

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



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](http://www.esfcr.cz)

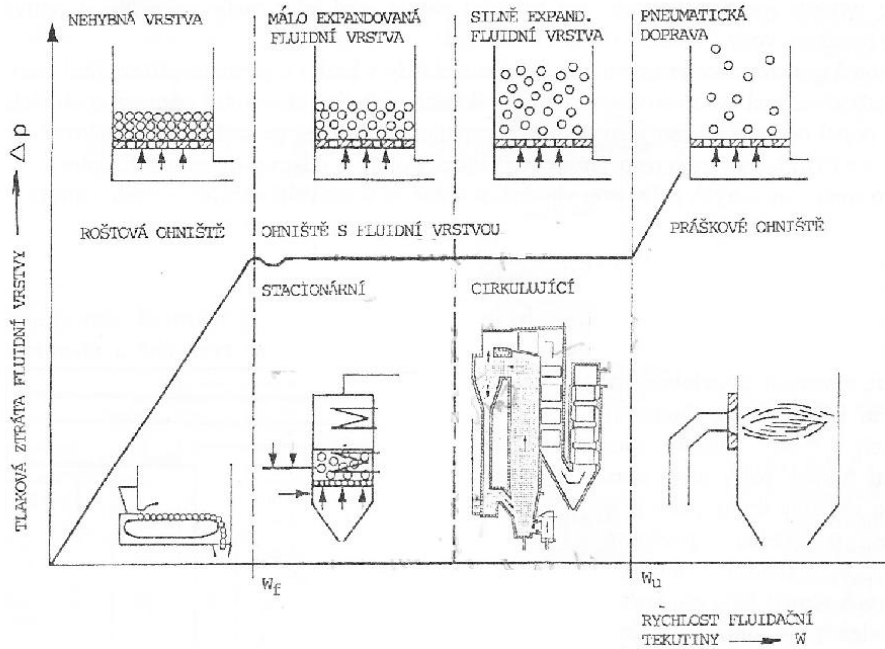
# Kotle – Spalovací zařízení

- **Fluidní spalování**

- Podstata fluidního spalování – fluidní spalování využívá efektů fluidizace známých např. z pseudopravních zařízení. Na prodyšné (pórovité) přepážce je umístěn sypký materiál (palivo). Skrz prodyšnou přepážku protéká médium (vzduch, spaliny, plyn) který má významně nižší hustotu než je hustota materiálu. Při zahájení průtoku fluidizačního média je nejdříve materiál v klidu a médium prochází nad materiál prostřednictvím vytvořených pórů mezi jednotlivými částicemi. Zvyšováním průtoku (rychlosti) vzrůstá odpor (tl. ztráta), ale materiál je stále nehybný až do dosažení určité meze (vyrovnání odporové síly s gravitací). Mez se nazývá práh fluidizace a odpovídající rychlost prahová rychlost fluidizace  $w_f$ . Poté se začnou částice vznášet v tekutině, promíchávat a směs materiálu a fluidizačního média má vlastnosti obdobné kapalinám (zřetelná vodorovná hladina, vypouštění, hydrostatický tlak atd.). Objem fluidní vrstvy při prahu fluidizace je větší než vrstvy nehybné – došlo k expandování. S dalším zvyšováním rychlosti (průtoku) roste výška vrstvy a zvyšuje se její pórovitost a zmenšuje se její objemová koncentrace až do tzv. prahové rychlosti úletu  $w_u$ . Při prahové rychlosti úletu začne fluidizační médium unášet částice z vrstvy a začíná transport materiálu (paliva). Fluidní vrstvy tedy leží v intervalu  $w_f$  a  $w_u$ , oblast odpovídá stacionárním a cirkulujícím fluidním kotlům. Oblast úletu části tzv. dopravě ve vzhledu odpovídá práškovým kotlům a oblast nehybné vrstvy odpovídá roštovým kotlům. Fluidní spalování vykazuje nejvyšší efektivity přeměny energie a nejnižší produkce emisí ze spalování tuhých paliv. Jejich použití má široký rozsah - jakostní paliva, méně jakostní paliva, odpady. V častých případech je využití jedné technologie z hlediska paliv širokopásmové.

# Kotle – Spalovací zařízení

- Fluidní spalování
  - Podstata fluidního spalování.



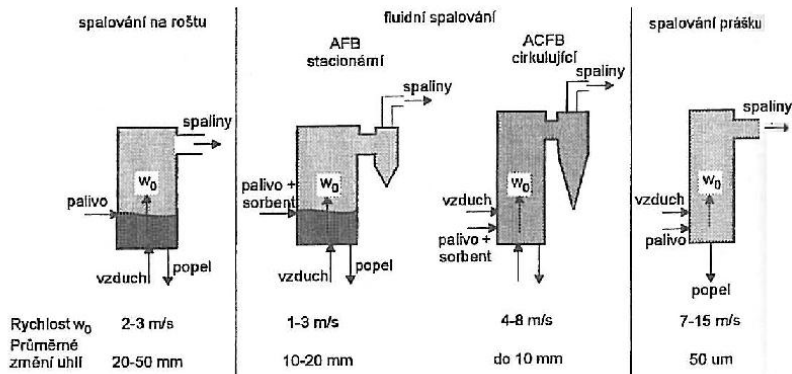
Fluidní spalování výhodně využívá vysoké hodnoty přenosu tepla a hmoty. Zajišťuje se v tzv. atmosférických fluidních kotlích (stacionární a cirkofluidní) a tlakových fluidních kotlích (průmyslové využití je v rozvoji) .

V průběhu fluidizace dochází k intenzivnímu provzdušnění a promíchávání spalované směsi

S výhodou se využívá suché metody odsíření přímo ve fluidní vrstvě kdy jsou za určitých teplotních a aerodynamických režimů vhodné podmínky pro silnou reakci odsíření  $\text{CaO}$  a  $\text{SO}_2$ .

Původní fluidní kotle byly řešeny pouze pro intenzifikaci spalovacího procesu a docházelo k deformaci popelovin. Současné fluidní kotle jsou ve většině případech konstruovány pro neškvárující popeloviny (tzn. vysoké vychlazení fluidní vrstvy).

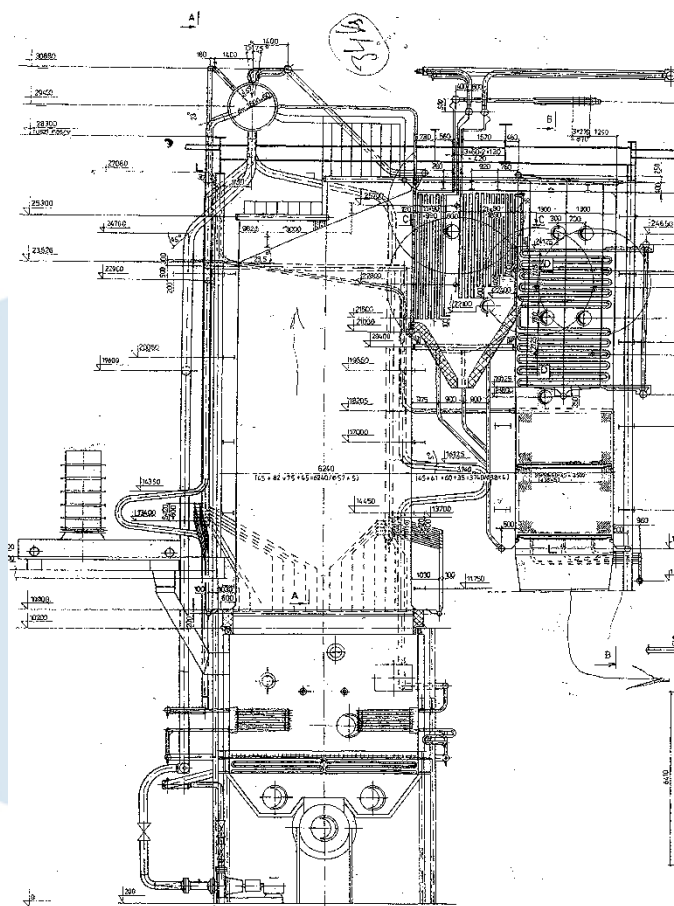
U fluidního spalování je využíván samovolný efekt vytrhání zrn, v průběhu spalování se mění rozměr zrna až do doby jeho úletu.



# Kotle – Spalovací zařízení

- **Stacionární fluidní kotle**

- Pracují při nižších rychlostech fluidizace a s větší granulometrií. Mají jasně ohraničenou vrstvu. Využití je především při spalování méně jakostních paliv a biomasy. Obvyklé provedení ohniště je s ložovými hady (výparníkem) do fluidní vrstvy, což zajišťuje neškvárování. Průřez ohniště může být rovnoměrný nebo rozšiřující se s rostoucí výškou.



Kotle jsou obvykle vybaveny podavači a pohazovači paliva se vstupem nad fluidní vrstvou. Systémem injektáže suchého aditiva a částečné reinjektáže popílku (většinou pod vrstvu), primárním (fluidizačním) vzduchem a sekundárním (dohořivacím) vzduchem.

Pro efektivní spalování je nutné zajistit vhodnou rozměrovou přípravu paliva a nastavení vzduchů. Poměrné záchyty popelovin jsou často proměnné dle paliva, granulometrie a reinjektáže popílku a nastavení vzduchů.

Vrstva fluidního kotle je složena s inertního materiálu, paliva a aditiva

Obvyklé dosahované parametry

Průtok páry od 8t/h do 450 t/h

Tlakové úrovně obvykle od 1,3 MPa do cca 13 MPa

Provozní teploty 800 – 900°C, pára cca 220 - 550°C



evropský  
sociální  
fond v ČR  
EVROPSKÁ UNIE



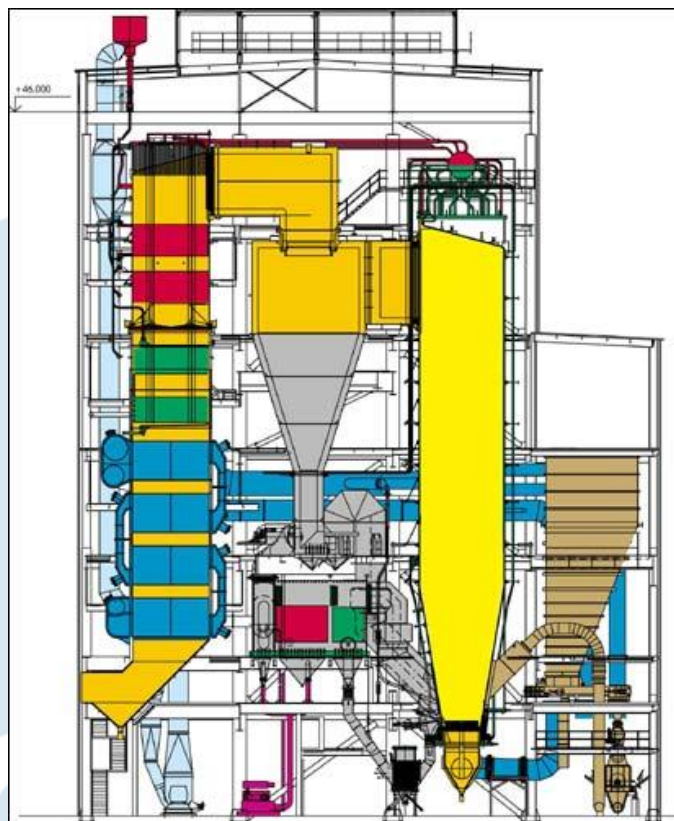
OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUČNOST  
www.esfcr.cz

# Kotle – Spalovací zařízení

- **Fluidní kotle s cirkulující vrstvou**

- Pracují při vyšších rychlostech fluidizace s nižší granulometrií, často na hranici pseudopravního transportu. Mají silně expandovanou cirkulující vrstvu, která je v oblasti ohniště více koncentrovaná. Využití z hlediska paliv je širokopásmové. Obvyklé provozní řešení je na úrovni pod škvárováním popelovin. Průřez ohniště bývá zpravidla rozšiřující se s rostoucí výškou. Společným znakem kotlů bývají cyklóny, kde dochází k odloučení těžkých částic a návratu zpět do vrstvy, cirkulace se pohybuje mezi 10 až 15 cykly.



Kotle jsou obvykle vybaveny podavači a pohazovači paliva se vstupem nad fluidní vrstvou. Systémem injektáže suchého aditiva a částečné reinjektáže popílku (většinou pod vrstvou), primárním (fluidizačním) vzduchem a sekundárním (dohořivacím) vzduchem.

Pro efektivní spalování je nutné zajistit vhodnou rozměrovou přípravu paliva a nastavení vzduchů. Poměrné záchyty popelovin jsou často proměnné dle paliva, granulometrie a reinjektáže popílku a nastavení vzduchů. Vrstva fluidního kotle je složena s inertního materiálu, paliva a aditiva

## Obvyklé dosahované parametry

Průtok páry od 50t/h do 700 t/h

Tlakové úrovně obvykle od 4 MPa do cca 21 MPa

Provozní teploty 800 – 900°C, pára cca 300 - 550°C



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



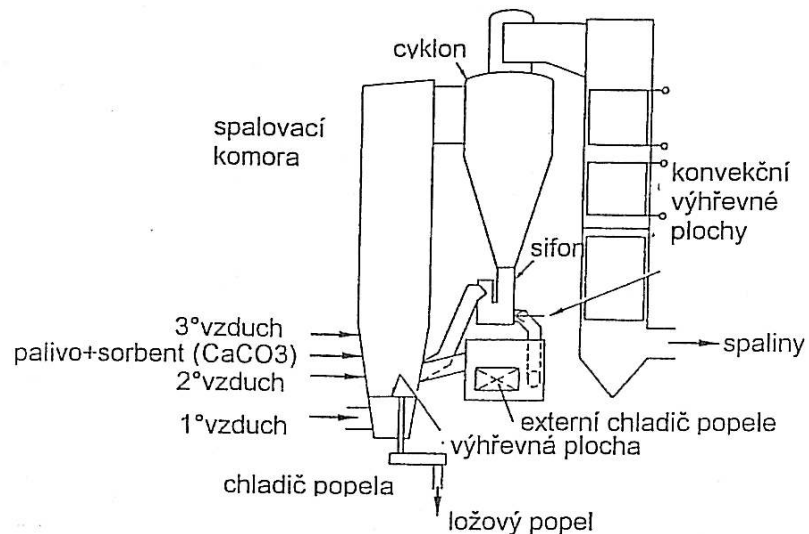
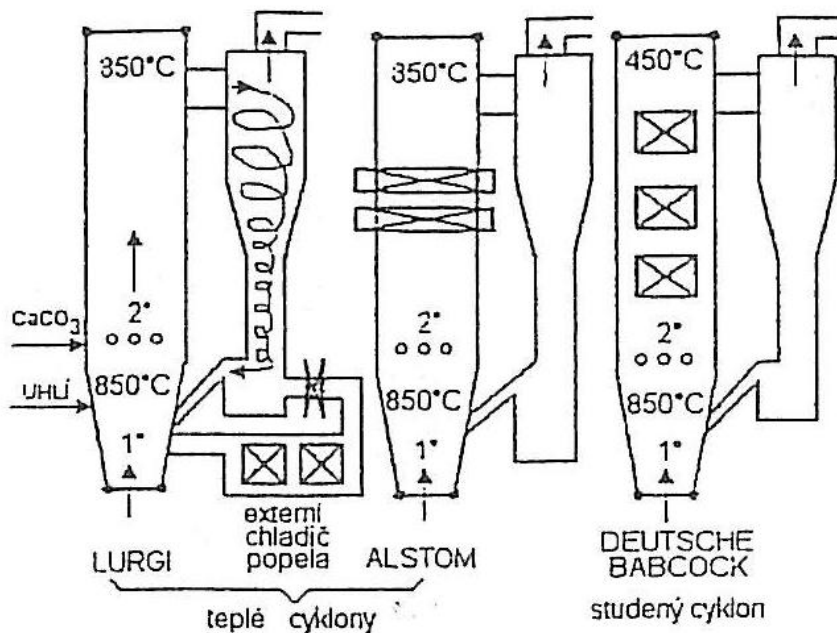
OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)



# Kotle – Spalovací zařízení

- Fluidní kotle s cirkulující vrstvou
- Další příklady provedení



# Kotle – Spalovací zařízení

- **Fluidní kotle s cirkulující vrstvou**

- Obecné výhody a nevýhody
- Vysoká efektivita spalování vlivem přenosu tepla a hmoty
- Možnost využití suché aditivní metody odsíření přímo ve fluidním loži.
- Při vyšších nárocích účinnost odsíření nutná dodávka vyššího přebytku aditiva než v případě mokrých a polosuchých metod
- Minimalizace zatížení vybavení korozí vlivem kyselých složek
- Nízké emisní produkce
- Vyšší energetická náročnost provozu kotle (oproti roštům) – nutnost zajištění fluidizace
- Výhodné a v některých případech téměř dokonalé využití paliva a aditiva (vlivem cirkulace)
- Technologie odvodu popelovin pomocí pseudoprav – další energetické nároky provozu.
- Vyšší abraze ploch

# Kotle – Spalovací zařízení

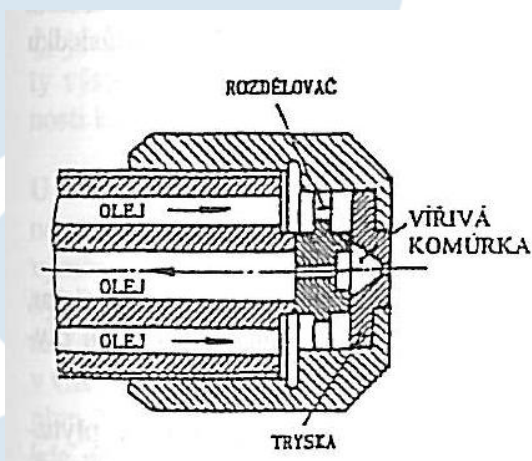
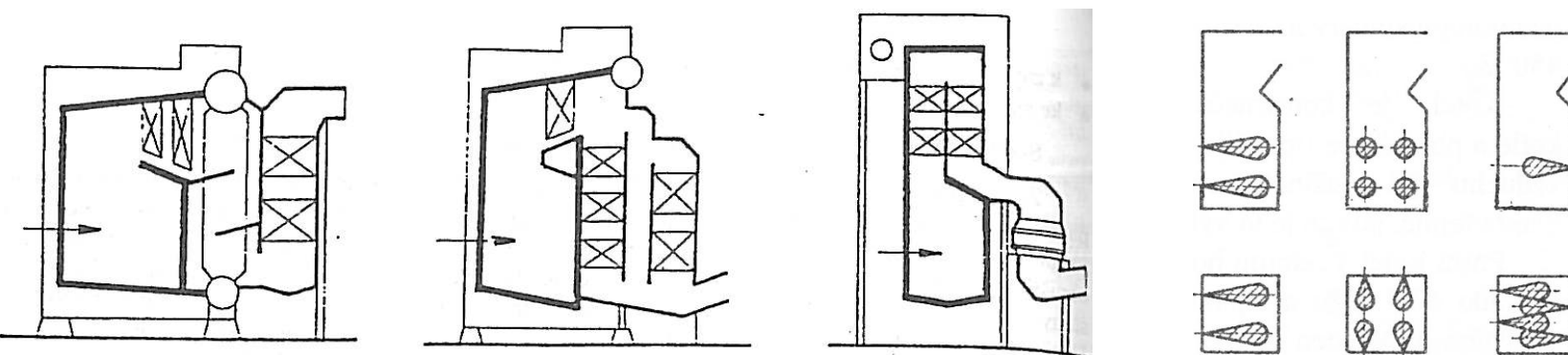
- **Hořáky a kotle na kapalná paliva**
- Podstata spalování
  - Základní podstata spalování není výrazně odlišná od práškových kotlů, ohniště je vybaveno hořáky pro spalování kapalných paliv. Hořák zajišťuje distribuci paliva a spalováním ohništěm. Řešení ohniště je obdobné řešení granulačních kotlů a cyklónových kotlů. Využívají se olejové hořáky s tlakovým rozprašováním (2 – 7 MPa) tzv. atomizace. Existují i řešení, které mají umístěny hořáky na stropu kotle. Výhodou kapalných paliv bývala, snadná těžba, jednoduchost zařízení, skladování a obsluhy.
  - Kapalná paliva dosahují obvykle vyšších výhřevností než tuhá paliva. Odpadá ztráta citelným teplem (v tuhých zbytcích), lze spalovat s nižšími přebytky vzduchu (tedy nižší komínová ztráta). Nepříznivé z hlediska komínové ztráty jsou vyšší teploty spalin – ochrana proti kondenzaci kyselých složek spalin. Popeloviny jsou prakticky tvořeny nasátým prachem spalovacího vzduchu a případnými mech. nečistotami paliva (minimalizace popelového hospodářství, vyšší rychlosti spalin - konvekce). V případě kapalných paliv jsou kratší spalovací dráhy (současný odpar a hoření) ve dvou druzích hoření tj. páry a plyny jako kinetické a kapičky jako heterogenní. Pro heterogenní hoření byl rozhodující měrný povrch resp. rozměr kapiček (pod 200 $\mu$ m, obvykle 30 - 50  $\mu$ m). Plamen kapalných paliv vykazuje vysokou sálavost a vysoké měrné tepelné zatížení stěn, což způsobuje jiné rozdělení tepla v kotli (menší plocha výparníků a větší plocha přehříváků). Plamen musí zajistit dokonalé vyplnění ohniště, bez místních zásahů stěn chladných stěn (místní přetížení a saze). Provedení hořáků obvykle uděluje kapalnému palivu tangenciální směry výstupních rychlostí, které podporují jemné rozprašení. Součástí hořáků je obvykle vybavenost pro recirkulaci paliva, které zajišťuje široký regulační rozsah (průtok je úměrný odmocnině tlaku), v některých případech je regulační rozsah 20 – 100%.  
Účinnosti spalování nad 90%.



# Kotle – Spalovací zařízení

- **Hořáky a kotle na kapalná paliva**

- Příklady provedení – kotle se provádějí jako přetlakové, bez sacích ventilátorů. Především u vysokosirnatých kapalných paliv je zvýšené riziko koroze z hlediska kondenzace sirnatých složek spalin. Popeloviny spalování mazutu obsahují oxidy vanadu které spolu s alkáliemi tvoří eutektikum (cca 570°C) v případě vyšších teplot stěn vyzdívek a přehříváku může nastat intenzivní koroze (tlumí se snížením  $\alpha$  nebo přidáváním dolomitu).



## Obvyklé dosahované parametry

Průtok páry od 25 t/h do 670 t/h ( až 855 t/h)

Tlakové úrovně obvykle od 1,3 MPa do cca 14 MPa

Pára cca 300 - 550°C



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

# Kotle – Spalovací zařízení

- **Hořáky a kotle na plynná paliva**
- Podstata spalování
  - Základní podstata spalování není výrazně odlišná od kotlů na kapalná paliva, ohniště je vybaveno hořáky pro spalování plynných paliv. Řešení ohniště je obdobné řešení granulačních kotlů a cyklónových kotlů bez popelového hospodářství. Využívají se dva druhy hořáků směšovací (směs vzduchu a plynu v hořáku) a proudový (směs vzduchu a plynu v až v ohništi). Z hlediska tlakové úrovně se využívají hořáky ejektorové (jednoduché) a hořáky tlakovzdušné (konst. vyšší tlak vzduchu a nižší tlak plynu). Výstupní rychlosti z hořáků se pohybují na hodnotách 150 – 200 m/s. Výhodou plynných paliv je obvykle dostupnost, jednoduchost technologických zařízení, většinou bez skladování a s minimem obsluhy. Kotle jsou rychle použitelné.
  - Plynná paliva vysokovýhřevná (zemní plyn, koksárenský plyn) dosahují obvykle vyšších výhřevností než tuhá paliva. Odpadá ztráta citelným teplem (v tuhých zbytcích), lze spalovat s nižšími přebytky vzduchu (tedy nižší komínová ztráta). Znečištění prakticky ve většině případech pouze nasátým prachem spalovacího vzduchu. V řešení kotlů na zemní plyn se využívá i množství kondenzace spalin – kondenzační výměník. Kotle na vysokovýhřevné plyny jsou konstruovány pro vysoká měrná tepelná zatížení.
  - Využívají se i nízkovýhřevná plynná paliva (vysokopecní plyn). Tyto paliva je nutné čistit a předehtřivat.
  - Plamen plynných paliv je většinou požadovaný jako nesálavý, průteplivý. Plamen musí zajistit dokonalé vyplnění ohniště, bez místních zásahů stěn chladných stěn (místní přetížení a saze). Hořáky zajišťují obvykle široký regulační rozsah v některých případech je regulační rozsah 10 – 100%.

Účinností kotlů nad 95%.



evropský  
sociální  
fond v ČR



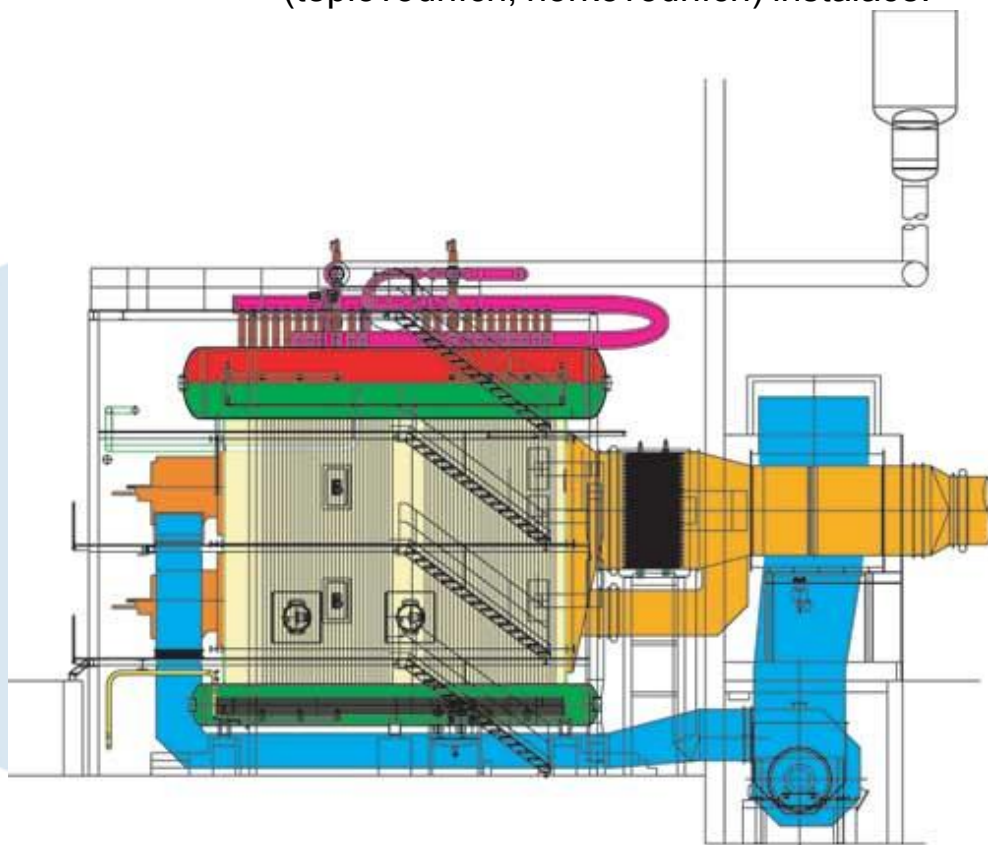
OPERAČNÍ PROGRAM  
LIDSKÉ ZDROJE  
A ZAMĚSTNANOST

PODPORUJEME  
VAŠI BUDOUCNOST  
[www.esfcr.cz](http://www.esfcr.cz)

# Kotle – Spalovací zařízení

- **Hořáky a kotle na plynná paliva**

- Příklady provedení – Požadované přestupy tepla jsou realizovány většinou přetlakovým ohništěm tzn. vyšší nárok na primární ventilátor a zároveň nižší (žádné) nároky na sací ventilátor. Přetlakovým ohništěm se docílí minimalizace přísávání falešného vzduchu. Dále jsou v kotlích vysoké rychlosti spalin tzn. zlepšení konvekce.
- Využití kotlů a hořáků - špičkové zdroje, najížděcí a stabilizační hořáky, domovní a kotelní (teplovodních, horkovodních) instalace.



## Obvyklé dosahované parametry

Průtok páry od 14 t/h do 380 t/h

Tlakové úrovně obvykle od 1,3 MPa do cca 14 MPa

Pára cca 300 - 550°C

Pozn. Domovní instalace několik kW

# Kotle – Spalovací zařízení

- **Specifika ohniště pro druhotná paliva**
- Biomasa – spalování biomasy musí být vhodně uzpůsobeno pro využití paliva s velkým obsahem prchavé hořlaviny a minimem popelovin.

Plamen prchavé hořlaviny je oproti uhlí převážně v prostoru nad palivem – odplynění a hoření. Biomasa (především štěpka) je nízkovýhřevné palivo většinou s tvary s jedním převládajícím rozměrem, což musí být zohledněno při dimenzování všech dopravních cest kotle. Ohniště pro biomasu se využívají jak roštové tak fluidní. V případě použití fluidních kotlů je nutné disponovat zásobou inertního materiálu pro provoz kotle. Popel ze spalování biomasy jsou vysoce abrazivní a často proměnný (z hlediska teplot tavení) podle druhu biomasy.

## Obvyklé dosahované parametry

Průtok páry od 12 t/h do 380 t/h

Tlakové úrovně obvykle od 2,7 MPa do cca 9,2 MPa

Pára cca 380 - 550°C

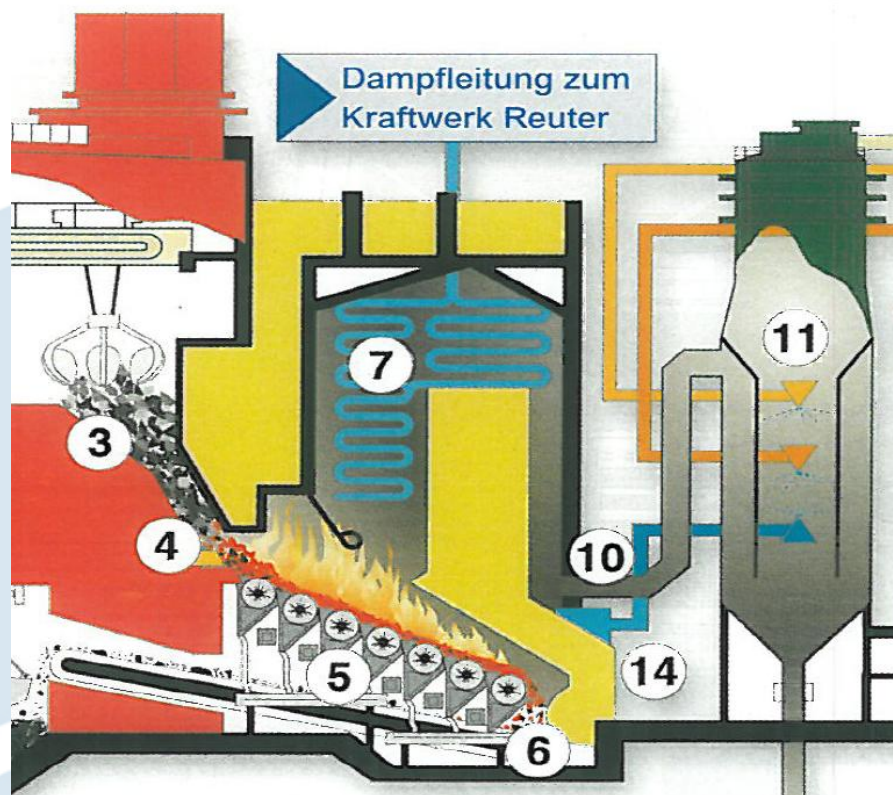
Pozn. Domovní instalace několik kW





# Kotle – Spalovací zařízení

- **Specifika ohniště pro druhotná paliva**
- Odpady – při spalování odpadů je nutné dodržení předepsaných podmínek spalovacího procesu tj. teplota v každém místě min 850°C při době zdržení min 2s. Spalovací proces může být velmi proměnný vlivem diverzibility složení odpadů, čemuž lze předcházet např. vytipovanými svozovými okruhy. Přesto je provozně (a investičně) nejvhodnější řešení s různými typy roštového spalování. Nejčastěji je používáno válcových roštů a vratisuvných roštů. Ve speciálních případech je realizováno i fluidní ohniště.



Kotle na spalování odpadů jsou řešeny do maximálních teplot páry 450°C při tlaku 6 MPa častěji 400°C při tlaku 5,2 MPa. Vyšší parametry jsou voleny ve výjimečných případech např. při zvýšené orientaci na výrobu elektřiny. Hranice parametrů je určena ze zkušenost – při vyšších teplotách a tlacích dochází k vysoké korozní degradaci tlakových celků (chlór atd.) Výkony páry jsou v rozsahu 18 až 120 t/h.

Specifické je řízení kyslíků v procesu – nutné široko rozsahové dimenzování dohořivacích vzduchů z důvodů vysoké proměnlivosti odpadů – řízení na kyslík.