



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Emise plynných znečišťujících látek



Složení paliv

- Každé palivo se skládá z:
 - hořlaviny
 - přítěže = balastu
- Hořlavina: část, jejíž oxidací se uvolňuje teplo chemicky vázané v palivu. Skládá se z
 - **aktivních látek**, jejichž spalováním vzniká teplo
 - uhlíku (**C**),
 - vodíku (**H**)
 - síry (**S**),
 - **pasivních látek**, které teplo nedodávají, ale jsou vázány chemicky na uhlovodíky
 - kyslíku (**O**)
 - dusíku (**N**)

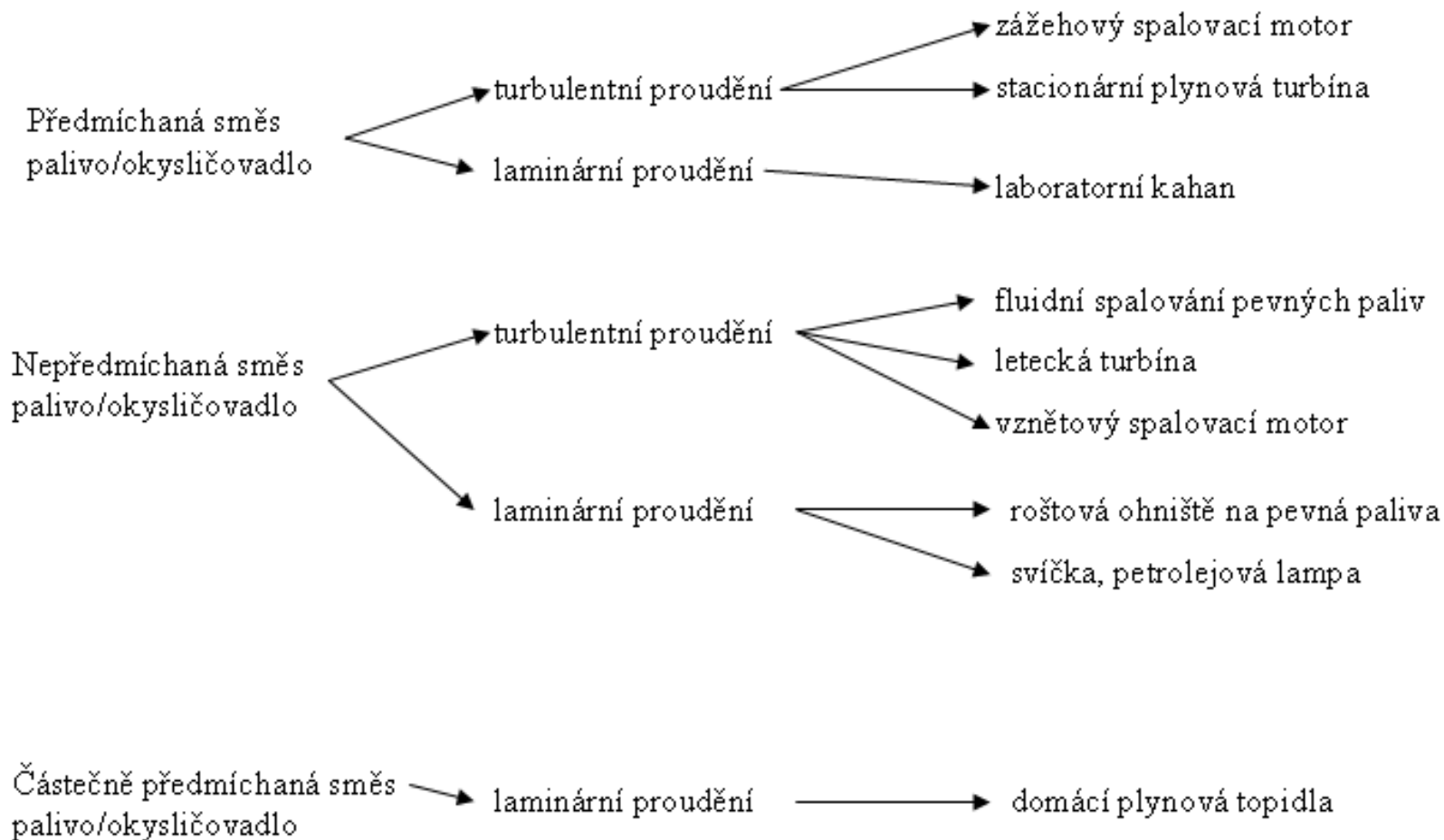
Složení paliv

- Přítež: část, která se na chemických reakcích nepodílí. Tvoří ji:
 - **popel (A)**,
 - látky minerálního původu
 - **voda (W)**

Kvalita spalování

- Závisí zejména na způsobu směšování paliva a okysličovadla

PŘÍKLADY



Produkty dokonalého spálení uhlíkatého paliva

- **CO₂**
 - konečný produkt oxidace uhlíku; množství je přímo úměrné množství paliva; pro $\alpha = 1$ a dokonalé spálení je koncentrace ve spalinách CO_{2max}, pro dřevo asi 20,8 %
- **vodní pára**
 - produkt oxidace vodíku v palivu + odpařená vlhkost z paliva a vlhkost ze vzduchu, představuje tepelnou ztrátu (odpaření)
- **SO₂**
 - produkt oxidace spalitelné síry v palivu

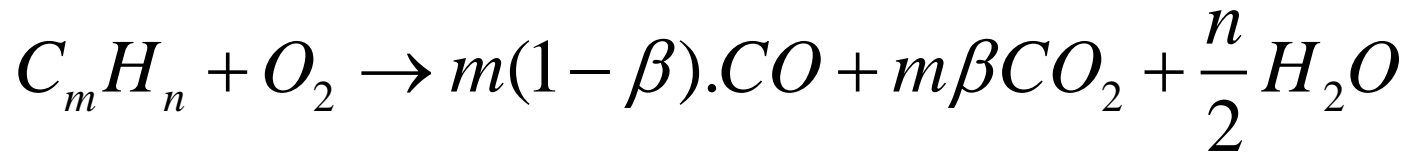
Produkty nedokonalého spálení

- **CO**
 - bezbarvý jedovatý plyn
 - mírně lehčí než vzduch
 - bez chuti a zápachu
 - vzniká nedokonalým spalováním materiálů obsahujících uhlík

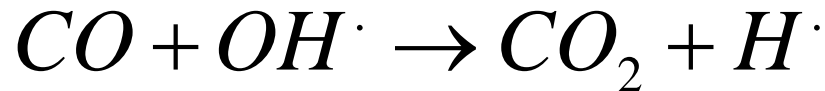
Produkty nedokonalého spálení

- **CO**

- produkt částečné oxidace uhlovodíků:



- oxidace CO na CO₂:

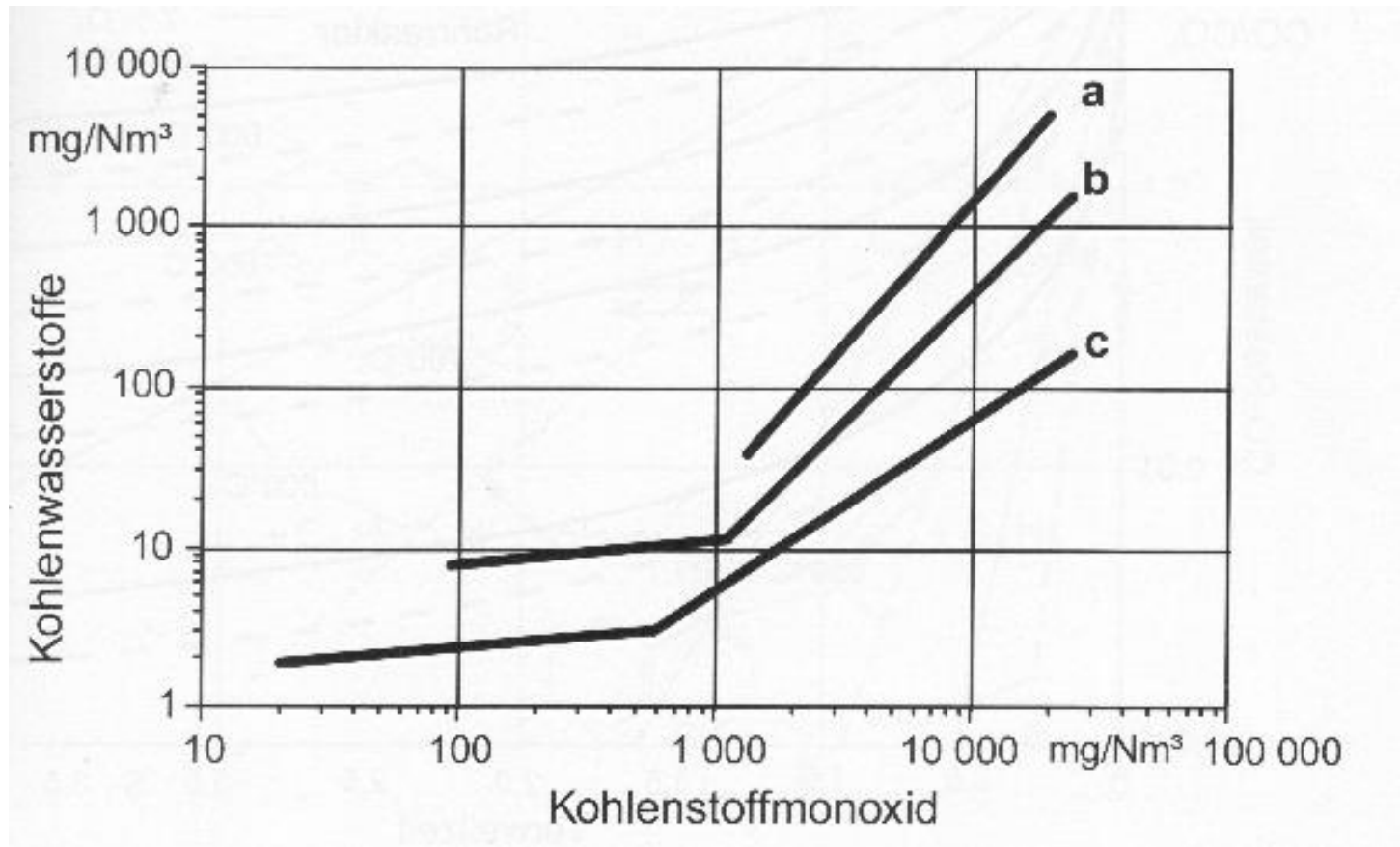


- oxidace CO je výrazně pomalejší, než rozklad uhlovodíků, proto je ve spalinách obvykle řádově víc CO, než C_mH_n, s výjimkou velmi nízkých přebytků vzduchu



CO a uhlovodíky

- a: krbová kamna, b: kotel na kusové dřevo, c: kotel na štěpku s podsvuným roštem



Oxid uhelnatý

- extrémně silná teplotní závislost (vysoká aktivační energie), kinetika oxidační reakce začíná nabývat na významu od cca **800°C**
- pro $t = 580 - 1950^\circ\text{C}$:

$$-\frac{dCO}{dt} = 1,3 \cdot 10^{14} \cdot \exp\left(\frac{-126000}{RT}\right) \cdot CO \cdot (H_2O)^{0,5} \cdot (O_2)^{0,5}$$

- upřesnění pro $t = 730 - 890^\circ\text{C}$:

$$-\frac{dCO}{dt} = 4 \cdot 10^{14} \cdot \exp\left(\frac{-167000}{RT}\right) \cdot CO \cdot (H_2O)^{0,5} \cdot (O_2)^{0,25}$$

Oxidy dusíku (NO_x)

- **oxid dusnatý (NO)**
 - bezbarvý jedovatý plyn
 - tvoří největší podíl NO_x
 - ve volné atmosféře je snadno oxidován na NO_2
 - podílí se na snižování koncentrace stratosférického ozonu a na tvorbě kyselých dešťů

Oxidy dusíku (NO_x)

- **oxid dusičitý (NO_2)**
 - hnědý prudce jedovatý plyn
 - při spalování jej vzniká velmi malé množství
 - vzniká především v atmosféře oxidací NO
 - podílí se na tvorbě fotochemického smogu
 - vznik přízemního ozonu
 - dráždí sliznice – vznik HNO_3
- **oxid dusný (N_2O)**
 - vznik oxidací palivového N

Oxidy dusíku

- **oxid dusný (N_2O)**
 - nepatří do skupiny NO_x
 - bezbarvý skleníkový plyn
 - pevná vazba N-N způsobuje dlouhou životnost molekul
 - skleníkový plyn
 - významně se podílí na snižování koncentrace ozonu ve stratosféře
 - jeho emise nejsou legislativou nijak omezeny

Oxidy dusíku (NO_x)

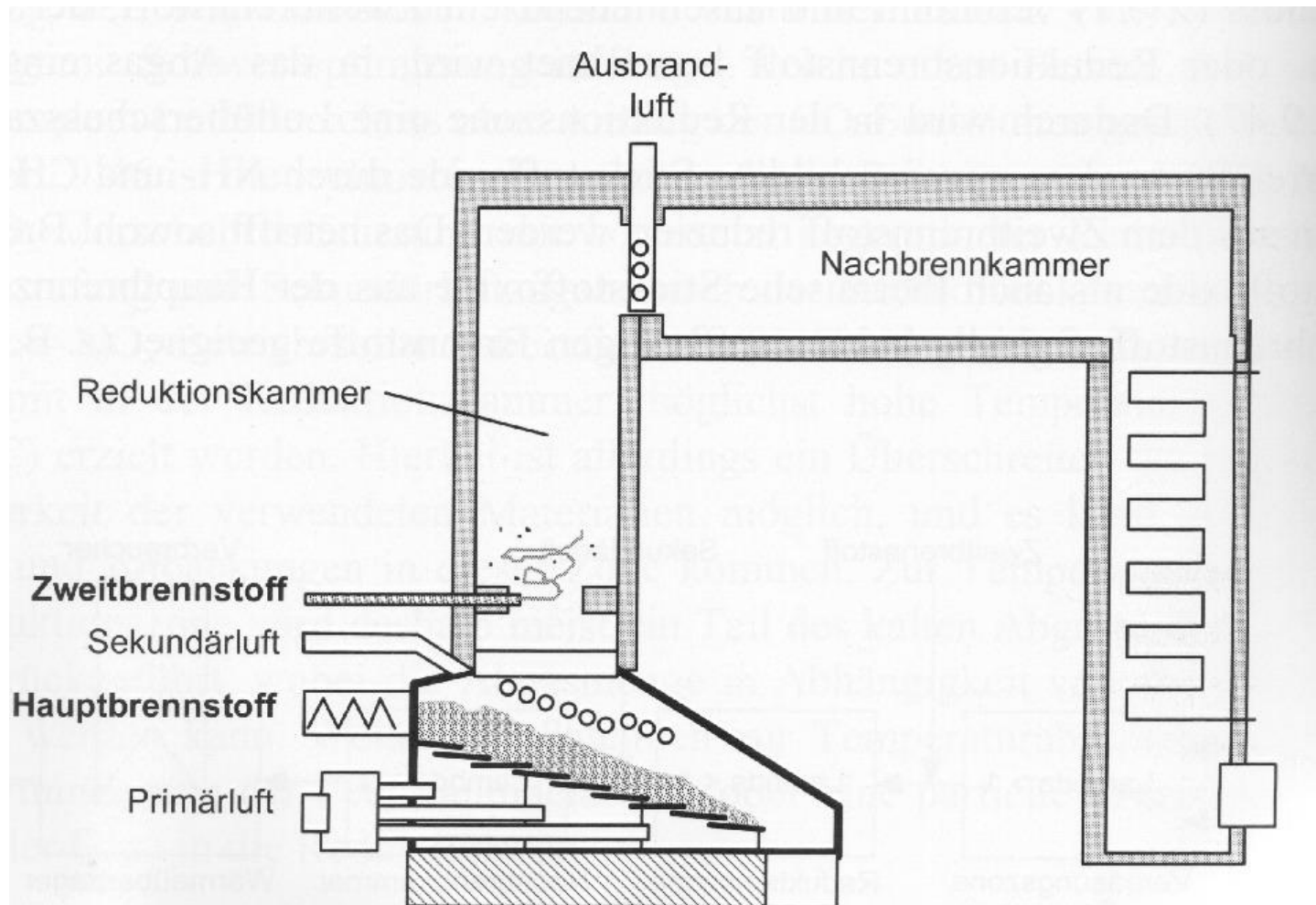
- **termické**
 - reakce vzdušného N_2 s O_2 radikálovými reakcemi za vysokých teplot
- **promptní**
 - reakce uhlovodíkových radikálů se vzdušným N_2 na kyanovodík v redukčních podmínkách za vysoké teploty a jeho následná oxidace
- **palivové**
 - vznik oxidací palivového N

Redukce emisí NO_x

- **primární opatření**
 - zamezení vzniku NO_x
 - spalování paliva s nižším přebytkem spalovacího vzduchu
 - snížení předehřátí spalovacího vzduchu
 - recirkulace spalin
 - stupňovitý přívod spalovacího vzduchu
 - stupňovitý přívod paliva - redukce již vzniklých NO_x

Redukce emisí NO_x

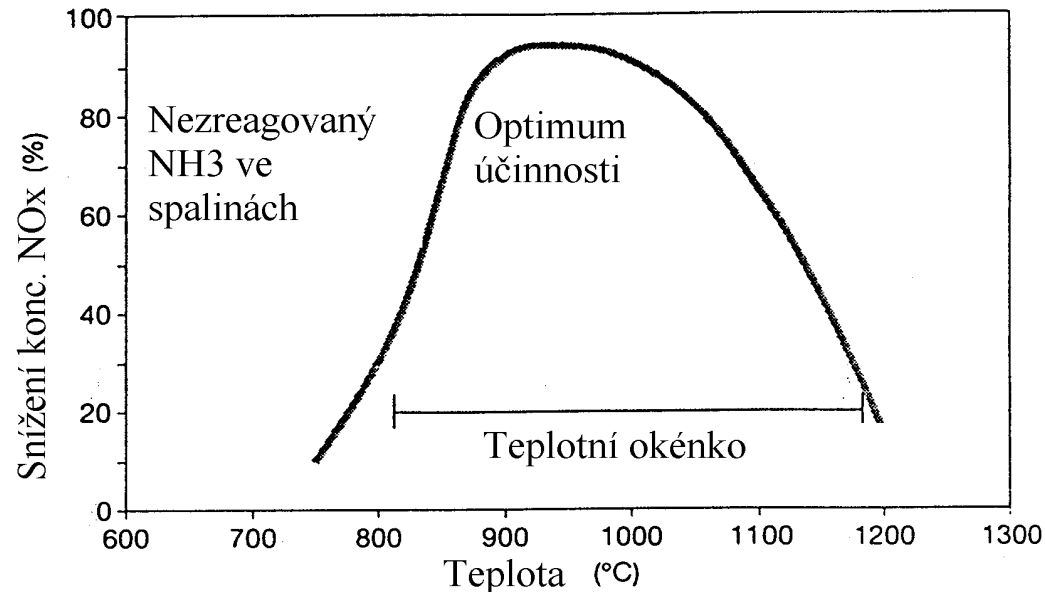
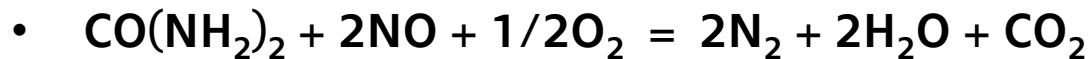
- **primární opatření – příklad konstrukce – roštový kotel**



Redukce emisí NO_x

- **sekundární opatření**

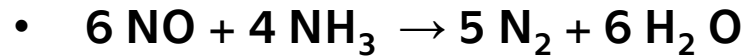
- **SNCR:** redukce NO_x za vysokých teplot (900 až 1050 °C) bez účasti katalyzátoru – nástřik močoviny nebo amoniaku do spalovací komory v oblasti reakčních teplot



Redukce emisí NO_x

- **sekundární opatření**

- **SCR:** redukce NO_x za nižších teplot (80 až 450 °C) za použití katalyzátoru a redukčního činidla amoniaku



- **Katalyzátory**

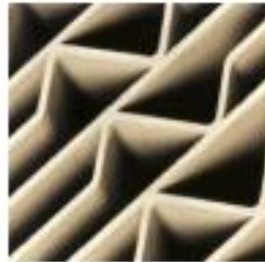
- blokové s vylisovanými otvory - honeycomb;
- deskové;
- peletizované.

- **Materiály katalyzátorů:**

- Nosičem je nejčastěji TiO₂ , resp. Al₂O₃ , katalyticky aktivními složkami nejčastěji V₂O₅ , WO₃ a MoO₃.

Redukce emisí NO_x

- **sekundární opatření - SCR**



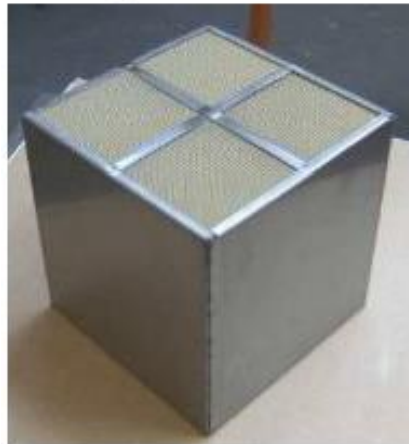
Redukce emisí NO_x

- **sekundární opatření – SCR konstrukční řešení**
 - Standardizace rozměrů byla založena na průřezu existujících katalytických modulů 970 x 970 mm nebo 1940 x 970mm.
 - Standardizace umožnila nahradit deskový či „honeycomb“ katalyzátor např. jiným výrobcem, z jiného zařízení či jiného skladu
 - V katalytických člancích deskového typu je do rámu zasazeno 0 – 100 katalytických desek (podle velikosti povrchu). Článek měří 464 x 464mm (výška, což odpovídá asi třem článkům typu honeycomb)
 - Modul typu honeycomb obsahuje 6 x 12 katalytických bloků (rozměry 1 blok: 150 x 150 x 1000mm)

Redukce emisí NO_x

- **sekundární opatření – SCR konstrukční řešení**

Honeycomb Element



Honeycomb Module



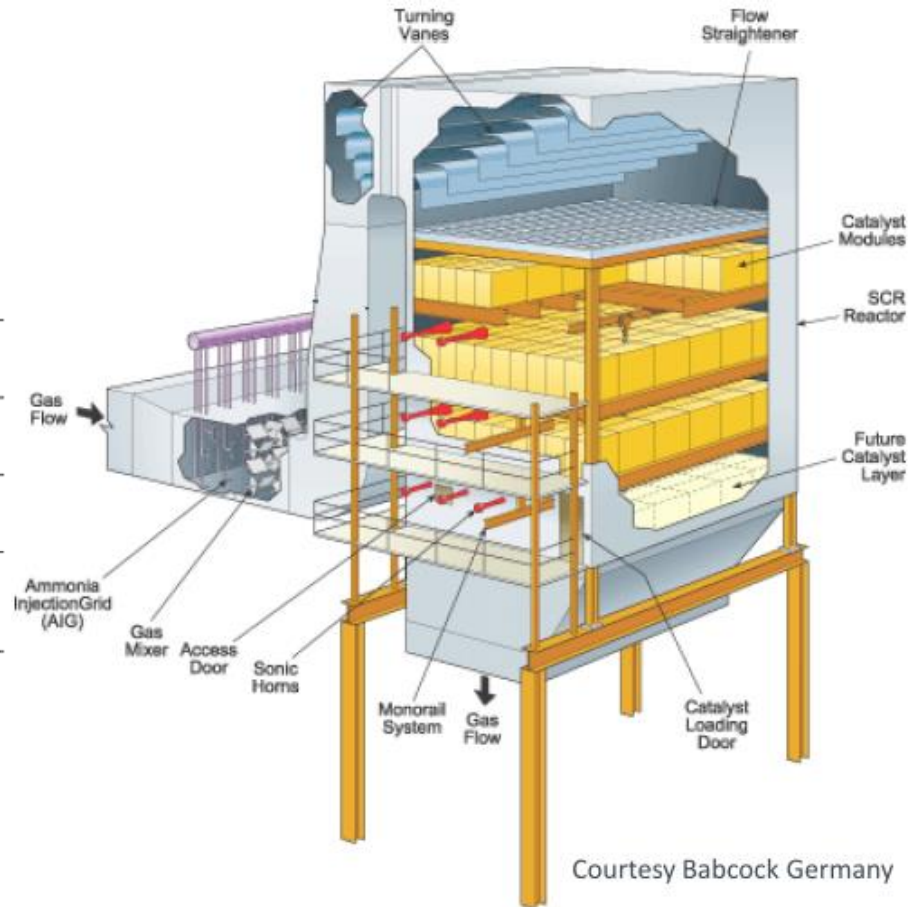
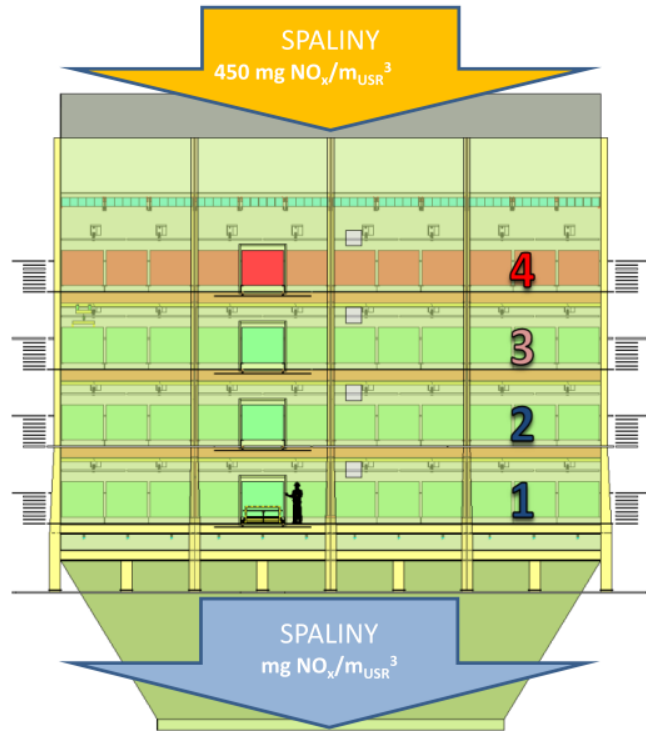
Plate Element



Plate Module

Redukce emisí NO_x

- sekundární opatření – SCR konstrukční řešení



Courtesy Babcock Germany

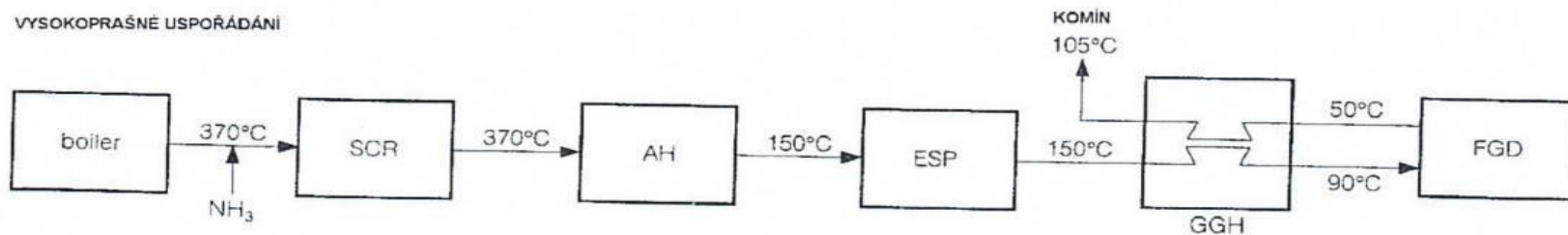
Redukce emisí NO_x

- **sekundární opatření – SCR provozní uspořádání**
 - Jednou ze stěžejních věcí pro katalytickou denitrifikaci spalin je umístění reaktoru s katalyzátorem do celkového technologického schématu. Které se řídí především:
 - Složením spalin (obsah SO₂; NO_x; obsah prachu)
 - Reakční teplota
 - Prostorovou rychlostí
 - Dalšími provozními parametry
 - Podle způsobu umístění se dělí systém SCR na zařízení typu:
 - „HIGH DUST“ (vysokoprašné uspořádání)
 - „LOW DUST“ (nizkoprašné uspořádání)
 - „TAIL END“ (koncové uspořádání)

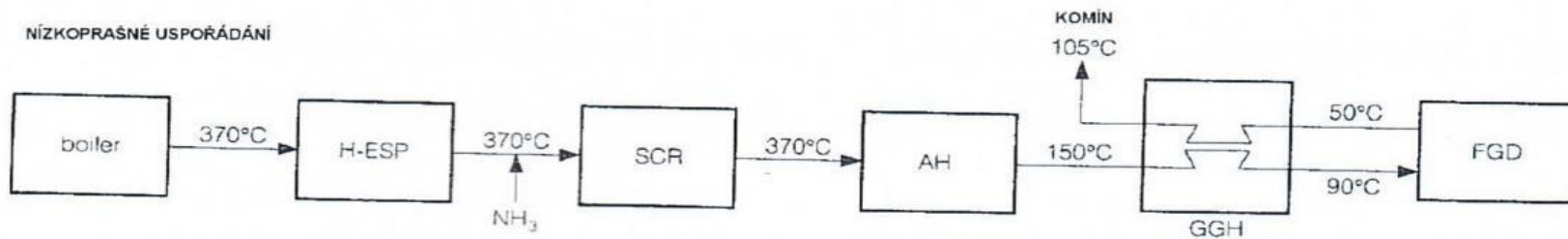
Redukce emisí NO_x

- sekundární opatření – SCR provozní uspořádání**

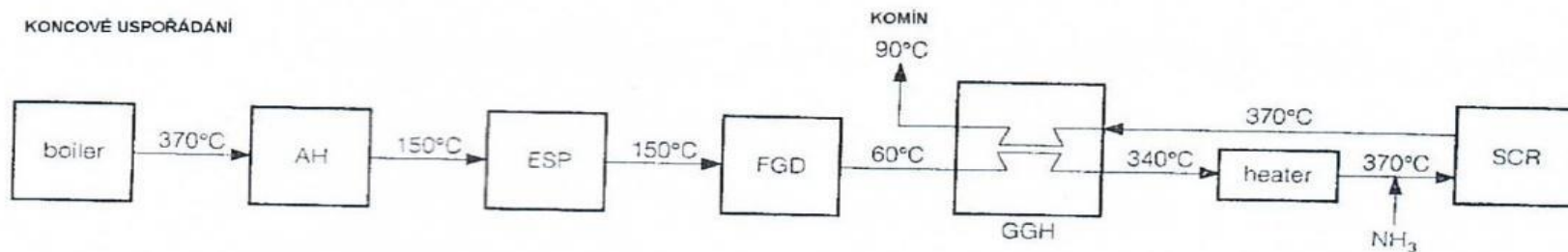
VYSOKOPRAŠNÉ USPOŘÁDÁNÍ



NÍZKOPRAŠNÉ USPOŘÁDÁNÍ



KONCOVÉ USPOŘÁDÁNÍ



SCR - SELEKTIVNÍ KATALYTICKÁ REDUKCE

ESP - ELEKTROSTATICKÝ ODLUČOVAČ

GGH - VÝMĚNÍK PLYN-PLYN

AH - PŘEDEHŘÍVÁNÍ VZDUCHU

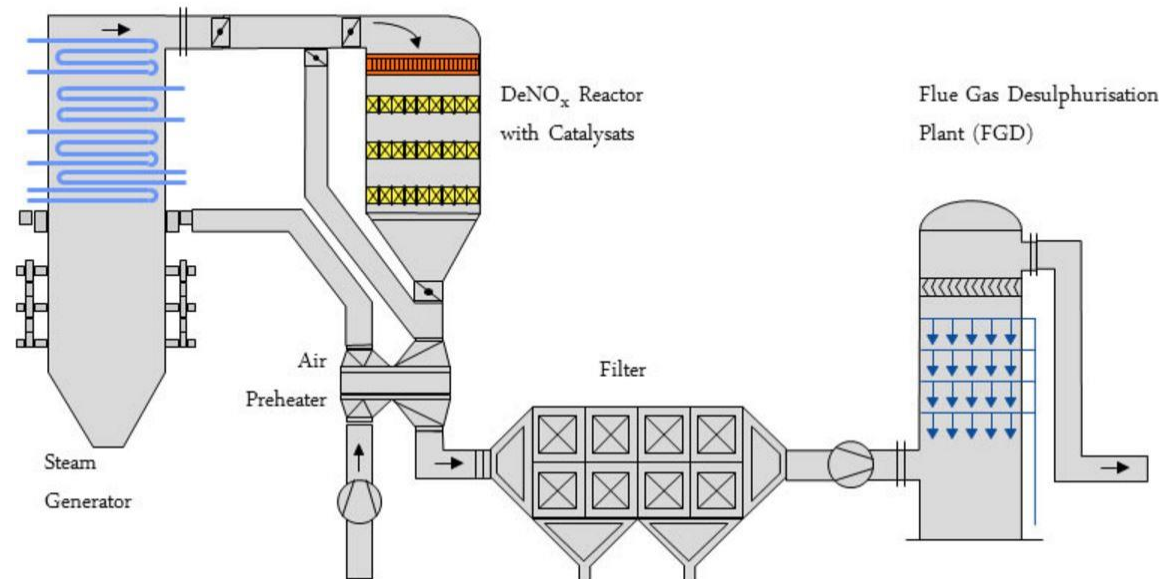
H-ESP - VYSOKOTEPLTNÍ ELEKTROSTATICKÝ
ODLUČOVAČ

FGD - ODSÍŘENÍ

SCR provozní uspořádání

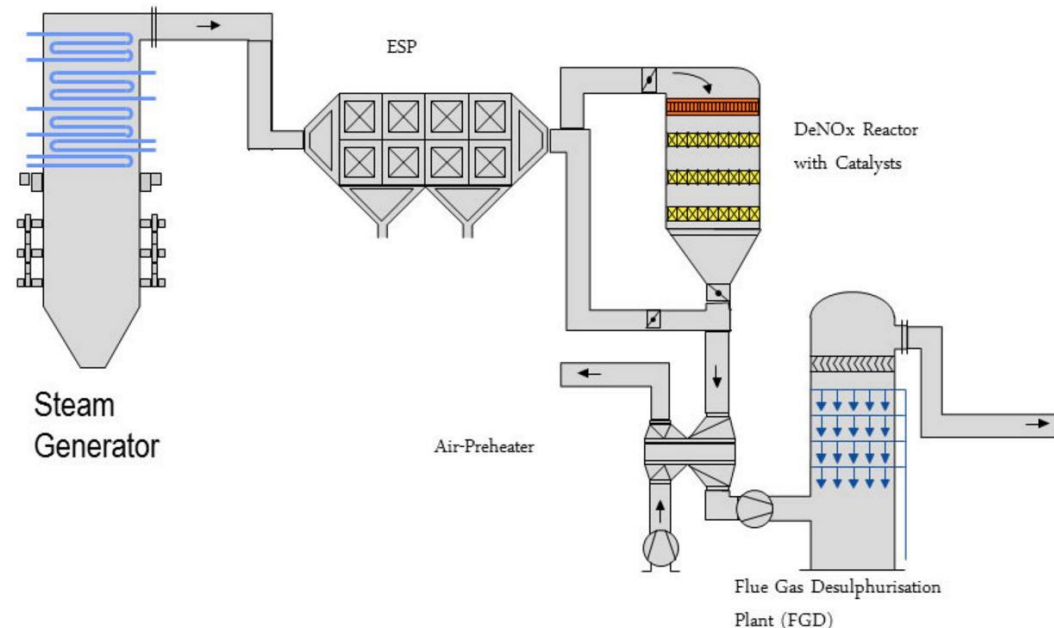
- **high dust**

- Reaktor ihned na výstupu spalin před LUVO a ESP
- Vysoké množství popela
- Vysoká deaktivace kat.
- Nízká životnost
- Plated; 18x18; 22x22 cell
- $T = 360^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$
- $\text{V}_2\text{O}_5 < 0,5\% \text{ hm.}$



SCR provozní uspořádání

- **low dust**
 - Reaktor na výstupu spalin z ESP
 - Nižší množství popela, než u H.D.
 - Delší životnost než H.D.
 - $T = 350^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$
 - Mn. popela závisí na ESP
 - Honeycomb 25x25 cell
 - V_2O_5 0,8 %-1,0 % hm.



SCR provozní uspořádání

- **low dust**

- Reaktor na výstupu spalin z odsíření » !!!bez SO₂!!!

- Nízké množství popela

- Nízká deaktivace kat.

- Dlouhá životnost

- Honeycomb; 35x35 cell

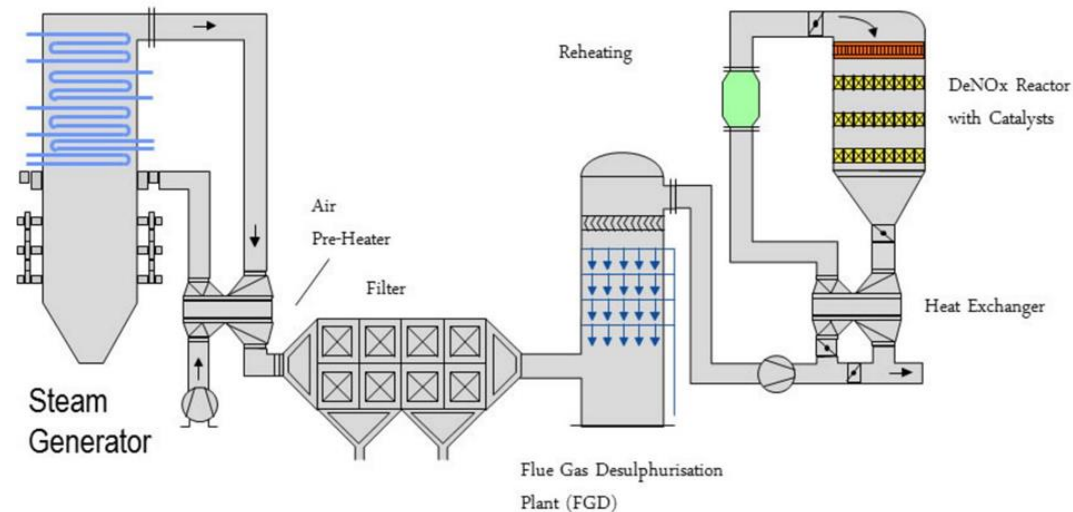
- $T = 300^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$

- $V_{2O_5} > 1,0\% \text{ hm}$

- Hořák na ZP/elektroohřev

pro dosažení pracovní

teploty katalyzátoru



Redukce emisí NO_x – SCR a SNCR

- **Výhody SNCR:**
 - asi 20 % investice proti SCR, minimální dispoziční nároky a náklady na údržbu a provoz, aplikace přímo ve spalovací komoře
- **Nevýhody SNCR:**
 - reakční teplotní okno, nižší účinnost denitrifikace, zvýšení spotřeby paliva (odpaření roztoku aditiva), amoniakový skluz
- **Výhody SCR:**
 - vysoká účinnost denitrifikace (až 95 %), menší spotřeba aditiva
- **Nevýhody SCR:**
 - investiční náklady, aplikace na čisté odsířené spaliny, nutný ohřev spalin na pracovní teplotu, pravidelná výměna katalyzátoru, tlaková ztráta, velké dispoziční nároky

Tuhé znečišťující látky (TZL)

- Spalování tuhých paliv
 - popílek, škvára, saze, nespálené palivo;
- Spalování kapalných paliv
 - amorfní uhlík (saze);
- Spalování plynných paliv
 - nanejdvýš TZL z výrobních operací (např. vysokopeční či koksárenský plyn, popř. koroze potrubí).
- kategorizace: PM10, PM2.5, PM1

Další znečišťující látky

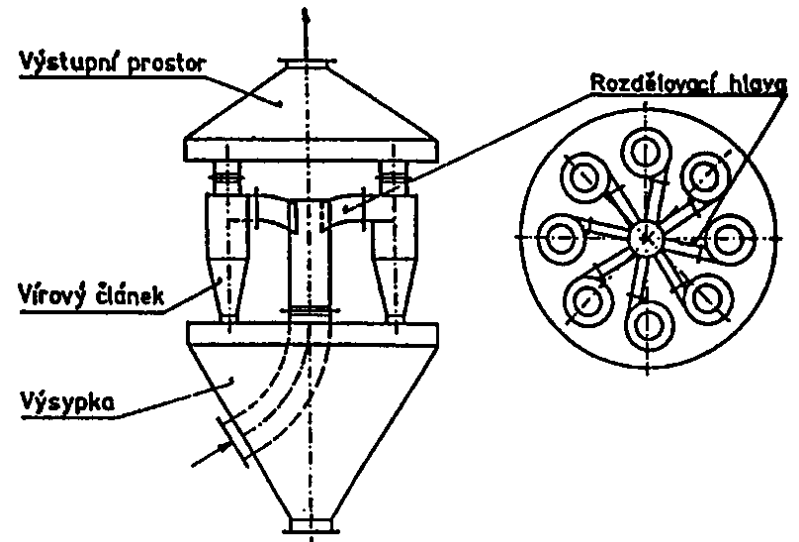
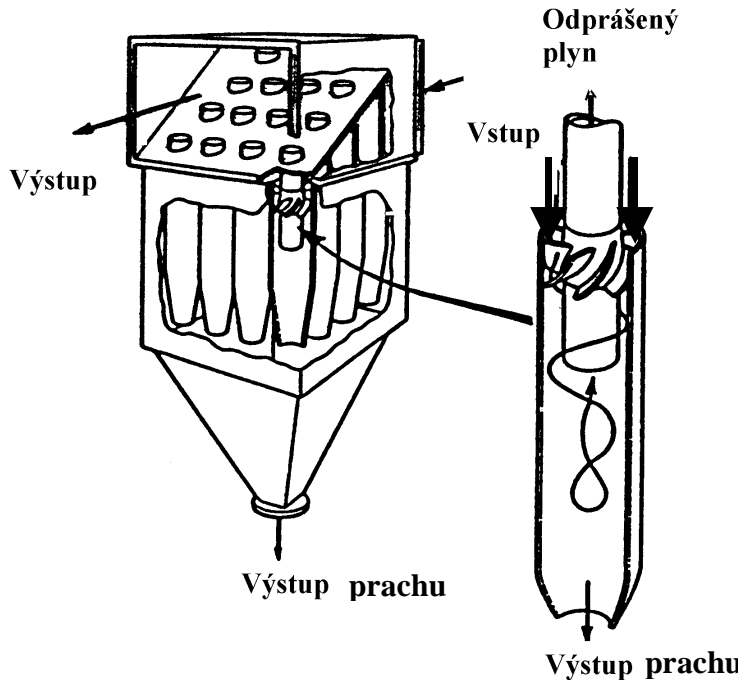
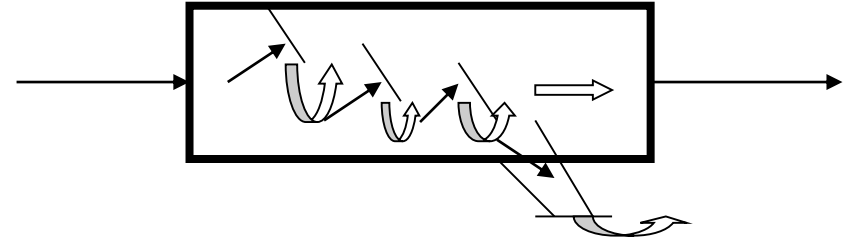
- oxid dusný N_2O
- oxid uhličitý CO_2 – je opravdu znečišťující látkou?
- POP (persistentní organické polutanty)
- PCDD/F
- PAH
- těžké kovy

Redukce emisí TZL

- Jejich tvorbě lze předcházet jen omezeně (např. redukce vzniku sazí), jinak je nutné je separovat z vzniklých spalin
- princip separace:
 - mechanický (suché / mokré) – setrvačnost, (gravitace)
 - filtry (suché / mokré) – difúze nebo setrvačnost
 - elektrostatický = elektrodlučovače (suché / mokré) – elektrostatické síly a gravitace.

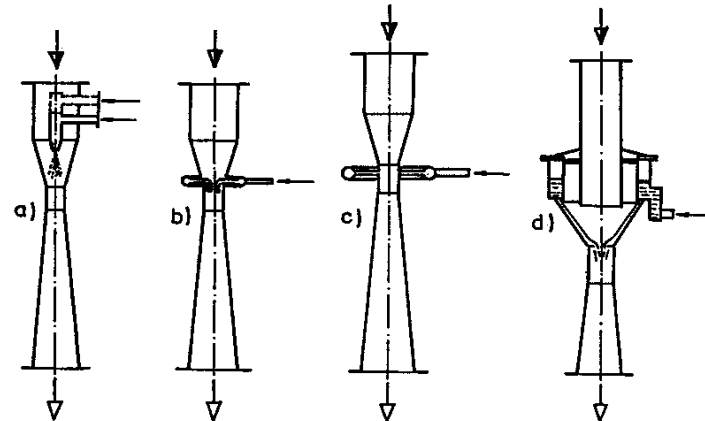
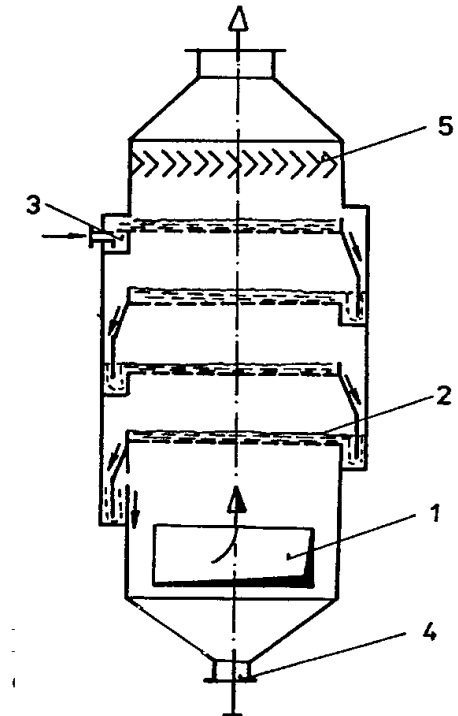
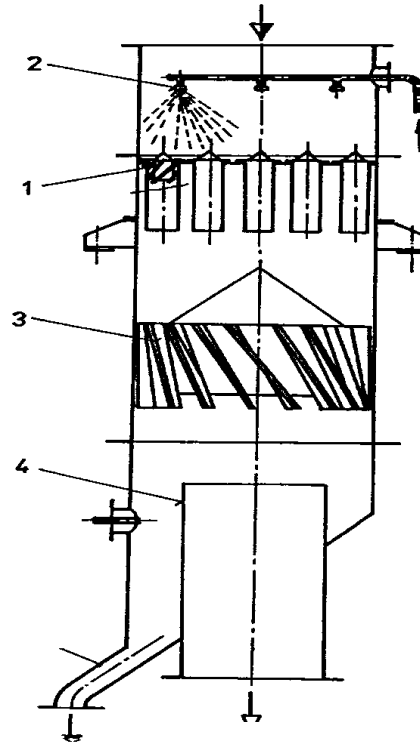
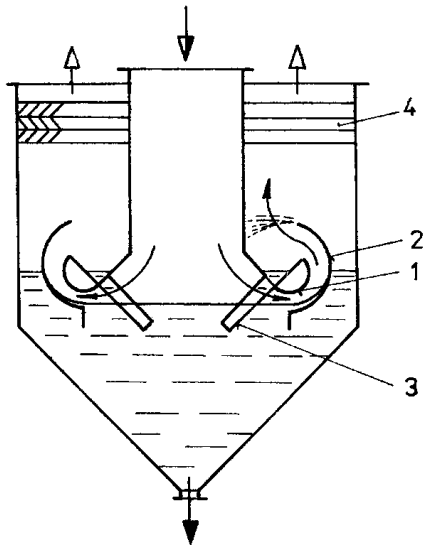
Mechanické odlučovače - suché

- usazovací komory
- žaluziové odlučovače
- vírové odlučovače (cyklony) – s osovým nebo tečným vstupem



Mechanické odlučovače - mokré

- mokré vírové
- mokré pěnové
- hladinové
- proudové



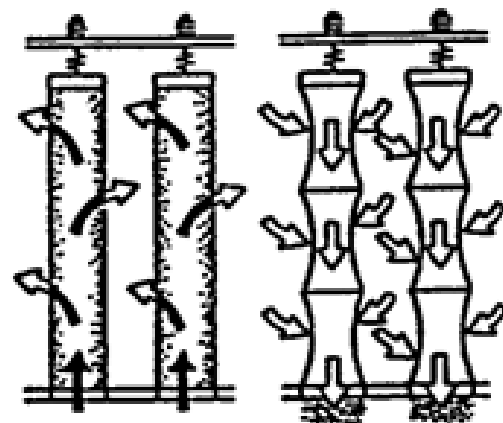
Filtry

- nejčastěji vláknité vrstvy, ale také zrnité nebo porézní hmoty.
- odpadní plyny (spaliny) procházejí nejčastěji tkaninou – větší částice neprojdou otvorem v tkanině a zachytí se na jejím povrchu;
- na povrchu tkaniny vzniká filtrační koláč, který sám o sobě tvoří filtrační vrstvu
- druhy filtračních materiálů: tkanina (hadicové, kapsové), zrnité (písek, dolomit), slinuté (porézní)

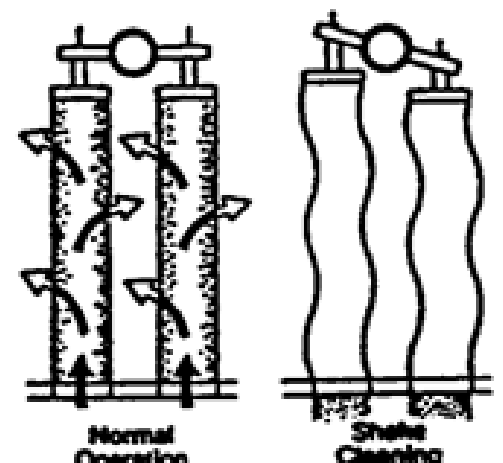
Regenerace filtrů

- **zpětným proplachem** –
u hadicových nebo kapsových
filtrů;
- **kmitavým pohybem hadic**
(v podélném směru), **vytrásáním** –
u hadicových filtrů, lze kombinovat
s regenerací zpětným proplachem;
- **pulsním profukem** – u všech typů
filtrů;

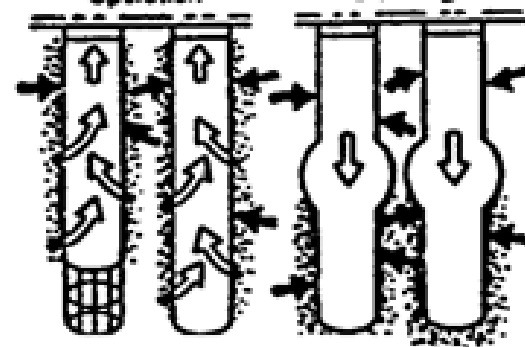
Zpětným
tokem



Vibrační



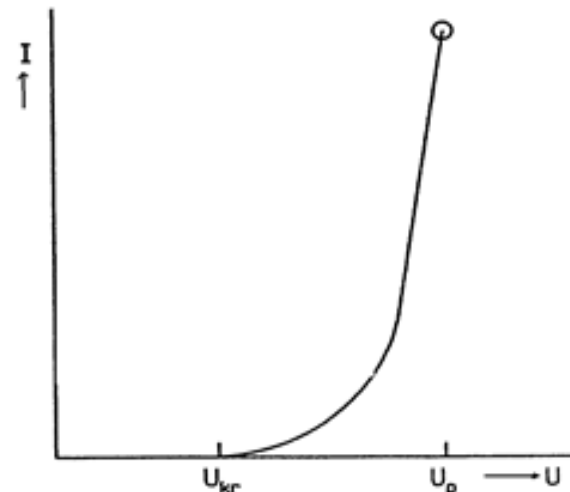
Pulsní



Elektrostatické odlučovače

- nabíjecí (též sršící) elektroda o velmi malé ploše;
- srážecí elektroda o velké ploše, již nabité částice odevzdávají svůj náboj;
- společná skříň – nejčastěji z konstrukční oceli
- napětí 55 - 75 kV

Obr. 10: Voltampérová charakteristika EO





Elektrostatické odlučovače

