

ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICCE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

Spalování paliv - Kotle

Ing. Jan Andreovský Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

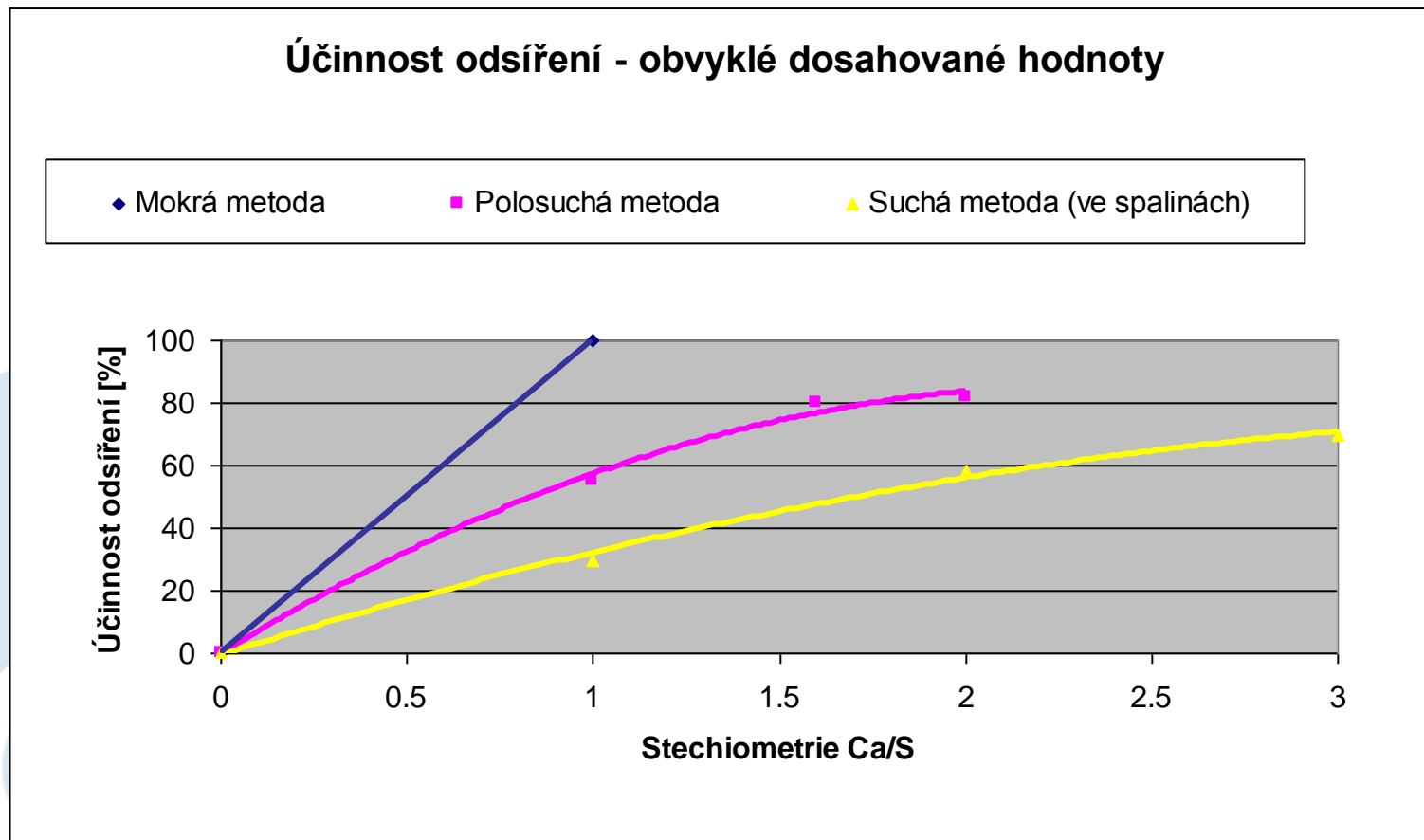
PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- Kapitola je zaměřena na významné technologie a způsoby, kterými je možné výrazně snížit emisní zátěž zdroje. Nejvýznamnější z produkovaných emisí v ČR je SO₂, NO_x, úlet tuhých látek. Obecně je možné snížit emise následujícím způsobem
 - Snižováním síry v uhlí (např. fyzikální separací – rozemlít a vyprat, zplyněním paliva)
 - Odsířením
 - Denitrifikací
 - Zaváděním nových technologií
- **Odsíření**
 - Regenerační – Navázání SO₂ na aktivní látku, která se znovu regeneruje a oxid siřičitý se dále zpracuje.
 - Neregenerační – Aktivní látka reaguje s SO₂ na výsledný produkt, do procesu se již nevrací.
- **Podle způsobu zachycení**
 - Mokrý – Záchyt SO₂ v kapalině aktivní látky
 - Polosuchý – Záchyt pomocí nástřiku do spalin
 - Suchý – Záchyt s tuhým látkou

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

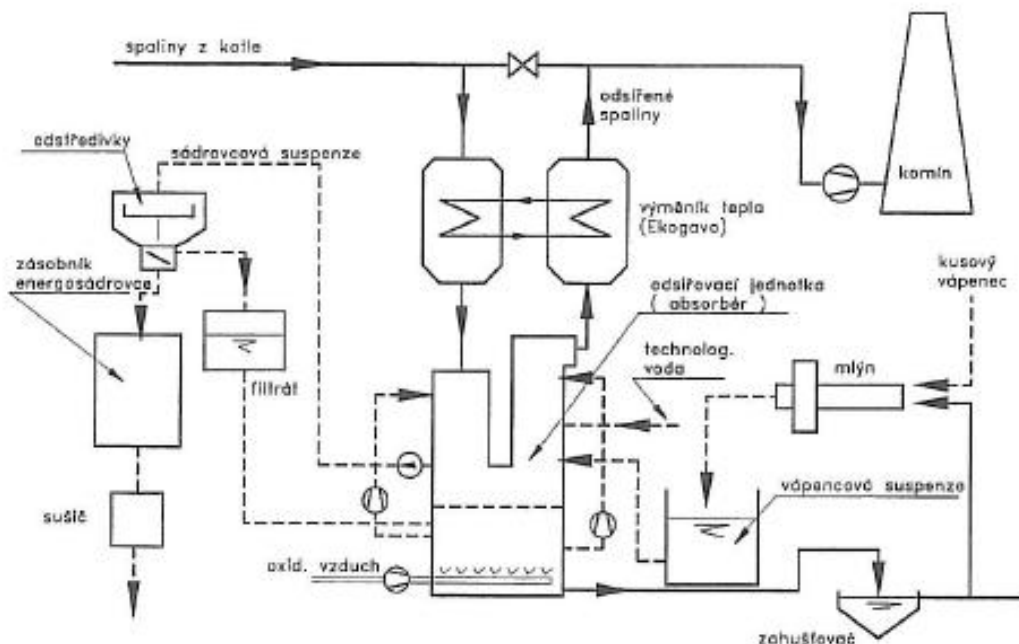
- Odsíření



Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

• Odsíření

- **Mokrý vápencová odsiřovací metoda** – Při mokré vápencové metodě dochází k neutralizaci kyselých složek pomocí zásaditých složek sorbentu. Optimum teplot cca 60°C. Spaliny procházejí přes reaktor, kde je směs vody a vápencové směsi. Po vyprání (průchodu přes reaktor) jsou spaliny dále ohřívány ve spalínovém výměníku tak aby nedošlo ke kondenzaci par v komíně.
- Výsledný produkt odsíření je CaSO_4 (energósádovec). Účinnost metody se pohybuje v rozsahu 90 – 95%. Výhodně se pohybuje ekonomie odsíření .



Proces je sestaven z následujících dějů v reaktoru:

Rozpuštění SO_2 a CO_2 – tvorba kyselin

Disociace kyselin

Neutralizace – závisí na reakčním povrchu

Oxidace – vznik konečného produktu

Krystalizace – nárůst krystalků pro filtraci a přidávání vápence pro další absorpci.

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Odsíření**

- **Mokrý vápencová odsiřovací metoda**

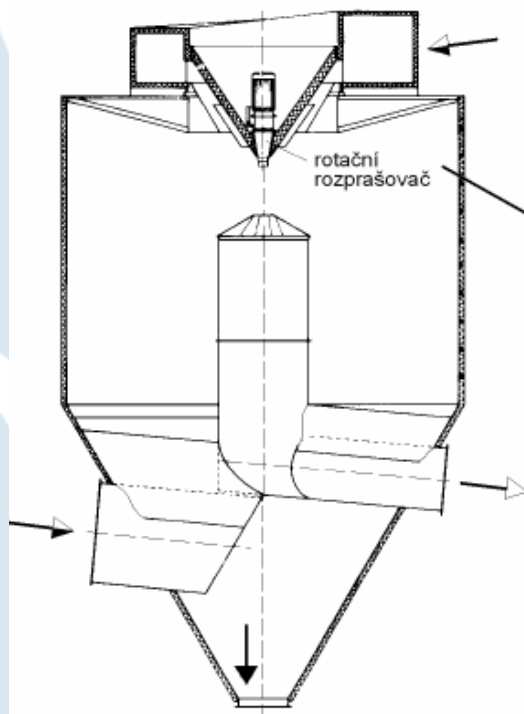
- Řídící mechanismus je rychlost rozpouštění vápence. Proces je možné urychlit:
 - zmenšením velikosti částic a zvýšením povrchu vápence (jemnějším rozemletím, typické zrnění je 90 – 100 % < 40 μm);
 - zvýšením stechiometrického poměru CaCO_3 : SO_2 . Riziko inkrustace.
 - zvýšením skrápěcího poměru – poměr roztoku vs. spaliny
 - přidávkem aditiv (organické kyseliny, hořčík)
 - větší zadržetí suspenze v jímce absorbéru
 - udržováním pH v kyselejší oblasti – riziko výluhů a tvorbě nánosů.



Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Odsíření**

- **Polosuchá odsiřovací metoda** – Při polosuché metodě je rozprašována vodní suspenze sorbentu do proudu spalin. Nastává obdobná reakce s kyselými složkami jako u vápencové vypírky. Sorbentem bývá pálené vápno nebo hydroxid vápenatý. Suspenze se odpaří a v odlučovači se odloučí tuhá část produktu odsíření ze spalin. Variantnost provedení polosuché metody spočívá především ve směru vstříku, v provedení odlučovače a způsobu rozprašování. V průběhu odsíření probíhají následující pochody: tvorba vápenného mléka, absorpce, oxidace, výsledný tuhý produkt.



Výsledný produkt s popelovinami je porézni aglomerát jehož využití je obtížnější než v případě produktu mokré vápencové metody. Účinnost metody se pohybuje v rozsahu 80 – 90%, u elektroodlučovačů je maximální účinnost nižší cca o 10%.

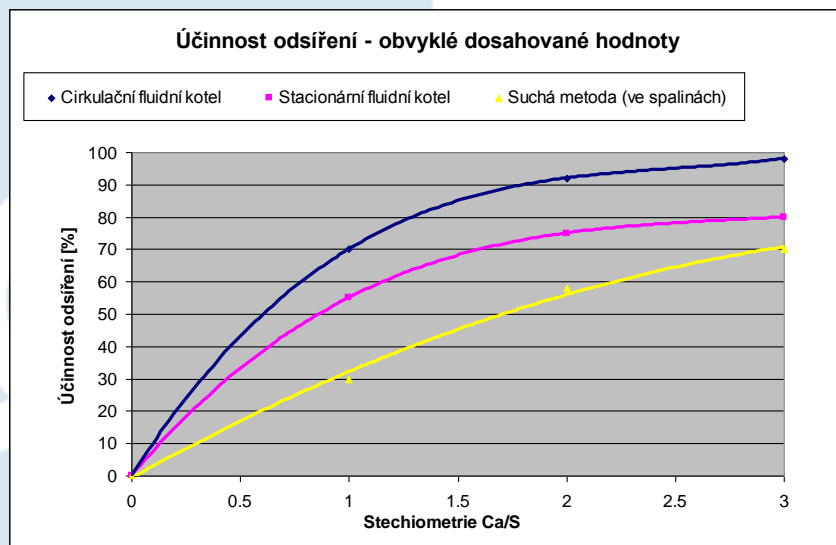
Optimální teploty funkce metody se pohybují v oblasti těsně nad teplotou rosného bodu spalin (cca 5 až 20°C). Účinnost metody je závislá na teplotním pásmu, atomizaci kapek cca 20μm, intenzitě odparů vody atd.

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- Odsíření

- **Suchá odsiřovací metoda** – je obvyklá ve dvou variantách

- Odsiřování jemně mletým vápencem nebo hydrátem v kotlích resp. ve spalinových tazích. Důležitá je velmi vysoká jemnost mletí (pod $60\mu\text{m}$ – tzn. vysoký reakční povrch). Přesto metoda vykazuje nízkou účinnost, cca do 60%.
 - Odsíření ve fluidní vrstvě kotle je součástí spalovacího procesu. Suchá metoda ve fluidním loži (případně odsiřovacím reaktoru) výhodně využívá teplotních provozních oken kotle s optimální teplotou reakce aditiva a intenzifikaci všech procesů a pochodů vlivem fluidizace. Jako aditivum pro fluidní odsíření kotle se používá drcený vápenec většinou jemnosti mletí 4 až 7. V kotli proběhne Kalcinace a následná reakce CaO s SO_2 na CaSO_4 . Výsledný produkt odsíření s popílkem má vhodné využití jako vedlejší energetický produkt. Dosahované obvyklé účinnosti suché metody jsou zobrazeny na obrázku.



Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Odsíření**

- **Další odsiřovací metody**

- **Tlakové zplyňování** – jedná se o chemický postup, kdy se v tlakovém generátoru zplyňuje uhlí za přítomnosti kyslíku a vodní páry. Následným produktem je energoplyn, který je oddělen od sirnatých složek.

- **Snižováním obsahu síry v palivech**

- Uhlí se rozemele na jemné částice, rozemleté uhlí se nechá projít pračkou kde dojde k separaci uhlí a pyritické síry.

- Jako další metodu snižování obsahu síry v palivu je možné považovat náhradu uhlí biomasou.

- **Biologické postupy** – mezi biologické postupy je možné řadit vylouhování síranové síry v roztoku, snižování pyritické síry bakteriemi (nevyužívá se – drahé, komplikované)

- **Regenerativní metody** – (Natrium – sulfitová metoda $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaHSO}_3$ nebo magnezitová metoda – vypírka SO_2 ve vodní suspenzi MgO)

- **Suché metody** – je možné považovat jako sekundární, využití báze Ca^{2+} tj. páleného vápna, vápenného hydrátu nebo báze Na^+ tj. trona, bikarbonát sodný (jedlá soda).

- **Katalytické metody** – využití katalyzátoru (vanadové)

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Zkušenosti**

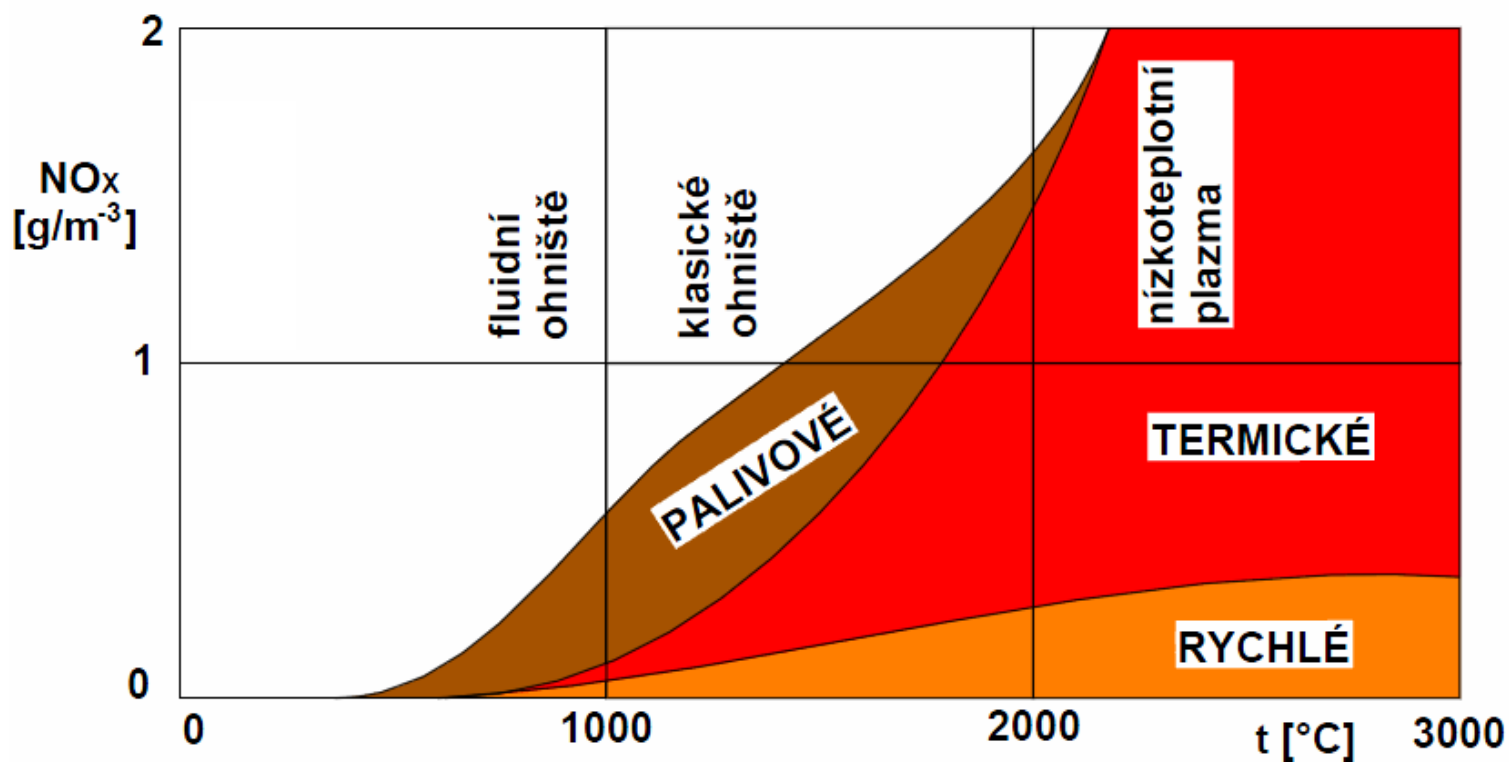
- Efektivita suchých procesů je obecně odvislá od velikosti reakčního povrchu, tzn. obvykle čím jemněji namleté tím lépe – nutno však vždy zohlednit i další vlivy jako jsou aerodynamické poměry kotle.
- Většinou je velký tlak odběratele na čistotu vápence tzn. minimum balastu a nereaktivní hmoty – nutno však umět vhodně čistotu využít jinak vznikají problémy na aglomeračních technologiích.
- Obecně existuje optimální teplotní okno pro nejvyšší efektivitu odsíření v suchém procesu (optimum je cca 700 – 870°C) – jednotlivé typy vápence a jeho složení však mají jiné optimum odsíření a tedy i provozu kotle.
- Přestože jsou nalezeny optimální parametry pro využití vápence – provozní optimum nemusí být nalezeno (citlivost regulaci a technologie).

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Denitrifikace** – snižování emisí oxidů dusíku vypouštěných zdrojem. Jedná se zejména o NO a NO₂ obecně nazýváno NO_x. Podíl složení No_x je většinou v poměru (NO₂ 10% a NO 90%). NO₂ je považováno za významně více toxické.
- **Mechanismus vzniku** – oxidy dusíku mají velkou energetickou bariéru a tedy jejich vznik probíhá ve větším měřítku za vysokých teplot. Z hlediska původu vzniku se rozeznávají tři druhy: termické, palivové a rychlé.
 - Termické – má vliv teplota a doba trvání reakce (např. 1400°C – dosažení rovnovážného stavu cca 140s a teplota 2000°C – dosažení rovnovážného stavu 1s). Z hlediska konstrukce kotle jsou uvedené zákonitosti určeny poměrem výšky a šířky ohniště.
 - Palivové – tvorba je odvislá od obsahu dusíkatých látek v palivu (především hnědé uhlí a biomasa), mechanismus vzniku je především v oblasti teplot 1200°C – 1300°C.
 - Rychlé No_x – vznik především při spalování uhlovodíku ve frontě plamene – souvislosti vzniku jsou s tvorbou radikálů a reakcí molekul dusíku a nízkou energetickou bariérou v plameni. Nejsou závislé významně na změny teploty ale významně jsou závislé na O₂.
- **Snížení No_x** – pro snížení NO_x se používají a využívají v různé míře dva základní přístupy:
 - Primární opatření – omezení tvorby
 - Sekundární opatření – odstranění ze spalinPři použití uvedených metod se mohou vyskytnout další negativní jevy aplikace opatření např. zvýšená koroze, vyšší nedopaly, snížení stability hoření, vyšší teploty spalin, struskování ohniště

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Denitrifikace** – grafické znázornění koncentrací jednotlivých typů NO_x v závislosti na teplotě



Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Denitrifikace**

- **Primární opatření a zásahy primárního charakteru (do spalovacího procesu):**

- Postupný přívod vzduchu
- Postupný přívod vzduchu a paliva
- Snižování přebytku vzduchu
- Přerozdělení prášku – jemnější frakce do horních pater
- Snižování maximální spalovací teploty
- Zkrácení doby setrvání v nejvyšší teplotě (kratší plamen, změny hořáků)
- Zpomalení míšení paliva se vzduchem
- Zlepšení rovnoměrnosti spalovacího procesu
- Řízením spalovacího procesu

- **Sekundární metody a zásahy sekundárního charakteru (čištění spalin)**

- SNCR Selektivní nekatalytická metoda – vstřík NH_3 nebo močoviny (případně obdobných směsí, redukčních činidel) do spalin. Poměr cca 1 až 2 NH_3/NO_x .
- SNCR Selektivní nekatalytická metoda – použití tuhých redukčních činidel
- SCR – vstřík redukčního činidla, zpravidla NH_3 do spalin a následná intenzivní redukce na katalyzátoru

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Denitrifikace**
- **Zkušenosti**
- Rozdílné charakteristiky použití redukčních činidel NH_3 (reakce okamžitá a rychlá) technická močovina (větší doba zdržení a pomalá). Tuhá činidla jsou závislá na aerodynamických poměrech kotle.
- Zajištění rovnoměrnosti spalovacího cyklu zlepšuje ovladatelnosti kotle, snižuje rozdíly v místním vývoji emisí tzn. potlačení lokální tvorby o vysokých koncentracích, zvyšuje účinnost a snižuje místní vysoké tepelné zatížení ploch. Rovnoměrnost spalovacího procesu potlačuje i dodávku nezbytného přebytku kyslíku do spalovacího procesu. Většinou je s daným opatřením zajištěno i zvýšení účinnosti. Příznivě se osvědčila více parametrická regulace spalovacího procesu s využitím matematických modelů spalování a regulace.

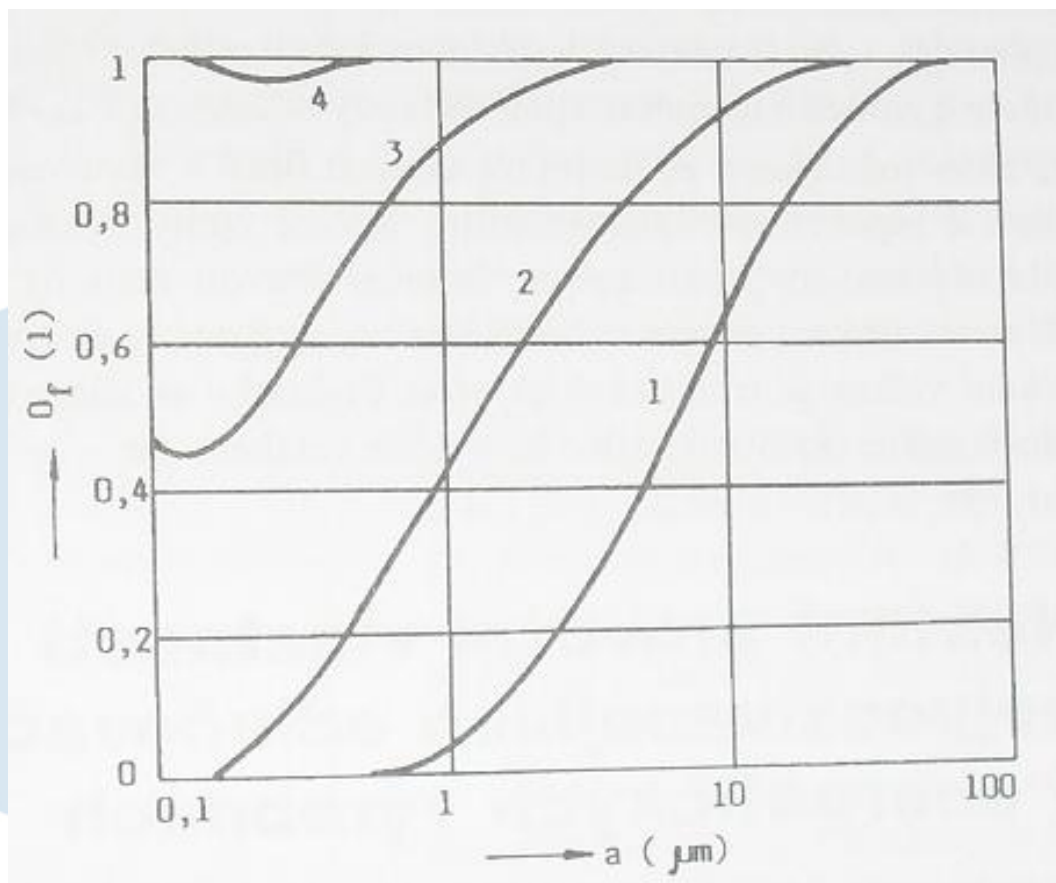
Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Tuhé částice**

- Pod pojmem se rozumí oddělení plynných složek spalin od tuhých zbytků po spalování. Oddělení je zajištěno technologií pro částice, které neodejdou se spalinami (tzn. popílek, škvára, struska) a technologií pro částice odnesené spalinami. Poměr rozdělení a dimenzování technologií je závislý na provedení ohniště, způsobu provozu, obsahu popelovin v palivu, způsobu odsíření a granulometrii paliva.
- Oddělení neúletových tuhých částí je bezproblémové, resp. může se potýkat s provozními problémy plynoucí ze způsobu vedení spalovacího procesu nebo stavu technologie. Není přímým prvkem emisního zatížení.
- Problematické je oddělení tuhých částic v úletu, které přímo ovlivňují emisní zátěž. Pro záchyt se používají různé druhy odlučovačů :
 - Mechanické (gravitační, setrvačné, vírové, rotační)
 - Elektrostatické (komorové, tubové)
 - Látkové (porézní hmoty, zrnité vrstvy, filtrační tkaniny)
 - Mokré (sprchové, vírové, pěnové, proudové, rotační)
- Technické funkce odlučovače jsou hodnocena dle:
 - Celkové odlučivosti (účinnost odlučování), resp. koncentrace částic na výstupu z odlučovače. Případně je použito i hledisko frakční odlučivosti.
 - Spotřeba energie na odlučování
 - Životnost řešení

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Tuhé částice**
- Ukázka obvyklých rozsahů odlučivosti jednotlivých typů odlučovačů.



- 1 – suchý mechanický odlučovač
- 2 – mokrý mechanický odlučovač
- 3 – elektrický filtr
- 4 – látkový filtr

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Doprovodné snížení emisí uvedených technologií**
 - Technologie snižující emisní zátěž vykazují jako vedlejší efekt snížení a odloučení dalších složek spalin, těžkých kovů a prachových částic. Efekt je často navázán na součinnou spolupráci dvou typů technologií.
 - **Mokrý odsiřovací metoda** - Kromě zachytu SO_2 dochází ke snížení HCl a HF (cca o 80% - 95%), a snížení No_x (cca o 10%). Ve spolupráci se zachytem TZL (tj EO nebo LF) se zvyšuje efektivita zachytu prachu. Stejně tak se dosahuje snížení Hg a těžkých kovů pomocí zachytu v prachu (variabilní 30 -70%).
 - **Polosuchá odsiřovací metoda** - Kromě zachytu SO_2 dochází ke snížení HCl, HF (cca o 70 – 90%). Ve spolupráci se zachytem TZL (tj EO nebo LF) se dosahuje snížení Hg a těžkých kovů vlivem zachytu v prachu (variabilní 30 -70%).
 - **Suchá odsiřovací metoda** - V rámci procesu odsiřování dochází ke snížení HCl a HF (cca o 30 – 60%). Ve spolupráci se zachytem TZL především na LF (případně EO) se dosahuje snížení Hg a těžkých kovů zachycených na prachových částicích. Pomocí zachytu v prachu se snížení Hg pohybuje v rozsahu variabilní 30 -70%.

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Přehled obvyklých parametrů a měrných investičních náročností technologií.**
 - Úrovně investičních nákladů a dosažitelností 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 SO₂ [mg/Nm³]	Investiční náklad [CZK/kWhe]
Mokrý metoda odsíření	90 - 99	100 - 400	2250 – 3000
Polosuchá metoda odsíření	90 - 97	200 - 500	1500 - 1950
Suchá metoda	70 – 95	200 - 500	1000 - 1800

Kotle – Technologie snižující emisní zátěž prostředí

- **Přehled obvyklých parametrů a měrných investičních náročností technologií.**
 - Úrovně investičních nákladů a dosažitelností 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 [mg/Nm³]	Investiční náklad [CZK/kWhe]
Primární metody denitrif. (NO _x)	30 - 80	100 - 400	200 – 1800
SCR (NO _x)	66 - 95	50 - 200	700 - 3500
SNCR (NO _x)	70 – 95	100 - 300	250 - 450
Elektrostatické odlučovače (TZL)	98 – 99.8	20 - 100	650 - 2500
Látkové filtry (TZL)	98 – 99.9	20 - 100	900 - 3000