

Práškové ohniště

je charakterizováno spalováním v letu

=> vyžaduje velmi jemné palivo ve formě prášku =>
typicky uhlí

- tříděné uhlí má povrch 1 až 2 m²/kg, potřebná doba vyhoření na roštu je 15 až 20 minut
- namletím uhlí na jemný prášek se zvýší jeho reakční povrch 600 až 1000 x
=> spalování proběhne tolikrát rychleji
- uhelný prášek má povrch 100 až 2000 m²/kg, doba vyhoření v letu je 0,5 až 2 sekundy

1

Výkon práškových ohnišť

- roštová ohniště dovolují stavět kotle s maximálním jmenovitým parním výkonem 80 až 100 t/h (250 t/h)
- u práškových kotlů mezního jmenovitého výkonu nebylo dosud dosaženo
dnešní maximum přes 4 000 t/h
(blok 1300 MWe)

2

Příprava paliva ke spalování v letu

- sušení
- mletí
- třídění
- ⇒ je nákladnější než u jiných způsobů spalování
- ⇒ až 85% popela odchází jako jemný popílek
 - ⇒ usazuje se v kotli a zanáší výhřevné plochy
 - ⇒ způsobuje jejich abrasi
 - ⇒ odlučuje se ze spalin za kotlem
 - ⇒ problémy s ukládáním

3

Dva typy práškových ohnišť

dělení podle způsobu odvodu tuhých zbytků

- granulační
 - nižší teploty v SK
 - teplota popelovin pod teplotou tečení
 - odvod ve formě škváry
- výtavné
 - vyšší teploty v SK
 - teplota popelovin nad teplotou tečení
 - odvod ve formě strusky
 - dnes málo používané – vysoká emise NO_x

4

Velikost a tvar ohniště z hlediska spalování

při návrhu se musí zohlednit 2 hlavní funkce

- uvolňování tepla co nejdokonalejším spalováním – zohledňuje se
 - středním měrným tepelným zatížením ohniště q_V
 - měrným průřezovým zatížením q_s
 - dobou spalování nejhrubších zrn paliva τ_s a dobou jejich setrvání v ohništi τ_o
- vychlazení ohniště
 - zajistit odvod popelovin v nelepivém stavu
 - zabránit poškození materiálu navazujících přehříváků

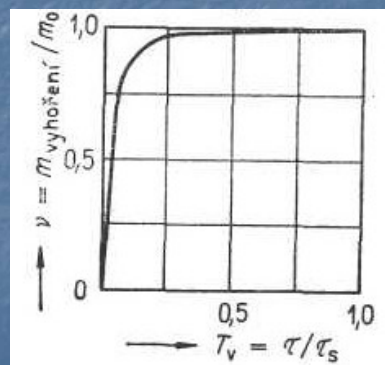
5

Doba spalování τ_s a doba setrvání τ_o

mezi dobou spalování nejhrubších zrn paliva τ_s a dobou jejich setrvání v ohništi τ_o musí platit

$$\tau_s = \tau_{o\min}$$

Závislost poměrného vyhoření uhlénoho prášku na poměrné době spalování



6

Tvar ohniště

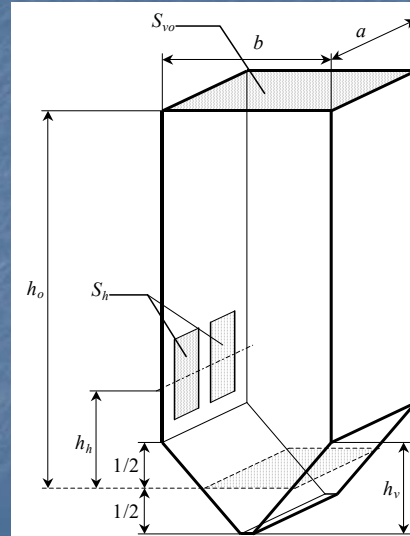
Výchozími parametry pro návrh velikosti a tvaru ohniště je volba

- středního objemového zatížení $\bar{q}_v$
- středního průřezového zatížení $\bar{q}_s$

$$V_o = \frac{M_{pv} \cdot Q_i}{\bar{q}_v}, \quad S_o = \frac{M_{pv} \cdot Q_i}{\bar{q}_s}, \quad h_o = \frac{V_o}{S_o}$$

Při návrhu tvaru příčného průřezu je nutno znát:

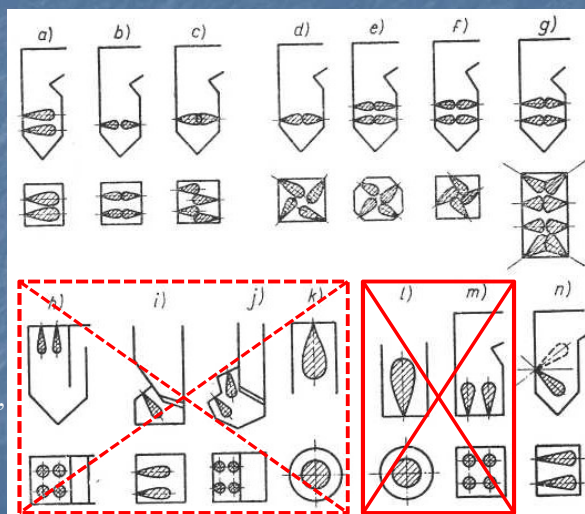
- počet, výkon a rozmístění hořáků,
- geometrický tvar a rozměry plamene z hořáků
- průběh proudnic, izoterm a vyhořívání paliva po délce plamene
- vzájemné ovlivňování plamenů hořáků umístěných vedle sebe



7

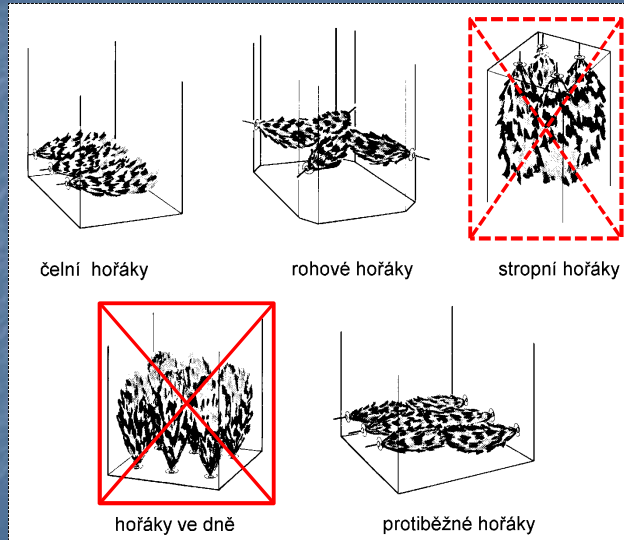
Umístění hořáků u práškových ohnišť

- a* - dvouřadé čelní,
b - jednořadé protiběžné,
c - jednořadé vystřídané,
d - jednořadé rohové,
e - dvouřadé tangenciální (osmiúhelníkový průřez),
f - dvouřadé tangenciální (čtvercový průřez),
g - dvouřadé kombinované,
h - stropní,
i - uspořádání v šikmé stěně (U-plamen u tavícího prostoru výtavných ohnišť),
j - dvouřadé uspořádání šikmé,
k - stropní hořák,
l - ve dně ohniště
m - dvouřadé ve dně čtyřhranného průřezu,
n - naklápěcí hořáky



8

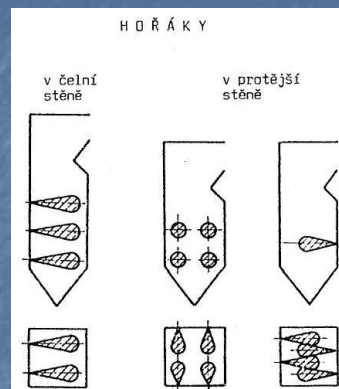
Umístění hořáků u práškových ohnišť



9

Ohniště s hořáky ve svislé stěně

- práškové hořáky jsou umístěny
 - v přední stěně ohniště
 - v protějších stěnách
 - v bočních stěnách
 - v přední a zadní stěně
- hořáky mohou být situovány
 - přímo proti sobě
 - vystřídané
- průřez ohniště a počet a uspořádání hořáků musí být navrženy tak, aby se plamen nedotýkal zadní stěny a ani bočních stěn ohniště

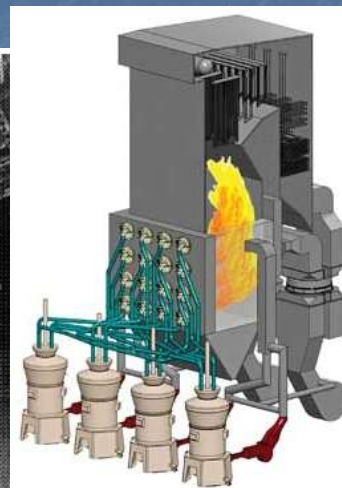
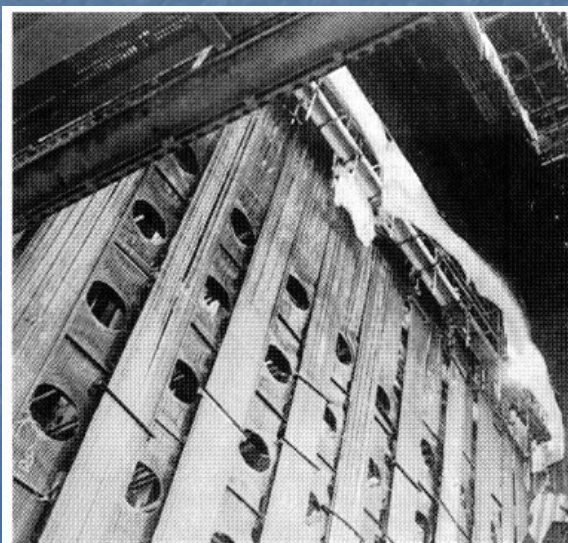


Ohniště s hořáky ve svislé stěně

- uspořádání hořáků ve svislé stěně
 - umožňuje dobré ovládání spalovacího procesu
 - omezuje zastruskování stěn
 - lze volit větší poměr šířky ku hloubce ohniště
 - výhodné u velkých výkonů
 - mlýny jsou v jedné nebo dvou řadách
 - zjednodušuje dispozici přívodů surového paliva ze zásobníků
 - u velkých výkonů při čelním uspořádání je před kotlem pro všechny mlýny málo místa

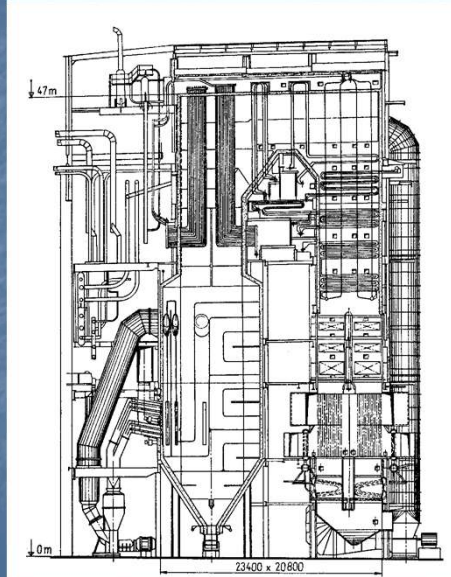
11

Ohniště s čelními hořáky



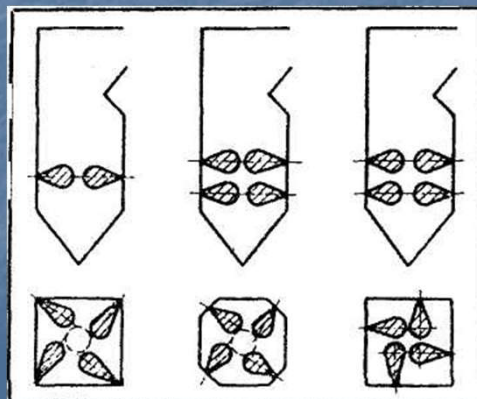
12

Kotel s čelními hořáky



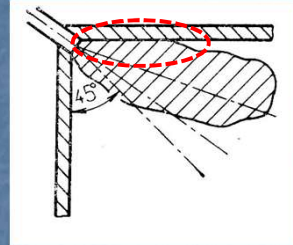
Tangenciální uspořádání hořáků

- používá se u kotlů středních až nejvyšších výkonů
- hořáky jsou nasměrovány tangenciálně na pomyslnou kružnici v ose ohniště
- hořáky mohou být umístěny
 - přímo v rozích
 - v seříznutých rozích
 - v každé stěně ohniště



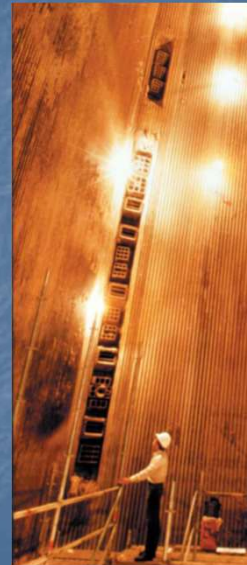
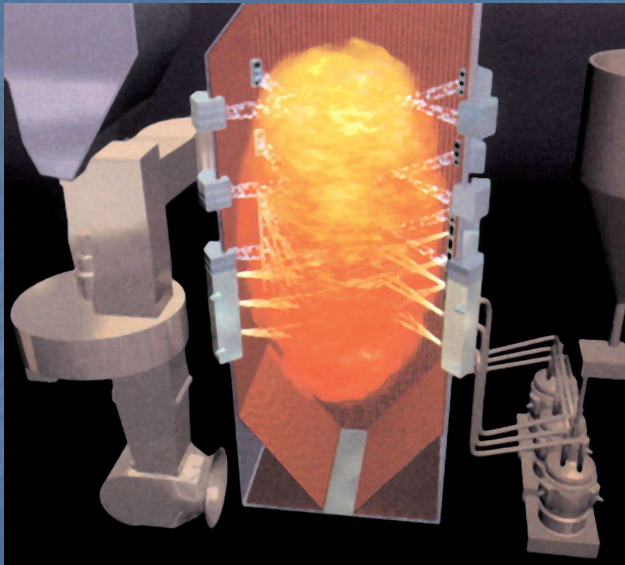
Tangenciální uspořádání hořáků

- teoreticky dává
 - delší spalovací dráhu
 - zvýšení turbulence
 - lepší podmínky pro vzněcování a vyhoření
- v praxi se tyto výhody často nepotvrdily
- umístění přímo v rozích je méně vhodné - struskování na stěnách
- použití tangenciálních hořáků vyžaduje alespoň přibližně čtvercový průřez ohniště



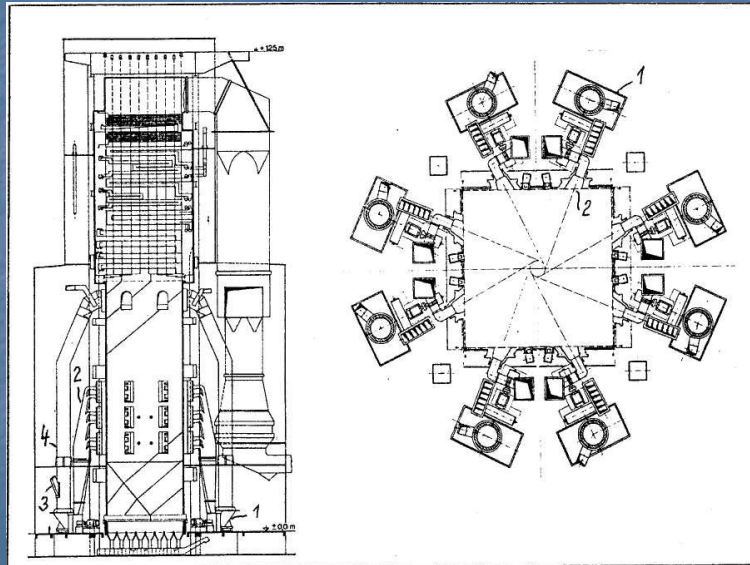
15

Ohniště s tangenciálními hořáky



16

Kotel s tangenciálními hořáky

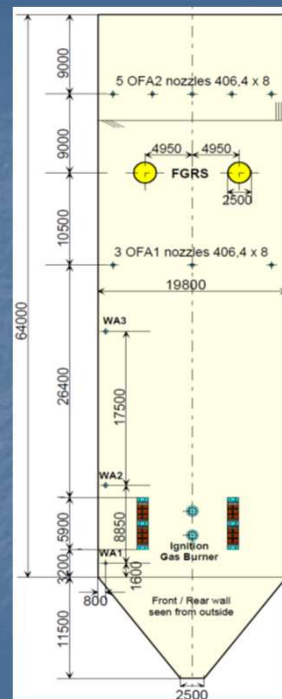


Distribuce vzduchu při spalování práškového uhlí

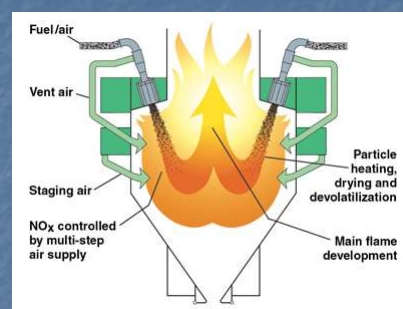
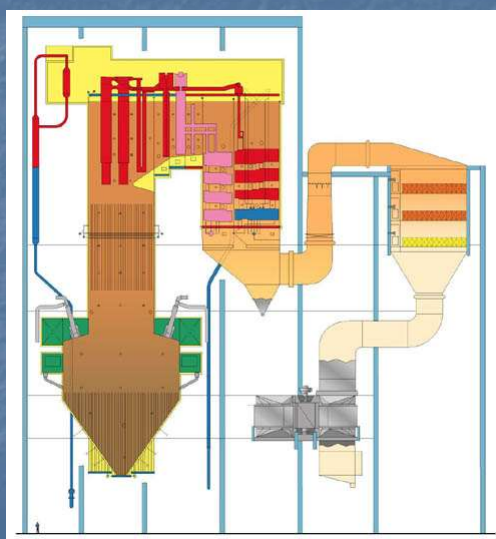
- Celkový přebytek vzduchu na konci ohniště se postupným vývojem snížil z 1,25 na hodnotu 1,15
- Spalovací vzduch se musí odstupňovat
 - po výšce spalovací komory,
 - po průřezu (v oblasti hořáků).
- Realizací primárních opatření lze u nových kotlů s tangenciálním ohništěm, dosáhnout snížení emisí NO_x na hodnotu
 - cca 350 mg/Nm³ u černého uhlí
 - cca 200 mg/Nm³ u hnědého uhlí
- Další snížení je možné jen s využitím metody SNCR nebo SCR.

TO - distribuce spalovacího vzduchu

- primární vzduch se zavádí do mlecího okruhu
- sekundární vzduch se zavádí přímo do hořáků
- stěnový vzduch (WA1 - 3) – chrání materiál stěn před redukční atmosférou (rizikem koroze)
- dohořívací vzduch (OFA1 - 2) se přivádí ve dvou úrovních nad hlavní hořáky
- rozdělení vzduchu
 - 1° 15 %
 - 2° 60 %
 - stěnový 10 %
 - OFA 1 5 %
 - OFA 2 10 %



Ohniště s hořáky „downshot“



ohniště s hořáky
„downshot“
pro splování antracitu

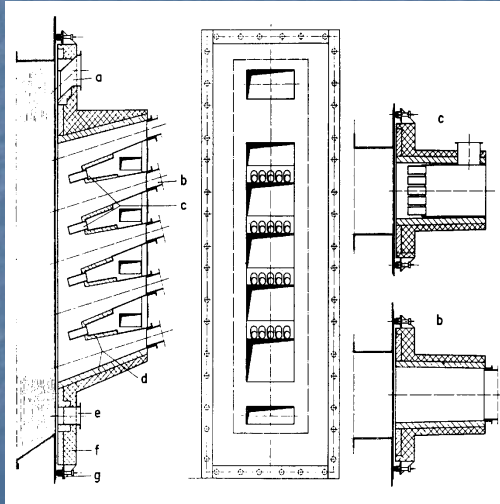
Základní typy práškových hořáků

Proudový hořák

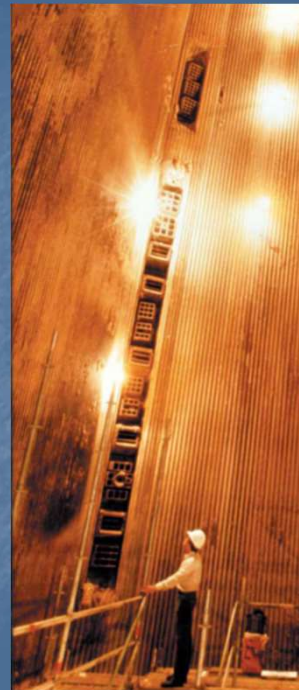
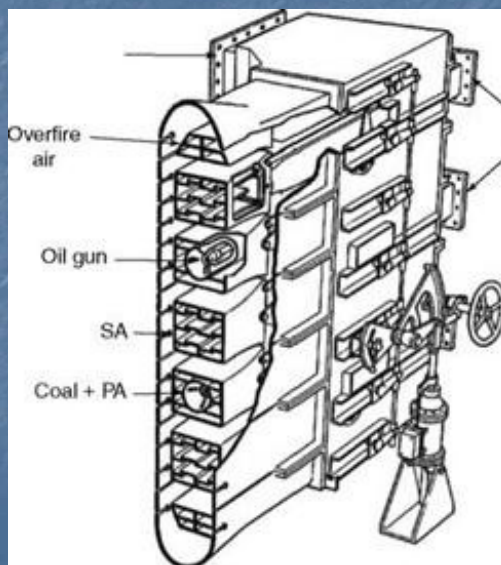
- proud primární směsi a sekundárního vzduchu vystupují paralelně bez rozvíření
- dochází postupnému směšování proudů – hoření probíhá na delší dráze za nižších teplot
- vhodné pro **hnědé uhlí**

Popis:

- a – dohořívací vzduch,
- b – přívod primární směsi,
- c – trysky sekundárního vzduchu,
- d – keramický omaz,
- e – spodní vzduch,
- f – izolační cihly,
- g – těsnicí rám

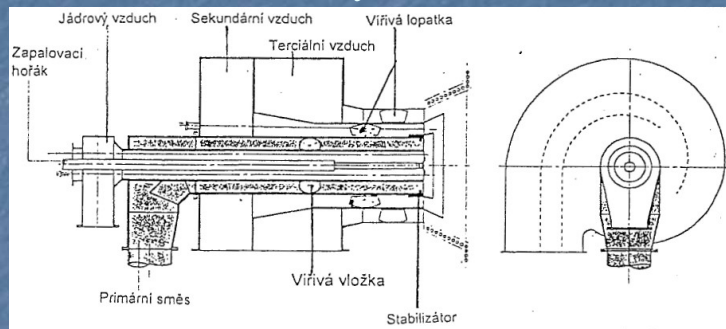


Koncepce ohniště proudovými hořáky



Základní typy práškových hořáků

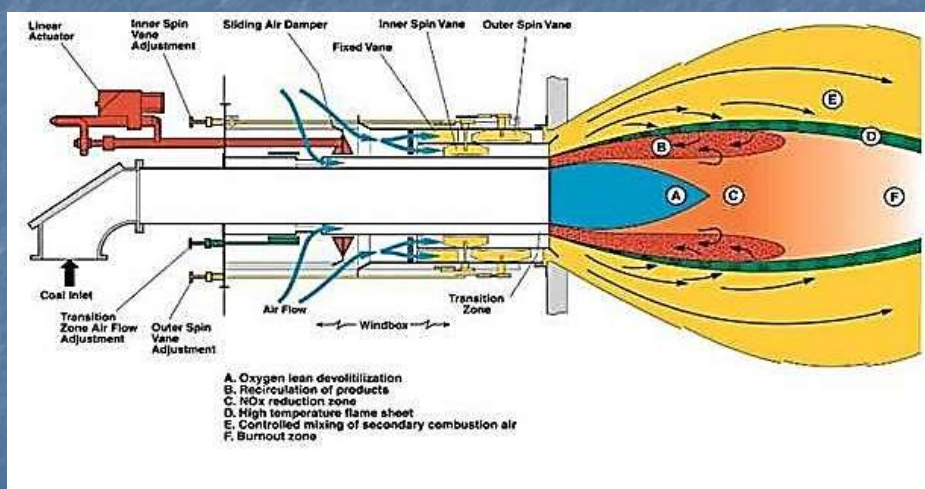
Vířivý hořák



- Základní princip - vytváření redukčních zón přímo v hořáku
- Schéma vířivého hořáku DS (Drall - Stufen - Brenner)
 - primární směs přivádí mezikružím v ose hořáku - uvede do rotace pomocí vířiče
 - vně přívodu tzv. jádrového vzduchu - vystupuje do spalovací komory axiálně
 - sekundární a terciální vzduch vstupují do hořákové skříně tangenciálně přes vířivé lopatky v mezikružích

Základní typy práškových hořáků

Vířivý hořák



Funkce vířivých hořáků

- Charakteristické pro vířivý hořák DS s omezenou tvorbou NO_x (Ultra Low NO_x) je zejména:
 - dostatečně včas započatý intenzivní tepelný rozklad paliva
 - uvolněná prchavá hořlavina se zapálí přímo na hořáku - v zóně s vysokou koncentrací paliva a v redukčním prostředí
 - přesně definovaný stupňovitý a opožděný přísun vzduchu k hořící hořlavině
 - rovnoměrný přísun vzduchu a paliva do společných zón, čímž se dosáhne rovnoměrné rozložení plamene
 - opožděný přísun terciálního vzduchu do zóny hoření (je jako vnější - obalový vzduch)
 - spalování na hořáku probíhá v mírně redukční atmosféře
- Spalování je intenzivnější, avšak doba setrvání v oblasti vysokých teplot se zkracuje
- K dokončení spalování se na konci spalovací komory přivádí ve dvou úrovních dohořívací vzduch
- Užití vhodné pro paliva s menším podílem prchavé hořlaviny – černé uhlí

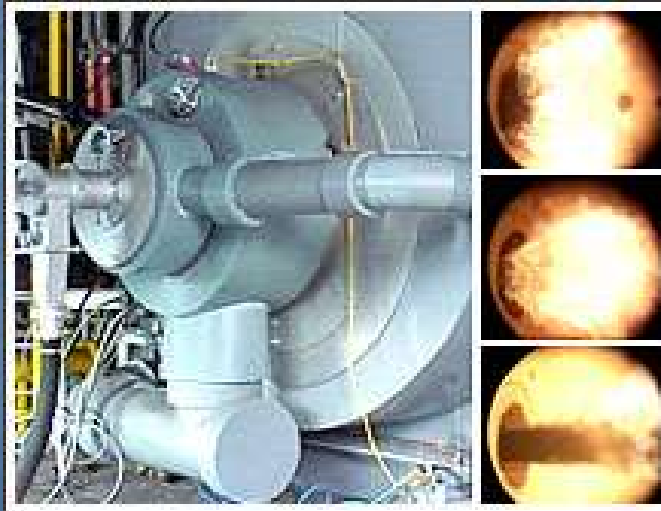
Základní typy práškových hořáků

Vířivý hořák Ultra Low NO_x



Základní typy práškových hořáků

Tvar plamene



vířivý

proudový

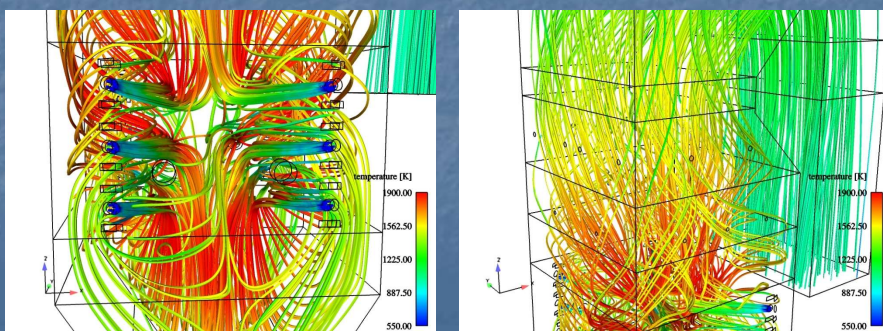
Umístění hořáků u práškových ohnišť

- poloha hořáků je určena tvarem a rozměry plamene
 - plamen musí dobře vyplňovat prostor spalovací komory
 - plamen se nesmí přimykát k bočním stěnám nebo narážet na protilehlou stěnu ohniště
 - riziko opalu stěny
 - riziko struskování
- délka plamene a jeho tvar musí být zohledněn při volbě rozměrů spalovací komory
- umístění hořáků a jejich dobrou funkci je vhodné ověřit aerodynamickým modelem ohniště

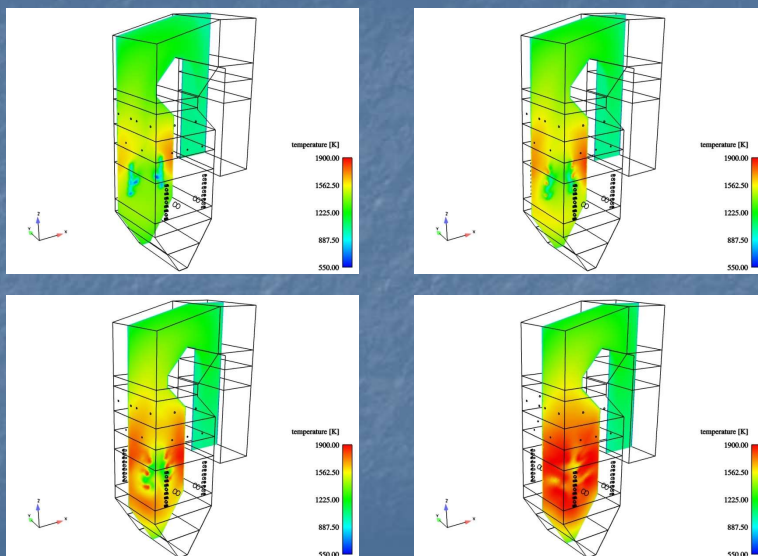
28

Modelování ohnišť

- dnes k dispozici pokročilé modelovací nástroje CFD
- úlohy jsou složité – 3D heterogenní neizotermické proudění při spalování
- výsledkem je proudové, teplotní a koncentrační pole v prostoru spalovací komory

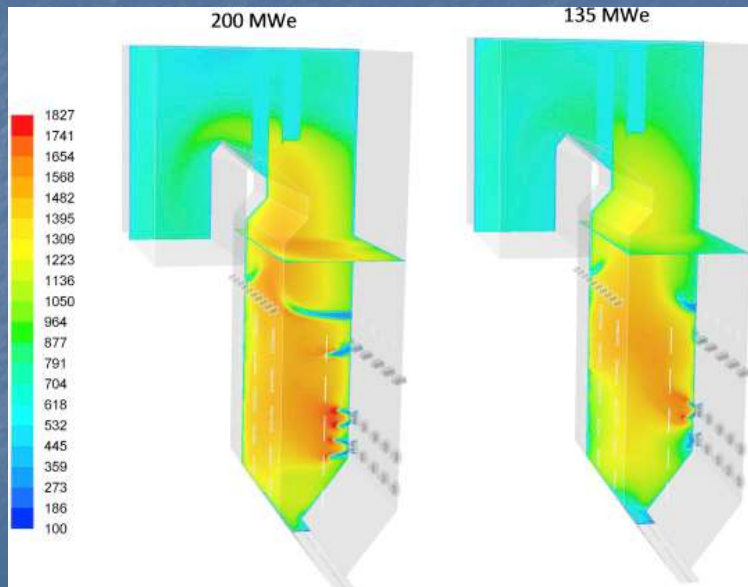


Modelování ohnišť



30

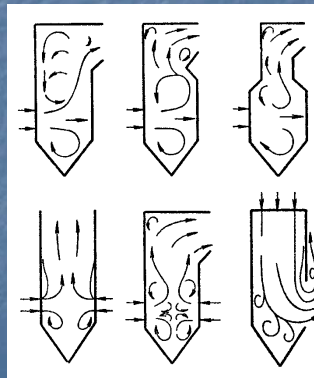
Modelování ohnišť



31

Volba geometrického tvaru ohniště

- úzce souvisí s uspořádáním hořáků
- pro příznivý průběh spalovacího procesu je žádoucí vznik turbulence s víry malých rozměrů
- ke zlepšení turbulence přispívá
 - provedení nosu na konci ohniště
 - zúžení čela vychlazovacího prostoru



32

Koncepční řešení práškových kotlů s granulačním ohništěm

Dělení

- podle počtu tahů
 - jednotahové – věžové
 - dvoutahové
 - třítahové – dnes málo používané
- podle umístění hořáků
 - dole
 - nahoře – dnes málo používané

		počet a poloha tahů kotle				
vstup paliva		1 tah (věžový k.) I.	tahy svislé		tahy svislé a vodorovné	
			2 tahy II	3 tahy III	2 tahy	3 tahy
dole	a) podtlakové ohniště		a) tahy stejné délky b) potlačen 2. tah c) odsazený ohř. vzd. d) tahy u sebe	a), b), c), d) jako u kotlů dvoutahových a), d)	neprovádí se	
	b) přetlakové ohniště		b), c) c), d)	c), d) b), d)	a), d) T	a) tahy u sebe b) tahy odděleny
nahore		1 tah	2 tahy U	3 tahy UI	2 tahy L	3 tahy
	dnes se již nepoužívá	neprovádí se	a), d) a), d)	a), d) a), d)	a), d) T	provedení souměrné

Jednotahové (věžové) uspořádání

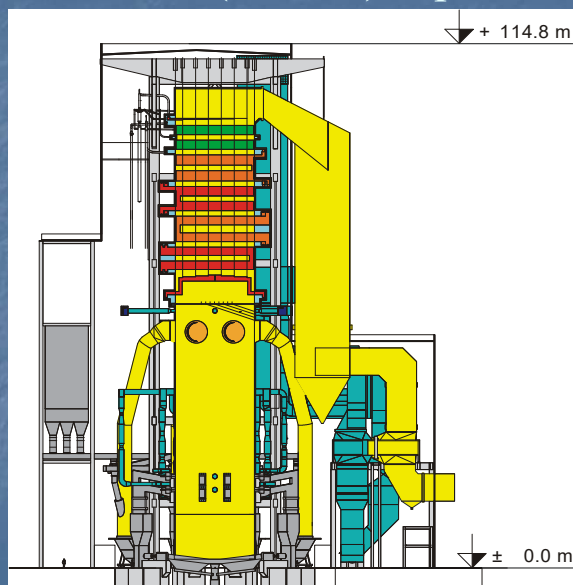
■ Výhody

- menší abrase
- lepší spalovací poměry
- odpadá obrátová komora

■ Nevýhody

- těžší nosná konstrukce
- obtížná montáž u velkých výkonů
- nutný prázdný průtah k sacímu ventilátoru evt. ohříváku vzduchu,
- nízké rychlosti spalin na konci kotle
- investičně je kotel většinou dražší

Jednotahové (věžové) uspořádání



Dvoutahové uspořádání tvaru Π

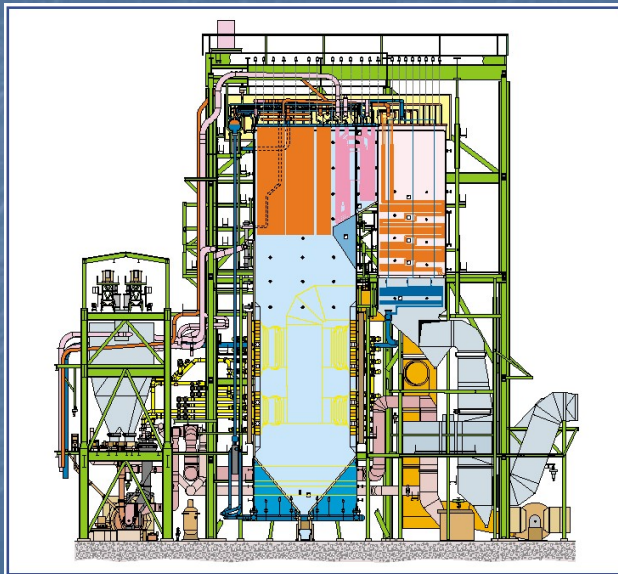
■ Výhody

- jednoduchá konstrukce,
- snadná možnost protiproudého uspořádání dodatkových ploch,
- vhodná dispozice spalinových ventilátorů,
- možnost dobrého čištění dodatkových ploch,

■ Nevýhody

- nerovnoměrnost koncentračních a rychlostních profilů ve druhém tahu velkých jednotek,
- větší abrasní účinek popílkových částic,
- značný objem málo využité obrátové komory,
- obtíže s umístěním velkého rekuperačního ohřívačku ve 2. tahu => ohřívač vzduchu se proto často umísťuje na samostatné nosné konstrukci (Ljungstroem vždy)

Dvoutahové uspořádání tvaru Π



Mlecí okruh práškových kotlů

Funkce :

- zajistit požadovanou granulometrii paliva
- předsušení paliva

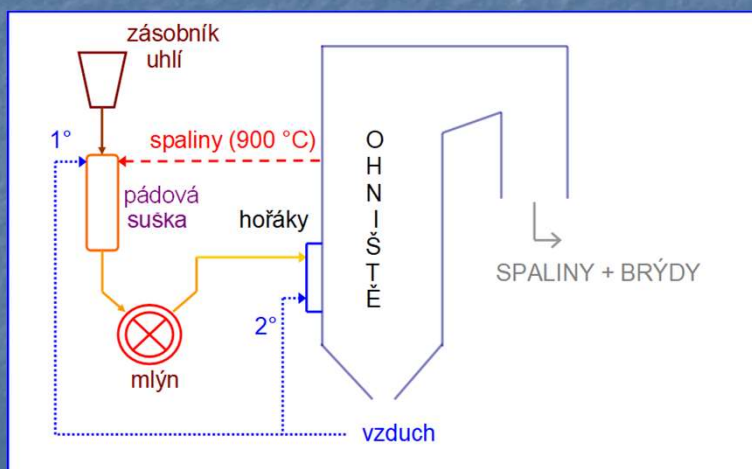
Sušící medium

- vzduch – dodáván ventilátorem – přetlakový MO
- spaliny – nasávány mlýnem – podtlakový MO

Základní typy MO

- uzavřený - s přímým foukáním prášku do ohniště
- otevřený - se zásobníkem prášku – dnes se nepoužívá

Klasická metoda sušení horkými spalinami Uzavřený mlecí okruh

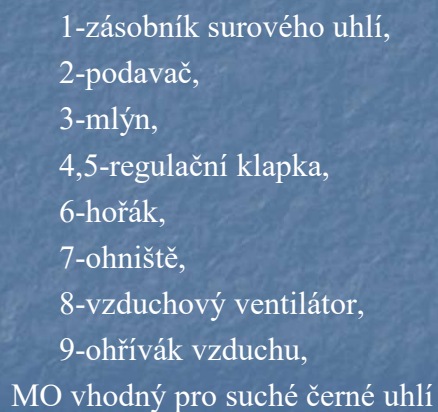


40

Otevřený mlecí okruh



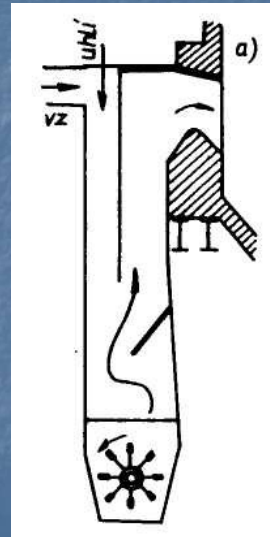
Přetlakový – sušení vzduchem



MO s přímým foukáním prášku do ohniště

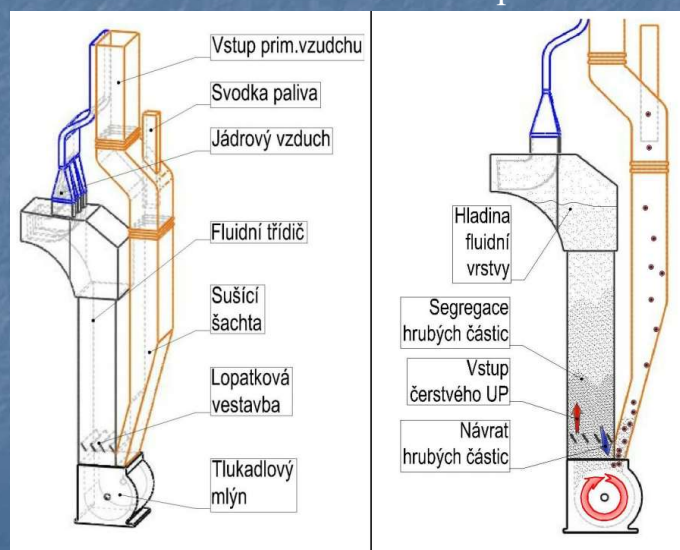
Krämerovo ohniště

- vývojově nejstarší řešení
- nejjednodušší provedení
- sušení vzduchem
- přetlakový MO
- společná sušicí a třídící šachta
 - funguje jako fluidní třídič
 - lopatky na výstupu z mlýna zlepšují funkci třídiče
- práškový hořák je vytvořen jako obdélníkový otvor ve stěně = ambrazura

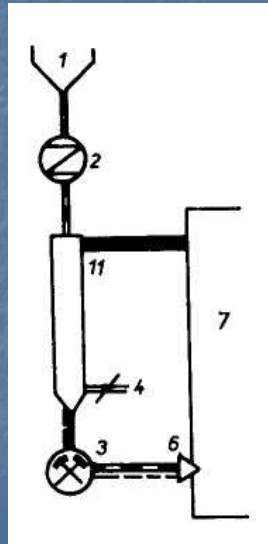


MO s přímým foukáním prášku do ohniště

Krämerovo ohniště – elektrárna Opatovice



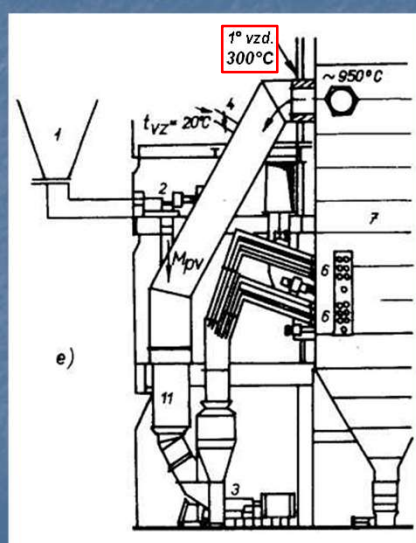
MO s přímým foukáním prášku do ohniště



Podtlakový s pádovou spalínovou suškou

- 1-zásobník surového uhlí,
- 2-podavač,
- 3-mlýn,
- 4,5-regulační klapka,
- 6-hořák,
- 7-ohniště,
- 11-pádová suška

MO s přímým foukáním prášku do ohniště



Podtlakový s pádovou spalínovou suškou

- 1-zásobník surového uhlí,
- 2-podavač,
- 3-ventilátorový mlýn,
- 4,5-regulační klapka,
- 6-hořák,
- 7-ohniště,
- 11-pádová suška

MO s přímým foukáním prášku do ohniště

převládající typ MO

Výhody

- jednoduchost,
- menší obestavěný prostor
- menší investiční náklady

Nevýhody

- brýdy se dostávají do kotle – omezený efekt sušení
- MO musí současně zajistit přípravu prášku a jeho dopravu do hořáků – problémy při snížených výkonech kotle
 - větší měrné mlecí práce při částečných zatíženích
 - horší dynamické vlastnosti z hlediska regulace výkonu kotle
 - kolísání jemnosti prášku s výkonem
 - chudší primární směs při poklesu výkonu

Mletí paliva

využívá se

- nárazu vyvozeného setrvačnými, gravitačními nebo odstředivými silami
- působení otěru a drcení klidným tlakem
- termodynamických jevů

měrná mlecí práce

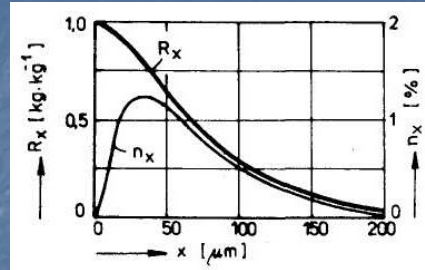
- liší se pro různé druhy uhlí
- závisí na počáteční a koncové zrnitosti paliva

$$\varepsilon = P / M_u \quad [kWh / t]$$

Jemnost mletí

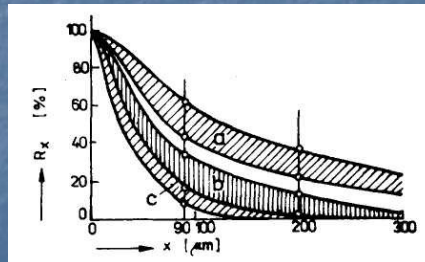
vyjadřuje se

- rozseovou křivkou R_x
- křivkou četnosti n_x



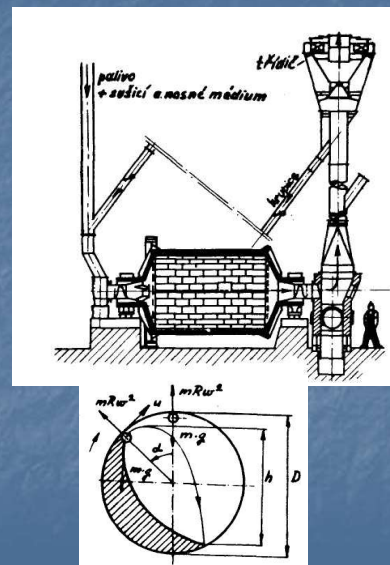
obvyklá jemnost mletí

- a – HU
- b – ČU
- c – výtavná ohniště



Trubnatý mlýn

- k mletí využívá dynamického účinku rázu kovových mlecích elementů - koulí
- elementy jsou opakovaně vynášeny otáčejícím se bubnem k jeho horní povrchce, odkud padají po parabolické dráze na hladinu paliva v bubnu
- surové uhlí vstupuje do mlýna spolu se sušicím médiem jedním dutým otočným čepem mlýna
- umletá zrna paliva jsou vynášena nosným médiem druhým dutým čepem do třídiče



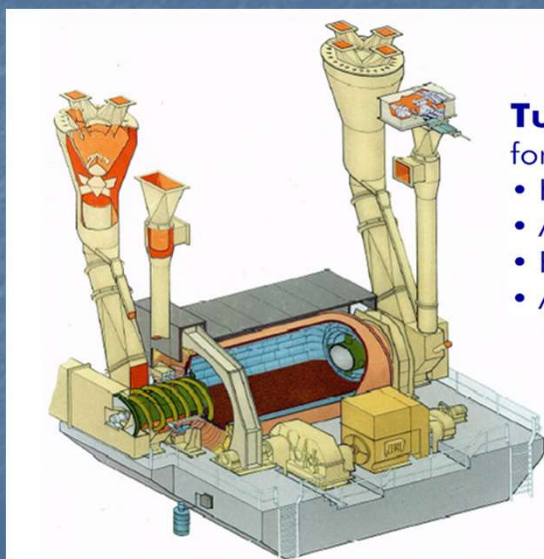
Trubnatý mlýn

- na výkony 5 až 120 t/h
- tlaková ztráta při proudění nosného a sušícího média 600 až 2500 Pa je spíše vyšší
- opotřebení koulí 70 až 300 g/t
- měrná mlecí práce při jmen. výkonu 16 až 22 kWh/t
- malá citlivost na cizí předměty

Nevýhody

- vysoký příkon pro chod na prázdko
- vysoká hlučnost
- velký obestavěný prostor
- nehodí se pro MO s přímým foukáním

Trubnatý mlýn



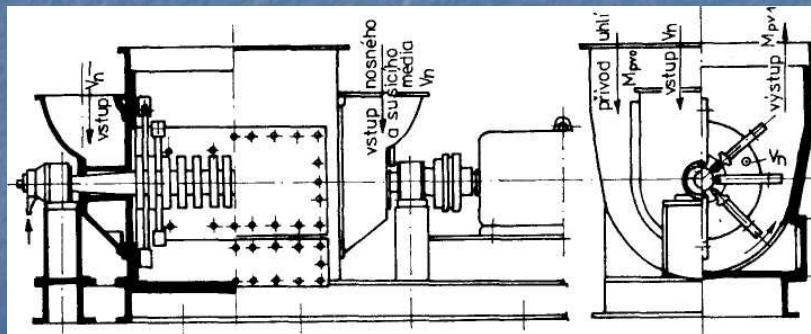
Tube Ball Mills

for Grinding of

- Hard coals
- Anthracite
- Phosphate
- Abrasive Minerals

Tlukadlový mlýn

- využívá k mletí dynamické síly
 - při vzájemném střetnutí rotujících tlukadel s uhelnými zrnny
 - síly nárazů zrn na pancíř mlecí skříně



Tlukadlový mlýn

skládá se

- ze svařované vypancěrované mlecí komory
 - s tečným vstupem paliva vůči rotoru
 - osovým nebo tečným vstupem nosného a sušicího média



Tlukadlový mlýn

skládá se

- z rotoru, tvořeného vodorovným hřídelem, ke kterému jsou na nábojích s oky připojeny čepy v několika řadách výkyvná ramena s tlukadly



Tlukadlový mlýn



Tlukadlový mlýn

- na výkony 5 až 50 t/h
- pro mletí měkkého a středně tvrdého uhlí
- použití v MO s přímým foukáním

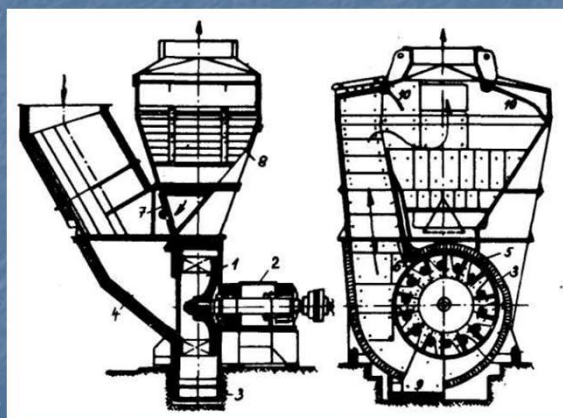
Nevýhody

- menší ventilační účinek
- velká ventilační ztráta při sníženém výkonu

Ventilátorový mlýn

- podobá se robustně provedenému radiálnímu ventilátoru s opancéřovaným oběžným kolem a spirální skříní

- 1-oběžné kolo,
- 2-ložisková skříň,
- 3-mlecí komora,
- 4-sací hrdlo,
- 5-pancíř,
- 6-nos,
- 7-recirkulační hradítko pro vracení hrubé frakce,
- 8-třidič,
- 9-shromažďování cizích těles

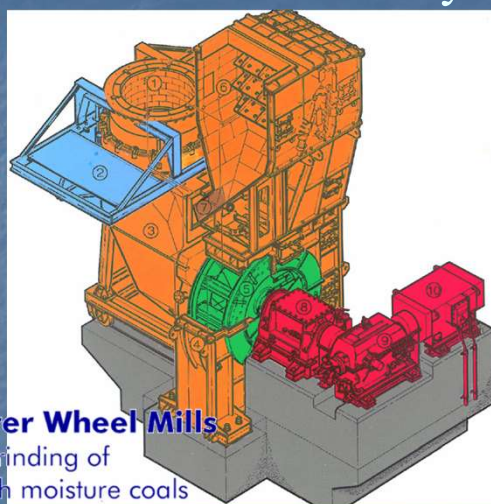


- 10-regulační klapka jemnosti mletí

Ventilátorový mlýn

- lopatky jsou radiální a tvoří současně mlecí desky
- lopatky jsou opatřeny silným pancéřováním
- desintegrace uhlí probíhá
 - při nárazu zrn na mlecí desky oběžného kola,
 - při nárazu zrn na obvodové pancíře mlecí skříně po výstupu z kola
 - v malé míře také při vstupu do mlýna nárazem na šikmý pancíř v sacím hrdle
 - rozpraskem zrn, vyvolaným expanzí vodních par z vody v palivu při vysoké teplotě sušicího média

Ventilátorový mlýn



- 1 Connection for flue gas resuction duct
- 2 Isolating slide damper for flue gas resuction duct
- 3 Mill door
- 4 Mill housing
- 5 Beater wheel
- 6 Classifier
- 7 Coarse particle return duct
- 8 Double bearing
- 9 Variable speed gear
- 10 Drive motor

Beater Wheel Mills

for Grinding of

- High moisture coals
- Fibrous and moist lignites
- Coarse grinding of limestone
- Soft minerals



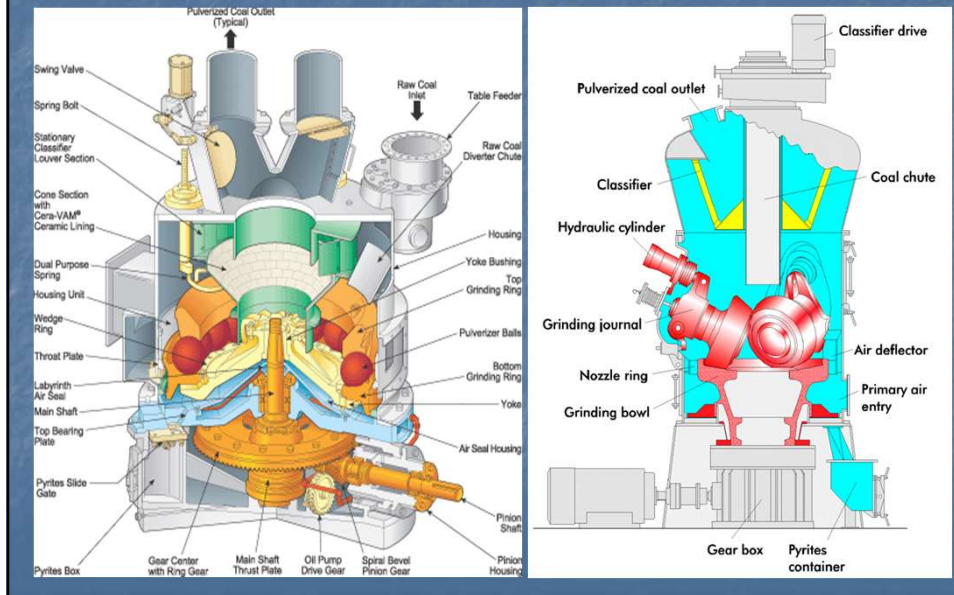
Ventilátorový mlýn

- používá se v MO s přímým foukáním
- plní funkci mlýnského ventilátoru
- je vhodný pro mletí velmi mokrých měkkých uhlí s možností sušení horkými spalinami
- mlecí práce 4 až 12 kWh/t

Výhody

- menší obestavěný prostor
- menší mlecí práce než u tlukadlového mlýna

Kroužkový a kladkový mlýn



Kroužkový a kladkový mlýn

- mletí paliva se děje klidným tlakem mlecích elementů, které se valí přes vrstvu zrn paliva
- k vysušení dochází pouze ve mlýně
- vhodné pro mletí suchých a tvrdých uhlí
- sušicím médiem bývá vzduchu

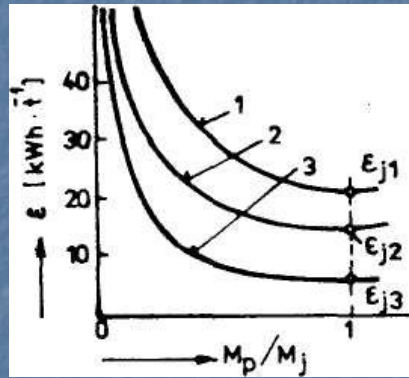
Výhody

- nejmenší mlecí práce 5 až 8 kWh/t
- malý obestavěný prostor
- plochá závislost měrné mlecí práce na výkonu mlýna

Vliv poměrného výkonu mlýna na měrnou mlecí práci

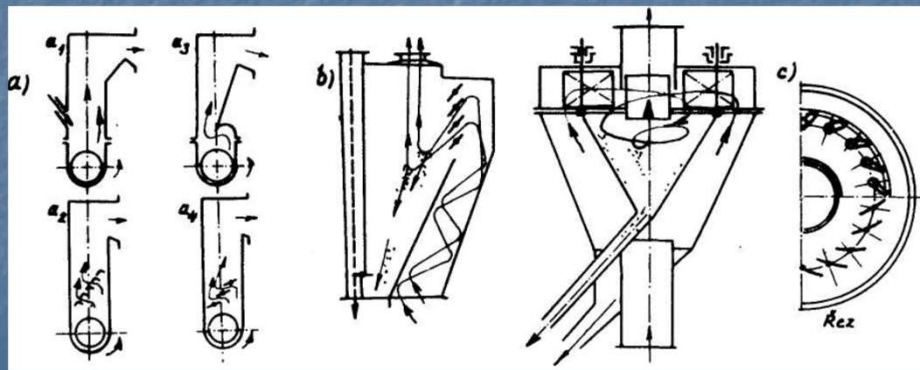
s klesajícím výkonem
mlýna měrná mlecí práce
roste

- 1-mlýn trubnatý,
- 2-mlýn tlukadlový nebo ventilátorový,
- 3-mlýn kroužkový nebo kladkový

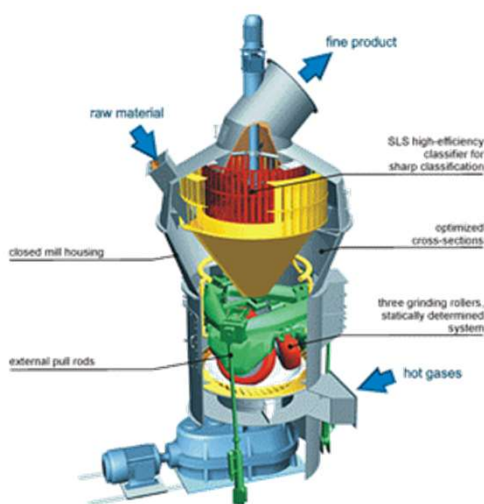


Třídíče

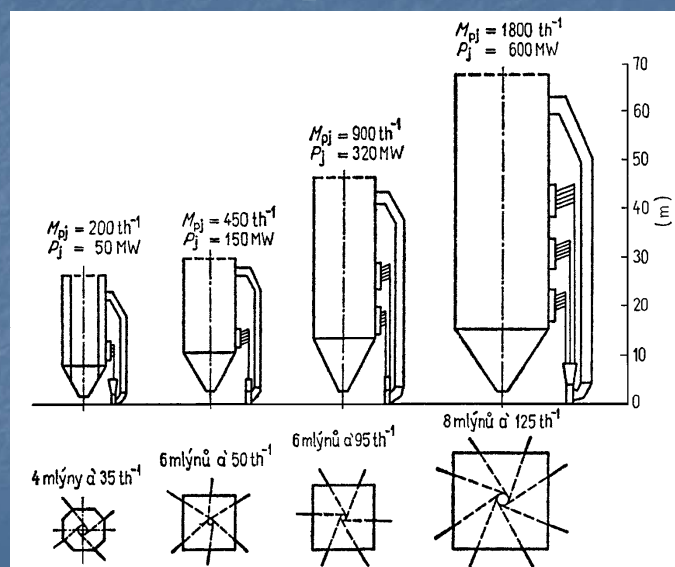
- slouží k separaci větších zrn prášku, které se vracejí zpět do mlýna
 - a-šachtový,
 - b-obratový,
 - c-statický odstředivý (Raymondův)



Třidič kladkového mlýna



Volba počtu MO



Dispozice MO

