

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

KATEDRA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ STAVEB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Inovace tepláren do 20 MW_t se zřetelem na udržitelné
využití tuhých biopaliv**

Vedoucí: doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

Vypracoval: David Dub

2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dub David

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Inovace tepláren do 20 MWT se zřetelem na udržitelné využití tuhých biopaliv

Anglický název

Innovation of heating plant to the 20 MWT in view of sustainable utilization of solid biofuels

Cíle práce

Vypracovat studii o současném řešení a možnostech inovace tepláren s tepelným výkonem do 20 MWT s ohledem na racionální logistiku a udržitelné využívání tuhých biopaliv.

Metodika

Na základě literárního rozboru tuhých biopaliv a jejich termickým zpracováním provést inovaci a následně zhodnotit inovaci tepláren s tepelným výkonem do 20 MWT s ohledem na racionální logistiku a udržitelné využívání tuhých biopaliv.

Osnova práce

1. Úvod
2. Charakteristika tuhých biopaliv
3. Technologie a technika termického zpracování tuhých biopaliv
4. Inovace tepláren s tepelným výkonem do 20 MWT
5. Zhodnocení inovace tepláren s tepelným výkonem do 20 MWT
6. Diskuse a závěry

Rozsah textové části

40

Klíčová slova

tuhá biopaliva, výhřevnost, spalovací zařízení, tepelný výkon

Doporučené zdroje informací

Malaťák, J.; Jevič, P.; Vaculík, P.: Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. 2010, Powerprint, Praha, pp. 240, ISBN 978-80-87415-02-3

Malaťák, J.; Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6

Obroučka, K.: Termické zneškodňování odpadů. VŠB Ostrava, Ostrava 1997, 140 s.

Pastorek Z., Kára J., Jevič P., 2004, Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha, 284 str., ISBN 80-86534-06-5

Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/28/EC o podpoře užívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Štrasburk, 23.4.2009 (OR. en)

Vedoucí práce

Malaťák Jan, doc. Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012


doc. Ing. Miroslav Příkryl, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 4.2.2011


prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Inovace tepláren do 20 MW_t se zřetelem na udržitelné využití tuhých biopaliv** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Pelhřimově, dne 19. 3. 2012

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mně pomáhali a podporovali při zpracování této bakalářské práce. Velmi děkuji panu doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D., za korekturu, rady a poskytnuté podklady, děkuji zaměstnancům firem Iromez s.r.o., Stora Enso Wood Products Ždírec s.r.o., Clauhan s.r.o., Schiestl spol.s r.o., Progress-Power s.r.o. za jejich vstřícnost a zasláné odborné informace k jednotlivým kotlům včetně příslušenství.

David Dub

Abstract:

Téma bakalářské práce se zabývá spalovacími zařízeními (kotli) na biomasu výkonů do 20 MWt. Práce je rozdělena do několika částí. V první části práce je charakterizována biomasa, popsány její vlastnosti a možná úprava. V druhé části je krátké pojednání dostupnosti biomasy v ČR. V další části jsou uvedené vybrané typy spalovacích zařízení, vhodné pro spalování pevných biopaliv a legislativa emisních limitů. Poslední část pojednává o zkušenostech provozovatele s různými druhy čištění spalin a na závěr doporučení vhodného způsobu čištění spalin kotlů výkonů do 20 MW_t.

Klíčová slova:

Obnovitelné zdroje energie, biomasa, spalování biomasy, potenciál biomasy, vlastnosti biomasy, kotle na biomasu, srovnání kotlů, legislativa, emise, limity

Innovation of heating plant to the 20 MWT in view of sustainable utilization of solid biofuels

Summary:

Topic of the thesis was biomass boilers with the output up to 20 MWt. The thesis is divided into several parts. In the first part the biomass is defined. Its properties and possible preparation is described. In the second part there is a short discourse of the biomass availability in The Czech Republic. In the next section are stated selected types of boilers which are suitable for burning solid biomass and the legislation of emission limits. In the last part there is a discourse of operator's experience with various types of flue gas dust collectors. And at the end there is a recommendation for appropriate type of flue gas dust collector for biomass boilers with the output up to 20MWt.

Keywords:

Renewable energy, biomass, biomass combustion, biomass potential, biomass characteristics, biomass boilers, boiler comparison, legislation, emissions, limits

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	POPIS JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ TUHÝCH BIOPALIV	1
2.1	CO JE BIOMASA	4
2.2	BIOMASA VYUŽITELNÁ K ENERGETICKÝM ÚČELŮM.....	6
2.3	ZPŮSOBY VYUŽITÍ BIOMASY K ENERGETICKÝM ÚČELŮM.....	6
2.4	PRÁVNÍ POŽADAVKY NA PROVOZOVÁNÍ TEPELNÝCH ZDROJŮ	7
3	ENERGETICKÝ POTENCIÁL BIOMASY V ČR	8
4	ZÁKLADNÍ SLOŽENÍ A VLASTNOSTI TUHÝCH BIOPALIV.....	9
4.1	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA.....	9
4.2	OBSAH VODY V TUHÝCH BIOPALIVECH.....	11
4.3	OBSAH POPELA V TUHÝCH BIOPALIVECH	12
4.4	SPALNÉ TEPLA A VÝHŘEVNOST TUHÝCH BIOPALIV	13
4.5	PRCHAVÁ HOŘLAVINA	14
4.6	OBSAH SÍRY V TUHÝCH BIOPALIVECH	15
4.7	CHARAKTERISTICKÉ TEPLoty POPELA TUHÝCH BIOPALIV	16
5	EMISE	18
6	SPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ NA BIOMASU.....	19
6.1	SPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ ROŠTOVÉ.....	20
6.2	SPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ FLUIDNÍ.....	21
6.3	SPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ SE SPODNÍM PŘÍVODEM PALIVA.....	22
7	ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ SPALIN	23
7.1	CYKLONOVÝ (MULTICYKLONOVÝ) ODLUČOVAČ.....	23
7.2	LÁTKOVÝ FILTR.....	25
7.3	ELEKTROFILTR.....	30
8	ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ SPALIN.....	34
8.1	PROVOZ TECHNOLOGIE ON-LINE FILTRU.....	34
8.2	PROVOZ TECHNOLOGIE OFF-LINE FILTRU	36
8.3	PROVOZ S MULTICYKLONEM	39
8.4	STRUČNÉ ZHODNOCENÍ	41
9	DISKUSE A ZÁVĚR.....	41
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	46

1 ÚVOD

Biomasa je nejvýznamnější obnovitelný zdroj energie a důležitý zdroj průmyslových surovin. Po slunečním záření byla biomasa jediným dostupným energetickým zdrojem na Zemi po miliardy let. Lidstvo využívá biomasu jako zdroj energie od okamžiku, kdy se člověk naučil rozdělovat a udržovat oheň - minimálně desítky tisíc let.

Rozvojem fytoenergetiky se začaly systematicky zabývat některé státy Evropy již v osmdesátých letech minulého století. Hlavním impulsem byly stejně jako v případě ostatních obnovitelných zdrojů ropné krize. V rámci Evropy je dosud rozvoj nerovnoměrný, neexistuje stabilizovaný trh s biomasou jako energetickou komoditou. Nejdále pokročily v rozvoji fytoenergetiky Švédsko, Finsko, Dánsko a z nejbližších sousedů Rakousko. V České republice, s výjimkou ojedinělých projektů v 80. letech, je rozvoj energetického využívání biomasy spojen s nastartováním programů podpor v druhé polovině 90.let. [1]

Existuje široká paleta kotlů na různé druhy biomasy, od kotlů malých výkonů pro domácnosti či menší domovní kotelny, přes kotle středních výkonů pro komunální a závodní energetiku, až po kotle velkých výkonů, které jsou schopné zásobovat celá města a jejichž parametry teplotního média jsou vhodné rovněž pro výrobu elektrické energie, nejlépe v kombinovaném cyklu s výrobou tepla.

Téma bakalářské práce se zabývá spalovacími zařízeními (kotli) na biomasu výkonů do 20 MWt. Práce je rozdělena do několika částí. V první části práce je charakterizována biomasa, popsány její vlastnosti a možná úprava. V druhé části je krátké pojednání dostupnosti biomasy v ČR. V další části jsou uvedené vybrané typy spalovacích zařízení, vhodné pro spalování pevných biopaliv a legislativa emisních limitů. Poslední část pojednává o zkušenostech provozovatele s různými druhy čištění spalin a na závěr doporučení vhodného způsobu čištění spalin kotlů výkonů do 20 MWt jako inovace těchto spalovacích zařízení.

2 POPIS JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ TUHÝCH BIOPALIV

V této kapitole je uvedena klasifikace tuhých biopaliv podle původu a zdroje v souladu s technickými normy v oblasti tuhých biopaliv. Hierarchický klasifikační systém rozděluje podle původu tyto hlavní skupiny tuhých biopaliv: [2]

- dřevní biomasa;
- bylinná biomasa;

- ovocná biomasa;
- směsi a příměsi.

Dřevní biomasa

Lesní a plantážové dřevo

Lesní a plantážové dřevo v této kategorii může být upraveno pouze redukcí velikosti částic, odkorněním, vysušením nebo zvlhčením. Lesní a plantážové dřevo zahrnuje dřevo z lesů, parků a plantáží a rychle rostoucí stromy. [2]

Dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky

V této skupině jsou klasifikovány vedlejší dřevní produkty a dřevní zbytky ze dřevozpracujícího průmyslu. Těmito biopalivy mohou být chemicky neošetřené dřevní zbytky (např. zbytky z odkornění, řezání klád nebo zbytky po redukcí velikosti, tvarování stromů, lisování) nebo chemicky ošetřené dřevní zbytky, pokud neobsahují těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny, jež jsou výsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěry dřeva. [2]

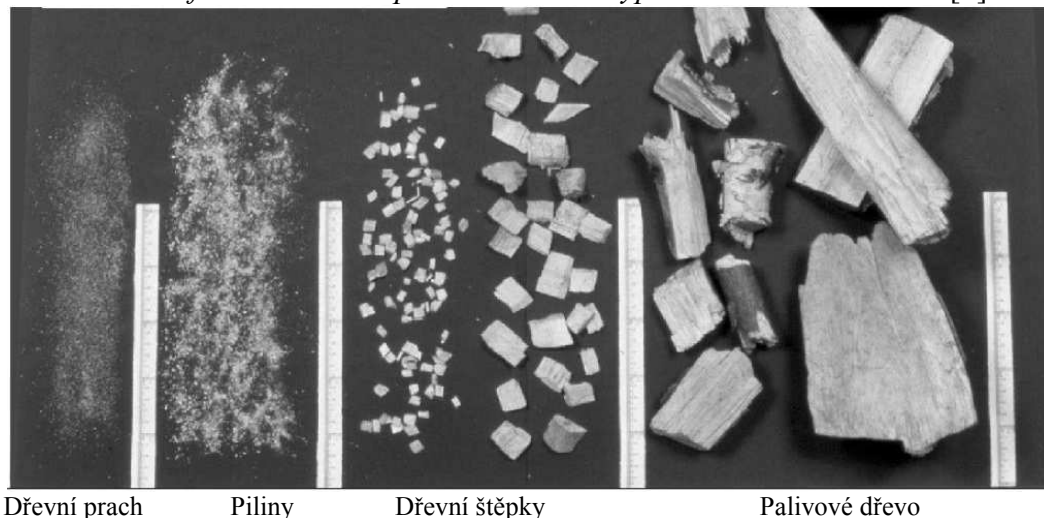
Použité dřevo

Tato skupina zahrnuje dřevní odpad od zákazníků a společností. S ohledem na ošetření dřeva se používají stejná kritéria jako pro „dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky“, tj. použité dřevo nesmí obsahovat žádné těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny, jež jsou výsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěry dřeva. [2]

Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi dřevní biomasy. Míchání může být buď úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi). [2]

Obr. 2.1 Klasifikace dřevních paliv na základě typického rozměru částic. [3]



Dřevní prach

Piliny

Dřevní štěpky

Palivové dřevo

Bylinná biomasa

Zemědělské a zahradní byliny

Materiál, který přichází přímo z pole, třeba po skladování, a může být upraven pouze redukcí velikosti částic. Je zde zahrnuto i sušení. Zemědělské a zahradní byliny pokrývají bylinný materiál ze zemědělských a zahradních polí a ze zahrad a parků. [2]

Průmysl zpracovávající byliny, vedlejší produkty a zbytky

Zahrnuje materiál bylinné biomasy, který zůstal po průmyslové manipulaci a ošetření. Příkladem jsou zbytky z výroby cukru z cukrové řepy a zbytky z ječného sladu z výroby piva. [2]

Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi z bylinné biomasy. Míchání může být buď úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi). [2]

Ovocná biomasa

Sadové a zahradní ovoce

V této třídě je klasifikováno ovoce ze stromů a křovin a také plody z bylin (např. rajčata). [3]

Průmysl zpracovávající ovoce, vedlejší produkty a zbytky

Zahrnuje materiál ovocné biomasy, který zůstane po průmyslové manipulaci a ošetření. Příkladem jsou vylisované zbytky z výroby olivového oleje nebo výroby jablečného džusu. [3]

Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi z ovocné biomasy. Míchání může být buď úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi). [3]

Obr. 2.2 Příjem paliva – kůry. [24]



Obr. 2.3 Uskladnění paliva – briket. [24]



Směsi a příměsi biomasy

Zahrnuje směsi a příměsi z různých biomas. Míchání může být buď úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi). [3]

Tuhá biopaliva se mohou vyrábět v různých velikostech a tvarech. Velikost a tvar ovlivňují manipulaci s palivem i jeho vlastnosti hoření. Biopaliva se mohou dodávat například ve formách uvedených v tabulce 3.1. [4]

Tab. 2.1 Hlavní obchodní formy tuhých biopaliv [4]

Název paliva	Typická velikost částic	Běžná metoda přípravy
Brikety	$\varnothing > 25 \text{ mm}$	Mechanickým stlačením
Pelety	$\varnothing < 25 \text{ mm}$	Mechanickým stlačením
Palivový jemný prach	$< 1 \text{ mm}$	Mletím
Piliny	1 mm až 5 mm	Řezáním ostrými nástroji
Dřevní štěpky	5 mm až 100 mm	Řezáním ostrými nástroji
Rozdrcené dřevní palivo	různé	Řezáním ostrými nástroji
Polena	100 mm až 1000 mm	Řezáním ostrými nástroji
Celé dřevo	$> 500 \text{ mm}$	Řezáním ostrými nástroji
Male balíky slámy	$0,1 \text{ m}^3$	Stlačením a svázáním do čtvercového průřezu
Velké balíky slámy	$3,7 \text{ m}^3$	Stlačením a svázáním do čtvercového průřezu
Kulaté balíky slámy	$2,1 \text{ m}^3$	Stlačením a svázáním do válcového průřezu
Svazek	různé	Podélným orientováním a svázáním
Kůra	různé	Odkorněním zbytků stromů. Může být rozřezána nebo nerozřezána
Řezanka ze slámy	10 mm až 200 mm	Rozřezáním během sklizení
Zrno nebo semeno	různé	Bez přípravy nebo sušením
Slupky a ovocné pecky	5 mm až 15 mm	Bez přípravy
Vláknité výlisky	různé	Přípravou z vláknitého odpadu odvodněním

2.1 Co je biomasa:

Biomasa je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby a péče o krajinu. [5]

Teoretické propočty různých odborníků uvádějí roční celosvětovou produkci biomasy na úrovni 100 miliard tun, jejíž energetický potenciál se pohybuje kolem 1 400 EJ. To je téměř pětkrát více, než činí roční světová spotřeba fosilních paliv (300 EJ). Čím je tedy limitováno využití biomasy k energetickým účelům a vyřešení jednoho z globálních problémů lidstva?

- Produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům využití biomasy (např. k potravinářským a krmivářským účelům, zajištění surovin pro průmyslové účely, uplatnění mimoprodukční funkce biomasy).
- Zvyšování produkce biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což s sebou nese potřebu zvyšovat kapitálové vklady do výroby biomasy.
- Získávání energie z biomasy v současných podmínkách s obtížemi ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů. Tato skutečnost může být postupně měněna tlakem ekologické legislativy.
- Maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům z celosvětového hlediska je problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie, vzhledem k potížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie.

Na druhé straně existují nesporné výhody využití biomasy k energetickým účelům:

- Jsou menší negativní dopady na životní prostředí,
- Zdroj energie má obnovitelný charakter,
- Jde o tuzemský zdroj energie, snižuje se spotřeba dovážených energetických zdrojů,
- Zdroje biomasy nejsou lokálně omezeny,
- Účelně se využijí spalitelné, někdy i toxické odpady,
- Řízená produkce biomasy přispívá k vytváření krajiny a péči o ni.

Až do padesátých let tohoto století si zemědělství a venkovská sídla zajišťovaly z větší části své energetické potřeby využitím biomasy z vlastních zdrojů. Pro tyto účely bylo určeno odhadem až 40 % zemědělské půdy. Skutečností je, že technický rozvoj a zvyšující se vstupy „cizí“ energie umožnily zlepšit využití produkčního potenciálu nových druhů rostlin a živočichů a plně využít zemědělskou půdu pro produkci potravin. V současné době nadprodukce potravin vyvolává možnost vrátit část zemědělské půdy původnímu účelu, tj. krytí části energetických potřeb zemědělství a venkova. Problémy ekologie a bioenergetiky se stávají středem pozornosti podnikatelských subjektů na venkově. [5]

2.2 Biomasa využitelná k energetickým účelům

Energetickou biomasu můžeme rozdělit do pěti základních skupin:

1. fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy,
2. fytomasa olejnatých plodin,
3. fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru,
4. organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu,
5. směsi různých organických odpadů.

Pro získávání energie se využívá:

a) Biomasa záměrně pěstovaná k tomuto účelu: cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina (pro výrobu etylalkoholu), olejnin (z nich nejvýznamnější je řepka olejka pro výrobu surových olejů a metylesterů), energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny).

b) Biomasa odpadní

- Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic.
- Odpady z živočišné výroby: exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.
- Komunální organické odpady z venkovských sídel: kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch.
- Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob: odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, odpady z mlékáren, odpady z lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven, odpady z dřevařských provozoven (odřezky, hobliny, piliny).
- Lesní odpady (dendromasa): dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest. [5]

2.3 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokřými procesy (obsah sušiny je menší než 50 %) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než

50 %). Z principiálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy a přípravy biomasy pro energetické využití:

a) termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy):

- spalování,
- zplyňování,
- pyrolýza,

b) biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy pro energetické využití biomasy):

- alkoholové kvašení,
- metanové kvašení,

c) fyzikální a chemická přeměna biomasy:

- mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.),
- chemicky (esterifikace surových bioolejů),

d) získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.).

Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, z mokrých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru kyselin bioolejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin. [5]

2.4 Právní požadavky na provozování tepelných zdrojů

Pro provoz spalovacích zdrojů je nutné splnit minimálně tyto základní právní požadavky. Záleží ovšem na typu spalovacího zařízení, na jeho velikosti, druhu páleného paliva, pro co je tepelná energie využita apod. Mezi tyto základní zákonné předpisy patří zákon č. 86/2002 Sb. – zákon o ochraně ovzduší, jež stanoví práva a povinnosti osob a působnost správních úřadů při ochraně vnějšího ovzduší před vnášením znečišťujících látek lidskou činností a při zacházení s regulovanými látkami, které poškozují ozonovou vrstvu Země. [6]

Dále nařízení vlády č. 476/2009 S., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, kde jsou definovány emisní limity pro jednotlivé typy spalovacích zdrojů. [7]

Dalším důležitým zákonem je zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy a regulaci v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika,

plynárností a teplárenství, jakož i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené (energetický zákon). [8]

Pro spalovací zdroje využívající biomasu při výrobě elektrické energie jsou důležité další dva zákony. Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů ve znění pozdějších předpisů, který má přispět ke zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů pomocí podpory vyšších výkupních cen elektrické energie vyrobených z obnovitelných zdrojů. [9]

Na tento zákon navazuje zákon č. 453/2008 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb., kde je biomasa rozdělena do kategorií podle způsobu spalování, původu biomasy (druhu) a typů procesů termické přeměny. [10]

3 ENERGETICKÝ POTENCIÁL BIOMASY V ČR

Biomasa v současné době tvoří přibližně polovinu obnovitelné energie využívané v zemích EU. Akční plán stanovuje opatření ke zvýšení rozvoje výroby energie z biomasy vytvořením tržně orientovaných pobídek zaměřených na její využití a odstranění překážek rozvoje trhu. Tímto způsobem hodlá EU snížit závislost na fosilních palivech, redukovat emise skleníkových plynů a podpořit hospodářskou aktivitu ve venkovských oblastech.

Podle směrnice 2001/77/ES Evropské unie byl pro ČR stanoven indikativní cíl podílu OZE na spotřebě elektrické energie v národním hospodářství ve výši 8 % v roce 2010. Rostlinná biomasa by se měla na zajištění tohoto cíle podílet asi ze dvou třetin. Pro splnění uvedených cílů byl vypracován Akční plán pro biomasu pro ČR na období 2009 - 2011, který byl schválen vládou 12. 1. 2009. Nová směrnice 2009/28/ES, kterou se ruší směrnice 2001/77/ES určuje pro ČR závazný cíl podílu OZE 13 % v roce 2020.

Odhad energetického potenciálu je však poměrně složitý, výsledek závisí na celé řadě proměnných. Výsledky různých studií se často výrazně liší, viz následující tabulka.

Tab. 3.1 *Potenciál biomasy k energetickému využití [1]*

Druh biomasy	výhřevnost	současný stav (2006)		MPO		MŽP				AEBIOM		
				potenciál 2020		potenciál 2020- studie		upravený potenciál 2020		potenciál 2020		
	[MJ.kg ⁻¹ (m ³)]	[tisíc tun]	[PJ]	[tisíc tun]	[PJ]	[tisíc tun (m ³)]	[PJ]	[tisíc tun (m ³)]	[PJ]	[tisíc tun (m ³)]	[PJ]	
Zbytková biomasa		1132	10,6	1132	10,6		41,5		28,4		33,5	
Lesní biomasa	12						2042	24,5	1392	16,7	1542	18,5
Bioplyn	22						773	17,0	530	11,7	682	15,0
Rostlinná biomasa		84	1,2	100	1,4		2700	37,8	1380	19,3	1786	25,0
Sláma olejnin	14						1200	16,8	630	8,8	714	10,0
Sláma obilnin	14						1500	21,0	750	10,5	1071	15,0
Celulóznové výluhy	8	1068	8,5	1068	8,5	1068	8,5	1068	8,5	1813	14,5	
Zemědělská biomasa účelově pěstovaná		14	0,2	3000	51,0		67,0		62,8		64,4	
Energeticky využitelná	18						3000	54,0	3000	54,0	3022	54,4
Bioplyn	22						590	13,0	400	8,8	455	10,0
Palivové dřevo	12	3141	28,3	3141	28,3	4680	56,2	4317	51,8	4250	51,0	
Celkem		5439	48,8	8441	99,8		211,0		170,8		188,4	

Podle Zprávy NEK (tzv. Pačesovy komise) celkový teoretický potenciál biomasy ČR tvoří v dlouhodobém horizontu téměř 700 PJ energie ročně při využití veškeré zemědělské půdy, ročního přírůstku dendromasy a využití všech druhotných surovin. Technicky dostupný potenciál činí 276 PJ, zemědělská biomasa se podílí 194 PJ, lesní 50 PJ a zbytková 32 PJ. Současné využití se pohybuje kolem 100 PJ, do roku 2020 se předpokládá zvýšení nad 200 PJ, další růst bude pomalejší, v roce 2050 je očekáváno vyčerpání technického potenciálu. Předpokládá se produkce 13 TWh elektřiny, pro výrobu tepla a biopaliv zbude k dispozici asi 150 PJ. [1]

4 ZÁKLADNÍ SLOŽENÍ A VLASTNOSTI TUHÝCH BIOPALIV

4.1 Základní charakteristika

Pro posouzení vhodnosti spalení tuhého biopaliva v určitém typu spalovacího zařízení, nebo při vyhodnocení jakosti tuhého biopaliva, je zapotřebí znát takové vlastnosti spalovaného tuhého biopaliva, které jej dostatečně charakterizují.

Jsou to především:

- Obsah vody v původním palivu W (% hm.);
- Obsah popela v původním palivu A (% hm.);
- Spalné teplo Q_s a výhřevnost Q_i (MJ.kg⁻¹);

- Prchavá a neprchavá hořlavina v hořlavině V^{daf} a NV^{daf} (% hm.);
- Obsah veškeré síry v palivu S (% hm);
- Charakteristické teploty popela t_A , t_B , t_C (°C);
- Spékavost popele.

Všechna tuhá paliva, která se vyskytují v přirozeném (surovém) stavu, se skládají ze tří základních složek: z celkové vody, popela (přesněji popelovin) a hořlaviny. Toto složení lze vyjádřit vztahem:

$$W + C + H + O + S + N + A = 100\% \quad (4.1)$$

Kde: W, C, H, O, S, N, A jsou hmotnostní podíly veškeré vody, uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a popele v původním biopalivu (% hm.). [3]

Voda a popel tvoří nehořlavou část paliva, která se označuje také jako balast nebo přítěž. Obě tyto složky snižují výhřevnost paliva. Svoji přítomností v palivu přímo ovlivňují konstrukci spalovacích zařízení a při provozu bývají mnohdy zdrojem četných obtíží. [3]

Hořlavá část paliva se skládá z uhlíku, vodíku, síry, dusíku. Z těchto prvků se účastní vlastního spalování, tj. exotermických reakcí se vzdušným kyslíkem, pouze uhlík, vodík a síra. Kyslík z hořlaviny působí jako okysličovadlo. Jedinou složkou, která se neúčastní spalování, je dusík. [3]

Všechny tři základní složky paliva (voda, popel, hořlavina) jsou velmi důležitými činiteli při spalování a svými vlastnostmi ovlivňují nejen konstrukci spalovacího zařízení, ale i jeho provoz. [3]

Uhlík C ($Q_i^r=33,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$) je hlavním nositelem tepelné energie, nachází se v palivu ve formě organických sloučenin. Sloučeniny uhlíku jsou jedním ze základů světové energetiky, slouží jako energetický zdroj pro výrobu elektřiny a tepla. [3]

Vodík H ($Q_i^r=119,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$) je bezbarvý a lehký plyn, bez chuti a zápachu. Je hořlavý, hoří namodralým plamenem, ale hoření nepodporuje. Je 14,38 krát lehčí než vzduch a vede teplo 7 krát lépe než vzduch. Vodík je za normální teploty stabilní, pouze s fluorem se slučuje za pokojové teploty. Je značně reaktivnější při zahřátí, především s kyslíkem a halogeny se slučuje velmi bouřlivě, i když pro spuštění této reakce je nutná inicializace (např. jiskra, která zapálí kyslíko-vodíkový plamen). Vodík je velmi dobře rozpustný ve vodě. Vodík při hoření vyvine asi 4krát více tepla na jednotku hmotnosti než uhlík, což se příznivě projeví na výhřevnosti biopaliva. Celkový vodík biopaliva se skládá z vodíku vázaného a vodíku nezadaného. Vodík vázaný je ta část vodíku, která je vázána na kyslík. Tento vodík spotřebuje

určité množství tepla na odpaření vody. Vodík nezadaný je ta část vodíku, která zbude po sloučení s celým obsahem kyslíku v palivu. [3]

Síra S ($Q_i^r=10,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$) je nekovový chemický prvek žluté barvy, poměrně hojně zastoupený v přírodě. Patří do skupiny tzv. chalkogenů. Síra je poměrně reaktivní prvek; přímo se slučuje se všemi prvky kromě vzácných plynů, dusíku, telluru, jodu, iridia, platiny a zlata. Při teplotě 120°C velmi pomalu reaguje s vodíkem, v atmosféře plynného fluoru se vznítí za vzniku SF_6 , reakce s dalšími halogeny probíhá při normální teplotě klidně. S čistým kyslíkem síra za normální teploty nereaguje, stejně jako s dusíkem. Síra je v palivu nežádoucí, přestože zvyšuje výhřevnost. Produkty hoření síry mají nepříznivý vliv na trvanlivost spalovacího zařízení a znečišťují okolní atmosféru. Síra hoří na vzduchu modrým plamenem za vzniku oxidu siřičitého SO_2 a v malém množství i oxidu sírového SO_3 . Emise síry vzhledem ke stopovému množství síry obsaženém v palivu rostlinného původu nepředstavují co xse týče limitních hodnot žádnou potíže. [3]

Kyslík O_2 , je plynný chemický prvek, který tvoří druhou hlavní složku zemské atmosféry. Je biogenním prvkem a jeho přítomnost je nezbytná pro existenci většiny živých organismů na této planetě. Kyslík je nežádoucí část paliva, poněvadž váže vodík a částečně i uhlík na hydroxidy, vodu a oxidy. [3]

Dusík N je plynný chemický prvek, tvořící hlavní složku zemské atmosféry. Patří mezi biogenní prvky, které jsou základními stavebními kameny živé hmoty. Dusík je plyn bez barvy, chuti a zápachu. Není toxický ani nijak nebezpečný. Dusík je v atmosféře tvořen dvouatomovými molekulami, které jsou spojené velmi pevnou trojnou vazbou. Dusík se nezúčastňuje reakcí hoření a zcela přechází do spalin. Svou přítomností snižuje obsah ostatních prvků, což se projevuje ve snížení výhřevnosti paliva. [3]

Chlór Cl je toxický, světle zelený plyn, druhý člen řady halogenů. Chlór rovněž přechází během spalování z velké části do plynné fáze. Nejvíce limitujícím faktorem koncentrace chlóru v palivu je jeho korozivní účinek při spolupůsobení s alkalickými prvky. [3]

4.2 Obsah vody v tuhých palivech

Voda je obsažena v každém tuhém palivu. Podobně jako popeloviny je voda nehořlavou složkou paliva, která snižuje jeho hodnotu, a proto je v palivu nežádoucí. Obsah vody v tuhých palivech kolísá v širokém rozmezí od 0% do 60% hmotnosti. Voda je v palivu vázána několikerým způsobem. Pro běžné analytické stanovení má význam voda volná i

vázaná, které tvoří vodu veškerou. Volnou vodu lze od paliva oddělit odstředěním, odkapáváním nebo filtrací. Volná voda se také nazývá vodou přimíšenou. [4]

Zbývající podíl veškeré vody tvoří voda kapilárně vázaná. Ta se dělí na vodu hrubou, hygroskopickou a ukludovanou.

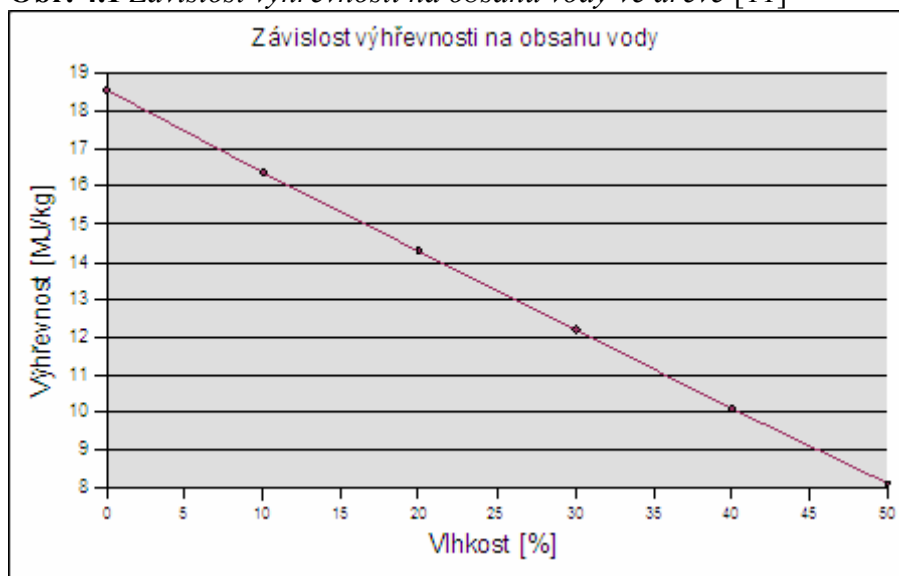
Voda hrubá se stanoví tím způsobem, že neupravený vzorek paliva, u něhož se voda hrubá zjišťuje, se suší na vzduchu. Hrubá voda je pak rozdíl hmotnosti vzorku před sušením a po něm.

Sušením paliva za teploty 105°C se z paliva uvolňuje hygroskopická voda, a toto množství vody se označuje jako voda zbylá.

Ukludovaná voda představuje malé množství vody, které se neodstraní ani intenzivním sušením a uvolňuje se teprve při rozkladných teplotách paliva.

Obsah vody v palivu se uvádí v hmotnostních procentech. Množství přimíšené vody, např. u kalů, se odděluje od uhlí na odstředivce nebo se odfiltruje. Přimíšená voda se nepočítá do vzorku paliva a uvádí se zvlášť. [4]

Obr. 4.1 Závislost výhřevnosti na obsahu vody ve dřevě [11]



4.3 Obsah popela v tuhých biopalivech

Minerální látky obsažené v tuhém palivu (přirozeném i uměle zušlechtěném) před jeho spálením se nazývají popeloviny. Popeloviny jsou z větší části složeny z křemičitanů, uhličitanů, síranů a dalších sloučenin. Největší podíl popelovin tvoří křemičitan hliníku (kaolinit), vápníku, hořčíku a železa, volný kysličník křemičitý, uhličitan vápenatý a železnatý, menší množství siřičku železa (pyritu) a nepatrné množství síranu vápenatého. [3]

Spálením paliva v ohništi vznikne z popelovin tuhý zbytek, kterému se všeobecně, avšak ne zcela správně, říká popel. Popel je takový tuhý zbytek, který se získá dokonalým spálením tuhého paliva při teplotě 800 ± 25 °C v oxidační atmosféře. Přitom se popeloviny (původní minerální složky) rozkládají na těkavé zplodiny a netěkavý zbytek nebo uvolňují krystalovou vodu. [3]

Rozborem popelů tuhých paliv bylo zjištěno, že jsou složeny hlavně z SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , MnO , Na_2O , K_2O , SO_3 , TiO_2 a P_2O_5 . Kromě těchto oxidů (základních složek popela) byly nalezeny ještě různé prvky, např. Zn, Pb, As, Ge, Be, Ni, Cd a jiné. Podle toho, které z uvedených oxidů v popelu převládají, mají tuhé zbytky (škvára, popílek) své charakteristické vlastnosti. [3]

Obsah popele v palivu rostlinného původu je velmi nízký cca 1,5 % až 7% hm. Dřevní odpad má přibližně asi o 86% nižší obsah popele než hnědé uhlí, což má následující pozitivní přínos:

- Při spalování dřevních odpadů se sníží emise pevných částic popílku;
- Při spalování dřevní hmoty odpadne nutnost kontinuálního odvodu tuhých zbytků po spalování a bude postačovat pouze jednorázové odpopelňování po určitém počtu provozních hodin.

Koncentrace vápníku Ca, hořčíku Mg a draslíku K v palivech rostlinného původu je velmi široká. Pro vysoký obsah minerálních látek (popelovin) je nutné tato paliva považovat za technicky náročnější paliva. Tavicí poměry popela jsou podstatně ovlivněny právě koncentrací těchto prvků (Ca, Mg, K). Vápník a hořčík bod tavení zvyšuje, draslík a chloridy jsou příčinou poklesu bodu tavení. [3]

4.4 Spalné teplo a výhřevnost tuhých biopaliv

Při spalování se hořlavé látky paliva slučují s kyslíkem a vznikají produkty spalování, nazývané spaliny. Tento pochod je doprovázen uvolňováním určitého množství tepla, které se u tuhých a kapalných paliv vztahuje na hmotnostní jednotku $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (za normálních podmínek: $t = 0^\circ\text{C}$, $p = 101,3$ kPa, označení m^3_{N}). V technické praxi se uvolněné teplo vyjadřuje jako spalné teplo Q_s^r nebo jako výhřevnost Q_i^r paliva. [3]

Spalné teplo je množství tepla, které se uvolní při dokonalém spálení měrné jednotky paliva $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}_{\text{N}}$ za předpokladu, že se spaliny ochladí na 0°C a že veškerá pára vzniklá spalováním zkondenzuje. [3]

Protože při spalování paliva ve spalovacích zařízeních odchází spaliny s teplotou vyšší než 100°C, voda se mění v páru, používá se při teplených výpočtech častěji výhřevnost paliva Q_i^f .

Výhřevnost paliva Q_i^f je množství tepla uvolněné při dokonalém spálení měrné jednotky paliva při chlazení spalin na 0°C, přičemž vlhkost paliva zůstane ve spalinách jako vodní páry. Hodnota výhřevnosti paliva je tedy nižší než spalné teplo o množství tepla potřebné k ohřevu vody z původní teploty paliva na 100°C a o skupenské teplo vypařování vody. Celkové množství tepla se uvažuje přibližně 2500 kJ na 1 kg vlhkosti. [3]

V praxi se běžně počítá s výhřevností paliva, protože při spalování tuhých paliv v topeništích odchází odpařená voda se spalinami do komína o vyšší teplotě, než je rosný bod vodní páry, takže nedojde k její kondenzaci, odnáší tedy s sebou část tepla v podobě tepla výparného.

Výhřevnost paliv z rostlinné biomasy je závislá především na obsahu vody. Z tohoto důvodu se bude její hodnota pohybovat v širokém rozmezí. U dřevních materiálů je zajímavé, že různé druhy dřevin mají pro daný obsah vody prakticky shodnou výhřevnost. Lze to vysvětlit tím, že chemické složení hořlaviny různých druhů dřevin je přibližně shodné. Vžitá představa, že tvrdé dřevo má vyšší výhřevnost než dřevo měkké, je mylná, protože se jedná pouze o rozdílnou měrnou hmotnost těchto dřevin. [3]

4.5 Prchavá hořlavina

Další důležitou hodnotou z hlediska spalovacího procesu, je obsah a průběh uvolňování prchavé hořlaviny z paliva. Prchavá hořlavina je množství plynné látky, která se uvolní z hořlaviny paliva při jeho zahřívání za nepřístupu vzduchu.

Prchavá hořlavina je součástí celkové hořlaviny obsažené v palivu. Prchavou hořlavinu tvoří plynné hořlavé látky, které se z paliva uvolňují při zahřátí na určitou teplotu. Hoření prchavé hořlaviny se jeví jako plamen. Způsob stanovení prchavé hořlaviny v palivu určuje ČSN 44 1351.

Obsah prchavé hořlaviny závisí na geologickém stáří paliva. Čím je palivo geologicky mladší, tím má vyšší obsah prchavé hořlaviny. Nejméně prchavého podílu mají antracity a černé uhlí. Jeho obsah se zvyšuje u hnědého uhlí a lignitů a nejvíce prchavé hořlaviny obsahují rašelina a dřevo. [3]

Prchavá hořlavina podstatně napomáhá vzněcování paliva v ohništi a stabilizuje spalovací proces. Mladší paliva s vyšším podílem prchavé hořlaviny se zapalují snadněji než paliva starší.

Jestliže prchavá hořlavina v ohništi nevyhoří, ať už proto, že je ohniště nedostatečně velké, nebo že neměla dostatek kyslíku, odchází s kouřovými plyny a vytváří ztrátu nespálenými hořlavými plyny (ztrátu chemickým nedopalem). Dostanou-li se hořlavé plyny do míst, kde se ochladí pod spalovací teplotu, některé jejich složky (například uhlovodíky) se rozkládají a tvoří saze. Ty se částečně usazují na výhřevných plochách kotle a částečně vystupují z komína jako tmavý kouř.

Palivo s vysokým obsahem prchavé hořlaviny, jak je obecně známo, hoří dlouhým plamenem. V případě, že plyny nemají dostatek kyslíku k hoření, plamen je čadivý. Naopak palivo s nízkým obsahem prchavé hořlaviny hoří krátkým plamenem a při obsahu prchavé hořlaviny pod 15% hoří téměř bez plamene za vysokých teplot. [3]

Po přívodu paliva z rostlinné biomasy do spalovací komory a ohřátí na příslušnou teplotu dochází k uvolňování prchavé hořlaviny a k tvorbě dřevěného uhlí. Palivem, které skutečně vstupuje do činného pochodu hoření, není v podstatě palivo primární, nýbrž prchavá hořlavina a dřevěné uhlí, které je v podstatě tvořeno uhlíkem s malým obsahem popele. Uvolněná prchavá hořlavina, která se uvolňuje za poměrně nízké teploty, vytváří po smísení se spalovacím vzduchem hořlavou směs, která se stává iniciátorem spalovacího procesu. Teplo uvolněné při jejím spalování přispívá k tepelné aktivaci dřevěného uhlí a vysoušení surového paliva.

Při spalování vlhkých dřevních materiálů je časový průběh uvolňování prchavé hořlaviny konstantní. Lze to vysvětlit tím, že dochází k částečnému překrývání fází vysoušení paliva a uvolňování prchavé hořlaviny. Fáze vysoušení paliva pak zpomaluje uvolňování prchavé hořlaviny, a proto i časový průběh obsahu CO ve spalinách nevykazuje takové změny jako suchý dřevní odpad.

Aby se ztráta chemickou nedokonalostí hoření snížila na minimum, je nutno věnovat zvýšenou pozornost vhodnému rozmístění spalovacího vzduchu. Výše tepelné ztráty, vlivem chemické nedokonalosti spalování, závisí na poměrném obsahu CO (%) ve spalinách. [3]

4.6 Obsah síry v tuhých biopalivech

Síra se vyskytuje v tuhých palivech v různé formě. Podle toho, na které složky paliva je vázána, se dělí na síru organicky a anorganicky vázanou.

Při stanovení síry v tuhých palivech se zjišťuje síra veškerá, která je dána součtem síry spalitelné a nespalitelné.

Síru spalitelnou představuje síra organická, která je součástí hořlaviny paliva, dále síra pyritová a siřníková.

Síra nespalitelná je reprezentována sírou síranovou.

Při spalování tuhých paliv se spalitelná síra přemění na oxid siřičitý SO_2 . Část oxidu siřičitého se za určitých podmínek (přítomnost katalyticky působících látek a teplota prostředí od spalovacích teplot až do oblasti asi 500°C) přemění na oxid sírový SO_3 . Ten potom vytvoří s vodní párou kyselinu sírovou H_2SO_4 . Zkondenzovaná kyselina sírová jednak působí korozivně na trubky a železné součásti kotlů, jednak podporuje tvoření stmelovaných nánosů na výhřevných plochách kotlů v oblasti nižších teplot kouřových plynů. Korozemi bývají napadeny ohříváky vzduchu, popřípadě ohříváky vody. Síra nespalitelná přejde do tuhých zbytků spalování (škváry, strusky). [4]

Předností paliv z biomasy je to, že obsahují stopové množství síry, takže během spalování nevzniká škodlivý plynný exhalát SO_2 . V důsledku toho se sníží i teplota rosného bodu spalin, neboť jeho hodnota bude pouze funkcí obsahu vodní páry ve spalinách a přebytku vzduchu. To znamená, že např. při spalování dřevní hmoty bude teplota rosného bodu spalin značně nižší než při spalování uhlí. Vhodným řešením dodatkových výhřevných ploch kotle, lze snížit komínovou ztrátu na minimum, bez nebezpečí vzniku nízkoteplotních korozí dodatkových ploch. [4]

4.7 Charakteristické teploty popela tuhých biopaliv

Pro provoz různých druhů topenišť na tuhá paliva je důležité znát tzv. teplotu tání popela. Je to teplota, při které dochází k roztavení všech složek popela. Tání popela probíhá v širokém teplotním intervalu (200°C i více), při němž nastává změna skupenství popela. Tato změna je charakterizována třemi teplotami, které se zaznamenávají při měření teploty tání:

- Teplotou počátku měknutí t_A ($^\circ\text{C}$);
- Teplotou tání t_B ($^\circ\text{C}$);
- Teplotou počátku tečení t_C ($^\circ\text{C}$).

Z praktického hlediska teplota tání popela určuje, jak vysoké mohou být spalovací teploty v ohništi, aby nevznikaly poruchy ve funkci spalovacího zařízení. Tyto poruchy mohou být

způsobeny například roztavením popela na roštu a zalitím mezer v roštu struskou, nalepováním rozměklých popelových částic na stěny ohniště a tvořením nánosů apod. [4]

Teplota tání popela je závislá na složení popela a na okolní atmosféře ve spalovacím prostoru.

Na zvyšování teploty tání mají vliv oxid křemičitý a hlinitý. Oxid železitý, železnatý, titaničitý, vápenatý, hořečnatý, sodný a draselný naopak teplotu tání snižují.

Největší vliv na teploty tání popelů mají sloučeniny železa. V silně oxidační atmosféře, která je složena z kyslíku, vzduchu, vodní páry a oxidu uhličitého, jsou teploty tání popelů s obsahem oxidů železa nejnižší. O něco nižší, ale stále ještě vysoké, teploty tání má popel v prostředí silně redukčním. To se skládá z vodíku a oxidu uhelnatého. Nejnižší jsou v prostředí smíšením (směs vodíku a vodní páry). [4]

Tavící poměry popela u rostlinné biomasy jsou podstatně ovlivněny koncentrací vápníku, hořčíku a draslíku. Zatímco Ca a Mg bod tavení zvyšuje, vedou K a chloridy k poklesu. Proto vykazují biopaliva odvozená od dřevní fytohmoty vlivem vysokého obsahu Ca a Mg vyšší body tavení než stébelniny. Dosavadní zkoušky spalování i zdroje z literárních pramenů ukazují, že u slámy, celých rostlin obilovin a sena by neměla být teplota spalovacího prostoru v oblasti tvorby popele vyšší než 850 – 900 °C a u dřevin 1150 °C (viz tabulka 4.1)

Tab. 4.1 Teploty měknutí, tavení a tečení popelovin u dřevin a stébelnin [4]

Parametr	Jednotka	Dřevní biopaliva	Stébelniny
Teplota počátku měknutí	°C	1100 - 1160	890 – 950
Teplota tání	°C	1250 - 1340	1050 – 1150
Teplota počátku tečení	°C	1300 - 1350	1150 - 1200

Problémem je i znečištění teplosměnných ploch kotlů, na draslík bohatý popel, se již od cca 850 °C spéká ve sklovitou hmotu, která velmi pevně přilne k vyzdívce a k roštu. Při mechanickém čištění se odlupují vrstvy vyzdívky, samotné vyklízení popele je obtížné. Proto, zejména u větších topenišť, jakými právě zařízení místních tepláren jsou, by vždy mělo být zplynování paliva (teplota 600 °C) a dohoření spalných plynů (teplota do 1100 °C) od sebe odděleno. [4]

5 EMISE

Při spalování vznikají tzv. emise, jedná se o látky znečišťující ovzduší. Mimo jiné je ve spalinách obsažen oxid uhličitý, kde se uvádí, že teoreticky je z hlediska emisí neutrální. Protože při dokonalém spalování je vyprodukováno tolik oxidu uhličitého, kolik je spotřebováno rostlinami při jejich růstů. Spaliny při dokonalém spalování tedy obsahují [8]:

- CO₂ z uhlíku hořlaviny a také ze spalovacího vzduchu
- SO₂ ze síry v hořlavině paliva
- N₂ z hořlaviny a ze spalovacího vzduchu
- Ar ze spalovacího vzduchu
- H₂O z hořlaviny paliva (vodíku), z vlhkosti paliva a z vlhkosti spalovacího vzduchu.

Dalšími emisemi jsou oxidy dusíku NO_x, které vznikají z části dusíku v hořlavině paliva a vzduchu. Vznik oxidů dusíku je ovlivněn spalovací teplotou, kdy se při vysoké teplotě (nad 1000 °C) vytvářejí tzv. termické oxidy dusíku. Dále při nedokonalém spalování může být ve spalinách obsažen oxid uhelnatý CO. Příčinou nedokonalého spalování je nedostatečné množství spalovacího vzduchu. Pro omezení produkce oxidu uhelnatého se doporučuje spalování s vhodným přebytkem vzduchu α a dostatečná teplota spalování, potom se oxid uhelnatý redukuje na oxid uhličitý. Volba přebytku vzduchu je důležitá i z toho důvodu, že při vyšším přebytku vzduchu dochází ke zvýšení objemu spalin a tím je potřebný větší výkon ventilátoru spalin. Navíc společně s přísávaním falešného vzduchu jednotlivých částí spalovacího zařízení ochlazuje spaliny, které jsou využívány např. pro předehřev spalovacího vzduchu. Při spalování biomasy vznikají i jiné škodliviny, jedná se o např. polyaromatické uhlovodíky, případně dioxiny. Ovšem obsah těchto škodlivin ovlivňuje způsob spalování. V neposlední řadě spaliny obsahují částice tuhého úletu, které se zachycují v zařízení zvaném odlučovák popílku. [12, 13]

Tab. 5.1 Emisní limity pro velké spalovací zdroje (5-50 MW) spalující biomasu vztažené k referenčnímu obsahu kyslíku 11%. [14]

Druh paliva	Emisní limity vztažené na normální stavové podmínky a suchý plyn (mg.m ⁻³)			
	SO ₂	NO _x	TZL	CO
biomasa	2500	650	250	650

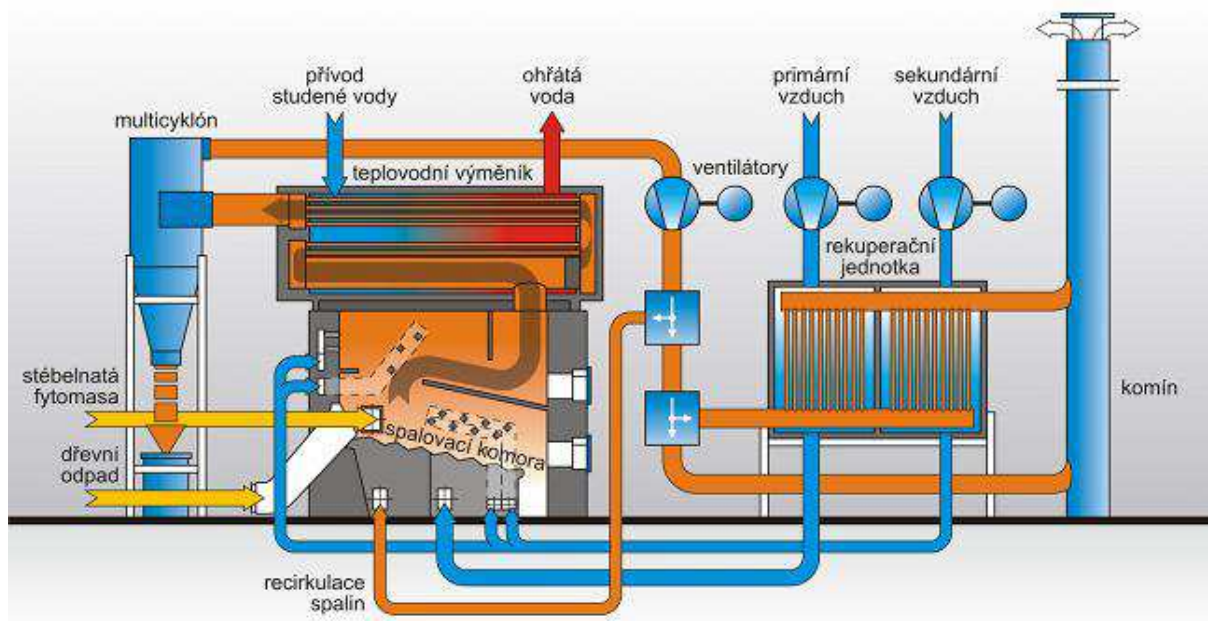
6 SPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ NA BIOMASU

Spalovací zařízení (kotel) na biomasu, slouží na ohřev vody, k výrobě páry nebo ohřevu jiného média. Spalováním biomasy ve spalovacím zařízení (kotli) vzniká teplo, které je přenášeno do pracovního média (voda, pára, olej). Ohřátá voda se nazývá teplá voda, pokud má teplotu do 110 °C. Nad 110 °C se jedná o horkou vodu. Nebo je možné vyrábět páru sytou či přehřátou. Spalovací zařízení (kotel) se skládá z několika částí [15]:

- vlastní spalovací zařízení – typ ohniště, hořáku
- zařízení k přípravě a dopravě paliva do topeniště
- zařízení k odstranění zbytků po spálení
- zařízení k ohřevu spalovacího vzduchu (LUVO)
- zařízení k dopravě spalovacího vzduchu
- zařízení k odvodu spalin
- výměníky tepla - ohřívák vody (ekonomizér - EKO)
- u parních kotlů navíc – výparný systém, přehřívák páry, přihřívák páry

Spalování tuhé biomasy ve spalovacích zařízení (kotlích) nad 1 MW se nejčastěji provádí v kotlích roštových, fluidních a v kotlích se spodním přívodem paliva. [15]

Obr. 6.1 Schéma spalovacího zařízení [16]



6.1 Spalovací zařízení roštové

U těchto spalovacích zařízení probíhá spalování v roštovém ohništi, a to na samotném roštu v klidné vrstvě (tzv. filtrační vrstvě) a také v prostoru nad vrstvou paliva, kam je přiváděn sekundární vzduch na závislosti podílu prchavé hořlaviny uvolňované z paliva. Rošt podpírá kusové palivo a umožňuje vytvoření vrstvy, která má požadovanou tloušťku a prodyšnost. Umožňuje postupné vysoušení paliva až po jeho hoření, zajišťuje dostatek spalovacího vzduchu a odvádí tuhé zbytky po spálení. Také umožňuje regulovat výkon ohniště. Používají se od nejmenších výkonů do 50 MW. [15]

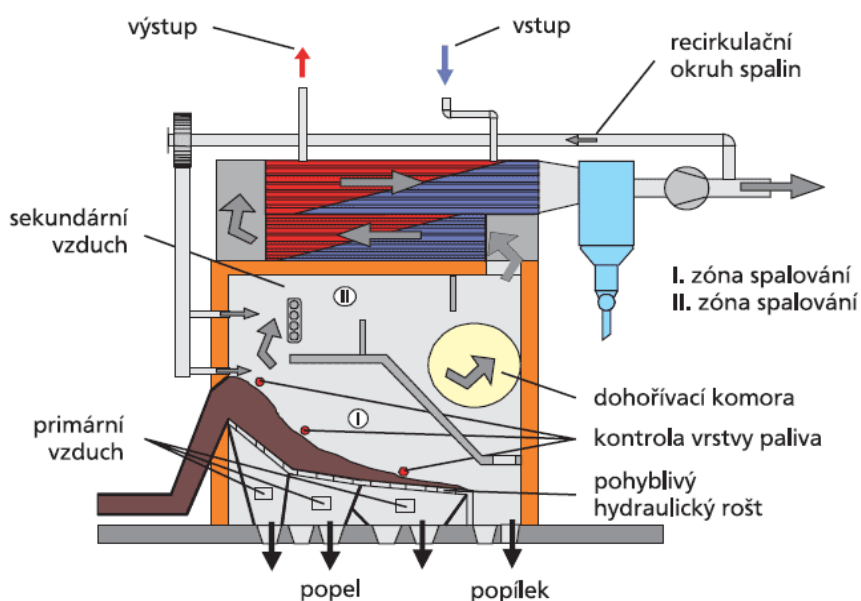
Palivo, které se postupně na roštu posouvá, má několik fází [15]:

- sušení, během něhož se palivo ohřívá a snižuje se obsah vody
- odplyňování
- hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny
- dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků

Druhy roštů:

- pevný (rovinný, stupňový)
- mechanický (pásový s výsypkou, s pohazováním)
- přesuvný
- vratisuvný

Obr. 6.2 schéma spalovacího zařízení s přesuvným roštem [17]

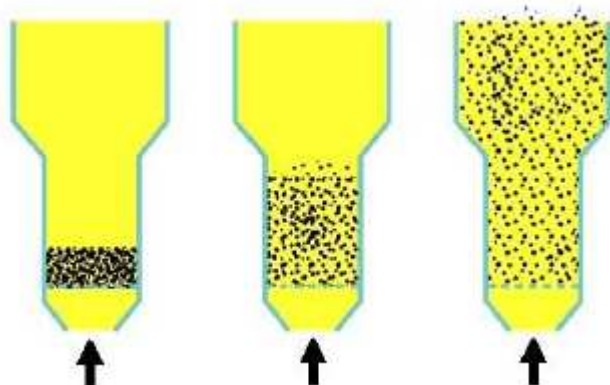


6.2 Spalovací zařízení fluidní

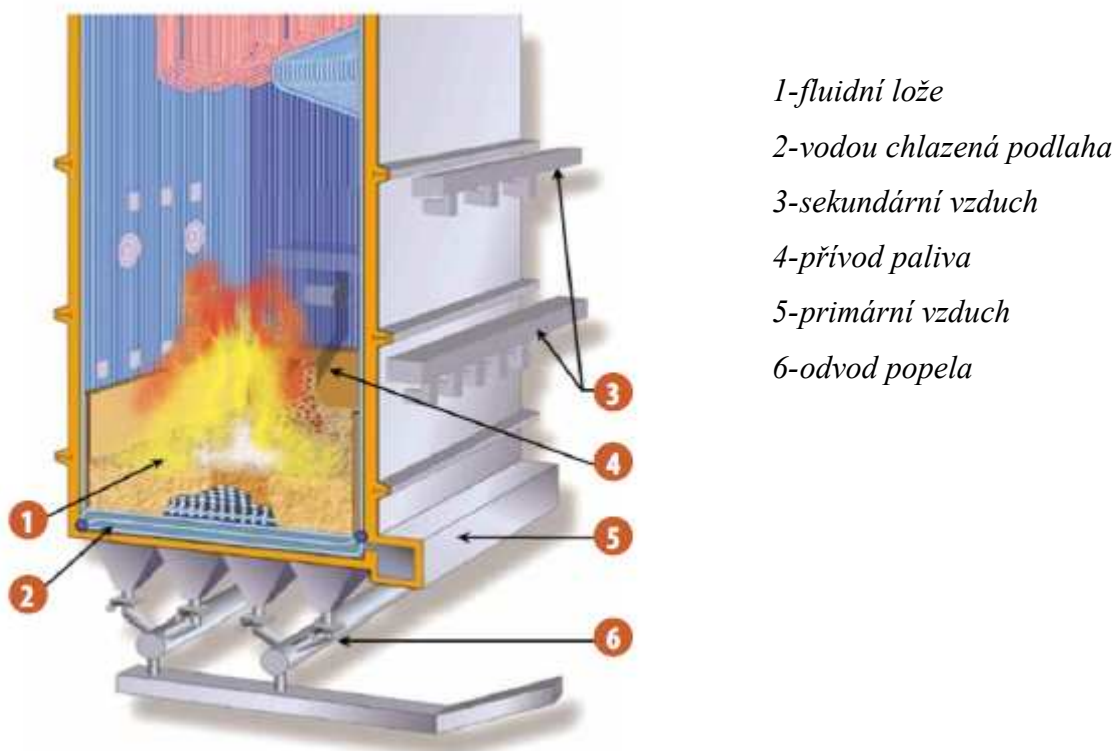
U fluidních spalovacích zařízení probíhá pochod zvaný fluidizace. Ta nastane, když je do roštu zespod přiváděno určité médium (většinou se jedná o vzduch). Pokud má přiváděný vzduch určitou rychlost, tak vazba mezi částicemi na roštu se uvolňuje, dochází ke vznosu částic a vytváří se fluidní vrstva. Tato vrstva má některé vlastnosti typické pro kapaliny – vytváří hydrostatický tlak, vytéká otvory, má hladinu. Účelem při spalování ve fluidní vrstvě je dosažení co největšího mezifázového povrchu mezi vzduchem a částicemi. Pokud rychlost přiváděného vzduchu roste, tak se hladina fluidní vrstvy zvyšuje a zmenšuje se její objemová koncentrace. Při tzv. prahové rychlosti úletu dochází k tomu, že rychle proudící vzduch začne unášet částice z fluidní vrstvy. [18]

Fluidní vrstva může být buď stacionární (bublinková) nebo cirkulující. Stacionární fluidní vrstva se používá při výkonu do 30 MW. Pro větší výkony je obtížné udržet teplotu spalování na požadované úrovni, proto se používá cirkulující fluidní vrstva. Pro vytvoření stabilní fluidní vrstvy je zapotřebí většího množství materiálu, než je hmota paliva, proto je fluidní lože tvořeno z větší části inertním materiálem, kterým může být popel z paliva nebo uměle dodávaný materiál, např. písek o různé zrnitosti. Nízká koncentrace paliva ve fluidní vrstvě, která se pohybuje v řádu jednotek procent, umožňuje vést spalování při velmi nízké teplotě (i okolo 750 °C) a umožňuje se tak vyhnout problémům s tavením popelovin některých biopaliv. Protože biomasa má obvykle velmi nízký obsah vlastních popelovin, je nutné pro nasazení fluidní technologie zvolit cizí inertní materiál. [18]

Obr. 6.3 Schéma fluidizace [19]



Obr. 6.4 *fluidní spalovací zařízení Biopower 8 [20]*

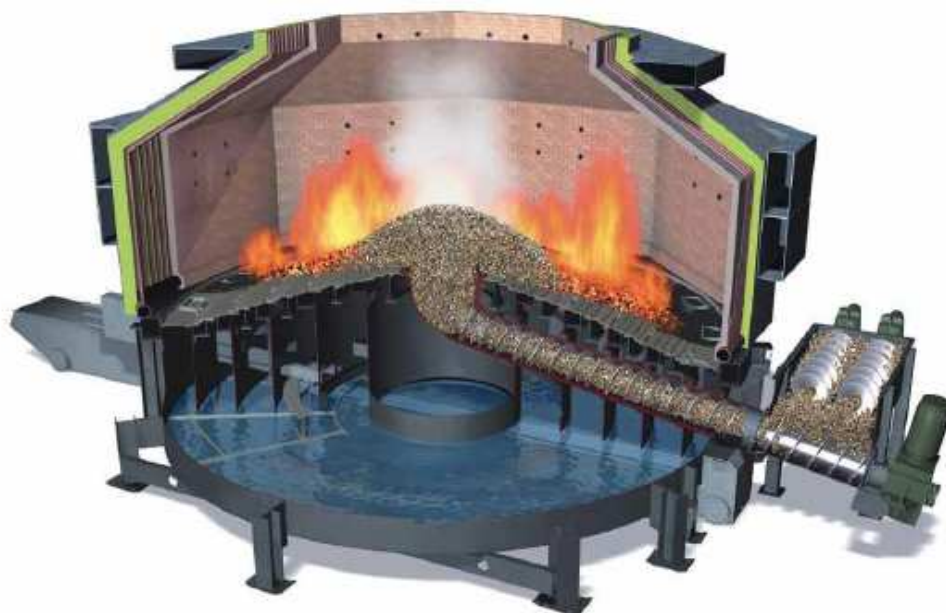


6.3 Spalovací zařízení se spodním přívodem paliva

Pro spalovací zařízení se spodním přívodem paliva je charakteristický přívod paliva do topeniště zespodu. Jako palivo jsou většinou používány pelety, štěpka, piliny, drcená kůra případně jejich směsi. Palivo je dopravováno ze zásobníku pomocí šnekového dopravníku na rošt, kde je vytlačováno vzhůru jako krtina. Rošt bývá kruhového tvaru a po obvodě má několik řad děr, kudy odpadáva popel vzniklý při spalování. Primární spalovací vzduch je zaústěn pod rošt do několika sekcí. Tento vzduch je dopravován pomocí ventilátoru a jeho množství bývá regulováno změnou otáček od frekvenčního měniče. Tyto kotle jsou plně automatické, mají regulovatelný přísun paliva i vzduchu a bezobslužný odvod popele.

Rošt má kónický tvar se spádem od středu k okraji kotle. Roštnice provádějí kruhový pohyb a palivo se vlastní tíhou posouvá k vnějšímu okraji kotle. Na vnějším okraji kotle je již pouze popel a ten propadáva otvory na okrajích kotle do prostoru pod roštem odkud je odváděn mokrým dopravníkem popela do kontejneru na popel.

Obr. 6.5 Spalovací zařízení se spodním přívodem paliva Biopower 5 [20]



7 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ SPALIN

Základními druhy čištění spalin od prachu jsou tyto 3 způsoby:

- Cyklónový (multicyklónový) odlučovač
- Látkový filtr
- Elektrofiltr

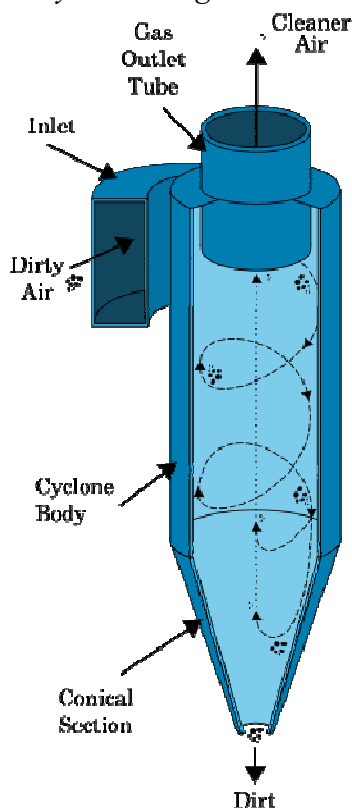
Existují ještě další možnosti odprášení spalin, ale v tomto případě při spalování biopaliv v kotlích o výkonu kolem 20 MW_t jsou ostatní technologie velmi drahé, případně se kombinují mezi sebou. Například multicyklón a kondenzace spalin. Ve své práci se budu následně podrobněji zabírat pouze těmito třemi výše uvedenými způsoby odprášení spalin.

7.1 Cyklónový odlučovač

Cyklónové odlučovače se rovněž můžou označovat jako mechanické odlučovače. Rozlišujeme dva základní typy. Mechanické odlučovače suché a mechanické odlučovače mokré. Mechanické odlučovače pracují na principu využití gravitační nebo setrvačné síly k oddělení tuhých částic na základě jejich odlišné měrné hmotnosti od měrné hmotnosti plynu. Vstup spalin do cyklónu je buďto tangenciální nebo axiální přes vírník. Mají poměrně malou

účinnost, nicméně vírové odlučovače jsou v současné době nejrozšířenějším odlučovačem vůbec.

Obr. 7.1 cyklón s tangenciálním vstupem [21]



Obr. 7.2 Multicyklón [17]



Mechanické odlučovače suché

Suché mechanické odlučovače patří mezi nejstarší a v praxi dosti rozšířené odlučovače.

Pro jejich použití hovoří zejména to, že jsou:

jednoduché konstrukce, provozně spolehlivé, nenáročné na obsluhu a údržbu. Mají nižší pořizovací náklady, nižší spotřeba energie a jsou vhodné i pro vysoké teploty plynu.

Nevýhodou těchto odlučovačů je nízká odlučivost jemných frakcí. Samostatně použité splňují tyto odlučovače jen výjimečně požadavky na emisní limity a proto se většinou používají jako předodlučovače k odloučení hrubších frakcí.

Mechanické odlučovače mokré

Byly vyvinuty ve snaze o zlepšení odlučivosti jemných prachů a o zlepšení funkční spolehlivosti při odlučování vlhkých a lepivých prachů.

Mezi kladné charakteristické znaky mokřých odlučovačů patří tyto vlastnosti:

- v porovnání se suchými mechanickými odlučovači se dosahuje vyšších odlučivostí pro jemné částice,
- jsou vhodné i pro lepkavé částice,
- současně s tuhými částicemi lze částečně zachycovat i plynné znečišťující látky,
- mohou se používat i pro vysoké koncentrace částic,
- kondenzace nenarušuje odlučovací proces, ale spíše jej v oblasti jemných částic zlepšuje,
- jsou vhodné i pro odlučování výbušných prachů, neboť se minimalizuje vznik nebezpečných koncentrací,
- v porovnání s průmyslovými filtry i elektrickými odlučovači jsou výhodnější měrné ukazatele obestavěného prostoru,
- v okolí odlučovačů se dosahuje nízká povrchová prašnost.

Mezi nevýhody mokrých odlučovačů patří:

- spotřeba vody na odpar, která může být limitujícím faktorem při odlučování plynů o vyšší teplotě,
- potřeba vodního hospodářství,
- nebezpečí koroze,
- nebezpečí zamrzání,
- vyšší tlaková ztráta u některých typů odlučovačů,
- nežádoucí ochlazení plynu před jeho vypouštěním do atmosféry,
- nevhodnost použití pro cementující prachy,
- vyšší náročnost na obsluhu a údržbu.

7.2 Látkový filtr

Jedním z nejstarších druhů průmyslových odlučovačů jsou látkové filtry. Prach z plynů je v nich odlučován při průchodu látkou. K filtraci se využívá téměř všech základních principů a sil využitelných při odlučování. Jsou to síly setrvačné, přímé zachycování, difúze a někdy i síly elektrostatické.

Základem účinné filtrace je kvalitní filtrační vrstva, která v samém počátku filtrace zabraňuje pronikání částic vrstvou. Ty se usazují na čelní straně filtrační vrstvy a dochází k vytvoření filtračního koláče. K dalšímu odlučování částic dochází pak síťovým efektem na

vrstvě již odloučených částic. Při překročení určité tlakové ztráty, která je úměrná tloušťce filtračního koláče, je nutno filtrační tkaninu regenerovat zpětným nebo pulsním profukem.

Výhody látkových filtrů:

- vysoká odlučivost i pro jemné prachové částice,
- nízké nároky na obsluhu,
- vyšší provozní náklady,
- relativně nižší investiční náklady.

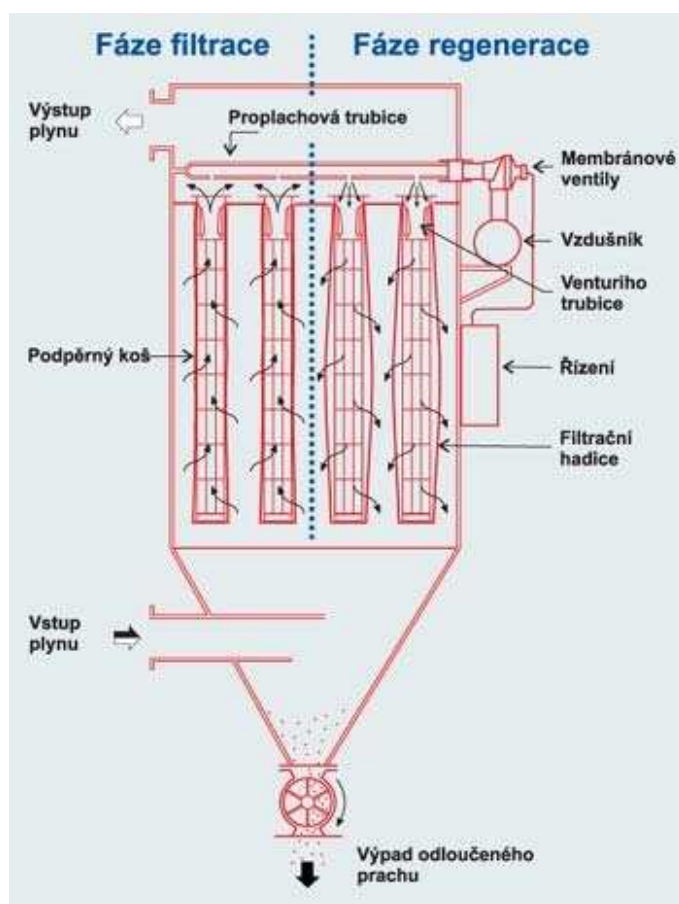
Nevýhody látkových filtrů:

- nelze použít pro vysoké teploty,
- nelze provozovat v oblastech rosného bodu látek,
- vyšší provozní náklady při výměně filtračního média.

Popis funkce látkového filtru

Plyn obsahující pevné znečišťující částice vstupuje do spodní části výsypky nebo boční části skříně látkového filtru, kde dochází vlivem poklesu rychlosti proudu plynu k prvnímu odloučení hrubých částic prachu. Znečištěný plyn dále postupuje vzhůru k svisle zavěšeným filtračním hadicím, kterými prochází do komory čistého plynu a následně vystupuje z látkového filtru. Na vnějším povrchu filtračních hadic se prachové částice zachycují a vytvářejí souvislou vrstvu prachu, která se pravidelně odstraňuje pulsní regenerací. Vlastní regenerace se provádí krátkými pulsy stlačeného vzduchu, který je vháněn do vnitřních částí hadice z otvorů proplachové trubky přes venturiho trubici. Účinkem pulsů stlačeného vzduchu na vnitřní stranu hadice dojde k odtržení usazené vrstvy prachu od vnějšího povrchu hadice. Prach postupně padá do výsypky a odtud je vzduchotěsným uzávěrem odváděn mimo prostor látkového filtru. Četnost a délku pulsů stlačeného vzduchu zajišťují membránové ventily, které jsou ovládány přes solenoidové ventily řídicí jednotkou. Na základě tlakové ztráty látkového filtru nebo pevného časového režimu se řídí regenerační proces tak, aby nedocházelo k nadměrnému zvyšování tlakové ztráty a aby byla na filtračních hadicích stálá vrstva prachu, tzv. "filtrační koláč", který zvyšuje filtrační účinek látkového filtru.

Obr. 7.3 Princip funkce látkového filtru [22]



Tab. 7.1 Vlastnosti filtračních materiálů [22]

	polypropylen	polyester	polyakrylnitril homopolymer	m-aramid	polytetrafluorethylen	polyphenylsulfid	polyimid	tkané sklo
provozní teplota °C	90	140	125	200	250	190	240	250
maximální teplota °C	95	150	140	220	280	200	260	270
Odolnost proti:								
alkáliím	●	○	●	●	●	●	●	●
kyselinám	●	●	●	●	●	●	●	●
hydrolýze	●	○	●	●	●	●	●	●
oxidantům	○	●	●	●	●	●	●	●
rozpuštědlům	●	●	●	●	●	●	●	●
● odolnost výborná, ● odolnost dobrá, ● odolnost omezená, ○ odolnost špatná								

System regenerace hadic

Všechny funkční prvky systému regenerace se nachází mimo aktivní prostor filtru. Vlastní systém je tvořen vzdušníkem a soustavou membránových ventilů, které jsou ovládány solenoidovými ventily a na něž navazují proplachové trubky. Jednotlivé části jsou

smontovány již ve výrobě, elektricky propojeny s řídicím systémem filtru a odzkoušeny. Demontáž a montáž proplachových trubek v případě opravy je velmi jednoduchá a snadná i po delším působení agresivního prostředí. [22]

Obr. 7.4 Detail konstrukčního řešení látkového filtru s opěrnými koši [22]



Látkové filtry EFP

Látkové filtry EFP používají k čištění hadic stlačený vzduch - pulsní regenerace. Uplatňují se v širokém spektru průmyslových aplikací od malých velikostí pro odprašování, např. sil, až po velká zařízení na odprašování velkých technologických zdrojů prašnosti, jako jsou např. kotle, vysoké pece atd. [22]

Látkové filtry EFP on-line

Látkové filtry EFP v provedení on-line se používají především k filtraci snáze odlučitelných prachů v cementárnách, vápenkách či v kamenolomech. Proces regenerace hadic probíhá za stálého provozu filtru - on line. Postupnou regeneraci jednotlivých řad hadic zajišťuje v závislosti na tlakové ztrátě filtru nebo v pevném časovém režimu plně automatický řídicí systém.

Provedení a velikosti filtrů on-line se navrhuje individuálně v závislosti na vlastnostech plynu a prachu a na prostorových možnostech. [22]

Filtry EFP off-line

Látkové filtry v provedení off-line se používají především k filtraci velkých množství plynů, velmi lehkých a jemných prachů a všude tam, kde je k vzhledem k náročnosti

technologie výroby požadován dlouhodobý a nepřerušovaný provoz. Filtry se používají především k odprašování technologií v energetice, metalurgii, hutnictví, spalovnách atd.

Konstrukčně jsou řešeny jako soustava modulů vzájemně propojených vstupním a výstupním kanálem. Každý modul tvoří samostatnou filtrační jednotku a je vybaven pneumaticky ovládaným talířovým ventilem na výstupu a ručně ovládanou klapkou na vstupu. Regenerace modulu probíhá při jeho krátkodobém odstavení, uzavřením výstupního talířového ventilu (systém off-line). Regenerace filtru je řízena na základě celkové tlakové ztráty filtru a ztráty jednotlivých modulů nadřazeným řídicím systémem, který řídí postupné odstavování a čištění jednotlivých modulů. [22]

Případná revize či opravy nevyžadují odstavení celého filtru z provozu. Jednotlivé moduly filtru je možno oboustranně uzavřít, vyloučit z procesu filtrace a zpřístupnit tak pro opravu. Při havárii, či překročení maximálních vstupních teplot zajišťuje ochranu filtru integrované obtokové potrubí by-pass. [22]

Řízení látkových filtrů

Řízení regenerace látkových bývá navrženo v souladu s požadavky zvolené technologie a s cílem dosáhnout optimálního ekonomického provozu a plné automatizace provozu zařízení. Řídicí jednotky umožňují bezproblémovou komunikaci s možným nadřazeným řídicím systémem. [22]

V zásadě jsou používány dva typy řízení:

1) Mikroprocesorové řízení (MCS)

Mikroprocesorové řízení umožňuje nastavení trvání pulsu, doby mezi pulsy a doby mezi jednotlivými regeneračními cykly. Regenerace hadic je řízena časovým spínačem ve dvou režimech:

- v pevném časovém režimu;
- podle tlakové ztráty na filtračních hadicích.

Tento typ řízení je využíván pro filtry on-line typu EFV, EFR a typu EFP menších velikostí v rámci menších systémových celků.

2) Řízení programovatelným automatem (PLC)

Volně programovatelný automat umožňuje řízení všech modulů filtru. Vlastní řízení regenerace hadic je nejčastěji navrhováno ve dvou základních režimech:

- režim s proměnnou dobou mezi pulsy
- režim s nastavitelným pásmem tlakových ztrát

Tento typ řízení je využíván pro filtry off-line a filtry on-line typu EFP větších velikostí. Zároveň je vhodný i k řízení celých systémových celků. [22]

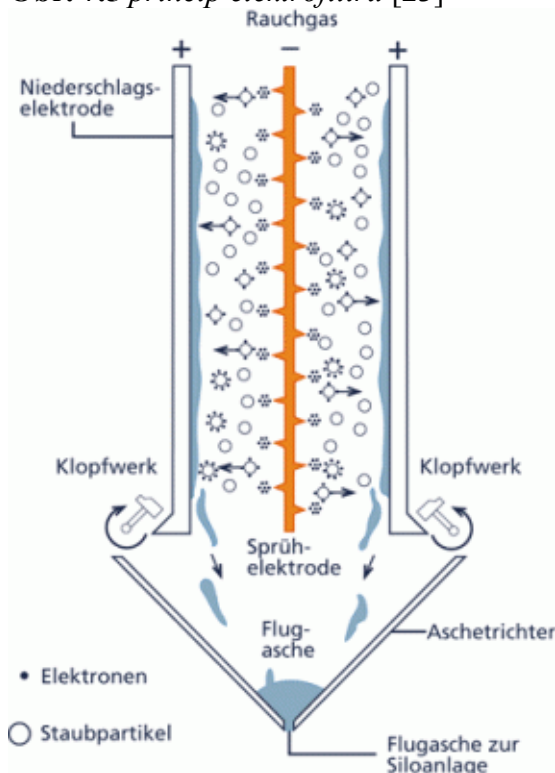
7.3 Elektrofiltry

Elektrofiltry, nebo-li elektrické odlučovače, fungují na principu separace pevných částic pomocí elektrického pole. Jeden z mnoha výrobců elektrofiltrů, například ZVVZ-Enven Engineering, a.s., dodává suché horizontální komorové elektrické odlučovače vlastní konstrukce pod obchodním označením EKF, EKG, EKH, EKO, EMO, EKK. Tyto elektrické odlučovače jsou vysoce účinná a spolehlivá zařízení pro odlučování tuhých příměsí z odpadních a technologických plynů a svojí vysokou odlučivostí zaručují nízké úlety tuhých znečišťujících látek do ovzduší a plně vyhovují nejprísnějším zákonům na ochranu ovzduší. Uplatňují se s úspěchem v elektrárnách, teplárnách, spalovnách odpadů, ve stavebnictví při výrobě cementu nebo vápna, v hutnictví, v chemickém průmyslu a v dalších odvětvích, která produkují tuhé znečišťující látky. [22]

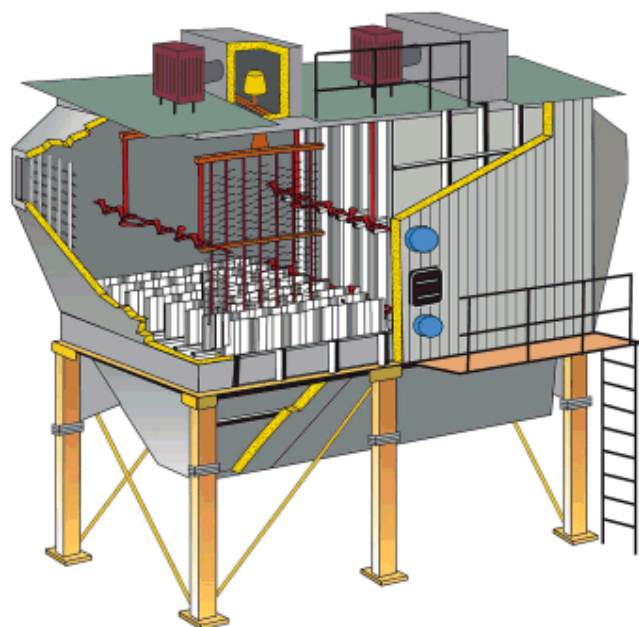
Popis funkce

Aktivní prostor elektrického odlučovače tvoří soustava vysokonapěťových a usazovacích elektrod vzájemně geometricky uspořádaných v daných roztečích. Na vysokonapěťové elektrody se přivádí velmi vysoké stejnosměrné záporné napětí 30-100 kV, usazovací elektrody jsou uzemněny. Přivedením velmi vysokého napětí na vysokonapěťové elektrody vzniká mezi vysokonapěťovými elektrodami a usazovacími elektrodami silné elektrické pole a v jeho důsledku v okolí vysokonapěťových elektrod tzv. koronový výboj (velké množství záporných iontů). Částice prachu obsažené v plynu procházející aktivním prostorem mezi usazovacími elektrodami a vysokonapěťovými elektrodami jsou nabíjeny (bombardovány) těmito zápornými ionty, čímž získávají výrazný záporný náboj. Takto nabitě částice jsou vlivem přitlačných sil elektrického pole přitlačovány na povrch usazovacích elektrod, kde se usazují. Mechanickým oklepáváním se usazený prach z usazovacích elektrod uvolňuje a sklouzává po jejich povrchu do výsypek elektrického odlučovače, odkud je kontinuálně odváděn k dalšímu využití nebo uložení. [22]

Obr. 7.5 princip elektrofiltru [23]



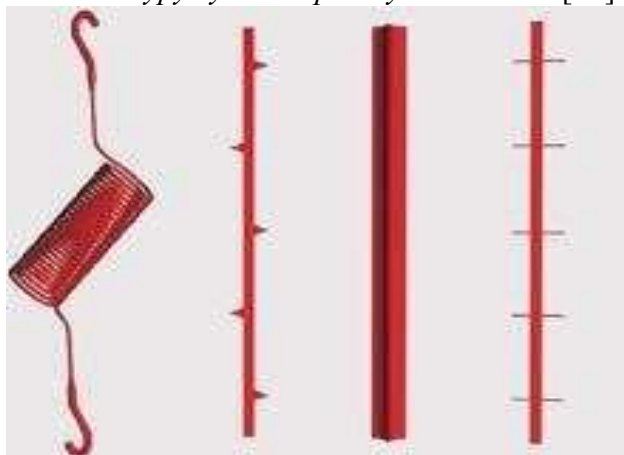
Obr. 7.6 sestava elektrofiltru [23]



Vysokonapěťové elektrody

Vysokonapěťové elektrody jsou upevněny v trubkových rámech pomocí svorníků. Systém vysokonapěťových elektrod každé sekce je elektricky oddělen od uzemněných částí skříně porcelánovými kónickými izolátory. Jednotlivé rámy vysokonapěťových elektrod a vlastní elektrody jsou čištěny mechanickým oklepem, který zajišťují zdvihaná kladiva uchycená na hřídeli. Oklepávání je prováděno programově v pravidelných intervalech. [22]

Obr. 7.7 Typy vysokonapěťových elektrod [22]



Usazovací elektrody

Usazovací elektrody jsou konstrukčně řešeny tak, aby byly dostatečně tuhé a zároveň maximálně využívaly obalových křivek dopadu koronových výbojů vyzařovaných z vysokonapěťových elektrod. Vyráběny jsou válcováním za studena z hlubokotažného plechu o tloušťce 1,2 až 1,5 mm a nejčastěji šířky 450 – 640 mm. [22]

Zavěšení a oklepávání

Usazovací elektrody jsou upevněny na závěsných trámčích volně na čepech. Ve spodní části jsou vzájemně spojeny v oklepávacím trámci předepjatými nýtovými spoji. Spodní pevné uchycení a horní volné zavěšení zaručuje dokonalý přenos energie od oklepávacích kladiv do celé řady usazovacích elektrod. Oklepávání je prováděno programově v pravidelných intervalech a zajišťuje odvod usazeného prachu z elektrod do výsypek. [22]

Obr. 7.8 *Zavěšení a oklepávání elektrod* [21]



Výhody a použití

Výhody elektrického odlučování

- vysoká funkční a provozní spolehlivost,
- minimální nároky na obsluhu a údržbu,
- vysoká účinnost odlučování,
- nízká tlaková ztráta zařízení (maximálně 250 Pa),
- odlučování při teplotách do 350°C běžně (do 450 °C při použití speciálních materiálů),
- plně suchý proces,
- odolnost proti žhavým částicím obsažených v plynu. [22]

Uplatnění elektrických odlučovačů

- výroba tepelné a elektrické energie,
- výroba stavebních hmot, magnezitu a lupků,
- výroba železných kovů a pigmentů,
- sklářský, chemický a papírenský průmysl,
- spalování tuhých odpadů,
- spalování dřevního odpadu . [22]

Napájecí zdroje VVN

Elektrické odlučovače EKO, EMO jsou napájeny stejnosměrným proudem ze zdrojů velmi vysokého usměrněného napětí (VVN). Například firma ENVEN dodává tyto zdroje VVN:

- jednofázové křemíkové usměrňovače s vysokonapětovým transformátorem a měřicími obvody,
- jednofázové křemíkové usměrňovače s vysokonapětovým transformátorem spojené s pulzním generátorem a měřicími obvody,
- třífázové křemíkové usměrňovače s vysokonapětovým transformátorem se spínaným měničem vysokých kmitočetů a měřicími obvody. [22]

Řídicí systém

Řídicí systém napájecích zdrojů zajišťuje regulaci zdroje VVN včetně komplexního řízení provozu elektrického odlučovače pro dosažení minimálního odběru elektrické energie při dodržení emisního limitu nebo nejnižšího možného úletu prachových částic.

Základní činnosti řídicích systémů elektrofiltrů:

- omezení maximálního napájecího napětí,
- omezení maximálního napájecího proudu,
- nastavení parametrů automatické regulace,
- signalizace zkratu v elektrickém odlučovači,
- potlačení vlivu zpětné korony v elektrickém odlučovači,
- semipulzní napájení s volbou počtu period,
- registraci počtu přeskoků,
- zobrazení okamžité V-A charakteristiky. [22]

8 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ SPALIN

Zde následuje popis provozních zkušeností s různými způsoby čištění spalin za spalovacím zařízením spalující biopaliva kůru, štěpku a piliny.

Při výběru dodavatele na dodání technologie odprášení spalin pro spalovací zařízení na biomasu, což bylo v roce 1994, nebyl v České republice žádný dodavatel technologie na odprášení spalin pomocí cyklónů nebo multicyklónů, který by byl schopen garantovat dodržení emisních limitů 150 mg.m^{-3} přepočteno na ref. 11% O_2 . Dodavatelé elektrofiltrů byli zamítnuti z důvodu vysoké ceny. Za této situace nezbylo provozovateli kotelny než se obrátit na dodavatele látkových filtrů. Z několika oslovených potenciálních dodavatelů a jimi předložených nabídek, byla vybrána technologie od firmy ILD Kladno a to ON-LINE filtr s textilními rukávci s pneumatickým zpětným proplachem (regenerací). [24]

8.1 Provoz technologie ON-LINE filtru

ON-LINE filtr přes který proudí spaliny nepřetržitě v celém jeho objemu a regenerace rukávců stlačeným vzduchem je prováděna souběžně za průchodu spalin celým filtrem. Stlačený vzduch je veden z kompresoru přes vzdušník na sušičku stlačeného vzduchu. Stlačený vzduch je nutno mít vysušen z důvodu možného zamrzání v zimních měsících na ventilech regenerující textilní rukávce. Při průchodu spalin přes filtrační rukávce se na vnější straně rukávců usazuje zachycený prach obsažený ve spalinách. Aby se tlakovým účinkem proudu spalin filtrační rukávce nezbortili, je v každém filtračním rukávci vsazen nerezový drátěný koš, který drží stálý tvar filtračního rukávce. Během provozu látkového filtru se snímá tlaková ztráta látkového filtru, což je rozdíl tlaků (podtlaků) na vstupu a výstupu filtru. Postupným zanášením filtračních rukávců zachyceným popílkem narůstá tlaková ztráta. Po dosažení nastavené hodnoty tlakové ztráty filtru v řídicím systému regenerace látkového filtru, se spustí regenerace látkových rukávců stlačeným vzduchem. Uspořádání filtračních rukávců ve filtru je 12 řad po 16 rukávcích. Každá řada rukávců je napojena ze dvou protilehlých stran na stlačený vzduch, který je zaústěn do každého rukávce. Regenerace je spuštěna el. impulsem na solenoidní ventil, který otevře přívod stlačeného vzduchu po 0nastavenou dobu (regenerační impuls) v řídicím systému látkového filtru. Tento regenerační impuls stlačeného vzduchu do protiproudu spalin provede tlakový ráz na stěnu textilního rukávce a uvolní zachycený prach. Tento uvolněný prach spadne na dno výsypky. Odtud je přes turniket, jež tlakově odděluje látkový filtr od okolí, vysypán do dopravníku popela nebo

přímo do kontejneru na popel. Po regeneraci jedné řady textilních rukávců filtru následuje regenerace následující řady, až se celý látkový filtr zregeneruje. Po skončení regenerace celého filtru klesne tlaková ztráta na provozní úroveň a automatika čeká na další nárůst tlakové ztráty a pak je opět zahájena regenerace celého filtru. Materiál filtračních rukávců byl zvolen RYTON trvalá tepelná odolnost do 180°C, špičková do 200°C. Při ověřování účinnosti odprášení dosahoval filtr vynikajících hodnot na úrovni kolem 20-30 mg.m⁻³. Bohužel tento stav trval pouze týden. Po týdnu provozu řídicí systém celé technologie kotle signalizoval zvýšenou teplotu spalin za filtrem- na vstupu do komína. Při bližším pohledu na řídicí panel kotle byla zjištěna výrazně vyšší teplota spalin na výstupu z látkového filtru než na jeho vstupu. Tento stav ukazoval pouze na vznícení textilních rukávců v látkovém filtru. Po otevření revizních otvorů do látkového filtru se tato domněnka potvrdila. Zároveň s tímto zkolabováním látkového filtru se projevila jeho nefunkčnost zvýšeným spadem popílku z komína v blízkém okolí kotelny. Spalovací zařízení bylo okamžitě odstaveno, přizván dodavatel technologie odprášení spalin a zahájeno zjišťování příčiny vznícení filtračních rukávců. První podezření na překročení teploty spalin na vstupu do látkového filtru se nepotvrdilo. Díky záznamovému zařízení bylo doloženo nepřekročení maximální teploty spalin na vstupu do látkového filtru. Při podrobné prohlídce zbytků textilních rukávců a na nich ulpělého popílku a zachyceného popílku na dně výsypky filtru, byl odebrán vzorek tohoto popílku a odeslán na rozbor do laboratoře. Již na první pohled byl patrný velký podíl nedopalu v zachyceném popílku. Výsledek rozboru vzorku zaslaného do laboratoře tuto domněnku potvrdil. [24]

Závěr z tohoto šetření dodavatele technologie odprášení spalin byl následující. Přestože je spalovací proces řízen kyslíkovou regulací na optimální množství spalovacího vzduchu, dostane se část nedopalu do unášeného proudu spalin a tento jemný nedopal se zachytí na stěně textilního rukávce, kde se při regeneraci uvolní a spadne na dno výsypky. Bohužel někdy tento nedopal zachycený na textilním rukávci ještě nepatrně žhne a vypálí na textilií malé místo. Rukávec není zcela propálen, ale je již nepatrně poškozen. Při tomto občasném vypalování malých místech na textilií pak jednou dojde k většímu vznícení a tím i vyhoření celého textilního filtru. [24]

Návrh na odstranění tohoto problému byl následující. Před látkový filtr byl instalován repasovaný multicyklón SVA16 pro odloučení nejhrubšího popílku ze spalin, který obsahoval velké množství nedopalu. Tento nedopal byl vrácen pomocí šnekového dopravníku zpět do násypky paliva a odtud společně s palivem spálen v kotli. Dále byl na vstup látkového filtru

instalován lapač jisker, což je vlastně soustava žaluzií, kde se měli zachytit větší částice popílku, které prošli přes předřazený multicyklón. [24]

Po těchto technologických úpravách a výměně poškozených textilních rukávců za nové, byl kotel opět uveden do provozu. Vše fungovalo tak jak mělo, ale opět zhruba jeden týden. Po týdnu začala řídicí jednotka regenerace látkového filtru signalizovat zvýšenou tlakovou ztrátu. Tato tlaková ztráta byla vysoká i přes zkrácení intervalu regenerace textilních hadic a prodloužení regeneračních impulzů. Tlaková ztráta neustále narůstala, až byl odpor přes látkový filtr tak velký, že i přes chod kouřového ventilátoru na plný výkon, nebylo možno udržet podtlak v topeništi kotle a automatika řízení provozu kotle začala ubírat na množství primárního vzduchu do kotle, což znamenalo snižování výkonu kotle. Při zběžné prohlídce textilních rukávců nic nenasvědčovalo jejich poškození či ucpání. Přivolaný technik dodavatele technologie odprášení rovněž na místě nic nezjistil, pouze zkonstatoval, námi popsaný stav. Odvezl jeden textilní rukávec do laboratoře, místo po vyndaném rukávci byl zaslepen, aby kotelna mohla jet aspoň na snížený výkon. Laboratoř zjistila, že v porovnání s předešlým vzorkem je v tomto rukávci zachycen prach pouze velmi jemné frakce. Dodavatel technologie odprášení předestřel hypotézu, že vlivem odloučení nedopalu - nejhrubší prachové frakce ze spalin, zůstává ve spalinách pouze ten nejjemnější prach, který je zachytáván na textilních rukávcích. Po zanesení textilních rukávců tímto prachem dojde k automatické regeneraci filtru a tento prach je odtržen od stěny textilního rukávce. Bohužel, vlivem malé hmotnosti a neustálého proudění spalin přes celý látkový filtr se tento prach neusadí na dno výsyvky, aby byl přes turnikety odveden do dopravníku popela, ale je neustále ve vznosu a tím narůstá tlaková ztráta látkového filtru. [24]

8.2 Provoz technologie OFF-LINE filtru

Návrh na řešení tohoto problému spočíval ve změně koncepce technologie odprášení spalin. Místo instalovaného IN-LINE filtru, kdy proudí spaliny neustále přes celý látkový filtr, bude použito OFF-LINE filtru. Koncepce OFF-LINE filtru spočívá v tom, že filtr je rozdělen na několik uzavíratelných sekcí. Za provozu jsou všechny sekce otevřeny a spaliny proudí přes celý látkový filtr. Při regeneraci textilních hadic se jedna sekce uzavře proudem spalin a proběhne regenerace stlačeným vzduchem. Během této regenerace proudí spaliny přes zbylé otevřené sekce. A takto se postupně zregenerují všechny sekce látkového filtru. Při výměně ON-LINE systému za OFF-LINE byl stávající filtr demontován a odvezen. Souběžně s demontáží již probíhala betonáž patek pod nový filtr, který měl jiné rozměry než původní.

Na nové betonové patky byla usazena ocelová konstrukce, na ní nový OFF-LINE látkový filtr, přepojeno vstupní a výstupní kouřové potrubí, vyměněna řídicí jednotka regenerace látkového filtru a pro zvýšení tlakového oddělení výsypky látkového filtru od dopravníku popela místo každého turniketu instalována soustava dvojice samotížných uzavíracích klapek se závažími. Tyto nad sebou umístěné klapky se pomocí stavitelného závaží nastaví tak, aby hmotnost usazeného prachu převážila klapku a prach se odsypal nad klapku pod sebou. Ze spodní klapky se prach vysype do dopravníku popela a mezitím je již horní klapka uzavřena a díky sypajícímu se popílku z příslušné sekce filtru utěsní netěsnost klapky a tím je látkový filtr tlakově oddělen od dopravníku popela. [24]

Obr. 8.1 Části OFF-LINE filtru při přestavbě čištění spalin před montáží. [24]



Po této úpravě technologie odprášení se již provozovatel domníval, že má způsob odprášení spalin definitivně vyřešen. Po zhruba 2 měsících provozu, ale došlo opět ke vznícení textilních hadic látkového filtru. Po této zkušenosti s daným materiálem textilních rukávců, provozovatel zařízení tento materiál zavrhl a na doporučení dodavatele technologie odprášení zvolil materiál s vyšší tepelnou odolností, který předtím nezvolil vzhledem k mnohem vyšší ceně. Jednalo se o skelná vlákna s tepelnou odolností až do 230°C trvalého provozu s občasným překročením až na 250°C. Rovněž byl tento materiál rezistentní vůči zahoření zachyceného nedopalu na stěně skelného rukávce. Toto byla poslední změna technologie odprášení spalin na relativně dlouhou dobu. [24]

Provoz OFF-LINE filtru s filtračními rukávci ze skelných vláken se již jevil jako bezproblémový. Sice byla zvýšená spotřeba stlačeného vzduchu na ovládání pneumatických talířových ventilů uzavírajících jednotlivé sekce filtru na vstupu a výstupu spalin z těchto sekcí. Dále skelné rukávce měly o zhruba 10 mg.m⁻³ nižší odlučivost oproti textilním rukávcům. Drobný problém byl rovněž v extrémních mrazech, kdy venkovní teplota klesla

pod -20°C . Za těchto teplot i přes sušení stlačeného vzduchu pro regeneraci filtračních rukávců a ovládání pneumatických ventilů docházelo ke kondenzaci zbytkové vlhkosti ve stlačeném vzduchu a následnému zamrznutí pneumatických ventilů. Po zamrznutí pneumatického ventilu nedošlo k jeho uzavření či otevření, neseplnul koncový spínač na uzavíracím pneuválci a řídicí jednotka upozornila na chybu filtrační jednotky. Rozmrazování pneuválců pomocí horkého vzduchu při extrémních mrazech bylo velmi zdlouhavé a po celou dobu rozmrazování jelo spalovací zařízení na snížený výkon nebo dokonce muselo být odstaveno a chybějící výkon musel být nahrazen dalším spalovacím zařízením, jež spalovalo dražší palivo například mazut či zemní plyn. [24]

Obr. 8.2 OFF-LINE látkový filtr před uvedením do provozu. [24]



Tímto relativně bezproblémovým způsobem pracovala tato technologie odprášení spalin zhruba celé 2 roky. Po dvou letech provozu byl zjištěn úlet prachových částic z komína do ovzduší. Po důkladné prohlídce látkového filtru byly zjištěny drobné otvory ve skelných

rukávcích. Provozovatel rozhodl o okamžité výměně poškozených rukávců za nové. Při vyndávání poškozených rukávců z filtru však docházelo k jejich úplnému rozpadnutí. Za dva roky provozu sklené rukávce ztvrdly, zkrěhly a při sebemenším mechanickém namáhání se lámaly a drolily. Vlivem teploty spalin materiál skelných rukávců změnil své mechanické vlastnosti a to takovým způsobem, že vlivem regenerace stlačeným vzduchem začalo docházet k narušení celistvosti rukávců a tím k nefunkčnosti celého filtračního zařízení. Po kalkulaci provozních nákladů na výměnu skelných rukávců každé dva roky, spotřebě stlačeného vzduchu a problémech při extrémních mrazech začal provozovatel shánět výhodnější technologii odprášení spalin. V úvahu přicházela technologie elektrofiltrů a případně cyklónového odloučení pokud by splnila požadované emisní limity. [24]

8.3 Provoz s multicyklónem

Zatímco technologie odprášení spalin pomocí elektrofiltrů byla jasná a osvědčená metoda, snažil se provozovatel kotelny najít levnější možnost odprášení spalin, než byl elektrofiltr. V hledání vhodné technologie odprášení pomocí multicyklónu byl provozovatel úspěšný. Podařilo se mu najít firmu zabývající se odprášením spalin pro velké průmyslové podniky a v jeho nabídce byl i multicyklón schopný splnit požadované emisní limity. Po předání provozních údajů o množství spalin, jejich teplotě, vlhkosti a úrovni vstupního znečištění popílkem mohl dodavatel technologie odprášení navrhnout optimální velikost multicyklónu, respektive počet cyklónů v odlučovači. Jednalo se o výrobek firmy VYNCKE, kde byly jednotlivé cyklónky uspořádány po dvanácti v řadě vedle sebe v jedenácti řadách. Každá následující řada byla umístěna o výšku cyklónku výše. Vstup spalin do každého cyklónku byl tangenciální, výstup čistých spalin směrem vzhůru a výsyp odloučeného popílku dolů do výsypky cyklónu. Po dodání vyrobeného multicyklónu do areálu kotelny, byl v době naplánované pravidelné odstávky kotle demontován stávající látkový filtr včetně lapače jisker a výsypky popílku, demontován předřazený cyklónový odlučovač SVA 16 se šnekovým dopravníkem vracející nedopal do násypky paliva, rozvody stlačeného vzduchu, řídicí jednotka látkového filtru, upravena ocelová konstrukce pro nový cyklónový odlučovač. Na ocelovou konstrukci byl jeřábem usazen nový multicyklón a dopojeno kouřové potrubí na vstup a výstup multicyklónu. Pod multicyklón byla instalována výsypka odloučeného popílku, který se odsypával přes silikonovou uzavírací klapku do dopravníku popela. Tato klapka pracovala na principu podtlaku, kdy provozní podtlak v multicyklónu držel silikonovou klapku v uzavřeném stavu. Po naplnění konce výsypky pod multicyklónem odloučeným

popílkem, přestal podtlak ve výsypce multicyklónu působit na silikonovou klapku a odloučený prach vlastní vahou uvolnil klapku a prach se odsypal do dopravníku popela. Tím opět začal podtlak v multicyklónu působit na klapku a ta se uzavřela. Tento způsob odloučení popílku z multicyklónu fungoval naprosto spolehlivě a bez nutnosti další přídavné energie například stlačeného vzduchu či elektrické energie a bez dalších mechanických ústrojí, jež bývají zdrojem častých poruch. Bohužel tato klapka, jejíž deklarovaná tepelná odolnost byla do 200°C, nevydržela trvalý provoz a po 3 měsících byla vlivem vyšší teploty prachu a spalin deformována a stala se nefunkční. Proto byla vyměněna za osvědčenou ocelovou klapku rovněž na principu podtlaku se stavitelným závažím pro nastavení optimální otevírací síly. Tato klapka již vydrží jakoukoliv provozní teplotu. Jediným nedostatkem oproti silikonové klapce je méně dokonalé utěsnění klapky v uzavřeném stavu, kdy vlivem podtlaku v multicyklónu je těmito netěsnostmi přisáván vzduch, který negativně působí na odloučený prach ve výsypce multicyklónu a udržuje ho ve vznosu. Tento účinek přisávaného vzduchu přestane v okamžiku zasypání netěsností klapky odloučeným prachem. [24]

Obr. 8.3 Multicyklon se znázorněným vstupem a výstupem spalin. [24]



Další provozní zkušenost nabyli provozovatel v zimních měsících, kdy se několikrát stalo, že na stěnách výsypky multicyklónu se vytvořila, zřejmě vlivem nedokonalého odsypu popílku z těchto stěn, vlhkosti obsažené ve spalinách a studeného povrchu výsypky, škvára, která měla za následek zaklenbování výsypky prachu multicyklónu. Pokud se přestane odsypávat odloučený prach z výsypky multicyklónu, začne se výsypka plnit až po spodní

hranu výsyp prachu z jednotlivých cyklónků a v tuto chvíli se již nemá prach kam odsypávat a je strháván vyčištěnými spalinami dále do kouřovodu. Za tohoto stavu již cyklón neodlučuje a tepelný zdroj je nutno odstavit z provozu. Naplněnou výsypku je nutno vyprázdnit do dopravníku popela. Při této operaci je nutno dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k vysypání celého obsahu výsypky do dopravníku popela, což by vedlo k jeho úplnému zanesení a dalšímu provoznímu problému. (Ruční vybírání prachu ze znehybněného dopravníku popela patří k nejneoblíbenějším činnostem obsluh). [24]

8.4 Stručné zhodnocení

Stručné zhodnocení všech tří základních způsobů čištění spalin je uvedeno v následující tabulce, kde jsou hodnoceny jednotlivé vlastnosti použitých technologií body 1-3. Jeden bod je nejlepší známka, 3 body je nejhorší. Technologie s nejnižším součtem bodů je z pohledu hodnocených vlastností nejvhodnější.

Tab. 8.1 *Zhodnocení technologií čištění spalin*

	Multicyklon	Látkový filtr	Elektrofiltr
Max. provozní teplota	1	3	2
Provozní opotřebení	1	3	2
Snížení provozuschopnosti při kondenzaci	1	2	1
Energetická náročnost provozu	1	3	2
Prostorová náročnost	1	2	2
Účinnost čištění spalin	3	1	2
Celkem bodů	8	14	11

Z tabulky 8.1 je patrné, že z hlediska provozních parametrů je nejvhodnější řešit systém čištění spalin vycházejících ze spalovacích zařízení spalující biomasu pomocí technologie multicyklónu.

9 DISKUSE A ZÁVĚR

Cílem této práce bylo doporučení vhodného systému čištění spalin jako inovace spalovacích zařízení využívající tuhá biopaliva. Tento úkol byl splněn pomocí rešerší odborných publikací, článků zabývajících se danou problematikou a prospektů dodavatelů

technologií na čištění spalin. Rovněž nezastupitelnou úlohu měly i zkušenosti provozovatelů, provozující spalovací zařízení využívající jako paliva tuhou biomasu.

Z informací uvedených v této bakalářské práci lze vyvodit závěr, který se týká inovace tepláren na biomasu ohledně odprášení spalin, že pro kotle na biomasu o výkonu do 20 MW_t je nejvýhodnější použití multicyklonu jako systému odprášení spalin. Tento systém dokáže zaručit splnění emisních limitů pro dané zařízení, má téměř bezobslužný provoz s minimálními požadavky na údržbu a je rovněž cenově nejvýhodnější. Pokud by bylo nutné, například s ohledem na budoucí splnění přísnějších emisní limitů, zvolit nyní technologii odprášení, stálo by za úvahu vybrat technologii odprášení spalin pomocí elektrofiltru. Tato technologie je sice nejdražší, ale dokáže s rezervou splnit i přísnější emisní limity v budoucnu. Rovněž i tato technologie je po stránce nákladů na údržbu i provoz přijatelná. A pokud dojde ke schválení připravovaného, nového zákona o ovzduší, kde se plánuje několikanásobné zvýšení poplatků za vypouštěné emise, pak i vyšší investice do technologie odprášení spalin pomocí elektrofiltru, bude mít přijatelnou dobu návratnosti. Jako zcela nevyhovující se jeví použití technologie na odprášení spalin pomocí látkových filtrů. Pořízení této technologie je cenově mezi multicyklonem a elektrofiltrem, ale náklady na provoz a údržbu jsou zcela nevyhovující. Rovněž spolehlivost při nasazení v technologii odprášení při spalování biomasy je velmi problematická.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BECHNÍK, Bronislav: Historie a perspektivy OZE – biomasa I. TZB-info.cz [online]. 2009-09-14 [cit.2011-12-29]. Dostupné z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5902-historie-a-perspektivy-oze-biomasa-i>>. ISSN: 1801-2655.
- [2] MALAŤÁK, Jan; JEVIČ, Petr; VACULÍK, Petr: Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. 1. Vyd. Praha: Powerprint Praha, 2010, 240s. ISBN 978-80-87415-02-3
- [3] JEVIČ, Petr; HUTLA, Petr; ŠEDIVÁ, Zdeňka: Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů. 1. Vyd. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha Ruzyně, 2008. 132s.
- [4] MALAŤÁK, Jan; VACULÍK, Petr: Biomasa pro výrobu energie. 1. vyd. Praha: ČZU v Praze, 2008, 206 s. ISBN 978-80-213-1810-6.
- [5] PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr: Biomasa obnovitelný zdroj energie. 1. Vyd. Praha : FCC PUBLIC, 2004. 277s.
- [6] zákon č. 86/2002 Sb. – o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. Dostupné z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/start.aspx>>.
- [7] nařízení vlády č. 476/2009 Sb. – o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování. Dostupné z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/start.aspx>>.
- [8] zákon č. 458/2000 Sb. – o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Dostupné z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/start.aspx>>.

[9] zákon č. 180/2005 Sb. – o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů). Dostupné z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/start.aspx>>.

[10] vyhláška č. 453/2008 Sb. – kterou se mění vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a aparmetrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb. Dostupné z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/start.aspx>>.

[11] MURTINGER, Karel. Možnosti využití biomasy [online]. Vydáno: 2. 5. 2007 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznostivyuziti-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.

[12] KRBEK, Jaroslav; OCHRANA, Ladislav; POLESNÝ, Bohumil. Zásobování teplem a kogenerace. 1. vyd. Brno : PC-DIR, 1999. 143 s. ISBN 80-214-1347-6.

[13] KOLONIČNÝ, Jan: Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2011-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-prispalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.

[14] - Příloha č. 4 k nařízení vlády č. 476/2009 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.

[15] KRBEK, Jaroslav; OCHRANA, Ladislav; POLESNÝ, Bohumil. Průmyslová energetika. 1. vyd. Brno : VUT Brno, 1996. 197 s. ISBN 80-214-0831-6.

[16] Ústav procesního a ekologického inženýrství [online]. 2009 [cit. 2012-03-06]. Procesní inženýrství v příkladech. Dostupné z WWW : <<http://www.upei.fme.vutbr.cz/uvodem/procesni-inzenyrstvi-v-prikladech>>. ISSN: 1801-2655.

[17] Prospektové materiály firmy SCHIESTL s.r.o. - obchodní zastoupení dodavatele technologie kotlů firmy KOHLBACH.

[18] HRDLIČKA, Jan: Fluidní kotel na biomasu s inertní náplní Liapor. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2.

[19] *Leccos* [online]. 2002 [cit. 2011-12-04]. Fluidizace. Dostupné z WWW: <<http://leccos.com/index.php/clanky/fluidace>>. ISSN: 1801-2655.

[20] Prospektové materiály firmy MW POWER – dodavatel technologie kotlů na biomasu.

[21] Internetový slovník wikipedia - [cit. 2012-01-21]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cyclone_separator.svg>. ISSN: 1801-2655.

[22] Prospektové materiály firmy ZVVZ ENVEN ENGINEERING – odprášení pomocí látkových filtrů.

[23] Prospektové materiály firmy BETH – dodavatel systému odprášení spalin pomocí elektrofiltrů.

[24] Provozní zkušenosti s čištěním spalin ve firmě IROMEZ s.r.o. 1995-2012; technici energetického hospodářství + firemní fotodokumentace, KOČÍ, František; JANŮ, Miroslav.

[25] NOSKIEVIČ, Pavel a kolektiv: Biomasa a její energetické využití. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; Ministerstvo Životního prostředí ČR; Centrum pro otázky životního prostředí, 1996. 68s. ISBN 80-7078-367-2.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků:

Obr. 2.1 *Klasifikace dřevních paliv na základě typického rozměru částic*

Obr. 2.2 *Příjem paliva – kůry*

Obr. 2.3 *Uskladnění paliva – briket*

Obr. 4.1 *Závislost výhřevnosti na obsahu vody ve dřevě*

Obr. 6.1 *Schéma spalovacího zařízení*

Obr. 6.2 *Schéma spalovacího zařízení s přesuvným roštem*

Obr. 6.3 *Schéma fluidizace*

Obr. 6.4 *Fluidní spalovací zařízení Biopower 8*

Obr. 6.5 *Spalovací zařízení se spodním přívodem paliva Biopower 5*

Obr. 7.1 *Cyklón s tangenciálním vstupem*

Obr. 7.2 *Multicyklón*

Obr. 7.3 *Princip funkce látkového filtru*

Obr. 7.4 *Detail konstrukčního řešení látkového filtru s opěrnými koši*

Obr. 7.5 *Princip elektrofiltru*

Obr. 7.6 *Sestava elektrofiltru*

Obr. 7.7 *Typy vysokonapětových elektrod*

Obr. 7.8 *Zavěšení a oklepávání elektrod*

Obr. 8.1 *Části OFF-LINE filtru při přestavbě čištění spalin před montáží*

Obr. 8.2 *OFF-LINE látkový filtr před uvedením do provozu*

Obr. 8.3 *Multicyklon se znázorněným vstupem a výstupem spalin*

Seznam tabulek:

Tab. 2.1 *Hlavní obchodní formy tuhých biopaliv*

Tab. 3.1 *Potenciál biomasy k energetickému využití*

Tab. 5.1 *Emisní limity pro velké spalovací zdroje (5-50 MW_t) spalující biomasu vztažené k referenčnímu obsahu kyslíku 11%*

Tab. 7.1 *Vlastnosti filtračních materiálů*

Tab. 8.1 *Zhodnocení technologií čištění spalin*