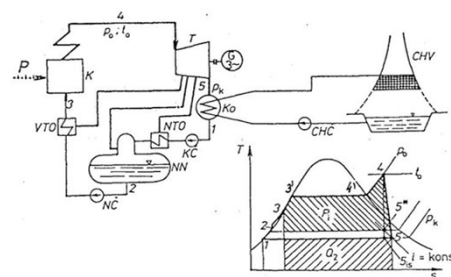


## PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V TEPELNÉM OBĚHU KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY

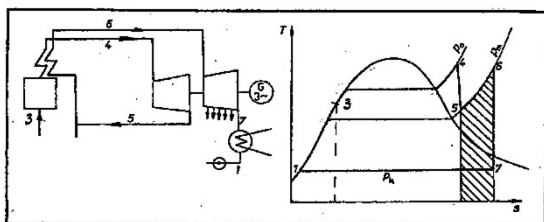
1

## TEPELNÉ SCHÉMA KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY bez přehřívání páry



2

## TEPELNÉ SCHÉMA KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY s přehříváním páry



3

## Charakteristika elektrárenských parních kotlů

- vysoké parametry přehřáté páry
  - konvenční (podkritické) – 540 °C, 17 MPa
  - nadkritické – 600 °C, 30 MPa
- alespoň jedno přehřívání páry, u bloků velkých výkonů se provádí i dvojitá přehřívání páry,
- velký jednotkový parní výkon kotle – stovky až tisíce t/h
- vysoká teplota napájecí vody 250 až 300 °C vyplývající z použití vysokotlakých regenerativních ohříváků,
- realizace všech dostupných opatření k dosažení co nejvyšší účinnosti kotle,
- menší regulační rozsah s dodržení konstantní teploty páry, pokud blok pracuje v základním zatížení,
- blokové uspořádání: kotel – turbína – chladicí věž,
- co největší roční využití při trvalém provozu, většinou se neprovádí časté odstavování

4

## Typy kotlů pro elektrárny

- v podmínkách ČR pouze kotle na tuhá paliva
- typově se jedná o kotle vodotrubné
- liší se:
  - použitou spalovací technologií
    - roštová – pro nejmenší výkony – dnes již mimo provoz
    - prášková – pouze pro uhlí, u nás většina velkých bloků
    - fluidní – uhlí, biomasa, TAP + kombinace
  - konstrukcí výparníku
    - kotel s přirozenou cirkulací vody ve výparníku
    - kotel s nucenou cirkulací vody ve výparníku
    - kotel průtočné (průtlačné) – dnes nejčastěji užívané

5

## Výkon ohniště

- roštová ohniště nejčastěji pro kotle s parním výkonem do 50 t/h (extrémně 250 t/h)
- u práškových kotlů mezního jmenovitého výkonu nebylo dosud dosaženo
  - dnešní maximum přes 4 000 t/h (blok 1300 MWe)
- modulová koncepce fluidních kotlů umožňuje dosažení výkonů přes 1000 t/h

6

## Parní kotle na práškové uhlí

spalování probíhá v letu => vyžaduje velmi jemné palivo ve formě prášku s velikostí zrn v desítkách  $\mu\text{m}$

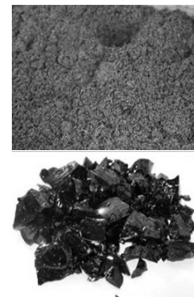
- tříděné uhlí má povrch 1 až 2  $\text{m}^2/\text{kg}$ , potřebná doba vyhoření na roštu je 15 až 20 minut
- namletím uhlí na jemný prášek se zvýší jeho reakční povrch 600 až 1000 x  
=> spalování proběhne tolikrát rychleji
- uhlenný prášek má povrch 100 až 2000  $\text{m}^2/\text{kg}$ , doba vyhoření v letu je 0,5 až 2 sekundy = doba setrvání prášku ve spalovací komoře
- z intenzifikace spalování plynou tyto výhody
  - lze docílit vyššího tepelného zatížení spalovací komory => zmenšení velikosti
  - lze stavět kotle velmi velkých výkonů

7

## Dva typy práškových ohnišť

dělení podle způsobu odvodu tuhých zbytků

- granulační
  - nižší teploty v SK
  - teplota popela se drží pod teplotou tečení
  - odvod ve formě škváry
- výtavné
  - vyšší teploty v SK
  - teplota popela se drží nad teplotou tečení
  - odvod ve formě strusky
  - dnes málo užívaná technologie



8

## Příprava uhlí pro práškové spalování

rozhodující pro správný průběh procesu, zahrnuje

- mletí
  - třídění
  - sušení
- => je nákladnější než u jiných způsobů spalování  
=> až 85% popela odchází jako jemný popílek  
=> zanáší výhřevné plochy  
=> způsobuje jejich abrazi  
=> odlučuje se ze spalin za kotlem  
=> problémy s ukládáním

9

## Mlecí okruh práškových kotlů

- dřív se jednalo o samostatné zařízení pracující nezávisle na provozu kotle
- dnes je integrálním pomocným zařízením práškového ohniště pro kontinuální přípravu prášku před spalováním

Funkce :

- zajistit požadovanou granulometrii paliva
- předsušení paliva

Základní typy MO :

- otevřený – používá se ojediněle – pro sušení biomasy
- uzavřený – s přímým foukáním prášku do ohniště

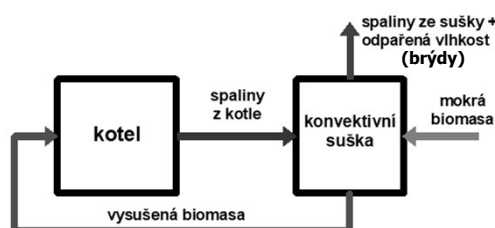
Sušicím médiem může být

- ohřátý vzduch – pro méně vlhká uhlí (ČU)
- horké spaliny odebírané z SK – pro vlhká uhlí (HU)

10

## Otevřený sušicí okruh

vhodný pro sušení velmi mokrého paliva - biomasa

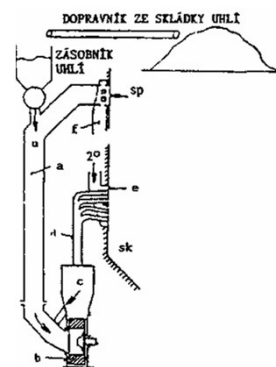


11

## Ohniště s uzavřeným mlecím okruhem

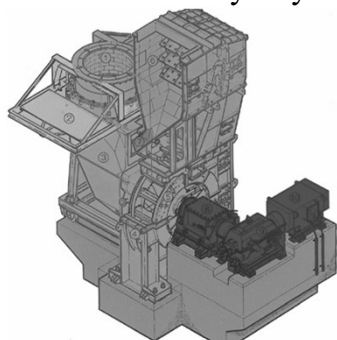
sušení spalinami odebíranými ze spalovací komory s přímým foukáním prášku do hořáků

- a-sušící šachta,
- b-ventilátorový mlýn,
- c-třidič,
- d-práškovod,
- e-hořák,
- f-vzduch pro chlazení nasávacího otvoru spalin a regulaci teploty sušícího plynu,
- sk-spalovací komora,
- sp-přívod spalin z ohniště,
- u-přívod uhlí od podavače



12

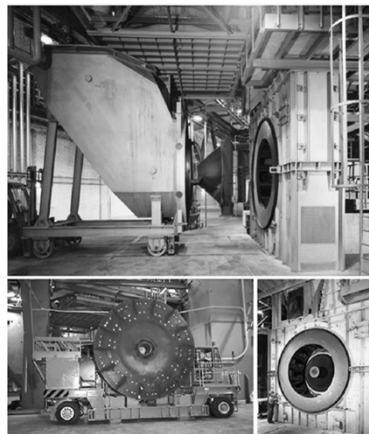
### Ventilátorový mlýn na hnědé uhlí



- 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

vhodný pro mletí měkčího a mokrého uhlí – použit u všech našich elektráren na HU

13



14

### MO s přímým foukáním prášku do ohniště

dnes převládající typ MO

Výhody

- jednoduchost,
- menší obestavěný prostor
- menší investiční náklady

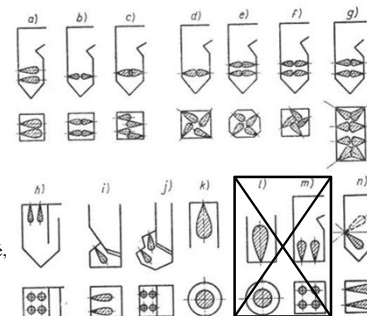
Nevýhody

- 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 mléč práce při částečných zatíženích
  - horší dynamické vlastnosti z hlediska regulace výkonu kotle
  - kolísání jemnosti prášku s výkonem
  - chudší primární směs při poklesu výkonu

15

### Umístění hořáků u práškových ohnišť

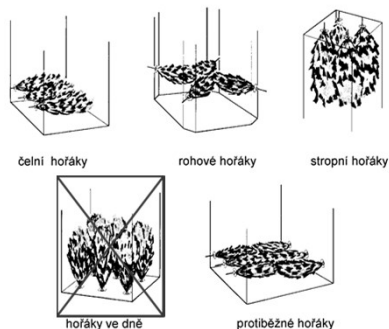
- a* - dvouřadé čelní,  
*b* - jednořadé protiběžné,  
*c* - jednořadé vystřídání,  
*d* - jednořadé rohové,  
*e* - dvouřadé tangenciální (osmiúhelníkový průřez),  
*f* - dvouřadé tangenciální (čtvercový průřez),  
*g* - dvouřadé kombinované,  
*h* - stropní,  
*i* - uspořádání v šikmé stěně (U-plamen 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



16

16

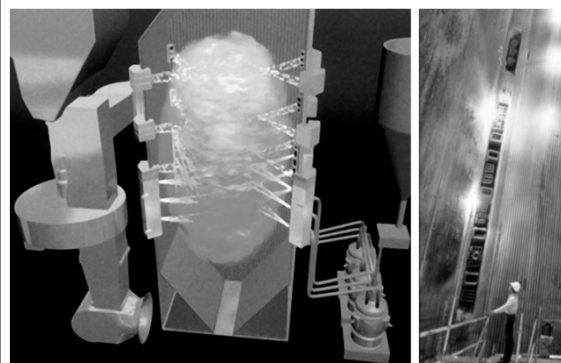
### Umístění hořáků u práškových ohnišť



17

17

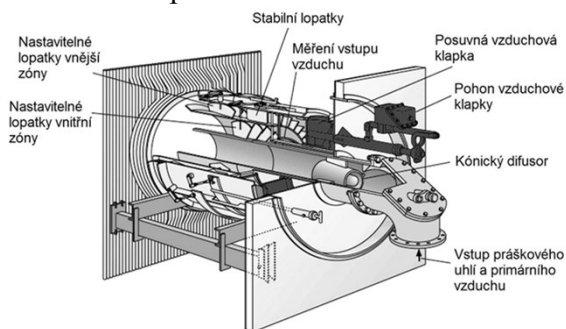
### Práškové ohniště s tangenciálními hořáky



18

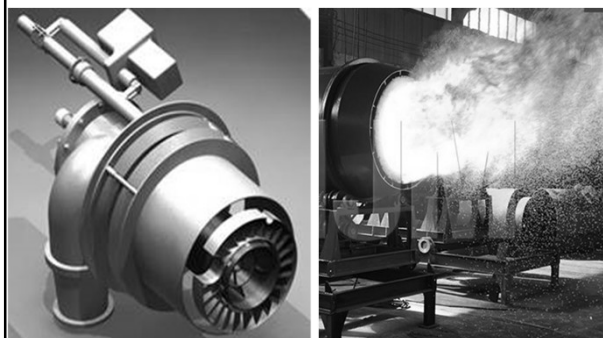
18

### Nízkoemisní práškový hořák s postupným přívodem vzduchu



19

### Práškový hořák Ultra Low NO<sub>x</sub>

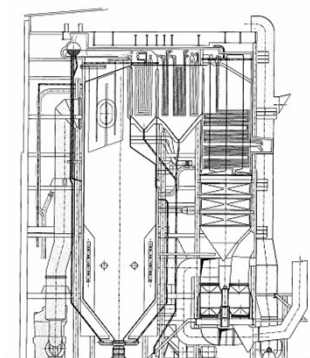


20

### Příklady práškových kotlů

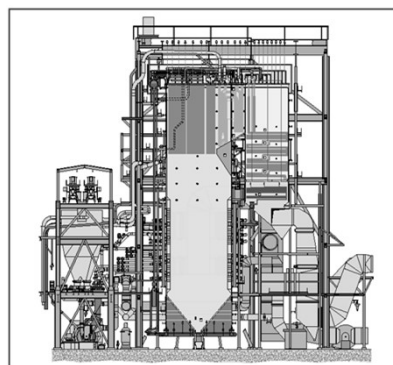
#### Vysokotlaký granulační parní kotel

$M_{pp} = 350 \text{ t/h}$ ,  
 $p_{pp} = 13,6 \text{ MPa}$ ,  
 $t_{pp} = 540^\circ\text{C}$ ,  
 $t_{mp} = 530^\circ\text{C}$ ,  
 $t_{nv} = 235^\circ\text{C}$ ,  
 palivo : hnědé uhlí



21

### Dvoutahové uspořádání tvaru II



22

### Dvoutahové uspořádání tvaru II

- Výhody
  - jednoduchá konstrukce,
  - snadná možnost protiproudého uspořádání dodatkových ploch,
  - vhodná dispozice spalínových 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)

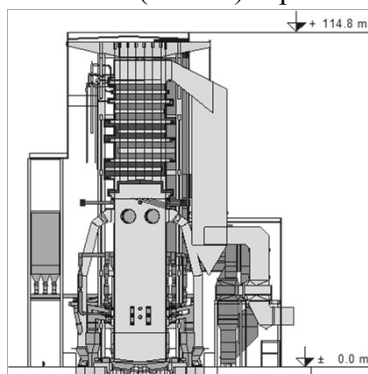
23

### 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

24

## Jednotahové (věžové) uspořádání

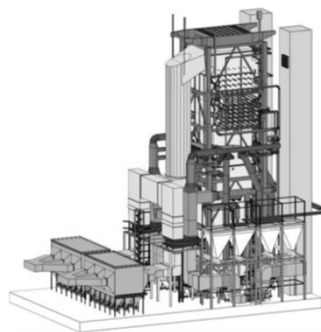


25

## Nejnovější realizace na HU

BoA 2&3 Neurath (Německo)  
 do provozu 2012  
 palivo HU  
 čistý výkon 2x1050 MW  
 čistá účinnost > 43 %

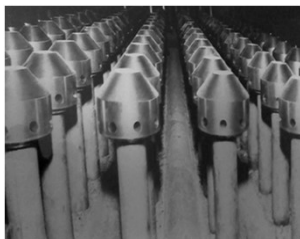
kotel  
 věžový, průtočný  
 parní výkon 800 kg/s  
 tepelný výkon 2392 MW  
 spotřeba uhlí 820 t/h  
 ostrá pára 272 bar/600°C  
 přehřátá pára 55 bar/605°C  
 hmotnost 51500 t



26

## Kotle fluidní

- Fluidizace je obecně děj, v němž je soubor pevných částic (paliva + popela) udržován ve vznosu vzestupným proudem vzdušiny = fluidní vrstva
- Fluidní vrstvu tvoří disperzní systém, který se vytváří průtokem plynu vrstvou částic nasypných na tryskové dno - tzv. fluidní rošt
- Trysky fluidního roštu jsou opatřeny kloboučky proti průniku popela



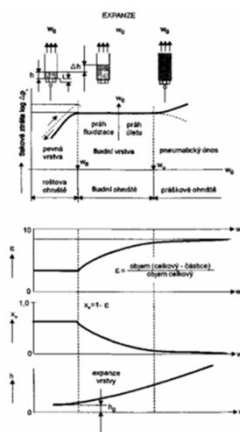
27

## Charakteristika fluidní vrstvy

- fluidní vrstva je tvořena inertním materiálem (popel) a 2-5 % paliva
- pokud palivo nemá dostatek popela (biomasa) dávkuje se cizí inertní materiál (písek, cizí popel)

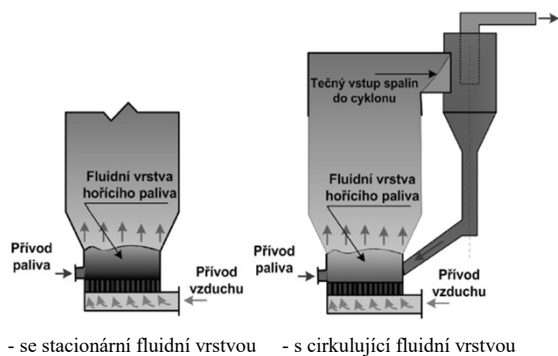
Charakteristické veličiny:

$\varepsilon$  (-) - poměrná mezerovitost (objem mezer/objem fluidní vrstvy),  
 $x_v$  (-) - objemová koncentrace částic ( $x_v = 1 - \varepsilon$ ),  
 $h$  (m) - výška fluidní vrstvy,  
 $\Delta p$  (Pa) - tlaková ztráta fluidní vrstvy,  
 $w_{fl}$  (m/s) - prahová rychlost fluidizace,  
 $w_u$  (m/s) - prahová rychlost úletu,  
 $w_o$  (m/s) - rychlost nad fluidním ložem



28

## Srovnání různých typů fluidních ohnišť

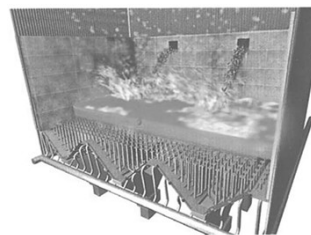


29

## Ohniště se stacionární fluidní vrstvou

charakteristická je

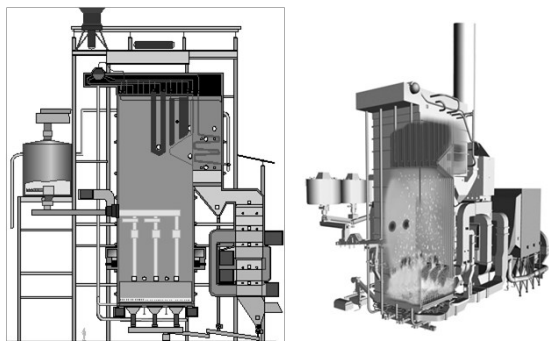
- nižší rychlost fluidační tekutiny
- menší expanze (výška) fluidní vrstvy
- jasně ohraničená hladina fluidní vrstvy v požadované výšce nad fluidním roštem



30

### Kotle se stacionární fluidní vrstvou

- kotle o parním výkonu až 300 MW



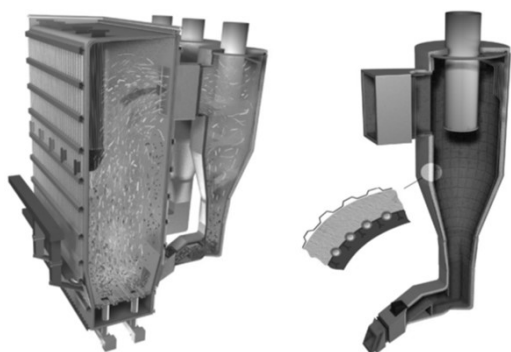
31

### Fluidní kotle s cirkulující fluidní vrstvou

- neexistuje zřetelná hladina fluidní vrstvy, která expanduje do celého prostoru ohniště
- horní hranice fluidní vrstvy je určena odlučovacím cyklonem, v cyklonu se fluidní vrstva rozdělí
  - na materiál fluidní vrstvy - vrací zpět do fluidní vrstvy nad dno ohniště
  - na spaliny obsahující neodloučenou jemnou frakci popela - postupují do konvekčního tahu
- teplota fluidní vrstvy se reguluje na 860 °C
- průměrně velká částice paliva cirkuluje 10-15x
- výhodou je delší pobyt částic ve spalovacím prostoru
- kotle se staví asi od výkonu 50 MWt, ve stavbě jsou kotle o maximálním výkonu přes 1000 t/h

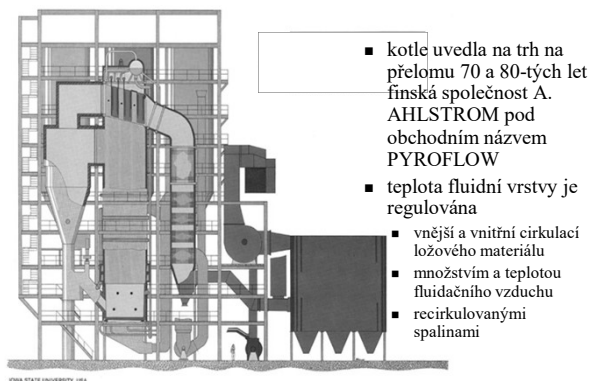
32

### Řešení horkého cyklonu



33

### Kotel s cirkulující fluidní vrstvou



- kotle uvedla na trh na přelomu 70 a 80-tých let finská společnost A. AHLSTROM pod obchodním názvem PYROFLOW
- teplota fluidní vrstvy je regulována
  - vnější a vnitřní cirkulací ložového materiálu
  - množstvím a teplotou fluidačního vzduchu
  - recirkulovanými spaliny

34

### Výhody fluidního spalování

- Dávkováním vápence do kotle lze docílit k částečnému odsíření spalin tj. redukcí  $\text{SO}_2$  hlavně reakcí
 
$$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$$

$$\text{CaO} + \text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$$

$$\text{CaO} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3$$
- Optimální teplota pro odsíření je 850 - 900 °C.
- Účinnost odsíření je závislá na
  - obsahu síry v palivu,
  - kvalitě vápence,
  - homogenitě fluidní vrstvy,
  - době pobytu ve fluidním reaktoru a dalších faktorech.
- Dávkování vápence se uskutečňuje na základě molového poměru  $\text{Ca/S} = 1,5 - 2,2$  (4).

35

### Výhody fluidního spalování

- Účinnost odsíření je od 60 do 95% podle typu kotle a množství dávkovaného vápence.
- Fluidní kotle nevyžadují budování odsířovacího zařízení za kotlem.
- Nízké teploty ve fluidní vrstvě a odstupňovaný přívod vzduchu do ohniště mají příznivý dopad na redukcí  $\text{NO}_x$  ve spalinách.
- Uvedeným způsobem lze spalovat i méněhodnotná paliva a různé odpady s velmi nízkou výhřevností, v jiných typech kotlů nespálitelné.
- Spalování probíhá s vyšším zatížením roštové plochy oproti klasickým roštovým kotlům a rozměry roštu proto vycházejí nižší.
- Mají nižší komínovou ztrátu, neboť odsířené spaliny na konci kotle mohou mít v důsledku nižšího rosného bodu nižší teplotu. Účinnost kotlů bývá při jmenovitých parametrech 92 - 94%.

36