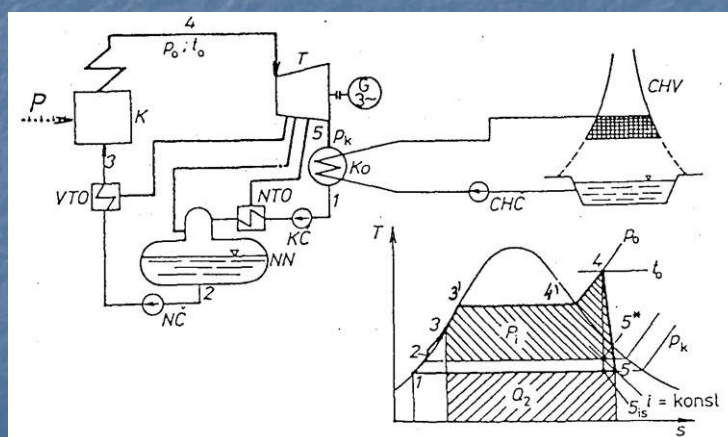


PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V TEPELNÉM OBĚHU KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY

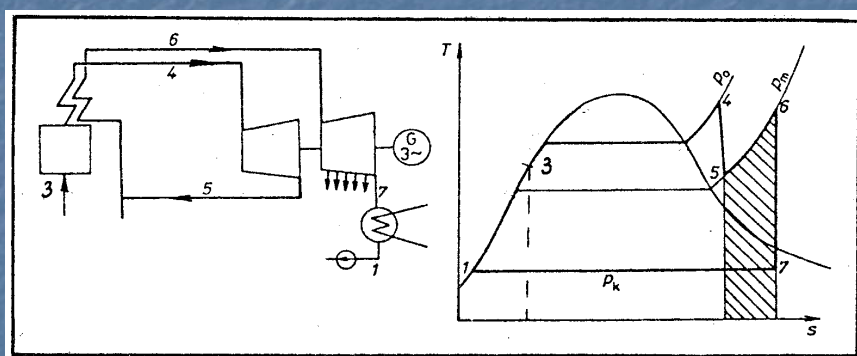
1

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 dvojí 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 dodržением 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 odstavení

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 ohnišť

- 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 μm

- tříděné uhlí má povrch 1 až 2 m^2/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^2/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 těčení
 - odvod ve formě **škváry**
- výtavné
 - vyšší teploty v SK
 - teplota popela se drží nad teplotou těčení
 - 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

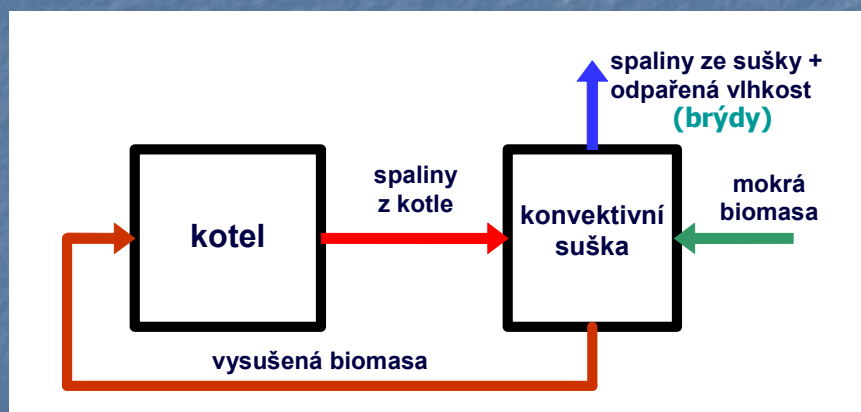
Sušicím médiem může být

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

10

Otevřený sušící okruh

vhodný pro sušení velmi mokrých paliv - biomasa

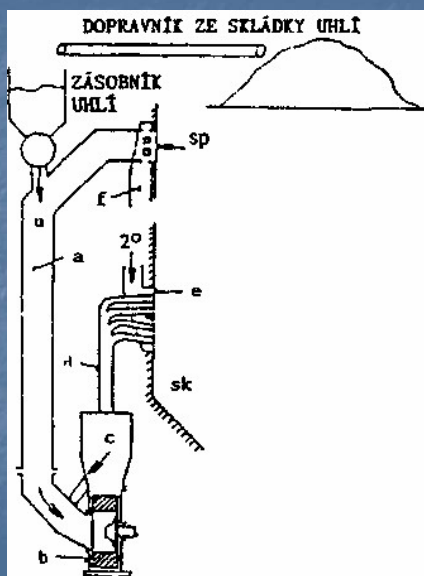


11

Ohniště s uzavřeným mlecím okruhem

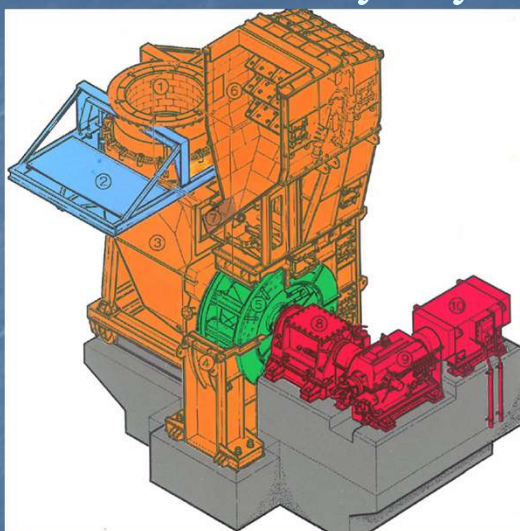
sušení spalinyami odebíranými ze spalovací komory s přímým foukáním prášku do hořáků

- a-sušící šachta,
- b-ventilátorový mlýn,
- c-třídíč,
- 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

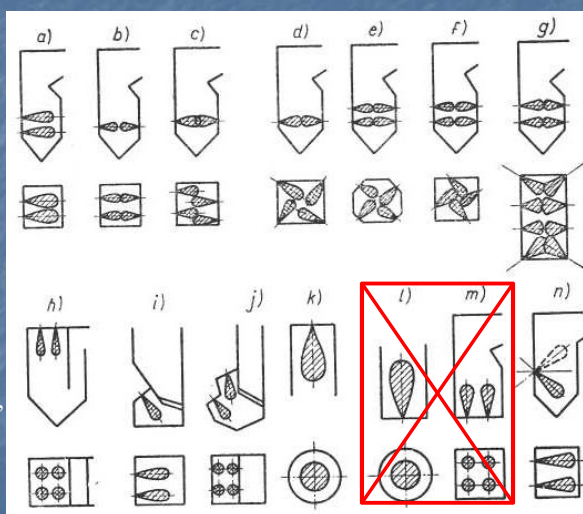
Nevýhody

- 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 mlecí 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

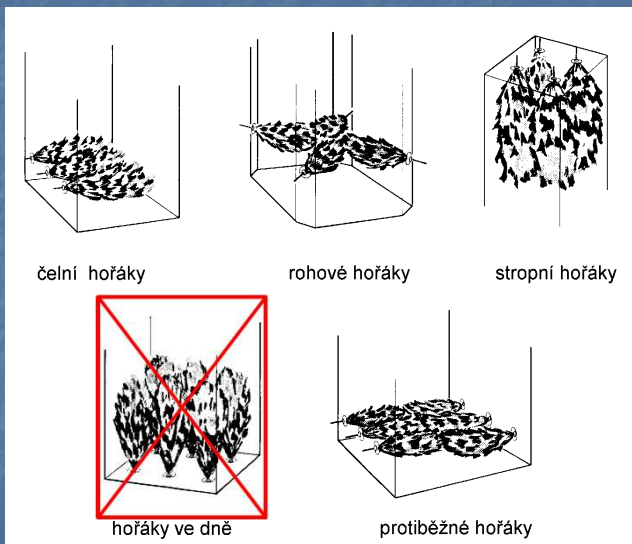
- a* - dvouřadé čelní,
b - jednořadé protiběžné,
c - jednořadé vystřídání,
d - jednořadé rohové,
e - dvouřadé tangenciální (osmiúhelníkový průřez),
f - dvouřadé tangenciální (čtvercový průřez),
g - dvouřadé kombinované,
h - stropní,
i - uspořádání v šikmé stěně (U-plamen u tavicího prostoru výtavných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



16

16

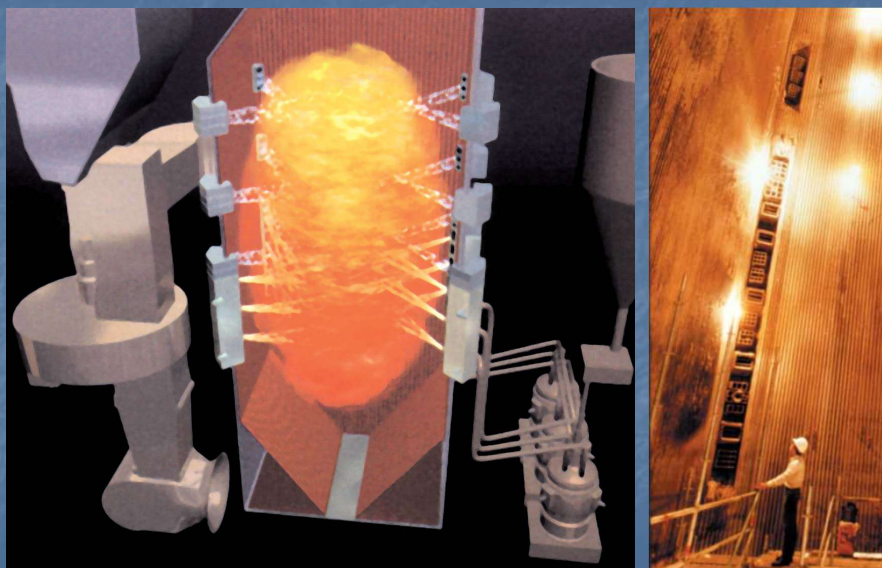
Umístění hořáků u práškových ohnišť



17

17

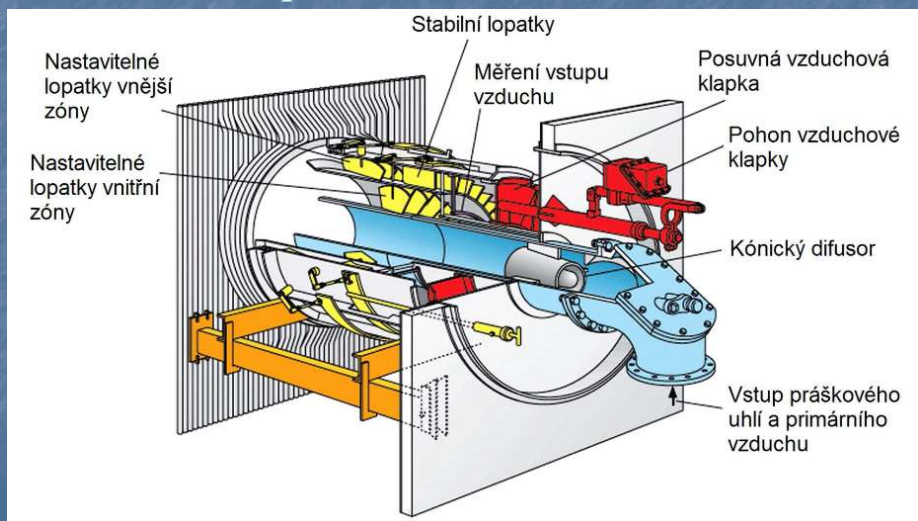
Práškové ohniště s tangenciálními hořáky



18

18

Nízkoemisní práškový hořák s postupným přívodem vzduchu



19

Práškový hořák Ultra Low NO_x



20

Příklady práškových kotlů

Vysokotlaký granulační parní kotel

$$M_{pp} = 350 \text{ t/h,}$$

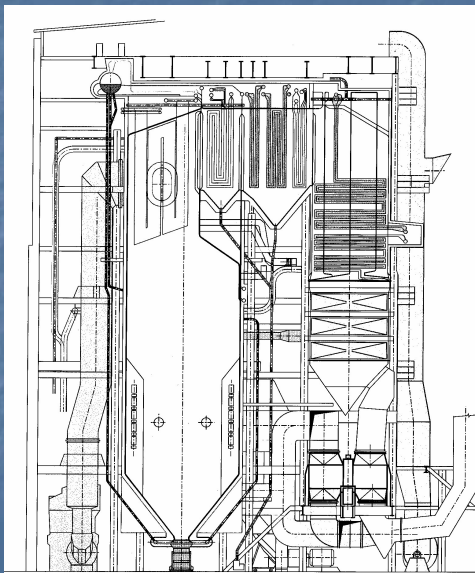
$$p_{pp} = 13,6 \text{ MPa,}$$

$$t_{pp} = 540^\circ\text{C,}$$

$$t_{mp} = 530^\circ\text{C}$$

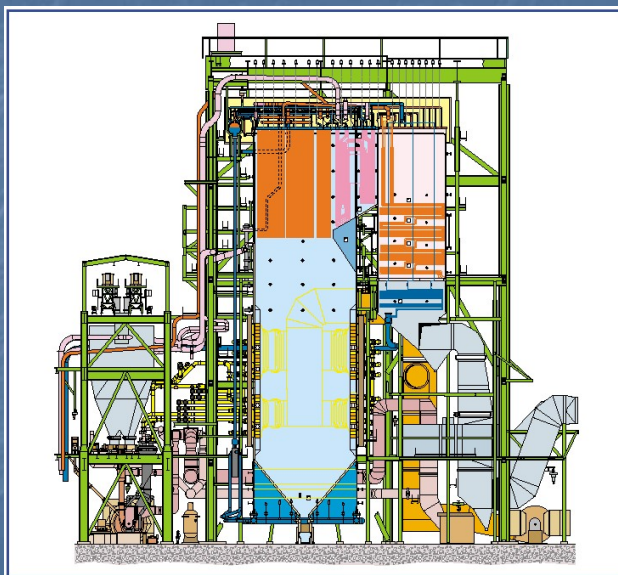
$$t_{nv} = 235^\circ\text{C,}$$

palivo : hnědé uhlí



21

Dvoutahové uspořádání tvaru Π



22

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)

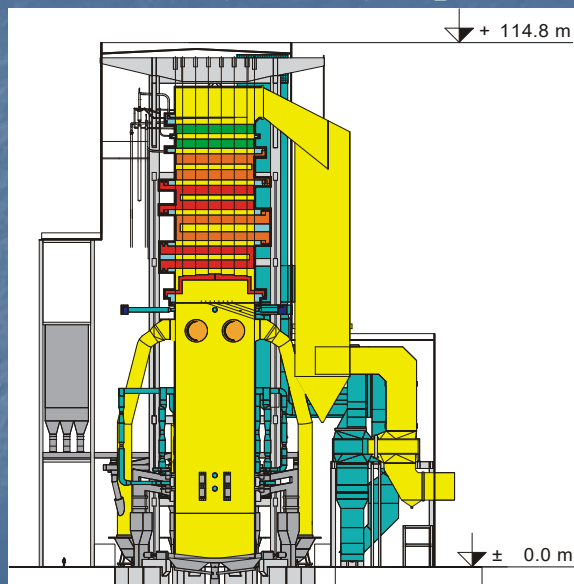
23

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 spalín 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

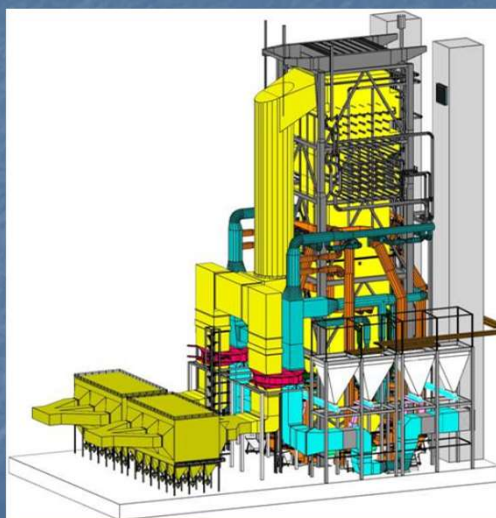
tepelný výkon 2392 MW

spotřeba uhlí 820 t/h

ostrá pára 272 bar/600°C

přihřátá pára 55 bar/605°C

hmotnost 51500 t



26

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 naspaných na tryskové dno - tzv. **fluidní rošt**
- Trysky fluidního rošty jsou opatřeny kloboučky proti průniku popela



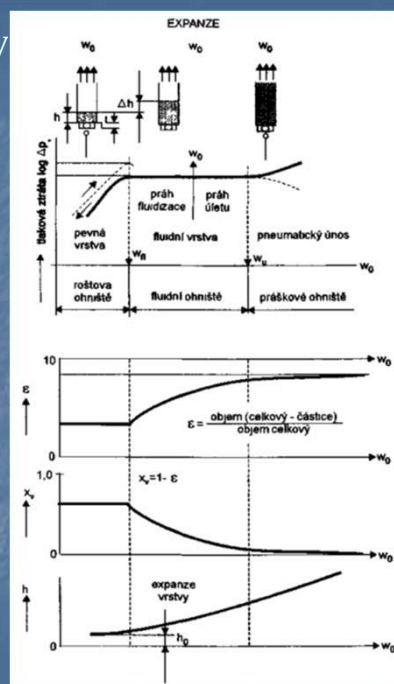
27

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)

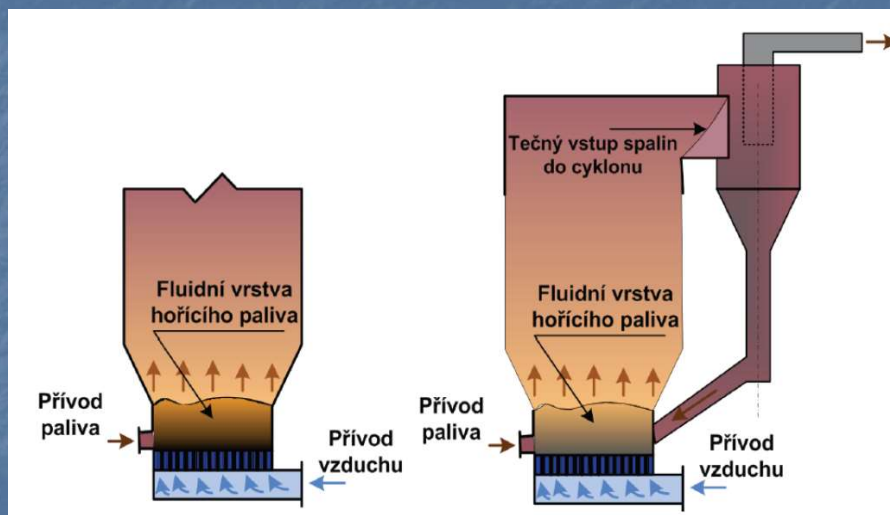
Charakteristické veličiny:

- ε (-) - poměrná mezerovitost (objem mezer/objem fluidní vrstvy),
- x_v (-) - objemová koncentrace částic ($x_v = 1 - \varepsilon$),
- h (m) - výška fluidní vrstvy,
- Δp (Pa) - tlaková ztráta fluidní vrstvy,
- w_f (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



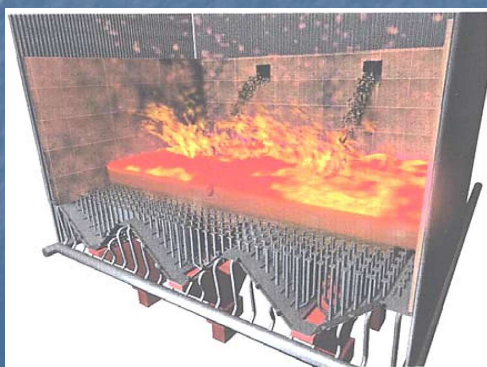
- se stacionární fluidní vrstvou - s cirkulující fluidní vrstvou

29

Ohniště se stacionární fluidní vrstvou

charakteristická je

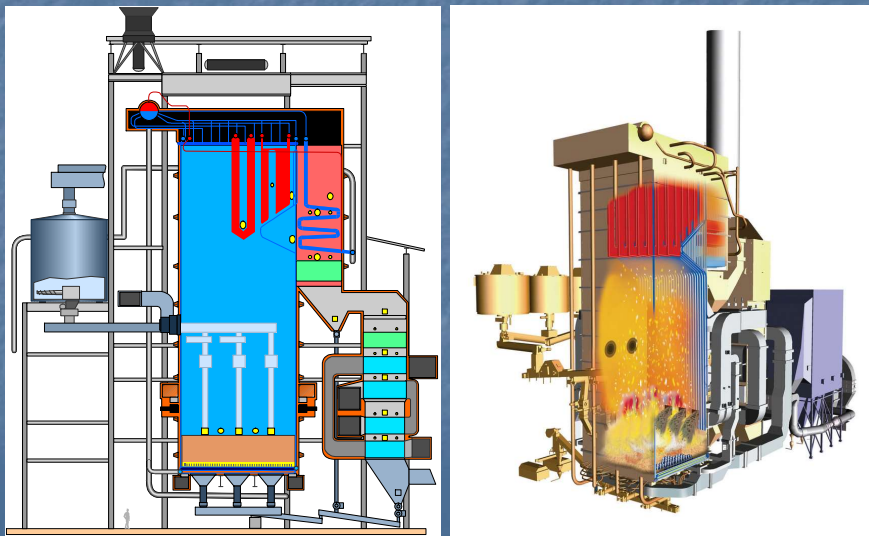
- nižší rychlost fluidační tekutiny
- menší expanze (výška) fluidní vrstvy
- jasně ohraničená hladina fluidní vrstvy v požadované výšce nad fluidním roštem



30

Kotle se stacionární fluidní vrstvou

- kotle o parním výkonu až 300 MW



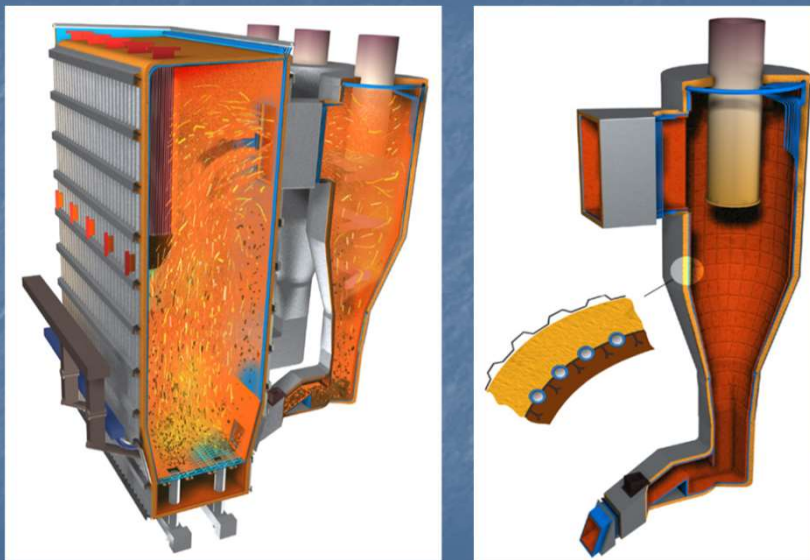
31

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

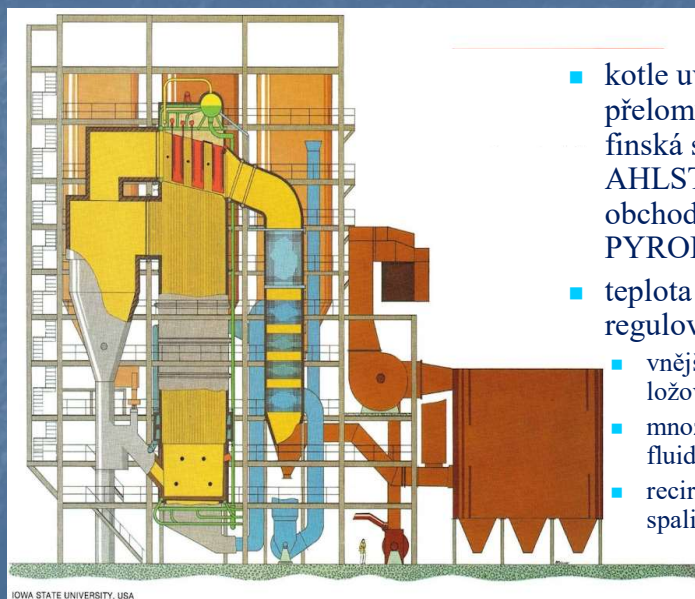
32

Řešení horkého cyklonu



33

Kotel s cirkulující fluidní vrstvou



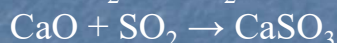
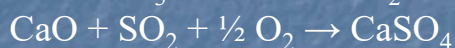
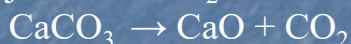
IOWA STATE UNIVERSITY, USA

- 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 cirkulaci ložového materiálu
 - množstvím a teplotou fluidačního vzduchu
 - recirkulovanými spalinami

34

Výhody fluidního spalování

- Dávkováním vápence do kotle loze docílit k částečnému odsíření spalin tj. redukci SO₂ hlavně reakcí



- 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 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 odsiřovacího zařízení za kotlem.
- Nízké teploty ve fluidní vrstvě a odstupňovaný přívod vzduchu do ohniště mají příznivý dopad na redukci NO_x ve spalinách.
- Uvedeným způsobem lze spalovat i méněhodnotná paliva a různé odpady s velmi nízkou výhřevností, v jiných typech kotlů nespalitelné.
- 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