření alkalických chloridů,
 - usazují se na povrchu výměníků a dalších zařízení kotle
 - reagují se spalinami za vzniku síranu a uvolnění chloru, což výrazně urychluje korozi
- ve spalinách ze spalování biomasy těžké kovy nebyvají obsaženy

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Sloučeniny chloru

37

- sloučeniny chloru
 - biomasa obsahuje chlor pocházející především z průmyslových hnojiv
 - dominantní je tvorba HCl
 - silná kyselina
 - způsobuje vysokoteplotní korozi (nad 550 °C)
 - persistentní organické polutanty (POPs)
 - polychlorované aromatické uhlovodíky (PAH)
 - polychlorované bifenily (PCB)
 - polychlorované dibenzodioxiny (PCDD)
 - polychlorované dibenzofurany (PCDF)

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Dioxiny

38

- polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF)
 - vznik probíhá při teplotách
 - 250-350 °C – syntéza De-novo
 - tvorba dioxinů je tedy závislá na těchto faktorech:
 - morfologie uhlíku – aktivní koks, neúplná, porušená struktura
 - katalyzátor – Cu²⁺, dále pak Fe³⁺, Zn²⁺, Pb²⁺
 - volný (molekulární) kyslík
 - množství chlóru
 - 400-750 °C - katalytická reakce prekurzorů probíhající na částicích popílku
 - mimořádně stabilní, prudce jedovaté látky, karcinogenní, mutagenní
 - dopad: akumulace v tukových tkáních – nejsou odbouratelné, způsobují rakovinu
 - opatření
 - primární – dodržení doby zdržení při teplotách nad 1100 °C
 - sekundární
 - odstraňování společně s SO₂ či NOx
 - reaktory s aktivním uhlím

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Polychlorované aromatické uhlovodíky – PAH

39

- nejdůležitější vlastnost PAH - schopnost přetrvávat v prostředí bez degradace
- to je v kombinaci s karcinogeností a mutageností nebezpečné
- PAH vznikají ve dvou krocích.
 - při spalovacích teplotách okolo 700 °C mohou vznikat nestabilní produkty (většinou radikály)
 - ty se pak kombinují za vzniku polyaromatických sloučenin.

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Spalovny odpadů

40

- odlučování prachu
 - nejčastěji elektrostatické odlučovače a tkaninové filtry
 - ojediněle multicyklony a Venturiho pračky
- odlučování SO₂, HF a HCl
 - suché nebo mokré procesy
 - činidla vápenc, NaOH, Ca(OH)₂
- denitrifikace
 - u malých zařízení SNCR
 - u velkých zařízení častěji SCR
- odlučování PCDD a PCDF
 - sorpční procesy – adsorpce na aktivním koku
 - společně se zachytávají Hg s Cd
 - katalytické procesy – spoluvyužití SCR
 - polosuchá metoda – spoluvyužití polosuché odsiřovací metody
 - je nutný přísadka aktivního uhlí před tkaninový odlučovač
 - vysokoteplotní separace Cl z molekul

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Tuhé znečišťující látky (TZL)

41

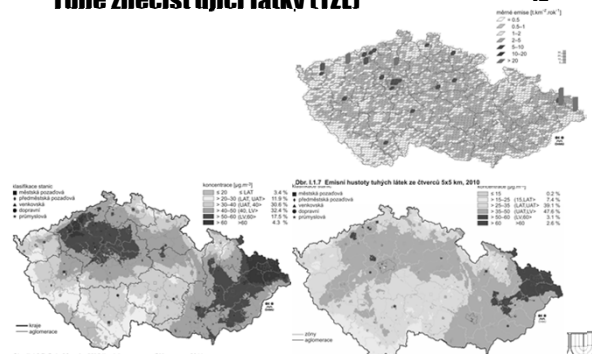
- kousky paliva, popeloviny a sazí
- sledována je frakce PM₁₀
- obsahují karcinogenní sloučeniny
- dopady: dráždí dýchací cesty, nosiče dalších látek
- opatření
 - primární – optimalizace proudění vzduchu a spalin ve spalovací komoře
 - sekundární
 - mechanické - cyklon, prašník
 - elektrostatické
 - tkaninové
 - mokré vypírky

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Tuhé znečišťující látky (TZL)

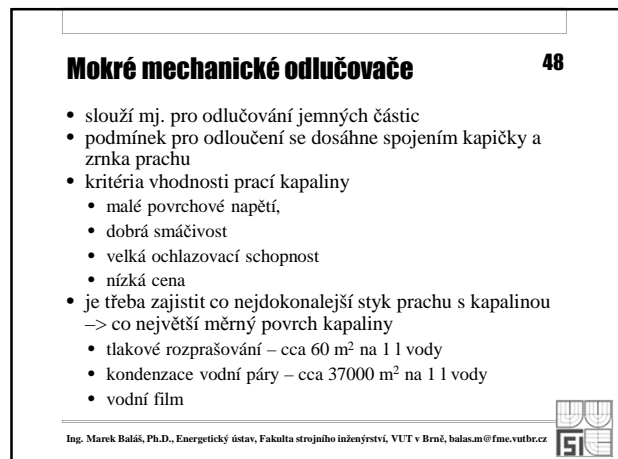
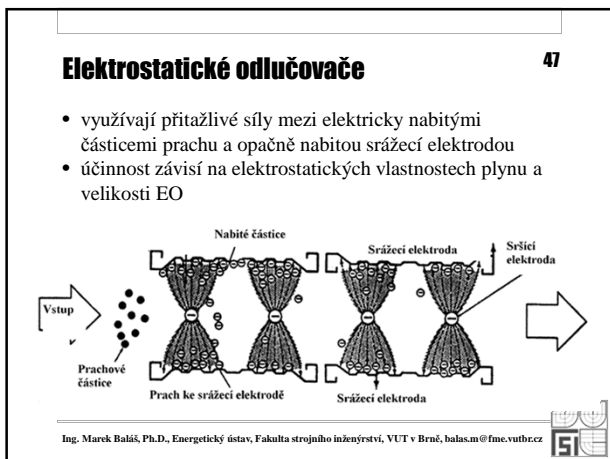
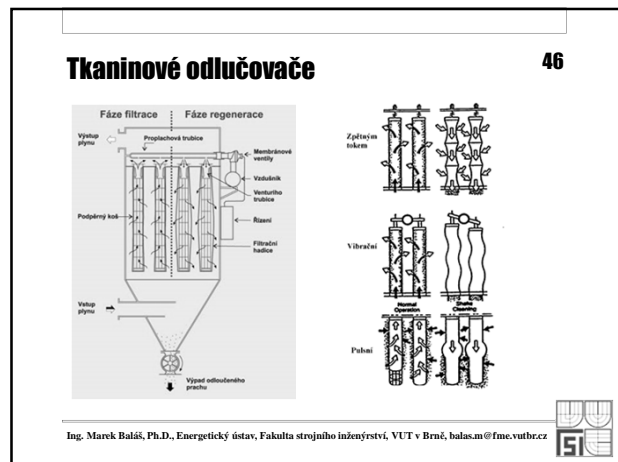
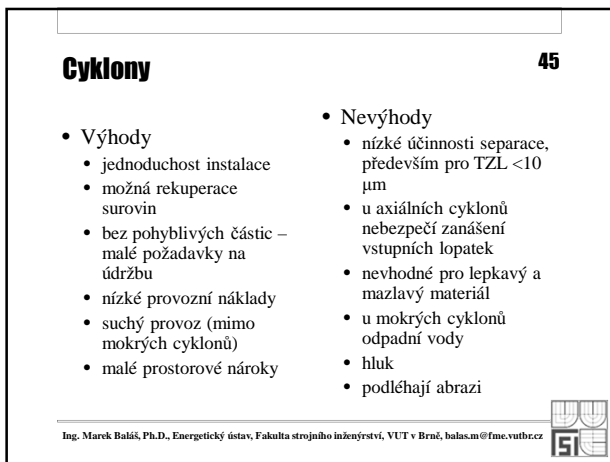
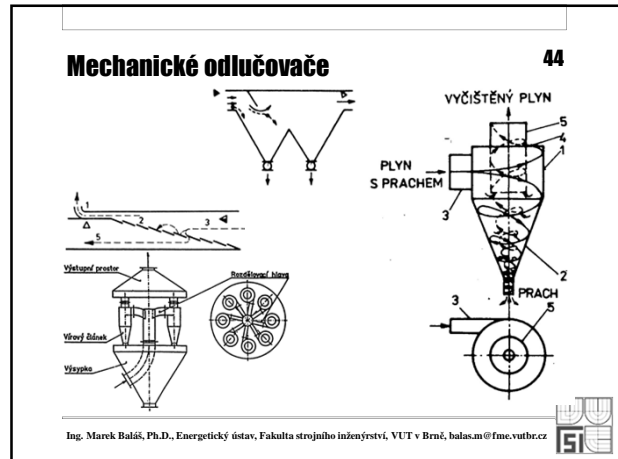
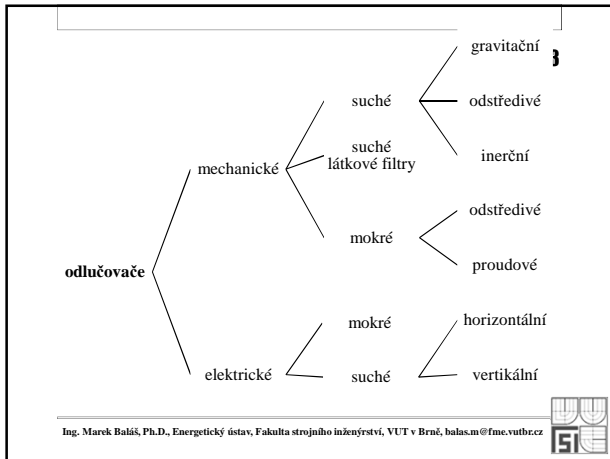
42



Obr. 8.4.2.7 Pojezdy 24hod. koncentrace PM₁₀ v roce 2010

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz





Výhody a nevýhody

49

- výhody
 - široké použití
 - kompaktní zařízení
 - snadná údržba
 - odlučování aerosolů
 - odprašování hořlavých a výbušných plynů bez rizika
 - chlazení plynů
 - současně s prachem může odstraňovat i další nežádoucí složky
 - neutralizace agresivních a korozivních plynů
- nevýhody
 - vzniká odpadní kapalina, někdy toxická
 - vyžadují ochranu vůči zamrznutí
 - ochlazuje plyn
 - kapalina se odpařuje a odchází s plynem
 - koroze
 - kontaminace prachu kapalinou

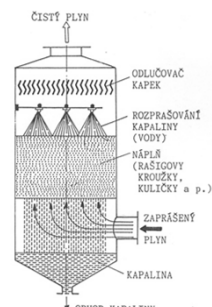
Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Sprchové věže - pračka

50

- předčištění a ochlazení plynu
- pro rozstříkávání se používají rošty s tryskami
- nutnost konstantního pokrytí celého průřezu pračky
- proud plynu nesmí strhávat kapičky s sebou – odlučovače
- pro zvýšení odlučivosti je možno přidat vestavbu
- výhody
 - téměř se neucpává
 - malá tlaková ztráta
 - prostorově nenáročná
 - nízké investiční náklady
- nevýhody
 - nižší odlučivost jemných částic
 - vysoké provozní náklady

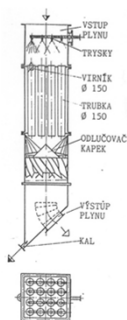


Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Mokvý vírníkový odlučovač

51



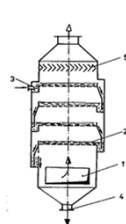
- cyklony, multicyklony s omyvatelným povrchem – nepoužívají se
- bateriový odlučovač
 - na vstupu vírník
 - kapalina omývá veškerý povrch
- měrná spotřeba vody 0,1 – 0,4 kg.m⁻³,
- rychlost plynu 4 m.s⁻¹.
- koncentrace prachu ve vstupujícím plynu by neměly překročit 30 g.m⁻³

Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Pěnový odlučovač

52



- čišťování plynu jednou či více vrstvami vody nacházejícími se nad děrovanými rošty
- voda vytváří nestabilní "pěnu" – tříšť vodních kapiček
- malá odlučivost $d < 5 \mu\text{m}$
- výhody
 - přizpůsobivost podmínkám (průtok...)
 - možnost filtrace i malých průtoků
 - dobrý styk s plynem
- nevýhody
 - možnost ukládání prachu v jednotlivých patrech
 - vyšší náklady

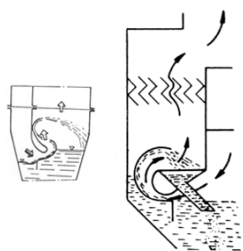
Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Hladinový odlučovač

53

- plyn je zaváděn na vodní hladinu a do štěrbin
- částice jsou unášeny, vlivem odstředivé síly, na stěnu štěrbin, která je omývána vodou
- vysoká odlučivost i pro malé částice, mez odlučivosti dosahuje hodnot okolo 1 μm
- správná funkce těchto odlučovačů je závislá na výšce nastavení hladiny



Ing. Marek Baláš, Ph.D., Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, balas.m@fme.vutbr.cz



Děkuji za pozornost

Prostor pro dotazy

Ing. Marek Baláš, Ph.D.

balas.m@fme.vutbr.cz

