

ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICCE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

Spalování paliv - Kotle

Ing. Jan Andreovský Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalovací zařízení

- Ohniště

- Hlavní kriteria

Ohniště je prostor, kde se průběžně spaluje palivo za účelem uvolnění tepla.

- Střední měrné tepelné zatížení ohniště q_v [kW/m³]. Místní tepelné zatížení není u vybraných ohnišť stejné a mění se se stupněm vyhoření. U některých ohnišť se dále posuzuje i měrné zatížení hořákového pásma (kritérium pro zastruskování).

$$\bar{q}_v = \frac{M_{pv} Q_i^r}{V_o} \quad [kW / m^3]$$

Ohniště	q_v [kW/m ³]
Roštové	100 – 400
Granulační práškové	100 – 200
Výtavné práškové	150 – 300
Cyklón svislý	800 – 1200
Cyklón vodorovný	3000 – 6000
Olejová	200 – 2000
Plynová	200 – 2000
Fluidní	500 - 3000

- Střední měrný tok do výhřevných ploch - poměr tepelného toku do výhřevných ploch ohniště vůči plochám ohniště [kW/m²]
 - Poměrné předané teplo do výhřevných ploch – poměr celkového tepelného toku do výhřevných ploch vůči teplu v palivu a teplu z recirkulace, bez tepla ve strusce a popílku).
 - Měrné průřezové zatížení ohniště q_v [kW/m²]. $\bar{q}_s = \frac{M_{pv} Q_i^r}{S_o} \quad [kW / m^2]$
 - Tvarový faktor ohniště – určení míry využití ohniště pro přenos tepla do prac. látky
 - Zatěžovací číslo – měřítko intenzity přenosu a uvolnění tepla
 - Štíhlost ohniště,
 - Záchyt popelovin
 - Velikost výhřevné plochy v ohništi

Kotle – Spalovací zařízení

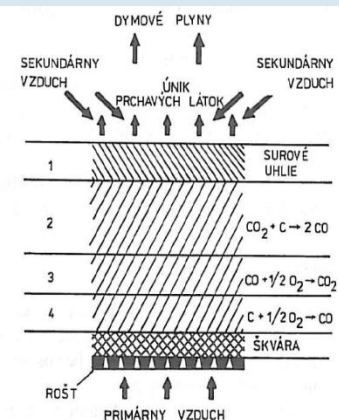
- **Ohniště**

- Funkce a zásady návrhu a provedení
- Správně fungující a vhodně navržené ohniště
 - zajišťuje dokonalé průběžné spalování paliva s optimem vzduchu a s nejvyšší možnou účinností
 - umožňuje spalování širšího druhu paliv při výrazném nezhoršení účinnosti kotle
 - spaliny a tuhé zbytky nesmí snižovat provozní periodu
 - minimalizuje nadměrný vznik CO, NO_x a dalších emisí
 - regulace a stability hoření musí být účinná ve všech provozních stavech výkonového rozsahu kotle, zejména na nízkých a maximálních výkonech.
 - vhodná je minimalizace zástavbových nároků z hlediska velikosti ohniště
 - stěny ohniště musí dostatečným způsobem odvádět teplo (výchřevné plochy) ze spalin aby bylo potlačeno měknutí popelovin a dodrženy teplotní podmínky stěn ohniště
 - Ohniště musí být maximálně těsné, z hlediska hlavních a pomocných technologií energeticky málo náročné, provedení ohniště musí být dostatečně odolné proti opotřebení a úbytku materiálů, konstrukce musí vykazovat tuhost atd.

Kotle – Spalovací zařízení

• Roštová ohniště

- Podstata roštového spalování
- V roštovém ohništi se spaluje kusovité palivo v tzv. klidné vrstvě, je sestaveno z vlastního spalovacího prostoru (dvě stěny a přední/zadní klenba), roštem na dně, palivovou násypkou a hradítkem, škvárovým jízdkem a výsypkami a zařízením pro přívod a regulaci spal. vzduchu. Rošt je sestaven z nosné konstrukce, roštnic a u průmyslových kotlů hnacím ústrojím.
- Rošt zajišťuje:
 - Vytvoření a udržení vrstvy paliva o požadované tloušťce a prodyšnosti s minimálním propadem zrn
 - Optimální přívod spalovacího vzduchu
 - Postupné vysoušení, zahřátí a zápal paliva, hoření a vyhoření zrn.
 - Shromáždění tuhých zbytků
 - Regulaci výkonu kotle
- V průběhu spalování se vyskytují na roštu fáze – sušení, odplynění prchavé hořlaviny (250°C), hoření prchavé hořlaviny a zapálení tuhé, hoření, dohořívání. Pevné rošty (případně s pohazovači) mají tento průběh po výšce vrstvy, pásové a přesuvné ve směru délky roštu.

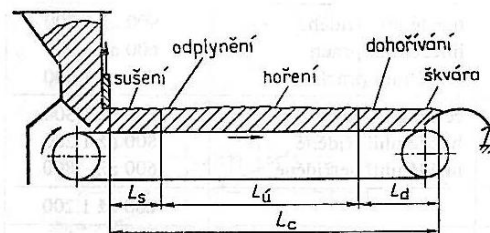
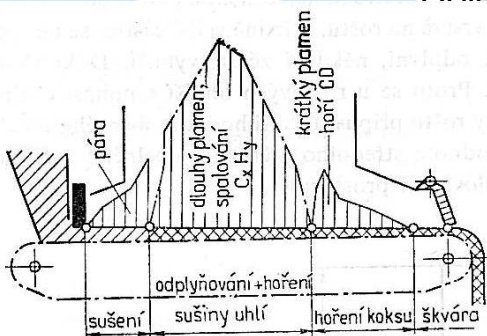
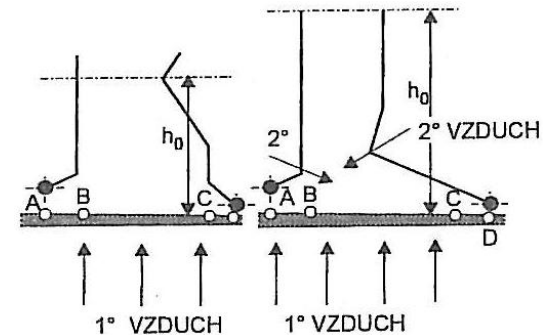


- 1 – destilační oblast
- 2 – redukční oblast
- 3 – druhá oxidační oblast
- 4 – první oxidační oblast
- 5 – škvára

Kotle – Spalovací zařízení

• Roštová ohniště

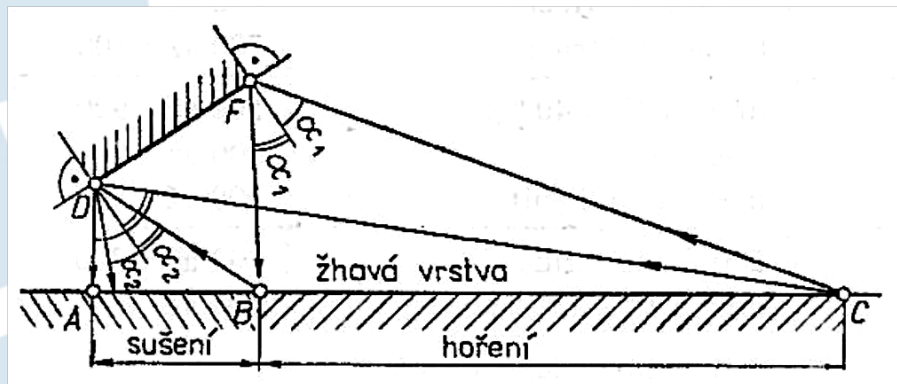
- Hlavní parametry a tvary
- Pro roštová ohniště se určuje tzv. hrubá plocha roštu, světlá plocha roštu (prim. vzduch) a jejich rozměry vychází z tzv. měrného tepelného zatížení roštu.
- Rozděluje se spalování dle spodního nebo horního zápalu – určení smyslu prohořívání.
- Při provedení a spalování na roštu je nutné dbát na vhodné tvarování dodávky paliva – při běžném nasypání dochází k vytřídění zrn a nerovnoměrnosti spalování na roštu (velká zrna na kraji, malá zrna uprostřed). Při využití pohazovačů je efekt minimalizován – vyhoření za letu.
- Základní koncepce roštových ohnišť
 - **Vlevo** – s jedním ohniskem
Pro nízký podíl prchavé hořlaviny
 - **Vpravo** – s dvěma ohnisky hoření
Pro větší obsah prchavé hořlaviny (seškraceno, sekundární vzduch)
 - **Dole** – účinné délky roštu – ovlivnění délek roštu z hlediska paliva (voda/sušení)



Kotle – Spalovací zařízení

- **Roštová ohniště**

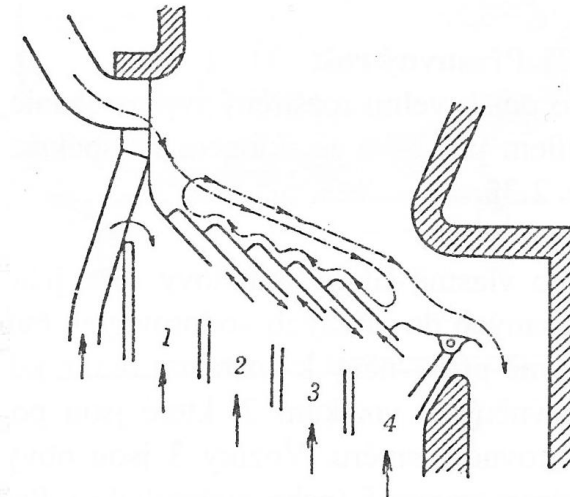
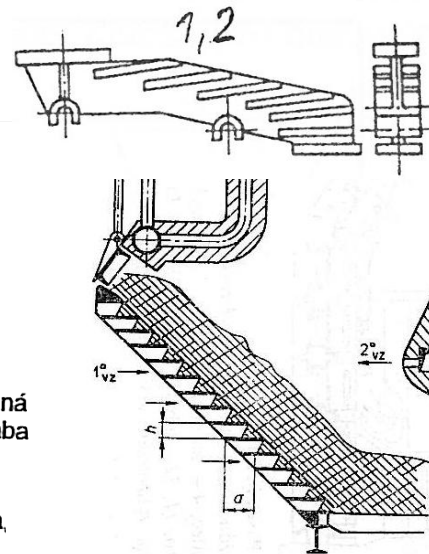
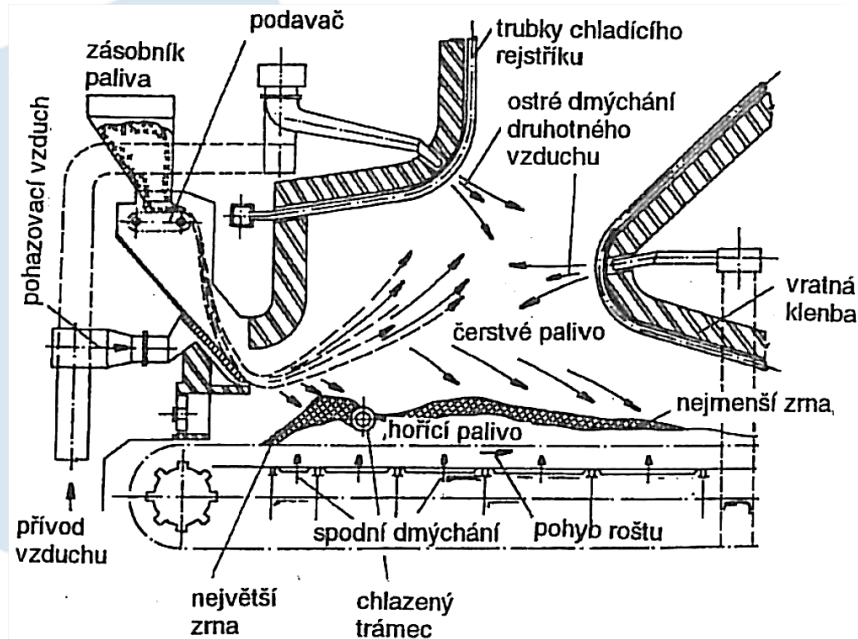
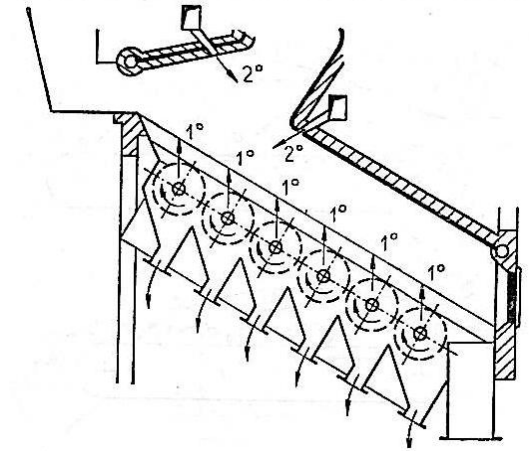
- Aerodynamické poměry
- Aerodynamické poměry jsou ovlivněny typem a provedením roštu a především spalovaným palivem. Výrazné problémy činí především spalování vlhkých a jemných paliv, kdy je snížena průchodnost spalovacího vzduchu vrstvou. Využívá se např. dvojrstvého spalování (dole hrubší frakce, nahoře jemnější) nebo přehrabování vrstvy. Dále se využívá pásmování vzduchů, tzn. rozdělení průtoků do jednotlivých sekcí.
- Způsob zápalu paliva
- Spodní zápal – nahození paliva na žhavou hořící vrstvu, nebo dmýchání vysoce ohřátého média (vzduch, spaliny) pod rošt.
- Horní zápal – pomocí sálavosti obezdívky tzv. přední vzněcovací klenba (efekt zrcadla) a sáláním plynného obsahu ohniště



Kotle – Spalovací zařízení

• Roštová ohniště

- Rošty, technologické vybavení provedení
- Pevný rovinný rošt – pevný, nebo se sklopnými roštnicemi
- Pevný stupňovitý rošt
- Pohyblivý rovný – pásový (mechanizovaný rošt)
- Pohyblivý šikmý – válcový
- Přesuvný
- Vrativý rošt – Martin (prolamování vrstvy – proti palivu)



Kotle – Spalovací zařízení

- **Roštová ohniště**

- Obecné výhody a nevýhody, použití.
- Výstavba roštových ohnišť pro průmyslové využití spalování uhlí v současné době není. Přesto jsou roštová ohniště hojně využívána především z hlediska původních technologických vybavení (lokální zdroje, vytopny)
- Renesance výstavby roštových ohnišť je zaznamenána v současné době u spalování biomasy a především odpadů (dominance technologie). Jednotlivé druhy roštů jsou instalovány především dle ceny a zkušeností výrobce zařízení.
- Výhody roštových ohnišť
 - Necitlivost na nadrozměrné frakce a obsah nečistot v uhlí
 - Většinou provozně odolné a jednoduché zařízení (v případě pevných roštů)
 - Vyšší dosažené teploty spalování až (1400°C) a delší doba pobytu paliva ve vysokých teplotách
- Nevýhody
 - Nižší procento účinnosti spalování, citlivost na rozdělení vrstvy a prachové podíly – nedopaly.
 - Většinou vyšší produkce emisí
 - Struskování
 - Obvykle vyšší množství přebytku vzduchu
 - Se zlepšením kvality spalování je zvyšuje složitost zařízení (distribuce vzduchů, pohybové mechanismy, monitoring atd.)
- Parametry
 - Výkony – kilowaty až cca 150 MW_t
 - Teploty cca $1100 - 1400^{\circ}\text{C}$ (lokálně 1600°C)

Kotle – Spalovací zařízení

- **Prášková ohniště**

- Podstata práškového spalování
- Původní důvod vzniku byl pouze pro spalování prachových zbytků tříděného uhlí. Povrch prachového uhlí je 100 až 1000x větší než u uhlí použitého na roštu. Zároveň je významně kratší doba spalování (práškové spalování cca 0,5 až 2s// rošt 10 až 20 min).
- Spalují **rozemletý uhelný prášek ve vzosu** v rozměru cca pod 1mm. Mletí je součástí výzbroje kotle.
- Přívod paliva do kotle je pomocí nosného média (vzduch, spaliny, směs)
- V ohništi probíhá distribuce dalších vzduchů (sekundární, terciální)
- Při spalování vzniká velmi jemný popílek, který je unášen spolu se spalinami (granulační). V podstatě dochází k zcela odlišné popelové bilanci oproti spalování na roštu a tím i jiným provozním nárokům, specifikům a požadavkům na dodatečná zařízení (filtrace).
- V současnosti se používají dva druhy ohniště tzv. granulační a výtavné.

Kotle – Spalovací zařízení

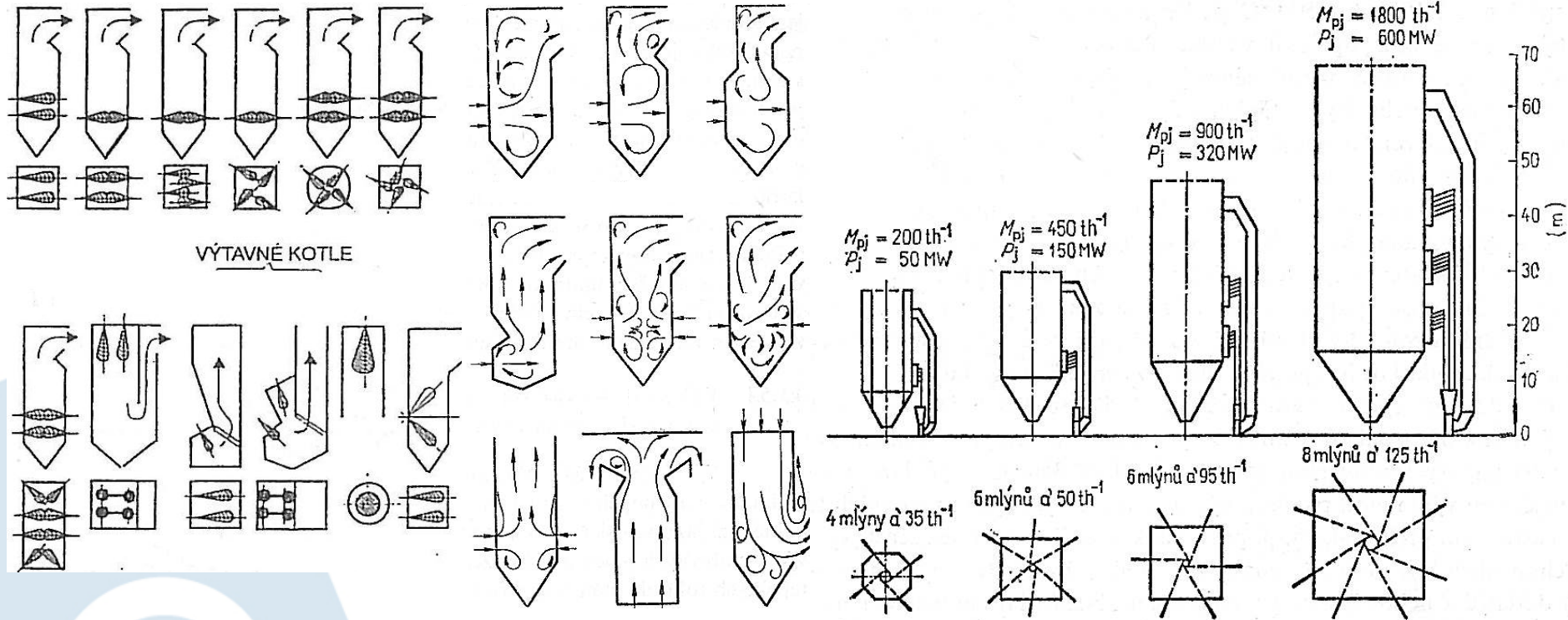
- **Prášková ohniště**

- Provedení – spalování a přenos tepla
- Spalování v práškových kotlích musí respektovat dvě kritéria – efektivní spalování a vhodný odvod tepla (vychlazení ohniště) pro zajištění vhodného odvodu popelovin.
- Určuje se měrné tepelné zatížení ohniště, měrné plošné zatížení ohniště, doba spalování zrn, doba vyhoření zrn, střední doba průtoku zrn a objem vyplnění ohniště plamenem (součinitel využití prostoru – běžný prostor 0,3 až 0,8, u hořáků až 1).
- Proces spalování a především přenos tepla resp. stupeň zatížení ohniště je možné ovlivnit jemností mletí, vstupní teplotou nosného média, aerodynamikou kotle a správným nastavením směšovacích poměrů.
- Spalování a přenos tepla je z hlediska praktického návrhu ovlivněn:
 - Počtem, výkonem a umístěním hořáků
 - Geometrickým tvarem a rozměrem plamene hořáku
 - Průběhem izotach, izoterm a dohoříváním v rámci rozsahu výkonů
 - Vzájemným ovlivněním jednotlivých hořáků (spolupracujících/nespolupracujících).
- Spalování v práškových kotlích musí dále minimalizovat lokální dosahy plamene na stěny (vysoké místní tepelné toky, popeloviny)
- Přenos tepla v ohništi je spojen s režimem daného typu kotle, tzn. vychlazení ohniště nastaveno tak, aby bylo získání popelovin dosaženo pro daný kotel a zároveň nevznikaly nánosy popelovin na vým. plochách.
- Ovlivnění přenosu tepla je u práškových kotlů dáno především nerovnoměrností teplotních a proudových polí, v praxi dochází k vysokým rozdílům – souvislost nejen s přenosem tepla ale i kvalitou spalování

Kotle – Spalovací zařízení

- Prášková ohniště

- Provedení – příklady provedení (hořáky, aerodynamika)



Kotle – Spalovací zařízení

- **Prášková ohniště**

- Základní technologická vybavení

- Hořáky – distribuce směsi paliva a vzduchu, ovlivnění rozložení teplotních a aerodynamických poměrů.
 - Sušící úsek – včetně sušícího média
 - Mlýn – mletí na požadovanou spalovací frakci. S výhodou se využívá ventilátorový mlýn provozovaný pod spaliny.
 - Primární ventilátor
 - Třídíč – třídění na požadovaných spalovacích frakcích
 - Práškovody (pod spaliny)
 - Recirkulace spalin
 - Dohořivací vzduchy
 - Zařízení pro odstruskování
 - Zařízení pro záchyt popelovin (není součástí ohniště)
 - Zařízení pro provozní odstranění nálepu popelovin (není součástí ohniště)

- Dosahované parametry

- Práškové kotle mají velmi četné nasazení v teplárenských a elektrárenských provozech. Jsou to kotle s nejvyššími instalovanými výkony.
 - Průtok páry od 50t/h (do cca 1600 t/h v ČR) do 4600 t/h (USA)
 - Tlakové úrovně obvykle od 3 MPa do cca 21 MPa
 - Provozní teploty 1100 – 1500°C, pára cca 410 - 585°C

Kotle – Spalovací zařízení

- **Prášková ohniště**

- **Obecné výhody a nevýhody**

- Velmi rychlé a dynamické kotle
- V převážné většině provozních instalací dosahováno relativně vysokých Nox a CO.
- Technologie provozně ozkoušená pro vysoké výkony
- Velmi citlivé na nerovnoměrnosti spalovacího procesu, nápeky, místní odvody tepla, což se projevuje do životnosti a odstávek kotle.
- Citlivost na cizí předměty palivech, nezbytná opatření.
- Výtavné kotle mají vyšší procento záchytu popelovin do vody
- Z hlediska dosahovaných teplot jsou příznivé objemové zatížení ohnišť (tzn. velikost ohniště)
- Kvalitní černá uhlí se spalují převážně ve výtavných ohništích, méněhodnotná (hnědá uhlí) převážně v granulačních kotlích.
- Pro méněhodnotná paliva je nutné jemnější mletí, vyšší sušení a předehevy.
- Výhoda výtavných kotlů (nevýhoda granulačních kotlů)
 - Jednoduchost záchytu popelovin (cca 70% strusky vodou)
 - Vyšší spalovací teploty – menší rozměry zástavby
 - Vyšší odolnost proti nízkoteplotní korozi
- Nevýhoda výtavných kotlů (výhoda granulačních kotlů)
 - Méněhodnotná uhlí
 - Nižší reg. rozsah (struska)
 - Odpaření popelovin (nálepy)

Kotle – Spalovací zařízení

- **Prášková ohniště**

- Granulační ohniště

- Plamen je udržen v takových mezích, že postačuje pro zapalování směsi a rychlému hoření ale nevyvolává podmínky k tečení popelovin. Vychlazení ohniště je takové, že vzniká škvára (ne struska), která je odváděna dnem ohniště (mechanicky, hydraulicky) přes vodní uzávěr (těsní před falešným vzduchem). Škvárou odchází cca 25% přivedených popelovin. Zbylé popeloviny jsou odváděny spolu se spalinami a musí být následně odloučeny (EF, LF).
 - Teploty v ohništi jsou vhodně zajišťovány méněhodnotným palivem, nižší teplotou spalovacího vzduchu, vychlazení stěn je zajištěno výhřevnou plochou výparníku popř. nástěnným přehřívákem. Vhodná regulace vstupní teploty je pomocí recirkulace.

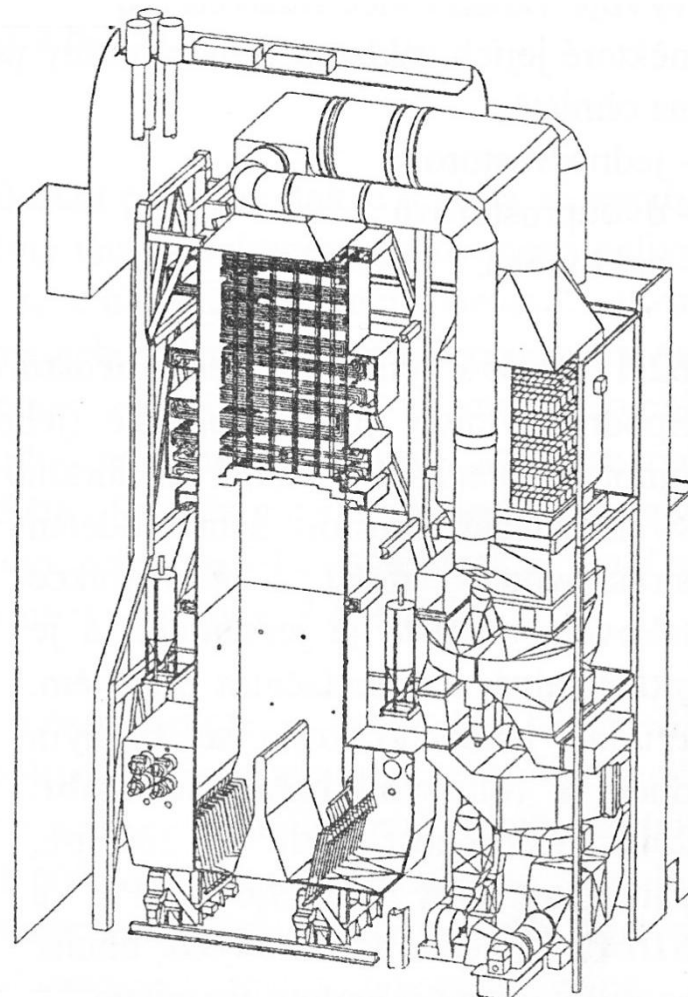
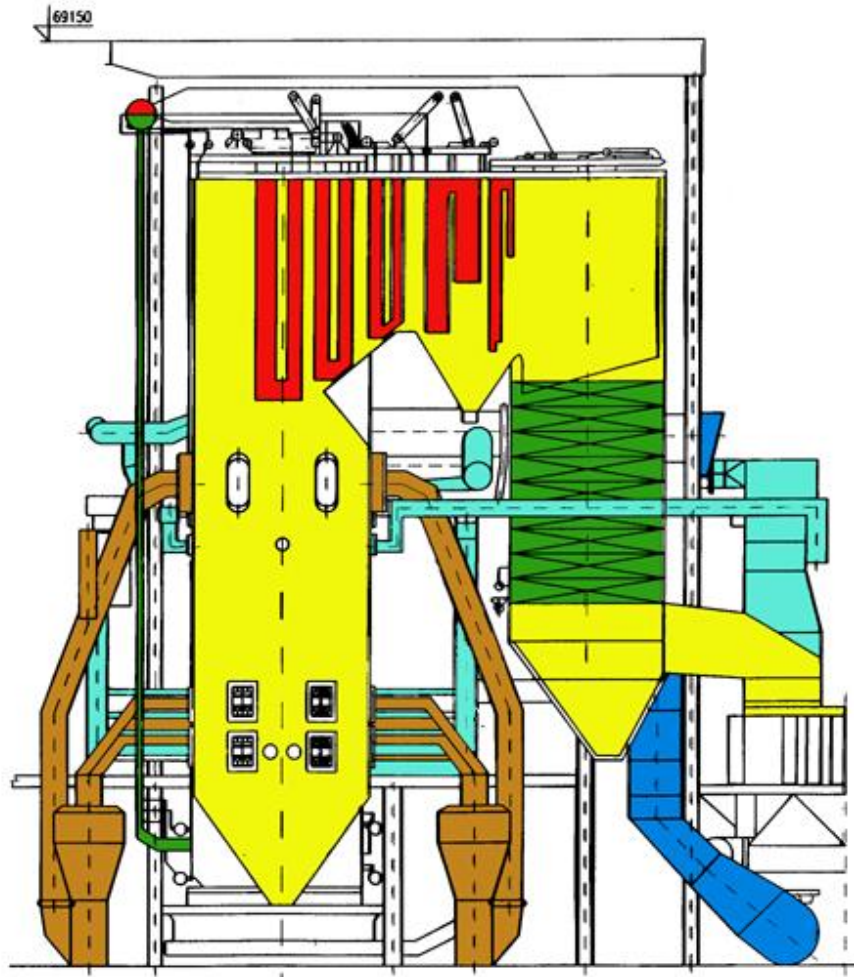
- Výtavná ohniště

- Ve výtavném ohništi musí být dodrženy podmínky v takových mezích, že je vždy zajištěno tečení (vytavení popelovin). Vytavená struska (a nespálené uhlí) se následně odvádí odtokovým otvorem na dně kotle. Ohniště je rozděleno na výtavný a vychlazovací prostor.
 - Vytavení strusky se dosahuje vhodným palivem (výhřevnost, nízká voda), vyšší teplotou vstupního spalovacího média, vyšší jemností prášku a jeho vysušením a především snížením vychlazením plamene stěnami ohniště v tavicím prostoru.
 - Výtavný prostor má vysoké tepelné zatížení, přímý krátký plamen, výparníky s trny a omazem.
 - Pro správnou funkci výtavné části jsou reologické vlastnosti tavených popelovin – ovlivňují i hodnotu minimálního výkonu kotle.

Kotle – Spalovací zařízení

- Prášková ohniště

Výtavný kotel – dvoukomorové ohniště



Granulační kotel

Kotle – Spalovací zařízení

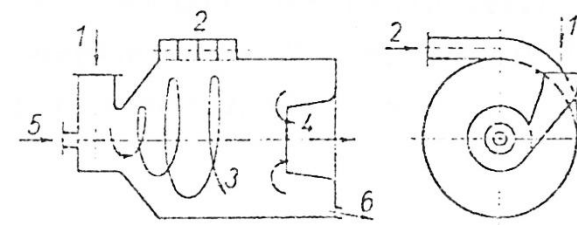
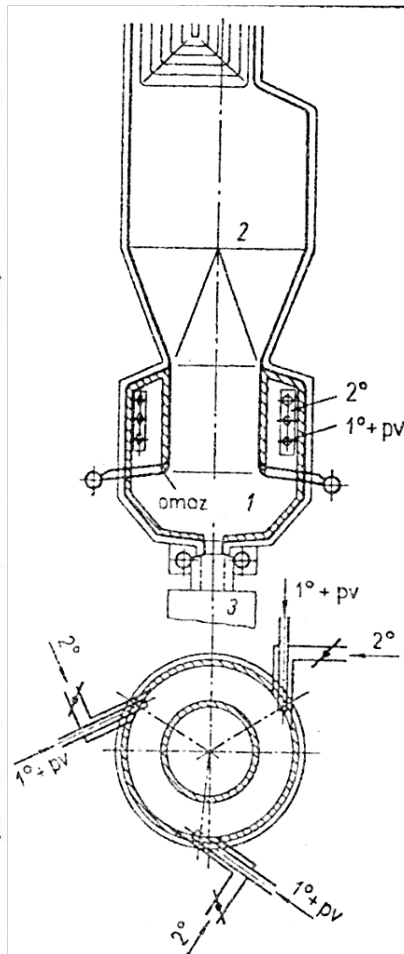
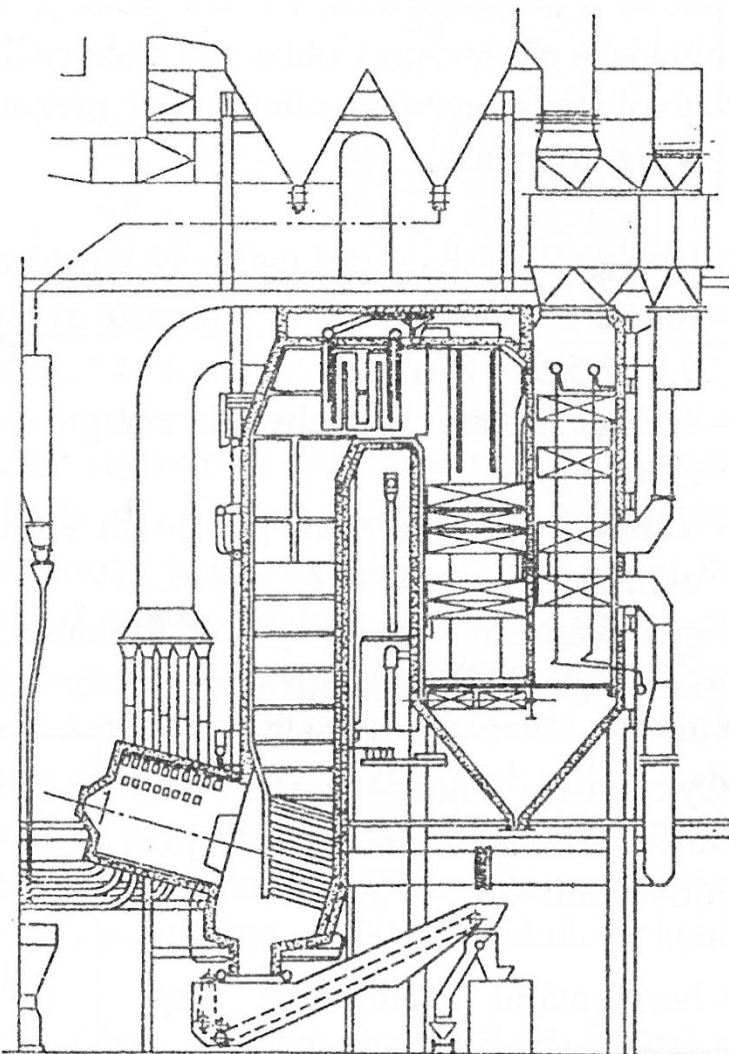
- **Prášková ohniště**

- **Cyklónová ohniště - vířivá**

- Záměrem pro vývoj cyklónových ohnišť mělo být překonání výtavných a granulačních kotlů. Pozornost byla směřována na vhodnější průběh spalování práškového paliva ve vírovém poli, menší obestavěný prostor tj. zvýšení objemového zatížení ohniště, spalování větších frakcí cca do 5 mm, větší záchyt popelovin v ohništi, spalování s nižším přebytkem vzduchu (menší prostor, rovnoměrnost přívodu).
 - Realizují se ve dvou provedeních – horizontální a vertikální.
 - Horizontální cyklóny jsou realizovány jako válec s přívodem paliva a vzduchu, protisměrným obvodovým přívodem sekundárního vzduchu a osovým přívodem terciálního vzduchu. Horizontální cyklóny nelze zvětšovat pro vyšší výkony kotle, využívá se tedy zapojení více standardizovaných cyklónů.
 - Vertikální cyklón je tvořen válcem s maximálně čtyřmi hořáky s tangenciálním vstupem, po obvodu stěn je přiváděn sekundární vzduch. Tekutá struska je odváděna dnem kotle.
 - Efekty ze snížení obestavěného prostoru a snížení energetické náročnosti kotle nebyly dosaženy v očekávaných rozsazích, v případě prostoru je nutné zachovat ochlazovací prostor jako u výtavných ohnišť (minimalizace zanášení ploch). Energetická náročnost ohniště se projevila zvýšením dynamických tlaků (rychlost proudění) v cyklónovém ohništi.
 - **Obvyklé dosahované parametry**
 - Průtok páry od 50t/h do 3600 t/h
 - Tlakové úrovně obvykle od 3 MPa do cca 18 MPa
 - Provozní teploty 1100 – 1500°C, pára cca 410 - 585°C

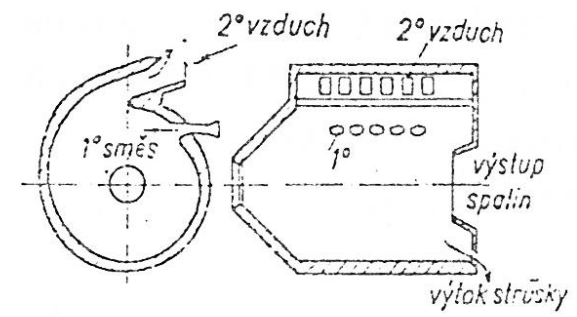
Kotle – Spalovací zařízení

- Prášková ohniště
 - Cyklónová ohniště



Přívod paliva

osový rotační



tangenciální