

## Práškové ohniště

je charakterizováno spalováním v letu

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

- tříděné uhlí má povrch 1 až 2 m<sup>2</sup>/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 m<sup>2</sup>/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 zanášá výhřevné plochy
  - => způsobuje jejich abrazi
  - => odlučuje se ze spalín 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<sub>x</sub>

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  $\tau_s$  a dobou jejich setrvání v ohništi  $\tau_o$
- vychlazení ohniště
  - zajistit odvod popelovin v nelepivém stavu
  - zabránit poškození materiálu navazujících přehříváků

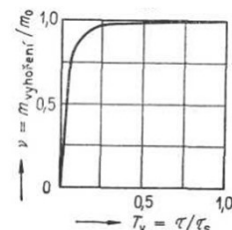
5

## Doba spalování $\tau_s$ a doba setrvání $\tau_o$

mezi dobou spalování nejhrubších zrn paliva  $\tau_s$  a dobou jejich setrvání v ohništi  $\tau_o$  musí platit

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

Závislost poměrného vyhoření uhlénoho prášku na poměrné době spalování



6

## Tvar ohniště

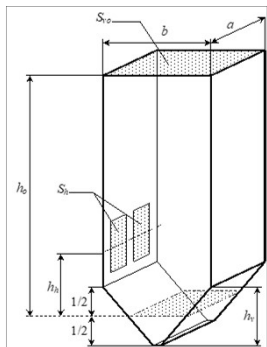
Výchozími parametry pro návrh velikosti a tvaru ohniště je volba

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

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

Při návrhu tvaru příčného průřezu je nutno znát:

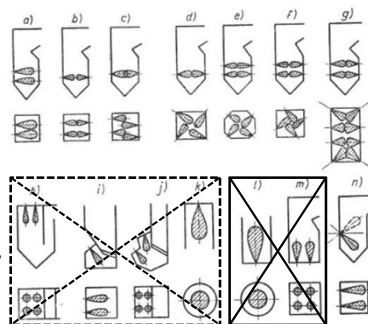
- počet, výkon a rozmístění hořáků,
- geometrický tvar a rozměry plamene z hořáků
- průběh proudnic, izoterm a vyhřívání paliva po délce plamene
- vzájemné ovlivňování plamenů hořáků umístěných vedle sebe



7

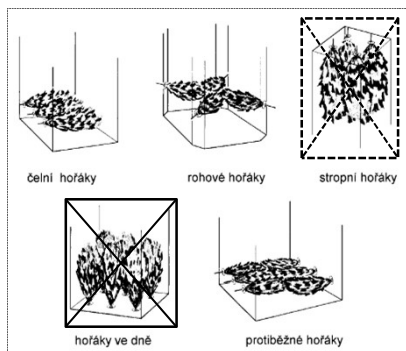
## Umístění hořáků u práškových ohnišť

- a - dvouřadé čelní,
- b - jednořadé protiběžné,
- c - jednořadé vystřídání,
- 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 tavicího 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

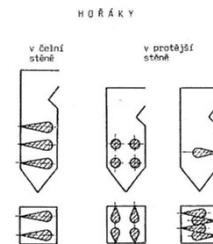
- práškové hořáky jsou umístěny

- v přední stěně ohniště
- v protějších stěnách
  - v bočních stěnách
  - v přední a zadní stěně

- hořáky mohou být situovány

- přímo proti sobě
- vystřídání

- průřez ohniště a počet a uspořádání hořáků musí být navrženy tak, aby se plamen nedotýkal zadní stěny a ani bočních stěn ohniště

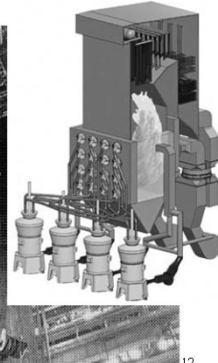


## Ohniště s hořáky ve svislé stěně

- 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 přívodu surového paliva ze zásobníků
    - u velkých výkonů při čelním uspořádání je před kotlem pro všechny mlýny málo místa

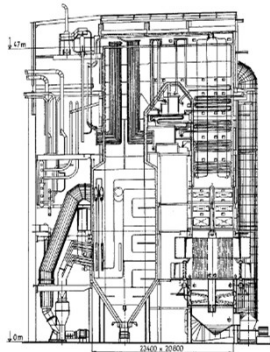
11

## Ohniště s čelními hořáky



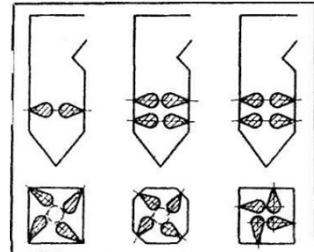
12

### Kotel s čelními hořáky



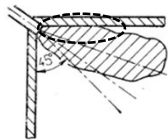
### Tangenciální uspořádání hořáků

- 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



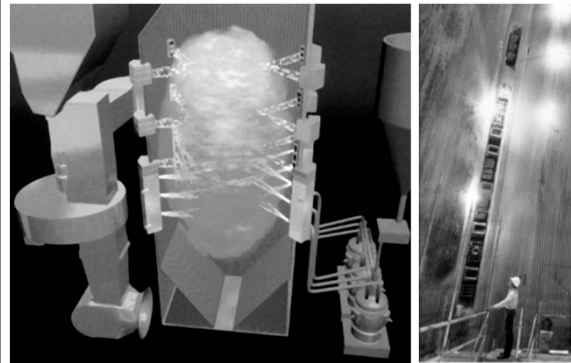
### Tangenciální uspořádání hořáků

- 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



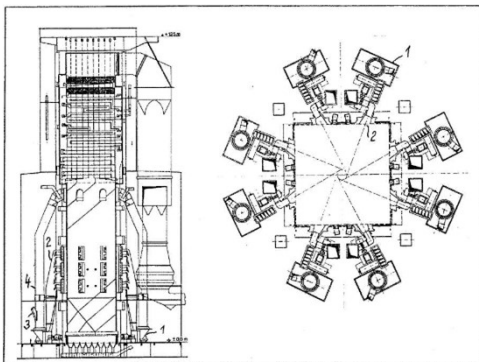
15

### Ohniště s tangenciálními hořáky



16

### Kotel s tangenciálními hořáky



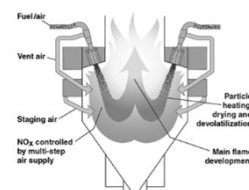
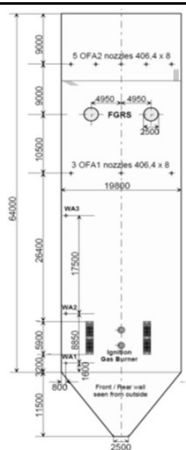
### Distribuce vzduchu při spalování práškového uhlí

- 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).
- Realizaci primárních opatření lze u nových kotlů s tangenciálním ohništěm, dosáhnout snížení emisí  $\text{NO}_x$  na hodnotu
  - cca 350 mg/Nm<sup>3</sup> u černého uhlí
  - cca 200 mg/Nm<sup>3</sup> u hnědého uhlí
- Další snížení je možné jen s využitím metody SNCR nebo SCR.

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)  
dohořivací vzduch (OFA1 - 2) se  
přivádí ve dvou úrovních nad  
hlavní hořáky

rozdělení vzduchu

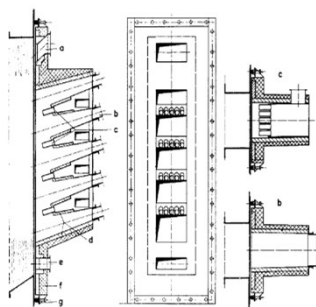
- 1° 15 %
- 2° 60 %
- stěnový 10 %
- OFA 1 5 %
- OFA 2 10 %



ohniště s hořáky  
„downshot“  
pro spalování antracitu

20

- proud primární směsi a sekundárního vzduchu vystupují paralelně bez rozvíření
- dochází postupnému směřování 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 – těsnící rám

Diagram illustrating the layout of a ship's main battery, showing various gun types and their ammunition:

- Overfire air
- Oil gun
- SA
- Coal + PA



The technical drawing consists of two parts. The left part is a longitudinal section of a boiler, showing the internal structure. Labels include: 'Jádrový veduch' (Core duct), 'Sekundární veduch' (Secondary duct), 'Vřířivá tepaloka' (Steam heating coil), 'Terpiální veduch' (Thermal duct), 'Zapalovací hořák' (Ignition burner), 'Přímá směr' (Direct direction), 'Vřířivá vložka' (Steam insert), and 'Stabilizátor' (Stabilizer). The right part is a detail view of a rivet joint, showing a cross-section of a rivet passing through two plates, with labels 'Vřířivá vložka' and 'Stabilizátor'.

- Základní princip - vytváření redukčních zón přímo v hořáku
- Schéma vířivého hořáku DS (Drall - Stufen - Brenner)
  - primární směr proudění mezikruží 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

The diagram illustrates the internal structure of a fluidized bed combustor. Key components labeled include: Linear Actuator, Inner Spin Vane Adjustment, Sliding Air Damper, Fixed Vane, Inner Spin Vane, Outer Spin Vane, Coal Inlet, Transition Zone Air Flow Adjustment, Outer Spin Vane Adjustment, Air Flow, Windbox, and Transition Zone. The combustor is divided into several functional zones, each labeled with a letter: A (Oxygen lean devolatilization), B (Incubation of products), C (NOx reduction zone), D (High temperature flame sheet), E (Controlled mixing of secondary combustion air), and F (Burnout zone). Arrows indicate the flow of air and coal into the system.

**A. Oxygen lean devolatilization**  
**B. Incubation of products**  
**C. NO<sub>x</sub> reduction zone**  
**D. High temperature flame sheet**  
**E. Controlled mixing of secondary combustion air**  
**F. Burnout zone**

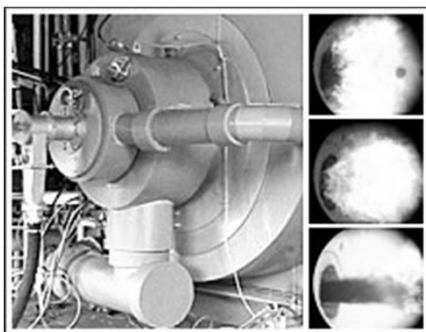
### Funkce vířivých hořáků

- Charakteristické pro vířivý hořák DS s omezenou tvorbou  $\text{NO}_x$  (Ultra Low  $\text{NO}_x$ ) 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 rovnoměrného 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 $\text{NO}_x$



### Základní typy práškových hořáků Tvar plamene



vířivý

proudový

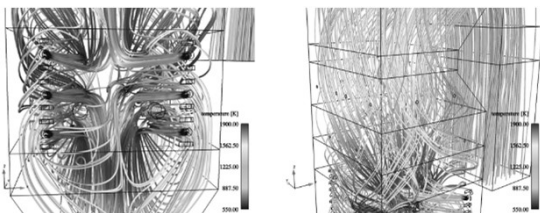
### Umístění hořáků u práškových ohnišť

- 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

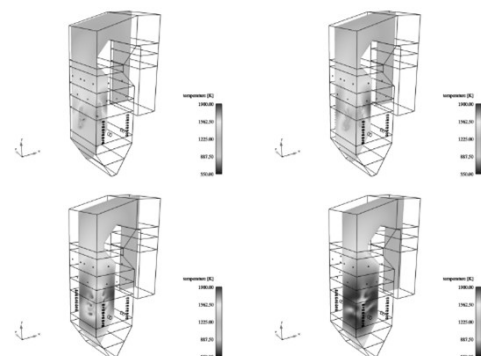
28

### 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

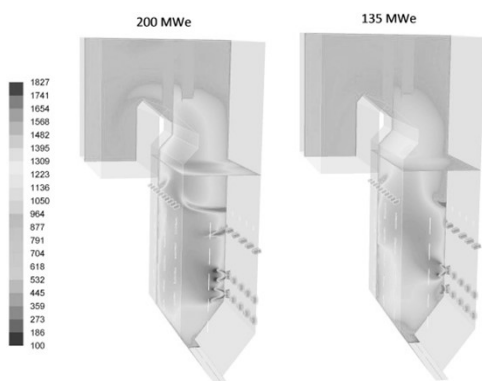


### Modelování ohnišť



30

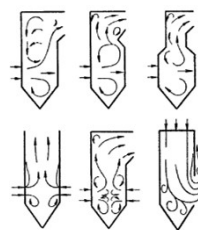
## Modelování ohnišť



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 vychlázovacího prostoru

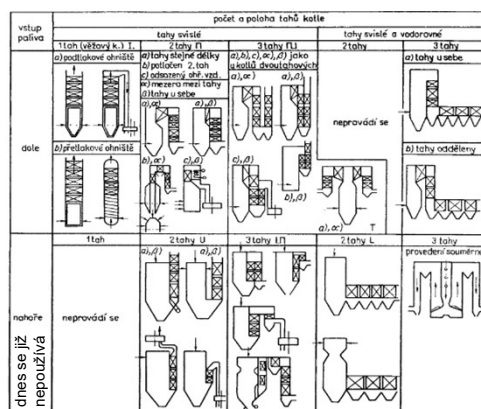


32

## Koncepční řešení práškových kotlů s granulačním ohništěm

### Dělení

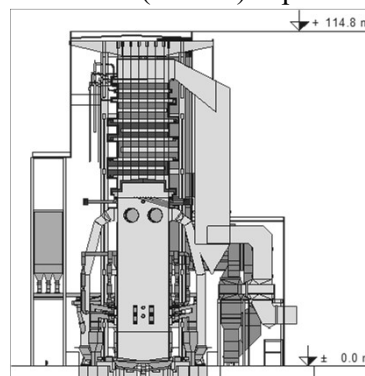
- podle počtu tahů
  - jednotahové – věžové
  - dvoutahové
  - třítahové – dnes málo používané
- podle umístění hořáků
  - dole
  - nahoře – dnes málo používané



## 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 spalín na konci kotle
  - investičně je kotel většinou dražší

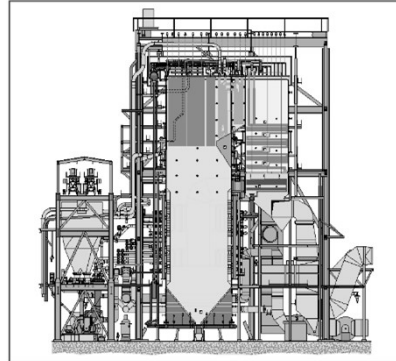
## Jednotahové (věžové) uspořádání



## 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 využitých obrátových komor,
  - obtíže s umístěním velkého rekuperačního ohříváku ve 2. tahu => ohřívák 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

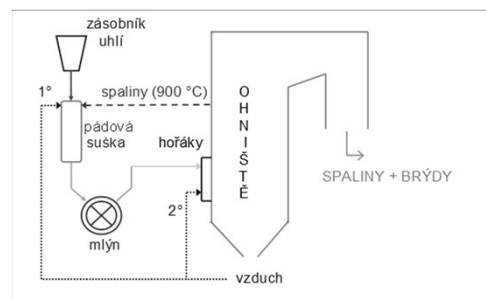
Sušící medium

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

Základní typy MO

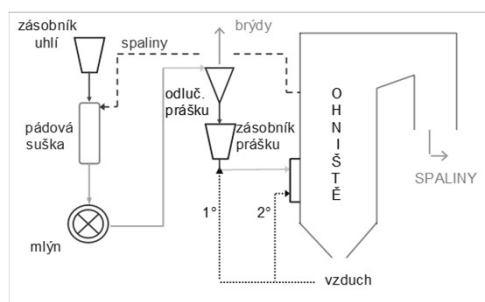
- uzavřený - s přímým foukáním prášku do ohniště
- otevřený - se zásobníkem prášku – dnes se nepoužívá

## Klasická metoda sušení horkými spaliny Uzavřený mlecí okruh



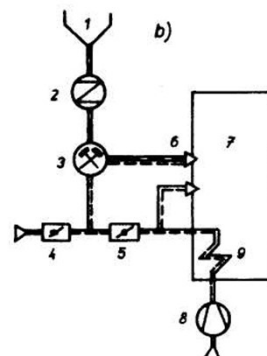
40

## Klasická metoda sušení horkými spaliny Otevřený mlecí okruh



41

## MO s přímým foukáním prášku do ohniště



Přetlakový – sušení vzduchem

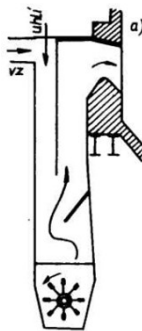
- 1-zásobník surového uhlí,
- 2-podavač,
- 3-mlýn,
- 4,5-regulační klapka,
- 6-hořák,
- 7-ohniště,
- 8-vzduchový ventilátor,
- 9-ohřívák vzduchu,

MO vhodný pro suché černé uhlí

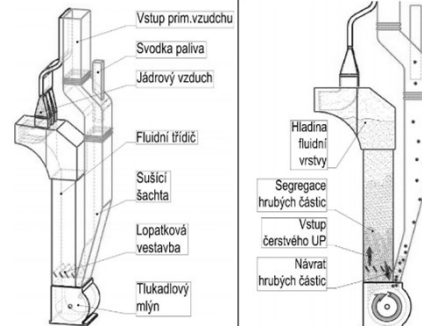
## MO s přímým foukáním prášku do ohniště

### Krämerovo ohniště

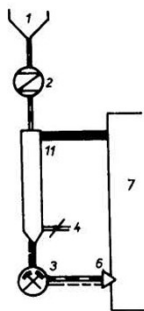
- vývojově nejstarší řešení
- nejjednodušší provedení
- sušení vzduchem
- přetlakový MO
- společná sušící a třídící šachta
  - funguje jako fluidní třídíč
  - lopatky na výstupu z mlýna zlepšují funkci třídíče
- práškový hořák je vytvořen jako obdélníkový otvor ve stěně = ambrazura



## MO s přímým foukáním prášku do ohniště Krämerovo ohniště – elektrárna Opatovice



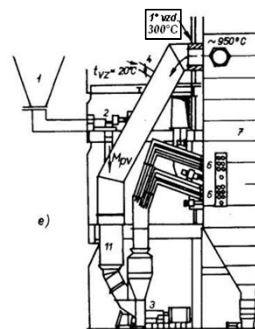
## MO s přímým foukáním prášku do ohniště



### 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 měrná 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

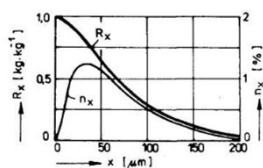
$$\varepsilon = P / M_u \quad [kWh/t]$$



## Jemnost mletí

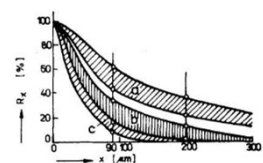
vyjadřuje se

- rozsevou křivkou  $R_x$
- křivkou četnosti  $n_x$



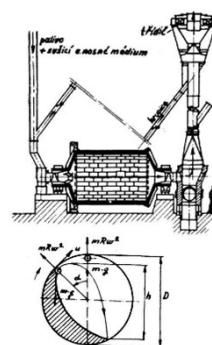
obvyklá jemnost mletí

- 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 povrchu, 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



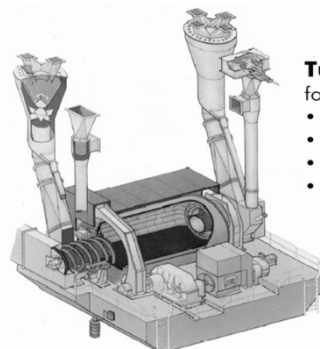
## Trubnatý mlýn

- 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

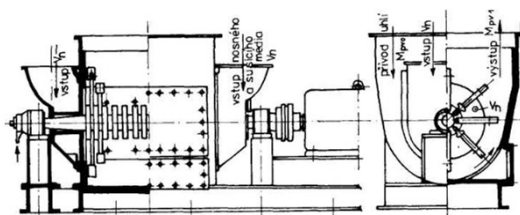


**Tube Ball Mills**  
for Grinding of

- Hard coals
- Anthracite
- Phosphate
- Abrasive Minerals

## Tlukadlový mlýn

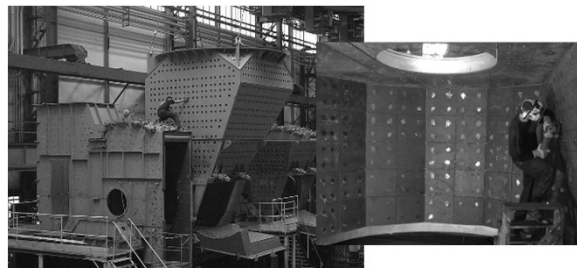
- využívá k mletí dynamické síly
- při vzájemném střetnutí rotujících tlukadel s uhelnými zrnky
- síly nárazů zrn na pancíř mlecí skříně



## Tlukadlový mlýn

skládá se

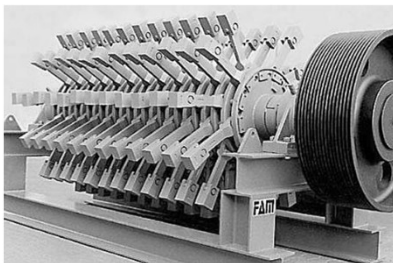
- ze svařované vypaňčované mlecí komory
  - s tečným vstupem paliva vůči rotoru
  - osovým nebo tečným vstupem nosného a sušícího média



## 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

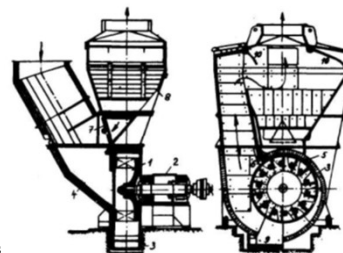
Nevýhody

- menší ventilační účinek
- velká ventilační ztráta při sníženém výkonu

## Ventilátorový mlýn

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

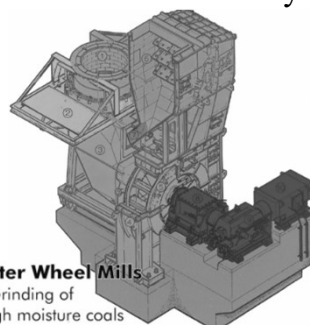
- 1-oběžné kolo,
- 2-ložisková skříně,
- 3-mlecí komora,
- 4-sací hrdlo,
- 5-pancír,
- 6-nos,
- 7-recirkulační hradítko pro vrácení hrubé frakce,
- 8-tridič,
- 9-shromažďování cizích těles
- 10-regulační klapka jemnosti mletí



## 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 pancír v sacím hrdle
  - rozpraskem zrn, vyvolaným expanzí vodních par z vody v palivu při vysoké teplotě sušícího média

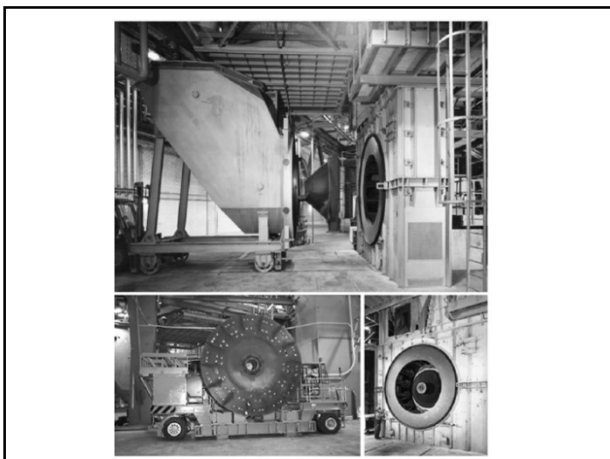
## Ventilátorový mlýn



### Beater Wheel Mills

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

- 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

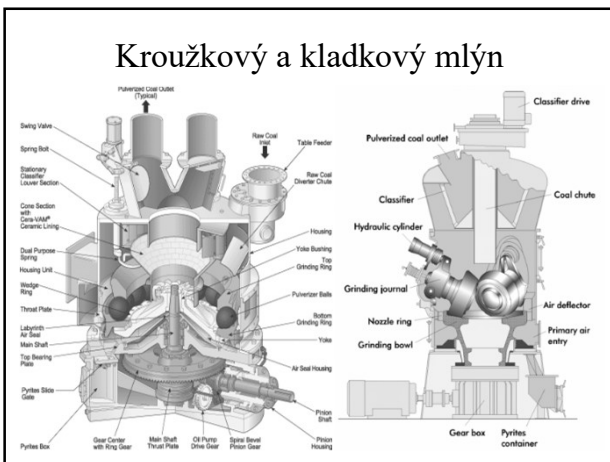


## Ventilátorový mlýn

- používá se v MO s přímým foukáním
- plní funkci mlýnského ventilátoru
- je vhodný pro mletí velmi mokřých měkkých uhlí s možností sušení horkými spaliny
- 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 vzduch

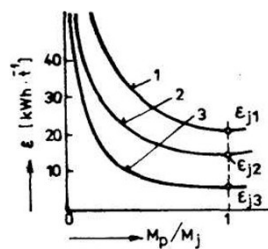
### Výhody

- 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

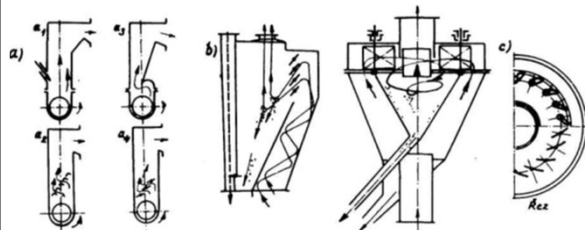
s klesajícím výkonem mlýna měrná mlecí práce roste

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

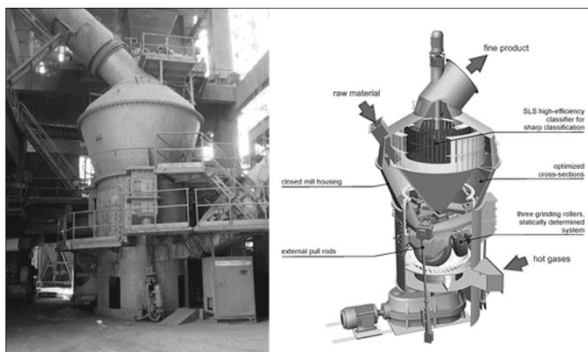


## Třídíče

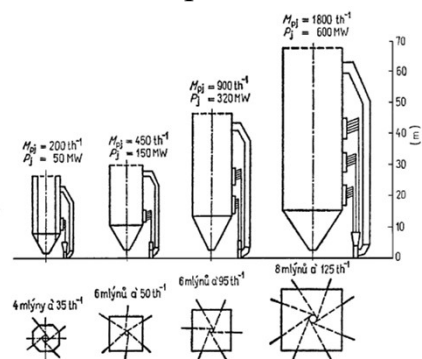
- slouží k separaci větších zrn prášku, které se vrací zpět do mlýna
- a-šachtový,
- b-obratový,
- c-statický odstředivý (Raymondův)



## Třídíč kladkového mlýna



## Volba počtu MO



## Dispozice MO

