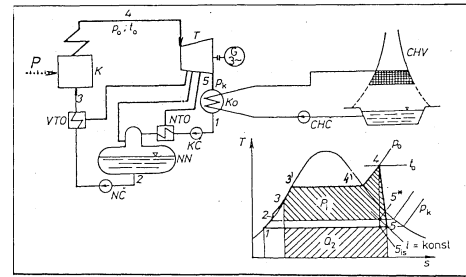


# 1 PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V TEPELNÉM OBĚHU KONDENZAČNÍ ELEKTRÁRNY

Kondenzační elektrárna spalující uhlí se skládá z celé řady provozních souborů a jako celek představuje jak z hlediska investiční výstavby, tak i z pohledu technologického procesu značně složitě zařízení. Její technologické i tepelné schéma bylo prezentováno již při první přednášce.

Spálením paliva  $P$  v kotli  $K$  se uvolní teplo, které se využije k výrobě páry. Přehřátá pára o tlaku  $p_o$  a teplotě  $t_o$  se vede do parní turbíny  $T$ , kde expanduje na velmi nízký tlak  $p_k$  (obvykle 2,5 až 7,0 kPa). V kondenzátoru  $Ko$  pára působením chladicí vody ochlazované na chladicí věži  $CHV$  a cirkulující pomocí čerpadla  $CHC$  z kondenzuje a kondenzát 1 se kondensátním čerpadlem  $KČ$  dopravuje přes nízkotlaké regenerační ohříváky  $NTO$  do napájecí nádrže  $NN$ . Odtud se napájecím čerpadlem  $NC$  dopravuje přes vysokotlaké regenerační ohříváky vody  $VTO$  napájecí voda 3 zpět do kotle. U kondenzační elektrárny pro zvýšení účinnosti oběhu používá tepelný oběh s přehříváním páry. Přehřátá pára z kotle expanduje nejdříve ve vysokotlakém dílu parní turbíny a znovu se zavede do kotle do samostatného přehříváku, kde se ohřeje opět na vysokou teplotu. Takto přehřátá pára expanduje v dalším dílu parní turbíny. U parního kotle s přehřívákem páry se tedy realizuje opět ta část oběhového diagramu, která je z energetického hlediska nejúčinnější.



Za charakteristické pro parní kotel pracující v oběhu parní kondenzační elektrárny lze považovat především:

- vysoké parametry přehřáté páry = u moderních bloků velkých výkonů jsou to nadkritické parametry, např. 26 MPa a 580°C u přehřáté páry a 600°C u přehřáté páry,
- alespoň jedno přehřívání páry, u bloků velkých výkonů se provádí i dvojí přehřívání páry,
- velký jednotkový výkon kotle. V ČR jsou to dnes parní výkony 350 t/h (100 MWe), 650 t/h (200 MWe) či 1560 t/h (500 MWe). V provozu jsou kotle o výkonu cca 960 t/h či 1850 t/h pro bloky 300 a 600 MWe. Dnes se za dosažitelný jednotkový výkon považuje výkon cca 2900 t/h pro blok 950 MWe
- vysokou teplotu napájecí vody vyplývající z použití vysokotlakých regenerativních ohříváků napájecí vody,
- realizaci všech dostupných opatření k dosažení co nejvyšší účinnosti kotle,
- menší regulační rozsah s konstantní teplotou páry, pokud blok pracuje v základním zatížení,
- blokové uspořádání: kotel - turbína – chladicí věž,
- co největší roční využití při trvalém provozu, většinou se nepožaduje časté odstavení.

Pro dosažení velkého jednotkového výkonu se u nás používá uhlí, které se spaluje

- ve formě prášku
- ve fluidním loži

## 1.1 Kotle práškové

Spalují uhelný prášek rozemletý na velikost zrn pod 1 mm v letu v prostoru ohniště. Rozemletím kusového uhlí na prášek dochází ke zvětšení měrného povrchu 100 -1000x oproti spalování na roštu. Rozemletý prášek se do ohniště přivádí pneumaticky nosným médiem, které nazýváme primární směs. Nosným médiem může být vzduch, spaliny nebo jejich směs. V prostoru ohniště se mísí s další částí vzduchu - sekundárním vzduchem. Doba spalování u práškových kotlů je 1 - 3 s, zatímco při spalování na roštu bývá v desítkách minut.

Práškové kotle se stavějí od cca 50 t/h. Rozeznáváme dva typy práškových hořáků:

- granulační se suchým odvodem tuhých zbytků z ohniště v podobě škváry. Spalování zde probíhá při relativně nízkých teplotách. Hodí se pro naše méněhodnotná hnědá uhlí,
- výtavné s tekutým odvodem tuhých zbytků z ohniště v podobě tekuté strusky tj. nad bodem tečení popela.

Jsou vhodné především pro uhlí s vyšší spalovací teplotou tj. pro kvalitní černá uhlí.

Směs nosného vzduchu a uhelného prášku a sekundární vzduch vstupuje do kotle práškovými hořáky. Různé varianty uspořádání hořáků jsou na obr. 1-1.

Zatímco granulační kotle mají na spodku ohniště zužující se výsypku, ze které je odváděna škvára, výtavné kotle mají rovné nebo pouze mírně skloněné dno s výtokovým otvorem.

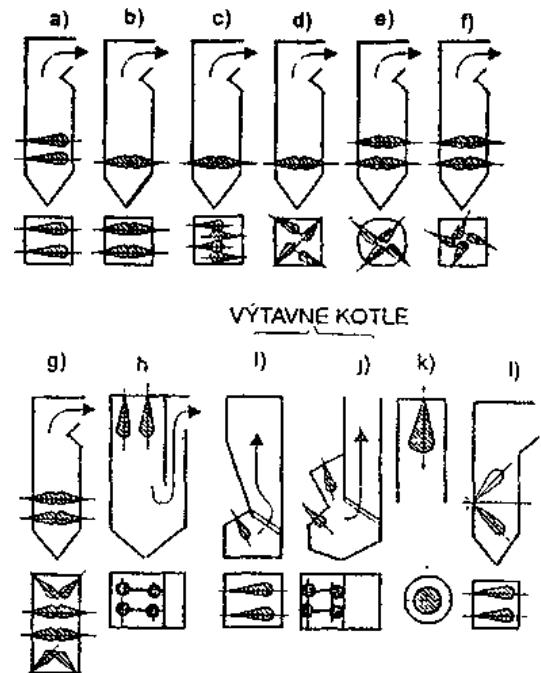
Srovnání výtavných a granulačních ohnišť

- Výtavná ohniště mají vyšší stupeň zachycení popela v ohništi (40 - 70%), což je výhodné, neboť struska odtéká z ohniště otvorem do vody, kde granuluje - tj. prudkým ochlazením a vnitřním tepelným pnutím se rozpadává na menší kusy. Takto v ohništi přímo zachycená struska se snadněji uskládňuje na složišti.
- Vyšší spalovací teploty u výtavných ohnišť, znamenající i vyšší uvolněné teplo, dovolují při konstruování těchto ohnišť vyšší měrné tepelné objemové zatížení ohniště, což má příznivý dopad na zmenšení velikosti ohniště i jeho obestavěný prostor.
- Vyšší spalovací teploty mají rovněž příznivý dopad na vznik  $SO_3$  a následně nízkoteplotní koroze

dotkových ploch kotle, neboť rosny bod je v průměru o 20°C nižší než u ohnišť granulacních. To umožňuje volit u kotlů s výtavným ohništěm nižší teplotu spalin za kotlem a tím i nižší komínovou ztrátu.

Za nevýhody výtavných ohnišť lze považovat:

- Nevhodnost těchto ohnišť zejména pro méněhodnotná hnědá uhlí s vysokým obsahem prchavého podílu. Ve výtavných ohništích lze ekonomicky spalovat pouze kvalitní uhlí s menším obsahem prchavého podílu - tj. především antracitu a černá uhlí.
- Uvedená paliva se obtížně vzněcují i hůře vyhořívají, takže je nutné je mlít na jemnější částice. To zvyšuje měrnou mlecí práci a tím i vlastní provozní náklady.
- Vzhledem k nebezpečí tuhnutí strusky v okolí výtakového otvoru mají výtavná ohniště nižší regulační rozsah (u granulacních cca 30 - 100 %, u výtavných cca 60 - 100 %).
- V důsledku velmi vysokých teplot spalování dochází k odpařování části popelovin, které pak kondenzují na dotkových plochách kotle a způsobují těžko odstranitelné nánosy.



a - dvouřadé čelní, b - jednořadé protiběžné, c - jednořadé vystřídané, d - jednořadé rohové (tangenciální), e - dvouřadé rohové (tangenciální), f - dvouřadé rohové (tangenciální), g - dvouřadé kombinované, h, k - stropní, i, j - uspořádání v čelní stěně u výtavných ohnišť, l - naklápěcí

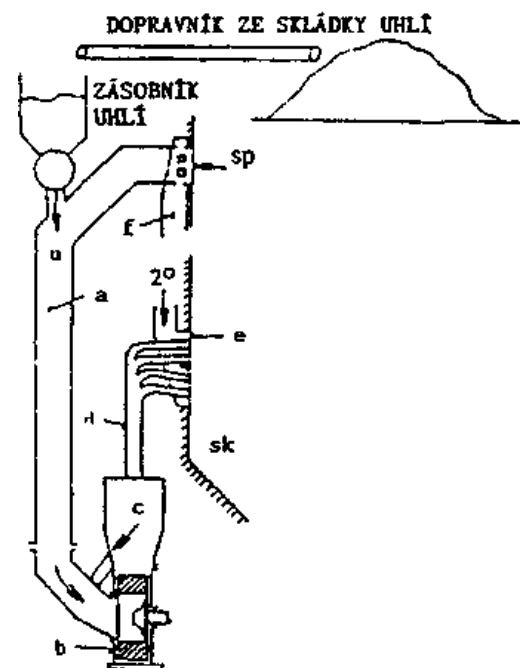
**obr. 1-1** Varianty hořáků v ohništích kotlů

V našich práškových kotlích se téměř výhradně používá granulacních ohnišť, která jsou více vhodná pro spalování našich hnědých uhlí.

U těchto kotlů na hnědá uhlí převládají u nás koncepce přímého foukání s ventilátorovým mlýnem. Uhlí padá do spádové sušící šachty a po částečném vysušení vstupuje se sušícím médiem do ventilátorového mlýna. Z mlýna jde primární směs přes třídič do hubic primárního vzduchu. Koncová teplota za třídičem je limitována rosny bodem vodních par v sušícím médiu a bodem zápalnosti prášku v koncentraci se vzduchem. Charakteristický mlecí okruh na hnědé uhlí je na obr. 1-2.

**obr. 1-2** Ohniště s ventilátorovým mlýnem

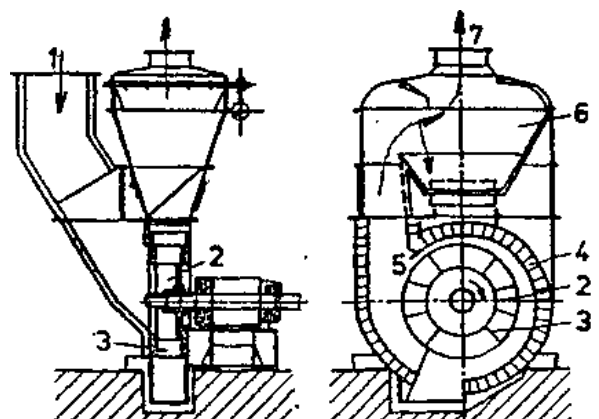
a-sušící šachta, b-ventilátorový mlýn, c-třídič, d-práškovod, e-hořák, f-vzduch pro chlazení nasávacího otvoru spalin a regulaci teploty sušícího plynu, sk-ohniště, sp-přívod spalin z ohniště, u-přívod uhlí od podavače



Ventilátorový mlýn je robustní radiální ventilátor. K sušení vlhkých uhlí a současně jako nosné medium využívá spalin 800 - 1000°C ze spalovací komory kotle. Hodí se pro velmi vlhká paliva. Schéma je na obr. 1-3. Ventilátorové mlýny mají mlecí i ventilační účinek. K rozemletí uhlí je využíváno dynamického účinku mlecích elementů (500-1000 ot/min).

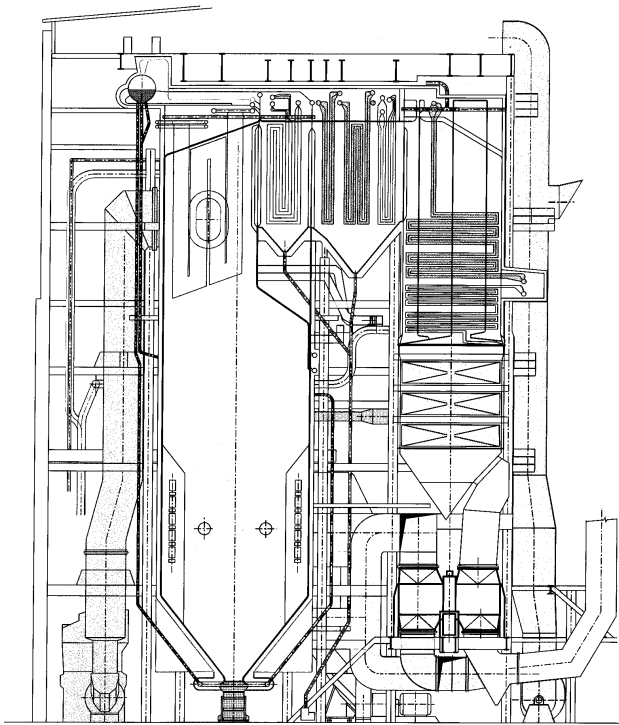
Kromě ventilátorových mlýnů se ještě používá mlýnů tlukadlových, trubnatých a kladkových.

Příklad dvoutahového a jednoranového (věžového) provedení práškových granulacních kotlů na hnědé uhlí je uveden na obr. 1-4 a obr. 1-5.

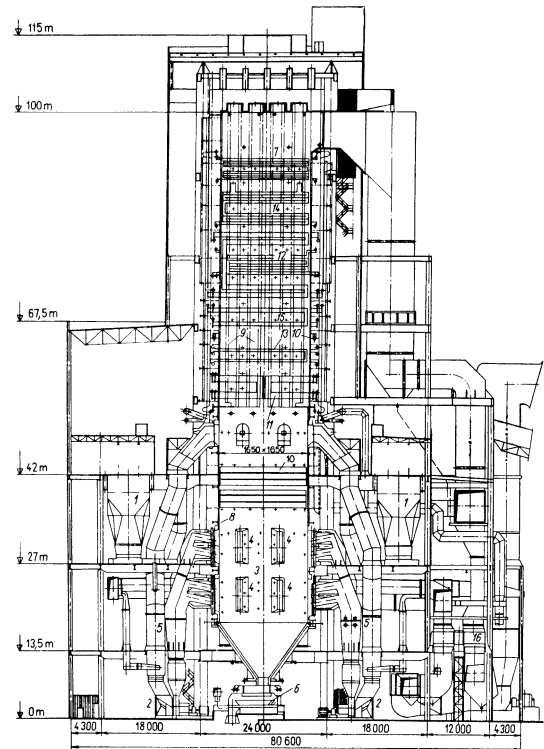


**obr. 1-3** Ventilátorový mlýn

1- vstup kusového uhlí, 2-oběžné kolo, 3-mlecí elementy, 4-pancéřovaná skříň mlýna, 5-pancéřované výstupní hrdlo, 6-třídič, 7-výstup prášku



obr. 1-4 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



obr. 1-5 Elektrárenský věžový granulační kotel průtočný se superponovanou cirkulací,  $M_{pp} = 1600 \text{ t/h}$ ,  $p_{pp}/p_{mp} = 17,8/3,9 \text{ MPa}$ ,  $t_{pp}/t_{mp} = 540/540^\circ\text{C}$ ,  $t_{nv} = 254^\circ\text{C}$

## 1.2 Kotle fluidní

Fluidizace je obecně děj, v němž je soubor pevných látek udržován ve fluidní vrstvě ve vznosu proudem tekutiny. Fluidní vrstvu tvoří disperzní systém, který se vytváří průtokem plynu vrstvou částic nasypných na pórovité dno - tzv. fluidní rošt.

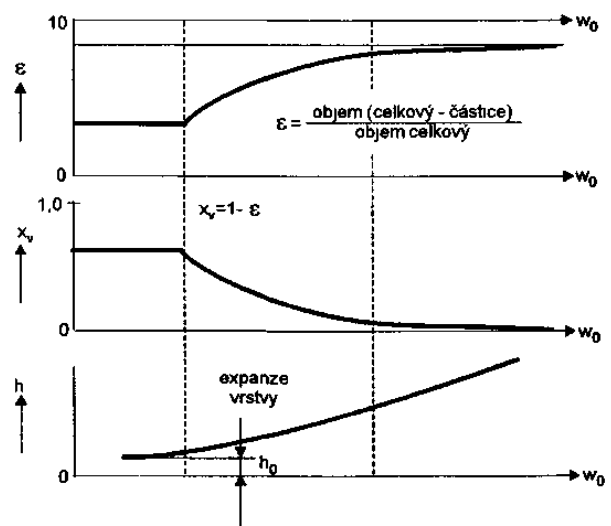
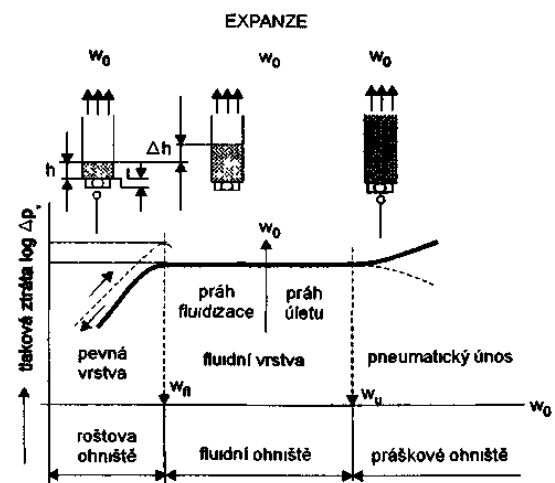
### obr. 1-6 Charakteristické veličiny fluidní vrstvy

$\varepsilon$	(-)	- 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

### Vznik a základní vlastnosti fluidní vrstvy

Při ustáleném toku tekutiny svislou nádobou směrem vzhůru – viz. obr. 1-6, ve které jsou na vodorovné pórovité přepážce uloženy částice, jejichž měrná hmotnost je větší než měrná hmotnost tekutiny, je možno docílit několika stavů směsi. Tyto stavy jsou závislé na rychlosti toku tekutiny, složení částic pevné fáze, tvaru a měrné hmotnosti částic, tvaru a velikosti nádoby, velikosti a typu pórovité přepážky (fluidního roštu), fyzikálních vlastnostech tekutiny a dalších činitelích.

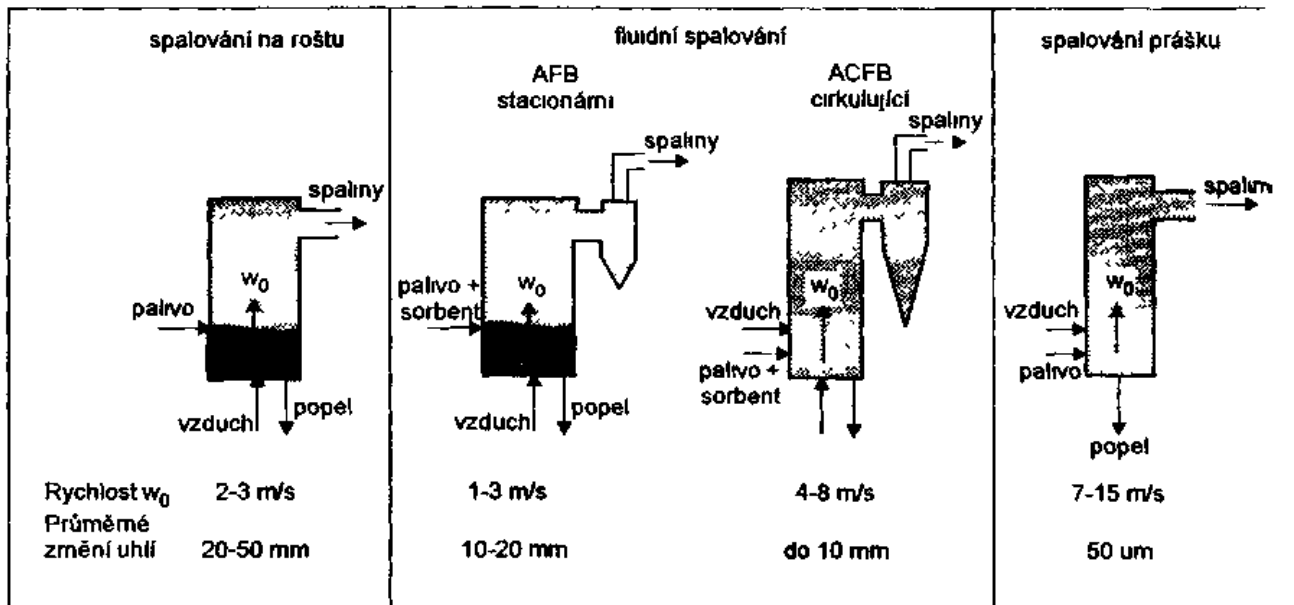
Při zvětšování rychlosti tekutiny roste i tlaková ztráta tekutiny ve vrstvě a při určité rychlosti



tekutiny vyrovnává sílu, kterou působí na vrstvu zemská přitažlivost. Tento stav se nazývá práh fluidizace a příslušná rychlost tekutiny ve volném průřezu nádoby bez částic prahová rychlost fluidizace. Částice tuhé fáze se vznášejí v tekutině a navzájem se promíchávají. Fluidizovaný materiál teče, udržuje víceméně zřetelnou hladinu a má hydrostatický tlak. Objem fluidní vrstvy při prahu fluidizace je větší než objem nehybné vrstvy, říkáme, že vrstva expandovala.

Pokud expanze pokračuje dále s rostoucí rychlostí, zvětšuje se výška fluidní vrstvy a zmenšuje se její objemová koncentrace. Při určité rychlosti, kterou nazýváme prahová rychlost úletu, začne fluidizační tekutina unášet částice z vrstvy. Situace je patrná z obr. 1-6. Fluidní vrstva leží tedy v intervalu rychlosti  $(w_{fl}, w_u)$ .

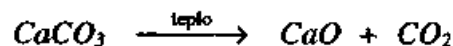
Fluidního jevu se využívá ve spalovací technice. Pro oblast elektrárnenství jsou vhodné atmosférické fluidní kotle s cirkulující fluidní vrstvou. Začlenění těchto kotlů v systémech spalování je v obr. 1-7.



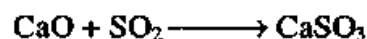
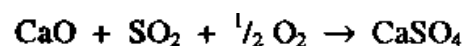
obr. 1-7 Srovnání různých typů spalovacích komor

Výhody fluidního spalování:

1. Dávkováním vápence do kotle lze docílit k částečnému odsíření spalin tj. redukcí  $SO_2$  hlavně reakcí



Vzniklý CaO následně s  $SO_2$  a kyslíkem sulfatizuje na  $CaSO_4$  reakcí



Síran vápníku v podobě tuhých částic je potom zachycován v odlučovačích tuhých částic. Vzhledem k velmi jemné frakci tuhých částic je nutné k jejich zachycení použít textilních nebo elektrostatických odlučovačů. Zásadité prostředí v ohništi redukuje kromě  $SO_2$  i další kyselá složky - HCl a HF.

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.

2. Účinnost odsíření je od 40 do 95% podle typu kotle a množství dávkovaného vápence.
3. Fluidní kotle tedy nevyžadují budování odsířovacího zařízení za kotlem.
4. Nízké teploty ve fluidní vrstvě a odstupňovaný přívod vzduchu do ohniště mají příznivý dopad na redukcí  $NO_x$  ve spalinách.
5. Uvedeným způsobem lze spalovat i méněhodnotná paliva a různé odpady s velmi nízkou výhřevností, v jiných typech kotlů nespalitelné.
6. Spalování probíhá s vyšším zatížením roštové plochy oproti klasickým roštovým kotlům a rozměry roštu proto vycházejí nižší.
7. 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%.

### Atmosférické fluidní kotle s cirkulující fluidní vrstvou (ACFB)

Společným znakem těchto kotlů je vstup všech spalín z ohniště přes cyklony. V nich se odstředivou silou odloučí největší částice, které se potom znovu vrací do fluidního ohniště. Výhodou je delší pobyt částic ve spalovacím prostoru, který vede k lepšímu odsíření i vyhoření uhlíku (snížení ztráty mechanickým nedopalem). Tyto kotle se staví asi od výkonu 50 MW<sub>t</sub>. Ve stavbě jsou kotle o maximálním výkonu 700 t/h.

U těchto kotlů neexistuje zřetelná hladina fluidní vrstvy, která expanduje do prostoru ohniště. V důsledku cirkulace přes sifon se většina pevných částic vrací zpět do ohniště. Uvádí se, že průměrně velká částice paliva cirkuluje 10-15x.

Schémat základních typů ACFB jsou v obr. 1-8.

**obr. 1-8** Principiální typy kotlů s cirkulující fluidní vrstvou

Podle teploty spalín rozeznáváme kotle s teplým cyklonem (cca 850 °C) a studeným cyklonem (cca 450 °C). Kotle se v důsledku vychlazení spalín liší počtem výhřevných ploch v ohništi.

Kotle s teplým cyklonem mohou mít ještě externí chladič popela (typ Lurgi). Ten může propouštět část popela místo do ohniště do tohoto chladiče, v němž jsou umístěny plochy výparníku nebo přehříváku. Toto řešení umožňuje větší diversifikaci paliva (např. přechod z hnědého na černé uhlí je snadněji proveditelný při dodržení parametrů páry).

U fluidních kotlů se kromě běžných parametrů uvádí i stupeň odsíření. U kotlů s cirkulující fluidní vrstvou se poměr dávkovaného Ca ev. přepočteného na CaO nebo CaCO<sub>3</sub> ku obsahu síry v palivu

$$\left(\frac{Ca}{S^r}\right)_{mol} = 1,5 - 2,2$$

Zvýšením dávkování CaCO<sub>3</sub> lze tedy zvýšit stupeň odsíření. Stupeň odsíření (účinnost odsíření) je definován vztahem

$$^{\circ}S = \frac{SO_{2(t)} - SO_{2(s)}}{SO_{2(t)}} = 90 - 95\%$$

kde SO<sub>2(t)</sub> je teoretická koncentrace SO<sub>2</sub> vypočtená z obsahu spalitelné síry,  
SO<sub>2(s)</sub> je skutečně naměřená koncentrace SO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>).

Praktické hodnoty °S u cirkulující fluidní vrstvy: 90 - 98%.

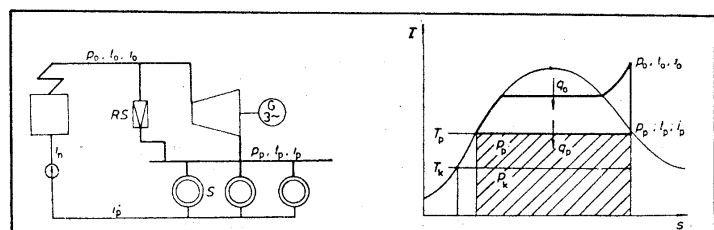
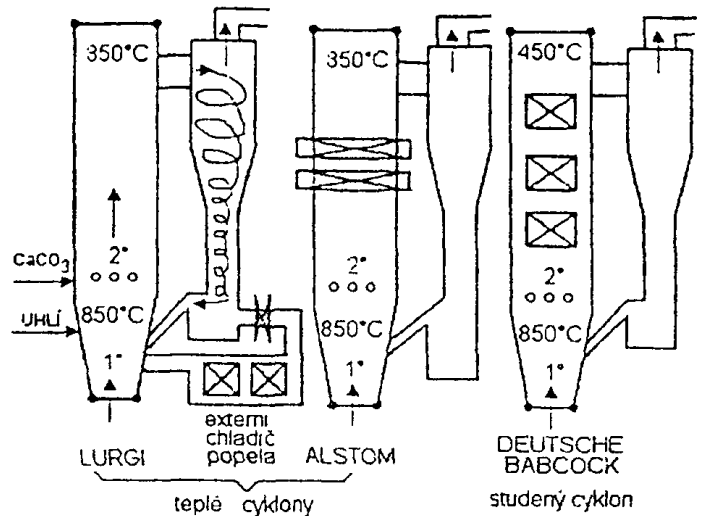
## 2 PARNÍ KOTEL, JEHO FUNKCE A ZAČLENĚNÍ V TEPELNÉM OBĚHU TEPLÁRNY

V kondenzační elektrárně se značná část tepla pracovní páry odvádí v kondenzátoru do okolí. Protože pára vystupující z turbíny (vstupující do kondenzátoru) má velmi nízkou teplotu (např. 32°C) a z technického hlediska je její teplo obtížně využitelné, považuje se toto množství tepla za ztracené.

Ukončí-li se expanze páry v turbíně při vyšší tlaku, a tedy i při vyšší teplotě páry, lze využít vystupující páru z turbíny k dodávce tepla pro vytápění nebo pro technologické účely. Ukončením expanze při vyšší tlaku se sice sníží výroba elektrické energie, ale teplo vystupující páry z turbíny je technicky využitelné. Vyrábí se tedy současně elektrická energie i teplo. Pro

zařízení s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla se zavedl název teplárna, protože převažuje výroba tepla nad výrobou elektrické energie. Nejjednodušším typem energetické centrály s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla je teplárna s protitlakovou turbínou, jejíž schéma již bylo vysvětleno při první přednášce.

Přestože znázornění tepelného oběhu teplárny v T-s diagramu je velmi podobné oběhu parní elektrárny, je zde



možné vysledovat některé rozdíly. Především je třeba konstatovat, že teplárny se navrhují na nižší parametry páry, což souvisí s jejich menším výkonem a také s odlišným typem použité parní turbíny, která jen výjimečně využívá přehřívání páry. Obvyklé teplárenské parametry páry tedy jsou :

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| • nízké parametry pro malé výkony 1,5 až 5 MWe | 350°C / 2,5 MPa                     |
| • střední parametry pro výkony 5 až 30 MWe     | 400 °C / 4 MPa až 450°C / 6 MPa     |
| • vysoké parametry pro velké výkony nad 30 MWe | 500 °C / 7,5 MPa až 540°C / 9,5 MPa |

Volba parametrů významným způsobem ovlivňuje dosažitelnou elektrickou účinnost teplárny, což je podíl elektrického výkonu ku příkonu tepla v palivu, která s rostoucími parametry páry stoupá. Jinými slovy při požití páry s vyššími parametry lze vyrobit větší podíl elektřiny ze stejného množství paliva.

Teplárenské kotle - často se též používá název průmyslové kotle - jakoby tvořily zvláštní kategorii kotlů ve srovnání s kotli elektrárenskými. Je třeba říci, že se jedná o jakési přetrvávání dřívějšího tradičního dělení kotlů, které již dnes není opodstatněné, neboť z hlediska návrhu a konstrukce není zásadního rozdílu mezi kotli teplárenskými (průmyslovými) a elektrárenskými kotli srovnatelných výkonů. Odlišné však jsou zadávací parametry a provozní podmínky (např. regulační rozsah, počet najíždění, parametry páry a napájecí vody, atd.).

Za charakteristické pro teplárenské (průmyslové) kotle lze považovat:

- většinou nižší teplotu napájecí vody, v řadě případů je kotel napájen vodou o teplotě 105°C (parametr pro odplynění napájecí vody)
- nižší parametry páry na výstupu z kotle
- nižší jednotkový parní výkon kotlů. Většinou má teplárna více kotlů o nižším výkonu. Souvisí to s nutností zajistit spolehlivou dodávku tepla pro komunální sféru (při výpadku není většinou náhradní dodávka tepla) při značně proměnlivém odběru tepla.
- většinou je připojeno více kotlů na společný sběrný parovod
- u kotle není přehřívák páry. Tento se používá jen ve zvláštních případech, např. při rozšíření staré teplárny o nový tepelný zdroj s optimalizovanými parametry nebo se zvýšeným podílem výroby el. energie.
- předpokládá se časté odstavování (i denně) kotle. (zvýšené nízkocyklické namáhání tlakového systému kotle).
- napájecí vodu kotle tvoří z převážné části vratný kondenzát doplněný o upravenou napájecí vodu jako náhradu za ztráty kondenzátu (nebo za spotřebovanou technologickou páru)
- protože teplárny jsou většinou součástí městských aglomerací, musí být u kotlů minimalizován negativní dopad výroby energie i na bezprostřední okolí.

Většina našich parních tepláren je provozována na tuhá paliva. Vedle uhlí se začíná ve stále větší míře uplatňovat také biomasa nebo alternativní paliva. Teplárenské kotle mohou být řešeny jako

- uhelné práškové nebo s cirkulující fluidní vrstvou pro velké výkony – koncepčně se neliší od kotlů elektrárenských
- roštové nebo s bublinkující (stacionární) fluidní vrstvou pro malé a střední výkony

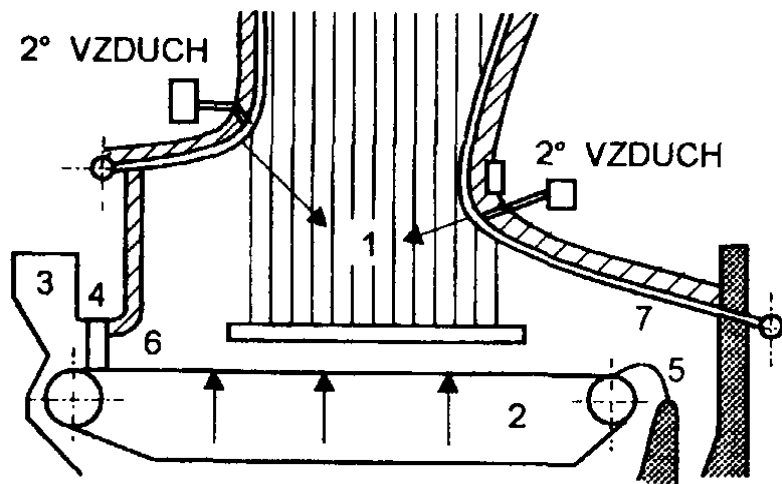
## 2.1 Kotle roštové

Slouží ke spalování kusových paliv v pevné vrstvě. Základní části roštového ohniště jsou patrné z obr. 2-1. Používají se od nejmenších výkonů do cca 50 MW. V současné době se nové roštové kotle na uhlí téměř nestaví, v provozu je však velké množství starších kotlů. Nové roštové kotle se staví pro spalování zejména biomasy (dřevo, sláma) a dále na spalování domácích a průmyslových odpadů.

### obr. 2-1 Schéma roštového ohniště

Ohniště 1 je ohraničeno roštem 2, přední a zadní klenbou 6 a 7 a stěnami ohniště. Uhlí se na rošt dostává ze zásobníku uhlí 3 přes hradítko výšky paliva na rošt 4. Pevný zbytek - škvára odchází přes škvárový jízek 5 do škvárové výsypky. Kotle se vyznačují poměrně velkým množstvím škváry (70 až 80 % z A').

Spalování u roštových ohnišť probíhá jednak ve vrstvě na roštu, jednak v prostoru nad vrstvou paliva. Podíl hoření nad vrstvou paliva je tím větší, čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny. Z tohoto pohledu

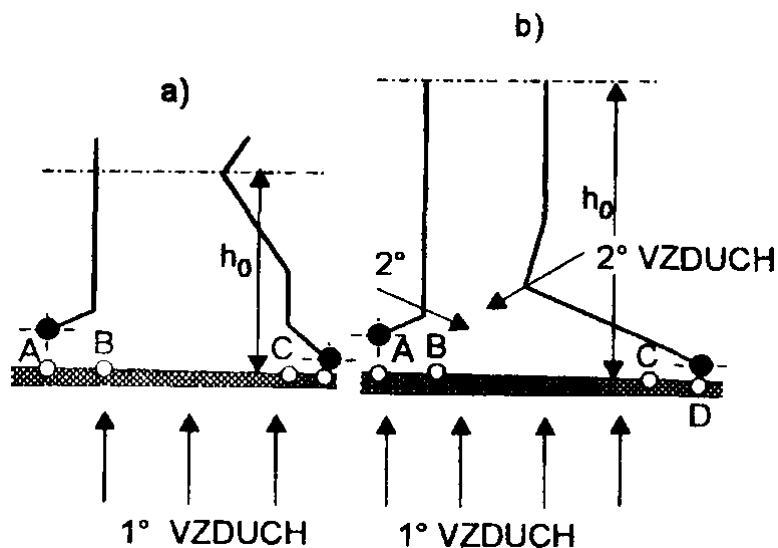


rozeznáváme dvě základní konstrukční koncepce, které jsou patrné z obr. 2-2:

- roštové ohniště s jedním ohniskem hoření,
- roštové ohniště s dvěma ohnisky hoření.

**obr. 2-2 Základní koncepce roštových ohnišť**

Ohniště typu a) jsou vhodná pro pevná paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny. Ohniště jsou nižší ( $h_o$ ) oproti typu b), který je vhodný pro paliva s větším obsahem prchavé hořlaviny. Tato ohniště bývají seškrčená, aby při delším plameni bylo zajištěno promísení prchavé hořlaviny se vzduchem. Tomu se napomáhá přivedením sekundárního vzduchu nad rošt. Jeho podíl je tím větší, čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny. U jakostních černých uhlí se někdy vystačí jen s primárním spalovacím vzduchem pod rošt. Hnědá uhlí, biomasa a odpady vyžadují sekundární vzduch.



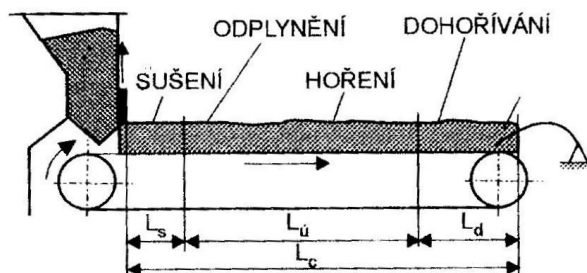
Základní součástí roštových ohnišť je rošt, mající tyto funkce:

- 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.

Palivo na roštu prochází těmito charakteristickými fázemi - obr. 2-3:

- sušení, během něhož se uhlí ohřívá a vypuzuje se z něho povrchová a hygroskopická voda,
- odplyňování, které probíhá intenzivně při ohřátí nad 250 °C,
- hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny,
- dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků.

**obr. 2-3 Účinná ( $L_u$ ) a celková ( $L_c$ ) plocha roštu**  $L_s$  - sušení,  $L_d$  - dohořívání



Maximální teploty v ohništi roštových kotlů jsou 1350 - 1450 °C podle druhu uhlí. Z celkové roštové plochy slouží k uvolňování tepla z paliva jen tzv. účinná plocha roštu (viz obr. 2-3). Zbývající část plochy roštu je pomocná, neboť slouží k přípravě paliva pro zapálení a k dohořívání. Naší snahou je zajistit co možná nejvyšší poměr účinné plochy roštu k celkové ploše. Tento poměr bude tím větší, čím menší bude obsah vody ve spalovaném palivu a čím vyšší bude teplota spalovacího vzduchu. Čím bude mít spalované palivo vyšší obsah vody, tím je nutno volit při návrhu nižší střední měrný tepelný výkon roštu  $q_r$ , který je podle druhu roštu 700 - 1400 kW/m<sup>2</sup>.

Praktickým důsledkem vyššího obsahu vody v palivu je snižování výkonu kotle, neboť se zvětšuje plocha roštu, na níž dochází k sušení paliva. Z uvedeného důvodu se pro uhlí s vyšším obsahem vody doporučuje:

- předsoušet palivo mimo rošt (např. u surového dřeva, kůry, domácích odpadů),
- používat vyšší teplotu spalovacího vzduchu (je limitován životností roštnic),
- použít tzv. pohazovacího zařízení, které umožňuje částečné vysušení paliva v letu před jeho dopadem na rošt.

### Druhy roštů

Podle způsobu přemísťování paliva v roštovém ohništi rozeznáváme:

- rošty s nehybnou vrstvou paliva (pevné rošty),
- rošty s občasným přemísťováním paliva (rošty stupňové a přesuvné),
- rošty s trvalým přemísťováním paliva (rošty pásové a řetězové).

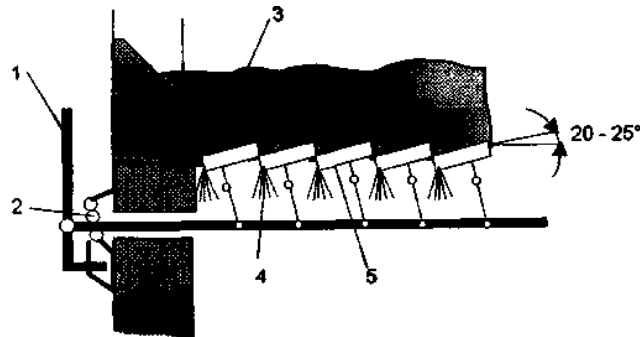
#### 1. Pevné rovinné rošty s nehybnou vrstvou paliva

V současné době se tento rošt zachoval u malých kotlů na lokální vytápění event. u starších plamencových a lokomotivních kotlů. Rošty jsou složeny z bezpropadových roštnic se spodním dmýcháním

spalovacího vzduchu o přetlaku 500 - 600 Pa. Uvedené rošty mají velkou ztrátu  $Z_c$  ve škváře, úletu i v propadu. Ke snížení této ztráty se u novějších kotlů používá bezpropadových roštic.

## 2. Rošty s občasným přemísťováním paliva

Patří sem rošty s výkyvnými rošticemi - obr. 2-4. Občasným pravidelným či nepravidelným pohybem roštic s úhlem výkyvu 20 - 25 % dochází k rozrušování spečené škváry a obracení paliva. Podle polohy jsou tyto rošty vodorovné nebo šikmé.

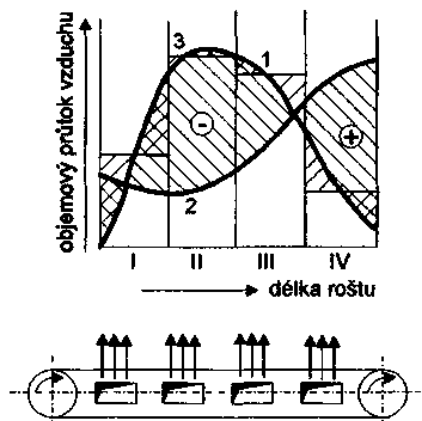


1 - ruční páka, 2 - vodící kladky, 3 - vrstva paliva, 4 - škvára, 5 - roštnice

obr. 2-4 Schéma výkyvných roštic

## 3. Řetězové a pásové rošty s trvalým přemísťováním paliva

V současnosti jsou hodně rozšířené. Jedná o nekonečný pás, jehož horní plocha, na které spočívá vrstva paliva, tvoří rošt. Řetězový rošt je tvořen rošticemi, které jsou články masivního Gallova řetězu. Pásový rošt má roštnice upevněny na příčných tyčích, které jsou unášeny dvěma postranními řetězy. V obou případech je rošt tepelně namáhán pouze v horní části, zatímco ve spodní části je chlazen. Z tohoto důvodu lze zde použít výhřevnější palivo, aniž by docházelo k opálu roštnic.



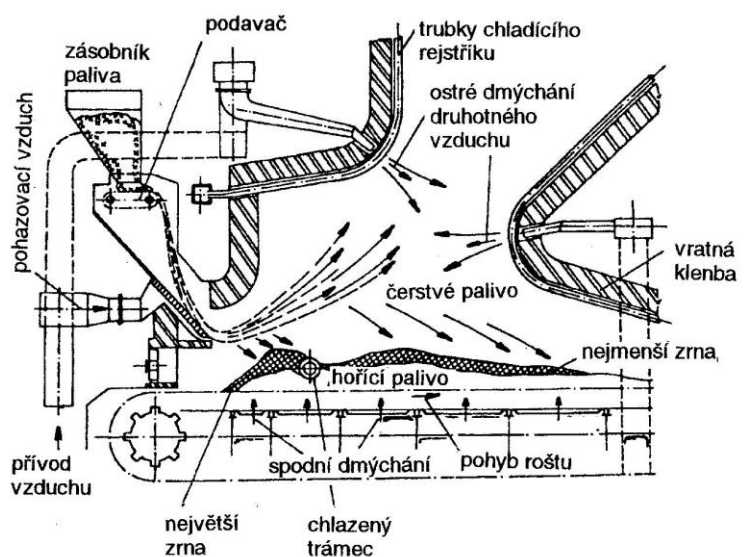
Palivo u pásového roštu se tedy pohybuje od zásobníku surového uhlí až po škvárovou výsyпку, prochází jednotlivými fázemi a musí dokonale vyhořet. Rychlost pohybu roštu bývá 1-2 mm/s a je nutno ji volit s ohledem na velikost vrstvy paliva ( $h = 40-300$  mm). Průběh spalování je patrný z obr. 2-5. Z něho můžeme usoudit na nerovnoměrnou spotřebu spalovacího vzduchu po délce roštu. Maximum je v oblasti hoření a odplynění - křivka 1. Skutečný průchod vzduchu, kdybychom tento vhodně neregulovali, je však s ohledem na aerodynamický odpor vrstvy paliva právě opačný - křivka 2. Tento rozpor odstraňujeme rozdělením vzduchu pod roštem po jeho délce do několika pásem, zpravidla minimálně dvou, což označujeme jako pásmování vzduchu - čáry 3. Každé pásmo je samostatně regulovatelné klapkou, což umožňuje výkonovou regulaci ohniště.

obr. 2-5 Pásmování primárního vzduchu pod rošt

Pro značně vlhká paliva je vhodné zavést zejména do prvního pásma vzduch resp. směs vzduchu a spalin o teplotě 150 - 300 °C. Kromě předsoušení dojde tím i ke spodnímu zápalu uhlí a využije se tak lépe celá délka roštu.

Při spalování uhlí s větším obsahem prachového uhlí se doporučuje vybavovat zásobníky paliva podavačem, který palivo dopravuje k pohazovači. Příklad je na obr. 2-6.

obr. 2-6 Klasický roštový kotel s pneumatickým pohazováním paliva



## 2.2 Atmosférické fluidní kotle se

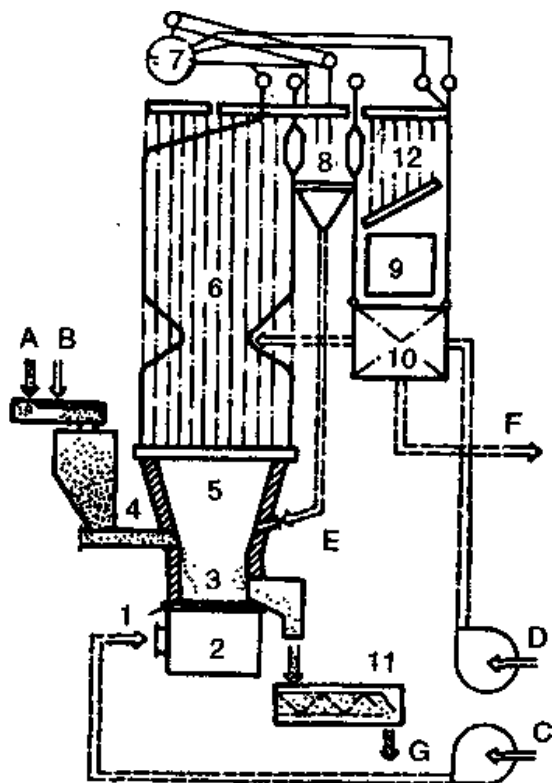


### stacionární (bublinský) fluidní vrstvou (AFB)

Charakteristickým rysem těchto kotlů je bublinský fluidní vrstva se zřetelnou hladinou. První typy těchto kotlů vznikly z rekonstruovaných klasických roštových kotlů. Fluidní spalování bylo realizováno

- náhradou klasického roštu roštem fluidním,
- napojením fluidního ohniště na stávající výparný systém kotle.

Typickým příkladem je kotel Duklafluid (ČKD) na obr. 2-7. Kotel je řešen jako dvoutahový. Obvodové stěny ohniště jsou z membránových stěn. První stupeň je tvořen nevychlazeným reaktorem, nad nímž je spalovací komora kotle, která je vychlazená. Do zúžené části dvoustupňového spalování je přiveden sekundární vzduch. Primární vzduch je studený, sekundární ohřátý v ohříváku vzduchu kotle na teplotu kolem 200 °C. Spaliny proudí vodorovným mezitahem přes žaluziový odlučovač, kde se odlučují větší částice, které pak jsou z výsyvky dopravovány zpět do ohniště. Zmenšuje se tím ztráta mechanickým nedopalem. V ohništi je udržována teplota 850 - 900 °C.



A,B-palivo a aditivum, C-primární vzduch, D-sekundární vzduch, E-návrat zachyceného popílku, F-výstup spalín, G - odvod popela, 1 - fluidní rošt, 2-vzduchová komora, 3-fluidní vrstva, 4-podavač, 5-fluidní reaktor, 6-spalovací komora, 7-buben, 8-přehřívák páry, 9-ohřívák vody, 10-ohřívák vzduchu, 11-chlazený dopravník popela, 12-žaluziový ohřívák popela

obr. 2-7 Fluidní ohniště typu DUKLAFLUID (ČKD)

Popel z ohniště a popel z odlučovače popílku za kotlem (není kreslen) jsou odváděny na složiště.

Uvedené kotle jsou určeny pro spalování hnědých i černých uhlí o výhřevnosti 6,3 - 12,5 MJ/kg zrnitosti do 10 mm. Kotle 8 t/h, 25 t/h a 35 t/h vyrábějí páru o tlaku 1,3 MPa a teplotě 220°C. Nízké parametry přehřáté páry neumožňují efektivní použití parní turbíny.

Najetí kotle ze studeného stavu se provádí dřevěným uhlím. Z výsledků měření vyplývá, že stupeň odsíření je asi 50 - 60 % a závisí na množství a druhu použitého vápence. Při kontrolních měřeních byly zjištěny koncentrace NO<sub>x</sub> ve spalínách pod 200 mg/m<sup>3</sup>. K dodržení nízkých emisních limitů tuhých částic se obvykle nevystačí s mechanickými odlučovači.