

Fluidní ohniště

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

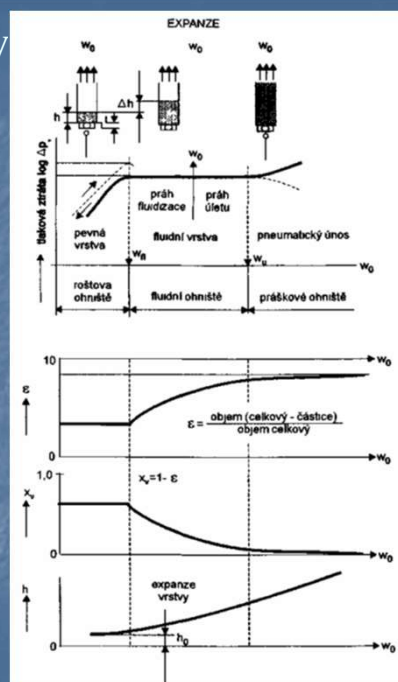


Charakteristika fluidní vrstvy

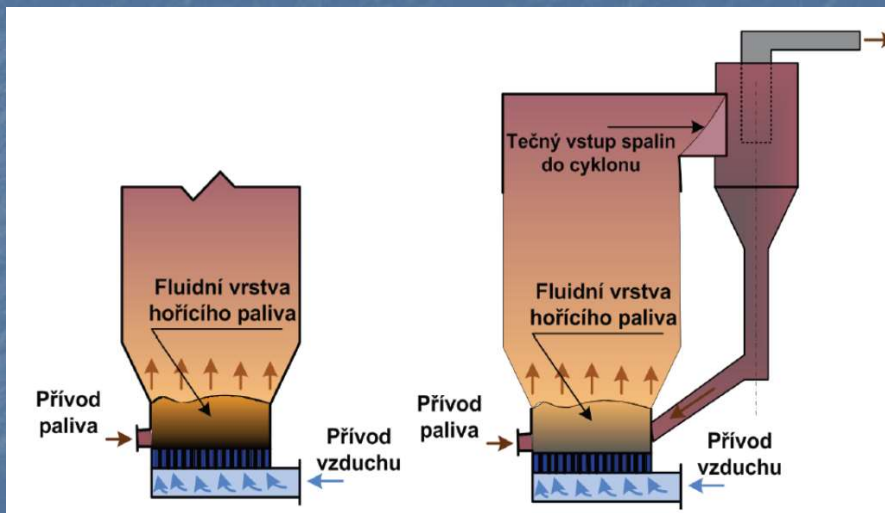
- fluidní vrstva je tvořena inertním materiálem (popel) a 2 - 5 % paliva
- pokud palivo nemá dostatek popela (biomasa) dávkuje se cizí inertní materiál (písek, cizí popel)

Charakteristické veličiny:

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



Srovnání různých typů fluidních ohnišť



- se stacionární fluidní vrstvou - s cirkulující fluidní vrstvou

Fluidní ohniště

Výhody

- částice paliva jsou rovnoměrně obklopeny proudícím okysličovadlem
- relativní rychlost paliva a vzduchu je vysoká = intenzivní spalování a přenos tepla a hmoty
- dlouhá doba setrvání $\approx$ desítkám minut – umožňuje spalovat při nízkých teplotách – optimálně 850 °C
 - omezená tvorba NO_x – pouze palivové
 - uhlí - maximální účinnost aditivního odsiřování
 - biomasa – nevadí nižší teplota tavení popelovin
- jednodušší příprava paliva – pouze rozměrová homogenizace
- částice mohou být do vrstvy jednoduše a nepřetržitě přiváděny shozem a nepřetržitě z ní i odváděny
- **multipalivový program**

Fluidní ohniště

Nevýhody

- technicky a provozně náročnější zařízení
- vyšší tlaková ztráta fluidního lože => nutný větší přtlak a tedy příkon vzduchového ventilátoru - $\Delta p \approx 11$ až 25 kPa
- kontinuálních přívod a odvod částic i při jejich intenzivním promíchávání může vést k tomu, že jejich zdržení ve fluidní vrstvě je různé
- intenzivní pohyb částic je příčinou jejich otěru a rozpadu a následného úletu z fluidní vrstvy
- v důsledku abrazivních účinků zrnité pevné fáze může docházet k rychlému opotřebení částí zařízení

Příprava paliva pro FO

Výrazně jednodušší než u práškových ohnišť

- separace cizích předmětů
- u biomasy separace nadrozměrných kusů
- u uhlí homogenizační drcení na rozměr 0,5 – 5 mm

Typy drtičů na uhlí

- čelistový
- válcový
- kladivový

Válcový drtič

- se vyrábějí s válci hladkými, rýhovanými nebo ozubenými
- zubové drtiče jsou primárně určeny pro drcení škváry
- drtiče s hladkými nebo rýhovanými válci se používají pro drcení různých materiálů včetně uhlí pro konečný produkt do 5 mm



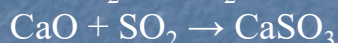
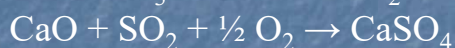
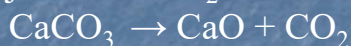
Kladivový drtič

- konstrukčně podobné tlukadlovému mlýnu
- určeny pro jemné a střední drcení měkkých a středně tvrdých nelepivých materiálů včetně černého a hnědého uhlí



Aditivní odsířování ve FO

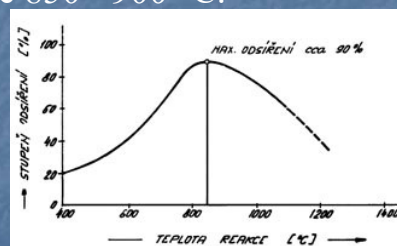
- Dávkováním vápence do kotle lze docílit k částečnému odsíření spalín tj. redukci SO_2 hlavně reakcí



- 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
- dalších faktorech.



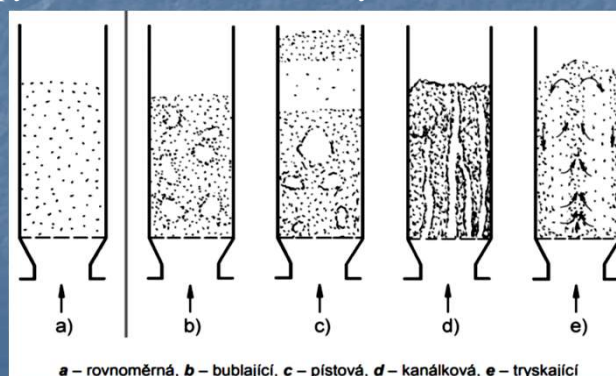
- Dávkování vápence se uskutečňuje na základě molárního poměru $\text{Ca/S} = 1,5 - 2,2$ (4).

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

Různé typy stacionární fluidní vrstvy:



Fluidní rošt

- fluidní rošt je sestaven z trubkových přívodů, které jsou spodní částí přivařeny k otvorům v membránovém dnu spalovací komory (v pásčích mezi trubkami) a jejichž horní část je uzavřena tzv. **kloboučkem** s otvory pro výstup vzduchu
- kloboučky mohou mít různé provedení, ale musí být konstruovány tak, aby znemožnily zpětný tok částic fluidní vrstvy do trubkových přívodů

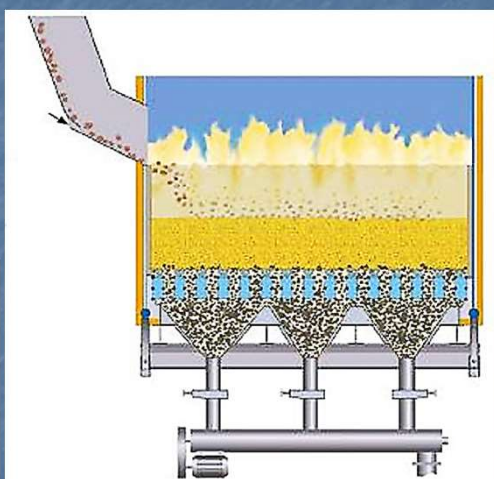
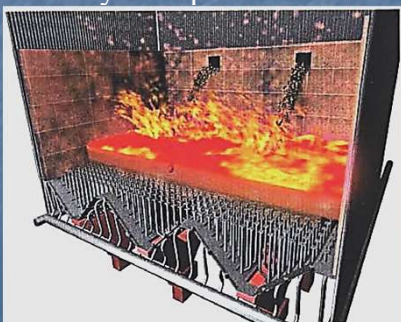
Bezpropadový FR →

- odvod materiálu se řeší bočním výstupem



Fluidní rošt propadový

- v roštu jsou mezery, jimiž propadává popel
- popel prochází přes chladič, kde se jeho teplota sníží na cca 150 °C
- popel je odváděn výsypkami do chlazených šnekových dopravníků



Ohniště se stacionární fluidní vrstvou

struktura fluidní vrstvy je vždy polydisperzní – obsahuje

- hrubou frakci
- jemnou frakci
 - její prahová rychlost úletu je nižší než je rychlost spalin nad hladinou fluidní vrstvy
 - základ tvoří
 - část jemné frakce uhlí přiváděná do fluidní vrstvy
 - částice vzniklé rozpadem větších částic uhlí
 - částice vzniklé vyhořením hořlaviny z větších částic uhlí nebo otěrem z větších popelových částic tvořících fluidní vrstvu
- totéž platí i pro granulometrii dávkovaného vápence

Kotle se stacionární fluidní vrstvou

Dvě vývojová stádia

- ohniště se škvárující fluidní vrstvou
- ohniště s neškvárující fluidní vrstvou

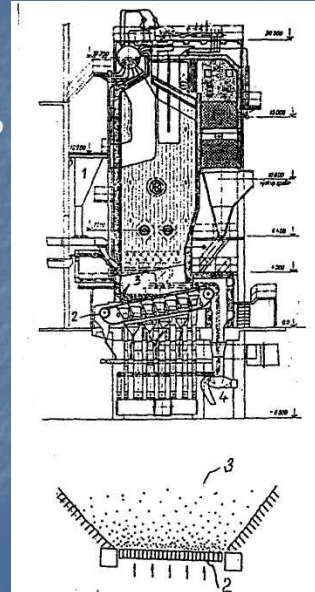
Ohniště se škvárující fluidní vrstvou

- vyšší teplota fluidní vrstvy než teplota měknutí popelovin
- částice popeloviny ve fluidní vrstvě se spékají a z ohniště se odvádějí jako škvára
- odvod popelovin musí být proveden mechanicky, např. pásovým roštem
- příkladem je kotel IGNIFLUID

Ohniště se škvárující fluidní vrstvou

Kotel IGNIFLUID

- 1 – násypka uhlí
- 2 – pásový rošt plnící funkci fluidního roštu
- 3 – fluidní vrstva vytvořená v rozšiřující se komoře
- 4 – drtič škváry
- teplota fluidní vrstvy je cca 950°C až 1250°C
- pouze omezená možnost aditivního odsiřování z důvodu příliš vysokých teplot
- dnes se již nepoužívá



Kotle se stacionární fluidní vrstvou

Ohniště s neškvárující fluidní vrstvou

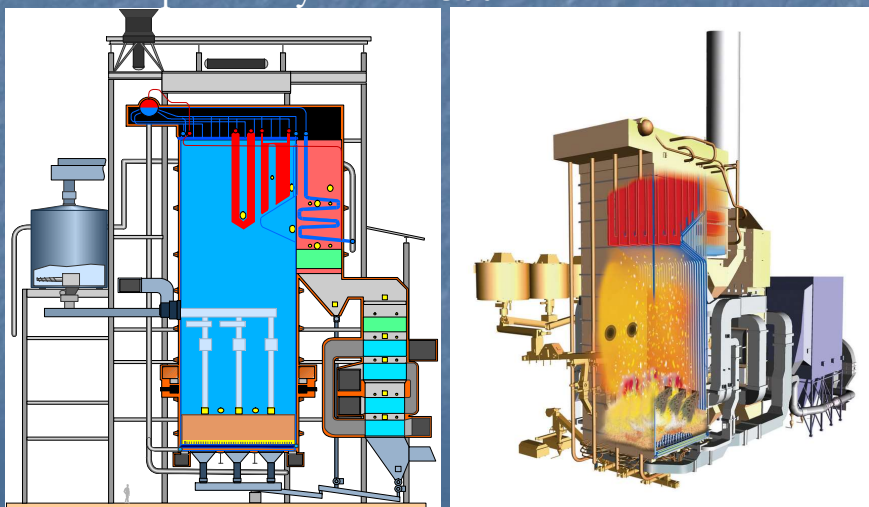
- charakteristická nižší teplota fluidní vrstvy než je teplota měknutí popeloviny
- částice popeloviny ve fluidní vrstvě se nespékají
- lze je vypouštět ze dna nebo z hladiny fluidní vrstvy jako kapalinu
- teplota fluidní vrstvy je cca 800°C až 850°C
- dobrá možnost aditivního odsiřování

Kotle se stacionární fluidní vrstvou **bez odlučování úletu**

- ve fluidní vrstvě se udržuje teplota cca 850°C
- odvod tepla z fluidní vrstvy vyžaduje
 - větší průřez spalovací komory
 - chlazení fluidní vrstvy vnořenou výhřevnou plochou
- pro regulaci teploty se používá
 - vhodný přebytek a distribuce spalovacího vzduchu
 - recirkulace spalin
- ohniště musí mít nad fluidní vrstvou ukladňovací prostor – klesne rychlost spalin
 - pro návrat větších částic
 - pro dohoření malých částic
- popel zachycený ve výsypce konvekčních tahů se vrací svodkou zpět do fluidní vrstvy

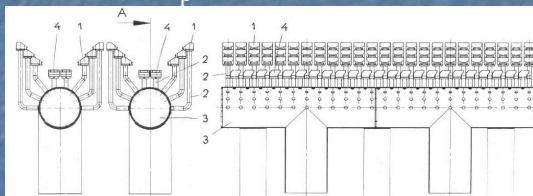
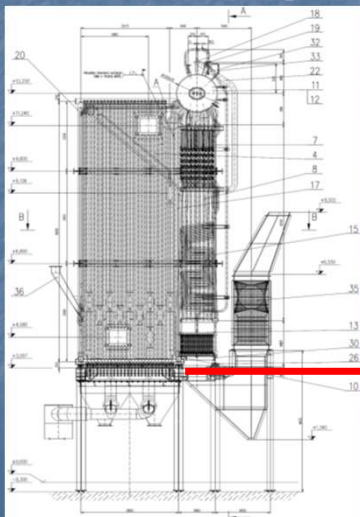
Kotle se stacionární fluidní vrstvou **bez odlučování úletu**

- kotle o parním výkonu až 300 MW



Kotle se stacionární fluidní vrstvou **bez odlučování úletu**

- fluidní kotel teplárny Klatovy $M_p = 12 \text{ t/h}$

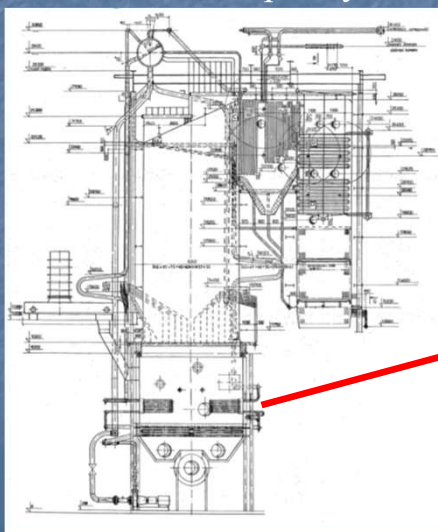


žlabový fluidní distributor



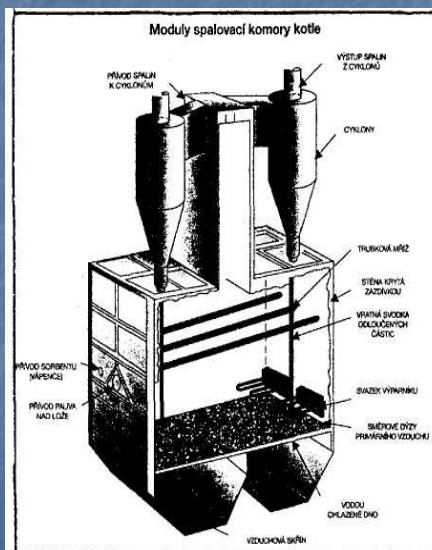
Kotle se stacionární fluidní vrstvou **bez odlučování úletu**

- fluidní kotle teplárny Komořany $M_p = 125 \text{ t/h}$



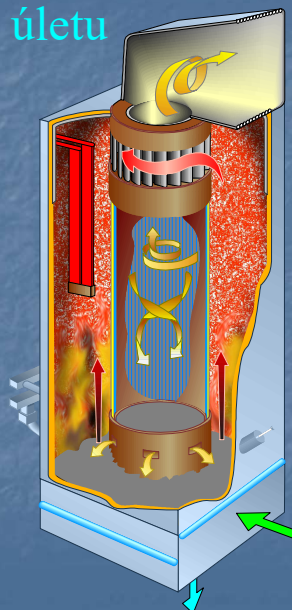
Kotle se stacionární fluidní vrstvou s odlučováním úletu

- koncept firmy ALSTOM
- kotle do výkonu 265 t/h
- odlučovací cyklony pro cirkulaci jemných částic
- fluidní ohniště kotle je sestaveno z modulů
- spaliny ze všech cyklonů se vedou do společného tahu kotle
- ve fluidní vrstvě jsou ponořené plochy výparníku
- okamžitý výkon kotle se reguluje výškou fluidní vrstvy



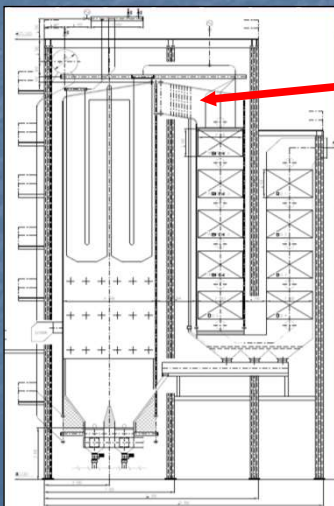
Kotle se stacionární fluidní vrstvou s odlučováním úletu

- nabízí firma METSO pro spalování biomasy
- fluidní lože vytvořeno z cizího inertního materiálu - písek
- kotle do výkonu 265 t/h
- použit centrální odlučovač jemných částic
- teplota vrstvy regulována postranní plochou - přehřívák



Kotle se stacionární fluidní vrstvou s odlučováním úletu

- FK s fontánovou fluidní vrstvou v teplárně Plzeň a Planá dodala firma Invelt servis žaluziový odlučovač úletu

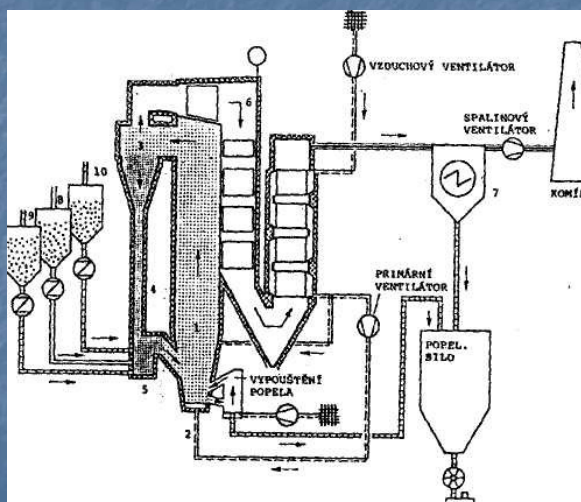


Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou

- charakteristická silně expandovaná fluidní vrstva zaplňující ohniště po celé výšce
- neexistuje 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 850 až 900 °C
- hlavní předností je schopnost dosáhnout velký stupeň odsíření spalin prostým přidáváním vápence do FO

Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou

- 1 – fluidní ohniště
- 2 – fluidní rošt
- 3 – odlučovací cyklon
- 4 – svodka
- 5 – fluidní uzavěr
- 6 – konvekční tah
- 7 – odlučovač úletu
- 8 – zásobník uhlí
- 9 – zásobník vápence
- 10 – zásobník popela (pro najíždění)



Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou

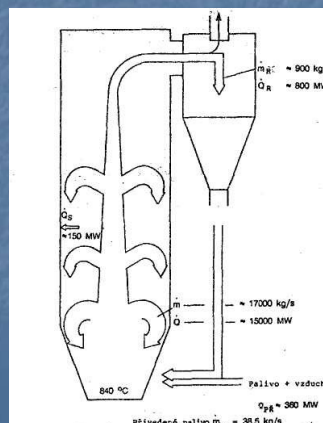
Zařízení pro odtah popela z fluidního lože

- řešeno různými způsoby dle zkušeností firmy
- obvykle plní dvě funkce
 - funguje jako fluidní třídič
 - hrubá frakce se odvádí
 - jemnější frakce se vrací zpět do spalovací komory
 - plní funkci chladiče odváděných popelovin - fluidační tekutinou je
 - studený spalovací vzduch (40°C),
 - recirkulované spaliny (130°C)
- konečné dochlazení na cca 130°C se dosahuje ve vodou chlazeném vynášecím šnekovém dopravníku

Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou

Fluidní vrstva je tvořena těmito strukturami

- ve vertikálním směru (bráno od spodu)
 - husté lože – bublinkující struktura
 - přechodová zóna
 - transportní zóna
 - výstup do cyklonu
- v radiálním směru
 - řídkým jádrem se vzestupným proděním
 - hustším obvodovým proudem se sestupným proděním



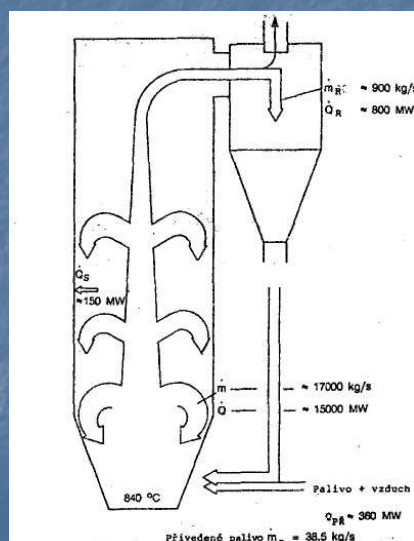
Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou

Př.: příkon ohniště 360 MW

- vzestupný hmotnostní tok z fluidního roštu činí 17000 kg/s
- přivedené množství paliva 38,5 kg/s $\approx 0,22 \%$



fluidní vrstvu tvoří z naprosté většiny částice cirkulujícího popela o různé velikosti

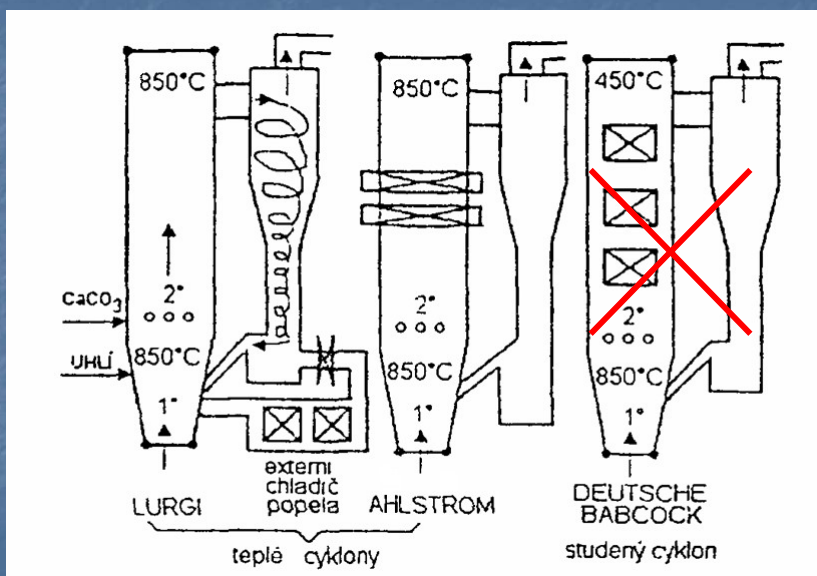


Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou

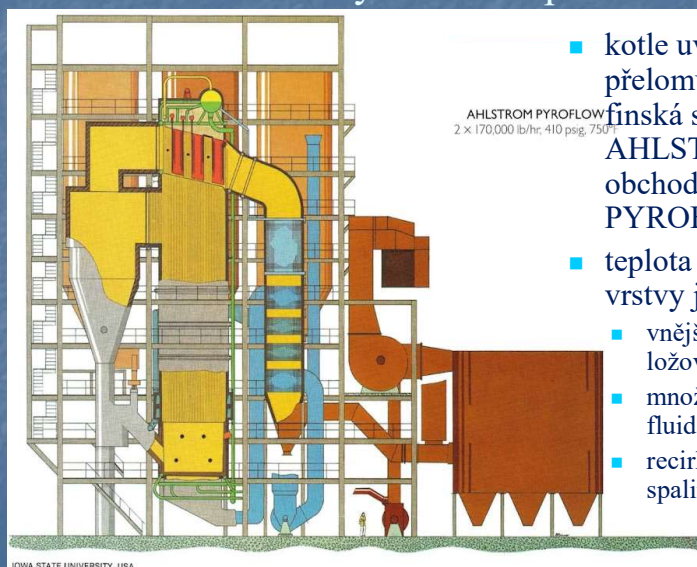
Koncepční řešení se liší především způsobem regulace teploty fluidní vrstvy

- bez externího výměníku
 - s odlučovacím cyklonem -klasický cyklon
 - s modifikovaným odlučovačem
 - s odlučovací mříží
- s externím výměníkem

Vývojové koncepce FK



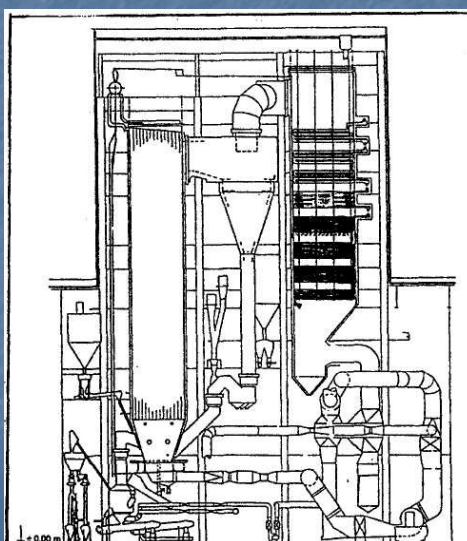
Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla



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

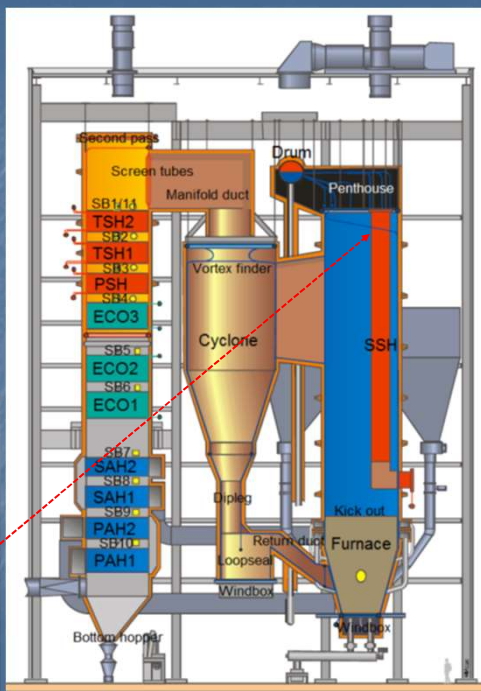
Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla s odlučovacím cyklonem

- kotle o výkonu 350 t/h (ETI FK1)
- parametry páry 9,4 MPa a 505°C
- palivo i vápenec se dopravuje do popelového skluzu před vstupem do spalovací komory
- ohniště s jednou spalovací komorou a dvěma odlučovacími cyklony
- jeden druhý tah (samostatné těleso) s přehřívákem a ohřívákem vody
- spodní část spalovací komory je zúžená do tvaru trychtýře, stěny jsou provedeny ze žárovevné hmoty
- veškerý materiál fluidní vrstvy odloučený v cyklonech se vrací neochlazený zpět do spalovací komory
- cyklony, svodky i fluidní uzávěry jsou vyzděné žárovevnou vyzdívkou

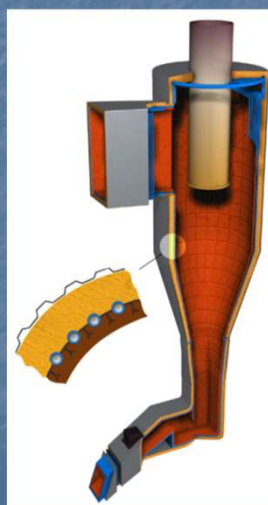
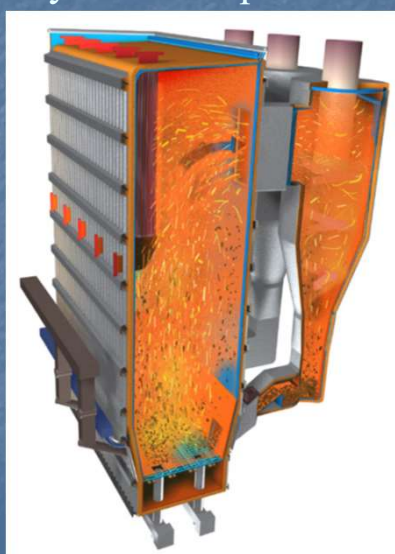


Kotle s cirkulující
fluidní vrstvou bez
externího výměníku
tepla s odlučovacím
cyklonem

90 MW, 120 t/h
99 bar, 535 °C



Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího
výměníku tepla s odlučovacím cyklonem

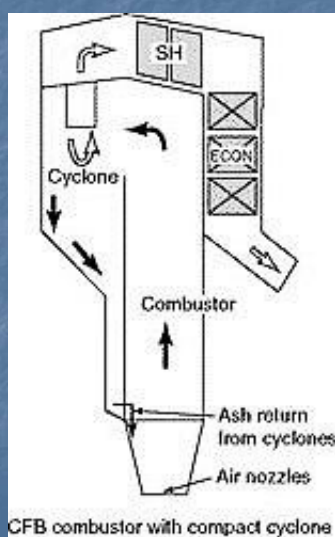


Odlučovací cyklon

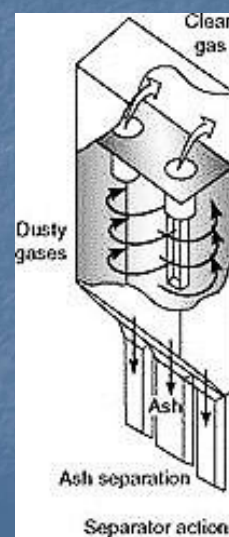


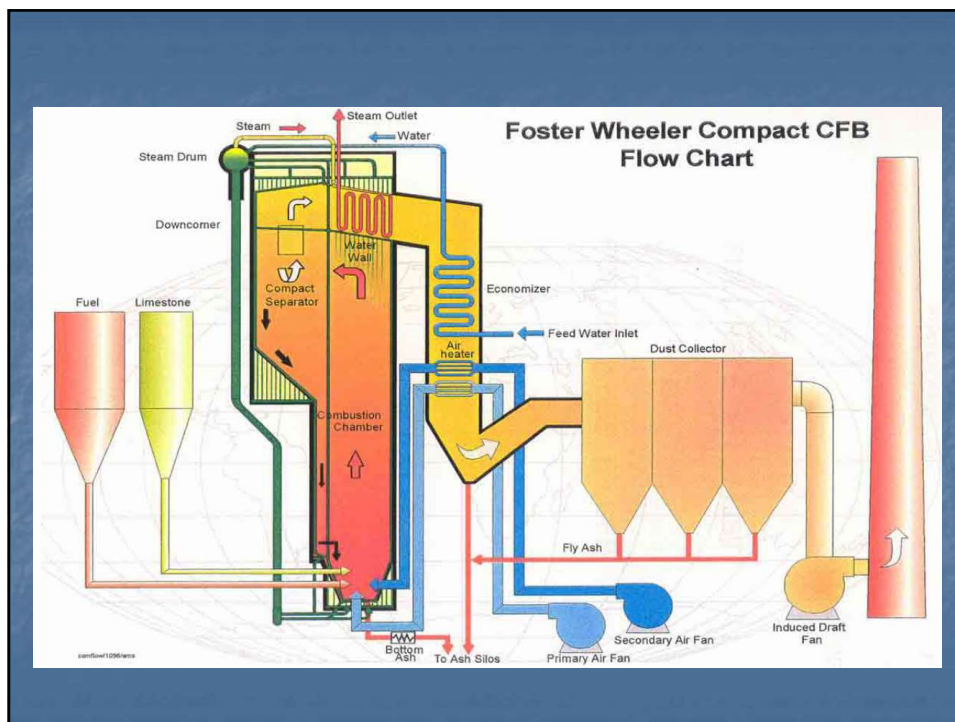
Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla s modifikovaným odlučovačem

- dodává fa Sumitomo (Foster Wheeler) pod obchodním názvem Compact
- odlučovací prostor je vytvořen v jednom tělese se spalovací komorou, od níž je oddělen mezistěnou
- odpadá těžká vyzdívka odlučovacích cyklonů a popelových svodek
- množství odloučeného materiálu bude nižší

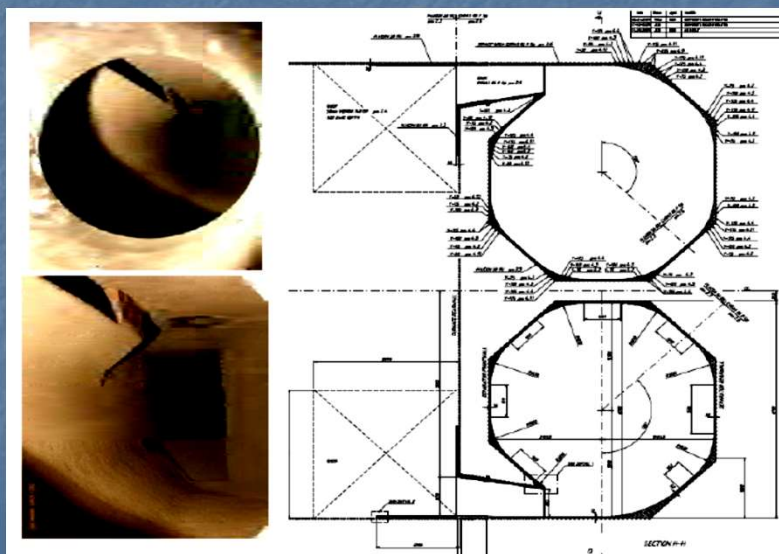


CFB combustor with compact cyclone

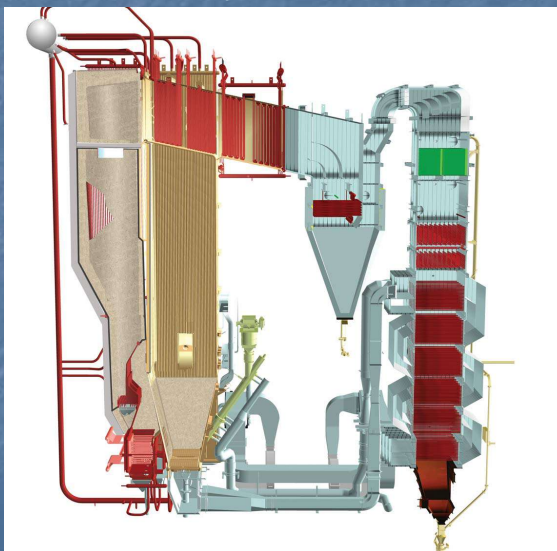




Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla s modifikovaným odlučovačem

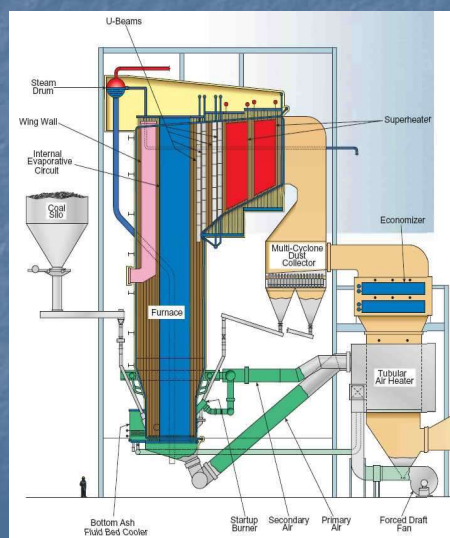


Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla s modifikovaným odlučovačem

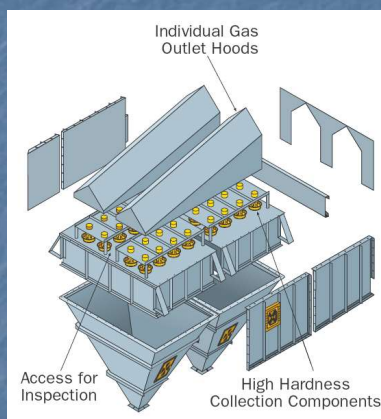
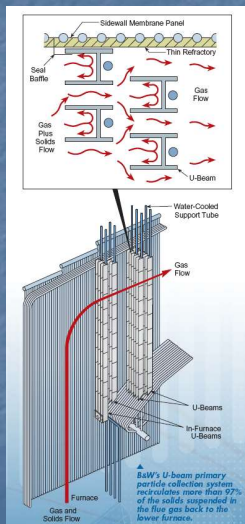


Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla s odlučovací mříží

- systém Babcock Willcock -IC-CFB
- kompaktní řešení vycházející z konstrukce klasického práškového dvoutahového kotle
- fluidní vrstva expanduje až pod strop spalovací komory
- do vodorovného spojovacího tahu proudí přes dva stupně odlučovací mříže z U profilů
- odloučený materiál se vrací zpět do spodní části spalovací komory - tento okruh se nazývá primární (interní)
- spaliny s jemnější frakcí proudí dále přes konvekční tahu - odloučí se v multicyklonu, který je umístěn mezi EKO a LUVO
- odloučený materiál se vrací zpět do spodní části spalovací komory - tento okruh se nazývá sekundární (vnější)



Kotle s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla s odlučovací mříží



multicyklon

odlučovací mříž

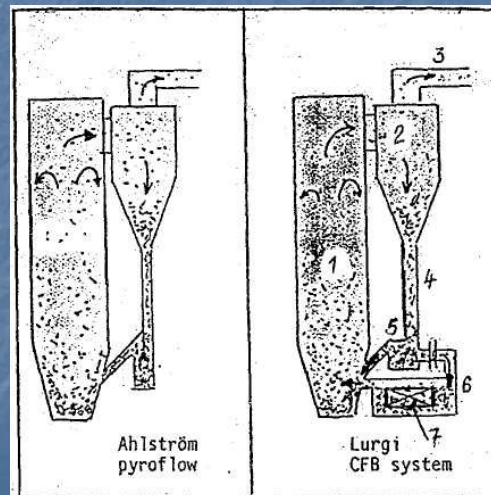


Odlučovací mříž



Kotle s cirkulující fluidní vrstvou s externím výměníkem

- systém uvedla na trh začátkem 80-tých let německá společnost LURGI
- 1 – fluidní ohniště
- 2 – odlučovací cyklon
- 3 – konvekční tah
- 4 – svodka
- 5 – fluidní uzavěr
- 6 – externí výměník tepla
- 7 – výhřevná plocha výměníku

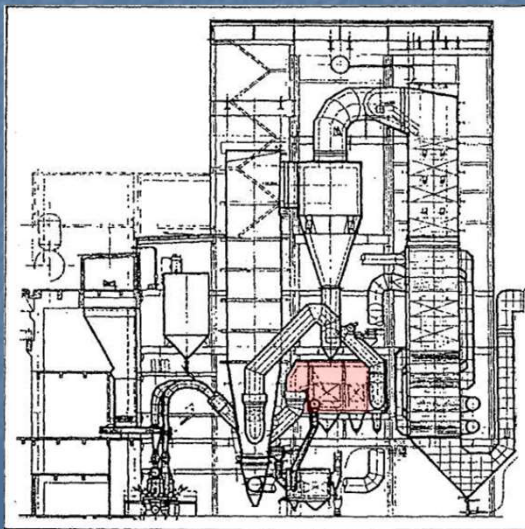


Kotle s cirkulující fluidní vrstvou s externím výměníkem

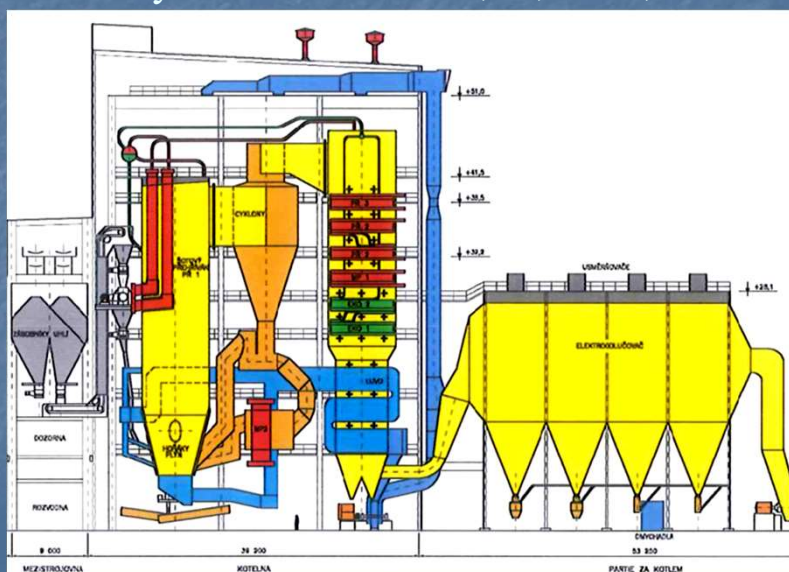
- zvláštním jehlovým ventilem se rozdělí odloučený materiál z cyklonu na 2 části
 - 1. proudí přímo přes fluidní uzavěr do spalovací komory
 - 2. část se vede do externího výměníku, kde se ochladí např. na 600°C a teprve pak se vrací do spalovací komory
- změnou poměru materiálu vraceného do spalovací komory přímo z fluidního uzavěru a materiálu jdoucího přes externí výměník, se mění tepelná bilance spalovací komory
- externí výměník tepla je proveden jako fluidní výměník s výhřevnými plochami ponořenými ve stacionární fluidní vrstvě
- chladící plochy jsou zapojené jako výparník a přehřívák
- jako fluidační tekutina v externím výměníku je použita část spalovacího vzduchu, která se pak zavede do spalovací komory

Kotle s cirkulující fluidní vrstvou s externím výměníkem

- kotel o výkonu 160 t/h
- parametry páry 9,6 MPa a 540°C
- externí výměník je umístěn pod odlučovacími cyklony
- má samostatný skluz popela do spalovací komory
- palivo z uhlého bunkru se upravuje na požadovanou velikost (0-10 mm) v drtičích
- z nich se vede samostatnými vstupy do spalovací komory

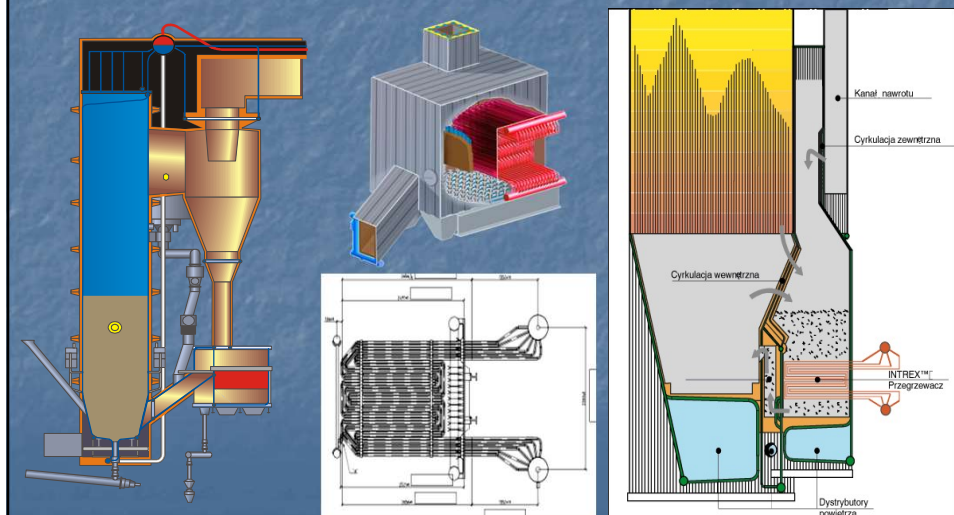


Kotle s cirkulující fluidní vrstvou s externím výměníkem – 350 t/h, 12,8 MPa, 540/535 °C

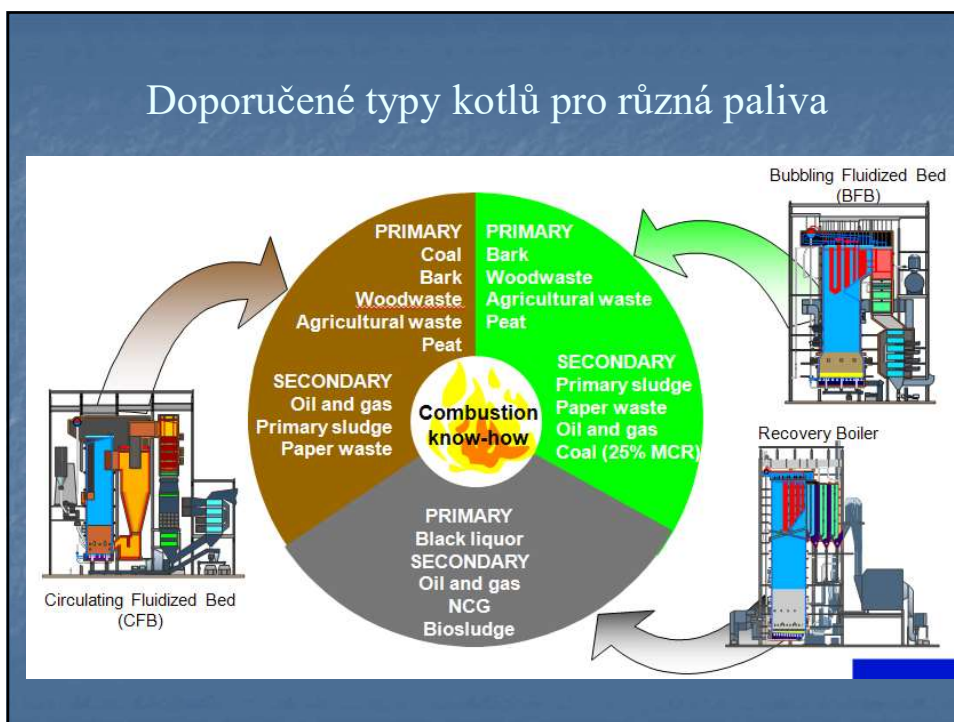


Kotle s cirkulující fluidní vrstvou s externím výměníkem umístěným v recirkulovaném fluidizačním materiálu

- výstupní přehřívač je umístěn do recirkulovaného fluidizačního materiálu

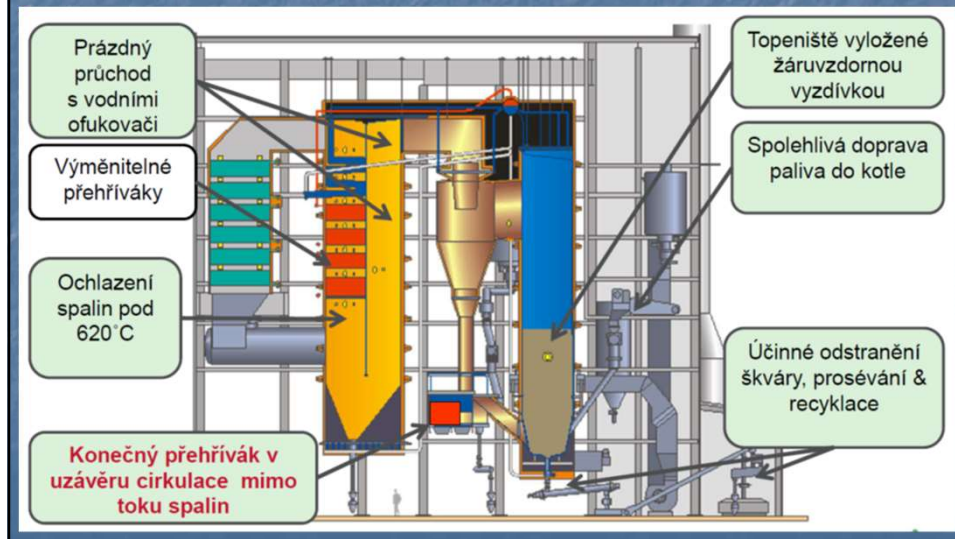


Doporučené typy kotlů pro různá paliva



CFB kotel na spalování TAP

TAP může obsahovat vyšší obsah chloru a alkálií (KCl) – **riziko chlorové koroze a zanášení přehříváků** – vyžaduje specifické řešení



Modelování fluidního ohniště

- komplexní problém
- obecná metodika neexistuje
- je třeba řešit
 - fluidaci pevných částic
 - změnu frakčního rozložení částic podle jejich velikosti
 - proudění spalin
 - spalování uhlí
 - homogenní a heterogenní chemické reakce
 - přenos tepla

Existující modely

- **bilanční** – fluidní ohniště (FO) řeší jako jeden celek – velmi zjednodušené
- **jednorozměrné**
 - vyhovující pro popis vzestupného proudění spalin
 - nepostihují zpětnou cirkulaci hmoty ve vrstvě
- **vícerozměrné** – nejobecnější a nejkomplexnější avšak velmi složité