

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

Vypracujte návrh řešení čistění teplosměnných ploch u kotlů  
na spalování biomasy

Develop a Proposed Solution for Cleaning of Heat Transfer  
Surfaces in Boilers for Combustion of Biomass

Student:  
Vedoucí bakalářské práce:

Jan Kielar  
doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Kielar**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení  
Téma: **Vypracujte návrh řešení čištění teplosměnných ploch u kotlů na spalování biomasy**  
**Develop a Proposed Solution for Cleaning of Heat Transfer Surfaces in Boilers for Combustion of Biomass**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrhy řešení čištění teplosměnných ploch u kotlů spalujících biomasu.

Diplomová práce bude obsahovat:

1. Přehled základních typů kotlů na spalování biomasy v ČR.
2. Biopaliva pro kotle a návazná problematika tvorby úsad u kotlů.
3. Přehled možných řešení pro snížení nánosů.
4. Doporučení jednotlivých koncepcí čištění pro vybrané typy kotlů.

Grafické práce:

Schémata jednotlivých kotlů na biomasu

Seznam doporučené odborné literatury:

Černý V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975.

Kolat P. Přenos tepla a hmoty, skripta VŠB Ostrava 1987.

ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů.

Dlouhý T. Výpočty kotlů a spalínových výměníků, skripta ČVUT Praha 2005.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2014



.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15. 5. 2014

Kielar

.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Kielar

Adresa trvalého pobytu autora práce: Ostrava, Poruba

Moyzesova č. p. 1388/1

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KIELAR, J. *Vypracujte návrh řešení čištění teplosměnných ploch u kotlů na spalování biomasy: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 43 s. Vedoucí práce: Dr. Ing. Bohumír Čech.

Bakalářská práce se zabývá vznikem nánosů na teplosměnných plochách kotlů spalující biomasu, možnostmi jak předejít jejich vzniku a jak je odstranit. V úvodu jsou uvedeny důvody, proč je nutné odstraňovat nánosy z teplosměnných ploch a jaké jsou výhody využívání biomasy k výrobě tepla a elektrické energie. V České republice se biomasa většinou spaluje v kotlích na fosilní paliva. Z důvodů rozdílných vlastností popeloviny z biomasy a popeloviny z fosilních paliv je nutné zvolit odlišný způsob odstraňování nánosů, nebo dotovat palivo látkami zvyšující teplotu měknutí popeloviny. Nejvhodnější řešení se zdá být kombinace vodního ostříkovače ve spalovací komoře, kuličkového deště na dodatkových plochách a dotování látkami zvyšující teplotu měknutí popeloviny.

## **ANNOTATION OF Bachelor THESIS**

KIELAR, J. *Develop a Proposed Solution for Cleaning of Heat Transfer Surfaces in Boilers for Combustion of Biomass: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2014, 43 p. Thesis head: doc. Dr. Ing. Bohumír Čech.

The Bachelor Thesis deals with the formation (creation) of deposits on heat transfer surfaces of boilers burning biomass, it deals with options to prevent their occurrence and options of their removal. In the introduction there are reasons why it is necessary to remove deposits from heat transfer surfaces and what are the benefits of using biomass for production of heat and electricity. In the Czech Republic, the biomass is usually burned in boilers for fossil fuels. Because of the different characteristics of ash from biomass and ash from fossil fuels it is necessary to choose a different method of deposit removal, or subsidize fuel substances increasing the softening point of the ash. The best solution appears to be a combination of the wash in the combustion chamber, a ball like rain on additional areas and subsidizing with substances increasing the softening temperature of the ash.

# Obsah bakalářské práce

	strana
Seznam použitých značek a symbolů.....	8
1. Úvod.....	9
2. Biomasa pro energetické využití.....	10
2.1. Dělení paliv z biomasy.....	10
2.1.1. Dělení paliv z biomasy podle skupenství.....	10
2.1.2. Rozdělení podle generace.....	10
2.2. Biomasa pro energetické využití.....	11
2.3. Vlastnosti biopaliv pro průmyslovou energetiku.....	11
3. Popílek z biomasy a jeho vlastnosti.....	12
3.1. Vzniku popílku.....	13
3.2. Způsob vzniku nánosů na teplosměnných plochách.....	13
3.3. Vlastnosti a způsob hodnocení popílku.....	15
3.4. Způsoby snížení možnosti vzniku.....	16
3.4.1. Změnou konstrukce kotle.....	16
3.4.2. Dotování paliva látkami ovlivňující popelovinu.....	18
4. Rešerše odstraňování nánosů v kotli.....	21
4.1. Provozní čištění.....	21
4.1.1. Parní ofukovače.....	21
4.1.2. Akustický systém čištění.....	23
4.1.3. Vodní ostřikování.....	26
4.1.4. Kuličkový déšť.....	28
4.1.4. Mechanickým oklepem.....	31
4.2. Při odstavení.....	32
4.2.1. Mechanické čištění.....	32

	strana
4.2.2. Čištění výbuchem.....	32
5. Výběr vhodné metody pro vybrané typy biomasy.....	34
5.1. Typy kotů pro biomasu.....	34
5.1.1. Fluidní kotel.....	34
5.1.2. Roštové ohniště.....	36
5.1.3. Prášková ohniště.....	38
6. Zhodnocení.....	40
7. Závěr.....	41
8. Použitá literatura.....	42

## Seznam použitých značek a symbolů

### Zkratky

BiH	Bosna a Hercegovina
EHO	Elektrárna Hodonín
ELE	Elektrárna Ledvice
ETI	Elektrárna Tisová
ETU	Elektrárna Tušimice II.
FK	Fluidní kotel
Hmot.	Hmotnostní procento
K	Kotel
NZ	Nový zdroj
RDD	Rychle rostoucí dřeviny
SK	Spalovací komora
T. S.	Teplosměnná plocha
TKV	Teplárna Karviná

### Fyzikální veličiny

Veličina	Rozměr	Popis
$A^r$	% hmot.	Obsah popeloviny v surovém palivu
f	Hz	Frekvence
H	m	Výška kotle
h/ho	%	Poměrná výška zkušebního tělíška
$h_o$	m	Výška ohniště
$P_j$	MW	Jmenovitý výkon kotle
$Q_s^r$	% hmot.	Spálené teplo v surovém palivu
t	min	Čas
$t_{mk}(TA)$	°C	Teplota měknutí popeloviny
$t_{ta}(TB)$	°C	Teplota tavení popeloviny
$t_{tc}(TC)$	°C	Teplota tečení popeloviny
$W^r$	% hmot.	Obsah vody v surovém palivu



## 1. Úvod

V současnosti s rozvojem životní úrovně se zvyšuje celosvětově spotřeba elektrické energie a zároveň pomalu ubývají zdroje fosilních paliv. Z těchto důvodů se posledních v letech začalo využívat biomasy jako paliva v elektrárnách a teplárnách.

Problematika odstraňování nánosů z teplosměnných ploch mě zajímá a vybral sem ji si jí protože je velice důležitá pro účinnost parního kotle. Z důvodu obsahu popeloviny v palivu vznikají pevné zbytky, jako jsou: popílek, struska, škvára a saze. Ty se mnohou usazovat na teplosměnných plochách vlivem proudících spalin a spalovacího vzduchu. Na kterých fungují jako tepelná izolace a snižují tepelnou vodivost ploch. Při nižších výstupních teplotách páry s ní získáme méně energie. Z toho plyne, že čištění teplosměnných ploch je velice důležité především pro ekonomický provoz zařízení.

Biomasa jako palivo v průmyslové energetice dostává pomalu do popředí kvůli: nulové bilanci  $\text{CO}_2$ , velké plošné hustotě energie a možnosti ji skladovat. Jedná se o nejvýznamnější zdroj energie z „obnovitelných zdrojů“. Na rozdíl od ostatních je její dodávka nezávislá na roční a denní době. Z důvodu odlišného složení popeloviny od fosilních paliv může vnikat v kotli na teplosměnných plochách těžce odstranitelný nános popílku běžnými systémy, který po ochlazení kotle ztvrdne a vytvoří pevnou krustu.

## **2. Biomasa pro energetické využití**

Biomasa obecně je veškerá organická hmota na zemi, která se účastní koloběhu živin v biosféře. Jedná se o těla všech organismů, živých i mrtvých, od největších druhů až po mikroskopické – tj. živočichů, rostlin, hub, bakterií a sinic. Jedná se v podstatě o s nízkou účinností naakumulovanou sluneční energii. Její výhodou je že při dlouhodobé akumulaci má téměř nulové ztráty. Energie se ztrácí, získává v současnosti spalováním.

Největší výhodou biomasy jako paliva je to že je nevyčerpatelný (obnovitelný) zdroj energie a že při jejím spalování vzniká pouze CO<sub>2</sub> které při svém růstu pohltí ale její nevýhodou je že zabírá zemědělskou půdu na úkor výroby potravin. Obsahuje i malé množství škodlivin jako je síra a dusík, které se u některých fosilních paliv (uhlí) vyskytuje ve větším množství a způsobují technologické a ekologické problémy např.: oxid síry s vodou vytváří kyselinu sírovou a můžou způsobovat korozi v kourvodu.

### **2.1. Dělení paliv z biomasy**

Pojem biomasa zahrnuje: dendromasu (dřevní biomasa), fytomasu (biomasu bylinného původu včetně zemědělských plodin), biomasu živočišného původu a biologicky rozložitelné odpady. Proto se dá toto palivo dělit z mnoha různých pohledů.

#### **2.1.1. Dělení paliv z biomasy podle skupenství**

Dělení se na pevné: dřevo, seno, sláma; kapalné: alkoholová, olejová; zkapalněná plynná biopaliva; plynná: bioplyn (metan, oxid uhličitý), dřevoplyn (vodík, oxid uhelnatý) a vodík.

#### **2.1.2. Rozdělení podle generace**

1. generace: z polysacharidů a olejnin. Mohou konkurovat výrobě potravin, zabírají plochu polí.

2. generace: z lignocelulozových zbytků (dendromasa a zbytková biomasa). Nekonkurují výrobě potravin, ale dovolují pouze sezonní sklizeň.

3. generace: z řas a mikroorganismů. Jsou průběžně sklízeny a nezabírají zemědělskou plochu.

## 2.2. Biomasa pro energetické využití

„Palivo je všeobecné označení pro chemický prvek, chemickou látku nebo jejich směs, mající schopnost za vhodných podmínek začít a udržet chemickou reakci spalování. Při spalování se uvolňuje chemická energie obsažená v palivu a přeměňuje se hlavně na tepelnou energii.“<sup>1</sup> V průmyslové energetice se využívá biomasa především v tuhém skupenství.

### **Peletky:**

Peletky se vyrábí lisováním biomasy za vysokých tlaků a teploty o kolo 100 °C. Při vyšších teplotách měkne celulóza v biomase a stává se lepivá, to umožňuje vyrábět peletky bez jakéhokoli přídavného pojiva. Poté je protlačována skrz většinou kruhový otvor o průměru 6 až 20 mm. Po vytlačení jsou zkráceny na délku o kolo 40mm. Pro výrobu peletek se může jako výchozí materiál využít: dřevo, obilná sláma, seno, RRD...

### **Dřevní štěpka:**

Dřevní štěpka je „strojně nakráčená a nadrcená dřevní hmota na částice o délce od 3 do 250 mm.“<sup>2</sup> Dřevní hmota se získává většinou z odpadů po lesní těžbě, při průmyslovém zpracování dřeva anebo z rychle rostoucích rostlin. Štěpka se dělí podle původu užití dřevní hmoty a to na: lesní, bílá, hnědá, rychle rostoucích dřevin a další.

### **Hnědá štěpka:**

Hnědá štěpka jsou naštěpované kmeny i s kůrou a proto má vyšší vlhkost i obsah popeloviny

### **Lesní štěpka:**

Lesní (zelená) štěpka vznikne jako zbytek po lesní těžbě a jedná se o naštěpované větve i s listy, nebo jehličím obsah vody v ní je až 55% hmot. Bílá, pilařská, anebo papírenská je odpad z odkorněných kmenů.

## 2.3. Vlastnosti biopaliv pro průmyslovou energetiku

Biopaliva stejně, jako všechny paliva obsahuje hořlavinu, vodu a popelovinu. Všechny tyto složky ovlivňují jeho vlastnosti, jako jsou: „výhřevnost, zápalnost, rychlost spalování, vyhovující rozpětí směšovacího poměru, teplota bodu zápalu resp. samovznícení, výhodné chemické složení a jiné“<sup>3</sup>. Nejdůležitější vlastnosti paliva je jeho výhřevnost ta je ovlivněna složením paliva a množstvím vody. Vlhkost paliva můžeme ovlivnit jeho správným skladováním a tím ovlivnit jeho výhřevnost. V tabulce 1. Jsou uvedeny vybrané typy biopaliv vhodné pro průmyslovou energetiku a pro srovnání i

černé a hnědé uhlí. U štěpky hnědé její výhřevnost a popelovinu silně ovlivňuje množství kůry v ní obsažené. Vlastnostem popíku z biomasy se věnuje následující část: „3. Popelovina z biomasy a její vlastnosti“.

**Tab. 1.** Tabulka spálené teplo, vlhkostí a popeloviny vybraných paliv. <sup>4</sup>

Druh paliva	W <sup>r</sup> % hmot.	A <sup>r</sup> % hmot.	Q <sub>s</sub> <sup>r</sup> [MJ/kg]
Ječná sláma	10,58	3,09	14,97
Pšeničná sláma	10,00	4,55	17,20
Řepková sláma	17,98	13,84	13,30
Kukuřičná sláma	17,86	5,45	14,75
Peletka slámová	12,61	5,11	19,22
Štěpka hnědá	30,00	8,00	12,00
<b>Hnědé uhlí (Bílina)</b>	<b>30,20</b>	<b>6,84</b>	<b>14,00</b>
<b>Černé uhlí (Darkov)</b>	<b>5,00</b>	<b>33,20</b>	<b>27,30</b>
Peletka papírová	<1	13,04	15,99
Štěpka bílá	15,00	1,50	16,00

Ke zpracování této kapitoly byla použita tato literatura:

Stanovení jakostních ukazatelů pelet z biomasy. *Biom* [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stanoveni-jakostnich-ukazatelu-pelet-z-biomasy>

Peleta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Peleta>

STUPAVSKÝ Vladimír HOLÝ, Tomáš: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655

Biopalivo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Biopalivo>

Obnovitelné zdroje energie. *VŠCHT – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/OZE/6OZEpu.pdf>

Seznam citací:

1: Palivo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivo>

2: STUPAVSKÝ Vladimír HOLÝ, Tomáš: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655

3: Palivo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivo>

4: VÝZKUMNÝ ÚSTAV PRO HNĚDÉ UHLÍ A.S. *Protokoly č. 692, 951, 953,1006 /2008/POV:*

### **3. Popílek z biomasy a jeho vlastnosti**

Složení popeloviny u biomasy se liší od uhlí a to především kvůli geologickému stáří. U uhlí se jedná především o oxidy křemíku a malého množství dalších minerálů. U biomasy se jich vyskytuje větší množství těchto prvků: Ca, K, Si, které jako slitina mají nízkou teplotu tání. Jeho přesné složení se stanoví podle postupu předepsaný normou ČSN 44 1358 a zjišťují se především tyto složky: SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O a K<sub>2</sub>O...

#### **3.1. Vzniku popílku**

Každé palivo obsahuje určité množství balastních látek, které se nezúčastňují procesu spalování, ty se nazývají popelovina. Po spálení zbude popílek, který vzniká z popeloviny a obsahuje i tuhý nedopal, to je neshořela hořlavina z paliva. Chemické složení popílku závisí především na: chemickém složení původního paliva, teplotách hoření a množství přivedeného kyslíku.

Při velice intenzivním hoření dojde ke zvýšení teploty nad bod měknutí a z popílku vznikne jeho natavením škvára. Toho se využívá v granulačních ohništích, aby se zmenšil úlet. Při překročení teploty tečení vznikne ze škváry struska, která je produktem z výtavného ohniště.

#### **3.2. Způsob vzniku nánosů na teplosměnných plochách**

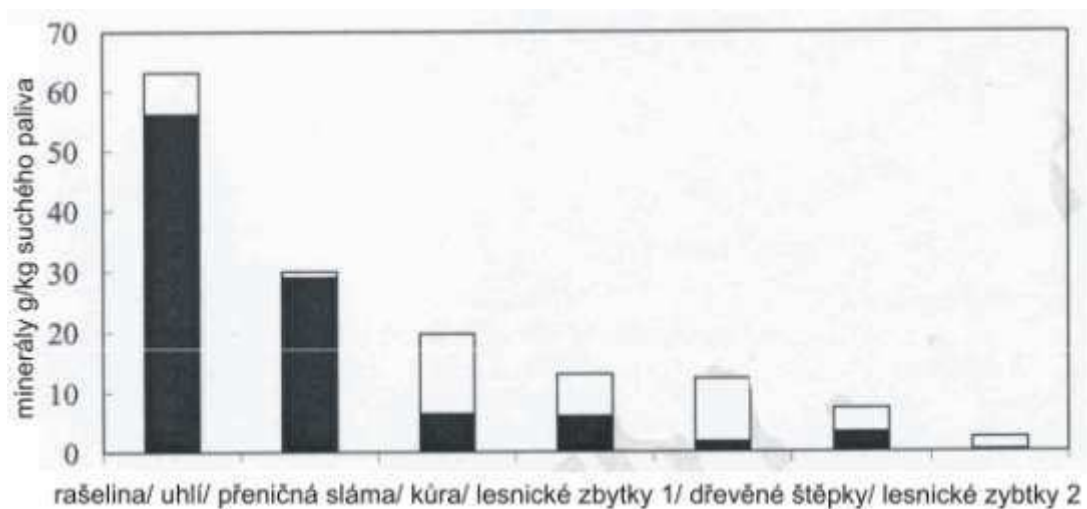
Biomasa na rozdíl od popelu z uhlí obsahuje více alkalických látek a fosforu. Ty se ve spalovacím prostoru odpaří a část zkondenzuje na chladnějších teplosměnných plochách. Viz. Obr. 1.

**Obr. 1.** Vzniklé nánosy v kotli EHO na přehříváku. <sup>1</sup>



Mechanické vlastnosti nánosů ovlivňuje chemické složení a teplota v místě vzniku. Při spalování většiny paliv z biomasy se může část odpařit, to už při teplotě okolo 700°C, poté zkondenzují především na plochách přehříváku. Zde vytváří přilnavý povrch a dále se na ně nalepují další částice. Takto vzniklé nánosy jsou těžce odstranitelné pomocí běžných používaných technologií a vytvářejí pevné a tvrdé nánosy.

**Obr. 2.** Závislost druhu paliva na množství minerálů. <sup>2</sup>



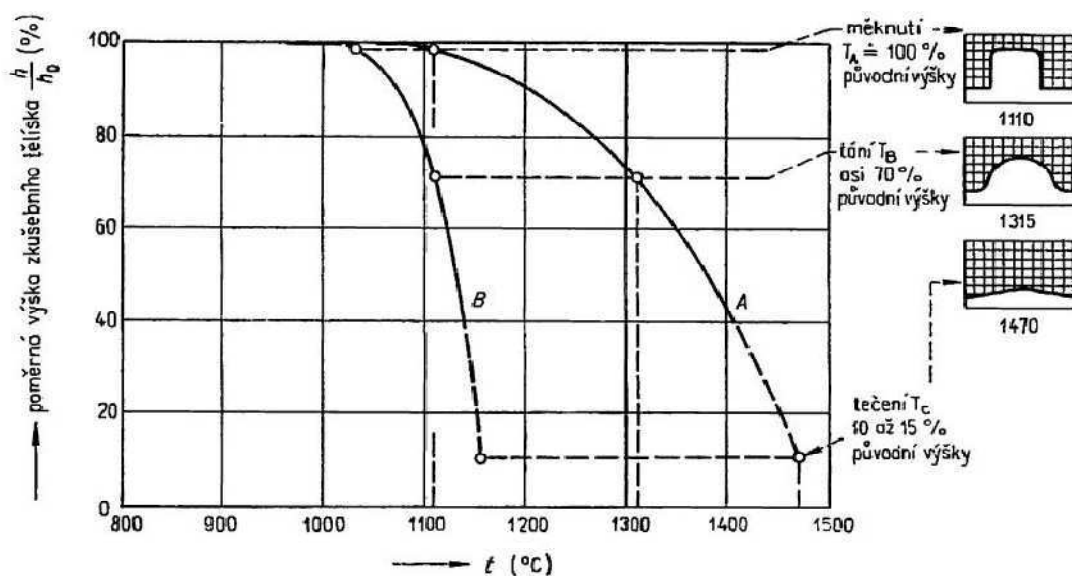
Na Obr 2. je distribuce minerálních složek v popelovině u různých paliv. První pole (světlé) znázorňuje podíl rozpustných látek ve vodě anebo v octanu. Druhé rozpustné v kyselině chlorovodíkové. Třetí jsou nerozpustné. Právě ty rozpustné ve vodě, anebo v octanu jsou ty, které vytváří aerosol. Ten poté kondenzuje a vytváří již zmíněný přílnavý povrch.

### 3.3. Vlastnosti a způsob hodnocení popílku

U popílku se hodnotí především jeho termofyzikální, mechanické chemické působení. Tyto vlastnosti se stanovují podle normy ČSN ISO 540 (starší ČSN 44 1359). Z termofyzikálního hlediska se stanoví tzv. charakteristické teploty: měknutí  $t_{mk}$  ( $T_A$ ), tavení  $t_{ta}$  ( $T_B$ ) a tečení  $t_{tc}$  ( $T_C$ ).

Při teplotě měknutí se původnímu krychlovému nebo válcovému vzorku zaoblí hrany. Mezi teplotami měknutí a tavením se vzorek z „čtverce“ změní v půlkruh. Poté se pomalu snižuje, až asi na 10 ÷ 15% původní výšky tuto teplotu označujeme za teplotu tání. Na obr. 2. Jsou charakteristické teploty dvou popelů, popel A je tzv. dlouhý popel, s velkým intervalem mezi teplotami  $T_A$  a  $T_B$ . Popel B je tzv. krátký a rychle přechází plastickou oblast do tekutého stavu. Obecně platí, že čím jsou tyto hodnoty vyšší tím bude jednodušší odstraňování jejich nánosů. V následující tabulce 1. jsou uvedeny charakteristické teploty některých popelů biomasy pro energetické využití. Pro porovnání i popílek z černého a hnědého uhlí.

**Obr. 3.** Charakteristické teploty popela.<sup>3</sup>



**Tab. 1.** Charakteristické teploty popela z biomasy pro energetické využití. <sup>4</sup>

Druh paliva	Měknutí	Tavení	Tečení
	[°C]		
Ječná sláma	783	923	1118
Řepková sláma	665	1452	1460
Kukuřičná sláma	886	1036	1059
Pšeničné zrna	727	772	792
Rostlinné plevy	1064	1187	1207
Peletka z obilných zbytků	1148	1183	11210
Peletka z cíleně pěstovaných polních plodin	1190	1232	1257
Peletka slámová	1190	1240	1260
Štěpka hnědá (lesní)	1246	1277	1303
<b>Hnědé uhlí (Bílina)</b>	<b>1280</b>	<b>1360</b>	<b>1500</b>
Štěpka RRD	1310	1315	1320
<b>Černé uhlí (Darkov)</b>	<b>1345</b>	<b>1364</b>	<b>1398</b>
Peletka papírová	1320	1340	1350
Štěpka bílá	> 1450	> 1450	> 1450

Mechanické a chemické působení jsou další vlivy popela na kotel a to především abrazí a erozí kovových částí. Nejvíce opotřebovává výhřevné dodatkové plochy a kouřové ventilátory. Opotřebení je závislé na třetí mocnině rychlosti, a proto je důležité, aby rychlost spalin a koncentrace popílku byla v celém průřezu rovnoměrně rozložená.

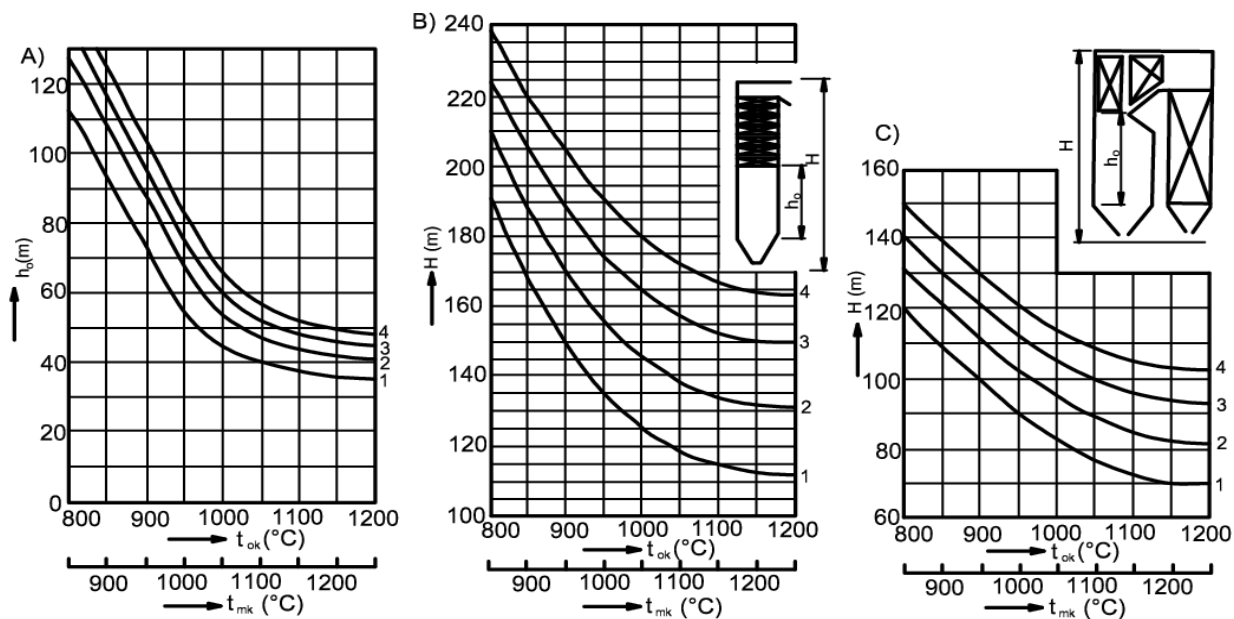
### 3.4. Způsoby snížení možnosti vzniku

#### 3.4.1. Změnou konstrukce kotle

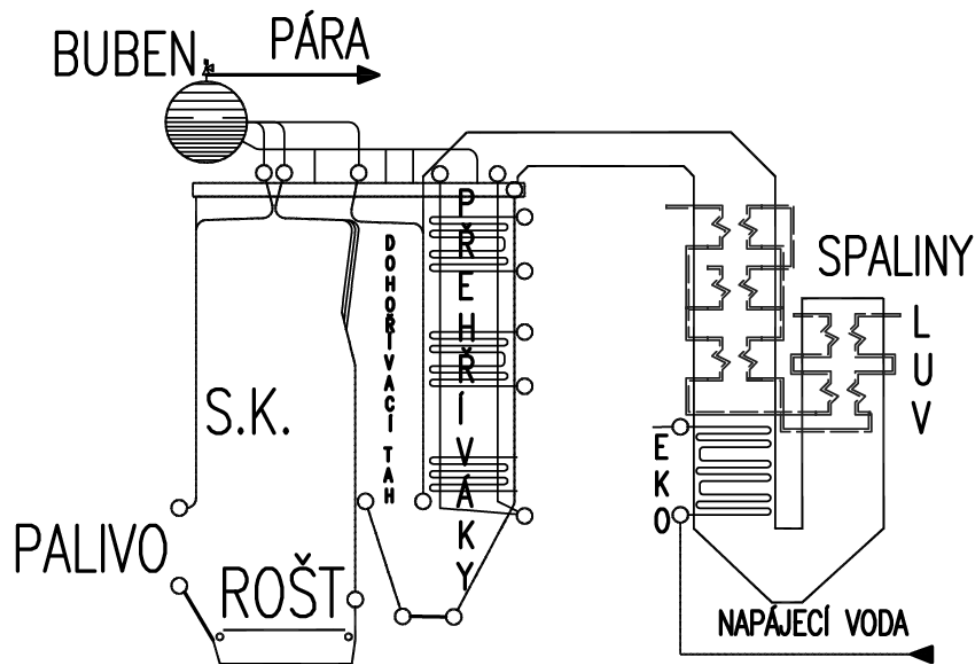
Předjetím těžce odstranitelných nánosů vzniklých zkondenzováním látek na teplosměnných plochách se dá při návrhu kotle a to zvětšením radiální sekce kotle a tím snížit teplotu spalin, aerosol se neusadí v takové míře na dodatkových plochách. Pomocí navržením vyššího ohniště a celého kotle podle teploty měknutí paliva viz Obr. 3, nebo požitím dohořivací komory (mrtvého tahu) to znamená, že v tahu nejsou žádné teplosměnné plochy kromě membránových stěn. Viz Obr. 4.



**Obr. 4.** Vliv teploty měknutí popela na výšku ohniště (A) a celého věžového (B) a dvou tahového kotle (C) pro výkon  $P_j$ : 1- 500, 2 - 1000, 3 - 1500 a 4 - 2000MW. <sup>3</sup>



**Obr. 5.** Schéma kotle na biomasu Krnov K6, výkon: 35t/h páry při 445°C a tlaku 37bar. <sup>5</sup>



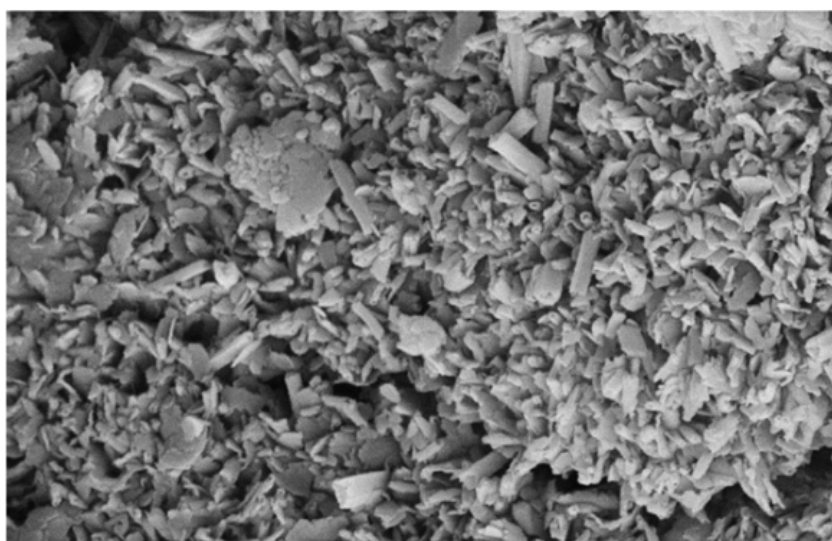
Toto se dá využít pouze u kotlů ve, kterých se již od začátku počítalo alespoň s částečným provozem na biomasu. U starších, které jsou většinou u nás provozovány na biomasu to není možné z důvodu odlišné celkové konstrukce.

### 3.4.2. Dotování paliva látkami ovlivňující popelovinu

Jednou z možností je dotovat palivo látkami, které po přidání do spalovacího procesu naváží prvky, které můžou za vznik nánosů nejvíce K a vznikne struktura alkalických hliníkových silikátů (porcelán) s vysokou teplotou tavení  $T_B > 1400$  °C.

Taková látka je např. Kaolinit ( $Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$ ). Jeho nevýhodou že má poměrně malý specifický povrch ( 5 - 10  $m^2/g$  ) a i díky němu je málo reaktivní. Proto by se jej muselo přidávat více a celý by nezreagoval a skončil by z části v popelu. Vhodnější je Halloysit ( $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \cdot 10H_2O$ ), který má větší specifický povrch (přibližně 70 - 85  $m^2/g$  ) vyplývající z jeho stavby nanotubic viz Obr. 5. Díky fázovým změnám při teplotách nad 550 °C je značně reaktivní a což umožňuje tvorbu sloučenin s alkalickými kovy, které mají vysoký bod tání. Chemické složení obou je téměř shodné. Základní rozdíl je v jeho mineralogické struktuře. Složení Halloysitu z dolu Dunino (Polsko) je následující:  $Al_2O_3$  - 26 %,  $SiO_2$  -32 %,  $Fe_2O_3$  -22 %,  $TiO_2$  - 4 % a příměsi Fe a Ti.

**Obr. 6.** Nanotubicová struktura Halloysitu. <sup>6</sup>



Přidáním Halloysitu do paliva se sníží vnik strusky (spékání) a tendence zanášení teplosměnných ploch. Navíc omezí vnik vysokoteplotní koroze na všech teplosměnných plochách, kde by se mohl usazovat nános z KCl.

Halloysit se přidává ve formě namletého prášku přímo do paliva před jeho uložením do bunkru. V závislosti na druhu paliva. Většinou se přidává 1, až 2 % do paliva u některých paliv může být obsah vyšší až 4 % hmot. V současnosti se tato technologie využívá na elektrárně Jaworzno (Polsko).

Další možností je vstřikování kapalných, nebo práškových aditiv přímo do prostoru spalovací komory. Jako jsou například: DRIVEX 2000, DRIVEX 2100, DRIVEX 2200... od firmy AIT-DRIVEX a. s.

Činidlo DRIVEX 2100 se ve formě kapaliny vstřikují přímo do plamene hořáku viz Obr. 6. Poté by měl zvýšit teplotu tavení popílku a na T. S. plochách vytvoří vrstvu okysličující nespálené uhlovodíky (zamezení vzniku sazí).

**Obr. 7.** Vstřikovací zařízení pro kapalná činidla DRIVEX. <sup>7</sup>



Dodává se buď 220 kg v plastových sudech anebo 1100 kg v ISO kontejnerech. Dávkuje se zhruba 200 až 300 ppm to je 2 až 3 kilogramy činidla pro 10 000 kilogramů použitého paliva

Všechny uvedené činidla se dávkuje stejně rozdíly jsou v především ve složení a v mechanismu zamezení vzniku nánosů na T. S. plochách a dalších vlastnostech např. činidlo DRIVEX 2000 retenčně snižuje emise SO<sub>3</sub>.

Ke zpracování této kapitoly byla použita tato literatura:

ČERNÝ, V., B. JANEČKA a J. TEYSSLER. *Parní kotle*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983.

VLASTNOSTI BIOMASY Z HLEDISKA VHODNOSTI PRO SPALOVÁNÍ. *Katedra energetiky, Fakulta strojní TŠB-TUO* [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf#page=5&zoom=auto,0,702](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf#page=5&zoom=auto,0,702)

Popel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Popel>

Vlastnosti popelů z biomasy v závislosti na procesu spalování - Biomasa\_-\_popel. [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [http://media0.nolimit.cz/files/media0:50fdb8172a111.pdf.upl/Biomasa\\_-\\_popel.pdf](http://media0.nolimit.cz/files/media0:50fdb8172a111.pdf.upl/Biomasa_-_popel.pdf)

MROCZEK, Kazimierz, Sylwester KALISZ, Marek PRONOBIS a Józef SOŁTYS. Fuel Processing Technology: The effect of halloysite additive on operation of boilers firing agricultural biomass. *Elsevier*. 2011, č. 92, s. 845-855.

DRIVEX: Products. *AIT-DRIVEX a. s* [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: [http://www.drivex.fr/Catalogue\\_En.htm](http://www.drivex.fr/Catalogue_En.htm)

Seznam citací:

1: KOLOVRAT, ENGO SERVIS S.R.O. *Mechanické čištění trubkových výhřevných ploch 2. tahu na kotli FK1/2 metodou kuličkového deště*. 2012.

2: Biomasa\_-\_popel. [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [http://media0.nolimit.cz/files/media0:50fdb8172a111.pdf.upl/Biomasa\\_-\\_popel.pdf](http://media0.nolimit.cz/files/media0:50fdb8172a111.pdf.upl/Biomasa_-_popel.pdf)

3: ČERNÝ, V., B. JANEBERA a J. TEYSSLER. *Parní kotle*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983.

4: VLASTNOSTI BIOMASY Z HLEDISKA VHODNOSTI PRO SPALOVÁNÍ. *Katedra energetiky, Fakulta strojní TŠB-TUO* [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf#page=5&zoom=auto,0,702](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf#page=5&zoom=auto,0,702)

5: BAJDA, Pavel. PBS BRNO DIZ A.S. *Technologické schéma 3. úrovně kotle K6*. 2009.

6: MROCZEK, Kazimierz, Sylwester KALISZ, Marek PRONOBIS a Józef SOŁTYS. Fuel Processing Technology: The effect of halloysite additive on operation of boilers firing agricultural biomass. *Elsevier*. 2011, č. 92, s. 845-855.

7: DRIVEX: Products. *AIT-DRIVEX a. s* [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: [http://www.drivex.fr/Catalogue\\_En.htm](http://www.drivex.fr/Catalogue_En.htm)

## 4. Rešerše odstraňování nánosů v kotli

Pro odstraňování nánosů lze využít nejrůznější systémy. Ty se dají rozdělit na: pracující při provozu kotle a při odstavení. Ideální čištění by mělo být co nejšetnější k teplosměnným plochám, co nejlépe je očistit, neovlivňovat rosný bod spalin a zároveň být levné a jednoduché. Vybral jsem pouze ty nejrozšířenější systémy pro odstranění nánosů z teplosměnných ploch. Jsou založený na nejrůznějších fyzikálních principech. Většinou rozechvějí poměrně pružné teplosměnné plochy a vlivem toho opadá popílek. Tento princip však většinou není vhodný u kotlů spalujících biomasu z již zmíněných důvodů. V České Republice je nerozšířenější používání parních ofukovačů, které ale nejsou příliš vhodné u kotlů na spalování biomasy z již zmíněných důvodů.

Pro čištění T. S. ploch můžeme použít těchto metod a postupů:

### a) Za provozu

1. Parní ofukovače.
2. Akustické čištění
3. Ostřikování T. S. Ploch vodním paprskem, Vodní ostříky
4. Kuličkový déšť
5. Mechanickým oklepem

### b) Při odstavení

1. Mechanické čištění.
2. Čištění kotle výbuchem.

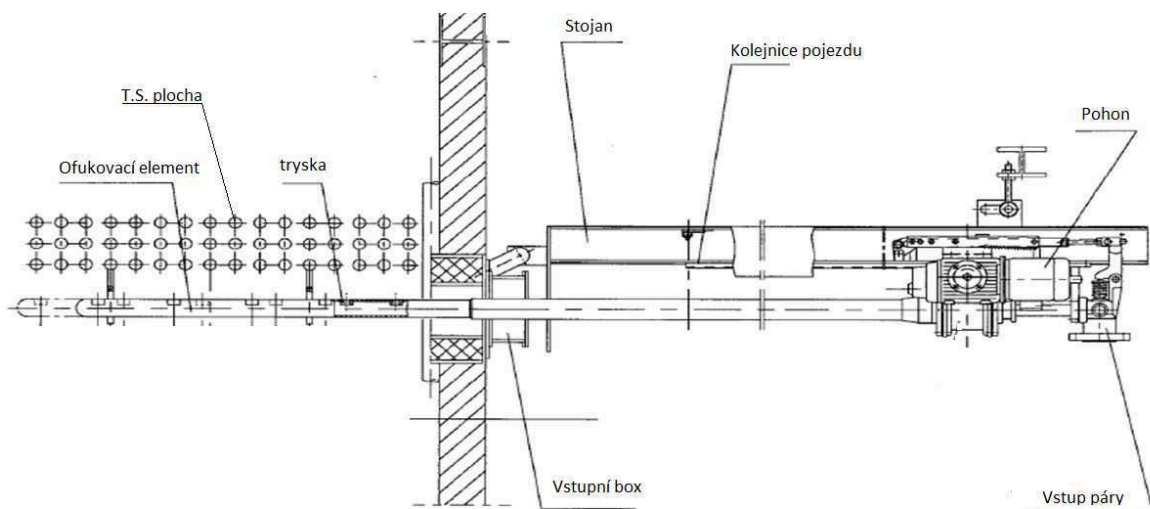
## 4.1. Provozní čištění

Lze je provozovat kontinuálně při provozu kotle, bez omezení výroby energie.

### 4.1.1. Parní ofukovače

Parní ofukovače je mechanické zařízení automaticky ovládané k odstraňování nánosů jako je popel, saze a struska z teplosměnných ploch parního kotle. Nečistoty odstraňuje pomocí vysokotlaké páry vlastní výroby, nebo z jiného zařízení. Umožňují rychlé odstranění nečistot z kotle bez potřeby odstavení. Čištění se provádí v jednotlivých cyklech. Viz Obr. 1.

**Obr. 1.** Schéma Rotační ofukovač RK-SB<sup>1</sup>



Před samotným ofukováním ofukovač vjede do kotle do pracovní polohy. Poté je do něj přivedena pára a pokračuje v pohybu. Může ofukovat jak stěnu před ním, za ním i se při pohybu otáčet a ofukovat svazky trubek kolem sebe. Před použitím může být zcela vysunut z kotle, do půlky v kotli, nebo zcela zasunut, závisí na teplotě v místě ofuku. Pokud je umístěn v kotli tak musí být uzpůsoben tak, aby se vlivem tepla nedeformoval např. zavěšen na konzolách, ve kterých se pohybuje. Je potřeba s ofukovač pravidelně pohybovat i v případě že jsou plochy čisté v tom případě bez páry. Z důvody zajištění volného pohybu.

Množství jednotek záleží na velikosti kotle, požitím palivu, rozložení teplosměnných ploch a předchozích zkušenostech. Jedná se asi o nejrozšířenější způsob jak udržet teplosměnné plochy čisté a bez odstávky. Je třeba se vyhnout příliš častého využívání, protože zvyšuje odběr vlastní páry a mohou způsobit zvýšenou korozi ploch.

Jako pracovní médium se přivádí pára, buď vlastní výroby, nebo z jiného zařízení. Prochází redukční stanicí, kde se její parametry upraví přibližně na 308°C a 2,2 MPa. Během jednoho ofukovacího cyklu se spotřebuje 400 až 900 kg páry při průtoku 1,6 až 2,5 kg/s. Celý cyklus trvá okolo 400 s.

Tento systém vyrábí firmy: PBS INDUSTRY a.s., Babcock & Wilcox Power Generation Group Inc., Clyde Bergemann Power Group Inc., Diamond Power International Inc.

Tato metoda se používá nejen k čištění T. S. Ploch tlakového celku kotle – dodatkové ploch, ale také k čištění rekuperačních ploch – Ljungströmu, například na kotlích v ETU, ELE apod.

Parní ofukování je použito pro čištění teplosměnných ploch u těchto kotlů:

ZDROJ	Kotel	Provozovatel
ETU	K A, K B, K C a K D (Ljungström)	ČEZ a.s.
ELE	K 6 (NZ ELE), FK 4 (v současnosti mimo provoz)	ČEZ a.s.
ETI	FK 1 a FK 2	ČEZ a.s.
ŠKO-ENERGO	FK 1 a FK 2	ŠKO-ENERGO s.r.o.
KAKANJ, BiH	K 5 a K 6	Elektroprivreda Sarajevo, BiH
Çan, Turecko	FK 1 a FK 2	EÜAŞ, Turecko
Maritza 1	K 1 a K 2	AES, Bulharsko

Výhody:

- Nejrozšířenější způsob
- Jednoduchý a plně automatizovaný provoz

Nevýhody:

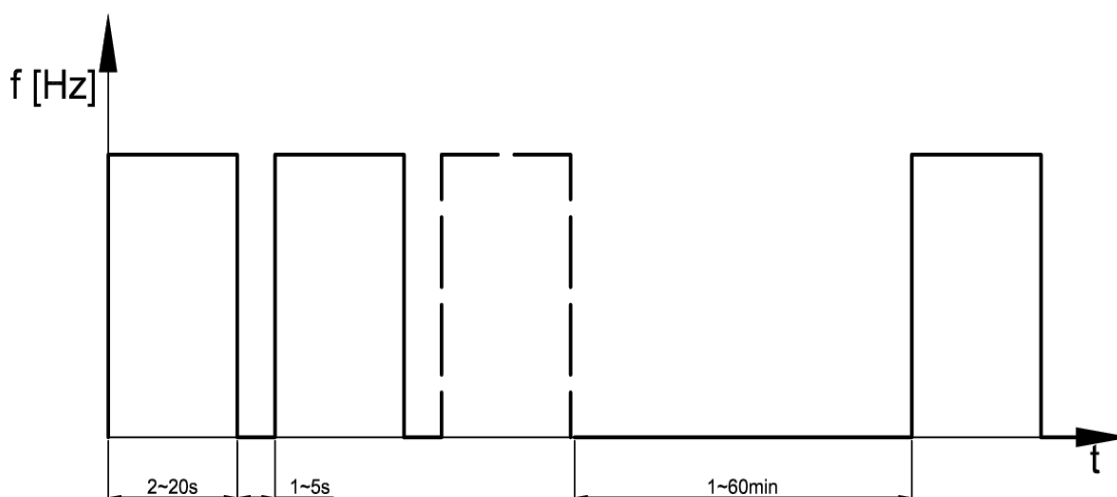
- Negativně ovlivňuje rosný bod spalin
- Zvyšuje vlastní odběr páry

Náročnější provozní údržba zařízení, vyšší provozní náklady

#### 4.1.2. Akustický systém čištění

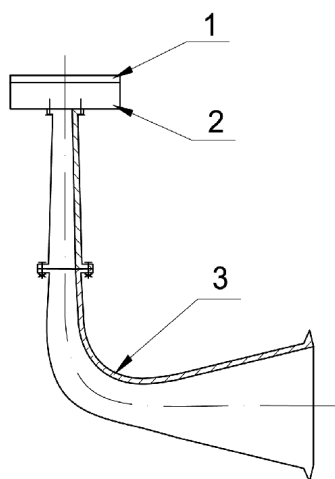
Akustický systém (nirafon) čistí nečistoty pomocí akustického (tlakového) šoku. Ty jsou generovány pomocí pneumaticky ovládaných akustických měničů. Frekvence zvukových vln se pohybuje v rozmezí od 100-250Hz. Tato energie rozrezonuje a uvolní prach, saze nebo jiné částice, které mají tendenci usazovat se. Pracují v jednotlivých cyklech viz. Obr 2.

**Obr. 2.** Průběh frekvence zvukových vln v závislosti na času.



Pracovní tlak pro akustickou jednotku (viz. Obr 3.) musí být v rozmezí od 0,5 do 0,8 Mpa. Při provozu odebírá zhruba 20 až 35  $l_n/s$  (v závislosti na tlaku) a v klidovém stavu na ochlazování membrány, aby byla stále provozuschopná, kolem 1 až 2  $l_n/s$  (trvale). Pokud by nebyla vzduchová síť schopna dodat špičkové průtoky jsou s měniči osazeny tlakovými zásobníky většinou kolem 80 až 100  $l_n$ . Při těchto parametrech je ve vzdálenosti 1m od ústí trubice hladina akustického hluku kolem 150dB. Současně systémy jsou schopny pracovat většinou do 800 °C pro „Super slitinu“ až 1100 °C. Samotný akustický generátor bývá zhotoven z kyselinovzdorné nerezavějící oceli, nebo z konstrukční oceli.

**Obr. 3.** Akustická jednotka: 1-Víko, 2-Těleso generátoru, 3- Rozšiřující se trubka (složí i k upevnění ke stěně kotle)

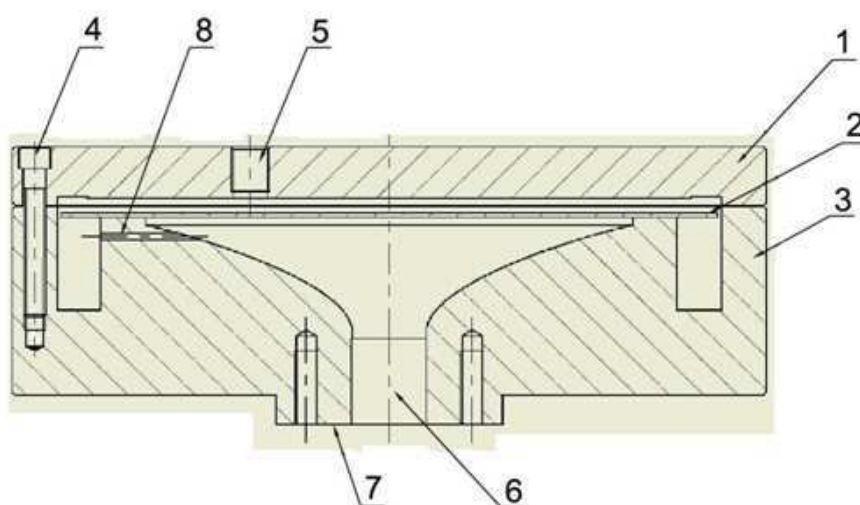




Vzduch je potřeba před vstupem do jednotky je třeba zbavit pevných nečistot. Proto je vybaven filtrem pevných částí  $> 5 \mu\text{m}$ . Poté pokračuje na automatický odkalovací ventil, kde se zbaví přebytečné vlhkosti. Pokud je příliš suchý pokračuje na maznici. Spotřeba oleje je velice malá pouze pro zajištění tenkého olejového filmu na membráně. Pro většinu aplikací stlačený vzduch pokud by mohlo vzniknout nebezpečí (oxidace nebo výbuchu) může být nahrazen například dusíkem.

Samotný akustický generátor (viz Obr 4.) je složen z 3 hlavních částí víka, membrány a tělesa generátoru. Membrána je volně vložena mezi víko a těleso, ty jsou spolu spojeny pomocí několika šroubu. Při zvýšení tlaku na přívodu vzduchu se membrána rozvibruje. Vzniklý zvuk postupuje spolu se vzduchem přes trubku do zařízení.

**Obr. 4.** Akustický generátor: 1- Víko, 2- Membrána, 3- Těleso generátoru, 4- spojovací šrouby, 5- Přívod vzduchu, 6- Odvod vzduchu (zvuku), 7- Připojovací příruba, 8- Otvor pro chladicí vzduch.



Počet jednotek je dimenzován podle velikosti a tvaru zařízení a množství ploch, na které v důsledku spalování ulpívá popílek. Jsou rozmístěny vždy ve vzdálenosti celých násobků vlnových délek, aby nedocházelo díky fázového posunu k vyrušení díky interference. Kvůli které by byl výsledek čištění značně narušen. Při instalaci musí být každá jednotka zvlášť naladěna.

Akustický systém vyrábí např. tyto firmy: SERES – PROMOCHEM, Blixt's Processteknik AB, Harley Nirafon India Pvt. Ltd., IPH Servis Morava, s.r.o.

Akustické čištění je použito pro čištění teplosměnných ploch u těchto kotlů:

ZDROJ	Kotel	Provozovatel
EHO	FK 1 a FK 2	ČEZ a.s.

Výhody A.S. jsou především v:

- Neovlivňují vlastnosti spalín především rosný bod.
- Velký rozsah použití
- Nízké provozní a pořizovací náklady
- Samotná jednotka je poměrně jednoduché zařízení složené jen z několika dílů

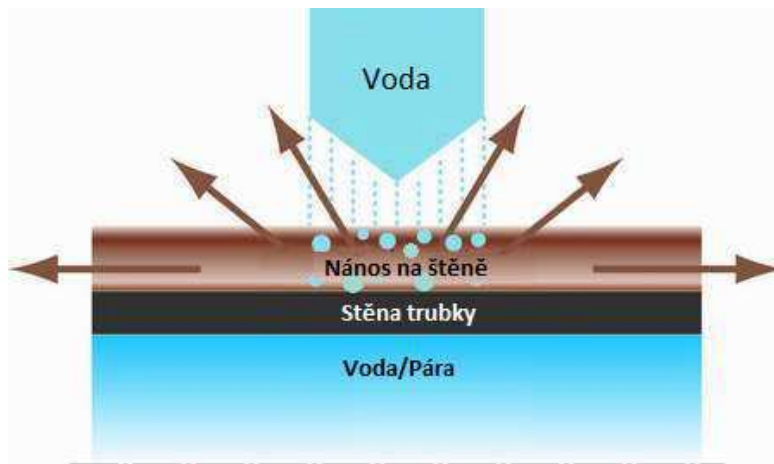
Nevýhody:

- Nezvládnou odstranit nánosy u kotlů spalujících převážně biomasu
- Obtížné vyladění jednotlivých jednotek
- Nutnost vybudovat přívody a zdroj pracovního vzduchu

### 4.1.3 Vodní ostříkování

Jako médium se používá tlaková voda. Soustředěný proud vody z vysokotlakých trysek čistí velké plochy spalovací komory díky natáčení trysek. Voda proniká horní vrstvou usazenin, rychle se vypařuje, a tím odlupuje částice strusky od membránových stěn Obr. 5. Nastavení správných provozních parametrů zajišťuje prevenci většího tepelného pnutí v membránových stěnách.

**Obr. 5.** Princip odstranění nánosů vodním ostříkem <sup>1</sup>



Vodní dělo slouží k odstranění vrstev strusky na stěnách spalovací komory jednotky kotle. Čištění se provádí soustředěným proudem vody buď na protější stranu který naráží na zanesenou část stěny kotle. Rám ostřikovače je pevně instalovaný na stěnu kotle. Proud vody generuje speciální tryska v hlavě ostřikovacího děla. Pomocí vedení se ostřikovací dělo pohybuje horizontálně a vertikálně tak, aby proud vody dopadal na stěnu kotle a opisoval meandrovitý vzor viz. Obr. 6. Přitom je ostřikovací trubka uchycená v upevňovacích skříňkách kardanovým kloubem umístěným v otvoru do spalovací komory. Programované řízení zaručuje přizpůsobení vzoru ostřikování geometrickému tvaru spalovací komory, řízení přívodu vody a monitorovací funkce.

**Obr. 6.** Ostřikování membránových stěn<sup>1</sup>



Ostřikovač jsou napájeny demoralizovanou vodou o tlaku 1,8 MPa, její průtok je zhruba 12 m<sup>3</sup>/s a na jeden ostřík se spotřebuje pro jedno dělo 5211 m<sup>3</sup>.

Vodní ostřiky vyrábí tyto firmy: PBS INDUSTRY a.s.,

Pro vyhodnocení zanesení T. S. ploch se používá měření tepelného toku do stěn, na základě tohoto měření vyhodnotí ASŘ stupeň zanesení a příslušné vodní ostřiky provedou čištění plochy

Jsou použiti při čištění teplosměnných ploch například u těchto kotlů:

ZDROJ	Kotel	Provozovatel
KAKANJ, BiH	K 5 a K 6	Elektroprivreda Sarajevo, BiH
ETU	K A, K B, K C a K D	ČEZ a.s.
ELE	K 6 (NZ ELE)	ČEZ a.s.

Výhody:

- Jednoduchý a plně automatizovaný provoz
- Přesně cílené čištění

Nevýhody:

- Negativně ovlivňuje rosný bod spalin
- Může zvyšovat pnutí v membránových stěnách
- Složité vyhodnocování zanesení T. S. ploch a tím i vyladění jednotlivých jednotek

#### **4.1.4. Kuličkový děšť**

Kuličkový děšť je systém založený na principu mechanického odstranění nánosů pomocí malých kuliček dopadajících na teplosměnné plochy. Při pádu kuliček získávají kinetickou energii, kterou při několika násobných dopadech předávají znečištěným trubkám. Při těchto dopadech uvolňují usazené nečistoty. Čištění je prováděno v jednotlivých cyklech jejich parametry se stanoví až podle provozních podmínek.

Samotný systém se skládá ze čtyř základních zařízení: separátoru kuliček od prachu, rozdělovače kuliček (rozdělovač), zásobníku kuliček s regulací a dopravním ventilátorem nebo dmychadlem. Viz Obr. 7.



Sběrný zásobník slouží jako zásoba kuliček a regulace. Regulace je realizována pomocí uzavíracího orgánu před ejektorem.

Výstupní Box slouží k oddělení kuliček a dopravního vzduchu. Je nainstalován nad kotlem. Naproti vstupní trubce je druhá zaslepená trubka o větším průměru. Které se zastaví kulička o předchozí dopravené kuličky. Přebytek odpadne do násypky. V nejvyšším místě boxu je umístěn výstup brýdového vzduchu.

Rozdělovač Rozděluje kuličky do menších proudů, tak aby byly rovnoměrně rozloženy přes celý profil. Většinou je jich více řazených za sebou, aby bylo rozdělení co nejlepší.

Kuličkový déšť je především vhodný pro svislé tahy se svazky trubek, průřez tahu by měl umožňovat rovnoměrné kuličkování a znečištění by mělo být převážně prachové a nemělo by překračovat určitou míru. Nelze jej použít na teplosměnné plochy umístěné ve spalovací komoře z technologických důvodů.

Kuličkový déšť je použit pro čištění teplosměnných ploch u těchto kotlů:

ZDROJ	Kotel	Provozovatel
CELPAK	K	CELPAK

Výhody:

- Suché čištění
- Automatický provoz a jednoduchá obsluha
- Rovnoměrný obsah prachu ve spalinách při plynulém provozu čištění
- Nízké provozní náklady
- Neovlivňuje negativně rosný bod spalin

Nevýhody:

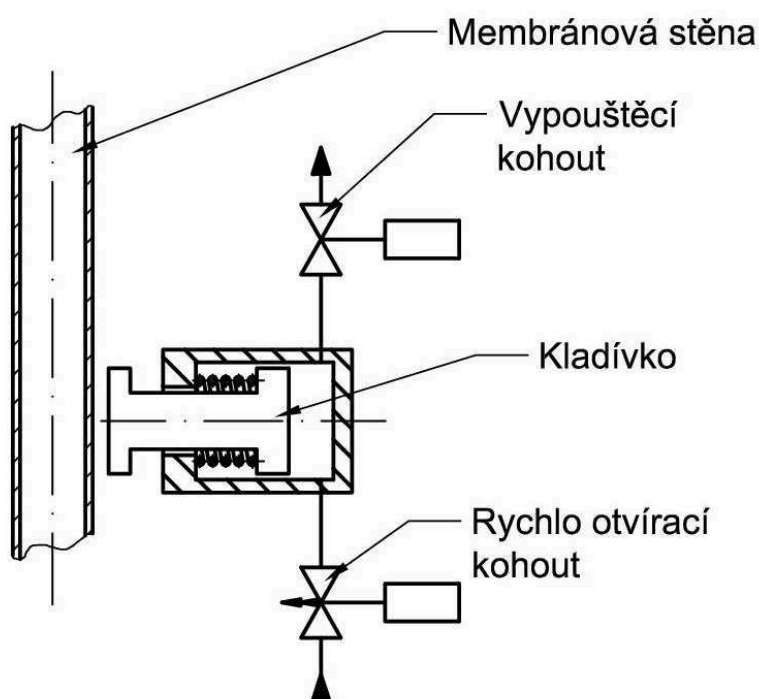
- Poměrně velký stavební zásah do kotelny
- Lze použít pouze u svislých tahů

#### 4.1.4. Mechanickým oklepem

Jedná se o pneumaticky ovládané kladívko, které v určitých intervalech z vnější stěny klepe do membránové stěny (obdoba čištění elektrostatických filtrů). Jsou ovládány pneumaticky pomocí tlakového vzduchu. Většinou jsou umístěny v řadě na spodní straně spalovací komory.

Po přivedení tlakového vzduchu rychlootvácím kohoutem kladívko klepne do membránové stěny ze které odpadá nános a po otevření vypouštěcího ventilu jej do původní polohy posune pružina. Viz Obr. 8.

**Obr. 8.** Schéma mechanického čištění



Mechanické čištění oklepem je použito pro čištění teplosměnných ploch u těchto kotlů:

ZDROJ

Kotel

Provozovatel

Spalovna Pfaffenau

K

Wiener Kommunal-

Umweltschutzprojektgesellschaft mbH

## 4.2. Při odstavení

Jedná se především o nouzové čištění kotlů při jejich odstavení, ale např. při teplotěnském provozu kotle může být dostačující viz. TKV kde nemají žádné průběžné čištění teplosměnných ploch.

### 4.2.1. Mechanické čištění

Tohoto postupu se používá v případech nedokonalého čištění ploch za provozu, jenž vede až k odstavení kotle z důvodu přílišného zanesení ploch (vysoké teploty spalin, nízké teploty páry apod.).

Toto nouzové čištění se snažíme eliminovat používáním vhodných metod provozního čištění. Postup se také používá při odstávce k provedení prací na příslušných plochách – generální oprava nebo porucha (netěsnost apod.).

Při všech pracích ve vnitřním prostoru spalování nebo dodatkových ploch je nutno dbát zvýšen bezpečnosti a ochrany pracovníků pracujících v těchto prostorech – vychlazení, odvětrání, zajištění před možným pádem nánosů/nálepů apod.

### 4.2.2. Čištění výbuchem

V současné době se této metody v České republice nepoužívá, jak z důvodu zajištění bezpečnosti, tak pro možné poškození technologie.

Po konzultacích s „matadory moderní energetiky“ – jednak s techniky uvádění do provozu tak s provozovateli, jsem dospěl k závěru, že tuto metodu nikdo dosud žijící na vlastní oči nezažil, jen o ní slyšel vyprávět.

Jedna z aplikací byla použita na kotli K 6 V Bosně a Hercegovině pro čištění II. Tahu, který byl v provozu do konce roku 2010, ale již je také mimo provoz. Při této metodě byl využit potenciál zemního plynu a inicializován elektrickou jiskrou.

K zpracování této kapitoly byla použita tato literatura:

Soot Blower. *HubPages* [online]. 2014 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://jabelufiroz.hubpages.com/hub/Soot-Blower>



Steam Boiler: Soot Blower of Steam Boiler. *Steam Boiler* [online]. 2012 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: [http://steamofboiler.blogspot.cz/2011/03/soot-blower-of-steam-boiler\\_08.html](http://steamofboiler.blogspot.cz/2011/03/soot-blower-of-steam-boiler_08.html)

F. HARLEY & CO. PVT. LTD. *Nirafon Acoustic Cleaning Systems* [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.harleynirafonindia.com/acousticproddet.php>

NIRAFONS. *Acoustic cleaners* [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.nirafon.com/products>

IPH SERVIS MORAVA, s.r.o. *Zvukové ofukovače* [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.iph.cz/ofukovace-zvukove.htm>

ENGO SERVIS S.R.O. *Mechanické čištění trubkových výhřevných ploch 2. tahu na kotli FK1/2 metodou kuličkového deště*. Ostrava, 2012.

ALSTOM. *Školící program: Ledvice 660MWe*.

Původní text (němčina): Müllverbrennungsanlage Pfaffenau. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: [http://de.wikipedia.org/wiki/Müllverbrennungsanlage\\_Pfaffenau](http://de.wikipedia.org/wiki/Müllverbrennungsanlage_Pfaffenau)

Seznam citací:

1: ALSTOM. *Školící program: Ledvice 660MWe*.

2: ENGO SERVIS S.R.O. *Mechanické čištění trubkových výhřevných ploch 2. tahu na kotli FK1/2 metodou kuličkového deště*. Ostrava, 2012.

## 5. Výběr vhodné metody pro vybrané typy biomasy

Pro výběr vhodného systému čištění je důležitá teplota měknutí ( $T_A$ ) popel dané biomasy a typ kotle.

### 5.1. Typy kotlů pro biomasu

Pro biomasu u nás v současnosti především kotle, které původně byly konstruovány na fosilní palivo a to ve fluidních, roštových nebo práškových kotlích. V současné době převažují v energetice převážně práškové kotle granulační doplněné DENOX pro snížení emisí  $\text{NO}_x$ . Kotle s výtavným ohništěm jsou v ČR provozovány minimálně – např. v DALKIA Třebovice. Teplota v ohništi překračuje teploty tečení popeloviny, cca  $> 1200^\circ\text{C}$ , a tyto teploty zvyšují podíl emisí  $\text{NO}_x$ .

Typy v současnosti provozovaných kotlů na fosilní paliva:

- práškové s výtavným ohništěm – omezeně
- práškové granulační
- s fluidní vrstvou
- roštové – nízké výkony

#### 5.1.1. Fluidní kotel

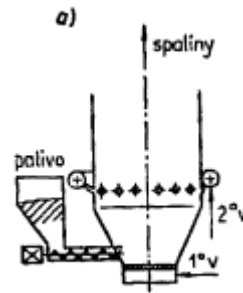
První kotel s fluidní vrstvou by postaven v USA začátkem 20. Století. Jeho účinnost je vyšší než kotle roštové, nebo práškové. Pohybuje se v rozmezí 37 - 48 %. Další jeho výhoda je že díky nízké teplotě ve spalovací komoře má taky nízké emise  $\text{NO}_x$ . Jeho nevýhodu je že se jedná o poměrně složité zařízení, náročnější na dodržování granulometrie vstupních hmot (palivo a vápenec). Díky těžké vyzdívice v SK je trend najíždění pozvolnější, limitován teplotním gradientem vyzdívek (cca  $100^\circ\text{C}/\text{h}$ ).

Pro zajištění správné funkce fluidní vrstvy musí mít palivo vhodnou granulometrii – dáno projektem. Jako BIO palivo je vhodná především dřevní štěpka a peletky.

Ve fluidním ohništi se spaluje drcené uhlí o zrnitosti 0 až 6 mm tak že je zespodu roštěm přiváděn spalovací – primární vzduch značnou rychlostí (4 až 6 m/s). Tím vznikne takzvaná fluidní vrstva paliva a inertního materiálu (popílek, písek). Palivo postupně vyhořívá, vzniká z něj popílek, zrna se zmenšují a je unášen dál do kotle. Ve fluidní vrstvě je s ohledem na probíhající odsiřovací reakce teplota cca  $850^\circ\text{C}$ , tím je také zajištěna teplota jenž je bezpečně pod teplotou měknutí popeloviny.

Palivo je dopravováno do spodní části kotle a to buď vsypkou, šnekovým dopravníkem viz obr. 1., nebo pneumatikou dopravou.

**Obr. 1.** Schéma spalovací komory fluidního kotle. <sup>1</sup>

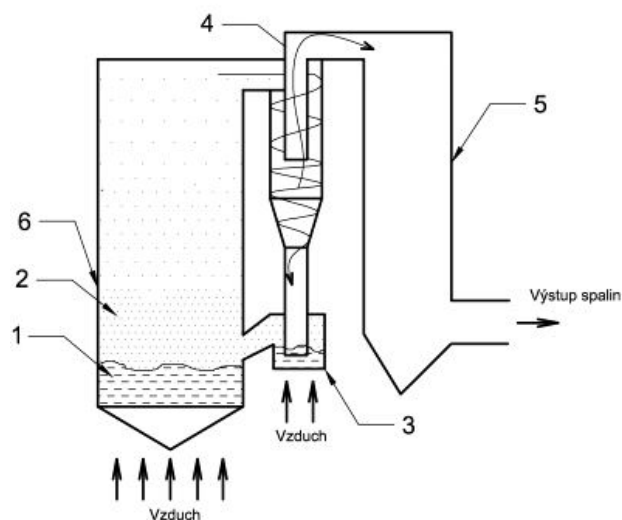


Existují dva základní typy fluidních kotů a to: s cirkulující fluidní vrstvou a stacionární.

Fluidní kotle se stacionární vrstvou se již skoro nepoužívají. Ve fluidní vrstvě byly umístěny teplosměnné plochy, aby byla zajištěna nižší teplota. U cirkulující vrstvy sou vyšší rychlosti prodění a díky tomu jsou částice částečně shořelého paliva unášeny spolu se spalinami výše do kotle. Kde pokračují buď do třídící komory nebo do cyklónu, v nich se gravitačně/odstředivě oddělí těžší/větší zrna. Menší částice jsou proudem spalin unášeny do dalších tahů kotle a dále do filtru. Větší zrna jsou gravitačně dopravovány zpět do fluidní vrstvy, například pomocí sifonového uzávěru nebo třídící komory.

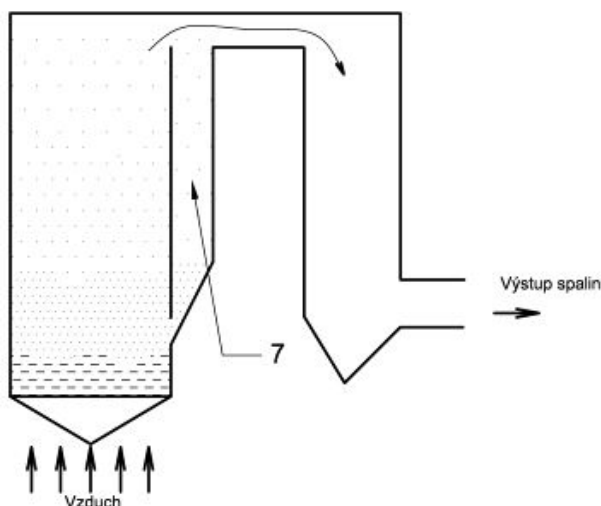
Kotel s cyklónem pracuje následujícím způsobem: Částice opustí fluidní vrstvu 1 a pokračuje do cyklónu 4, kde pokud je dostatečně malá pokračuje do druhého tahu 5 anebo spadne dolů a pokračuje přes sifón 3 zpět do spalovací komory 6. Viz Obr 2.

**Obr. 2.** Schéma fluidního kotle s cyklónem. 1-Fluidní vrstva, 2- uletující jemnější částice, 3-Sifón, 4-Cyklón, 5-Druhý tah, 6-Spalovací komora



Kotel s třídící komorou (viz. Obr. 3.) pracují velice podobně. Částice uletí z fluidní vrstvy a pokračuje vzhůru. Nad třídící komorou 7 ztrácí rychlost a pokud je příliš velké spadne do ní. Třídící komora je oddělena od spalovací komory mezistěnou. Tento systém je jednodušší než předešlý.

**Obr. 3.** Schéma fluidního kotle s třídící komorou. 7-Třídící komora

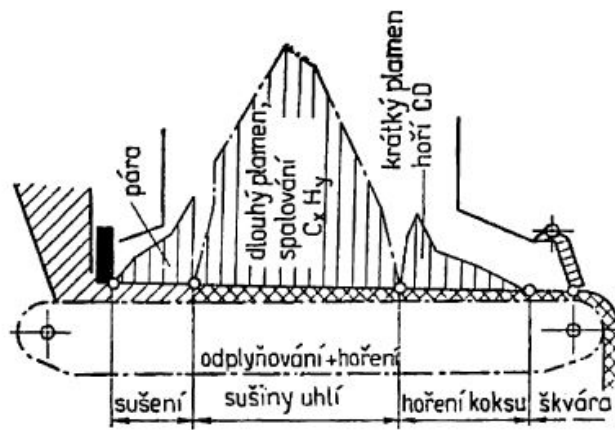


U těchto kotů při použití biomasy může dojít ke vzniku nálepů na teplosměnných plochách druhého tahu vlivem úletů částic neshořelé biomasy a dohořívání na polochách přehříváku – viz. EHO.

### 5.1.2 Roštové ohniště

Jedná se o nejstarší ohniště. Slouží ke spalování kusového paliva. Palivo prochází na roštu postupně: sušením, odplyňováním prchavé hořlaviny, zapálením, hořením a dohoříváním viz obr. 4. Rošt je složen s roštnic, které mohou být pevné, anebo pohyblivé. Palivo je na rošt pohazováno buď mechanicky, nebo pneumaticky. S pneumatickým pohazováním se palivo, anebo i rošt pohybují stejným směrem a to z důvodu že nejtěžší části paliva dopadnou nejdříve a budou na roštu nejdelší dobu, aby zcela shořely. U mechanického pohazování je to obráceně.

**Obr. 4.** Rozložení planeme a postup hoření nad roštěm. <sup>1</sup>

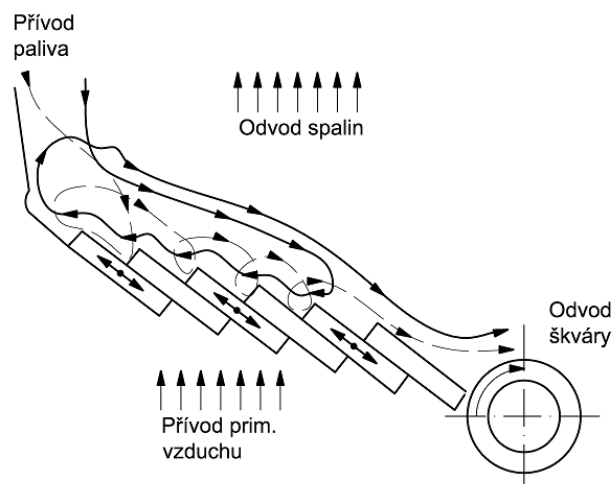


Rošty můžeme dělit na: pevné rošty s ručním přikládáním, polo mechanické (rošt se sklopnými roštnicemi) a mechanické. V průmyslové energetice se používají rošty mechanické a to:

- pásové, které nahradily řetězové rošty,
- vratisuvné
- válcové

Použití vratisuvného roštu obr. 5. a dohořivací komory je vhodný pro spalování biomasy, paliva s větším podílem prachu nebo komunálního odpadu. Rošt zajišťuje současně posun i promíchání paliva nahore žhavého a v dolní části neshořelého.

**Obr. 5.** Vratisuvný rošt. <sup>1</sup>



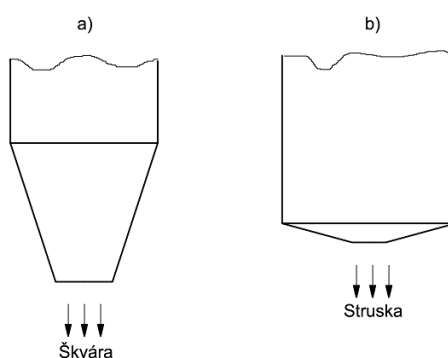
### 5.1.3. Prášková ohniště

Práškové ohniště se začaly používat od roku 1920, protože roštové nedávávaly dostatečně velký výkon pro velké parní kotle. Práškové ohniště není co do výkonu omezeno svou konstrukcí a proto je lze stavět velmi výkonné. Díky možnosti ohřát palivo před spalováním na teplotu 300 až 400 °C lze v nich spalovat palivo s obsahem popela vyšší než je 55% hmot. Palivo se mele na zrnitost (30 až 90 μm). Poté se pneumaticky z mlýnů dopravuje do hořáku. Palivo se spaluje za letu a proto dochází k dobrému promísení ze spalovacím vzduchem.

Prášková ohniště byla konstruována ve dvou variantách. U granulačních ohnišť probíhá spalování za relativně nízkých teplot a to pod teplotou tečení  $T_B$ . 10 až 20 % hmot. se odstraňuje ze dna spalovací komory jako „spodní popel“ a zbytek popílku se odstraňuje z úletu v odlučovačích. U tavných kotlů je popelovina odváděna kontinuálně v podobě strusky ze dna kotle. Teplota ve spalovací komoře je vyšší než  $T_B$ . Jejich nevýhoda jsou vyšší emise  $NO_x$  díky vysoké teplotě ve spalovací komoře. Výhodou větší zadržení popeloviny ve strusce. Tato výhoda byla eliminována použitím dokonalejších odlučovačů (elektrofiltry apod.).

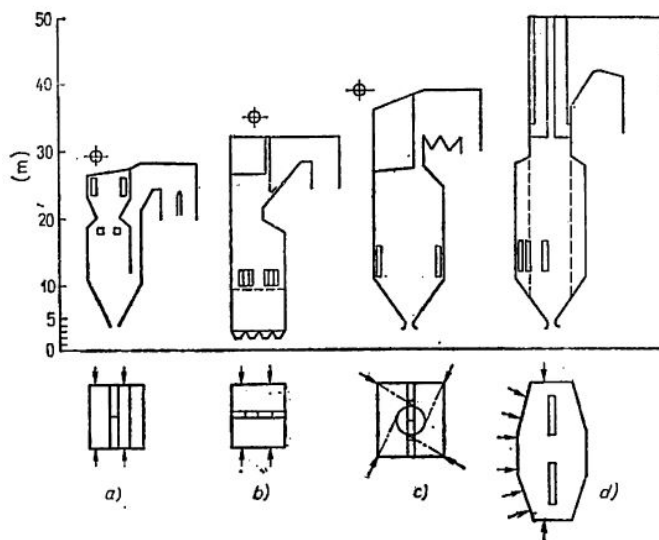
Kotle mají odlišně tvarované dno kvůli dobrému odvodu strusky, nebo škváry viz obr. 6. Ještě existovala třetí varianta tzv. „obojživelná ohniště“ která při nižších výkonech pracovala jako granulační a při vyšších jako tavné, ale neosvědčily se a proto se příliš nestavěly.

**Obr. 6.** Rozdíl mezi dnem a) granulačního a b) výtavného ohniště.



Hořáky mohou být u granulačního kotle umístěny prakticky kdekoli viz obr. 7. kromě dne kotle, protože by do nich vnikala škvára a padající úlomky by jej mohly poškodit.

**Obr. 7.** Některá granulační ohniště elektrárenských kotlů postavený v ČSSR po r. 1953 o výkonech a) - 125 t/h, b) – 230 t/h, c) - 350 t/h, d) – 630 t/h. <sup>1</sup>



Granulační kotle jsou vhodné pro spalování všech druhů paliv, ale při vyšším podílu biomasy mohou začít struskovat tj.: škvára se mění ve strusku, a proto je vhodné přidávat do paliva halloysit. Jsou méně citlivá na jemnost mletí a vysušení paliva. Díky nižší teplotě ve spalovací komoře dochází k menšímu zanášení dodatkových ploch. Dříve byl velký problém s tím, že granulační kotle měly vyšší úlet a proto bylo nutno použít účinné odlučovače. Tento problém již v současnosti není, protože se již výhradně používají elektrostatische odlučovače s účinností okolo 99%. Tvorba  $SO_x$  je intenzivnější, ale při spalování biomasy, která téměř žádnou síru neobsahuje toto není příliš velký problém.

Ke zpracování této kapitoly byla použita tato literatura:

ČERNÝ, V., B. JANEBCERA a J. TEYSSLER. *Parní kotle*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983.

Seznam citací:

1: ČERNÝ, V., B. JANEBCERA a J. TEYSSLER. *Parní kotle*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983.

## 6. Zhodnocení

K navržení metody a postupů čištění teplosměnných ploch u kotlů na spalování biomasy jsou velmi důležité následující kritéria:

- Druh spalované biomasy - její teplota tavení popeloviny
- Volba BIO paliva již v projektu – spalovací zařízení navrženo na spalování/spoluspalování jestli byl kotel původně navržen na spalování biomasy
- Typ spalovacího zařízení - typ ohniště
- Dávkování aditiv ovlivňující teplotu měknutí popeloviny

Tyto všechna kritéria ovlivňují volbu vhodného způsobu pro odstraňování nánosů. Jako nejvhodnější řešení je spalování biomasy v kotlích k tomu určených, kde v dohořivacím tahu dojde ke snížení teploty spalin a v následných tazích tak je teplota spalin pod teplotou měknutí popeloviny. V současnosti se biomasa spaluje v ČR téměř výhradně v kotlích, které byly původně určeny pro fosilní paliva. Z provozních důvodů je nutné odstranit, nebo snížit množství nánosů vzniklých na teplosměnných plochách. To lze pomoci vhodné metody pro jejich čištění např. kuličkový dešť. Její volba záleží na typu ohniště, umístění teplosměnných ploch v kotli a teplotě tavení popílku. Vzniku nánosů lze zčásti zamezit dotováním paliva látkami zvyšující teplotu tavení popeloviny např. u práškových granulačních kotlů je vhodné přidávat halloysit, abychom zamezily struskování paliva a palivo se nám netavilo a ze škváry se popelovina neměnila ve strusku.

Nejdůležitější hledisko je funkčnost a pořizovacích náklady jednotlivých metod čištění. U většiny systému výrobce negarantuje stoprocentní účinnost, pokud je popílek lepkavý. Ze zkušeností provozovatelů na EHO je nejméně vhodné akustické čištění. V EHO zvažuje nahrazení stávajícího akustického čištění kuličkovým deštěm. Ten je, ale investičně nákladnější a některé jeho části jako výstupní box vyžadují zvýšení střechy kotelny. Příliš vhodné nejsou ani parní ofukovače protože mají podobné problémy jako akustické čištění.

Nejvhodnější se zdá být kombinace vhodné metody např.: kuličkového deště na dodatkových plochách, ve spalovací komoře vodní ostřikovače a dotování paliva látkami zvyšující teplotu tavení. Samozřejmě záleží i na umístění teplosměnných ploch v kotli a typu ohniště. Např.: kuličkový dešť nelze použít nad fluidním ohništěm.



## 7. Závěr

Z již zmíněných důvodů je odstraňování nečistot z kotle spalující biomasu složitější než z kotle spalující fosilní paliva. Na to by sem měl brát zřetel již při konstrukci takového zařízení a to především zvětšení radiační sekce v kotli a tím snížení teploty spalin přicházejících do konvekční sekce. Tím nemohou aerosoly kondenzovat na teplosměnných plochách a vytvářet lepkavý povrch, na kterém ulpívá další popílek. Toto je ekonomicky náročné anebo dokonce technicky neproveditelné u již postavených kotlů na fosilní paliva, které vlivem volby ne úplně ideálního paliva z biomasy, mohou trpět vznikem těžce odstranitelných nánosů. Především na teplosměnných plochách, na kterých dohořívají zbylé části paliva. Z těchto důvodů se může zdát, že spalování biomasy v zařízení k tomu určeném je technicky nevhodné. Ale na stranu druhou je postaveno hledisko ekonomické, kde vlivem štedrých dotací, které jsou závislé na datu uvedení do provozu a druhu biomasy, se vyplácí spalování jak samostatné biomasy (výkupní cena 4580 Kč/MWh u zařízení uvedeném do provozu od 1. 1. 2008 spalující cíleně pěstovaná biomasa - energetické rostliny), tak spoluspalování společné s fosilním palivem (zelený bonus 50 – 1 370 Kč/MWh). Navíc se jedná o obnovitelný zdroj energie s nulovými emisemi CO<sub>2</sub>. Z těchto všech důvodů se bude biomasa v budoucnu spalovat čím dál častěji, a proto je potřeba zabývat problematikou spalování biomasy v průmyslové energetice.

Ke zpracování této kapitoly byla použita tato literatura:

*Czech RE Agency: Financování a dotace* [online]. 2009 [cit. 2014-05-12].  
Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/financovani-a-dotace>

## 8. Použitá literatura

Peleta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Peleta>

STUPAVSKÝ Vladimír HOLÝ, Tomáš: Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655

Biopalivo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Biopalivo>

Obnovitelné zdroje energie. VŠCHT – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/OZE/6OZEpu.pdf>

ČERNÝ, V., B. JANEČKA a J. TEYSSLER. *Parní kotle*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983.

VLASTNOSTI BIOMASY Z HLEDISKA VHODNOSTI PRO SPALOVÁNÍ. *Katedra energetiky, Fakulta strojní TŠB-TUO* [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf#page=5&zoom=auto,0,702](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf#page=5&zoom=auto,0,702)

Popel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Popel>

Vlastnosti popelů z biomasy v závislosti na procesu spalování - Biomasa\_-\_popel. [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [http://media0.nolimit.cz/files/media0:50fdb8172a111.pdf.upl/Biomasa\\_-\\_popel.pdf](http://media0.nolimit.cz/files/media0:50fdb8172a111.pdf.upl/Biomasa_-_popel.pdf)

MROCZEK, Kazimierz, Sylwester KALISZ, Marek PRONOBIS a Józef SOŁTYS. Fuel Processing Technology: The effect of halloysite additive on operation of boilers firing agricultural biomass. *Elsevier*. 2011, č. 92, s. 845-855.

DRIVEX: Products. *AIT-DRIVEX a. s* [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: [http://www.drivex.fr/Catalogue\\_En.htm](http://www.drivex.fr/Catalogue_En.htm)

Soot Blower. *HubPages* [online]. 2014 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://jabelufiroz.hubpages.com/hub/Soot-Blower>

Steam Boiler: Soot Blower of Steam Boiler. *Steam Boiler* [online]. 2012 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: [http://steamofboiler.blogspot.cz/2011/03/soot-blower-of-steam-boiler\\_08.html](http://steamofboiler.blogspot.cz/2011/03/soot-blower-of-steam-boiler_08.html)

F. HARLEY & CO. PVT. LTD. *Nirafon Acoustic Cleaning Systems* [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.harleynirafonindia.com/acousticproddet.php>

NIRAFONS. *Acoustic cleaners* [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z:  
<http://www.nirafon.com/products>

IPH SERVIS MORAVA, s.r.o. *Zvukové ofukovače* [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z:  
<http://www.iph.cz/ofukovace-zvukove.htm>

ENGO SERVIS S.R.O. *Mechanické čištění trubkových výhřevných ploch 2. tahu na kotli FK1/2 metodou kuličkového deště*. Ostrava, 2012.

ALSTOM. *Školící program: Ledvice 660MWe*.

Původní text (němčina): Müllverbrennungsanlage Pfaffenau. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: [http://de.wikipedia.org/wiki/Müllverbrennungsanlage\\_Pfaffenau](http://de.wikipedia.org/wiki/Müllverbrennungsanlage_Pfaffenau)

*Czech RE Agency: Financování a dotace* [online]. 2009 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z:  
<http://www.czrea.org/cs/financovani-a-dotace>