

c) **Kotle s fluidním atmosférickým ohništěm**

Ve fluidním ohništi lze spalovat stejný rozsah tuhých paliv jako u kotlů s roštovým nebo práškovým ohništěm (viz **obr. 2.29**). Kdy můžeme hovořit o spalování ve fluidním ohništi je schematicky znázorněno na **obr. 2.30**.

I když princip spalování uhlí ve fluidní vrstvě byl znám již ve 20-tých letech (německý patent na Winklerův plynový generátor s částečným spalováním paliva pro získání potřebného tepla), tedy přibližně ve stejné době, kdy nastupovalo spalování prášku ve vznosu (prášková ohniště), nevzbudila tato technologie dostatečnou pozornost a pro spalování uhlí nebyla využita. Širokého uplatnění ale fluidní technologie doznala v oblasti chemického inženýrství. Teprve v 50-tých letech snaha o využití především intenzifikace sdílení tepla a hmoty ve fluidní vrstvě dala podnět ke vzniku komerčně využitelného fluidního ohniště typu IGNIFLUID (Francie) určeného pro spalování černých a antracitických uhlí obsahujících i prachový podíl.

Počátkem 60-tých let bylo u nás v tehdejší ÚVP Praha vyvinuto tzv. dvoustupňové fluidní ohniště pro spalování nízkovýhřevných druhů černých i hnědých uhlí s velkým obsahem popela, které dodávala ČKD Praha (a dosud dodává) pod názvem DUKLAFLUID.

V 80-tých letech se výrazně zvýšil zájem o využívání fluidních ohnišť (především pro možnost aditivního odsířování spalin dávkováním vápence), ale kromě ČKD Praha, která v této době dodávala teplárenské kotle jak systému IGNIFLUID, tak i DUKLAFLUID, se vývoj omezil jen na kotle velmi malých výkonů pro lokální využití. Teprve přístup k zahraničním technologiím umožnil i u nás počátkem 90-tých let nástup kotlů velkých výkonů s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou.

V současné době jsou tedy k dispozici tři komerčně využitelné technologie pro spalování uhlí. Tak jako nástup práškových ohnišť neznamenal zánik kotlů s roštovým ohništěm, tak ani kotle s fluidním ohništěm nejsou náhradou za oba předcházející typy kotlů, ale představují jejich vhodné rozšíření (doplnění). Pro každý typ ohniště se musí vždy hledat optimální podmínky pro jejich využití a to především z hlediska ekonomického a ekologického.

I přes relativně krátkou dobu od hromadného nástupu kotlů s fluidním ohništěm (přelom 70 a 80 let) vzniklo již několik systémů a jejich různých variant.

Základní dělení kotlů podle fluidní vrstvy je uvedeno na obr. 2.30 a podle tohoto hlediska rozlišujeme: (1)

- kotle s fluidním ohništěm se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou
- kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou.

c-1) Kotle s fluidním ohništěm se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou

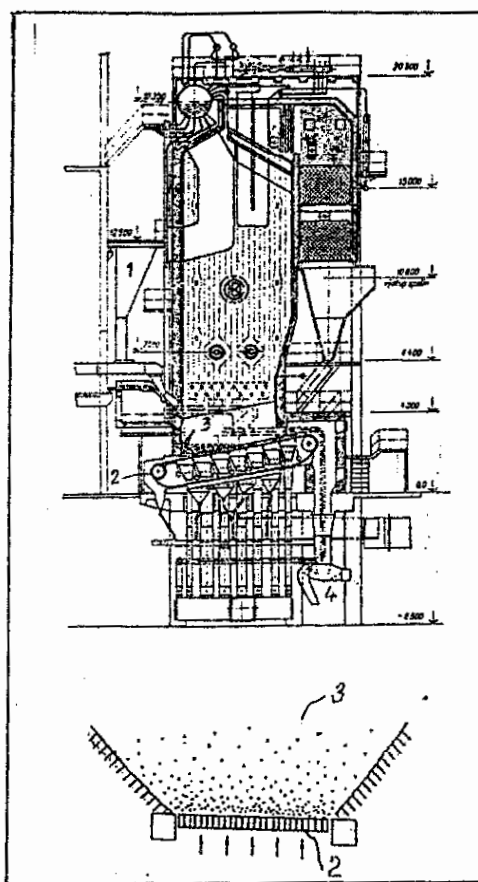
Pro tato ohniště je charakteristická nižší rychlost fluidační tekutiny (ale samozřejmě nad prahovou rychlostí fluidace), tím i menší expanze (výška) fluidní vrstvy a jasně ohraničená hladina fluidní vrstvy v požadované výšce nad fluidním roštem. Z hladiny fluidní vrstvy vystupují spaliny, které vynášejí i jemnou frakci popela (nebo nedostatečně vyhořelých částic paliva).

Ve fluidním ohništi parních kotlů je vždy polydisperzní fluidní vrstva obsahující jemnou i hrubou frakci. Ta část jemné frakce, která odchází se spaliny z fluidní vrstvy, sestává z částic, jejichž prahová rychlost úletu je nižší než je rychlost spalin nad hladinou fluidní vrstvy. Základ této části jemné frakce při spalování uhlí tvoří přímo odpovídající část jemné frakce uhlí přiváděná do fluidní vrstvy, nebo částice vzniklé rozpadem větších částic uhlí po jejich dopadu do žhavé fluidní vrstvy. (Některé druhy uhlí s nižší pevností a větším obsahem vody se při prudkém ohřátí po dopadu do žhavé fluidní vrstvy vlivem vnitřního prnutí rozpadnou.) Další část této jemné frakce vznikne vyhořením hořlaviny z větších částic uhlí nebo otěrem z větších popelových částic tvořících fluidní vrstvu. Pokud se pro odsířování spalin dávkuje do fluidní vrstvy vápenec, platí totéž i pro granulometrii dávkovaného vápence.

Z hlediska kontinuity vývoje fluidních ohnišť je nutné uvést, že ohniště se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou můžeme rozdělit na škvárující a neškvárující.

Pro ohniště se **škvárující fluidní vrstvou** je charakteristická vyšší teplota fluidní vrstvy než teplota měknutí popelovin spalovaného paliva. Částice popeloviny ve fluidní vrstvě se spékají a z ohniště se popelovina odvádí jako škvára. Odvod popelovin musí být proto proveden mechanicky, např. pásovým roštem.

Příkladem kotle se škvárující fluidní vrstvou je kotel typu IGNIFLUID na obr. 2.49. Dno ohniště tvoří pásový rošt 2 uložený šikmo nahoru směrem k odvodu škváry. Rošt



Obr. 2.49 Parní kotel s fluidním ohništěm typu IGNIFLUID

1) Zde jsou popisovány komerčně využitelné systémy, tedy ty co pracují při atmosférickém tlaku. Perspektivní systémy s tlakovou fluidní vrstvou budou popsány v další části skript.

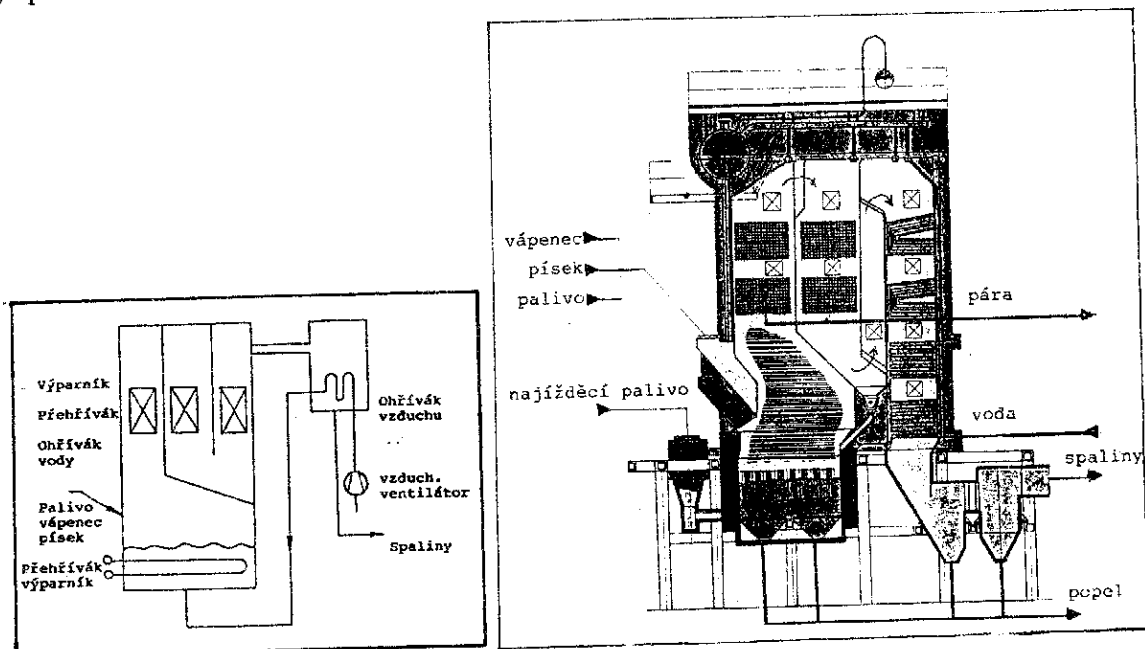
plní jak funkci fluidního roštu (ve vstupní nižší části) tak i roštu vynášecího a dohořivacího - v horní části. Protože ve fluidní vrstvě je výrazně intenzivnější sdílení tepla a hmoty než na klasickém roštu, není fluidní rošt proveden pod celým průřezem ohniště, ale ohniště je ve spodní části zúženo do tvaru výsypky v jejíž spodní části je teprve rošt. Schematicky je provedení roštu znázorněno ve spodní části obrázku. Palivo se vybírá ze zásobníku 1 a padá na hladinu fluidní vrstvy 3 vytvořené nad vstupní (nižší) částí roštu 2. Ve fluidní vrstvě 3 se palivo rychle zapálí a vyhořívá při teplotě cca 950°C až 1250°C, tedy při teplotě vyšší než je teplota měknutí popeloviny. Jemné částice paliva i popela jsou spalinami vyneseny z fluidní vrstvy, nespálené částice paliva dohořívají v ohništi nad fluidní vrstvou a jemné popelové částice prochází spolu se spalinami kotlem a musí být odloučeny v odlučovači prachu za kotlem.

Protože fluidní vrstva je vytvořena v rozšiřující se výsypce, rychlost spalin směrem k hladině fluidní vrstvy klesá. Tzn., že větší částice paliva fluidují ve spodní části fluidní vrstvy nad roštěm a menší částice pak fluidují v horní části fluidní vrstvy. Protože teplota ve fluidní vrstvě je vyšší než teplota měknutí popeloviny, částice popeloviny se slepují a vytváří větší škvárové kusy, které již nejsou schopny fluidace, klesají na rošt a jsou jím vynášeny směrem nahoru z fluidní vrstvy. Na roštu pak škvára dohořívá a padá do drtiče 4.

Pro ohniště se stacionární (bublinkovou) neškvárující fluidní vrstvou je charakteristická nižší teplota fluidní vrstvy než je teplota měknutí popeloviny. Částice popeloviny ve fluidní vrstvě se nespékají a lze je vypouštět ze dna nebo z hladiny fluidní vrstvy jako kapalinu.

c-1a) Kotle se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou – bez odlučování úletu

Klasickým příkladem takového kotle je parní kotel na **obr. 2.50**.

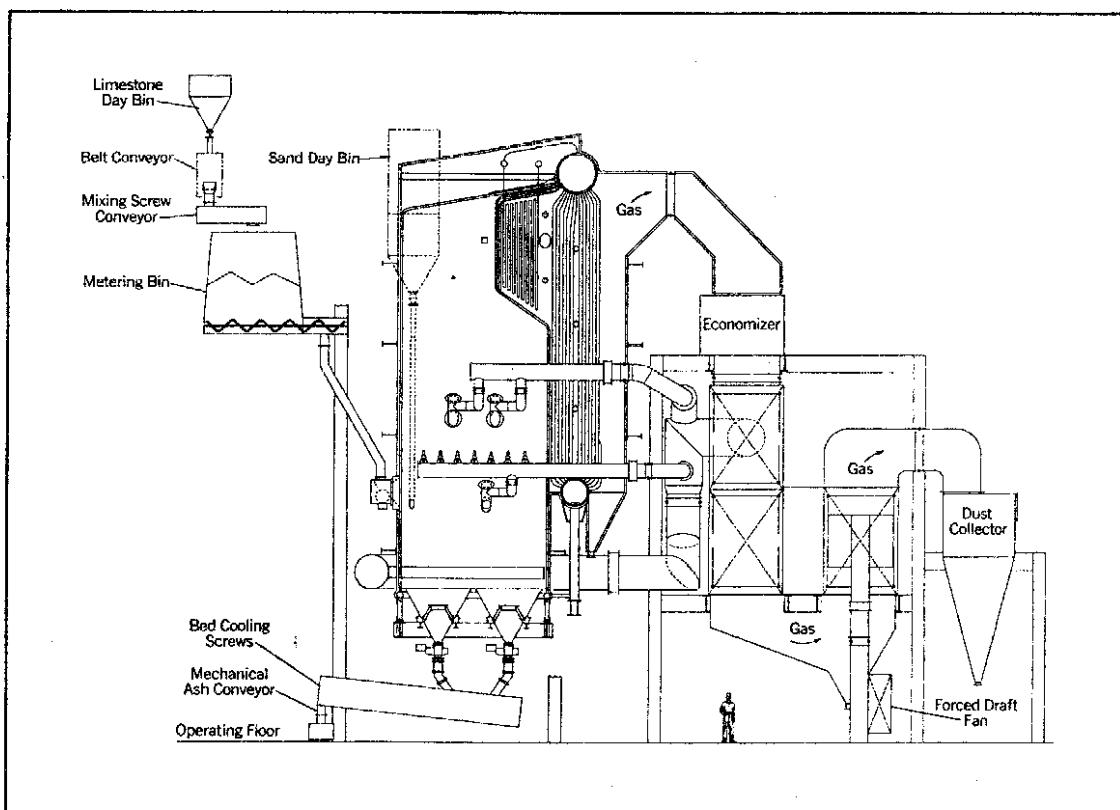


Obr. 2.50 Kotel s fluidním ohništěm se stacionární neškvárující fluidní vrstvou [25]

V levé části **obr. 2.50** je zjednodušené principiální schéma takového kotle, v pravé části je kotel o tepelném výkonu 15 MW až 40 MW. Ve spodní části ohniště je nad fluidním

roštem. vytvořena fluidní vrstva o výšce např. 1 m. Tato fluidní vrstva musí být chlazená, proto je v ní ponořená teplosměnná plocha zapojená jako výparník, případně v kombinaci s přehřívákem páry. Ve fluidní vrstvě se udržuje teplota cca 850°C (nižší než bod měknutí popeloviny). Spaliny, které vystupují z fluidní vrstvy o stejné teplotě, unáší i jemnější částice popela a také částice jen částečně vyhořelého paliva. Proto musí mít ohniště nad fluidní vrstvou takzvaný uklidňovací prostor, v němž se rychlost částic sníží natolik, že ty větší se vrátí zpět do fluidní vrstvy a ty menší, které jsou dále unášeny spaliny, mají možnost dalšího hoření, čímž se sníží nedopal v úletu. (Velký nedopal v úletu a krátká doba setrvání aditiva v ohništi a z toto plynoucí nižší stupeň odsíření spalin, patří mezi hlavní nevýhody tohoto ohniště). Spaliny spolu s popílkem proudí přes teplosměnné plochy do dalších tahů kotle. Ve výsypce pod druhým tahem odloučený popel se vrací svodkou zpět do fluidní vrstvy, tím se dále snižuje nedopal v úletu. Pro najíždění má kotel spalovací komoru na plyn nebo olej, vzniklé horké spaliny se přivádí pod fluidní rošt a přes přívody (kloboučky) do fluidní vrstvy.

Parní kotel s fluidním ohništěm se stacionární fluidní vrstvou vhodný pro vyšší výkony je uveden na **obr. 2.50b**.



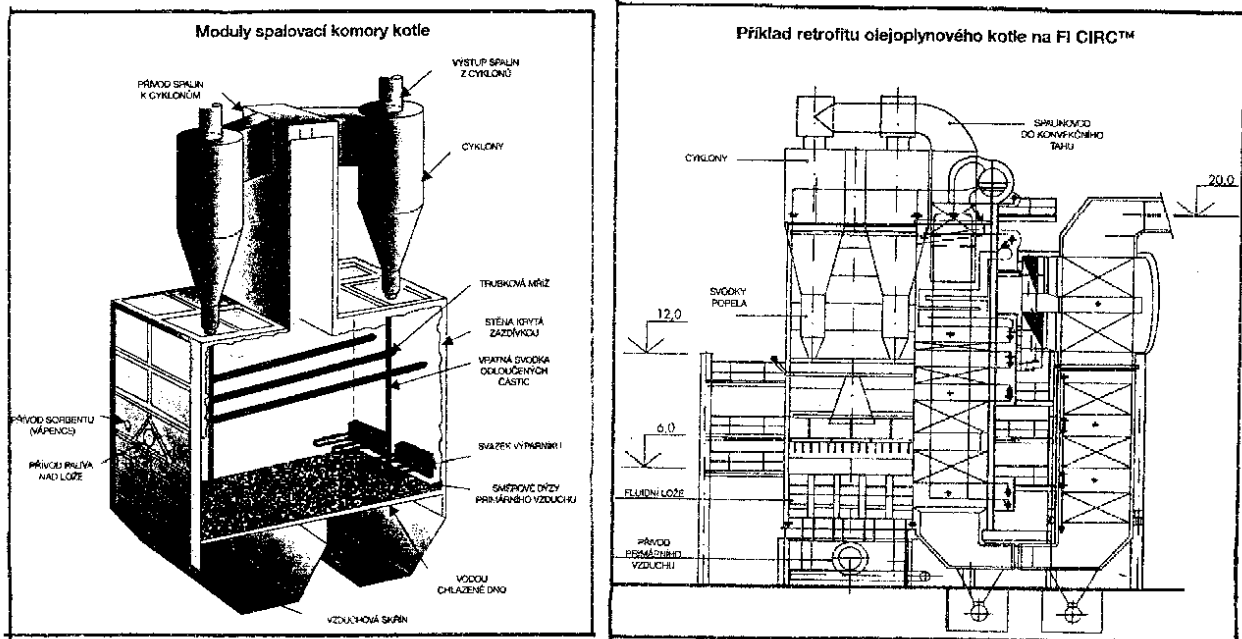
Obr. 2.50b Parní kotel se stacionární fluidní vrstvou vyšších výkonů [35]

Výrobce Babcock & Wilcox, udává, že tyto kotle lze použít až do výkonu cca 450 t/h.

Odloučený popílek se z výsypky pod druhým tahem vrací zpět do fluidní vrstvy a snižuje se tak obsah spalitelných látek v úletu. Spalovací komora kotle je provedená z membránových stěn a zapojená je jako výparník. Kotel může být v provedení s jedním bubnem nebo se dvěma bubny a konvekčním svazkovým výparníkem.

c-1b) Kotle se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou – s odlučováním úletu

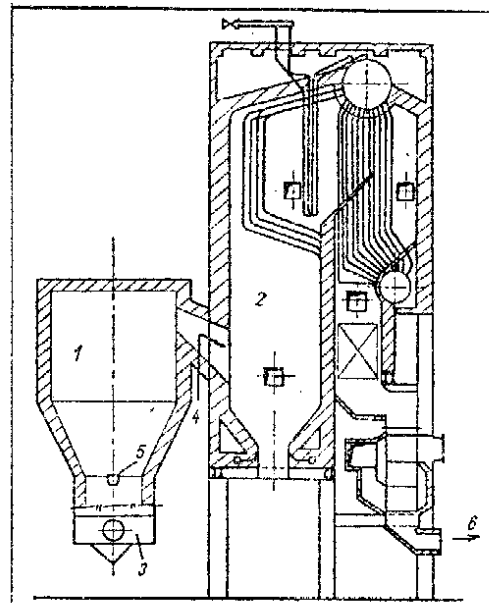
Tento typ kotle dnes dodává fa ALSTOM Power a schéma fluidního ohniště v levé části **obr. 2.50a**, v pravé části je využití této technologie pro retrofit olejového kotle. Kotle se dodávají pod obchodním názvem FI CIRC – fluidní kotle s cirkulujícími jemnými částicemi a jejich vývojem se zabývala fa COMBUSTION.



Obr. 2.50a Kotel s bublinkovou fluidní vrstvou – systém FI CIR s odlučováním úletu [33]

Kotle se dodávají s odlučovacími cyklony (do výkonu cca 265 t/h) – pak se jedná o modifikovaný systém cirkulující fluidní vrstvy s cirkulací jemných částic, nebo bez odlučovacích cyklonů – pak se jedná o klasickou stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou. Fluidní ohniště kotle je sestaveno z modulů (viz levá část obrázku), potřebný výkon ohniště se dosáhne sestavováním jednotlivých modulů. Konvekční část kotle (tlakový systém) je klasické konstrukce, 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.

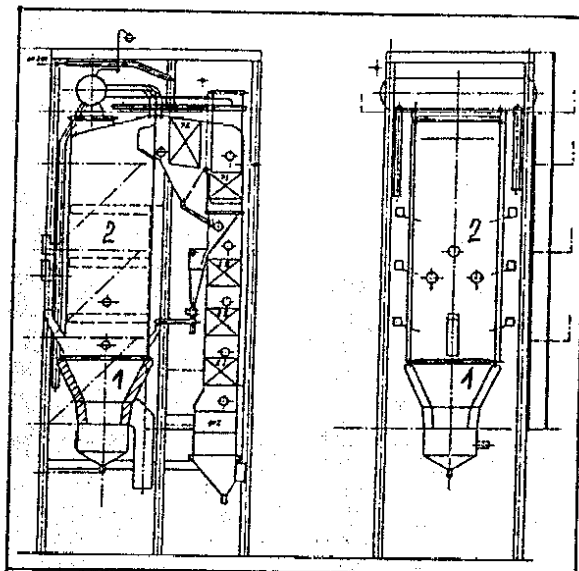
Svým způsobem do kategorie fluidních kotlů se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou patří i tzv. „dvoustupňové“ **fluidní ohniště** (tento název používá výrobce a je poplatný terminologii v počátku 60-tých let, z dnešního pohledu je nepřesný) dodávané firmou ČKD Praha pod názvem DUKLAFLUID [26]. Tento systém (v omezeném rozsahu byl využit jen v ČR) je znázorněn na **obr. 2.51**. Zařízení je vhodné pro spalování vysoce popelnatých druhů paliv s výhřevností od $5,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Sestává ze dvou hlavních částí a to z fluidního reaktoru 1 a klasického práškového kotle 2 (nebo roštového kotle). Fluidní reaktor není chlazený, stěny jsou provedeny z žáropevné vyzdívky. Spodní část reaktoru je kuželovitá a uzavírá ji fluidní rošt, pod



Obr. 2.51 Kotel s tzv. dvoustupňovým fluidním ohništěm DUKLAFLUID [26]

nímž je vzduchová komora 3. Palivo do reaktoru se přivádí přívodem 5, např. šnekovým dopravníkem. Ve spodní části reaktoru 1 je vytvořena fluidní vrstva, fluidační tekutinou je část spalovacího vzduchu kotle. (Primární vzduch).

Množství tohoto vzduchu je regulováno tak, aby bylo menší než je stechiometrické množství vzduchu, tzn., že ve fluidní vrstvě neprobíhá spalování, ale zplyňování paliva. Jemné částice částečně vyhořelého paliva jsou hořlavým plynem o teplotě cca 900°C vynášeny z fluidní vrstvy a kanálem jsou zavedeny do ohniště práškového kotle 2, kde společně obě složky dohořívají. Před vstupem do ohniště se přivádí zbytek spalovacího vzduchu (sekundární vzduch).



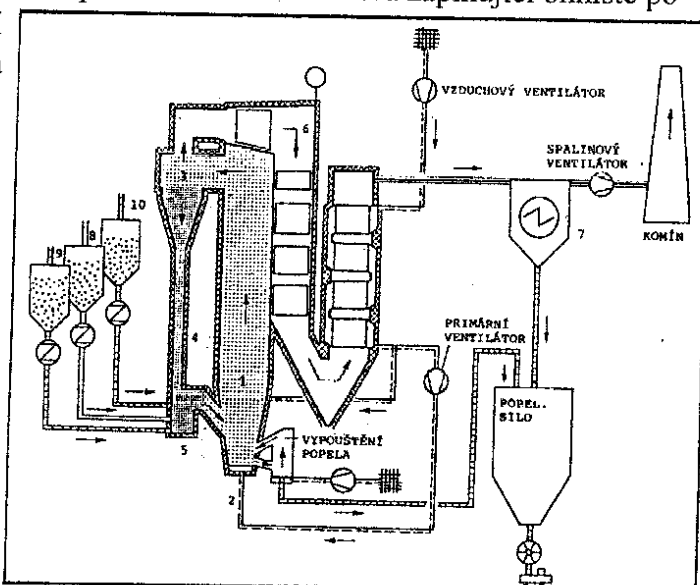
Obr. 2.52 Moderní kotel s tzv. dvoustupňovým fluidním ohništěm [17]

Trvalým zplyňováním a otěrem ve fluidní vrstvě se větší částice paliva postupně zmenšují a jsou vyneseny do ohniště kotle 2. Ze dna reaktoru se neprovádí pravidelný odvod popela, veškerý materiál fluidní vrstvy se postupně dopraví do kotle. Ze dna reaktoru se přerušovaně odvádí jen nefluidující částice, např. kámen apod.. Tento systém ohniště lze použít jak při výstavbě nového zařízení, tak i při rekonstrukci staršího kotle - reaktor se připojí k ohništi kotle. I toto ohniště prodělalo v 80-tých letech další vývoj a dnes výrobci nabízí pro nově budované zdroje kotle v provedení podle obr. 2.52. Fluidní reaktor 1 je uspořádán přímo ve spodní části ohniště 2 kotle. Reaktor je opět nechlazený, stěny jsou provedeny z žárovzdorné vyzdívky. Ohniště má klasické vychlazené membránové stěny zapojené jako výparník. V reaktoru, který pracuje s podstechiometrickým množstvím vzduchu se palivo zplyňuje a hořlavý plyn spolu s jemnou frakcí nevyhořelého paliva dohořívá po přivedení zbývající části spalovacího vzduchu v ohništi nad reaktorem.

c2) Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou

Pro tato ohniště je charakteristická silně expandovaná fluidní vrstva zaplňující ohniště po

celé výšce. Horní hranici fluidní vrstvy netvoří hladina, ale je určena odlučovacím zařízením (např. odlučovacím cyklonem), v němž se fluidní vrstva rozdělí na materiál fluidní vrstvy (popel, dále více či méně zreagované aditivum při odsiřování, eventuálně částečně vyhořelé palivo), který se vrací zpět do fluidní vrstvy nad dno ohniště, a dále na spaliny obsahující i neodloučenou jemnou frakci popela, které pak proudí přes teplosměnné plochy kotle do odlučovače prachu a dále do komína.



Obr. 2.53 Princip ohniště s cirkulující fluidní vrstvou [8]

Princip ohniště s cirkulující fluidní vrstvou je znázorněn na obr. 2.53. V tomto případě se za ohniště musí považovat celý systém cirkulace fluidní vrstvy. Spalovací komora 1 fluidního ohniště je ve spodní části zúžená do tvaru trychtýře, v jehož spodní části je upraven fluidní rošt pro přívod primárního vzduchu 2. Nad fluidním roštem je vytvořena silně expandovaná fluidní vrstva po celé výšce spalovací komory 1. Pod stropem spalovací komory 1 vstupuje fluidní vrstva do odlučovacího cyklónu 3. Odloučený materiál fluidní vrstvy se svodkou 4 přivádí do fluidního uzávěru 5, který tlakově odděluje spodní část spalovací komory 1 (přetlak) od odlučovacího cyklónu 3, kde se udržuje mírný podtlak, např. 50 Pa. Spaliny s jemnou frakcí materiálu fluidní vrstvy proudí přes druhý tah 6 kotle, kde jsou umístěny teplosměnné plochy kotle, (přehříváky, ohřívák vody a ohřívák vzduchu) do odlučovače prachu 7 a dále do komína.

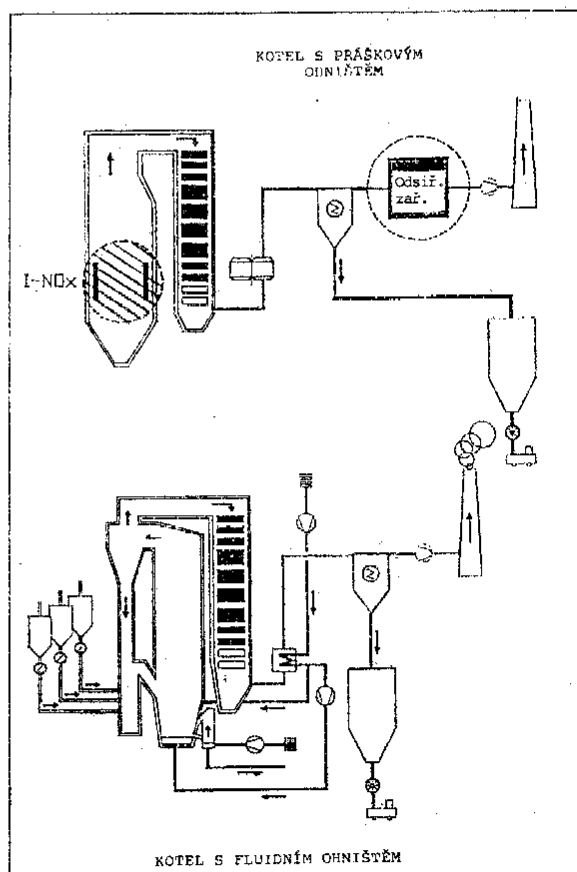
Uhlí se do spalovací komory 1 dopravuje obvykle mechanicky systémem dopravníků a podavačů z uhlého bunkru 8. Kromě uhlí se do spalovací komory 1 pro odsiřování spalin dopravuje pneumaticky i vápenec ze sila 9. První najetí kotle (v ohništi není materiál fluidní vrstvy) se provede s „cizím materiálem“, pískem nebo popelem, který je připraven v silu 10 materiálu fluidní vrstvy. Při odstavení kotle v případě revize nebo opravy, kdy se musí „vypustit“ z ohniště materiál fluidní vrstvy, je k dispozici silo 10, do něhož se přečerpá materiál fluidní vrstvy z ohniště (popel). Při opětovném najíždění se tento materiál ze sila 10 dopraví zpět do spalovací komory 1 k vytvoření najížděcí fluidní vrstvy.

U některých systémů se tento zásobník, či v něm uchovaný materiál fluidní vrstvy, používá i k regulaci (řízení) sdílení tepla a hmoty ve spalovací komoře.

V celém ohništi, tzn. ve spalovací komoře 1, cyklonu 3, svodce 4 a fluidním uzávěru 5 je přibližně konstantní teplota cca 860°C.

Popel z fluidního ohniště (správněji materiál fluidní vrstvy) se odvádí přes zařízení pro vypouštění popela do popelového sila. Toto zařízení může být v různém provedení a to jak v závislosti na obsahu popela v palivu, tak i na způsobu zapojení, které používá ta která firma. V případě schéma na obr. 2.53 zařízení pro vypouštění popela plní dvě funkce. Jednak funguje jako fluidní třídič, v němž se nastaví množství i velikost frakce odváděných popelovin z ohniště (jemnější frakce se vrací zpět do spalovací komory) a dále plní funkci chladiče odváděných popelovin. Fluidační tekutinou je spalovací vzduch (40°C) nebo recirkulované spaliny (130°C), kterými se odváděný materiál fluidní vrstvy (860°C) z ohniště ochladí na cca 500°C, a

na konečných cca 130°C se ochladí např. ve vodou chlazeném vynášecím šnekovém dopravníku. Chlazení ve fluidní vrstvě ve vypouštěcím zařízení nepředstavuje ztrátu tepla, teplo se fluidační tekutinou recirkuluje zpět do ohniště. Odváděný materiál



Obr. 2.54 Porovnání kotle s práškovým a fluidním ohništěm

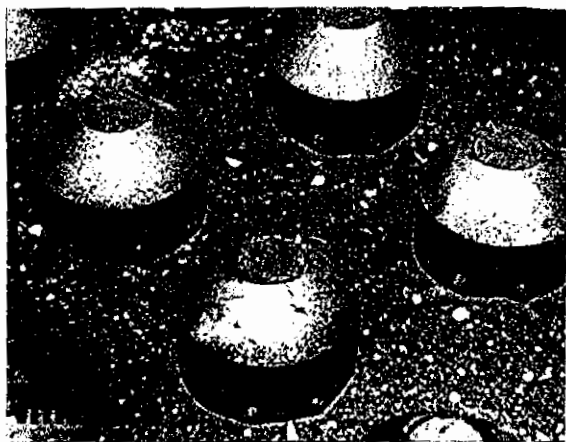
fluidní vrstvy z ohniště, ochlazený na cca 130°C, se skladuje v popelovém silu spolu s popílkem odloučeným v odlučovači prachu 7 za kotlem. Jednou z velkých předností fluidního ohniště s cirkulující fluidní vrstvou je jeho schopnost dosáhnout velký stupeň odsíření spalin při aditivním odsiřování prostým přidáváním např. vápence do fluidního ohniště. Na **obr. 2.54** je schematicky znázorněno porovnání kotlů s práškovým a fluidním ohništěm s odsiřováním spalin. Parametry páry, výkonnost kotlů i garantované emise SO₂ a NO_x jsou v obou případech stejné. Budou-li se srovnávat oba kotle bez ohledu na emise, tedy bez odsiřování, jen na základě výkonnosti a parametrů páry, pak z hlediska investičních nákladů bude výrazně lacinější kotel s práškovým ohništěm. Provozní náklady v tomto případě, pokud se pro fluidní kotel dodává již drcené uhlí cca 0 - 10 mm příp. 0-15 mm, jsou srovnatelné nebo jsou u kotle s fluidním ohništěm nižší. Větší vlastní spotřeba u vzduchových ventilátorů je srovnatelná nebo je nižší než vlastní spotřeba na sušení a mletí uhlí. Rovněž náklady na údržbu mlýnice u práškového kotle zvyšují provozní náklady. U kotle s fluidním ohništěm se zase provozní náklady zvyšují o náklady na údržbu vyzdívky ohniště.

Zcela jinak bude vypadat porovnání pokud se oba kotle budou hodnotit včetně zařízení nutných pro dodržení garantovaných emisních hodnot NO_x a SO₂. U kotle s práškovým ohništěm uvažujme proto realizaci některé známé metody odsiřování spalin za kotlem a dále realizaci primárních opatření v ohništi kotle pro dodržení emisí NO_x. V takovém případě vychází u kotle s fluidním ohništěm investiční náklady většinou nižší, provozní náklady se musí posuzovat případ od případu, rozhodující bude pravděpodobně použitý systém odsiřování a rozsah nutných primárních opatření u kotle s práškovým ohništěm. (Vlastní spotřeba el. energie pro odsiřování, obsluha odsiřovacího zařízení, recirkulace spalin atd.)

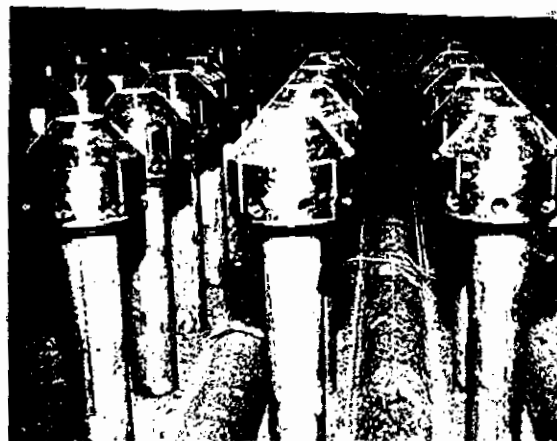
c2-1) Kotle s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla

Tyto kotle uvedla na trh na přelomu 70 a 80-tých let finská společnost A. AHLSTROM pod obchodním názvem PYROFLOW. Princip funkce lze popsat podle schéma na **obr. 2.53**. Ve spalovací komoře 1 se nad fluidním roštem, který tvoří její dno, vytvoří silně expandovaná fluidní vrstva, která pod stropem spalovací komory vstupuje do odlučovacího cyklónu 3.

Za provozu po odstavení kotle
(Fluidní vrstva je vypuštěna)



Při montáži



Obr. 2.55 Fluidní rošt [8]

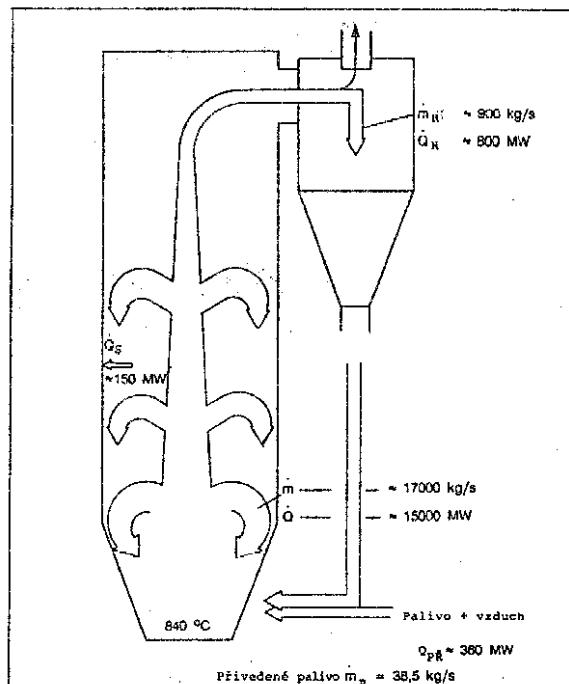
V něm se odloučí materiál fluidní vrstvy od spalin a svodkou 4 se vede přes fluidní uzávěr 5 (sifon) zpět do zúžené části spalovací komory. V celém ohništi je konstantní teplota cca 860°C. Spodní část spalovací komory 1 je zúžená do tvaru trychtýře, jehož dno tvoří fluidní rošt pro přívod primárního spalovacího vzduchu 2. Možné provedení fluidního roštu je vidět na obr. 2.55. V tomto provedení je fluidní rošt sestaven z trubkových přívodů, které jsou spodní částí přivařeny k otvorům v membránové stěně (v páscích 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.

Zbývající část spalovacího vzduchu (sekundární vzduch) se přivádí přes stěny trychtýřovité spodní části spalovací komory a to v několika úrovních nad sebou (např. ve třech úrovních). Celá spalovací komora 1 fluidního ohniště má stěny provedené jako plynotěsné svařované membránové stěny, které jsou zapojené jako výparník kotle. V oblasti trychtýře ve spodní části jsou stěny pokryty vrstvou žárovevné hmoty. Tzn. že stěny trychtýře jsou izolované a fluidní vrstva ve spodní části spalovací komory není chlazená. Rovněž odlučovací cyklon 3, svodka 4 a fluidní uzávěr 5 nejsou chlazené a stěny mají vyzděny žárovevnou vyzdívku. Teplota fluidní vrstvy v ohništi se udržuje na konstantní (žádané) hodnotě změnou rozdělení přívodu vzduchu ve spodní trychtýřovité části. Princip řízení teploty je uveden na obr. 2.56 pro ohniště o výkonu cca 360 MW.

V trychtýřovité spodní části spalovací komory fluiduje veškerý materiál, který je v ohništi, tedy i největší částice přivedeného paliva. (Černé uhlí např. 0 -10 mm, hnědé uhlí např. 0 -15 mm). V popisovaném příkladu se do ohniště přivádí množství paliva 38,5 kg.s⁻¹. Tepelný tok přivedený palivem a vzduchem je cca 360 MW.

V ohništi existuje dvojitý oběh (cirkulace) popela (materiálu).

Externí cirkulace se uskutečňuje přes odlučovací cyklón a interní cirkulace probíhá ve spalovací komoře. Ve spodní trychtýřovité části dochází k intenzivní cirkulaci po výšce trychtýře a hmotnostní průtok dosahuje hodnoty až 17 000 kg.s⁻¹. Ze srovnání této hodnoty s množstvím přivedeného paliva (38,5 kg.s⁻¹) vyplývá, že fluidní vrstvu tvoří z naprosté většiny částice cirkulujícího popela o různé velikosti. Jemnější frakce cirkulujícího popela obíhá přes cyklón v celém ohništi, kdežto hrubší frakce popela se účastní interní cirkulace po výšce spalovací komory. Změnou rozdělení přívodu vzduchu po výšce trychtýřovité části se mění hmotnostní průtok i velikost vynášených částic do vyšších částí spalovací komory. Větší částice se vrací po dosažení výšky rovnovážného stavu



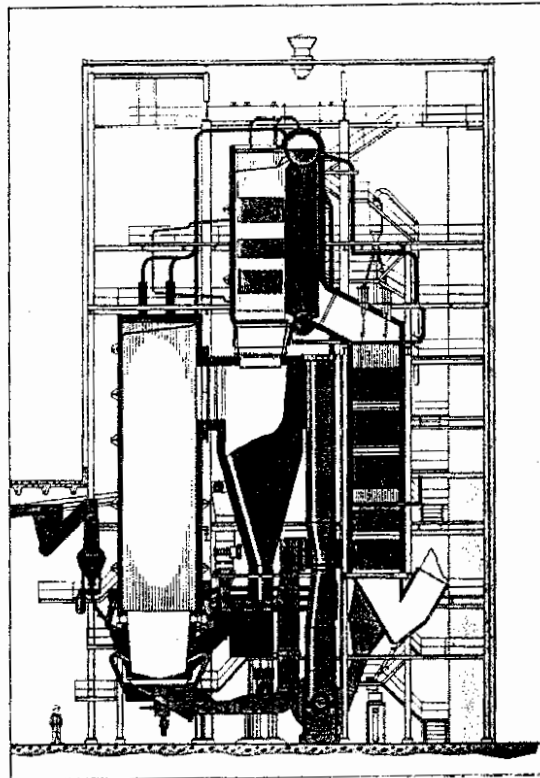
Obr. 2.56 Princip řízení teploty fluidní vrstvy [8]

podél stěn spalovací komory zpět do trychtýřovité části (interní cirkulace) a zajišťují tak transport tepla z nechlazené fluidní vrstvy v trychtýřovité části do stěn po celé výšce spalovací komory. V popisovaném případě je tepelný tok do stěn spalovací komory cca 150 MW. V cyklónu se odloučí částice větší než cca 0,1 mm a hmotnostní průtok zpět cirkulujícího materiálu je cca 900 kg.s. Tepelný tok přivedený tímto materiálem zpět do trychtýřovité části ohniště je cca 800 MW.

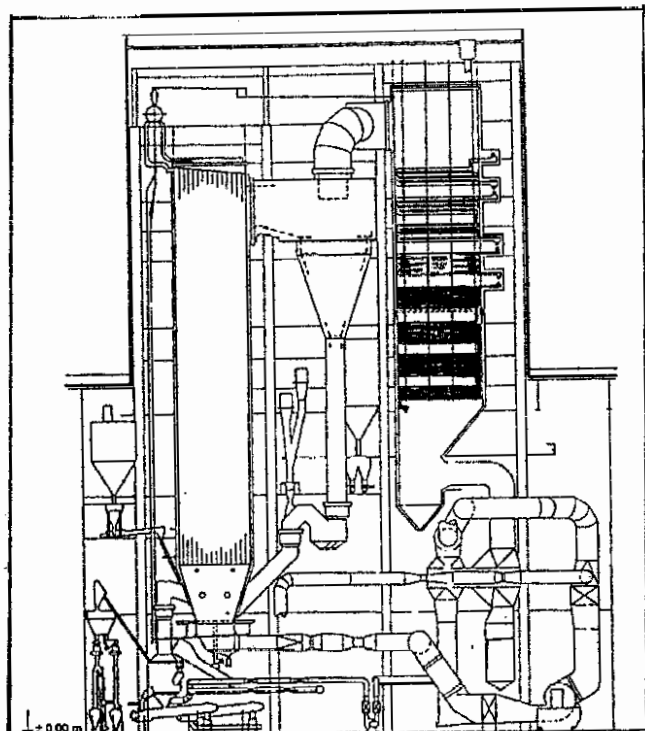
c2-1a) Fluidní kotle bez externího výměníku s odlučovacím cyklonem – klasický cyklon

Tento typ kotle v provedení firmy AHLSTROM (dnes Foster Wheeler). Výkon kotle je 18 kg.s^{-1} , parametry páry jsou 6,4 MPa a 450°C . Spodní část spalovací komory je zúžená do tvaru trychtýře, jehož stěny jsou pokryty vrstvou žáropevné hmoty. Veškerý materiál fluidní vrstvy odloučený v cyklónu se vrací zpět do spalovací komory. Cyklón, svodka i fluidní uzávěr nejsou chlazeny a jsou vyzděny žáropevnou hmotou. Spaliny z cyklónu proudí přes přehřívák páry nad cyklónem do druhého tahu, ve kterém je umístěn konvekční výparník (dvoububnový) a dále přes ohřívák vody a ohřívák vzduchu. Na dalším obr. 2.58 je uveden opět kotel s ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou bez externího výměníku tepla s klasickým cyklonem, který postavila VÍTKOVICE, a. s. na základě licence – ALSTOM Power Boiler (dříve EVT) Stuttgart). Výkon kotle je 97 kg.s^{-1} , parametry páry 9,4 MPa a 505°C . Palivo i vápenec se dopravuje do popelového skluzu před vstupem do spalovací komory. Kotel má ohniště s jednou spalovací komorou a dvěma odlučovacími cyklóny, ale jen jeden druhý tah (samostatné těleso) s přehříváky a ohřívákem vody.

Spodní část spalovací komory je opět zúžená do tvaru trychtýře, stěny jsou provedeny ze žáropevné hmoty. Veškerý materiál fluidní vrstvy odloučený v cyklónech se vrací



Obr. 2.57 Kotel s fluidním ohništěm AHLSTROM [27]

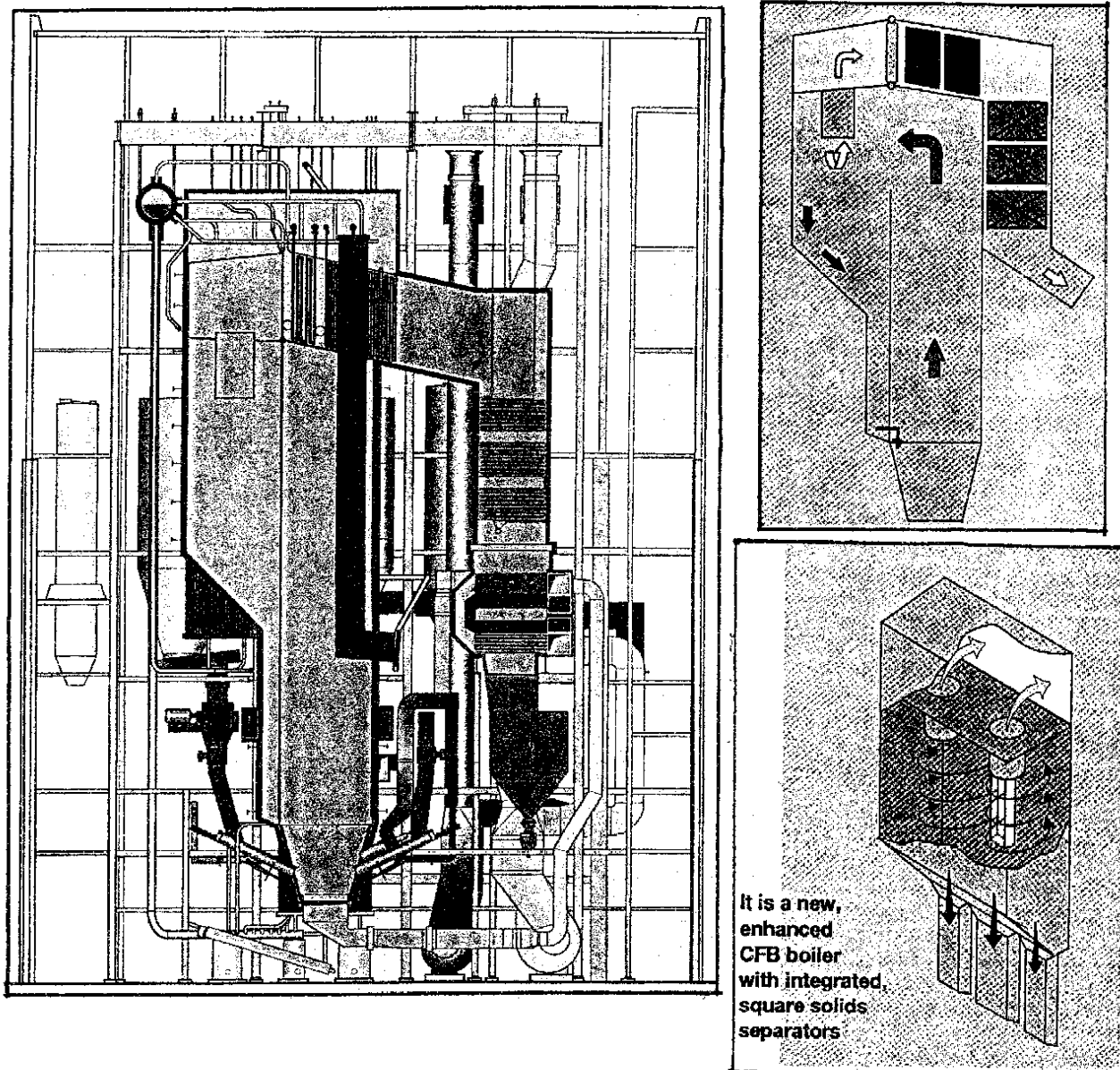


Obr. 2.58 Kotel s fluidním ohništěm a.s. VÍTKOVICE [8]

neochlazený zpět do spalovací komory. Cyklóny, svodky i fluidní uzávěry jsou nechlazené, vyzděné žárovevnou vyzdívkou.

c2-1b) Fluidní kotle bez externího výměníku s modifikovaným odlučovačem

Tento typ kotle dnes dodává fa Foster Wheeler pod obchodním názvem Compact a příklad kotle o výkonu 188 t/h je uveden na **obr. 2.58a**, v jehož levé části je naznačen



Obr. 2.58a Fluidní kotel bez externího výměníku s modifikovaným odlučovačem – Compact [34]

princip funkce odlučovače a v pravé části je dispoziční uspořádání celého kotle. Kotel nemá samostatně situovaný odlučovací cyklon (tak jak např. na **obr. 2.57; 2.58; 2.61**), ale odlučovací prostor je vytvořen v jednom tělese se spalovací komorou, od níž je oddělen mezistěnou. Stěny odlučovacího prostoru jsou rovněž provedeny jako plynotěsně svařené membránové stěny. Fluidní vrstva ze spalovací komory protéká svislým obdélníkovým otvorem v dělicí stěně pod stropem do odlučovacího prostoru, v jehož stropě jsou v daném případě upraveny dva krátké nátrubky.

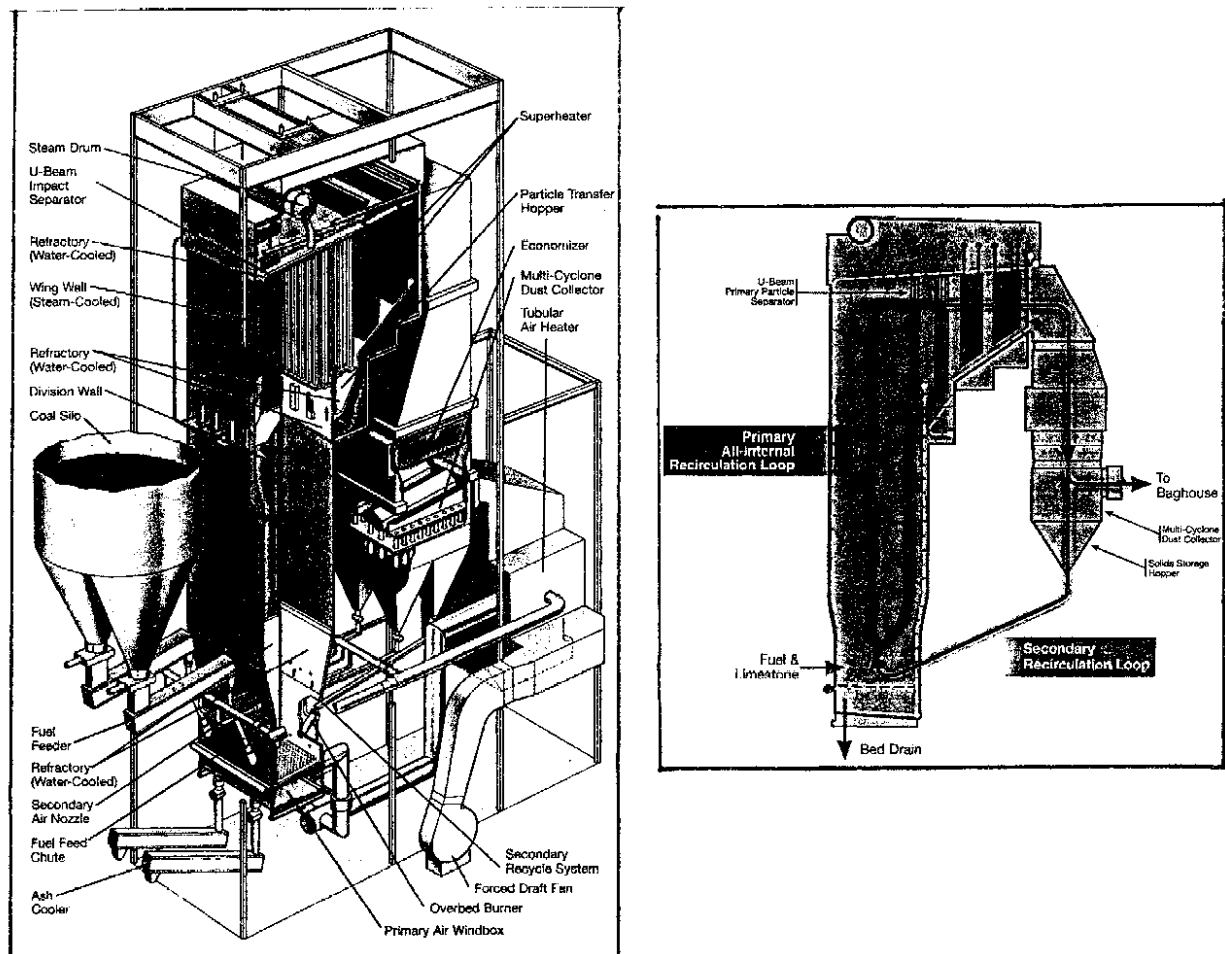
K odloučení větší části materiálu fluidní vrstvy dochází v tomto případě převážně změnou směru proudění a spaliny s jemnou frakcí materiálu fluidní vrstvy proudí přes nátrubky do vodorovného spalínového kanálu a do druhého tahu kotle s konvekčními teplosměnnými plochami.

Odloučený materiál fluidní vrstvy (hrubší frakce) se svislými kanály na dělicí stěně vrací zpět do trychtýřovité spodní části spalovací komory nad fluidní rošt.

Kotel je viditelně kompaktní konstrukce, odpadá těžká vyzdívka odlučovacích cyklonů a popelových svodek. (V odlučovacím prostoru u provedení COMPACT je jen lehká vyzdívka.) Množství odloučeného materiálu bude u tohoto provedení zřejmě nižší než u kotle s klasickým cyklonem, takže např. při spalování uhlí s velmi nízkým obsahem popela (nebo s popelem, který má silný sklon k rozpadu) se u tohoto systému musí řešit jak zajistit vytvoření a především udržení fluidní vrstvy.

c2-1c) Fluidní kotle bez externího výměníku s odlučovací mříží (Babcock Wilcock – systém IC-CFB)

Provedení tohoto kotle je na obr. 2.58b, v levé části obrázku je naznačeno schéma cirkulace materiálu fluidní vrstvy, v pravé části je uveden příklad uspořádání kotle. Jak je vidět, tak kotel je rovněž kompaktní a vychází z konstrukce klasického práškového dvoutahového kotle. Dno spodní trychtýřové části spalovací komory je provedeno jako



Obr. 2.58b Parní kotel s fluidním ohništěm systému IC-CFB (s odlučovací mříží) [35]

fluidní rošt. fluidní vrstva expanduje až pod strop spalovací komory a do vodorovného spojovacího tahu proudí přes dva stupně odlučovače materiálu fluidní vrstvy, které jsou provedeny jako odlučovací mříž z U profilů.

Odloučený materiál fluidní vrstvy se vrací zpět do spodní části spalovací komory – tento okruh se nazývá primární (interní) recirkulací materiálu fluidní vrstvy.

Spaliny s neoddělenou jemnější frakcí proudí dále přes druhý konvekční tah kotle a další část materiálu fluidní vrstvy se odloučí v multicyklonu, který je umístěn mezi ohřívákem vody a spalínovým ohřívákem vzduchu.

Odloučený materiál se vrací opět zpět do spodní části spalovací komory – tento okruh se nazývá sekundární (vnější) recirkulací materiálu fluidní vrstvy.

c2 -2) Kotel s fluidním ohništěm s cirkulující fluidní vrstvou s externím výměníkem tepla

Tento systém ohniště uvedla na trh začátkem 80-tých let německá společnost LURGI.

Princip funkce je znázorněn na obr.

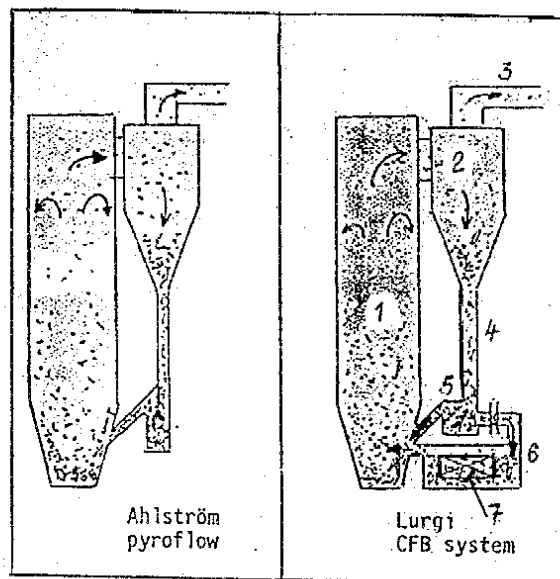
2.59. Provozní schéma je na obr. **2.60.**

Pro srovnání je v levé části obrázku 2.59 schéma ohniště AHLSTROM. Ve spalovací komoře 1 je nad fluidním roštem vytvořena silně expandovaná fluidní vrstva, která pod stropem spalovací komory vstupuje do odlučovacího cyklónu 2. V něm se odloučí materiál fluidní vrstvy od spalin, které se pak spolu s jemnou frakcí popela vedou kanálem 3 do konvekčního tahu kotle.

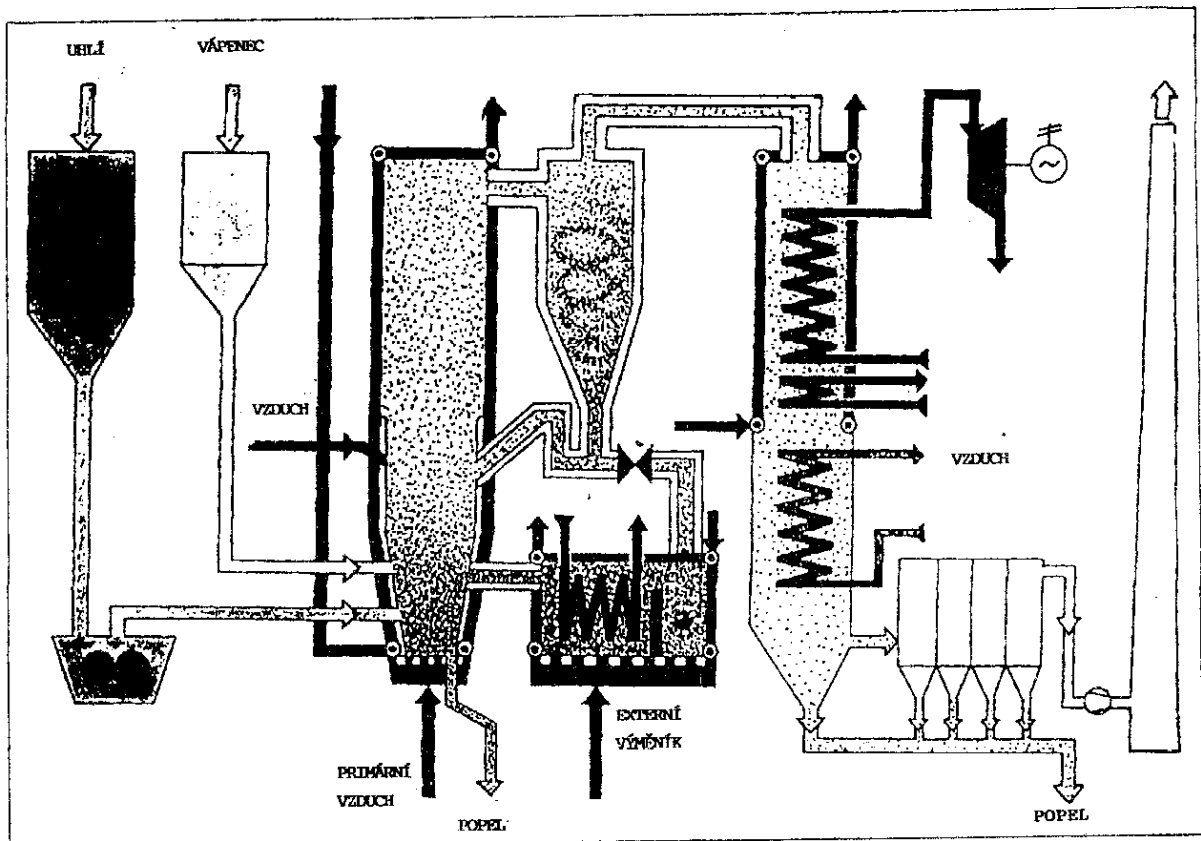
Odloučený materiál fluidní vrstvy se z odlučovacího cyklónu vede svodkou 4 do fluidního uzávěru 5, z něhož lze veškerý odloučený materiál o původní teplotě např. 860°C, vrátit zpět do spalovací komory. Až potud jsou si oba systémy podobné.

Systém LURGI se odlišuje způsobem řízení tepelného režimu ve spalovací komoře. Spolu se změnou množství primárního a sekundárního vzduchu se pro řízení teploty v ohništi využívá i externí výměník tepla 6. Odloučený materiál mající teplotu fluidního ohniště, např. 860°C, se před vstupem do fluidního uzávěru 5 zvláštním jehlovým ventilem rozdělí na část, která proudí přímo přes fluidní uzávěr do spalovací komory 1. Dále na část, která se vede do externího výměníku 6, kde se ochladí např. na 600°C a teprve pak se vrací do spalovací komory 1. Tato část materiálu fluidní vrstvy se ve spalovací komoře ohřeje na původní teplotu (např. 860°C), na tento ohřev se spotřebuje část tepla uvolněného spálením paliva ve spalovací komoře 1. Změnou poměru materiálu vráceného do spalovací komory přímo z fluidního uzávěru 5 a materiálu jdoucího přes externí výměník 6, se mění tepelná bilance spalovací komory.

(Změní se velikost toku tepla přivedeného zpět do spalovací komory materiálem fluidní vrstvy odloučeným v cyklónu). Externí výměník tepla 6 je proveden jako fluidní



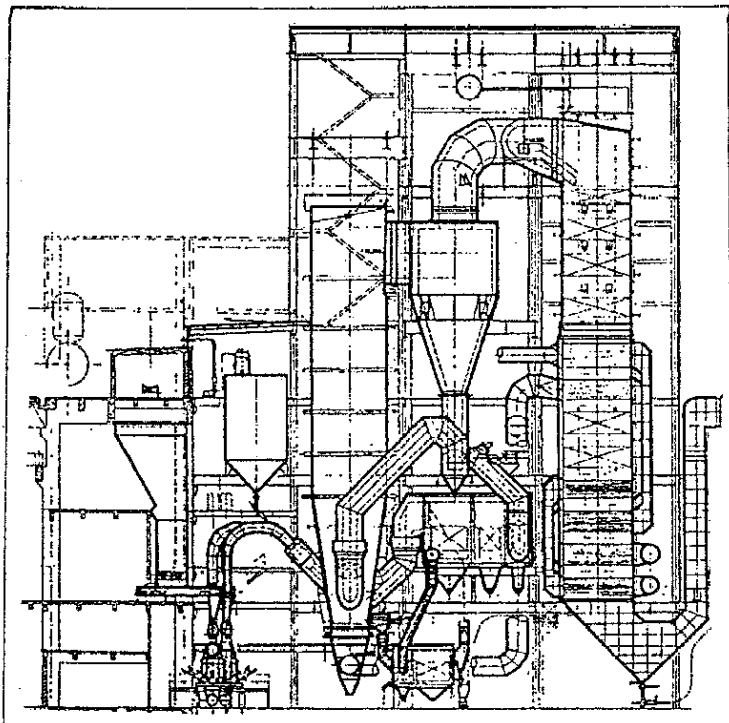
Obr. 2.59 Princip fluidního ohniště s externím výměníkem - LURGI



Obr. 2.60 Provozní schéma fluidního kotle s externím výměníkem tepla LURGI [28]

výměník tepla s teplosměnnými plochami 7 ponořenými ve stacionární fluidní vrstvě, kterou tvoří vracený materiál fluidní vrstvy cirkulující do spalovací komory.

Chladicí teplosměnné plochy 7 jsou zapojené jako výparník a přehřívák kotle. Jako fluidační tekutina v externím výměníku 6 je použita část spalovacího vzduchu, která se pak zavede do spalovací komory 1. Spodní část spalovací komory 1 je zúžená do tvaru trychtýře a stěny jsou pokryty vrstvou žáropevného materiálu až nad místo připojení fluidního uzávěru 5 ke komoře 1. Cyklón, svodka, fluidní uzávěr a svodky ke spalovací komoře



Obr. 2.61 Kotel s fluidním ohništěm systém LURGI [29]

i k externímu chladiči jsou nechlazené, opatřené žárovzdornou vyzdívkou. Externí chladič může mít stěny nechlazené s žárovzdornou vyzdívkou nebo chlazené stěny, pak jsou provedené jako plynotěsné membránové stěny. Příklad takové kotle je na **obr. 2.61**. Jedná se o kotel, který v licenci postavila a.s. SES Tlmače.

Kotel má samostatné ohniště (které sestává ze spalovací komory, dvou odlučovacích cyklonů s fluidními uzávěry a jednoho externího výměníku tepla) a samostatný druhý tah, v němž jsou přehříváky, ohřívák vody a ohřívák vzduchu.

Výkonnost kotle je $44,4 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$, parametry páry 9,6 MPa a 540°C . Externí výměník je umístěn pod odlučovacími cyklony a má samostatný skluz popela do spalovací komory. Palivo z uhlého bunkru se nejdříve upravuje na požadovanou velikost (0-10 mm) v drtičích a z nich se pak vede samostatnými vstupy přes přední stěnu do spalovací komory. Samostatně se přes přední stěnu dopravuje i vápenec a sekundární spalovací vzduch.

V kotli lze spalovat přídavně s uhlím i vysokopeční plyn a to asi do 30% - 40% příkonu kotle.