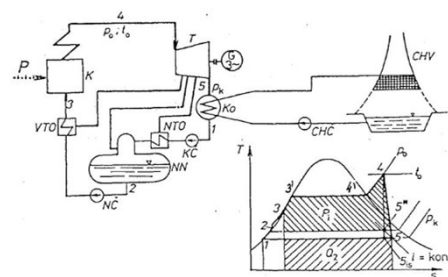
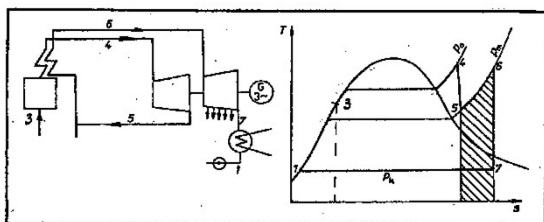


PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V TEPELNÉM OBĚHU KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY

TEPELNÉ SCHÉMA KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY bez přehřívání páry



TEPELNÉ SCHÉMA KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY s přehříváním páry



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 dvojitě 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

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

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

Parní kotle na práškové uhlí

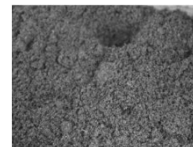
spalování probíhá v letu => vyžaduje velmi jemné palivo ve formě prášku s velikostí zrn v desítkách μm

- 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

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



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

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 :

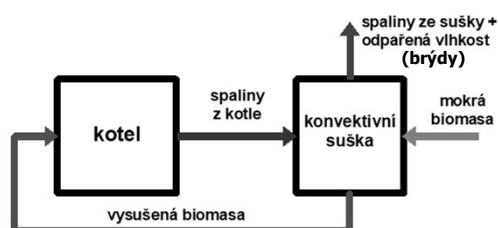
- otevřený – používá se ojediněle – pro sušení biomasy
- uzavřený – s přímým foukáním prášku do ohniště

Sušicím médiem může být

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

Otevřený sušicí okruh

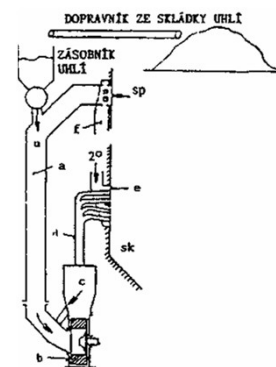
vhodný pro sušení velmi mokrého paliva - biomasa



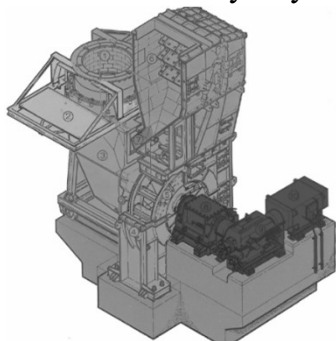
Ohniště s uzavřeným mlecím okruhem

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

- a-sušicí šachta,
- b-ventilátorový mlýn,
- c-tříděč,
- 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

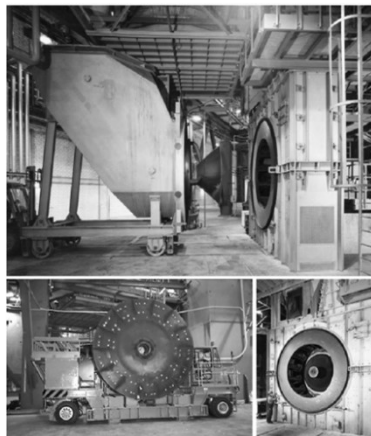


Ventilátorový mlýn na hnědé uhlí



- 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 v všech našich elektrárnách na HU



MO s přímým foukáním prášku do ohniště

dnes převládající typ MO

Výhody

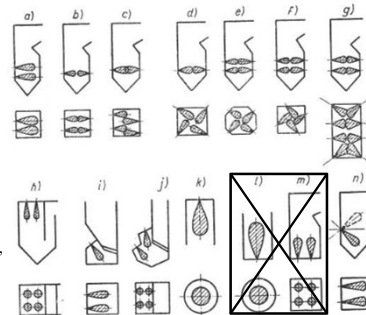
- jednoduchost,
- menší obestavěný prostor
- menší investiční náklady

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

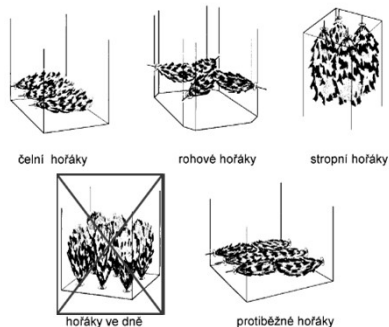
Umístění hořáků u práškových ohnišť

- a - dvouřadé čelní,
- b - jednořadé protiběžné,
- c - jednořadé vystřídané,
- d - jednořadé rohové,
- e - dvouřadé tangenciální (osmúhelníkový 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 - naklápací hořáky



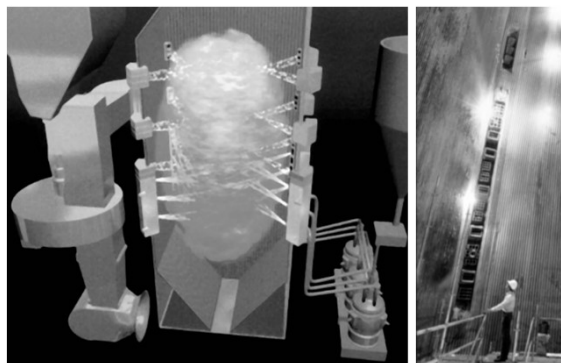
16

Umístění hořáků u práškových ohnišť



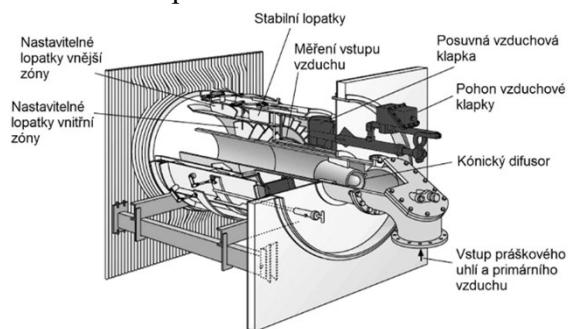
17

Práškové ohniště s tangenciálními hořáky

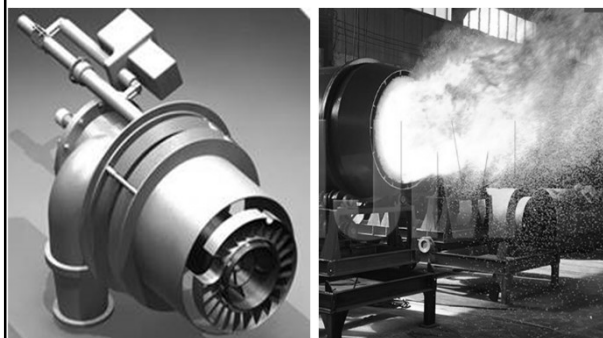


18

Nízkoemisní práškový hořák s postupným přívodem vzduchu



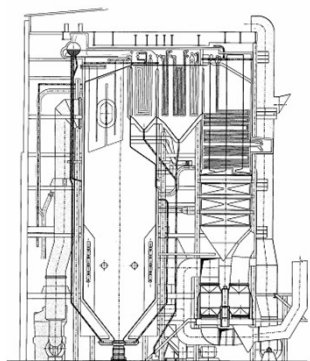
Práškový hořák Ultra Low NO_x



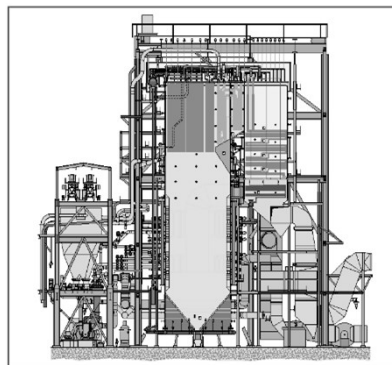
Příklady práškových kotlů

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



Dvoutahové uspořádání tvaru II



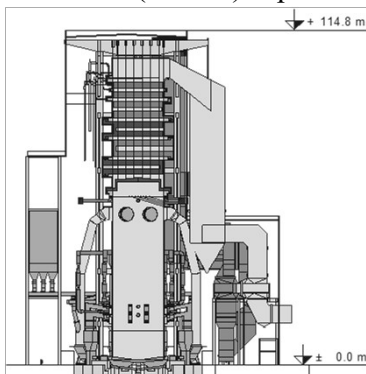
Dvoutahové uspořádání tvaru II

- **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 využitě obrátové komory,
 - obtíže s umístěním velkého rekuperačního ohříváku ve 2. tahu => ohřívák vzduchu se proto často umísťuje na samostatné nosné konstrukci (Ljungstroem vždy)

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

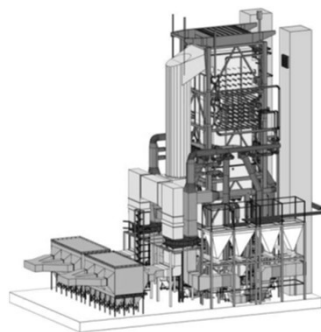
Jednotahové (věžové) uspořádání



Nejnovější realizace na HU

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

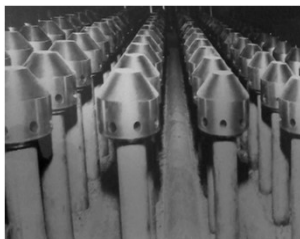
kotel
 věžový, průtočný
 parní výkon 800 kg/s
 tepelný výkon 2392 MW
 spotřeba uhlí 820 t/h
 ostrá pára 272 bar/600°C
 přehřátá pára 55 bar/605°C
 hmotnost 51500 t



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 nasypáných na tryskové dno - tzv. fluidní rošt
- Trysky fluidního roštu jsou opatřeny kloboučky proti průniku popela

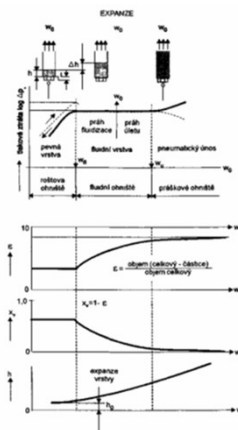


Charakteristika fluidní vrstvy

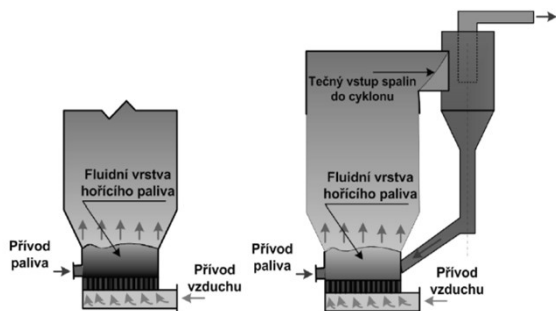
- fluidní vrstva je tvořena inertním materiálem (popel) a 2-5 % paliva
- pokud palivo nemá dostatek popela (biomasa) dávkuje se cizí inertní materiál (písek, cizí popel)

Charakteristické veličiny:

- ϵ (-) - poměrná mezerovitost (objem mezer/objem fluidní vrstvy),
- x_v (-) - objemová koncentrace částic ($x_v = 1 - \epsilon$),
- 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



Srovnání různých typů fluidních ohnišť

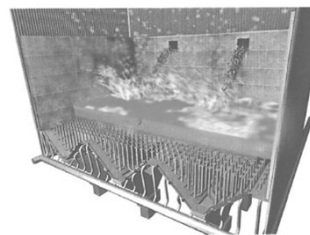


- se stacionární fluidní vrstvou - s cirkulující fluidní vrstvou

Ohniště se stacionární fluidní vrstvou

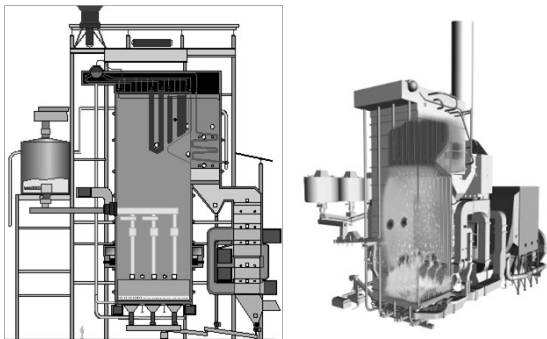
charakteristická je

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



Kotle se stacionární fluidní vrstvou

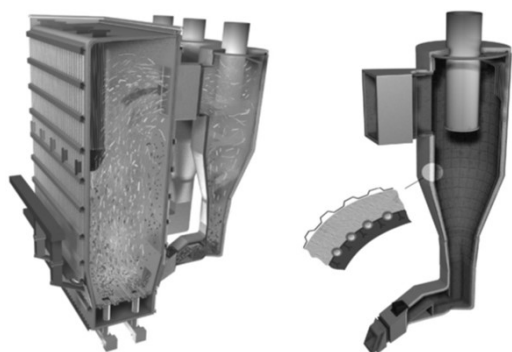
- kotle o parním výkonu až 300 MW



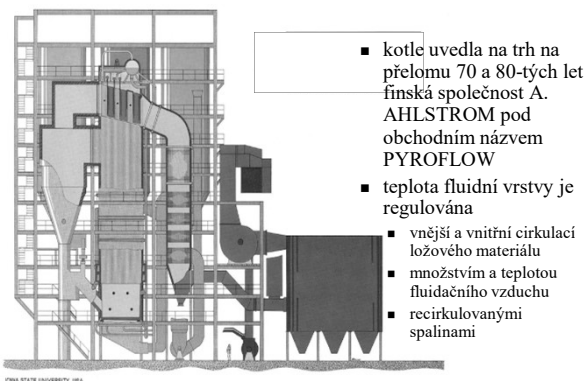
Fluidní kotle s cirkulující fluidní vrstvou

- 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

Řešení horkého cyklonu



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

Výhody fluidního spalování

- Dávkováním vápence do kotle lze docílit k částečnému odsíření spalin tj. redukcí 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).

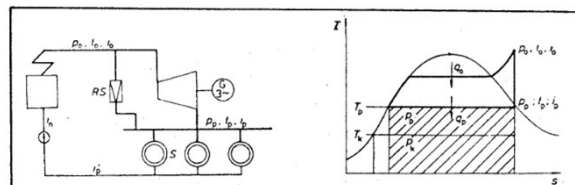
Výhody fluidního spalování

- 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 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%.

PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V TEPELNÉM OBĚHU PARNÍ TEPLÁRNY

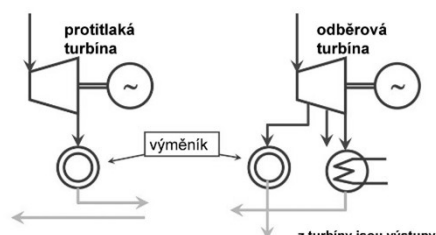
Parní teplárna

- zdroj pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla
- pára je z turbíny odvedena při vyšší teplotě a tlaku, aby ji bylo možné využít pro dodávku užitečného tepla – tím
 - odpadá ztráta tepla v kondenzátoru a roste energetická efektivita využití paliva
 - poněkud se snižuje produkce elektřiny proti elektrárně



Parní teplárna

- od parní elektrárny se liší použitým typem turbíny, která umožňuje vyvedení tepla – v páře nebo horké vodě



všechna pára projde turbínou.
výstupní parametry páry dostačují
k vytápění (např. 1MPa, 230°C).
Nemusí být kondenzátor.

z turbíny jsou výstupy
pro páru na vytápění.
Poslední výstup je do
kondenzátoru.

Porovnání teplárenských turbín

- výhody protitlakých turbín,
 - mají lepší využití přivedeného tepla – všechna pára se využije
 - jsou jednodušší, tedy investičně a prostorově méně náročné.
- nevýhody protitlakých turbín
 - pevná vazba mezi tepelným a elektrickým výkonem.
- výhody odběrových turbín
 - volnější vazba mezi tepelným výkonem a výrobou elektřiny daná odběrovým diagramem
 - větší podíl výroby elektřiny = větší modul $e = E/Q$
- nevýhody odběrových turbín
 - vyšší spotřeba tepla, která je dána ztrátou v kondenzátoru
 - při čistě protitlakém provozu navíc přistupuje ztráta v páře pro chlazení NT dílu – nutný minimální průtok
 - prostorově i investičně náročnější

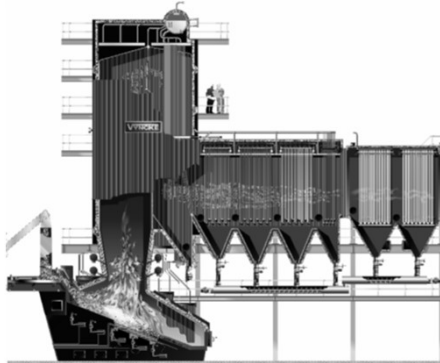
Typy tepláren

- komunální (městské) teplárny – Plzeň, Brno, ČB atd.
 - primárním produktem je teplo pro soustavu CZT
 - elektřina je prodávána do distribuční sítě
- průmyslové tepelné centrály – Škoenergo, Mondí, Chemopetrol
 - zásobují podnik technologickým teplem a elektřinou
- starší elektrárny přestavěné na teplárny – Opatovice, EMĚ I
 - obvykle napojené na dálkové teplovody, viz komunální teplárny
- biomasové teplárny – Kutná Hora, Jindřichův Hradec, Plzeň
 - palivem je dřevní štěpka nebo sláma, viz komunální teplárny
- ZEVO – zdroje na energetické využití odpadů – Malešice, Brno
 - palivem je směsný komunální odpad, viz komunální teplárny

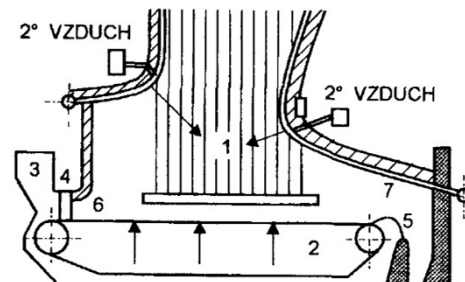
Kotle pro parní teplárny

- pro větší výkony – práškové a cirkofluidní - typově shodné s elektrárnenskými
- pro menší výkony – roštové, se stacionární fluidní vrstvou
- typicky se používají vodotrubné bubnové kotle s přirozenou cirkulací ve výparníku – mají větší vodní obsah a akumulaci – výhodné při kolísání dodávky tepla
- nižší parametry páry
 - malé výkony 1,5 až 5 MW 350°C / 2,5 MPa
 - střední výkony 5 až 30 MW 400 °C / 4 MPa až 450°C / 6 MPa
 - velké výkony nad 30 MW 500 °C / 7,5 MPa až 540°C / 9,5 MPa
- nižší teplota napájecí vody 105 – 180 °C
- výkonově menší – do 150 t/h
- přehřívání páry zcela výjimečně

Roštové kotle pro teplárny



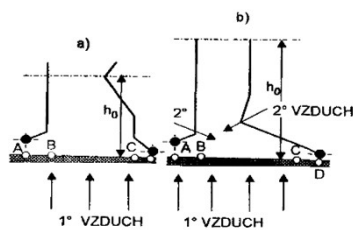
Řešení roštového ohniště



1 – spalovací komora, 2 – pohyblivý pásový rošt, 3 – zásobník paliva, 4 – hradítko pro nastavení výšky vrstvy paliva, 5 – škvárový jízec pro odvod do škváry do výspyky, 6 a 7 – přední a zadní klenba

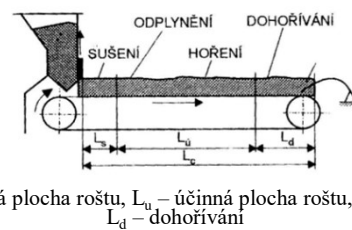
Řešení roštového ohniště

- spalování probíhá
 - ve vrstvě na roštu – dohořívá zde zejména fixní uhlík
 - v prostoru nad vrstvou paliva – hoří uvolněná prchavá hořlavina
- podle toho rozeznáváme roštové ohniště
 - s jedním ohniskem hoření – pro ČU
 - se dvěma ohnisky hoření – pro HU, biomasu a odpady



Řešení roštového ohniště

- Palivo na roštu prochází těmito charakteristickými fázemi
- sušení, během něhož se palivo ohřívá a vypuzuje se z něho povrchová a hygroskopická voda,
 - odplynování, které probíhá intenzivně při ohřátí nad 250 °C,
 - hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny,
 - dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků



L_c – celková plocha roštu, L_u – účinná plocha roštu, L_s – sušení, L_d – dohořívání

Řešení roštového ohniště

rošt má tyto funkce:

- podpírá kusové palivo a umožňuje vytvoření vrstvy požadované tloušťky a prodyšnosti,
- umožňuje postupné vysušení paliva, jeho zahřátí na zápalnou teplotu a hoření,
- zajišťuje přívod spalovacího vzduchu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu,
- zajišťuje shromažďování a odvod tuhých zbytků po spálení z ohniště,
- umožňuje regulaci výkonu ohniště a tím i regulaci zatížení kotle.

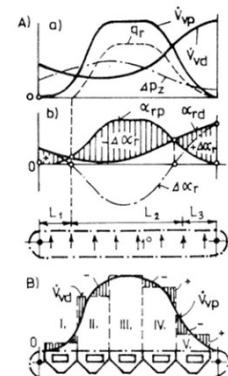
Vzduchové poměry na roštu

- neřízený průtok vzduchu roštem se nastaví dle aerodynamického odporu vrstvy paliva
- pásmování vzduchu je důležité pro optimalizaci spalování

A. bez pásmování vzduchu

- potřeba vzduchu V_{vp} a dodávka vzduchu V_{vd}
- odpovídající souč. přebytku vzduchu

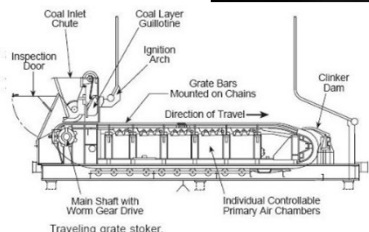
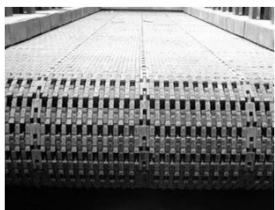
B. s pásmováním vzduchu



Typy roštů

Pásový rošť

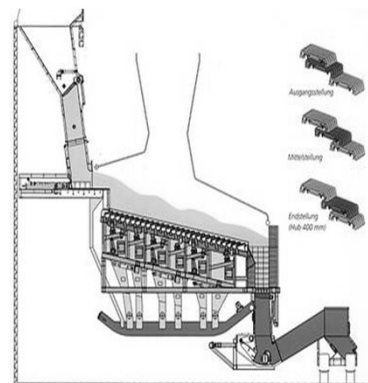
- jeden z nejrozšířenějších typů mechanických roštů
- vznikl jako modifikace roštu řetězového, jenž byl prvním typem mechanického roštu



49

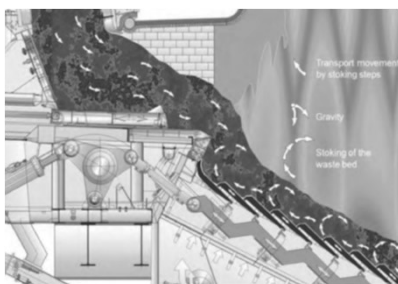
Přesuvný rošť

- vznikl z pevného stupňového roštu - pevné roštové stupně byly nahrazené pohyblivými
- horizontální pohyb roštnic je zajištěn klikovým mechanismem nebo hydraulicky
- rychlost posuvu paliva se reguluje změnou výšky jednotlivých stupňů
- pod roštem je pásmován spalovacího vzduchu
- výhodou je univerzální použití



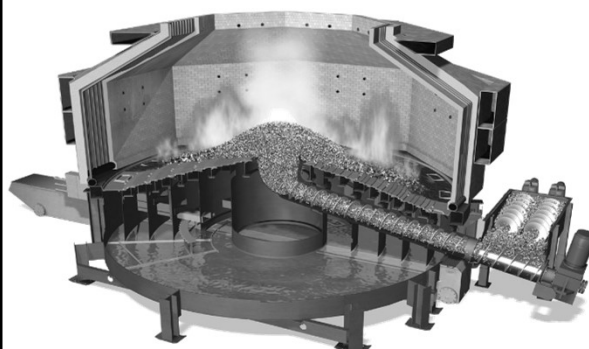
Vratisuvný rošť Martin

- je silně skloněný ve směru od vstupu paliva k výsypce
- roštnice se pohybují proti toku paliva
- spodní žhavá vrstva postupuje vzhůru
- přes žhavou vrstvu přepadá čerstvé palivo
- dosáhne se dlouhá doba setrvání paliva na roštu, dobré promísení a prohoření celé vrstvy.



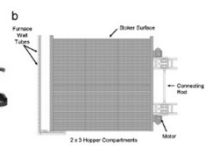
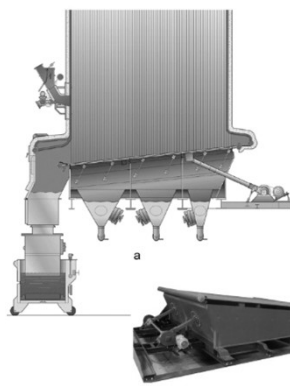
51

Spalovací zařízení Biopower s podsvuným roštem 5,5 MW_e



Vibrační rošť

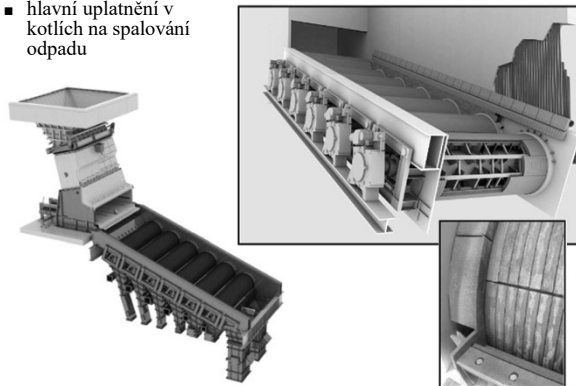
- vhodný pro spalování paliv s nízkým podílem popela jako je biomasa - typicky sláma



53

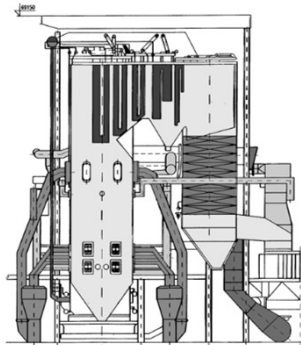
Válcový rošť

- hlavní uplatnění v kotlích na spalování odpadu

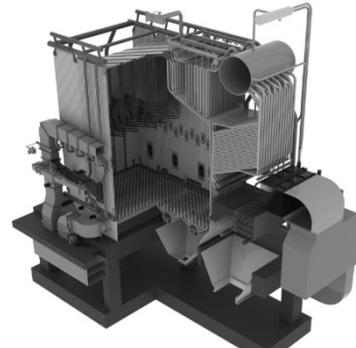


Práškový kotel pro teplárny

konceptně se neliší od elektrárenského kotle



Kotel se stacionární fluidní vrstvou pro teplárny



Spalovenký kotel pro teplárny

