VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY K ENERGETICKÝM ÚČELŮM

UTILIZATION OF BIOMASS FOR ENERGY PURPOSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. TOMÁŠ MALÍNSKÝ

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. MILAN RECMAN

SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství
Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Malínský Tomáš, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využívání biomasy k energetickým účelům

v anglickém jazyce:

Utilization of biomass for energy purposes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zhodnocení současného stavu využívání biomasy k energetickým účelům v České republice. Posouzení technických a ekonomických aspektů pěstování biomasy.
Cílem diplomové práce je popsat základní charakteristiky a rozdělení biomasy využívané k energetickým účelům. Dále se zaměřit především na ty energetické rostliny, které je možné pěstovat s ohledem na podmínky střední Evropy. Vyhodnotit současný stav využívání biomasy ke spalování v České republice a pokusit se odhadnout, jakým směrem se bude tato oblast v budoucnosti rozvíjet.

Cíle diplomové práce:

1) Rešerše v oblasti základních charakteristik a rozdělení biomasy využívané k energetickým účelům
2) Energetické rostliny, které je možné pěstovat s ohledem na podmínky střední Evropy
3) Současný stav využívání biomasy ke spalování v České republice a odhad budoucího vývoje

Seznam odborné literatury:

1) Obernberger I., Decentralized biomass combustion: State of the art and future development, Biomass and Bioenergy, Vol. 14(1), pp. 33-56, 1998
2) Bai X.-S., Griselin N., Klason T., Nilsson J., CFD Modeling of Biomass Combustion in Small-Scale Boilers, Lund Institute of Technology, 2002
3) Van der Lans R.P., Pedersen L.T., Jensen A., Glarborg P., Dam-Johamsen K., Modelling and experiments of straw combustion in a grate furnace, Biomass and Bioenergy 19, pp. 199-208, 2000

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Recman

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ DĚKANÁT

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá obnovitelným zdrojem energie, konkrétně biomasou, a jejím využitím v České republice. Práce je rozdělena do dvou částí. První část práce je teoretická zabývající se formou rešerše obecnou problematikou týkající se biomasy, podrobněji pak jejím spalováním. Druhá část je věnována praktickému využití biomasy a jejímu spalování v kotlích o malých výkonech určených k vytápění budov. Kotle jsou detailně popsány. Pozornost je věnována zejména zařízením s automatickou dodávkou paliva. V poslední části práce jsou popsány čtyři možnosti jejich vylepšení. Automatické zapalování, přívod vzduchu, předehřev vzduchu a plynulá regulace procesu.

Abstract

The Master's thesis deals with the renewable source of energy, namely with the biomass, and its utilisation in the Czech Republic. The thesis is divided in to two parts. The first part of thesis is theoretical. It summarises in form of literature search the general problems concerning the biomass, closely burning biomass. The second part focuses on practical utilisation of biomass and it´s burning in small scale boilers, designated for heating buildings. Boilers are detailed described. Attention is focused on machinery with automatic fuel supply. Four possibilities of improving them are described in last part of thesis. Automatic ignition, air supply, preheating of air and continuous regulation of process.

Klíčová slova

Biomasa, energie, spalování v kotlích s roštovým ohništěm

Keywords

Biomass, energy, burning in grate boilers

Bibliografická citace

MALÍNSKÝ, T. *Využívání biomasy k energetickým účelům.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Milan Recman.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Milanu Recmanovi za ochotu, s kterou mi po celou dobu vypracovávání pomáhal, radil a poskytoval příslušné podklady. Dále chci poděkovat firmě ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. za možnost vypracování případové studie o jejich produktech, zejména pak panu Ing. Zdeňku Koberlemu, který ve firmě zastává pozici ředitele prodeje tepelné techniky a který mi zařídil možnost s firmou spolupracovat. Ing. Atanasi Popovovi bych chtěl poděkovat za poskytnutí veškerých potřebných informací potřebných pro zpracování případové studie a doslova zaškolení do problematiky.

Prohlášení o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval zcela samostatně a že jsem uvedl všechnu literaturu a jiné podklady, ze kterých jsem čerpal.

V Brně dne 24. 5. 2010 ……..……

Tomáš Malínský

1. ÚVOD **7**

2. BIOMASA **8**

2.1. ZÍSKÁVÁNÍ BIOMASY 8
2.2. ENERGETICKÉ ROSTLINY PĚSTOVANÉ V ČR 9
2.3. VLHKOST BIOMASY 10
2.4. VYUŽITÍ BIOMASY A LEGISLATIVA 10

3. TERMOCHEMICKÁ PŘEMĚNA **12**

3.1. SPALOVÁNÍ 12
3.2. ZPLYŇOVÁNÍ 13
3.3. PYROLÝZA 13

4. PROBLEMATIKA SPALOVÁNÍ **13**

4.1. CHARAKTERISTIKA PALIV 13
4.2. TECHNOLOGIE SPALOVÁNÍ 16
4.2.1. Kotle s roštovým ohništěm *18*
4.2.2. Kotle s fluidním ohništěm *19*
4.2.3. Kotle s práškovým ohništěm *20*

5. ROŠTOVÉ SPALOVÁNÍ **24**

5.1. SPALOVACÍ VZDUCH 24
5.2. ÚČINNOST A EFEKTIVITA 28
5.3. EMISE A ČIŠTĚNÍ SPALIN 29
5.3.1. Emise vznikající ve spalovacím procesu *30*
5.3.2. Emise vznikající ze stopových prvků obsažených v biomase *31*
5.3.3. Odlučování prachových částic ve spalinách *32*
5.4. TVORBA NÁNOSŮ A KOROZE NA STĚNÁCH KOTLE 34
5.5. ROZDĚLENÍ KOTLŮ S ROŠTOVÝM OHNIŠTĚM 35
5.5.1. Kotle s pevným roštem *35*
5.5.2. Kotle s mechanickým roštem *36*

6. ZAMĚŘENÍ NA KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD KOTLŮ **39**

6.1. ZÁKLADNÍ INFORMACE O FIRMĚ ROJEK A.S. 39
6.2. TEPELNÁ TECHNIKA ROJEK 39
6.2.1. Kotle s ručním přikládáním *40*
6.2.2. Kotle s automatickým dávkováním paliva *44*

7. KOTLE ROJEK TKA BIO 25, ROJEK TKA BIO 45 ..... **46**

7.1. KONSTRUKCE KOTLE 46
7.2. PROVOZ KOTLŮ 48
7.3. SPALOVÁNÍ ROSTLINNÝCH PELETEK 51
7.4. VYUŽITÍ AUTOMATICKÉHO ZAPALOVÁNÍ 52
7.5. SPALOVACÍ VZDUCH 56
7.5.1. Přívod spalovacího vzduchu *57*
7.5.2. Předehřev vzduchu *59*
7.6. PLYNULÁ REGULACE VÝKONU 62

8. ZÁVĚR **64**

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ **66**

1. ÚVOD

Energetika je v dnešní době jedním z nejdůležitějších odvětví průmyslu. Její dvě snad nejdůležitější podmínky jsou ekologie a ekonomie. Tyto aspekty si ve většině případů odporují a je úlohou každého státu vhodně nastavit jejich regulaci. Je dnes velmi obtížné předpovídat, jak přesně se bude tento trh vyvíjet. Již teď je ale jasné, že přednost bude dávána obnovitelným zdrojům energie. Otázkou je v jaké míře a jaké odvětví bude upřednostňováno.

Tato diplomová práce přímo navazuje na bakalářskou práci, která se zabývala všeobecným využitím biomasy v České republice. A protože spalování je nejvíce využívané zpracování biomasy, rozvíjí se práce tímto směrem.

Spalování biomasy se v posledních letech stalo velkým trendem, aniž by byly uváženy některé jeho aspekty a vyřešeny veškeré problémy s ním spojené. Zejména proto se lze setkat se skutečnostmi, které vlastní ekologické myšlence spalování obnovitelných zdrojů energie odporují. Spoluspalování uhlí s biomasou ve velkých elektrárnách není ve většině případů optimálním využitím těchto přírodních alternativ, ačkoliv je realizováno. Aby mohl princip správně fungovat, je nutné biomasu využívat na místě její produkce. Jelikož je ale ve velkých elektrárnách spotřeba paliva tak velká, že ji nepokryjí regionální zdroje, je nutný jeho dovoz. Nedostatkem zboží na trhu se zákonitě zvyšuje jeho cena. Tu dále navýší doprava, která je zároveň neekologická. Elektrárny dokážou využít okolo 40 % energie v biomase obsažené, jelikož část vyrobeného tepla je zde mařena. Lokálním spalováním v menším měřítku lze tuto účinnost zdvojnásobit.

Nejvýhodnějším řešením se v tomto směru zdá kogenerace. Při výrobě elektrické energie a tepla zároveň lze s účinností snadno překlenout hranici 80 %. Pro tyto účely jsou na trhu již snadno dostupná zařízení fungující na principu Rankinova organického cyklu. Kvůli vysoké investiční náročnosti je jich však v České republice velmi málo.

Nejrozšířenější alternativou využívání biomasy s vysokou účinností tedy zůstávají kotle menších výkonů určené zejména k vytápění. Práce se bude zabývat těmi nejmenšími užívanými v jednotlivých domácnostech nebo bytových domech.

Jako příkladu bude využito kotlů firmy ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s., zejména pak zařízení s automatickou dodávkou paliva určených ke spalování dřevěných peletek. V práci budou kotle podrobně popsány a budou navrhnuta opatření ke zlepšení ekonomiky provozu, zvýšení účinnosti spalování a ke snížení emisí.

2. Biomasa

Biomasa je druh hmoty organického původu, tedy souhrn látek tvořících těla rostlin a živočichů. Tato práce se jí bude věnovat z hlediska jejího energetického využití v ČR, kde je ze všech obnovitelných zdrojů nejperspektivnější, protože zde má největší potenciál plynoucí také z geografických podmínek.

Biomasa se v našich podmínkách vyskytuje ve více formách a ne každá je dostatečně dostupná, aby se dalo realizovat její využití. Není pravidlem ani postačující výhřevnost závislá na pořizovacích nákladech a to včetně sekundárních finančních výdajů, jako je například doprava, skladování a další úpravy. Je to velmi široký pojem zahrnující mnoho problematik, proto se tato práce omezuje jen na některé a to zejména spalování.

Dělení biomasy pro získávání energie je možné z více hledisek:

Z hlediska jejího získávání:
- Biomasa odpadní
- Biomasa pěstovaná pro energetické využití

Podle obsahu vody:
- Suchá
- Mokrá
- Speciální

Dle technologie zpracování:
- Termochemická přeměna
- Biochemická přeměna
- Fyzikální a chemická přeměna

V bakalářské práci byly blíže popsány technologie zpracování využívající biochemickou a fyzikální a chemickou přeměnu. Pro tuto práci jsou tyto dva druhy přeměn nezajímavé, proto v ní nebudou dále popisovány.

2.1. Získávání biomasy

Biomasa odpadní tvoří většinový podíl. Jednou její složkou je například dendromasa, což je dřevní hmota obsahující například větve stromů, kůru ale i pařezy a kořeny. Mezi odpadní biomasu patří rostlinné zbytky nevyužitelné nebo nepotřebné v zemědělství a zbytky vzniklé rekultivacemi krajin. Ze zemědělství se jako biomasa může uplatnit také odpad vzniklý ze živočišné výroby, ať již jde o zbytky krmiv, hnůj, kejdu nebo odpad z jatek. Biomasa použitelná z průmyslu vzniká například na pilách a ve dřevozpracujícím průmyslu ve formě pilin a odřezků, hojně se využívá odpadu z cukráren, lihovarů a mlékáren. Ve formě tuhé organické hmoty nebo kalů a odpadních vod lze využívat komunální odpad. [1]
Biomasa pěstovaná pro energetické využití se již stala velkým trendem. Stejně jako ve všech odvětvích, je na prvním místě finanční stránka problému. V nabídce je dnes velké množství energetických rostlin, a tak druh plodiny pro energetické využití

určujeme podle mnoha kritérií, jako jsou způsob dalšího využití, druh půdy ve vybrané lokalitě, možnosti sklizně nebo plodiny pěstované v okolí dané lokality. Tématu pěstovaných plodin k energetickému využití v ČR se tato práce bude dále věnovat ve vybrané kapitole.

2.2. Energetické rostliny pěstované v ČR

Plodiny lze rozdělit:

- Rychle rostoucí dřeviny
- Energetické byliny

Pěstování **rychle rostoucích dřevin** je zejména při zakládání plantáží značně finančně náročné. Oproti bylinám se dřeviny nesejí, ale musí se sázet, pozemek musí být připraven a nutností je oplocení proti okusování zvěří. Z plantáží získáváme výnos až po 4 letech pěstování, přičemž životnost plantáží se odhaduje až na 20 let. Sklizeň se provádí speciálními stroji, které většinou obsahují zároveň drtičku. Poté následuje nutná a nákladná rekultivace plochy. Mezi dřeviny patří převážně topoly, vrby, jilmy, trnité růže, olše, jeřáby, lísky, eukalypty, platany. V ČR se zatím experimentovalo zejména s topoly a vrbami, výsledky nebyly nijak oslnivé. [4], [5]

Obr. 1 Topoly (Populus) jsou významnými rychle rostoucími dřevinami pro energetické využití, vyžadují však vlhká stanoviště. [5]

V **energetické byliny** se vkládá velká naděje v oblastech využívání biomasy v ČR. Jejich obrovskou výhodou je, že v případě potřeby využití lokací pro potravinářské účely, se plodiny jednoduše sklidí a pozemek se nemusí nadstandardně upravovat, jako tomu je u rychle rostoucích dřevin. Energetická bylina musí splňovat přísná kritéria, jako jsou například invazivnost, ekonomická výhodnost, objemová a hmotnostní produktivnost. U každé plodiny se musí pečlivě zvážit vhodnost pro danou lokalitu a zvládnutelnost jejího pěstování v dané lokalitě. Plodiny se dělí na jednoleté, dvouleté a vytrvalé plodiny. [4]

Jednoleté plodiny	Dvouleté	Víceleté a vytrvalé plodiny
laskavec	pupalka dvouletá	mužák prorostlý
konopí seté	komonice bílá	jeřabina východní
sléz přeslenitý		Topinambur
		psineček bílý
		čičorka pestrá
		oman pravý
		šťovík krmný
		sveřep bezbranný
		sveřep samužníkovitý
		kostřava (chrastice) rákosovitá

Tab. 1 Povolené energetické byliny pro pěstování v ČR. [4]

Mezi energetické byliny jsem záměrně nepočítal rostliny, které jsou pěstovány běžně, jako je například obilí nebo řepka olejka. Tyto rostliny se jinak nazývají energetické plodiny první generace, a pokud jsou pěstovány záměrně pouze pro energetické využití, tak výsledné produkty jsou obvykle bioplyn, bionafta, ethanol nebo pelety. [4]

2.3. Vlhkost biomasy

Za **suchou biomasu** se považuje taková, která má obsah vody menší než 40 %. Suchá biomasa často vzniká záměrným sušením, ať již samovolným nebo finálním prosušováním před konečnou fází výroby energie. Ačkoliv je známo mnoho možností, jak ze suché biomasy vyrobit energii, ve skutečnosti v praxi převládá spalování, druhý nejpoužívanější proces je zplyňování (spalování dřevoplynu). Oběma metodám bude prostor věnován posléze. Suchou biomasu tvoří zejména dřevní složky, ale také sláma, buď odpadní ze zemědělství nebo sláma ze záměrně pěstovaných rostlin. [1]

Práce se bude zabývat zejména spalováním určitých druhů biomasy a těmi jsou piliny, hobliny, dřevo, kůra, sláma, obiloviny a tráva.

Za **mokrou** se považuje biomasa, jejíž obsah vody je větší než 40 %. Využívá se zejména při technologiích využívajících spalování získaného plynu (bioplynu). Jedná se většinou o odpady tekutého charakteru, jako jsou komunální odpady, odpady ze zemědělství (kaly, kejda) nebo tuhého, například hnůj. [1]

Zvláštností je **speciální biomasa**, která se zpracovává za syrového stavu. A to především získáváním olejů ze semen olejnatých rostlin. Využívají se zde také cukernaté a škrobové plodiny. Produkty těchto metod jsou různé druhy bionafty nebo lihů. [1]

2.4. Využití biomasy a legislativa

Jak již je popsáno výše, biomasa se dělí podle jejího zpracování, což je přímo závislé na výsledném produktu, který chceme získat. Největší její část se v ČR používá přímo pro výrobu tepla nebo na výrobu biopaliv. Jak je uvedeno v tabulce

níže, z nejčastěji používaných paliv v ČR se elektřina vyrábí jen asi z 22 %. Patrné je, že nejpoužívanějším a nejlevnějším palivem je podle Ministerstva průmyslu a obchodu odpadní materiál a to především z dřevařského průmyslu. Dnes a v nedalekém budoucnu je ale jasné, že pouze odpad ze dřevozpracujícího průmyslu a ze zemědělství zdaleka stačit nebude. Již teď je například cena štěpky tak nestálá, že se občas spalovnám vyplatí dovést štěpku z pil o mnoho vzdálenějších na úkor životního prostředí. Na řadu tedy přichází biomasa záměrně pěstovaná. V tomto oboru ale zdaleka nejsme na začátku, i když k dokonalosti moderním technologiím pro pěstování energetických plodin ještě hodně chybí, existuje dnes již mnoho kříženců různých plodin, které vykazují úspěchy. [3]

Palivo	Na výrobu elektřiny [t]	Na výrobu tepla [t]	Celkem [t]
Dřevní odp., štěpky, piliny atd.	250 150	881 457	1 131 607
Palivové dřevo	-	54 102	54 102
Rostlinné materiály	62 146	12 307	74 453
Brikety a pelety	15 519	8 134	23 653
Celulózové výluhy	184 619	883 578	1 068 197
Celkem	512 435	1 839 578	2 352 012
Odhad spotřeby dřeva v domácnostech			3 087 549
Vývoz biomasy vhodné k energetickým účelům			516 455
Celkem energeticky využitá, či vyvezená biomasa			5 956 016

Tab. 2 Energetické využití biomasy v ČR v roce 2006. [3]

Asi nejdůležitějším krokem z hlediska legislativy týkající se obnovitelných zdrojů energie, a tedy i biomasy, byl přijat zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Tento zákon implementuje směrnici Evropské unie, která po České republice požaduje, aby do roku 2010 byl podíl produkce elektrické energie 8 %, což představuje asi 5,9 TWh. Vzhledem k celkové výrobě energie, tedy takzvaný energetický mix, má být tento poměr 6% k hrubé spotřebě. Celá Evropská unie si dala za nezávazný cíl v roce 2010 vyrábět 21 % elektřiny a 12 % celkové energie z obnovitelných zdrojů. Závazným by se však měl stát rok 2020, kdy by podíl celkové energie, vyrobený z obnovitelných zdrojů, měl být 20 %. [6], [7], [8]

Pokud chce Česká republika cíle v produkci energie vyrobené z obnovitelných zdrojů splnit, musí zvýšit její výrobu z biomasy, jakožto jednoho z nejperspektivnějších zdrojů energie v našich geografických podmínkách. Pro zvýšení této produkce z biomasy je nutno začít využívat zejména záměrně pěstované plodiny. Níže je uvedena tabulka odhadované výroby energie z tuhé biomasy pro rok 2010, včetně procentuelního zastoupení jednotlivých paliv. Za povšimnutí stojí skoro 50 % zastoupení cíleně pěstované biomasy. [4]

Druh biomasy	Energie celkem		Z toho teplo [PJ]	Elektřina [GWh]
	[%]	[PJ]		
Dřevo a dřevní odpad	24	33,1	25,2	427
Sláma obilnin a olejnin	11,7	15,7	11,9	224
Energetické rostliny	47,1	63	47,7	945
Bioplyn	16,3	21,8	15,6	535
Celkem	100	133,6	100,4	2231

Tab. 3 Výroba energie z tuhé biomasy v r. 2010. [4]

Nutno říci, že již dnes je skoro jisté, že stanovený cíl za současného rozvoje obnovitelných zdrojů splněn v České republice nebude. Přesto je situace v ČR pozitivní, o sektor zabývající se biomasou a bioplynem se zajímá čím dále více firem i osob. [3]

V Evropské unii je situace obdobná, vývoj jde stále dopředu, bohužel ale podle střízlivých odhadů 12 % podílu produkce veškeré energie z obnovitelných zdrojů v roce 2010 nedosáhne. [6]

Novou hnací silou pro zvýšení využívání obnovitelných zdrojů v České republice se stal program Státního fondu životního prostředí Zelená úsporám, jenž vzešel v platnost 1. dubna 2009 a který byl 17. srpna 2009 modifikován do nynější podoby. Konkrétně jeden z bodů programu umožňuje poskytnutí dotací na využití obnovitelných zdrojů energie pro vytápění a přípravu teplé vody. V rámci dotace je možné instalovat nízkoemisní kotel na biomasu, účinné tepelné čerpadlo nebo solárně-termické kolektory. Díky tomuto programu lze čekat podstatný nárůstek ekologických zdrojů energie u drobných spotřebitelů. [28]

3. Termochemická přeměna

Termochemická přeměna biomasy lze rozdělit na tři části:

- Spalování
- Zplyňování
- Pyrolýza

3.1. Spalování

Během procesu spalování z paliva získáváme teplo za nutné přítomnosti kyslíku. Využíváme zejména suchou biomasu, proto těmto operacím zpravidla předchází její sušení. Vlhkost v tomto případě značně ovlivňuje procesy hoření a tím i celou účinnost spalování. Její ideální hodnota se mění podle použitého paliva, u štěpky se za vhodnou považuje vlhkost okolo 30 %. Při vlhkosti větší ztrácíme množství energie na výpar vody, při nižší není spalování efektivní, často je výbušného charakteru a množství hořlavin ztratíme ve spalinách. [2]

U spalování je velice důležitý přívod vzduchu, proto se u kotlů velice dbá na konstrukci roštů. Při jeho nedostatku nedojde ke spálení všech spalitelných složek, naopak při jeho nadbytku bude palivo nadměrně ochlazeno a nedojde k úplnému

shoření veškerého materiálu. Vyřešení přívodu vzduchu však negarantuje ideální spalování. Je třeba v kotli vyvinout vysokou teplotu a umožnit všem vznikajícím plynům plné shoření. Nejen tyto problémy spalování budou podrobně rozvinuty v dalších částech práce. [2]

3.2. Zplyňování

Stejně jako u spalování se i u zplyňování využívá suché biomasy. Vlivem vysokých teplot a zamezení přístupu vzduchu však nedochází k hoření, ale ke generování dřevoplynu. Ten je dále odváděn do separované komory, kde je spalován. Část tepla je přiváděna zpět do zplyňovací komory. Účinnost procesu je vysoká a celá přeměna je ekologická. [2]

3.3. Pyrolýza

Pyrolýzou nazýváme proces, při němž se z biomasy vyrábí zejména bioolej a to extrémně rychlým přivedením tepla, udržením správné teploty a poté rychlým ochlazením produktu, který vznikl. [2]

4. Problematika spalování

Spalování biomasy není jednoduchou záležitostí. Problematika se zabývá chováním různých paliv během procesu, obsahem prvků v biomase jako jsou N, S, Cl, K, které spalování také ovlivňují. Omezováním obsahu škodlivých NO_x ve výfukových plynech a rekuperací energie v nich obsažené. Řeší se zde otázky týkající se popelu, ať už jeho struktury nebo obsahu. Problematikou technologie spalování týkající se velikosti jednotlivých zařízení, vývoje pro co největší zvýšení jejich účinnosti nebo typu spalování, buď samotné biomasy, či jejího mixu s uhlím. Tato a další témata budou postupně rozvedena v následující části práce.

4.1. Charakteristika paliv

U biomasy využívané ke spalování se dbá zejména na dva aspekty, kterými jsou fyzikální vlastnosti a chemické složení.

Mezi fyzikální vlastnosti paliv se zahrnuje zejména velikost, hustota, vlhkost a energetická hodnota. Energetická hodnota jednotky paliva, jeho velikost a objemová hustota napovídá hodně o rozměrech zařízení, ve kterém se bude biomasa spalovat, ale i o velikosti skladovacích prostor nebo o typu dopravníku. Obsah vody udává, jak se bude palivo během spalování chovat, jaké bude zhruba množství spalin a jelikož vlhčí palivo potřebuje i delší čas na spálení (kvůli dosušení), nutností se stává větší spalovací komora.

Druh paliva	Obsah vody [%]	Výhřevnost [GJ]	Energetická hodnota [kWh]	Ekvivalent topného oleje [kg]
Tvrdé dřevo, buk (přírodně vyschlý)	35	11.1	3085	259
Měkké dřevo, smrk (přírodně vyschlý)	35	11.3	3139	264
Dřevěnné brikety (vysušené v peci)	<10	17.0	4725	396
Pšeničná sláma (přírodně vyschlá)	15	14.4	4032	339
Pšeničné zrno (přírodně vyschlé)	15	14.2	3976	334
Luční seno (přírodně vyschlé)	15	14.3	4004	336
Ozdobnice čínská (přírodně vyschlá)	15	14.9	4172	350
Topný olej	zanedbatelné	42.7	11860	1000
Uhlí	zanedbatelné	26.7	7417	625

Tab. 4 Fyzikální vlastnosti vybraných paliv. [10]

Palivo	Obsah vody [%]	Hustota [kg/m^3]
Stohované dříví	50(čerstvé)-20(vyschlé)	450-700
Dřevní štěpka	50(čerstvé)-20(vyschlé)	175-350
Dřevěnné brikety	<10	600
Pšeničná sláma	15	135
Pšeničné zrno	15	760
Luční seno	15	133
Ozdobnice čínská	15	140
Topný olej	zanedbatelné	840
Uhlí	zanedbatelné	800-1100

Tab. 5 Hustota a obsah vody vybraných paliv. [10]

Chemické složení biomasy ovlivňuje celý proces spalování. Podle chemických prvků obsažených v biomase se dají předem odhadnout například vzniklé emise spalováním, typ nebo složení popela.

Dusík obsažený v palivu je velmi důležitý, protože přímo ovlivňuje tvorbu oxidů dusíku (NO_x). Tyto oxidy se řadí ke "skleníkovým plynům" a mohou vést až ke změně klimatu. O dalším regulování tvorby těchto oxidů bude pojednáno v nadcházejících kapitolách. [4], [9], [19]

Síra vytváří při spalování plynné sloučeniny SO_2, SO_3, a alkalické sulfáty. Největší část síry se při spalování promění v plynnou fázi. Ve výměníku tepla, kde se teplota spalin ochlazuje, síra kondenzuje na částech popílku nebo na stěnách

výměníku. Většina síry vstupující do procesu odchází ve formě popela, zbytek jako SO_2 a SO_3. Efektivita, s kterou se síra váže na popeloviny, závisí zejména na obsahu alkalických prvků v popelu. Síra hraje v procesu spalování velkou roli, co se týče koroze, tedy určitý obsah ve spalované biomase je vítán (rozvedeno níže). Emise SO_2 a SO_3 nejsou velkým problémem a lze je omezit například přidáním vápence. [4], [9], [19]

Chlór se během spalování téměř kompletně mění v plynnou fázi, tedy ve sloučeniny HCl, alkalické chloridy a Cl_2. S klesající teplotou spalin kondenzuje buď na popílku, popelu nebo problematicky na stěnách výměníku tepla, kde způsobuje jejich korozi. Této korozi lze paradoxně zabránit přidáváním síry, která reaguje s chlórem na alkalické sírany a ty mají o mnoho nižší korozní účinek. Existují však i jiná opatření proti korozi, avšak podstatně složitější. [4], [9], [19]

Nebezpečím souvisejícím s obsahem chlóru v palivu je také zvýšené množství dioxinů PCDD/F ve spalinách. Vznikají zejména pokud není spalování dostatečně homogenní a probíhá za teplot mezi 250 °C a 500 °C. Většina studií však tvrdí, že o mnoho větší vliv na tvorbu dioxinů PCDD/F má teplota, dobré promíchání paliva a obsah vody, než přímo chlór. [4], [9], [19]

Draslík a **sodík** snižují teplotu, při které se popel začne natavovat, spékat a vytvářet škváru. Takto pomáhají vytvořit nepříznivé nánosy na stěnách pece a na tepelných výměnících, které snižují účinnost zařízení. V kombinaci s **křemíkem**, která se například vyskytuje ve vyšším množství u paliv jako tráva, sláma a obilí, vede k vytváření nízkotavných silikátů. Při spalování těchto paliv je nutné regulovat teplotu procesu. Prvky příznivě ovlivňující teplotu tavení popele jsou například **vápník** a **hořčík**. Draslík a sodík jsou dále důležitými prvky ohledně korozních účinků. Jak je již výše uvedeno, tyto prvky vytvářejí alkalické chloridy, které reagují s povrchy výměníků při teplotách nižších než 100 °C až 150 °C. Menší obsah draslíku a sodíku v palivu je však výhodou. [4], [9], [19]

V palivech jsou také různé koncentrace nebezpečných těžkých kovů a to zejména **kadmia, olova** a **rtuti**. Jejich obsah v trávě, slámě a obilí je značně nižší, než v produktech dřevních a to z důvodu kratší doby k jejich akumulaci. Snaha je tyto prvky z popela odstranit. [4], [9], [19]

Jak je patrné, dva nejdiskutovanější a nejproblematičtější prvky v palivech používaných ke spalování jsou chlór a síra. Jejich složení v palivech začalo být poslední dobou přesněji sledováno.

Palivo	Cl [%]	Cl [rozsah %]	S [%]	S [rozsah %]
Dřevo - odpad ze zpracování	0,01	0,01-0,04	0,04	0,01-0,08
Topol - rychle rostoucí dřevina	0,01	0,01-0,05	0,03	0,02-0,1
Pšenice, žito, ječmen – sláma	0,4	0,1-1,2	0,1	0,05-0,2
Řepka olejka – sláma	0,5	0,1-1,2	0,3	0,05-0,8
Chrastice rákosovitá - letní sklizeň	0,6		0,2	
Luční seno	0,8		0,2	
Slonní tráva	0,2		0,2	
Krmný šťovík	0,17		0,09	

Tab. 6 Obsah chlóru a síry vybraných paliv dle normy ČSN P CEN/TS 14961. [4]

Z uvedené tabulky je zřejmé, že biomasa nedřevního původu obsahuje často více jak desetinásobné množství chlóru v porovnání s biomasou dřevní. Logicky tedy biomasa rostlinného původu musí zatěžovat více prostory kotle a výměníky. Jejich životnost bude z důvodu koroze kratší. V tabulce si lze povšimnout rozdílného složení mezi obilninami a například krmným šťovíkem. Obilniny jsou dnes při pěstování pro energetické účely zemědělci široce preferovány, protože je umí úspěšně pěstovat a mají s nimi mnoho zkušeností. Ovšem z pohledu nebezpečného chlóru je například zmiňovaný šťovík o mnoho výhodnější. Šťovíková fytomasa má ale výbornou i výhřevnost, oproti pšeničné slámě (viz tab. 4) 14,4 GJ/t má šťovíková řezanka výhřevnost 16,8 GJ/t. Z hlediska složení tedy není vhodné pěstovat přednostně obiloviny za účelem energetického využití rostlin. Pro zabránění korozivních účinků je ale nejdůležitější správný způsob spalování. [4]

4.2. Technologie spalování

Jedním z důvodů, proč je spalování nejvíce využívaným způsobem zpracování biomasy, je nejméně problémové zařízení, které spalitelnou biomasu využívá. Biomasa je přeměňována na tepelnou energii zpravidla v kotlích. Ty lze rozdělit do skupin podle jejich výkonu nebo podle technologie, která je v kotli využívána.

Zařízení		Popis	Použití	Palivo
Lokální topeniště - do 20kW	klasická kamna a krby	Dnes již prakticky nejsou efektivním řešením, krby slouží spíše jako doplněk interiéru.	rodinné domy, dílny, restaurace, menší budovy	polena, brikety
	krbová kamna	Moderní krbová kamna mohou mít vestavěnou topnou vložku, takže mohou sloužit také jako kotel ústředního vytápění.		
	cihlové pece a kachlová kamna	Většinou nalézají použití jako estetická součást interiéru. Mají poměrně vysokou účinnost.		
Malé kotle na biomasu - od 20kW do 100kW	zplyňovací kotle na kusové dřevo	Palivo je zplyňováno a plyn následně spalován. Výkon se dá pohodlně regulovat.	rodinné domy, menší budovy, dílny	brikety, polena (dřevní odpad – manuální obsluha)
	automatické kotle	Součástí systému s bezobslužným provozem je podavač paliv a upravený hořák.	školky, školy, administrativní budovy, hotely	pelety, obiloviny, štěpky

Střední kotle - nad 100 kW	automatické kotle	Jedná se obvykle o roštové kotle s posuvným roštem. Lze v nich spalovat i méně kvalitní či vlhčí biomasu.	větší zdroje ústředního vytápění, průmyslové objekty	štěpky, sláma, pelety, brikety
Kotelny velkých výkonů - v MW	spalování na roštu	Stále ještě je rozšířenější alternativou spalování na roštu, nicméně fluidní technologie se pro své výhody velmi rychle vyvíjejí. Jednou z nich je možné využití pro spoluspalování biomasy s tuhými fosilními palivy.	velké areály výrobních podniků, obecní budovy, školy, obce	piliny, sláma, štěpky, energetické rostliny, dřevní odpad
	fluidní technologie			

Tab. 7 Rozdělení zařízení pro spalování biomasy dle výkonu. [11]

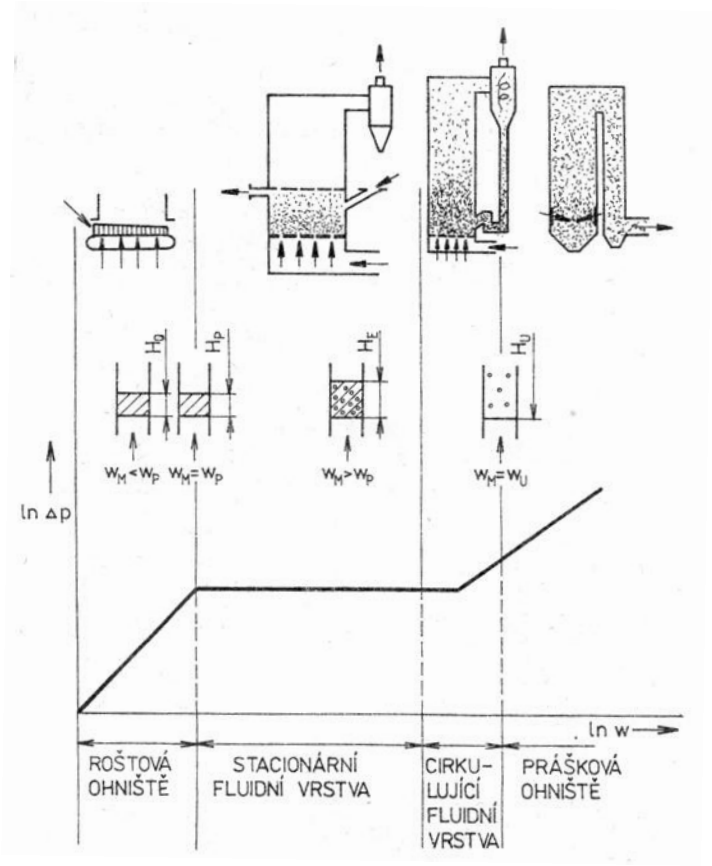
Jak je uvedeno v tabulce, zařízení jsou v celém výkonovém spektru řazena od těch nejjednodušších, až po náročnější technologie.

Za zmínku ovšem stojí například i krbová kamna v rodinném domku, pokud jsou napojena na ústřední topení v domě, je s nimi možno vytápět i ostatní místnosti. Tato zařízení vyžadují velmi malé investice a poskytují nám mnoho výhod. Po ekonomické stránce ušetříme často nemalé náklady na topnou sezónu, můžeme s nimi krýt špičky topné spotřeby, což má výhodu nutnosti druhého topného zdroje o nižším výkonu, nebo kamny přitápět v méně chladných obdobích. Z hlediska komfortu tato kamna napomáhají dobré výměně vzduchu a kromě estetického dojmu také pocitu tepelné pohody.

Malé a střední kotle jsou většinou používány pro ústřední vytápění prostor odpovídajících jejich výkonu. Kotle jsou ještě konstruovány jako poloautomatické s ručním přikládáním, až po plně automatické, které nepotřebují denní obsluhu a to ani při zapalování. Tato zařízení jsou již z naprosté většiny vybavena regulací teploty výstupní vody, podle které je plynule řízen jejich výkon. Jako pomůcka pro představu do jakého výkonu lze instalovat kotle poloautomatické je fakt, že na jednu kW/h je třeba asi 0,25 kg ideálně suchého dřeva. Lehkým přepočtem potom dostaneme, že150 kW kotel potřebuje dodávku suchého dřeva cca 40 kg na hodinu, což by bylo již na obsluhu velmi náročné. [4], [12]

Kotelny velkých výkonů jsou zejména konstruovány jako bezobslužné pouze s nutností občasného dohledu. V zásadě jsou zde použity nejpokročilejší technologie pro spalování. Kotelny jsou obvykle konstruovány jako stavebnice, jednotlivé části se montují až na místě. Výhodou je, že pokud dojde k poruše nebo opotřebování části zařízení, lze ji jednodušeji vyměnit či opravit. Do výkonu asi 150 MW lze využít kotel s roštovým spalováním, nad tento výkon se ale využívá spíše kotlů s fluidním ohništěm. U kotelen s vyššími výkony je spalování čisté biomasy většinou neekonomické, protože nelze zajistit velké stálé dodávky s rozumnými náklady za její dopravu. Jediná možnost v těchto případech je spoluspalování fosilních paliv s přídavkem biomasy. [4], [12]

Jak bylo zmíněno, ve spalování biomasy se používají rozdílné technologie. Přičemž platí, že pro některá zařízení se hodí pouze některá paliva. Rozhodující jsou zejména fyzikální a chemické vlastnosti, složení paliva a druh a chování popela. Technologie lze rozdělit na kotle s
- **roštovým ohništěm**
- **fluidním ohništěm**
- **práškovým ohništěm.**



LEGENDA :

w_M - rychlost proudění mezivrstvy
w_P - prahová rychlost fluidace
w_U - úletová rychlost mezivrstvy
H_0 - výška vrstvy
H_P - prahová výška vrstvy
H_E - výška expandující vrstvy
H_U - úletová výška vrstvy

Obr. 2 Rozdělení ohnišť z hlediska rychlosti proudění plynu. [15]

4.2.1. Kotle s roštovým ohništěm

Kotle s roštovým ohništěm jsou v praxi běžnou koncepcí pro spalování širokého spektra paliv. Často se setkáme s kotli na uhlí, odpady nebo biomasu. Na roštové ohniště většinou navazuje parní kotel. Spalovací prostor je řešen mnoha alternativami roštů. Nevyžaduje homogenizaci nebo mletí paliva, což je ale vykoupeno problémem nehomogenního prohořívání. Z těchto důvodů je do ohniště přiváděn sekundární a někdy i terciární spalovací vzduch. Za ohniště je zpravidla řazena řada zařízení určená k čištění spalin. Nevýhodou koncepce je nízká intenzita spalování často okolo teplot 800 °C až 900 °C. [13]

Spalování v kotlích s roštovým ohništěm je stále v České republice nejběžnější způsob termochemické přeměny biomasy na energii, proto mu v této práci bude věnována celá kapitola.

4.2.2. Kotle s fluidním ohništěm

Pro výkony spalovacích zařízení v řádu MW se jeví zajímavá varianta kotle s fluidním ohništěm. Velké fluidní kotle jsou z hlediska technického i ekonomického nyní považovány za nejvýhodnější pro energetické zpracování biomasy. Jako jejich obrovská výhoda je brán fakt, že ve většině kotlů můžeme, kromě možnosti spalovat čistou biomasu, také spalovat směs biomasy s uhlím. Obecně lze tvrdit, že u těchto technologií není nutná úprava vlastního spalovacího zařízení, pokud se rozhodneme pro změnu paliva. Nutností je pouze úprava dopravních a skladovacích příslušenství. Nabízí se zde také alternativa spoluspalování paliv plynných a kapalných s palivy tuhých skupenství. [4]

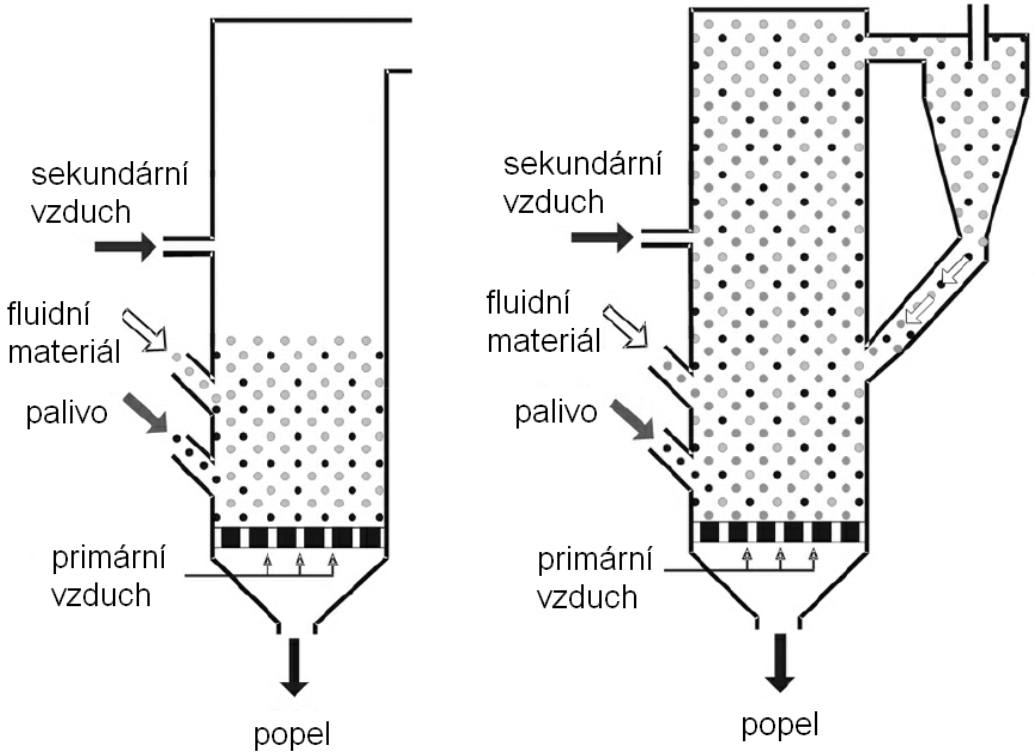
Ne vždy je jako sekundární tuhé palivo využíváno biomasy, často se takto spalují různé odpady. Toto spalování je vždy komplikované, ale ve fluidních kotlích uskutečnitelné. Nelze si ovšem myslet, že se může směs paliv takřka libovolně míchat. Ze zkoušek na pokusných zařízeních se prokázalo, že pro zajištění kvalitního spoluspalování je nutné například k fosilnímu palivu přidávat pouze 30 % hmotnostního poměru biomasy. [14]

Každý fluidní kotel musí, kromě běžných příslušenství kotlů, obsahovat zařízení pro najíždění ze studena. Pro dopravu paliva a jeho dávkování se používá zejména pneumatických a šnekových dopravníků. V zařízení musí být vyřešen dostatečný přívod dodatkových vzduchů, kvůli úplnému dohoření jedovatého CO, vznikajícího při spalování biomasy. Teplotou ve spalovacím prostoru se pak ovlivňuje, zda bude popel měknout a následně se škvárovat nebo zůstane sypký. Dle typu popela se volí způsob jeho odstranění. [4], [9], [14]

Samotná funkce kotle s fluidní vrstvou je založena na nadnášení částí paliva a popelu svislým proudem vzduchu. Spalovací prostor se směrem nahoru rozšiřuje. Tím se rychlost proudícího vzduchu snižuje. Větší kusy paliva zůstávají nadnášeny v nižší části pece s větší rychlostí proudícího vzduchu. Malé částečky jsou unášeny do vyšších oblastí ohniště. Podle aerodynamických podmínek ve fluidní vrstvě nastává mnoho případů definovaných jako rovnoměrná, třídící, vroucí, bublající nebo například tryskající vrstva. Dnes se však široce využívá pouze alternativ z kotlů se stacionární fluidní vrstvou (BFB) a s cirkulující fluidní vrstvou (CFB). [4], [9], [14]

Fluidní kotel se stacionární vrstvou (BFB) se vyznačuje možností spalovat druhy biomasy s různou velikostí a rozdílným obsahem vody. Obvykle využívá vrstvu křemičitého písku na dně pece. Průměr jednotlivých zrnek se do pecí se stacionární vrstvou volí okolo 1 mm. Jeho teplota se běžně pohybuje mezi 800 °C a 900 °C, regulována je výměníkem tepla uvnitř vrstvy. Písek v peci tvoří zhruba 98 % hmoty, spalovaného materiálu jsou v loži pouhá 2 %. Dopravníky pro paliva jsou přesně konstruovány pro každý druh jinak. Například kvůli vysoké oxidační reaktivitě biomasy (pyrolýza u biomasy začíná na mnohem nižší teplotě než u uhlí) musí být dodávána přímo do vrstvy písku na rozdíl od uhlí, které je dopravováno na zmiňovanou vrstvu. Primární vzduch je přiváděn skrz trysky pod vrstvou písku s rychlostí od 1m/s do 2,5 m/s. Sekundární je vháněn horizontálně orientovanými tryskami do vrchní části pece. Nevýhodou těchto technologických celků je jejich špatná regulovatelnost. Při nutnosti pouze částečného výkonu se musí lože pece rozdělit. [4], [9]

Fluidní kotel s cirkulační vrstvou (CFB) pracuje za vyšších rychlostí vzduchu a to od 5 m/s do 10 m/s. Využívá opět jako médium většinou křemičitý písek. Jednotlivá jeho zrnka jsou v tomto systému unášena proudem vzduchu, což klade nárok na jejich menší velikost (okolo 0,2 mm až 0,4 mm v průměru). Teplota v peci je obecně udržována mezi 800 °C a 900 °C. Lze ji regulovat ochlazováním zpět přiváděného písku, který je ze spalin recyklován většinou v cyklonu, někdy se také používá U trubice. Výhodou oproti BFB systému je cirkulace v kotli, která podporuje lepší přenos tepla a homogenní teplotu v loži. Díky těmto vlastnostem nastávají ideální podmínky pro stabilní spalování. Nevýhody fluidních kotlů s cirkulačním ložem spočívají v jejich velikosti, kvůli které jsou vysoké investiční náklady, a ve větším úletu pevných částic, než v případě BFB technologií. Provozní náklady jsou vyšší, kvůli potřebné úpravě paliva na velmi malé částice od 0,1 mm do 20 mm. Problém se snížením výkonu je zde stejný jako u kotlů se stacionární vrstvou. [4], [9]



Obr. 3 (vlevo) Schéma kotle se stacionární fluidní vrstvou. (vpravo) Schéma kotle s cirkulační fluidní vrstvou. [33]

U kotlů se spalováním ve fluidní vrstvě trendy vývoje směřují ke kotlům s tlakovými ohništi. Spalovací proces probíhá za podobných teplot jako při atmosférickém fluidním spalování, ovšem za tlaku zhruba od 1,2 MPa do 1,6 MPa. Tato zařízení se vyznačují vyšší účinností. [17]

4.2.3. Kotle s práškovým ohništěm

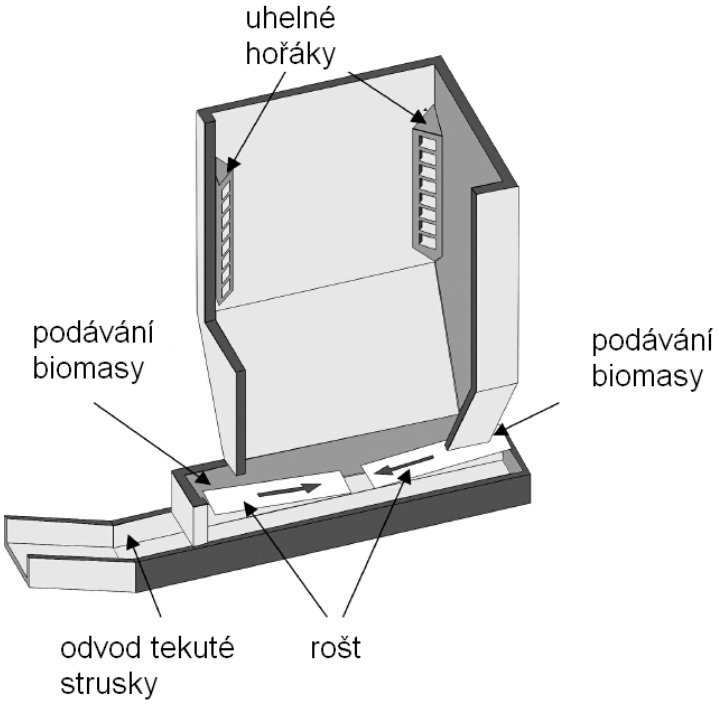
Technologie využívající práškové ohniště mají zpravidla výkony vyšší než 40 MW_T. První tyto kotle byly konstruovány pro spalování prachové frakce uhlí, kterou nebylo možno spálit na roštových ohništích. Využívají spalování jemně

namletého prášku, který je do ohniště přiváděn spolu se spalovacím vzduchem tryskami hořáku. Tudíž se jedná o pneumatickou dopravu. Prášek je tvořen částicemi o velikostech v rozmezí desítek μm v závislosti na použitém palivu. Měrný povrch tuhých částic je v tomto případě 100x až 1000x větší, než je tomu při spalování neupravovaného materiálu. Spalování tudíž probíhá v rozmezí sekund. Mezi palivem a okysličovadlem je velmi malá rychlost, což má za následek delší dobu, kterou palivo musí zůstat v ohništi, aby plně dohořelo.[15], [16]

Palivo se před spalováním mele a suší, tím vznikají jak investiční tak provozní náklady na tyto operace, ty nejsou zdaleka zanedbatelné. Popílek vzniklý po spálení je velmi jemný a způsobuje zanášení konvenčních výhřevných ploch. Doprava a skládkování jsou také problematické, kvůli jeho malé hmotnosti. [15], [16]

Kotle s práškovým ohništěm obsahují jeden nebo více hořáků o rozličných výkonech. Ty se dělí podle tvaru a rozměru plamene. Existují různé koncepce jejich rozmístění, přičemž se musí uvažovat jednotlivá ovlivnění. Hořáky se neumísťují do dna ohniště, protože by byly zanášeny struskou a škvárou. Plamen z hořáku by se neměl dotýkat stěn, aby nedocházelo k jejich opotřebování. Celá geometrie konstrukce ohnišť se volí velmi složitě a je ovlivněna mnoha vlivy. Následné popisování této problematiky je z hlediska zaměření této práce neúčelné. [16]

Spoluspalování biomasy s uhlím je v těchto kotlích možno provádět třemi různými způsoby. Biomasu lze (v určitém poměru) spolu s uhlím mlít a sušit, poté směs spalovat v hořáku. Druhým způsobem spalujeme biomasu v samostatném hořáku nebo na samostatném roštu integrovaném ve výsypce kotle. Poslední způsob spočívá ve spalování biomasy v roštovém nebo fluidním kotli v samostatném zařízení připojeném na straně spalin ke kotli s práškovým ohništěm. [18]



Obr. 4 Spoluspalování biomasy na roštu ve výsypce granulačního kotle. [33]

Kotle s práškovým ohništěm se dělí do třech alternativ – kotle s granulačním, výtavným a cyklónovým ohništěm.

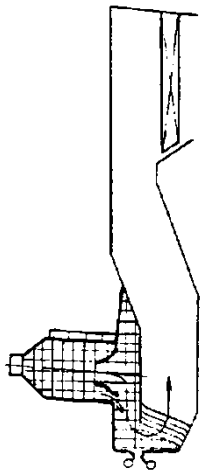
Granulační ohniště má obyčejně hranolovitý tvar. Ve spodní části je výsypka pro odvod zbytků po spálení. Odpadávají do ní také shluky škváry, které se usazují na stěnách. Velká část popelovin odchází se spalinami do odlučovače. Stabilní provoz je udržován v přesném rozmezí teplot, abychom docílili stabilního zapalování paliva a zároveň nedocházelo k výraznému měknutí nebo tečení popelovin. [15], [16]

Tato alternativa ohniště je vhodná, jak pro spalování kvalitních paliv, tak pro méněcenná. Každý kotel je ovšem konstruován pro jistou výhřevnost paliva, čemuž je přizpůsobena velikost teplosměnných ploch. Příprava paliva v těchto zařízeních není tak náročná, jako u ostatních druhů práškových roštů, díky nižší citlivosti na jemnost a vlhkost prášku. Vyznačují se dobrou regulovatelností výkonu. [15], [16]

Výtavná ohniště byla vyvinuta zejména pro paliva s nízkou teplotou tavení popela. V ohništi je udržována taková teplota, aby se popelovina přetavovala do strusky. Ta je odváděna ze dna ohniště v tekutém stavu. Její odvod musí být kontinuální bez zatuhnutí. Tento problém se objevuje při snížení výkonu kotle, proto je regulace výkonu možná jen v určitých mezích. Pro dosažení vysoké teploty v ohništi se používá předehřátý vzduch na teplotu okolo 400 °C a jemněji namleté a dobře vysušené palivo. Také výtavný prostor je tvořen stěnami s nánosem keramické hmoty, aby se zabránilo nadměrnému ochlazování. V jeho prostorách je nutné plné dohoření paliva, proto je tvořen prostorově co nejjednodušeji. Spaliny již vyhořelé pokračují do vychlazovacího prostoru. [15], [16]

Největší předností tohoto typu zařízení je možnost spalovat problémová paliva s vysokým stupněm zachycení popelovin. Nevýhoda technologie je vysoká náročnost na přípravu paliva, která se promítne do spotřeby energie a do nákladů. [15], [16]

Cyklónová ohniště byla vyvinuta pro potlačení některých nedostatků ostatních zařízení s práškovými ohništi. Ve velkých kotlích není lehké zvládnout aerodynamiku mísení paliva se spalovacím vzduchem, což je díky vytvoření vírového pole u cyklónových ohnišť možné. Náklady na mletí prášku jsou značně vysoké. Alternativa s cyklónem si vystačí s drceným palivem se zrny velkými až 5 mm. Popeloviny v tomto zařízení lze dobře zachycovat díky výtavnému procesu a odstředivé síle působící na proud paliva, vzduchu a spalin. Vnitřní plochy ohniště jsou podobně jako u výtavných ohnišť opatřeny keramickou vrstvou kvůli tavení popele. Palivo a vzduch vstupují do cyklónu vířivým hořákem z čela cyklónu. Sekundární vzduch je přiváděn tryskami po obvodu cyklónu tak, aby vířil pohyb spalin v ohništi. Ty se ve výsledku pohybují po spirále, což má tu výhodu, že ačkoli je spalovací prostor malý, palivo se pohybuje po poměrně dlouhé trajektorii a stihne se plně spálit. Cyklónová ohniště mají doporučené rozměry, které nelze libovolně měnit, zejména kvůli velikosti odstředivé síly. Cyklóny mají lehce skloněnou osu, aby struska mohla lépe vytékat. Regulace výkonu je možná pouze omezeně kvůli udržení tavící teploty popelu. Pokud je nutná větší vypínají se a zapínají jednotlivé cyklóny celého zařízení. Každé ohniště tohoto typu je navrženo pro přetlakový provoz, důvodem jsou odstředivé síly uvnitř cyklónu. [15], [16]



Obr. 5 Umístění cyklónového ohniště v kotli. [15]

Přednosti a zápory jednotlivých ohnišť	
Výhody	**Nevýhody**
Fluidní kotel se stacionární vrstvou (BFB)	
dobrá redukce NO_x,SO_2,SO_3 a nízký obsah CO ve spalinách	vyšší provozní náklady
zamezení vzniku nánosů na teplosměnných plochách	špatná regulace výkonu
možnost spalování paliva o rozdílné velikosti a vlhkosti v daném intervalu	ztráta nedopalem v úletu
malý přebytek spalovacího vzduchu -> vysoká efektivita	obtížné zvládnutí aerodynamických poměrů v kotli
žádné pohyblivé mechanismy ve spalovací komoře	
Fluidní kotel s cirkulační vrstvou (CFB)	
velmi rychlá odezva při změnách pracovního režimu	vyšší investiční ale i provozní náklady
žádné pohyblivé mechanismy ve spalovací komoře	špatná regulace výkonu
dobrá redukce NO_x,SO_2,SO_3 a nízký obsah CO ve spalinách	ztráta nedopalem v úletu
zamezení vzniku nánosů na teplosměnných plochách	s popelem často odchází í částice tvořící fluidní vrstvu
malý přebytek spalovacího vzduchu -> vysoká efektivita	palivo musí mít přesně definované rozměrové parametry
intenzivní a stabilní spalování paliva	velká citlivost ke tvorbě škváry
možnost spalování paliva o rozdílné vlhkosti	
možnost mixovat i méněhodnotná paliva	
Kotel s granulačním ohništěm	
flexibilní z hlediska kvality paliva a jeho vlhkosti	velký úlet popílku -> nároky na odlučovací zařízení
možnost regulace výkonu v mezích	investice do mlecích zařízení
nízší provozní náklady	citlivost k zastruskování ohniště při překročení teploty měknutí popelovin
	zanášení teplosměnných ploch jemným popílkem
	rozměrná zařízení
Kotel s výtavným ohništěm	
možnost spalování paliv s nízkou teplotou měknutí popelovin	omezen nejnižší možný výkon kotle (omezená regulovatelnost)
vysoký stupeň zachycení popelovin	vyšší provozní náklady
vysoká teplota spalování	citlivost na kvalitu paliva
Kotel s cyklónovým ohništěm	
jednodušší zvládnutí aerodynamických poměrů v kotli	omezen nejnižší možný výkon kotle (omezená regulovatelnost)
možnost spalování paliv s nízkou teplotou měknutí popelovin	citlivost na kvalitu paliva
vysoký stupeň zachycení popelovin	
vysoká teplota spalování	
snadné přivedení spalovacího vzduchu do potřebného místa	

Tab. 8 Výhody a nevýhody kotlů s jednotlivými ohništi. [9], [15], [16]

5. Roštové spalování

Kotle s roštovým ohništěm jsou jednou ze základních technologií, která využívá biomasu k výrobě tepla a posléze elektrické energie. Používají se pro spalování materiálu takzvaným filtračním způsobem v klidné vrstvě. Palivo může obsahovat větší obsah vody a po jeho spálení vznikne větší množství popela. Využívají se v nich topiva různé velikosti. Spalování na těchto roštech je vhodné například pro paliva, jako jsou odpady z dřevařského průmyslu. Není vhodné spalování rozdílně se chovajících materiálů během hoření. Kotle s roštovým ohništěm existují v mnoha různých provedeních. [9], [16]

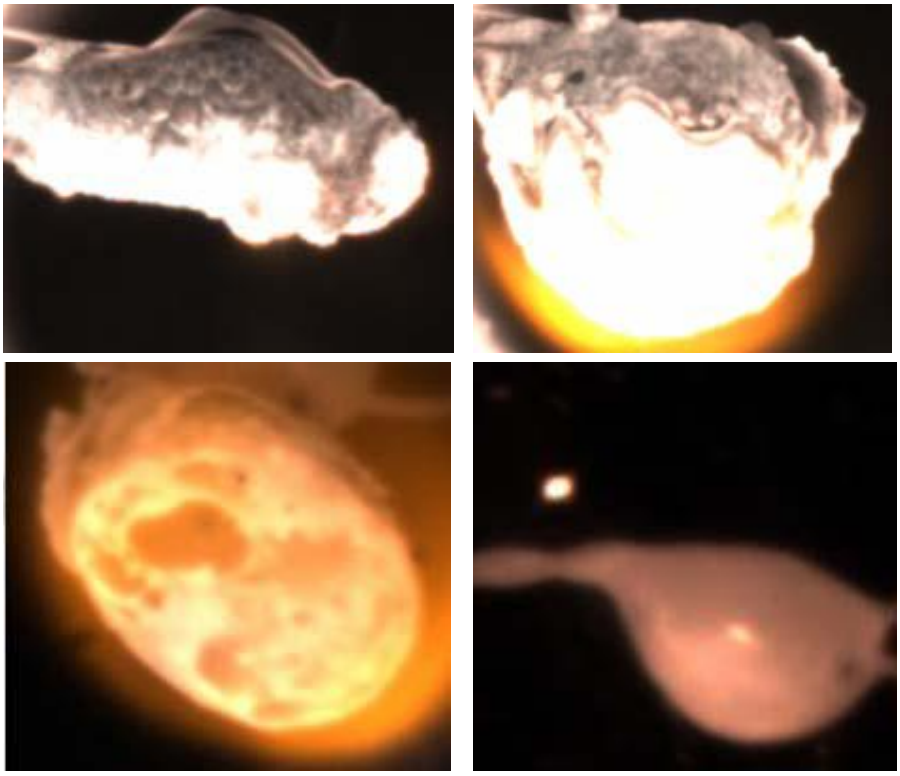
Roštové kotle jsou v porovnání s ostatními druhy poněkud jednodušší. Jsou používány, zdokonalovány a testovány již mnoho let. Stále se zde však vyskytují problémy, jako například znečišťující látky v emisích, koroze na vnitřních prostorách kotle a nánosy. Velmi důležité je také docílení co nejvíce homogenní vrstvy paliva na roštu. [9]

Samotná funkce kotlů s roštovým ohništěm spočívá ve spalování kusového paliva ve vrstvě na roštu, kterým je přiveden spalovací vzduch. Tloušťka vrstvy paliva je volena dle jeho prodyšnosti a dle výkonu ohniště. Ten je závislý na délce a šířce roštu. Obecně se uvádí, že výkon kotle při spalování biomasy se pohybuje okolo 4 MW_T na metr čtvereční roštu, samozřejmě se mění dle kvality a druhu paliva. Správou funkcí roštu je vytváření a udržování optimální tloušťky a prodyšnosti vrstvy paliva po celém jeho povrchu. Vrstva musí být co nejvíce homogenní a je nutno docílit co nejmenšího propadu zrn paliva. Rošt musí zajistit, aby se palivo postupně vysušilo, ohřálo až na teplotu hoření a dokonale vyhořelo. K tomu je nutný přesný přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých míst roštu. V některých případech je odvod tuhých zbytků po spalování realizován také roštovým mechanismem. Je chlazen buď vzduchem nebo vodou. Rošty chlazené vodním médiem mají tu výhodu, že primární vzduch může být do ohniště dodáván pouze v menší míře, což nám umožní flexibilnější použití sekundárního vzduchu. [9], [15], [16], [19]

5.1. Spalovací vzduch

Spalování lze rozdělit do jednotlivých fází, kterými palivo prochází. Surový materiál se postupně během procesu suší, dále je odplyněn (těkání prchavé hořlaviny), zapálen, následuje samotné hoření sušiny a dohoření paliva (oxidace). Tyto fáze následují vždy ve výše uvedeném pořadí, avšak u zařízení s pevným roštem vertikálně, zatímco u systémů s posuvnými rošty je jejich souslednost horizontální. [16]

U zařízení s posuvnými rošty je nutnost roštovou plochu navýšit o takzvané pomocné plochy, sloužící k sušení nebo dohořívání paliva. Jejich poměr k účinné ploše roštu roste s vyšším obsahem vody v palivu. U konkrétního kotle poté klesne hodnota měrného tepelného výkonu roštu. Problém lze řešit buď předsoušením paliva nebo použitím pohazovacího zařízení. Předsoušení lze realizovat mimo kotel v sestupné sušící spalinové šachtě nebo například dmýcháním spalin do sušícího pásma roštu. Pohazovací zařízení umožňuje palivo vysušit v letu před dopadem na rošt a tím také zkracuje pomocnou plochu roštu určenou k sušení. [16]



Obr. 6 Jednotlivé fáze spalování částice – sušení, odplynění, hoření sušiny, vyhoření (oxidace). [21]

Rozeznáváme dva typy roštových ohnišť. K palivu je přiváděno teplo, a tedy je sušeno a vzněcováno ze spodu, shora nebo kombinovaně. Při zápalu ze spodu je směr rychlosti spalování nahoru, při zápalu shora je tomu naopak. [16]

Vzněcování zespoda nastává v případech, kdy je spalováno například palivo s vysokým obsahem vody. Pokud se chce tohoto druhu spalování dosáhnout cíleně, pak lze dmýchat vysoce ohřátý vzduch pod rošt nebo nové palivo nahazovat na rozžhavenou vrstvu. V závislosti na množství primárního vzduchu, který je pod rošt dodáván lze typ spalování dále dělit. V moderních kotlích na biomasu se preferuje spíše podstechiometrické množství vzduchu vzhledem k vysokému množství prchavých hořlavin v palivu obsaženém. [16], [19]

Zápal shora je způsoben sáláním plynů hořících v ohništi a sáláním obezdívky kotle. Dokonce se pro tyto účely navrhuje přední klenba kotle tak, aby se v ní, jako v pomyslném zrcadle, vidělo čerstvé palivo určené k vysušení a vznícení s palivem právě hořícím. [16], [19]

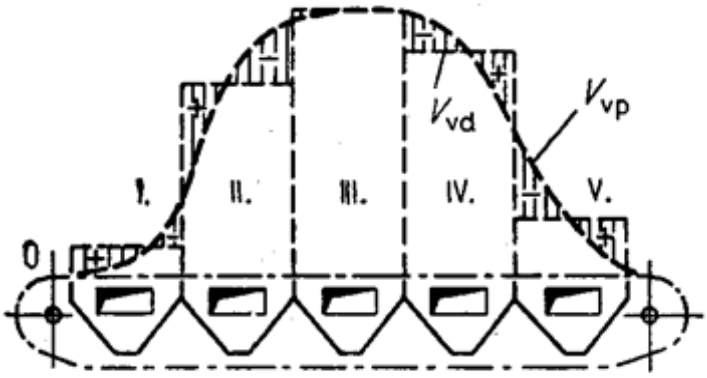
Primární vzduch je, jak již bylo výše naznačeno, spalovací vzduch přiváděný k palivu skrz rošt. U menších zařízení je nasáván podtlakem vznikajícím v ohništi. Větší kotle mají jeho dodávku zajištěnou ventilátory a dmýchadly. Vzduch plní také u roštů, které nejsou jinak chlazené, funkci chladiče. Ohřívá se proto jen do zhruba 150 °C, aby se roštnice neopalovaly. Část primárního vzduchu vedená do úseku roštu určeného k sušení paliva může mít teplotu až 250 °C. [9], [16]

Důležitým prvkem u kotlů s roštovým spalováním (s posuvnými rošty) je přesný přívod primárního vzduchu do jednotlivých částí roštu. Stejně jak palivo prochází fázemi jednotlivých přeměn popsanými výše, musí se do daných úseků přivádět optimální objem vzduchu. Pokud bychom ho nedodávali dostatek, mohlo by docházet

kupříkladu k neúplnému vyhoření paliva. Na druhou stranu při přebytku bude palivo nadměrně ochlazováno, čímž se zhorší spalování, spotřebuje se část tepla na jeho ohřátí a příliš vzroste komínová ztráta. Potřeba spalovacího vzduchu se mění pro konkrétní oblast ohniště, teoreticky v sušícím úseku není potřeba spalovací vzduch žádný, dochází zde pouze k sušení materiálu. V oblasti, kde palivo dohořívá, také není zapotřebí velkého množství vzduchu. Největší náročnost je v oblastech hoření. Objem vzduchu je tedy ekvivalentní místnímu měrnému výkonu ohniště. [9], [16]

Využitím plechových přepážek k rozdělení toku vzduchu a klapek k jeho regulaci, je dále možné částečně ovládat výkon zařízení a to zhruba do spodního limitu 25 % nominálního výkonu. Pozor se musí dávat na takzvaný falešný vzduch, jelikož zejména u pohyblivých roštů proniká do ohniště netěsnostmi na bocích roštů, v obezdívce, násypkou nebo u odvodu škváry. Primární vzduch je nutné rozdělovat v určitých poměrech nejen podél roštu, ale také v jeho šíři. Pokud palivo není zcela monodisperzní, větší kusy se separují ke krajům násypky. To způsobí menší odpor a většina vzduchu bude unikat právě v krajích roštu. Palivo na krajích bude dříve vyhořívat, zatímco uprostřed roštu budou vznikat jazyky nespáleného materiálu. Při volbě zařízení přivádějícího vzduch do ohniště je nutno do návrhu zahrnout vliv komína a aerodynamického odporu ohniště. [9], [16]

Důležitá je mimo jiné také homogenita dodávky vzduchu, pokud tomu tak není, dochází v ohništi ke škvárování, vyššímu množství úletu pevných částic z ohniště nebo nadbytečnému množství spalovacího vzduchu v určitých místech. [9]



Obr. 7 Vzduchové poměry v roštu s pásmováním. [16]

Spalování v roštových ohništích probíhá ve dvou fázích. V prostorách na roštu hoří tuhý uhlík a nad vrstvou paliva se spalují prchavé hořlaviny, obsahující často více než polovinu energie v palivu obsaženou. [16], [20]

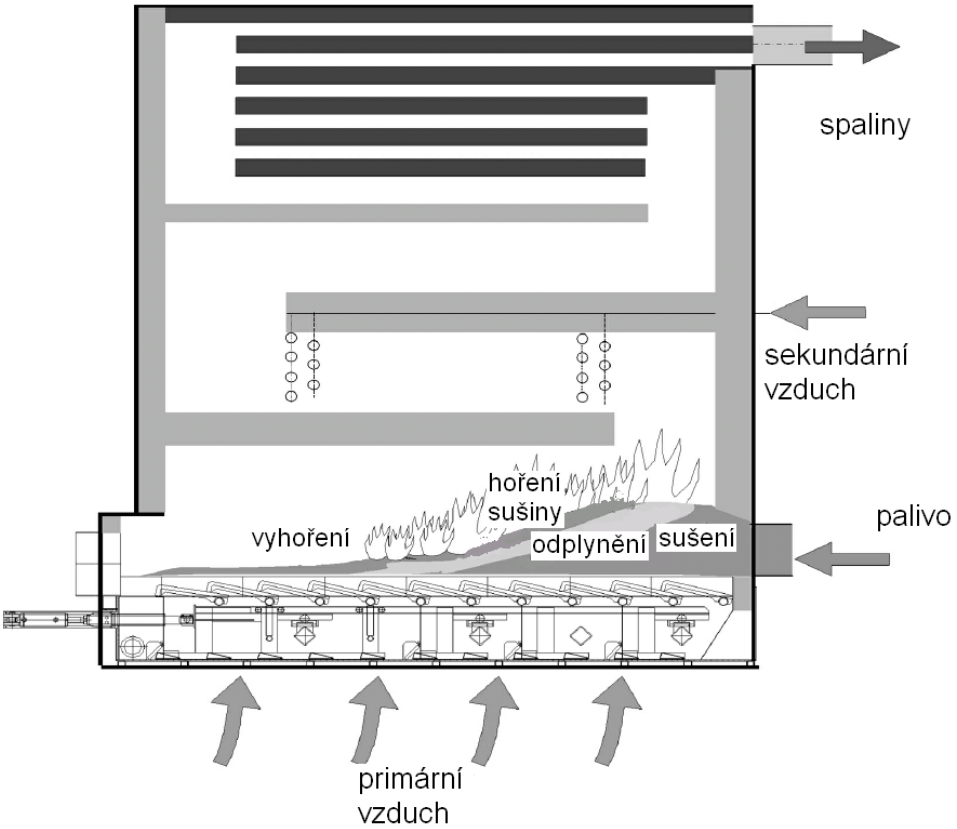
Existují ohniště pro paliva s nízkým obsahem prchavé hořlaviny, jako je například černé uhlí a antracit. Tyto druhy paliv hoří velmi nízkým plamenem a k jejich dokonalému vyhoření stačí pouze přívod vzduchu skrz rošt. Velmi často však spalujeme materiály s podstatně vyšším obsahem prchavé hořlaviny. Ta se uvolňuje, když se topivo ohřeje na určitou teplotu (u dřeva je to asi 200 °C). Vznícené plyny, vzešlé z těchto paliv, spolu se vzduchem přiváděným roštem hoří velmi dlouhým plamenem. Během toho se však zpravidla nepovede spálit veškeré množství spalitelných složek. Tomu brání nedostatek kyslíku nebo nízká teplota způsobená nadbytkem spalovacího vzduchu, který plamen ochladí. Nespálený uhlík se v těchto případech vylučuje ve formě sazí. Dochází ke ztrátám neúplným spálením veškerých hořlavin a zanášení výhřevných ploch. Z těchto důvodů se

konstruují ohniště pro paliva s větším obsahem prchavé hořlaviny jinak, než pro paliva s pouze malým obsahem těchto látek. Hlavním rozdílem je velikost, jelikož teplosměnné plochy je nutno umístit až za celou délku plamene a přívod **sekundárního spalovacího vzduch**, do druhého ohniska hoření nad vrstvou paliva. Tím dojde ke spálení zbylých plynů. [16], [20]

palivo	prchavá hořlavina [%]
koks	1,5
černé uhlí	20
hnědé uhlí	55
dřevo	75
sláma	80

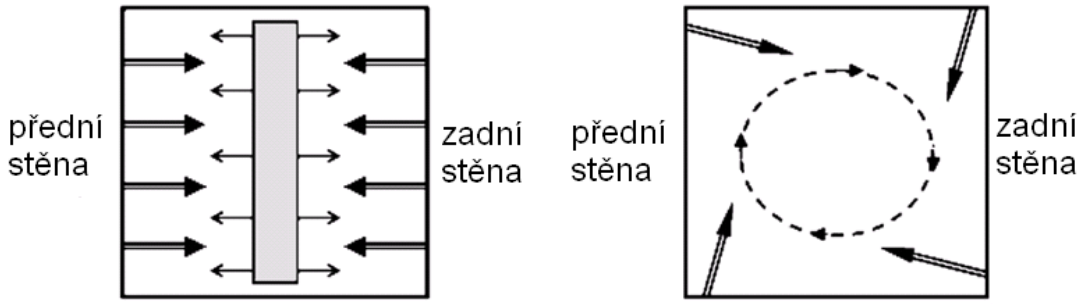
Tab. 9 Obsah prchavé hořlaviny ve vybraných palivech. [20]

Systém sekundárního spalovacího vzduchu je jedním z nejdůležitějších nástrojů, jak zefektivnit spalování a snížit emise roštových ohnišť. V moderních kotlích na biomasu se využití sekundárního vzduchu stalo takřka samozřejmostí. Je to také jedna z nejlepších možností, jak snížit emise a zvýšit výkon starších zařízení. Prvotní myšlenka využití sekundárního vzduchu měla za cíl zejména redukování skleníkových plynů NO_x snížením množství kyslíku v plamenu. Kromě této funkce se díky této utilitě také zlepšila účinnost spalování materiálů o vyšším obsahu prchavé hořlaviny a omezila se ztráta jemných spalitelných částic úletem. [19]



Obr. 8 Fáze spalování biomasy a spalovací vzduchy. [33]

Důležitým prvkem je dobré oddělení primární spalovací a sekundární dohořívací části kotle a tím zabránit jejich zpětnému promíchávání. Sekundární vzduch by při promíchávání se spalinami v primární části spalování způsobil turbulence, které v této části hoření nejsou vhodné. V sekundární oblasti je ovšem dokonalé promíchání vzduchu se spalinami cílenou záležitostí. Čím většího vzájemného promísení se dosáhne, tím menší přebytek vzduchu k dokonalému spálení bude potřeba a tím se zvýší účinnost celého zařízení (bude rozvedeno v následující kapitole). Sekundární vzduch je do kotle přiváděn tryskami rozličných průměrů, umístění a nasměrování. Díky jejich vzájemnému sladění lze dosáhnout delšího setrvání hořlavin v kotli, tím získat jejich lepší vyhoření a větší výměnu tepla. Dobrého promíchání se dá dosáhnout více způsoby. Efektivní může být takzvané statické míchání, které zajistí jak zvýšení účinnosti kotle, tak snížení NO_x emisí. Druhým způsobem může být přívod vzduchu do dohořívací části kotle tangenciálně, což vytvoří silný rotující proud spalin a vzduchu. Toto nastavení zajistí jak výborné promíchání, tak zmírní tvorbu nánosů a koroze na stěnách kotle. [9], [19]



Obr. 9 Možnosti přivádění sekundárního vzduchu do dohořívací části kotle. (vlevo) Statické míchání. (vpravo) Tangenciální přívod vzduchu. [19]

Správné nastavení poměru primárního a sekundárního vzduchu zajišťuje kompletní spálení paliva a velmi výrazně ovlivňuje účinnost kotle. V nových kotlích je tendence zvyšovat podíl sekundárního vzduchu až na 60 %. V dřívějších dobách byl poměr nastavován spíše na 80 % primárního a 20 % sekundárního vzduchu. [9]

5.2. Účinnost a efektivita

Účinnost je vzhledem ke vzrůstajícím cenám paliv velmi důležitým ne-li rozhodujícím parametrem kotlů pro spalování biomasy. Často však ještě existuje možnost, jak tento parametr zvýšit. Jednou ze zajímavých eventualit je předsoušení biomasy. Předsoušení s sebou nese hned několik výhod. Mokrá biomasa během skladování podléhá mikrobiologické degradaci, která vede ke ztrátě hmoty. Předsušením lze také ušetřit skladovací prostor. Problematika předsoušení vyžaduje dobrou ekonomickou analýzu. Zvýšení výkonu v tomto případě není nijak závratné, avšak proces je nákladný na investiční, případně i provozní náklady. Ve většině případů je jediný možný způsob jak biomasu ekonomicky předsoušet, získávat sušící médium za velmi nízkou cenu nebo zdarma, jak tomu může být například u ohřátého vzduchu ze solárních kolektorů. Sušením biomasy samovolně, přirozenou formou bez přidávání dalšího energetického zdroje, je často neekonomické, jelikož biologickou degradací se ztratí více materiálu, než se ušetří. [9]

Další možností zvýšení efektivity, jak již bylo zmíněno, je dodávání přesného množství sekundárního vzduchu do dohořívací části zařízení. Toho se dosahuje řízením dodávaného množství takzvanou lambda sondou umístěnou v části odvodu spalin. Díky malému přebytku vzduchu ve spalinách dále dosáhneme zvýšení rosného bodu spalin, což umožňuje získat větší množství energie ze spalin jejich případnou kondenzací. [9]

Nejefektivnější cesta, jak získat zpět energii obsaženou ve spalinách, je jejich kondenzace. Uvádí se, že se touto metodou dá získat zpět až 20 % energie obsažené ve vstupní biomase. Přesněji závisí na obsahu vody ve spalovaném materiálu, přebytku spalovacího vzduchu obsaženého ve spalinách (vysvětleno výše) a teplotě média vstupujícího do výměníku v kondenzační jednotce. Čím nižší bude jeho teplota, tím více energie lze ze spalin získat. Kondenzační jednotka se obyčejně skládá ze tří hlavních částí. Ekonomizéru, samotného kondenzátoru a předehříváku, jak spalovacího vzduchu, tak vzduchu využívaného k ředění spalin před vstupem do komína. Kromě primárního užitku získávání energie ze spalin, se v kondenzační jednotce odlučuje prachová část spalin, kterou je jindy nutno zajišťovat jinými zařízeními. Účinnost tohoto odlučování se pohybuje mezi 50 % až 75 %, pokud se za kondenzační jednotku umístí elektrostatický filtr lze počítat až s 99 % účinností separace. Kondenzát vznikající v těchto zařízeních obsahuje nebezpečné látky, jako jsou například těžké kovy, a proto je nutno s ním zacházet jako s nebezpečným odpadem. [9]

Účinnost také značně závisí na spalovaném palivu v konkrétním kotli. Nikdy nelze dosáhnout kompletního shoření veškerého materiálu. Jedna jeho část může propadnout mezi roštnicemi. Jednoduše čím jemnější je palivo a větší mezery v roštu, tím více se ho takto znehodnotí. Další část materiálu ulpí ve škváře ve formě koksu. Díl paliva takto zmařen je úměrný obsahu popelovin. Ztráta, která vzniká úletem jemných zrn, závisí na jejich zastoupení ve splovaném materiálu a na rychlosti primárního spalovacího vzduchu. Těmto škodám lze zabránit optimalizací přívodu primárního a sekundárního vzduchu vhodnou volbou paliva pro daná zařízení nebo například jeho tříděním či dobře navrženým pohazováním. V některých případech by řešením také mohly být bezpropadové roštnice či dvouvrstvé spalování. Využitím vodou chlazených roštů si lze dovolit razantně snížit rychlost primárního vzduchu, jelikož již není potřeba jím rošt chladit. Tím se zmenší úlet malých částic a je možno lépe využívat sekundárního vzduchu ke kompletnímu spalování a snížení emisí. [19], [15]

5.3. Emise a čištění spalin

Spalování biomasy je v určitých pohledech velmi příbuzné se spalováním uhlí. V této oblasti již existuje mnoho let zkušeností s čištěním spalin, proto se výzkum v tomto směru specializuje pouze na vybrané problémy. [19]

Emise vznikající při spalování biomasy lze rozdělit do dvou skupin: emise vznikající ve spalovacím procesu a emise vznikající ze stopových prvků obsažených v biomase. Škodliviny vznikající při spalování jsou závislé především na složení paliva a úpravě spalin, méně potom na technologii a velikosti spalování. [19], [22]

5.3.1. Emise vznikající ve spalovacím procesu

Nedokonalé spalování je u kotlů s roštovým ohništěm velký problém. Vznikají při něm emise jako **CO, C_xH_y, PAH** a může zapříčinit i zvýšení výskytu jiných nebezpečných látek (dioxiny- PCDD/PCDF). Jednoznačně největší příčinou nedokonalého spalování je nedostatečné míchání paliva a vzduchu nebo jeho nedostatek. Proto je tak důležitý správný přívod vzduchu do spalovací a dohořívací části kotle. [19]

Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje dokonalost spalování je doba setrvání suroviny v reakční zóně. Její minimální délka (za dané teploty) je dána směrnicemi Evropské unie. Tento čas se ovlivňuje vhodným navržením kotle, roštu, primárního a sekundárního vzduchu. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, výhodou je využití vodou chlazených roštnic, což vede k dokonalejšímu spalování. [19]

CO – vzniká při ochlazení plamene nebo při nedostatku spalovacího vzduchu v ohništi, CO poté nemá šanci zoxidovat na CO_2. Dochází k tvorbě sazí a velkým tepelným ztrátám. Nízký obsah CO ale naopak značí velký přebytek vzduchu, což také snižuje efektivitu spalování. Oxid uhelnatý je vysoce jedovatý plyn. [22]

C_xH_y- jedná se o několik druhů uhlovodíků. Některé z nich jsou karcinogenní, jiné člověku zejména znepříjemňují život různým drážděním nebo například ospalostí. [19]

PAH- polychlorované aromatické uhlovodíky vznikají spalováním organického materiálu. Jedná se o širokou skupinu látek s karcinogenními účinky a velkou stálostí. [22]

Během **kompletního spalování** vznikají oxidy dusíku **NO_x a N_2O a CO_2**. Tyto sloučeniny vznikají při každém spalování biomasy, je ovšem možné jejich množství v rámci mezí ovlivnit.

NO_x- sloučeniny se tvoří převážně spalováním dusíku obsaženého v palivu. Přesněji, mezi koncentrací NO_x ve spalinách a množstvím dusíku obsaženého v biomase, existuje přibližně logaritmická závislost. Vzniká při spalování několika různými mechanismy. V první fázi, během odplynění paliva, nastává tvorba prchavého dusíku. Ten se mění výhradně ve sloučeniny NH_3, HCN a HNCO. Během samotného procesu spalování vznikají z dusíku HCN a NH_3. Poslední sloučeniny dusíku vznikají ze zuhelnatěných zbytků paliva a to zejména NO. Všechny tyto sloučeniny jsou považovány za předchůdce NO_x. Jejich množství záleží zejména na složení a typu paliva, teplotě odplynění, množství spalovacího vzduchu, typu a geometrii kotle, velikosti částic nebo vlhkosti spalovaného materiálu. [19], [9]

Pro redukci NO_x je nutné navrhovat dobře oddělené spalovací a dohořívací komory, dále využívat řízení správného množství primárního vzduchu a dobré regulace sekundárního, aby se zajistil jeho co nejmenší přebytek. Tímto způsobem se dají omezit emise oxidů dusíku o 30-80%. Pokud toto snížení emisí stále nestačí lze přistoupit k další možnosti a to selektivní katalytické redukci (SCR). Jde o sprchování spalin například siřičitanem amonným. Touto metodou se emise NO_x značně eliminují. [19], [9]

Za ideální sloučeninu, na kterou se může dusík přeměnit, se považuje N_2O. Pokud se tomu tak nestane, vzniká NO a NO_2, z toho NO v drtivé většině zoxiduje na NO_2. Oxid dusičitý je plyn způsobující tvorbu přízemního ozonu, přeměňuje se na dusičnany, které způsobují kyselé deště, okyselují půdu a podzemní vodu. [22]

N_2O- oxidu dusného při spalování biomasy nevzniká příliš velké množství. Jeho masivní produkce je způsobena automobilovou dopravou. N_2O podporuje skleníkový efekt. [22]

CO_2- oxid uhličitý je plyn největší měrou se podílející na vzniku skleníkového efektu a posléze globálního oteplování. Při spalování biomasy lze na rozdíl od fosilních paliv jeho bilanci považovat za neutrální, jelikož jeho množství vznikající při spalování je stejné, jako množství spotřebované rostlinou během jejího růstu. [22]

5.3.2. Emise vznikající ze stopových prvků obsažených v biomase

Biomasa je svým složením velmi specifické palivo. Koncentrace jednotlivých prvků v ní obsažených záleží nejen na druhu tohoto paliva, ale také například na podmínkách, kde bylo vypěstováno. Emise vznikající ze stopových prvků obsažených v biomase by se dali rozčlenit na emise vzniklé z obsahu chlóru a síry v biomase, na těžké kovy a na tvorbu dioxinů.

Jak již bylo popsáno v kapitole 4.1. Charakteristika paliv, **obsah chlóru a síry** v biomase je velmi důležitý z hlediska emisí. Chlór tvoří zejména plynný HCl a alkalické chloridy. Síra poté hlavně SO_2 a alkalické sulfáty. Vliv těchto sloučenin na korozi a tvorbu nánosů je velmi důležitý a bude rozebrán v následující kapitole. [19]

HCl a alkalické chloridy- během ochlazování spalin v kotli tyto plynné sloučeniny kondenzují na stěnách a popílku. Hlavním efektem je poté tvorba koroze, kyselých emisí a zanedbatelný není také vliv HCl na tvorbu dioxinů (PCDD/PCDF). [19]

SO_2 a alkalické sulfáty- sloučeniny síry mají podobné chování jako sloučeniny chlóru. S klesající teplotou kondenzují na stěnách kotle a s pevnými částicemi ve spalinách vytvářejí nánosy. [19]

Tvorbu emisí chlóru a síry lze omezit několika způsoby. Nejvíce se pro jejich redukci využívá mokrých praček vápenným mlékem. Účinnost těchto zařízení se pohybuje až okolo 98 % pro HCl a 80 % - 95 % pro SO_2. Další možností je například i suchá sorpce hydroxidem vápenatým. Jistou alternativou je úprava biomasy louhováním, čímž se dá nepříznivé složení paliva značně ovlivnit. Tento způsob úpravy však zahrnuje nemalé náklady. Přidávání vápenného sorbentu na rošt se jeví jako neefektivní, jelikož jeho poměr vůči palivu by poté měl být okolo 2:1. [19], [9]

Kvůli znečištění životního prostředí se zejména v lesních produktech vyskytují **těžké kovy**. Do této skupiny prvků patří například antimon, arsen, beryllium, cín, chrom, kadmium, kobalt, mangan, měď, nikl, olovo, rtuť, selen, telur, thallium, vanad nebo zinek. Tyto látky jsou škodlivé pro lidský organismus, některé jsou jedovaté, toxické, jiné se zase v těle člověka akumulují. [23]

Dobrou separací se dá docílit oddělení části obsahující těžké kovy od ostatního popele, který lze využít například v zemědělství. Tím se také minimalizuje množství škodlivého odpadu určeného ke zničení nebo dalšímu průmyslovému zpracování. Moderní výzkum se snaží navrhnout spalovací proces tak, aby těžké kovy byly výhradně zastoupeny v mikročásticích ve spalinách. Ty se usazují ve filtrech a není třeba žádného dalšího třídění, čímž se ušetří provozní náklady. [9]

Životní prostředí nejvíce ohrožují prvky jako kadmium, olovo a rtuť. Pro tyto těžké kovy je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím redukci jejich složek teplota spalovacího procesu. Pokud bude přesahovat zhruba 800 °C, dá se předpokládat dobré oddělení těch nejvíce toxických do spalin a popel odváděný z roštu se dá

považovat za mnohem méně problematický. Spaliny takto vznikající jsou poté však nebezpečnější než například z procesů spalování uhlí. Existuje mnoho typů zařízení, ve kterých se dají čistit. Jednotlivě budou vyjmenovány v kapitole 5.3.3. Odlučování prachových částic ve spalinách. [23], [9]

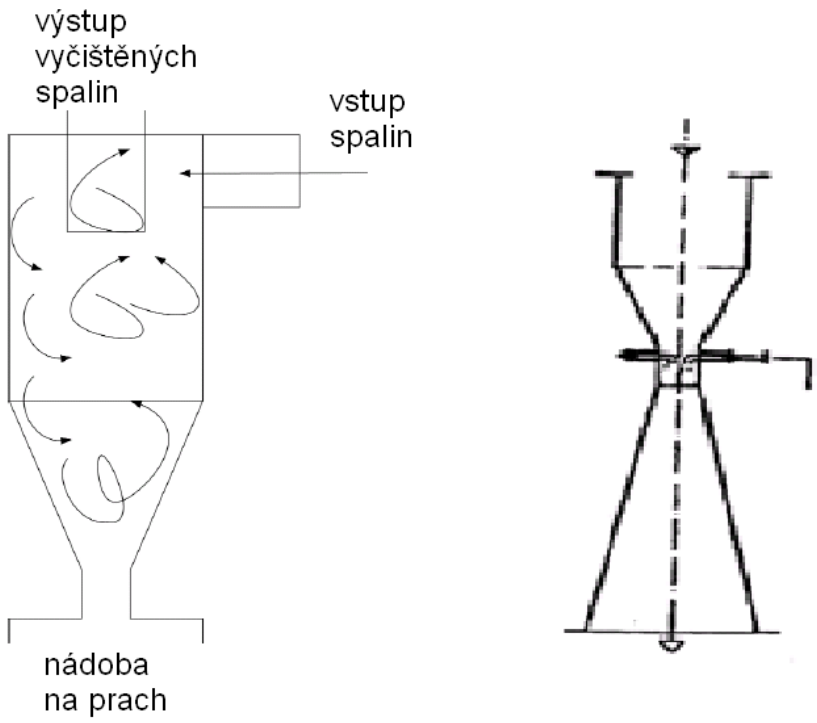
Zřejmě nejdiskutovanějšími emisemi, které vznikají při spalování biomasy, jsou **dioxiny PCDD/PCDF**. Tyto látky spadají do skupiny persistentních organických polutantů. Pro lidský organismus jsou velmi jedovaté, v těle člověka se hromadí a vynikají svou persistentností (dlouhá doba rozkladu). Vznikají především spalováním chlorovodíkových a fluorovodíkových sloučenin. Mezi mechanismy jejich vzniku patří nedokonalé spalování (nízká teplota spalování nebo krátká doba setrvání spalin v kotli), reakcemi určitých typů látek pocházejících ze spalovaného materiálu (prekurzoru) a takzvanou syntézou de-novo, ta se děje v čistících aparátech pracujících za vyšších teplot (nad 200 °C), kde se již rozložené dioxiny rekombinují v nové. Jejich emise ve spalinách jsou upraveny legislativou. [24]

Jelikož většina dioxinů se nalézá ve zkondenzovaném stavu na pevných částicích ve spalinách, odprášením spalin se dosáhne jejich největší redukce. Jisté množství dioxinů se ve spalinách vyskytuje v plynné fázi. Tyto plynné sloučeniny se nejčastěji odstraňují absorpčními metodami, katalitickou oxidací (zároveň i k redukci NO_x, viz. výše) nebo katalitickou filtrací. [19], [24]

5.3.3. Odlučování prachových částic ve spalinách

Jedním z nejdůležitějších zdrojů emisí ze spalin jsou prachové částice. V některých provozech může jejich množství představovat až 20 % pevých fází zbylých po spálení. Jejich obsah ve spalinách se dá však ovlivnit mnoha faktory jako například obsah popelovin v palivu, množstvím a rychlostí přívádění primárního vzduchu pod rošt nebo celkovou konstrukcí spalovacího zařízení. Pro odlučování prachových částic ze spalin existuje celá řada aparátů. Lze je rozdělit do tří hlavních skupin – **mechanické, elektrostatické a filtrační**. [19], [25]

Mechanické odlučovače se dělí na suché, kde je využíváno zejména gravitačních a setrvačných sil k oddělení tuhých částic od plynných spalin, a mokré, které fungují na principu směšování vody a plynu s prachovými částicemi. Mezi mechanické suché odlučovače patří například prašník, který na úkor jednoduché konstrukci nevykazuje příliš dobré výsledky. Za zařízení s lepší odlučivostí se považují takzvané cyklóny, v nichž spaliny proudí velkou rotační rychlostí, čímž vzniká odstředivá síla na částice rozptýlené ve spalinách. Multicyklónovými odlučovači rozumíme zařízení, kde je větší počet jednotlivých cyklónků zapojených paralelně v jednom plášti. Všechna tato zařízení však nemají dobrou odlučivost pro jemné částice. Pro jejich lepší separaci slouží mokré odlučovače. Typickým příkladem je vírníkový, což je vlastně multicyklónový odlučovač s rozprašováním vody. Další možností je proudový, kde se směšuje voda a spaliny s pevnými částicemi ve Venturiho dýze. Výhodou těchto zařízení je bezporuchovost a vysoký stupeň odloučení, avšak za cenu velké tlakové ztráty a spotřeby vody. [25]



Obr. 10 Mechanické odlučovače. (vlevo) Princip cyklónu. (vpravo) Proudový odlučovač. [25], [33]

Elektrostatické odlučovače se vždy skládají ze dvou elektrod, z nichž jedna, pevné částice ve spalinách nabíjí a druhá s opačnou polaritou tyto frakce přitažlivou silou odchytává. Tato elektroda je po nějakém čase zanesena a je nutno ji oklepat. Tímto zanášením se postupně snižuje účinnost celého systému, která je při čistých elektrodách vyšší než 99 %. Elektrody je po určitém čase nutno důkladně očistit, jelikož se na nich tvoří nánosy olejového charakteru, což je způsobeno také případným vlhčením prachu, kvůli jeho lepší vodivosti (poté mokré elektrostatické odlučovače). Výhodou těchto zařízení je výborná odlučivost a malá tlaková ztráta, na druhou stranu jsou tyto zařízení rozměrná a finančně velmi náročná. [25], [26]

Filtrační odlučovače separují pevné částice ze spalin průchodem přes vhodně navržený materiál. Tyto matriály se dělí podle jejich mechanické a tepelné odolnosti. Existuje mnoho způsobů, jak filtrační látky uspořádat (rukávce, kapsy)a většinou se těchto tvarů filtrů dosahuje drátěnými vložkami. Pro nižší teploty se na filtry většinou používá různých tkanin, pro vysoké poté porézní keramika. Existuje také možnost kombinovat samotný filtrační materiál s chemickými látkami. Filtr pak zastává funkci jednak separace tuhých částic a dále chemickými reakcemi, které probíhají při průchodu škodlivin materiálem, čistí spaliny (například katalytickou filtrací se odstraní dioxiny). Postupným provozem zařízení vzrůstá tlaková ztráta a je nutno filtry odprášit, nebo vyměnit. Výměna bývá často finančně náročná. Pro většinu filtrů je nepřípustná vlhkost. [24], [25], [26]

5.4. Tvorba nánosů a koroze na stěnách kotle

Spaliny vznikající při spalování biomasy obsahují nebezpečné frakce. Ty se během celého procesu formují a mohou způsobovat korozi nebo se usazovat na stěnách kotle či na teplosměnných plochách tepelných výměníků.

Aby se dala odhadnout pravděpodobnost a velikost tvorby nánosů, je nutno znát kromě vlastností paliva a jeho chemického složení, také geometrii kotle, ve kterém bude spalováno. Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím tvorbu usazenin je bod tavení (měknutí) popele. Biomasa má dost často vysoký obsah draslíku a sodíku, tedy prvků snižujících tuto teplotu. Proto je riziko vznikání nánosů při jejím spalování vysoké. Většina druhů popele však nemá jeden ostrý bod tavení. Začne měknout, ale k jeho kompletnímu roztavení dojde někdy až při teplotě o několik stovek stupňů vyšší. Existuje dobrý odhad, který říká, že pokud bude teplota v kotli taková, že roztavená část popele se bude pohybovat v rozmezí 15 % - 70 % jeho hmotnosti, bude s největší pravděpodobností docházet ke tvorbě usazenin na stěnách kotle. Při teplotách vyšších nebo nižších by k tvorbě nánosů docházet nemělo. [19]

K inicializaci tvorby nánosů na povrchu čisté trubky dochází vlivem anorganických par a velmi malých pevných natavených částic ve spalinách, které se na trubku obalují v celém jejím obvodu. Poté se nános začne zvětšovat zásluhou zejména větších pevných frakcí spalin, ty se ovšem usazují hlavně na horní straně trubek. Tento materiál je doslova lepen k sobě kondenzovanými solemi především draslíku. Dominantními látkami v tomto nánosu jsou silikáty draslíku a vápníku. Velký problém je, že nálep má velkou pórovitost, tudíž dobře izoluje, čímž snižuje účinnost zařízení. [19]

Obr. 11 Tvorba nánosu na povrchu trubky. [19]

Koroze vnitřních ploch kotle má velmi úzkou spojitost s tvorbou nánosů. Samotný proces degradace materiálu je způsoben chemickými reakcemi železa a chromu (obsažených v oceli) s chlórem. Ten se v těsné blízkosti oceli soustředí právě reakcí, která vzniká při tvorbě nánosu. V natavených pevných frakcích ve spalinách dochází k rychlé přeměně KCl na K_2SO_4. Poté na postižené místo působí vysoký parciální tlak Cl_2/HCl. K těmto korozním mechanismům dochází však pouze za vyšších teplot a to zhruba nad teplotou 520 °C. Pokud je teplota v kotli nižší dochází na ocelových prvcích v peci k běžné oxidaci, jelikož přeměna KCl na K_2SO_4 je pomalá a nedochází k vystavování ocelových komponentů vysokému parciálnímu tlaku Cl_2/HCl. [19]

Tento model je všeobecně univerzální, ale existují i studie, při kterých bylo dokázáno, že plynné KCl může způsobovat těžkou korozi i za nižších teplot. Dále existují paliva, jako je například kůra, u kterých důležitou roli v případě koroze sehrají další prvky (Zn, Ca). Z hlediska obsahu se tato práce ale těmito specifickými druhy koroze nebude zabývat. [19]

Tvorbu nánosů a korozi lze redukovat více způsoby. Jedním je přidávání aditiv do spalované biomasy nebo její spoluspalování s uhlím či rašelinou. Proti korozi se lze dále bránit využíváním nových odolnějších materiálů nebo snížením povrchové teploty problémových částí zařízení. [19]

Ke spalované biomase se dají přidávat aditiva, která zvyšují teplotu tavení popele nebo redukují produkci zejména problémového KCl. Látky, které bod měknutí popelovin zvyšují, jsou kupříkladu Al_2O_3, CaO, MgO, $CaCO_3$, $MgCO_3$. Tímto zvýšením tavící teploty se výrazně zvyšuje potenciál využití biomasy, ovšem využití aditiv je o mnoho atraktivnější v kotlích s BFB/CFB technologií spalování. V kotlích s roštovým ohništěm je potřebné víření a míchání paliva značně menší, tudíž se od této metody nedají očekávat tak dobré výsledky, jako je tomu například u BFB/CFB. Dobrou možností je sprchování spalin siřičitanem amonným, který velmi dobře dokáže přeměnit KCl na o mnoho méně nebezpečné K_2SO_4 a zároveň redukuje emise NO_x. Při spoluspalování biomasy s uhlím je většina draslíku pocházejícího z biomasy zachycena na popelu uhlí, tím se drasticky sníží koncentrace KCl ve spalinách a omezí se tvorba nánosů a koroze. [19]

Dalším řešením problémů s nánosy a korozí je využívání nových odolnějších materiálů nebo například využívání keramických obkladů částí náchylných ke korozi. Již bylo také testováno mnoho druhů keramických kompozitů, které tyto povrchy dokážou spolehlivě chránit. [19]

Jistou alternativou, jak zabránit korozi, je také snížit povrchovou teplotu postižených komponent. Většina kotlů využívá jako pracovního média páru o vysoké teplotě a tlaku. Využitím organického Rankinova cyklu se tato teplota podstatně sníží, a jak bylo popsáno výše, nebude docházet k tak rozsáhlé tvorbě nánosů a ke zvýšené korozi. [19]

5.5. Rozdělení kotlů s roštovým ohništěm

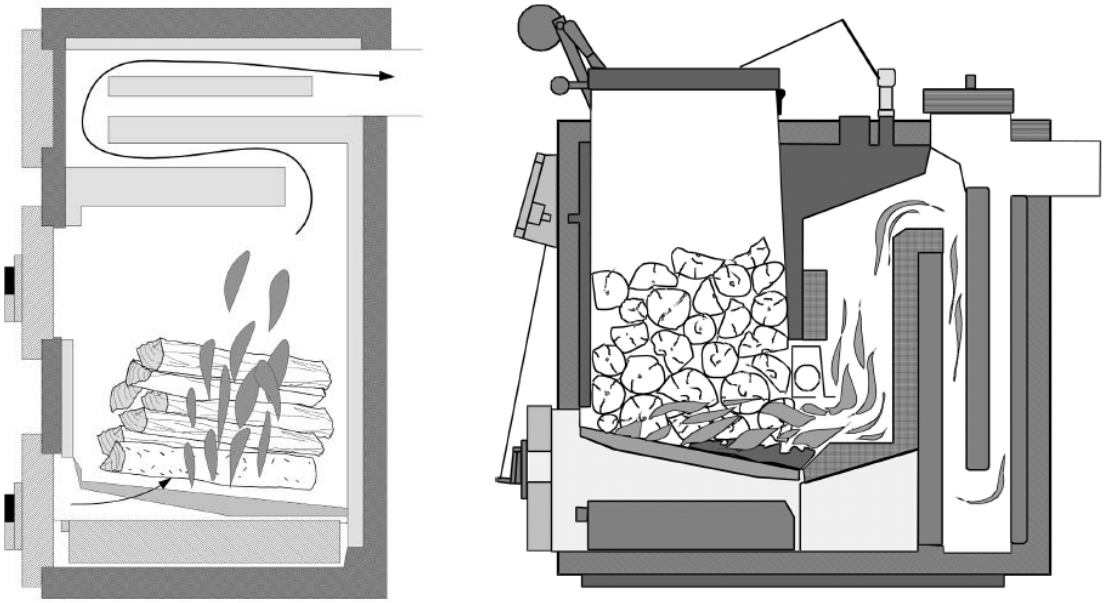
Základní konstrukce kotlů s roštovým ohništěm se skládá z nosné konstrukce, samotného roštu a v případě, že rošt nebo některé jeho části jsou pohyblivé, tak je zapotřebí hnacího ústrojí. Z toho plyne také základní rozdělení kotlů s roštovými ohništi, na kotle s pevným a mechanickým roštem.

5.5.1. Kotle s pevným roštem

Pevný rovinný rošt je tvořen, buď litinovou žáropevnou deskou s otvory pro přívod vzduchu, nebo z jednotlivých štíhlých nosníků. Ty jsou ze stejného materiálu. Skládají se vedle sebe tak, aby mezerami mezi nimi nemohl propadnout spalovaný materiál, ale procházelo jimi dostatečné množství vzduchu. Ten musí roštnice dostatečně ochladit, aby se neopalovali. Po jisté době je nutno palivo na roštu proklepnout, kvůli odstranění spečené strusky na povrchu paliva a zaklíněným

zbytkům škváry na roštu. Tato operace dost dobře mechanizovat nelze, proto tyto rošty nejsou vhodné do zařízení větších výkonů. [15], [16]

V těchto případech se dají rozlišit dva typy kotlů. S horním odhořívaním paliva, kdy spalovací vzduch prochází celou šířkou materiálu. A se spodním odhořívaním, kdy prochází pouze částí právě spalovaného paliva. [15]



Obr. 12 Kotel s pevným rovinným roštem. (vlevo) S horním odhořívaním paliva. (vpravo) Se spodním odhořívaním paliva. [33]

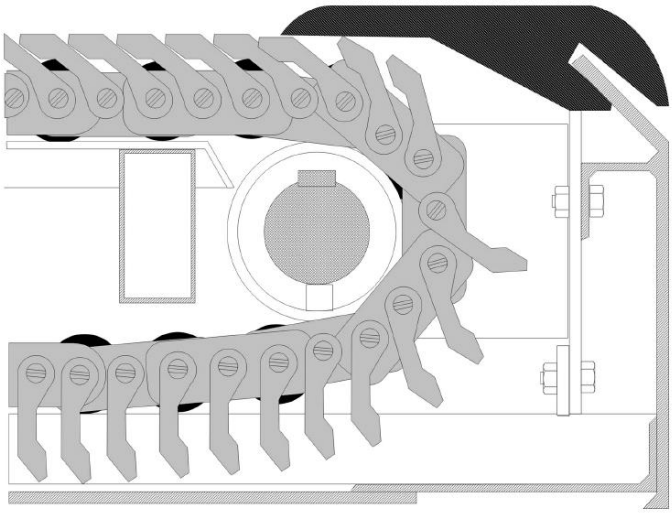
Za další typy roštů, které se nedají řadit k roštům s mechanickými roštnicemi, se dají považovat **rošt se sklopnými roštnicemi** nebo **stupňový rošt**. Hlavní výhodou těchto zařízení je snazší se zbavování škváry, než je tomu u roštů s pevnými rošty. [16]

5.5.2. Kotle s mechanickým roštem

Tyto typy roštů již dokážou palivo v ohništi posouvat a prohrabovat dle potřeby a eliminují tak nutnost ruční obsluhy po delší dobu. Škváru a zbytky po vyhoření automaticky odstraňují z ohniště. Pro tyto důvody jsou využívány zejména v zařízeních o vyšších výkonech. Mezi základní druhy patří rošty pásové (řetězové), přesuvné a vratisuvné. [16]

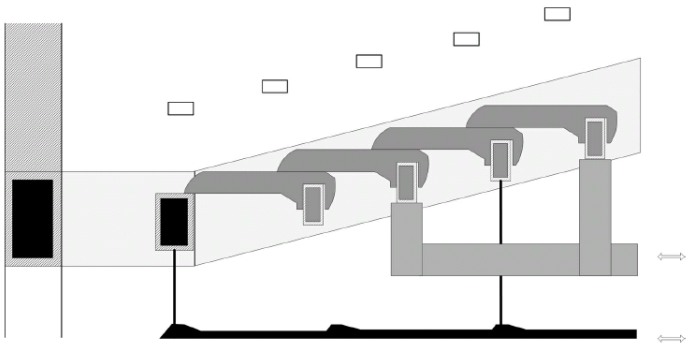
Pásový rošt vznikl úpravou roštu řetězového, zejména kvůli jeho složité demontáži, potřebné při spálení některé z roštnic. U pásového roštu již řetězy nepřijdou s rozpáleným palivem do styku. Jsou pouze po stranách roštnic, které jsou zasunuty do příčných trámců přivařených k řetězu. Jejich pohonem se řídí rychlost posuvu pásu, tudíž i setrvání paliva v ohništi. Řetězy je možno napínat. Množství propadu paliva se na pásovém roštu dá redukovat, buď využitím bezpropadových roštnic, vracením nedopalu zpět na rošt nebo vícevrstvým spalováním, kdy se palivo rozdělí dle velikosti a na rošt se klade na sebe od nejhrubějšího po nejjemnější. Na

konci roštu obvykle bývá jízek, který zajišťuje odvod škváry a brání pronikání falešného vzduchu do kotle. Dávkovat palivo na pás je možné pneumatickým, parním nebo mechanickým pohazovačem. Z důvodu rozsahu nebudou v této práci podrobně popsány. [15], [16]



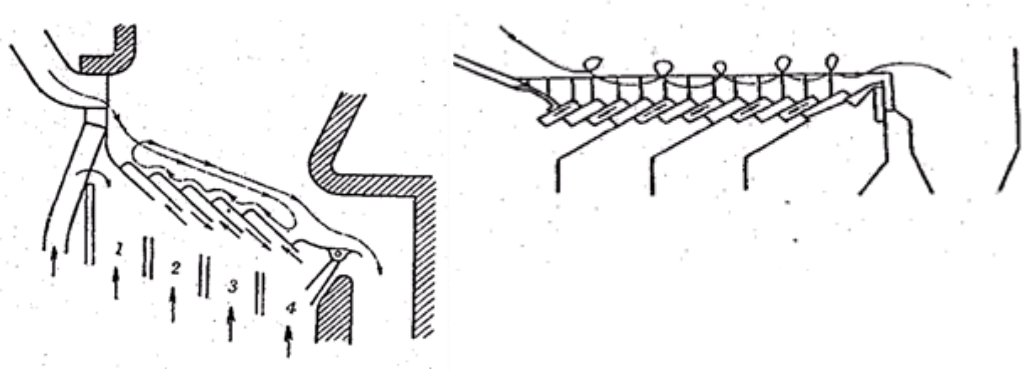
Obr. 13 Kotel s pásovým roštem. [33]

Přesuvný rošt je specifický tím, že polovinu roštnic má pevnou a polovinu pohyblivou. Ty se pravidelně střídají, přičemž ty hybné konají vodorovný vratný pohyb. Jsou umístěny terasovitě šikmo až do bodu, kde palivo dohořívá, to je vodorovné. Pohybem roštnic je spalovaný materiál postupně sesouván odshora dolů, přičemž se promíchává a provzdušňuje. Z tohoto důvodu jsou tyto zařízení obzvlášť vhodná pro paliva, která mají tendenci se spékat. [15], [16]



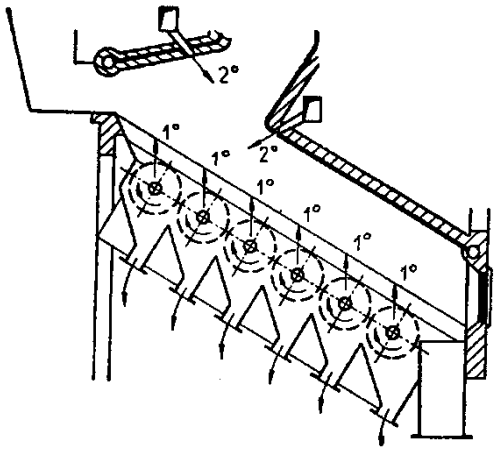
Obr. 14 Kotel s přesuvným roštem. [33]

Vratisuvný rošt je přesuvnému roštu svou konstrukcí podobný, ovšem roštnice se pohybují proti směru posouvání paliva. To má za výhodu většího promíchání spalovaného materiálu. Pokud je spékavé, tak se docílí i prolomení spečenců. V praxi existují dvě provedení těchto roštů. Vodorovné, které se nazývá kaskádový vratisuvný rošt a s výrazným sklonem vratisuvný rošt Martin. [16]



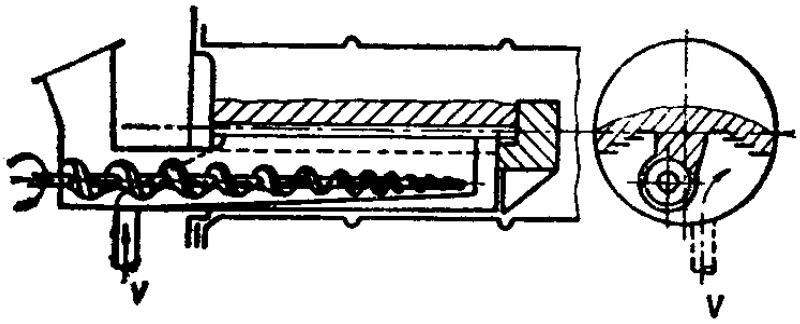
Obr. 15 (vlevo) Kotel s kaskádovým vratisuvným roštem. (vpravo) Kotel vratisuvným roštem Martin. [16]

Válcový rošt je silně skloněný směrem k výsypce. Skládá se z dutých chlazených válců. Jednotlivým řízením jejich otáček se dá regulovat spalovací proces v jednotlivých fázích. Tento typ roštu se využívá zejména při spalování odpadů. [16]



Obr. 16 Kotel s válcovým roštem. [16]

Retortový rošt využívá pro dopravu paliva šneku umístěného pod roštem. Vyhořelý materiál je poté vytlačován novým, proto musí být šnek velmi citlivě řízen, aby nedocházelo k vytlačování nespáleného paliva. Tomuto druhu roštu se budou věnovat další kapitoly této práce.



Obr. 17 Kotel s retortovým roštem. [16]

6. Zaměření na konkrétní příklad kotlů

Jedním z výrobců kotlů pro spalování biomasy ve Východních Čechách je firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. sídlící v Častolovicích s výrobním závodem v sousedním Kostelci nad Orlicí. Města se nalézají v Královéhradeckém kraji na úpatí Orlických hor. Ačkoliv se firma zdaleka neomezuje pouze na regionální trh, je vhodné využívání jejich produktů chránících životní prostředí právě zde, v oblasti, kde je nutné přírodu chránit.

6.1. Základní informace o firmě ROJEK a.s.

Základy firmy ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. položil již v roce 1921 pan Josef Rojek. Původním a stále primárním zaměřením firmy je výroba dřevoobráběcích strojů vlastní konstrukce. Ty se v Kostelci nad Orlicí vyráběly až do roku 1948, kdy byla tradice jejich produkce přerušena. Na základě restitučního zákona převzal v roce 1991 tuto firmu Mgr. Jiří Rojek, vnuk zakladatele. Stav podniku byl po navrácení velmi bídný a jeho výrobky nemohly trhu konkurovat. Mgr. Jiří Rojek spolu se svým synem Evženem Rojkem zastávají hlavní funkce ve vedení společnosti a podařilo se jim v současné době dovést firmu na úroveň významného světového výrobce v oboru. Společnost má stálé obchodní zastoupení v 65 zemích po celém světě a prezentuje své výrobky na těch nejvýznamnějších světových veletrzích. [27]

Představitelé firmy se ale nespokojili s úspěchem dřevoobráběcích strojů a snaží se expandovat i do jiných odvětví průmyslu, což zejména v dobách finanční krize stabilizuje chod podniku. V roce 1995 se společnost začala zabývat vývojem a výrobou tepelné techniky. Nyní se produkce všech kotlů pohybuje okolo 3000 kusů za rok.

6.2. Tepelná technika ROJEK

K problematice využívání biomasy ke spalování se firma staví velmi komplexně. Kromě samotných kotlů, zde využívají dlouhodobých zkušeností při zpracovávání dřeva a společnost má ve svých produktech velmi široké spektrum zařízení pro zpracování surových materiálů ke spalování.

Pro dělení dřevní hmoty menších rozměrů jsou v nabídce drtiče. Firma nabízí celkem šest druhů těchto zařízení, které se liší zejména typem pohonu a dále možností nadstavby s pytlováním. Pro zdrobňování materiálu v dosahu sítě elektrického proudu je zde v nabídce drtič osazený elektromotorem. Pro větší mobilitu zařízení je v druhém případě k pohonu použito benzínového čtyřtaktního motoru. Pokud je k dispozici traktor, lze využít třetí varianty drtiče, který se k němu připojí pomocí kardanové hřídele. Největší z nabízených produktů zvládne drtit dřevo do průměru 120 mm. [27]

Pro zpracování větví a kmenů větších průměrů nabízí společnost tři druhy štípačů. Každý je vždy omezen maximální štípací délkou a silou. Nejmenší zařízení je horizontální hydraulický štípač, poté je v nabídce menší a větší provedení vertikálního hydraulického štípače, přičemž největší stroj umožňuje štípat polena o délce až 1350 mm silou 100 kN. [27]

Mezi produkty firmy jsou také tři kotoučové pily, v provedení buď s posuvným stolem, nebo kolébkové. [27]

K opačným účelům a to konkrétně k výrobě briket z dostupné biomasy ale i například odpadu z průmyslu firma nabízí devět briketovacích lisů lišících se velikostí a výkonem. Brikety jsou přitom bez pojiv, mají tvar válce a mají průměr 50 mm až 65 mm. [27]

Obr. 18 Výrobky firmy ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. (vlevo nahoře) Drtič. (vpravo nahoře) Štípač. (vlevo dole) Kotoučová pila. (vpravo dole) Briketový lis. [27]

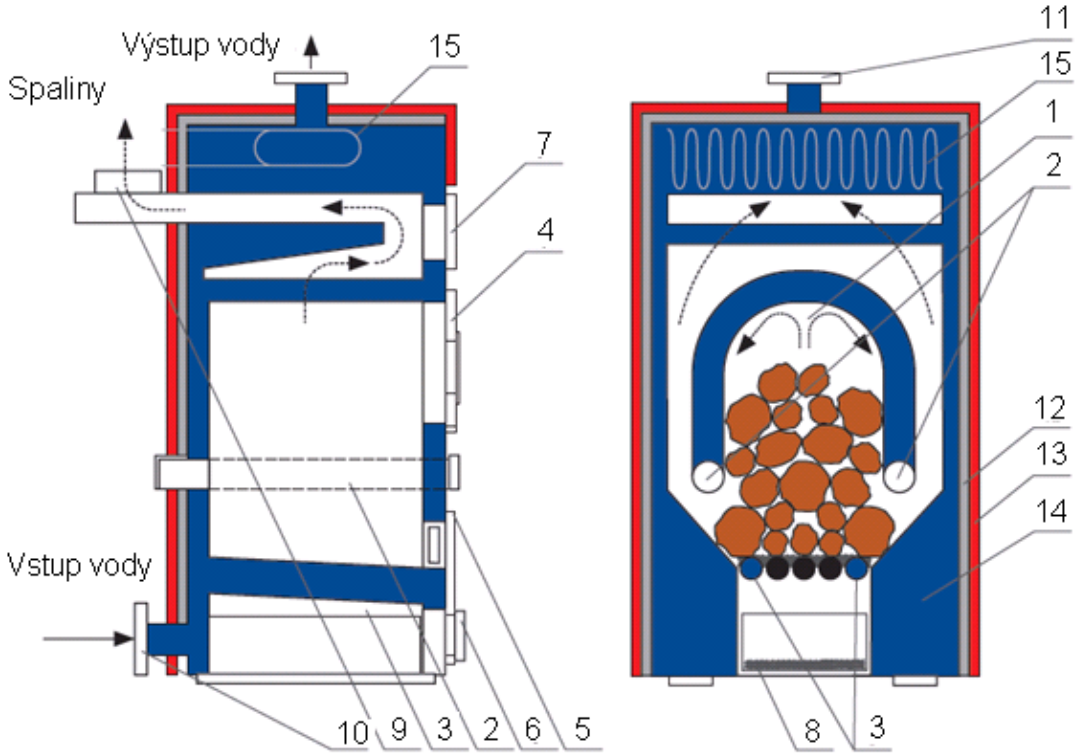
Vzhledem ke stoupajícím cenám zejména plynu a elektřiny se na trhu tvoří poptávka po zařízeních k levnějšímu vytápění obytných prostor. Proto firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. začala v roce 1995 s jejich vývojem a výrobou.

6.2.1. Kotle s ručním přikládáním

Kotle s ručním přikládáním patří k nejstarším výrobkům firmy, co se týče tepelné techniky. Mají označení **ROJEK KTP** a vyrábí se ve výkonové řadě 20 kW, 25 kW, 30 kW, 40 kW a 49 kW. Tato série zplyňovacích kotlů slouží díky konstrukci ohniště ke spalování biomasy ale i fosilních paliv. Je možno spalovat různé druhy

dřeva, pelety, dřevní štěpku, ale i ostatní druhy biomasy, hnědé a černé uhlí. Palivo spalované v kotli nemusí být nutně suché, ale jeho vlhkost bude mít samozřejmě vliv na výhřevnost. [27]

Kotel umožňuje efektivně spalovat paliva s velkým množstvím prchavé hořlaviny díky příznivé geometrii ohniště a jednoduché regulaci přívodu primárního a sekundárního vzduchu. Množství primárního vzduchu se reguluje otevíráním dvířek spodní komory. Tepelným regulátorem nebo ruční regulací, zároveň řídí požadovaný výkon kotle. Regulovatelnost je možná do 60 % jmenovitého výkonu. [27]



1. spalovací komora
2. přívod sekundárního vzduchu
3. vodou chlazený rošt
4. přikládací dvířka
5. čistící dvířka
6. dvířka pro přívod a regulaci primárního vzduchu
7. dvířka pro čištění kotle
8. popelník
9. vývod spalin do komína
10. přívod vratné vody do kotle
11. vývod topné vody z kotle
12. tepelná izolace kotle
13. oplechování kotle
14. modrá barva označuje vodu v kotli
15. dochlazovací smyčka

Obr. 19 Kotel ROJEK KTP 25. [27]

Kotel je svařovaná konstrukce z kotlového plechu. Má dva pláště vyplněné vodou, což zvyšuje jeho účinnost až na 75 %. Také část roštu je vyrobena ze žáropevných trubek s vodou uvnitř. Jelikož vstup vody je umístěn přímo před těmito trubkami, je možné do kotle vpouštět vratnou vodu o teplotě pouhých 40 °C. Pokud by tomu tak nebylo a byla voda o teplotě nižší než je cca 60 °C (při spalování dřeva) přiváděna do takové části kotle, která je v kontaktu se spalinami, docházelo by zde k jejich kondenzaci a výrazně by se snížila životnost kotle. Na mísící okruh vratné vody a vody ohřáté jsou poté kladeny o mnoho nižší požadavky. [27]

Kotel má krycí plechy a mezi nimi a tělesem je tepelná izolace. Díky jeho nízké tlakové ztrátě na straně spalin postačuje komínový tah 10 Pa - 12 Pa. [27]

Na kotle řady KTP je v nabídce jako doplněk peletový hořák KMP-PX21 a KMP-PX50. Ten lze zakoupit jako příslušenství. Jedná se o švédský výrobek sloužící ke spalování kvalitních bílých dřevěných peletek o průměrech 6 mm – 8 mm. Je vyrobený z nerezové žáruvzdorné oceli. Neobsahuje žádné pohyblivé části. Je v něm integrováno zařízení pro předehřívání spalovacího vzduchu a elektrické zapalování. Hned několik nezávislých bezpečnostních zařízení je v hořáku také zapojeno. [27]

Firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. zároveň pro uchycení peletového hořáku dodává adaptér, jehož instalace je velmi jednoduchá. Dále se musí dokonale utěsnit všechny ostatní otvory na kotli (dvířka pro primární a sekundární vzduch) a nastavit čidla teplot.

Velkou nevýhodou zařízení je, že je určeno pouze pro spalování kvalitních bílých peletek, které jsou finančně náročnější. Pokud se v hořáku spaluje nějaký horší typ materiálu, tak se jeho vnitřní část pomalu začne zaplňovat spékanci, až se plamen udusí nebo proces spalování přeruší některá z bezpečnostních zařízení hořáku.

Obr. 20 Peletový hořák KMP-PX21 na kotli ROJEK KTP 25. [27]

Pro srovnávání všech druhů kotlů se v České republice používá norma EN 303-5. Ta kotle hodnotí na základě hodnot emisí CO, C_xH_y a prašnosti. Dále záleží na účinnosti, jmenovitém výkonu kotle, druhu spalovaného paliva a způsobu jeho dodávky.

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí								
			CO			C_xH_y			prach		
			mg/m3 při 10 % 02								
			třída 1	třída 2	třída 3	třída 1	třída 2	třída 3	třída 1	třída 2	třída 3
Ruční	biologická	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
		>50 až 150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
		>150 až 300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
	fosilní	≤50	25000	8000	5000	2000	300	150	180	150	125
		>50 až 150	12500	5000	2500	1500	200	100	180	150	125
		>150 až 300	12500	2000	1200	1500	200	100	180	150	125
Samočinná	biologická	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
		>50 až 150	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
		>150 až 300	12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150
	fosilní	≤50	15000	5000	3000	1750	200	100	180	150	125
		>50 až 150	12500	4500	2500	1250	150	80	180	150	125
		>150 až 300	12500	2000	1200	1250	150	80	180	150	125

Tab. 10 Řazení kotlů do tříd vzhledem k emisím dle normy EN 303-5. [27]

Kotle KTP spadají do zařízení s ruční dodávkou paliva se jmenovitým výkonem do 50 kW. Ať již spalují biologické nebo fosilní palivo, kvůli vyšším emisím C_xH_y spadají do třídy 1. Jako příklad lze uvést emise kotle KTP 30, které ve státní zkušebně dosahovaly hodnot 4042 mg/m3 CO, 351 mg/m3 C_xH_y a 85 mg/m3 prachu. Těchto výsledků bylo dosaženo při spalování dřeva a byly přepočteny na přebytek O_2 10 %.

Jelikož se na základě tlaku z Evropské unie do budoucna počítá se sankcemi pro provozovatele kotlů s třídami 1 a 2 dle ČSN 303-5, firma ROJEK dřevozpracující stroje a.s. již testuje a dolaďuje nový typ kotle, určeného pro ruční přikládání paliva. Jedná se o pyrolýzní kotel, který by měl přijít na trh na podzim roku 2010, a bezpečně by jeho emise měly splňovat třídu 3 dle ČSN EN 303-5. Pokud bude k tomuto zařízení připojena akumulační nádrž o požadovaném objemu, tak by se na tento kotel měly vztahovat dotace z programu Zelená úsporám.

6.2.2. Kotle s automatickým dávkováním paliva

Firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. zareagovala na program Státního fondu životního prostředí Zelená úsporám, jenž vešel v platnost 1. dubna 2009 a který byl 17. srpna 2009 modifikován do nynější podoby. Tento program umožňuje poskytování dotací na kotle ROJEK A15, ROJEK TKA BIO 25 a ROJEK TKA BIO 45, které jsou zaregistrovány v seznamu výrobků a technologií splňujících podmínky nutné k účasti v programu. Tudíž se z těchto tří zařízení stala priorita veškeré výroby tepelné techniky ve firmě.

Podporované opatření v tomto programu spadá do kategorie C1 a C2, což je **v**ýměna neekologického zdroje vytápění za nízkoemisní zdroj vytápění na biomasu se samočinnou dodávkou paliva nebo instalace nízkoemisního zdroje vytápění na biomasu se samočinnou dodávkou paliva do novostaveb**.** Výše podpory je v tomto případě 95000Kč pro rodinné domy a 25000 Kč na bytovou jednotku v domech bytových. Při přihlášení do programu je však nutné nechat si zpracovat projekt a kalkulaci měrné roční spotřeby. S tím jsou spojené další náklady, na které však program přispívá 15000 Kč u domů rodinných a 30000 Kč u domů bytových (na bytovou jednotku). Žadatel, v případě zájmu o podporu, musí doložit dané dokumenty a nechat si zařízení namontovat a uvést do provozu od firmy, která je vedena v "Seznamu odborných dodavatelů" v registru programu Zelená úsporám. [28]

Aby mohl být kotel zařazen do seznamu výrobků a technologií splňujících podmínky nutné k účasti v programu, musí být jeho emise nižší, než mezní stanovené programem Zelená úsporám a musí splňovat požadovanou minimální účinnost. Jako paliva je použito dřevěných peletek o výhřevnosti 15,5 MJ/kg.

Jmenovitý tepelný příkon [kW]	Minimální účinnost [%]	Mezní hodnoty emisí [mg/m^3]		
		CO	C_xH_y	prach
≤50	82	2200	80	70
>50≤300	85	1250	70	70

Tab. 11 Mezní hodnoty emisí stanovených v programu Zelená úsporám. [27]

Kotel	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	Minimální účinnost [%]	Mezní hodnoty emisí [mg/m^3]		
			CO	C_xH_y	prach
ROJEK TKA BIO 25	24,7	85,8	550	1	44
ROJEK TKA BIO 45	47,5	85,6	546	35	49
ROJEK A15	12,1	87,1	275	11	17

Tab. 12 Hodnoty emisí kotlů ROJEK naměřené ve státní zkušebně. [27]

Poznámka: Jmenovitý tepelný příkon se vypočítá ze jmenovitého tepelného výkonu a účinnosti. Měření je vztaženo na 10 % přebytku kyslíku ve spalinách.

Parametr kotle	A15	TKA BIO 25	TKA BIO 45
Regulovatelný výkon pelety	3 - 13 kW	7,5 - 25 kW	13,5 - 45 kW
Regulovatelný výkon hnědé uhlí ořech 2	-	7,5 - 25 kW	12,9 - 45 kW
Účinnost uhlí / pelety	- / 86%	83% / 86%	83% / 86%
Třída kotle dle ČSN EN 303-5	3	3	3
Rozsah teploty spalin	max. 180 °C	max. 190 °C	max. 210 °C
Rozměry (š x v x h)	1130 x 1105 x 780 mm	1222 x 1530 x 910 mm	1565 x 1642 x 1043 mm
Výška kouřovodu	945 mm	1424 mm	1549 mm
Připojovací rozměr kouřovodu	129 mm	159 mm	219 mm
Objem zásobníku paliva	300 l	300 l	500 l
Objem vody v kotlovém tělese	106 l	108 l	156 l
Připojovací rozměr vody	G 2“	G 2”	G 2”
Připojovací napětí	230 V/ 50 Hz	230 V/ 50 Hz	230 V/ 50 Hz
Elektrický příkon	100 W	100 W	100 W

Tab. 13 Parametry jednotlivých kotlů ROJEK. [27]

Kotel ROJEK A 15 je nejnovějším produktem v řadách tepelné techniky ROJEK. Je určený ke spalování dřevěných pelet průměrů od 6 mm do 8 mm. Uhlí se v tomto zařízení spalovat nedá z důvodu malých rozměrů podavače a retorty. Skládá se z kotlového tělesa, retortového hořáku, násypky na palivo a regulační jednotky. Kotlové těleso má vlastní konstrukci jinak je zbytek zařízení analogií kotlů ROJEK TKA BIO 25 a ROJEK TKA BIO 45, o kterých je pojednána následující kapitola a jednotlivé komponenty jsou zde podrobně rozebrány. Kotel je výbornou alternativou do obytných prostor s tepelnou ztrátou do 14 kW. Je to však jednoúčelové zařízení a neumožňuje spalovat palivo v režimu ručního přikládání. Proto se zájem zákazníků soustředí spíše na kotle ROJEK TKA BIO 25 a ROJEK TKA BIO 45, které tuto možnost nabízí a jsou proto zajímavějšími produkty.

Obr. 21 Kotel ROJEK A15. [27]

7. Kotle ROJEK TKA BIO 25, ROJEK TKA BIO 45

Kotle **ROJEK TKA BIO 25 a TKA BIO 45** byly zkonstruovány na základní koncepci kotlů KTP. Kromě samotného kotle je zařízení složeno z retortového hořáku převzatého od firmy Ling Krnov s.r.o., zásobníku na palivo a nezbytné elektroniky sloužící k regulaci.

Kotle jsou určeny ke spalování dřevěných peletek o průměru od 6 mm do 10 mm nebo hnědého uhlí ořechu 2 o zrnitosti 4 mm až 25 mm. S přídavnými zařízeními lze spalovat i rostlinné peletky (podrobně bude popsáno následovně). Díky velmi originální konstrukci samotného kotle ho lze velmi snadno přestavit na kotel s ručním přikládáním paliva. Spalovat v něm poté lze například kusové dřevo.

Kotle pracují v plně automatických režimech. Při naplnění zásobníku paliva není nutná obsluha kotle několik dní v závislosti na požadovaném výkonu zařízení. Regulace výkonu je řízena elektronicky, je jí tedy možné napojit jak na systém s pokojovým termostatem, tak na oběhové čerpadlo, případně jiná zařízení. Na otopný okruh kotel neklade žádné nároky. Lze napojit systém se samotížným oběhem vody nebo nuceným, s otevřenou nebo uzavřenou expanzní nádobou. [27]

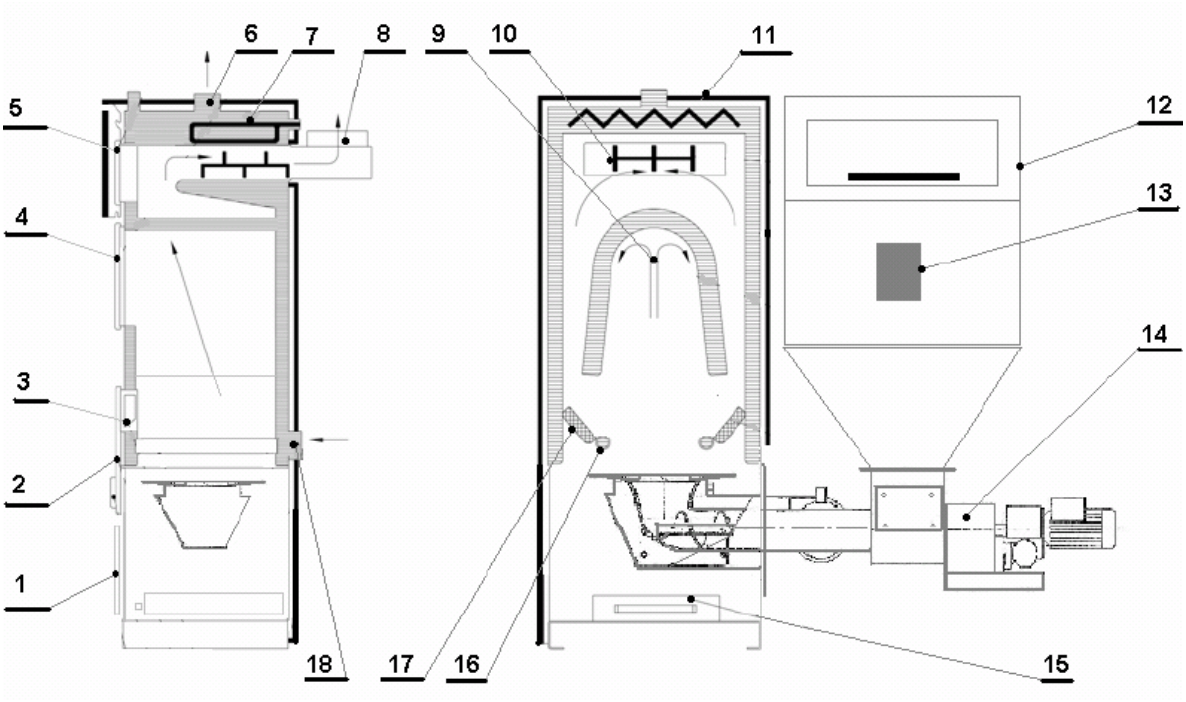
7.1. Konstrukce kotle

Kotel samotný vznikl modifikací kotle pro ruční spalování KTP. Kromě zanedbatelných konstrukčních úprav byla celá konstrukce zvýšena o spodní část určenou pro odvod popela a pro umístění retortového hořáku. Dále na boku kotle je otvor, skrze který je dovnitř veden hořák. Těleso nemá přívody sekundárního vzduchu a je zatěsněna i růžice v horních dvířkách, aby do kotle při automatickém spalování nevnikal falešný vzduch.

Při potřebě spalovat v kotli kusové dřevo je nutné odstranit uzávěr na spodních dvířkách, kudy je pod rošt přiváděn primární vzduch, a přemontovat růžici na horních přikládacích dvířkách, pro přívod sekundárního. Jelikož u kotle KTP slouží k dalšímu přívodu sekundárního vzduchu otvory na přední a zadní straně kotle, které varianta TKA nemá, k tomuto účelu je na bocích roštů keramická tvarovka, která vede část vzduchu ze spodních dvířek do dohořívací komory. Přívody všech vzduchů do kotle lze poté regulovat.

Rošt se sestavuje ručním seskládáním jednotlivých litinových roštnic na dvě nosné žáropevné trubky, které jsou v kotli zachovány z kotle KTP. Celá konstrukce umožňuje velmi dobré využití tepla ať už automatickém nebo ručním režimu, bez výraznějšího zanášení teplosměnných ploch.

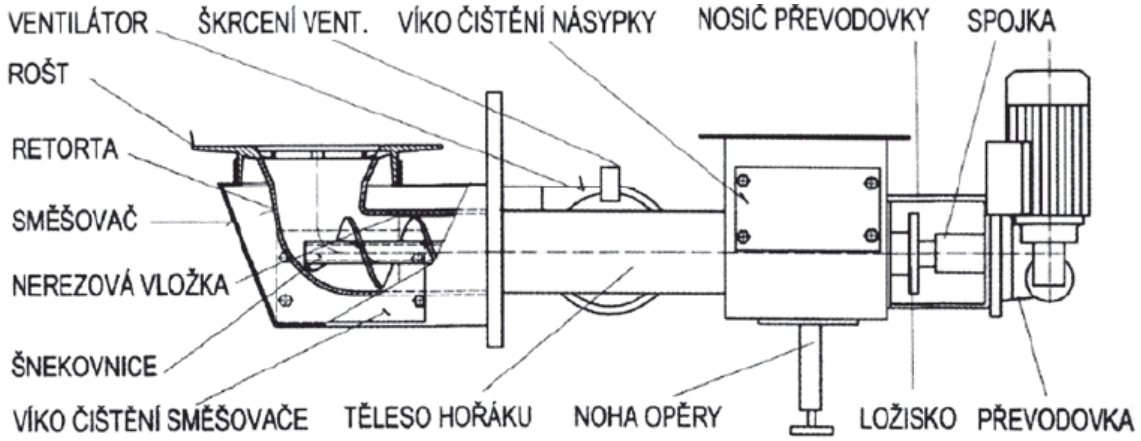
Kotlové těleso je svařené z kvalitního kotlového plechu. Svary jsou provedeny pod ochrannou atmosférou. Jako konečná operace je provedena hydraulická zkouška jejich těsnosti. Těleso je dále obaleno tepelnou izolací a opatřeno krycími plechy. Kotel má ukazatele teploty a tlaku vody.



1. čistící dvířka popelníku
2. dvířka přívodu primárního vzduchu (dusivka)
3. sklápěcí rošt
4. přikládací dvířka
5. dvířka pro čištění kotle
6. vývod teplé vody z kotle
7. dochlazovací smyčka
8. vývod spalin do komína
9. spalovací komora
10. brzdič spalin
11. oplechování kotle
12. zásobník paliva
13. řídící panel
14. retortový hořák LING
15. popelník
16. vodou chlazené nosné trubky roštu
17. keramická tvarovka
18. přívod vratné vody do kotle

Obr. 22 Kotel ROJEK TKA BIO 45. [27]

Jednoznačně nejsložitější a pro optimalizaci spalování nejvhodnější částí celého zařízení je **retortový hořák**. Jeho konstrukci má patentovanou firma LING Krnov s.r.o., od které tento vzor firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. odkoupila a nyní ho celý do svých kotlů vyrábí sama.



Obr. 23 Retortový hořák. [27]

Retortový hořák funguje na principu retortového roštového spalování. Je umístěn vespodu kotle. Palivo je z násypky do ohniště přiváděno zespodu šnekovým podavačem. Ten je poháněn elektromotorem ovládaným elektronickou regulací. Mezi motorem a šnekem je čelní převodovka a pevná spojka.

Šnekový dopravník vytlačuje již shořelý materiál palivem novým na přírubu retorty (výrobci zvanou rošt). Tato příruba i koleno retorty jsou vyrobeny z jakostní litiny, díky čemuž je zde dobře akumulováno teplo, kterým se ohřívá přiváděné palivo nad teplotu, kdy se uvolňuje prchavá hořlavina. Ta dále prochází přes rozžhavenou vrstvu paliva, kde hoří za přívodu vzduchu. Celé koleno retorty je obklopeno směšovačem, kterým se přivádí spalovací vzduch. Ten je hnán ventilátorem. Množství vzduchu se současně řídí ručně nastavováním škrtící klapky. V blízké budoucnosti budou však otáčky ventilátoru řízeny automatickou regulací. Konečný výstup spalovacího vzduchu je mezi retortou a přírubou. [29]

7.2. Provoz kotlů

Elektronická regulace je umístěna na přední straně zásobníku paliva. Pracuje ve čtyřech režimech a to v automatickém, manuálním, nastavovacím a servisním. Na jejím vstupu jsou odporový teploměr pro snímání teploty kotlové vody, havarijní termostat a dálkové řízení, jako například pokojový termostat. [27]

Nastavovací režim slouží zejména k definování parametrů, které se mění s použitím jiného paliva. Jednou z nejdůležitějších konfigurací je doba chodu a interval mezi dávkováním paliva. Logicky jsou tyto dvě hodnoty ovlivněny tím, jaký výkon od zařízení vyžadujeme. Hrubé hodnoty pro různá paliva firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. zákazníkům poskytuje, avšak pro konkrétní palivo je dobré jejich doladění. Nastavením doby chodu šneku se analogicky nastavuje množství dávkovaného paliva. K tomu je nutné dodávání přesného množství spalovacího vzduchu. Jak již bylo zmíněno, nyní se tento objem řídí škrtící klapkou na ventilátoru, v blízké době budou ale době chodu šneku a době prodlevy přiřazeny vždy i otáčky ventilátoru.

Nastavované parametry	5kW	15kW	25kW	45kW
Doba chodu [s]	7	15	20	20
Doba prodlevy [s]	70	50	40	25
Otáčky ventilátoru [s^{-1}]	3	5	6	8

Tab. 14 Parametry nastavení regulační jednotky pro spalování dřevěných pelet. [27]

V nastavovacím režimu se také předdefinuje teplota výstupní vody z kotle, do jejíž dosáhnutí systém dodává palivo. Může se nastavovat od 60 °C do 90 °C. [27]

Doporučuje se však nastavení nad 70 °C, aby se spolehlivě zamezilo kondenzaci spalin. Při dosažení této teploty přejde kotel do útlumu.

Pokud je kotel v útlumu, je vypnut jak ventilátor, tak šnekový podavač. Palivo v retortě ovšem neuhasne a pomalu prohořívá do jejího kolene, proto je nutné po určitém časovém intervalu zapnout ventilátor i šnekový podavač a materiál vytlačit do oblasti přívodu vzduchu. Důvodem k tomu je, aby kotel neuhasl a palivo bylo znovu rozdmýcháno. Zařízení je poté stále připraveno k najetí do pracovního režimu. Doba útlumu se také volí v nastavovacím režimu podle druhu spalovaného paliva (při spalování peletek se čas mezi rozdmýcháními pohybuje okolo 25 min a proces znovu rozhoření běží zhruba 2 min). Pro jistotu, že materiál během útlumu neuhasne, se i po posledním chodu šneku, nechá ventilátor danou dobu v provozu. Tato doba se standardně volí na 40 vteřin. [27]

Servisní režim umožňuje zobrazení předchozích poruchových a havarijních stavů kotle a nastavení parametrů, které vyplývají ze soustavy kotel-topný okruh. Tímto parametrem je třeba teplota hysterze, která udává, o kolik °C musí klesnout voda v kotli, aby zařízení přešlo z útlumu do pracovního režimu. Tato hodnota se řídí podle daného topného okruhu. Z pravidla u okruhů s větší akumulací tepla je větší a naopak. [27]

Z provozního a ekologického hlediska je přechod kotle do útlumu dosti nevýhodný. Tomu se regulace kotle snaží předejít vhodnou modulací výkonu, jejíž parametry se také nastavují v servisním režimu. Zjednodušeně lze říci, že se nastavuje teplota, od které kotel s modulací výkonu začne, a doba, o kterou se prodlouží interval mezi dávkováním paliva (snížení výkonu).

Manuální režim již podle svého názvu umožňuje uživateli ručně řídit chod šneku a zvlášť i chod ventilátoru. Jednotlivé hodnoty lze vidět na displeji regulační jednotky. Tohoto režimu se využívá zejména při najíždění kotle, kdy je třeba dostat palivo ze zásobníku do ústí retorty. Dále se tato funkce dá použít při ručním zapalování kotle. [27]

Automatický režim slouží k bezobslužnému provozování kotle. Na displeji se při něm zobrazuje teplota výstupní vody. Plně se řídí hodnotami z nastavovacího a servisního režimu. Útlum a práce kotle v tomto režimu je dále řízena pokojovým termostatem v případě poruchy havarijním termostatem. [27]

Zjednodušením pro běžného uživatele ve firmě ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. plánují nechat regulační jednotku přeprogromovat tak, aby si kromě ručního nastavení doby chodu šneku a prodlevy šneku (také chodu ventilátoru) mohl vybrat z programu, kde pro dřevěné peletky a hnědé uhlí budou tyto hodnoty již předdefinovány a uživatel si zvolí pouze stupeň výkonu kotle. Rozmezí by mělo být od jedné do deseti. Systém by poté měl být tak inteligentní, že pokud se bude i na

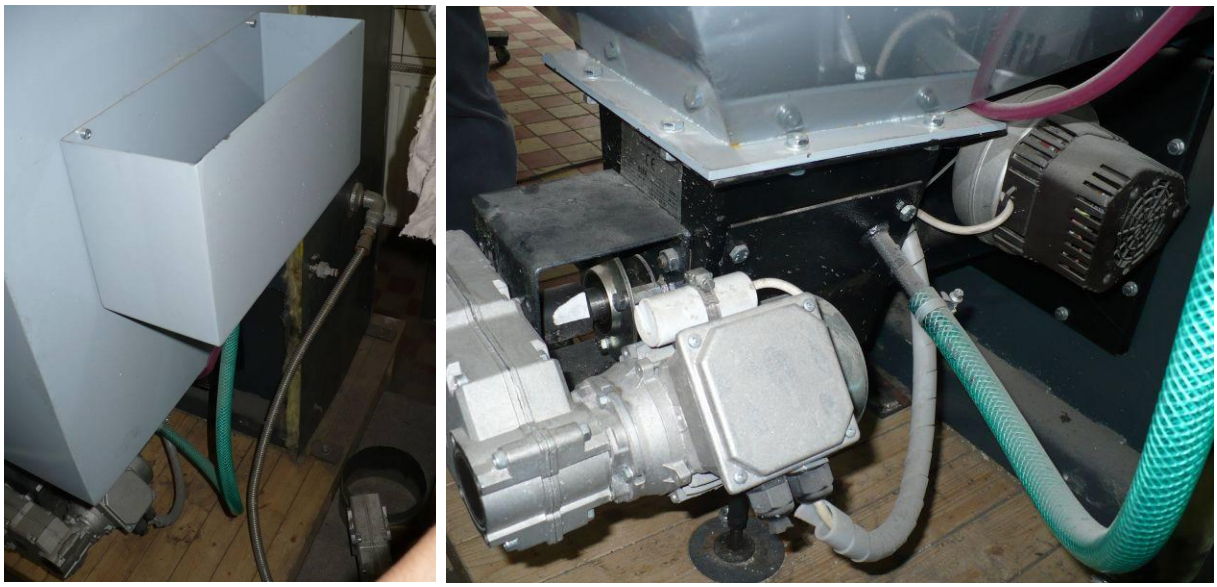
uživatelem nastavený stupeň výkonu teplota kotlové vody rychle zvyšovat automaticky se bude nastavený výkon kotle snižovat. Tím se vylepší současná modulace výkonu.

Poruchové a havarijní stavy kotle jsou vždy nepříjemnou, ale nevyhnutelnou součástí každého zařízení. Proto jsou kotle firmy ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. vybaveny bezpečnostními prvky. Základem každého kotle je jeho zabezpečení proti přetopení. Pokud kotel pracuje v automatickém režimu, je proti němu chráněn havarijním termostatem nastaveným na teplotu kotlové vody 95 °C. Pokud voda této teploty dosáhne, automaticky se zastaví dodávka paliva. Při provozu s ručním přikládáním paliva nelze výkon skokově omezit, proto je nutné zapojení chladící bezpečnostní smyčky. [27]

Další možnou nepříjemností je například neúspěšné podpálení kotle nebo jeho vyhasnutí. Pokud po spuštění kotle během 60 min nevzroste teplota kotlové vody nad 35 °C, regulátor automaticky kotel odstaví. Stejně tak se stane, když na 30 min teplota výstupní vody klesne pod 35 °C. [27]

Komplikace mohou vzniknout i v hořáku. Pokud například dojde k havarijnímu odstavení a víko zásobníku paliva nebude dobře uzavřené, palivo může mít tendenci k prohořívání do zásobníku. K tomu slouží bezpečnostní nádržka naplněná vodou, která je přes tavnou pojistku propojená do šnekového podavače. Pojistka je z obyčejného lepidla do tavných pistolí a při prohoření paliva se lehce roztaví a dojde k uhašení paliva vodou.

Druhým možným problémem v hořáku se může stát jeho zablokování. Existují dvě příčiny. Vklínění nevhodného předmětu do šnekového podavače nebo vytvoření napečence v retortě, který může vzniknout spalováním spékavých materiálů. V obou případech je nutné vyprázdnit násypku paliva přes její čistící otvor. A dále v případě napečenců nebo neúspěšného uvolnění šneku demontovat podavač. Demontáž je velice jednoduchá, stačí povolit čtyři šrouby upevňující šnek.



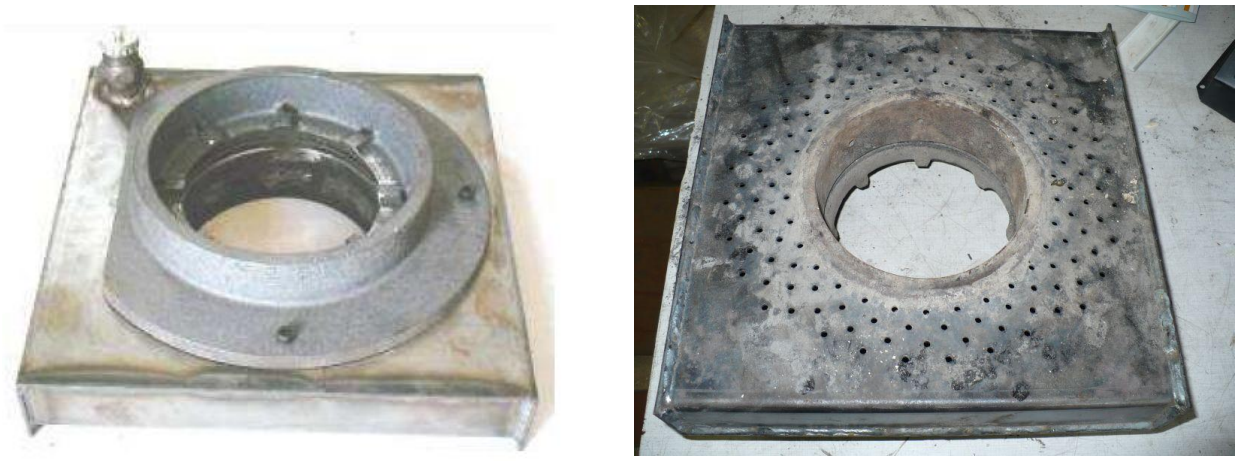
Obr. 24 Bezpečnostní nádržka a její připojení k podavači.

7.3. Spalování rostlinných peletek

Kotel je navržen pro spalování dřevěných peletek nebo uhlí, přesněji ořechu 2. Při použití adaptéru pro spalování obilí a přenastavením kotle lze však úspěšně spalovat i rostlinné peletky. Jak je popsáno v teoretické části práce, rostlinné materiály obsahují velké množství draslíku, sodíku a křemíku. Tyto prvky snižují teplotu tavení popele, a vedou k vytváření nízkotavných silikátů. Jakmile se tyto peletky spalují v kotli běžným způsobem, nedochází k plynulému odpadávání popele z příruby. Části popelovin se na ní taví a tvoří se spečence. Z nich se po čase na přírubě udělá "věnec", který zabraňuje odvodu popela z ohniště.

Obr. 25 Spečenec vzniklý spalováním rostlinných peletek bez adaptéru.

Pro tyto případy spalování firma ROJEK dřevozpracující stroje a.s. vyvinula adaptér, který spalování rostlinných pelet umožňuje. Ten se do kotle namontuje namísto stávající příruby. Na rošt kotle je poté nutné umístění keramických desek, které část tepla odrážejí zpět do oblasti hoření. Tím napomáhají zvýšení teploty v ohništi a lehčímu zapalování rostlinných pelet. Nutné je dále přenastvanení regulace kotle dle individuálního procesu spalování.



Obr. 26 Adaptér pro spalování rostlinných peletek. [27]

Spalování rostlinných materiálů v tomto kotli je velice složité, rostlinné peletky jsou velmi často různých složení, a proto se spalovací proces výrazně mění i při spalování dvou stejných paliv, například pěstovaných v různých lokalitách. Lepších výsledků spalování pro některé druhy rostlinných paliv bylo dosaženo, při přidávání sekundárního vzduchu do kotle, přemontováním růžice na horních dvířkách. Jindy to na spalovací proces mělo spíše negativní důsledky. Při některých pokusech se vyplatilo uvolnění zátky na spodku adaptéru, určené pro jeho čištění, která poté přisávala vzduch z kotle. Jiná měření s touto alternativou měla špatný výsledek. Při některých pokusech se dokonce zkoušelo otevřít čistící otvor na směšovači vzduchu, což také měnilo aerodynamiku v kotli.

Tato paliva obsahují kromě prvků nepříznivě ovlivňujících chování popele také velké množství chlóru, který snižuje životnost kotle korozivním chováním a tvorbou nánosů (popsáno v teoretické části).

Spalování rostlinných pelet v kotlích ROJEK TKA BIO zahrnuje tak širokou problematiku a tak rozsáhlá experimentální řešení, na kterých se ve firmě stále pracuje, že nemá smysl se jimi v této práci dále zabývat. Primárně určeným palivem využívaným v těchto kotlích jsou dřevěné peletky a drtivá většina zákazníků topí právě jimi. Proto se v následujících kapitolách práce bude zabývat pouze jejich spalováním.

7.4. Využití automatického zapalování

Útlumový režim kotle není optimální, jak z hlediska provozního, ekonomického tak ekologického. Během útlumu je snaha, aby palivo nehořelo a zároveň neuhaslo. Dociluje se toho tak, že je mu odebrán přísun vzduchu. Nahořelý materiál se tedy začne dusit a doutnat. Během toho vznikají emise způsobené nedokonalým spalováním jako CO, C_xH_y, dioxiny a NO_x. Z paliva se uvolňují frakce způsobující zanášení kotle. Po určité době, v závislosti na použitém materiálu, kotel spustí šnekový dopravník a ventilátor a spalované palivo rozdmýchá.

Zde by se u kotlů ROJEK TKA BIO našlo místo pro jisté vylepšení řízení. V současné době pracuje zařízení i v útlumovém režimu v nastavených hodnotách doby chodu šneku a doby prodlevy (dále otáčky ventilátoru), což je mnohdy zbytečné. Pokud je kotel nastaven na nejvyšší výkon a je zahájen proces znovurozhoření. Do ohniště je dodáváno více paliva, než by bylo pro dobré rozhoření třeba. Vhodné by tedy bylo do regulační jednotky kotle přidat logickou funkci řízení, která by definovala dobu chodu šneku a dobu prodlevy pouze při regeneraci hořící vrstvy. Toto opatření by vedlo k ušetření paliva.

Pokud je kotel v útlumovém režimu po delší čas, například mimo hlavní topnou sezónu, kdy tepelná ztráta vytápěných objektů je značně menší, bude narůstat spotřeba topiva potřebného k udržování hoření. Spotřeba tohoto takřka nevyužitého topiva může znamenat nemalé finanční náklady.

Pokud by měl být kotel dlouhou dobu v útlumovém režimu, vyplatí se ho uhasit a dále v potřebnou dobu opět podpálit. Kotle TKA BIO a A15 jsou zařízení s ručním podpalováním paliva. Je tedy nutné jejich vybavení automatickým zapalováním. Tím se dostáváme do obvyklého sporu, řešeného v každodenní praxi. Navýšením investičních nákladů se sníží ty provozní. Uhašení kotle se vyplatí, jen za předpokladu, že by náklady na jeho uhašení a znovu podpálení byli nižší než cena paliva spáleného za trvání útlumu kotle.

Při spalování dřevěných peletek kotel regeneruje nahořelou vrstvu paliva v intervalu po 25 minutách. Pokud problém vztáhneme pro kotel TKA BIO 25, dá se počítat s hodinovou spotřebou paliva v útlumovém režimu okolo 120 gramů, při nastavení kotle na střední úroveň výkonu (podávání paliva 15 vteřin, prodleva 50 vteřin).

V případě požadavku na uhašení kotle je nutné, aby čerstvé peletky dokonale vytlačili hořící vrstvu paliva. Toho lze docílit za stálého chodu šnekového podavače po dobu 5 minut, což odpovídá zhruba 1200 g pletek. Cena světlých peletek nakupovaných v pytlích po 15 kg – 25 kg se v České republice pohybuje od 3900 Kč do 5500 Kč za tunu. Pro tento případ bude uvažována průměrná cena 4700 Kč/t. [30]

Při použití horkovzdušné pistole Leister (popsána níže), jejíž výkon je 1600 W, je ke vznícení peletek třeba 90 vteřin. Pro jistotu dobrého rozhoření paliva je vhodné nechat zařízení v provozu 120 vteřin (data zjištěná od Ing. Svačiny, pracovníka firmy BENEKOVterm s.r.o.). Poté je k zapálení potřeba 0,053 kWh elektrické energie. Při orientační ceně kWh na českém trhu 4,50 Kč, stojí jedno zapálení 24 haléřů za elektřinu. [30]

S těmito údaji je jednoduché spočítat, po jakou dobu je vhodné udržovat kotel v útlumovém režimu a kdy je vhodné ho uhasit a poté novu podpálit. Pokud cenu za hodinovou spotřebu paliva v útlumovém režimu, vynásobenou časem, který v něm kotel přetrvává, postavíme do rovnosti, k ceně za peletky potřebné k uhašení a ceně za elektrikou energii potřebnou ke znovupodpálení, dostaneme požadovaný čas.

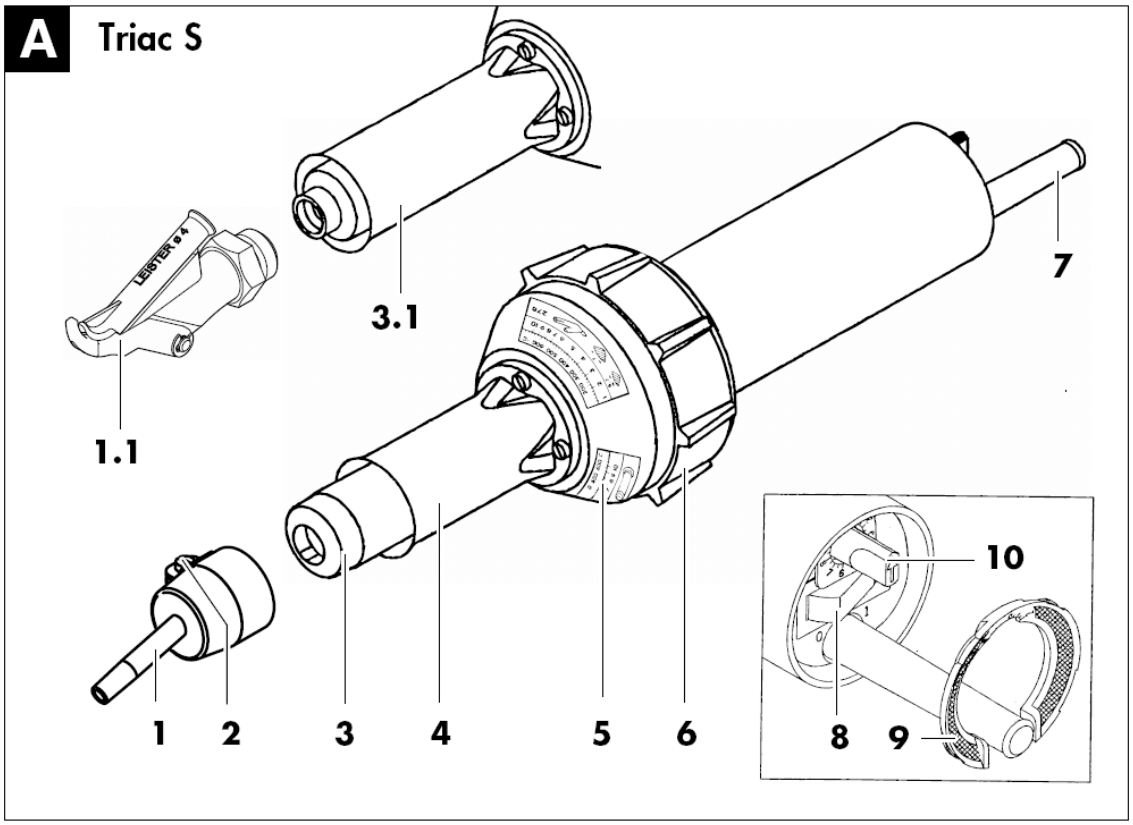
$$0{,}564 \times \text{čas} = 5{,}64 + 0{,}24$$

$$\text{čas} = 10 \text{ hodin a } 25\text{minut}$$

Z kalkulace plyne, že pokud by systém od vnějšího řídícího zařízení dostal informaci, že více než 10hodin a 25minut nebude potřeba dodávka tepla, vyplatí se kotel uhasit a poté ho znovu podpálit. Do výpočtu není zahrnuto množství tepla, které je možné využít z útlumového režimu. Většina ho je však zmařena. Na druhé straně určité teplo se uvolní, ještě v popelníku z rozžhavené vrstvy materiálu z ohniště. Část energie je do kotle také předána elektrickým zapalováním. Tyto tepla lze zanedbat.

Pro automatické zapalování pevného paliva zejména potom peletek se v praxi využívá elektrických zapalovačů. Ty fungují na principu zahřívání odporového drátu. Pokud se drát umístí přímo mezi zapalované palivo, funguje zapalování spolehlivě pouze do chvíle, kdy se na něj nabalí nečistoty a popel, poté ztrácí účinnost a spolehlivost. Nejvhodnější je tedy využití podpalovacího zařízení na principu horkovzdušné pistole. Tyto aparáty vyvíjejí horký vzduch o teplotě až 600 °C. Což bohatě stačí k podpalu dřevěných peletek, jelikož teplota vznícení dřeva se pohybuje okolo 270 °C. [31]

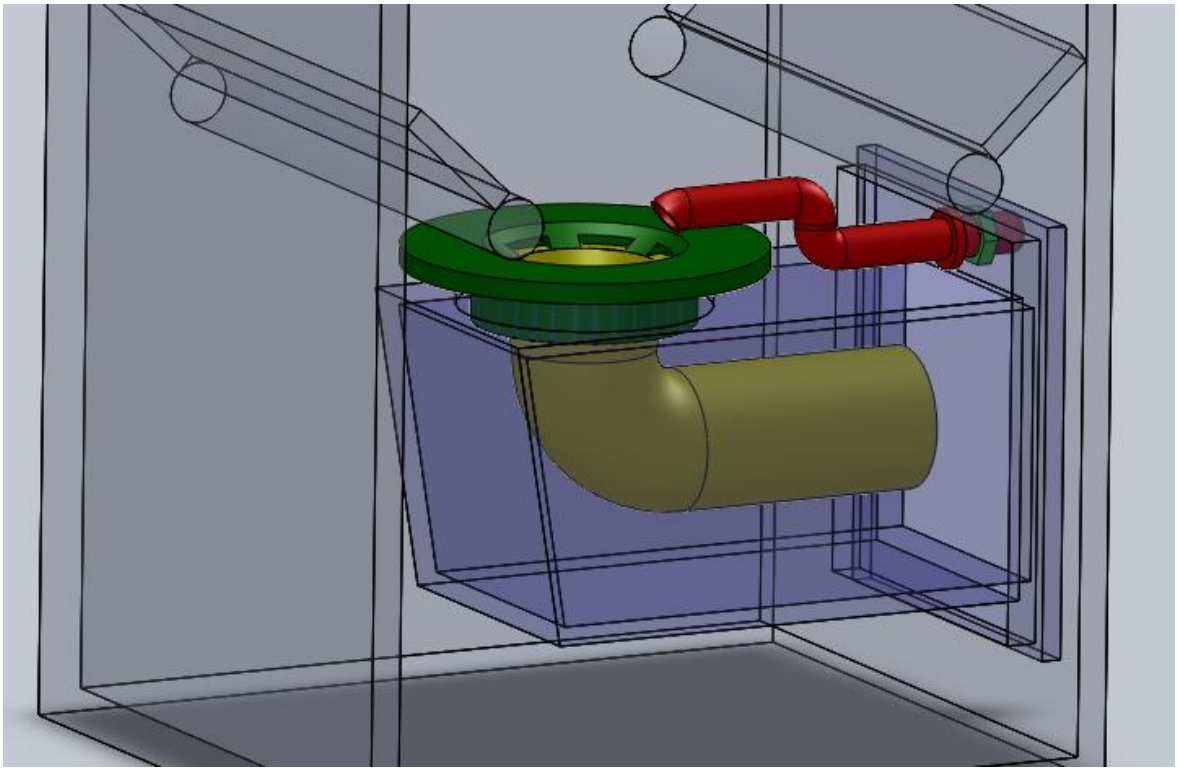
Velmi kvalitní produkty určené přímo k podpalování dřevěných peletek nabízí firma Leister. Ta má s výrobou horkovzdušných instrumentů velké zkušenosti. Jako vhodná alternativa se zdá být horkovzdušný multifunkční nástroj TRIAC S o výkonu 1600 W k připojení do elektrické sítě s 230 V. Průtok ohřátého vzduchu tímto zařízením je 230 l/min(20 °C) a maximální teplota 600 °C. [31]



1. Tryska nástrčná
1.1. Tryska šroubovací
2. Šroub
3. Trubice topného prvku pro nástrčné trysky
3.1. Trubice topného prvku pro šroubovací trysky
4. Chlazená ochranná trubice
5. Teplotní stupnice
6. Odkládací gumová patka
7. Kabel síťového připojení
8. Síťový spínač
9. Vzduchový filtr
10. Potenciometr pro nastavení teploty

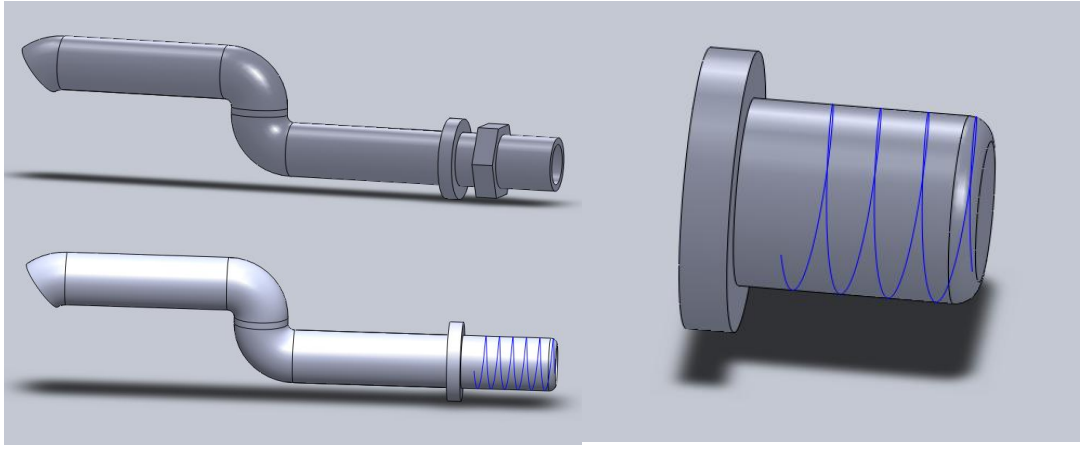
Obr. 27 Horkovzdušný fukar Leister. [31]

Připojení horkovzdušného zařízení ke kotli by bylo možné jednoduchou montáží tvarované trubky z žáropevné oceli, která by sloužila jako tryska. Dobrou variantou řešení by bylo ji přivést do kotle skrz přírubu umístěnou na směšovači. Do té by pouze stačilo obrobit otvor požadované velikosti. Nebyla by nutná žádná úprava na samotném kotlovém tělesu. Montáž a demontáž trubky by vyžadovala pouze utažení/povolení matky vně kotle. Pro dokonalé utěsnění by bylo vhodné mezi přírubu trysky a směšovače nanést tmel, který se v kotli používá také na zatěsnění drážky mezi kruhovým nadstavcem směšovače a horní přírubou retorty. Do trysky by bylo z důvodu těsnosti nejvíce vhodné horkovzdušný nástroj našroubovat. V případě demontáže trubky je nutné otvor do kotle uzavřít jednoduchým špuntem, se stejným principem upevnění.



Obr. 28 Trubka pro vedení horkého zapalovacího vzduchu do ohniště (červená).

Obr. 29 Zapálený kotel v provozu.



Obr. 30 (vlevo) Model zapalovací trubky. (vpravo) Špunt pro utěsnění kotle bez zapalování.

Jednoznačně nejlepší hodnoty, co do účinnosti, tak do kvality spalovacího procesu a množství vznikajících emisí, dávají kotle řady TKA BIO za jejich plného výkonu. Dá se však říct, že po většinu jejich provozu tomu tak není. Tento problém se dá snadno vyřešit použitím akumulační nádrže. Ty umožňují ukládání přebytku spotřebovávaného tepla a jeho pozdější využití. V momentě, kdy kotel tuto nádrž ohřeje na požadovanou teplotu, je nutné jeho odstavení. Akumulační nádrž dále dodává požadované množství tepla namísto kotle. Doba, po kterou je schopna poptávku po teplu uspokojit, je velmi specifická v závislosti na její velikosti a tepelné spotřebě uživatele. V praxi se však setkáváme s desítkami hodin, po které je třeba kotel udržovat v útlumovém režimu. Pokud je však zařízení vybaveno automatickým zapalováním, je možné jeho odstavení a ušetření finančních prostředků za palivo. V momentě potřeby tepelné dodávky je kotel opět automaticky uveden do provozu.

Další možností ještě větší úspory energie, sekundárně financí, za cenu větších investic do zařízení, je pak vhodné využití ekvitermní regulace. Princip tohoto řízení teplot spočívá v přímé regulaci zdroje, tedy kotle, na základě změny venkovní teploty. Snaha je zachovat teplotu v obytné místnosti konstantní. Tyto systémy spotřebovávají jen takové množství energie, které je pro udržení tepelné pohody nutné. [30]

7.5. Spalovací vzduch

V otázce účinnosti zařízení a velikostí emisí je nutné také hledat optima. Zákazník požaduje účinnost co nejvyšší, stát se oproti tomu snaží regulovat množství vznikajících emisí. Pokud si uživatel nastaví malý přebytek spalovacího vzduchu, bude kotel dosahovat velmi dobrých účinností, jelikož plamen bude méně ochlazen a přebytečný vzduch nebude odnášet část tepla do komína. Naproti tomu bude vznikat velké množství emisí.

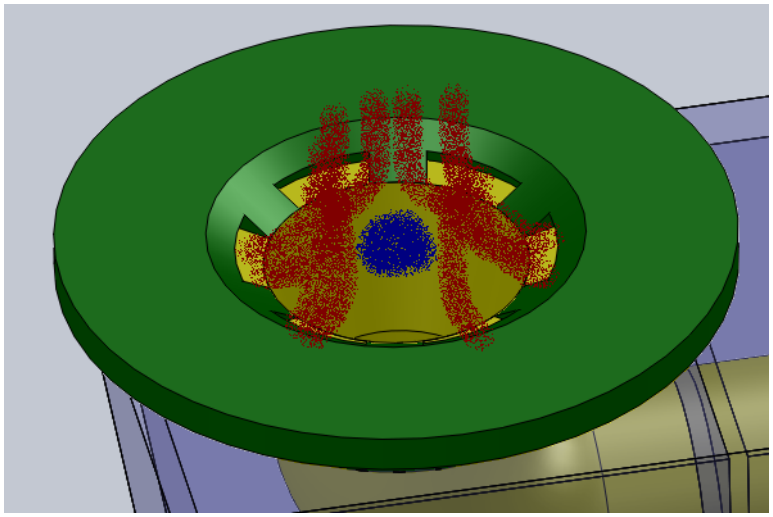
Firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. nyní testuje obdobu automatických kotlů TKA BIO v 80 kW provedení. Kotel se od produktů s výkony 25 kW a 45 kW liší pouze velikostí. Geometrické uspořádání zařízení zůstalo stejné. Pokud vše dopadne dle předpokladů představitelů společnosti, měl by se kotel objevit na trhu na podzim roku 2010.

7.5.1. Přívod spalovacího vzduchu

V praxi, zejména u malovýkonových kotlů, platí pravidlo, čím větší kotel, tím menších emisí by se mělo dosahovat. Toto tvrzení lze také jednoduše odvodit z normy EN 303 -5, kde se například mezní hodnoty CO s rostoucím výkonem kotle stejné třídy značně snižují. Odůvodnění tohoto problému spočívá ve stabilitě a kvalitě spalovacího procesu, který u kotlů větších výkonů také není tak citlivý.

Při měření koncentrací oxidu uhelnatého ve spalinách však ke snižování emisí se zvětšujícím se výkonem kotle nedochází dle předpokladů. Již při měření ve státní zkušebně bylo u kotle TKA BIO 25 naměřeno 550 mg/m^3 CO a u modelu TKA BIO 45 pouze o 4 mg/m^3 méně, ačkoliv by se dalo očekávat při navýšení výkonu lepších výsledků. Při referenčním měření ve zkušebně v kosteleckém závodu, bylo poté zjištěno u 80 kW kotle množství emisí CO přes 450 mg/m^3. Což neindikuje zlepšení emisí, jelikož kotel se během měření ladí, zatímco ve zkušebně se dosahuje horších výsledků, jelikož toto nastavování, například množství vzduchu, není možné.

Důvodem těchto problémů s emisemi je zvětšující se konstrukce kotle. Ačkoliv geometrie je pořád stejná, se zvětšujícími se rozměry se mění v prostorech hoření poměry paliva a vzduchu. U kotle TKA BIO 25 spalovací vzduch proudící z prostoru mezi horní přírubou a retortou lehce pokryje jeho potřebu v celé ploše hoření. Průměr retorty kotle TKA BIO 25 je 130 mm. U zařízení s výkonem 80 kW má tento rozměr hodnotu 190 mm. Při dobrém pozorování si lze povšimnout nedostatku vzduchu ve středu ohniště. To se projevuje již od pohledu nedokonalým spalováním, namísto "čistých" plamenů z prostředku retorty stoupá směs plamínků a kouře. Řešení tkví v přívodu spalovacího vzduchu do středu ohniště.

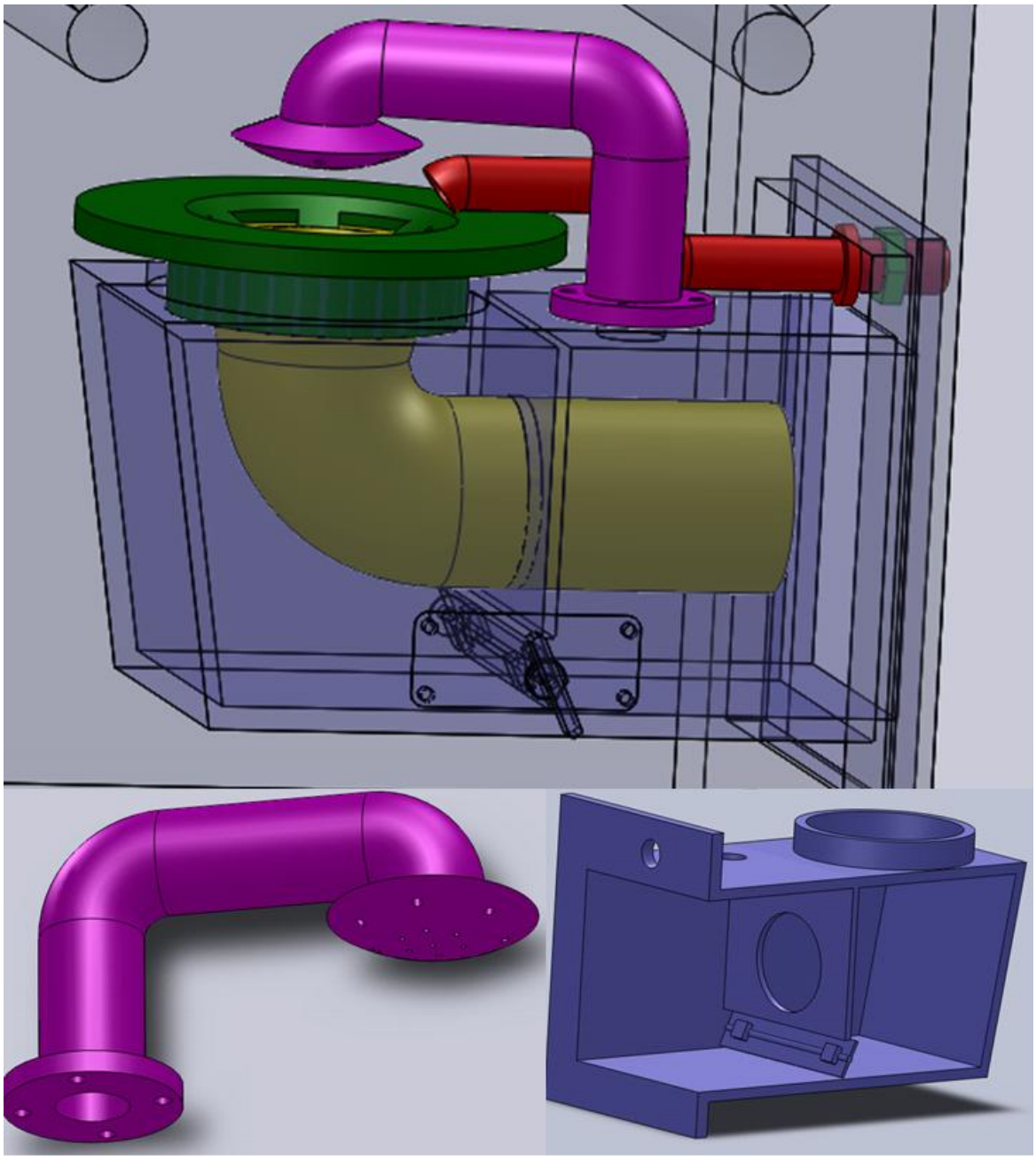


Obr. 31 Nedostatek spalovacího vzduchu uprostřed retorty.

Vhodnou alternativou by mohlo být přivedení spalovacího vzduchu do středu retorty pomocí vhodně navržené "sprchy". Ta by z důvodu umístění přímo nad ohniskem hoření musela být vyrobena ze speciální žáruvzdorné keramiky. Jednotlivé trysky sprchy by byly poté navrženy tak, aby spalování vzduch byl rovnoměrně dodáván ve středu retorty a směrem k okrajům by jeho dodávané množství klesalo, protože jeho potřeba po kraji ohniště je pokryta. Z důvodu očekávaného většího odporu vzduchu v tryskách sprchy je nutná jeho regulace. Jednoduchým řešením je

umístit do tělesa směšovače jednoduchou příčku, která končí pod šnekovým dopravníkem. Pod ní je poté škrtící klapka, kterou je možné ručně řídit množství vzduchu dodávaného do ohniště. Navržená klapka je do tělesa směšovače uchycena skrz čistící otvor, tudíž její demontáž je velmi jednoduchá a zároveň nebrání obsluze v čištění zařízení.

Ve vzduchovém okruhu kotle těmito řešeními vzroste tlaková ztráta systému. Bude nutné vhodně zvýšit otáčky ventilátoru, aby ho bylo do spalovacího procesu dodáváno adekvátní množství.



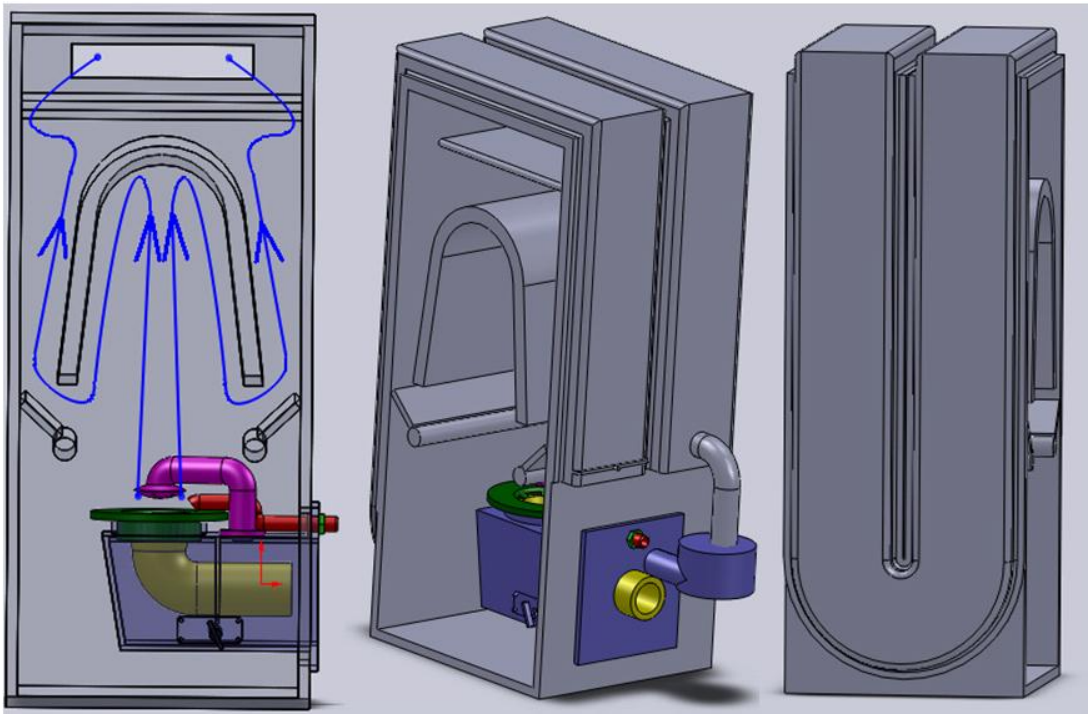
Obr. 32 (nahoře) Umístění sprchy. (vlevo dole) Sprcha. (vpravo dole) Úpravy uvnitř směšovače.

Možný by byl také zcela oddělený přívod vzduchu. Mohl by být stejně, jako v případě automatického zapalování realizován přívodní trubkou skrz přírubu směšovače. Vně kotle by byl poté druhý ventilátor, který by byl také řízen regulační jednotkou. Toto řešení by však bylo více nákladné a zbytečně by zvyšovalo cenu celého zařízení.

7.5.2. Předehřev vzduchu

Jelikož do kotle není dodáván sekundární vzduch, je nutné dokonalé vyhoření prchavé hořlaviny již při průchodu přes hořící vrstvu paliva. Jak již bylo zmíněno, prchavá hořlavina se z dřevních materiálů uvolňuje při teplotách okolo 200 °C, avšak pozvolna v širším rozmezí teplot. Je tedy nutné, aby těchto teplot bylo zaručeně dosaženo v dostatečné hloubce pod hořící vrstvou paliva. Tomu napomáhá zejména litinová retorta, která teplo dobře akumuluje a do prostoru paliva distribuuje.

U kotlů s hořáky podobných konstrukcí se k docílení dostatečné teploty v ohništi využívají různé druhy keramických kleneb, které teplo do procesu zpět reflektují. Jejich využití však z aerodynamických podmínek v kotli, není vhodné. Spaliny již jednou mění smysl pohybu, a pokud by se do prostor nad ohništěm tato klenba umístila, výrazně by se zvýšila tlaková ztráta spalin.



Obr. 33 (vlevo) Zjednodušená aerodynamika v kotli. (uprostřed a vpravo) Vedení vzduchu.

Negativní vliv na teplotu v ohništi má spalovací vzduch, při průchodu směšovačem negativně ochlazuje retortu, což se nutně musí odrazit na nižší teplotě uvnitř a horšímu uvolňování prchavé hořlaviny. Dále vzduch ochlazuje plameny, čímž se zhoršuje samotný proces spalování a zvyšuje se množství emisí jako například CO nebo dioxinů.

Předehřev spalovacího vzduchu spalinami za výstupem z kotle je sériově nerealizovatelný, protože kouřovody jsou konstruovány individuálně dle požadavků v jednotlivých objektech. Konstrukčně jednoduchou variantou předehřevu spalovacího vzduchu by mohlo být jeho vedení po bocích a horní stěně kotlového tělesa. Vzduch by byl nasáván do tenkostěnného plechového profilu, ze kterého by byl veden do ventilátoru. Plechový profil by byl dále pokryt tepelnou izolací a krycím plechem, jako tomu je u nynějších kotlů.

Ohřívání vzduchu tímto způsobem se vzdáleně jeví jako nevýhodné, jelikož žádaným produktem je vystupující ohřátá voda z kotle, které takto vlastně odebereme část přijatého tepla ze spalovacího procesu. Tato energie je však zároveň do systému vrácena ohřívaným vzduchem. Výsledkem bude vyšší teplota v kotli, lepší kvalita spalovacího procesu a nižší emise.

Jako příklad lze uvažovat kotel TKA BIO 25. Firma Rojek dřevoobráběcí stroje a.s. doporučuje, provozovat zařízení s teplotou kotlové vody mezi 80 °C a 90 °C. Lze tedy uvažovat teplotu 85 °C. Teplosměnná plocha, mezi ohřívaným vzduchem a kotlem, je dle rozměrů kotle TKA BIO 25 a navrženým modelem vedení vzduchu zaokrouhlena na 2 m^2. Rozměry vedení vzduchu jsou 320 mm x 30 mm. Kotel při plném výkonu 25 kW spotřebovává zaokrouhleně 50 m^3 vzduchu za hodinu. Jelikož přesné hodnoty, jako je například spotřeba spalovacího vzduchu nebo teplota kotlové vody v přesných oblastech, nejsou pro tento výpočet dostupné, bude proveden jako pouze orientační s omezenou přesností. Z důvodu neznalosti poměrů přestupu tepla z kotlové vody volnou konvekcí, bude příklad zjednodušen na pouhý přestup tepla z kotlového tělesa do spalovacího vzduchu nucenou konvekcí. Změna hodnot použitých konstant v závislosti na teplotě bude také zanedbána a použijí se jejich hodnoty pro předem odhadnutou střední teplotu vzduchu 40 °C(ρ, η, Pr, λ,cp). Z důvodu zjednodušení nebude ani uvažováno zvětšení součinitele přestupu tepla na horní straně kotle.

Veličina	Značka	Hodnota	Jednotka
teplota vzduchu v kotelně	t_a	293,15	K
plocha průřezu kanálku	S	0,0096	m^2
obvod průřezu kanálku	o	0,7	m
hustota vzduchu	ρ	1,092	kg/m^3
dynamická viskotita vzduchu	η	0,00001922	kg/m*s
rychlost proudění vzduchu	u	1,44	m/s
Dynamická viskozita vzduchu za teploty stěny kotle	η_w	0,00002123	kg/m*s
délka vedení vzduchu	l	6,2	m
Prandtlovo číslo	Pr	0,73	-
tepelná vodivost	λ	0,0265	W/m*K
plocha výměny tepla	So	2	m^2
teplota stěny kotle	tw	358,15	°C
průtok vzduchu	v	0,0138888	m^3/s
průtočná hmotnost vzduchu	m	0,0161666	kg/s
měrné teplo	cp	1010	J/kg*K

Tab. 15 Zadané hodnoty pro výpočet.

Výpočet:

- Výpočet ekvivalentního průměru Dekv

$$Dekv = 4 \times \frac{S}{o} = 0{,}0548571mm$$

- Výpočet Reynoldsova čísla Re

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{Dekv} \times \rho \times \mathrm{u}}{\eta} = 4488{,}124868$$

Tato hodnota vyjadřuje, že proudění probíhá v přechodné oblasti mezi laminárním a turbulentním prouděním. Příklad se zaobírá nucenou konvekcí vzduchu uvnitř "trubky". Tomu jsou přiřazeny následující rovnice.

- Výpočet Nusseltova čísla Nu

$$Nu = 0{,}116 \times \left(Re^{\frac{2}{3}} - 125\right) \times Pr^{\frac{1}{3}} \times \left(1 + \left(\frac{Dekv}{l}\right)^{\frac{2}{3}}\right) \times \left(\frac{\eta}{\eta w}\right)^{0{,}14} = 15{,}798718$$

- Výpočet přestupu tepla α

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda}{Dekv} = 7{,}631933$$

- Výpočet výstupní teploty ohřívaného vzduchu

$$Q = \alpha \times So \times (t_w - t_1)$$

$$Q = m \times cp \times (t_b - t_a)$$

$$Q = Q$$

Teplota t_1 je střední teplota vzduchu, pro kterou lze v našem případě použít vztahu:

$$t_1 \approx \frac{t_a + t_b}{2}$$

Poté:

$$\alpha \times So \times \left(t_w - \frac{t_a + t_b}{2}\right) = m \times cp \times (t_b - t_a)$$

Po dosazení hodnot:

$$t_b = 336{,}3805\ K$$

$$t_b = 63{,}23\ °C$$

Vzduch by se tedy ve vedení okolo kotlového tělesa, za uvažovaných podmínek, předehřál z uvažované teploty v kotelně 20 °C na teplotu přes 60 °C. K dalšímu jeho ohřátí dochází po jeho přivedení do kotle, kde proudí okolo rozžhaveného litinového kolene retorty.

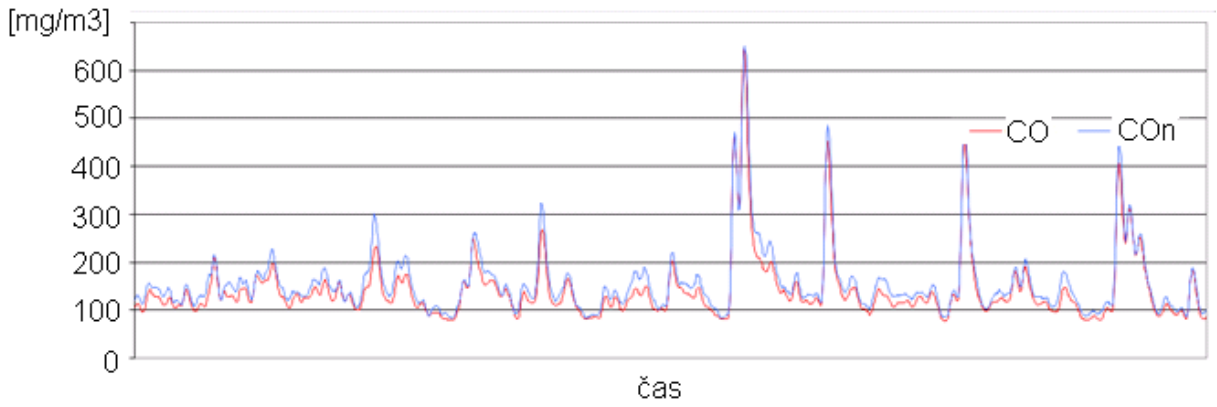
Na ústí navrhnutého vedení vzduchu je škrticí klapka. Ačkoliv budou otáčky vzduchového ventilátoru řízeny regulační jednotkou, bude vždy množství vzduchu v kotli zároveň ovlivněno tahem komína. K regulaci tohoto tahu lze však použít i lepších zařízení než je škrticí klapka. Tím je například automatický regulátor tahu. Ten při tahu komína větším, než je nastavený připouští ke spalinám takzvaný falešný vzduch z kotelny a spalovací proces je tak neovlivněn. Zároveň funguje jako protiexplozní klapka, při průchodu hořlavých plynů do kouřovodu a jejich vzplanutí se otevře a nedojde tak k poškození komína.

Předehřátý vzduch má pozitivní vliv jednak na rychlejší vysušení spalovaného paliva, především však na zrychlení části procesu podpalování nového materiálu. Pokud by tento proces byl urychlen, spalování se více stabilizuje. Celý proces se urychlí, čímž se zvětší i výkon samotného zařízení. [32]

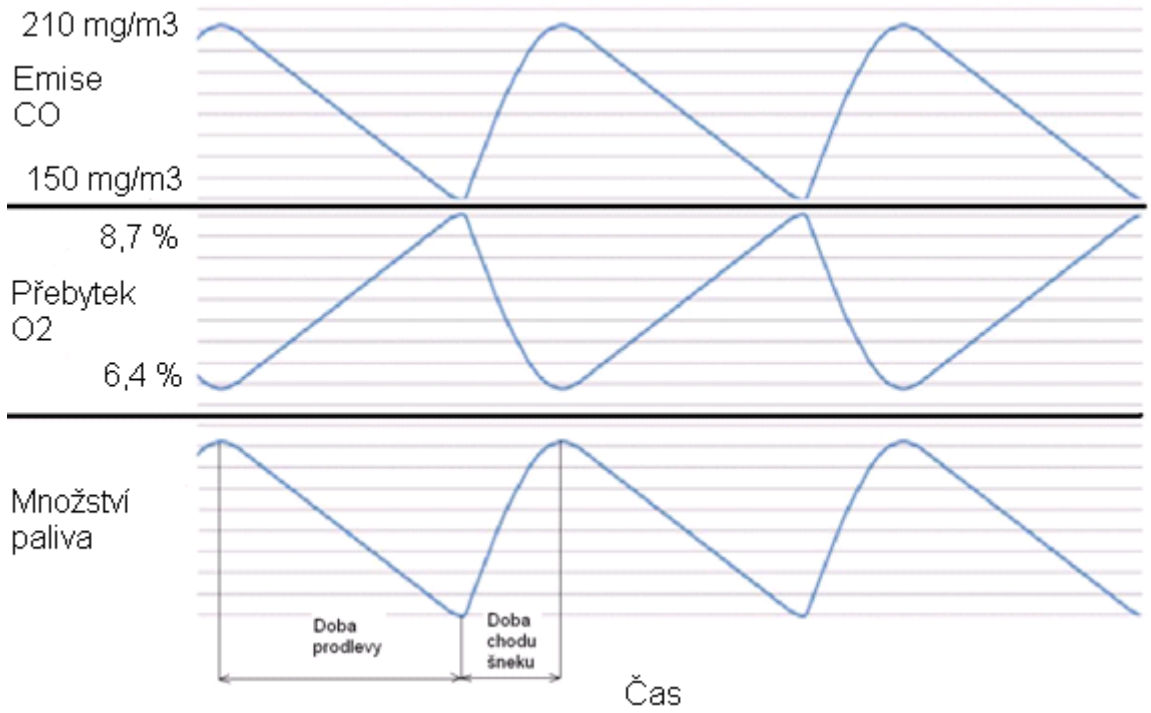
7.6. Plynulá regulace výkonu

Během měření emisí si lze povšimnout výkyvů množství CO. Ty jsou způsobeny dodávkami nového paliva do ohniště. Jelikož objem spalovacího vzduchu je konstantní a v ohništi se mění objem spalovaného paliva odhořívaním a opět jeho dodáním, nastává ke značným změnám jeho přebytku a tím i k výkyvům emisí CO.

Obr. 34 (vlevo) Měření emisí ve zkušebně firmy ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s.. (vpravo) Použitý analyzátor spalin.



Obr. 35 Graf naměřených hodnot CO (COn – hodnoty CO přepočtené na přebytek O_2 10 %).



Obr. 36 Zidealizovaný detail grafu z měření spalin.

Hodnoty kolísání CO se při měření průměrně pohybovali v rozsahu od 210 mg/m^3 do 150 mg/m^3. Průměrný největší přebytek kyslíku byl zaokrouhleně 8,7 %, nejmenší potom 6,4 %.

Tomuto problému lze zamezit použitím frekvenčního měniče, řídícího chod motoru. Pokud bude dodávka paliva do ohniště plynulá, spalování se tím stabilizuje a bude možné lépe seřídit přebytek kyslíku, tím snížit i emise CO.

S tímto souvisí i celé přeprogramování regulační jednotky, na které by se již nenastavovala doba chodu šnekového podavače a doba prodlevy ale pouze rychlost podávání paliva.

8. Závěr

Cena fosilních paliv a elektřiny se zvyšuje a do budoucna tomu nebude jinak, proto se kotle malých výkonů spalujících alternativní topiva stávají velkým trendem. Jejich podíl na trhu roste a je jim nutno věnovat velkou pozornost, jelikož vývoj v této oblasti stále ještě probíhá.

U těchto zařízení je velmi důležitý pohled na celou problematiku. Výsledek tepelného komfortu a spolehlivosti netvoří pouze kotel, ale soustava kotel-komín-palivo-otopná soustava. Sladění těchto komponentů je pro funkčnost nezbytné.

Většina zákazníků se zajímá o komplexní zařízení. Prioritou bývá co největší flexibilita v možnosti spalovat různá paliva a co nejmenší nároky na čas obsluhy a údržby, za malé finanční investice. Tyto parametry se v praxi dají skloubit jen velice obtížně.

Kotle ROJEK TKA BIO umožňují velmi úspěšně spalovat ručně přikládané kusové dřevo, v automatickém režimu pak dřevěné peletky, hnědé uhlí ořech 2 a za určitých podmínek i rostlinné peletky. Tím dokážou pokrýt tepelnou potřebu vytápěných objektů i v případě poruchy například automatického podávání paliva. Plní tak požadavky většiny zákazníků. Nutné je však zamyšlení, že pokud by byl kotel určen pouze ke spalování jednoho určitého druhu paliva, bylo by možné ho konstruovat tak, aby se zvýšila účinnost a snížily emise. Flexibilita v použití paliv není zadarmo.

V práci byl navrhnut předehřev spalovacího vzduchu. Bylo počítáno s teplotou okolí kotle 20 °C. Navrhnutým řešením by se za plného výkonu dařilo vzduch předehřívat na teplotu větší než 60 °C. Je otázkou, do jaké míry by tato aplikace dokázala ovlivnit spalovací proces, zvýšit výkon zařízení a vylepšit jeho účinnost. Odpověď by se dala získat případným experimentem, kdy by spalovací vzduch byl na danou teplotu předehříván externím zařízením. Poté by se dalo snadno zvážit využití navrženého předehřívání v praxi.

Problém s nedostatkem vzduchu uprostřed retorty u kotlů vyšších výkonů bude muset být z hlediska vysokých emisí vyřešen před uvedením kotle o výkonu 80 kW na trh. Jedna možnost řešení byla navrhnuta.

Zajímavou alternativou inovace se zdá být zabudování automatického zapalování. Jak bylo uvedeno, jeho využití se vyplatí, pokud by měl být kotel v udržovacím režimu déle jak 10 a půl hodiny. Problém je, jak dát kotli impulz, že právě nyní přechází do útlumového režimu, který bude trvat déle, než je mezní vypočtená doba. To není složité jedině v případě využití akumulačních nádrží. Po uložení daného tepla lze jednoduše poslat do kotle signál k odstavení. Jelikož jsou však úspory za palivo vzhledem k pořizovací ceně automatického zapalování poměrně malé, je vhodné jeho využití v každém případě zvlášť posoudit.

Aplikace frekvenčního měniče k řízení otáček motoru je bezesporu u tohoto druhu spalovacího zařízení výhodná.

Firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. se vývojem svých kotlů velmi aktivně zabývá. Testování však probíhá čistě experimentálně. Menší firmy, jako tato, se z ekonomických důvodů nemohou dostatečně věnovat nejmodernějšímu vývoji, jako je například CFD (Computational Fluid Dynamic) technologie. Prioritou je prodej. V případě společnosti ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. jsou nejnovější technologie výzkumu částečně nahrazeny letitými zkušenostmi zaměstnanců.

Budoucností v řešené problematice jsou bezesporu akumulační nádrže. Jako důkaz tohoto tvrzení lze považovat legislativní požadavky na tepelné systémy v západní Evropě nebo ve Skandinávii. Dále jimi bude vyřešen problém výběru výkonu kotle do vytápěné stavby. Tepelná ztráta objektu je počítána na teploty, které jsou v dané lokalitě pouze pár dní v roce. Po zbytek doby provozu kotle je zařízení většinou značně předimenzováno. Jak bylo popsáno, zařízení dává nejlepší spalovací výsledky, když se provozuje na plný výkon, což akumulační nádrže umožňují. Výhodnou alternativou je dále systém nízkoteplotního vytápění, kterým lze využití nádrží k akumulaci tepla ještě zefektivnit. Firma ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s. se snaží na tyto trendy pružně reagovat.

9. Seznam použitých zdrojů

[1] http://www.i-ekis.cz/?page=biomasa

[2] Pastorek Z., Kára J., Jevič P., Biomasa: obnovitelný zdroj energie, Praha: FCC,2004

[3] http://www.mpo.cz

[4] http://www.biom.cz

[5] http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=4&idkapitola=239

[6] http://www.euractiv.cz/energetika/clanek/eu-nesplni-dilci-cil-v-podilu-obnovitelnych-zdroju-energie

[7] http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/CENMSFOEBO8W

[8] Pařízek T., Bébar L., Lisý M., Pavlas M., Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR, výzkumná zpráva, ÚPEI VUT Brno, 2006 Public,2004

[9] Ingwald Obernberger, Decentralized biomass combustion: State of the art and future development, Technical University of Graz, Austria, 1997

[10] http://www.calu.bangor.ac.uk/Technical%20leaflets/010303%20Biomass%20as%20a%20fuel.pdf

[11] http://www.energetickyporadce.cz/uspory-ve-firmach/vyuziti-obnovitelnych - zdroju/biomasa.html#prime-spalovani

[12] http://www.kotle-verner.cz

[13] http://www.recetox.muni.cz/sources/unido_narodni_inventura_03/POPsINV_cast_VII_Kapitola_14_Technologie.pdf

[14] http://www.polycomp.cz/

[15] Dr. Ing. Tadeáš Ochodek, Základy spalování, Výzkumné energetické centrum VŠB – Technická univerzita v Ostravě, kl. 4265

[16] Doc. Ing. Václav Černý, DrSc., Doc. Ing. Břetislav Janeba, CSc., Ing. Dr. Jiří Teyssler, CSc., Parní kotle, Technický průvodce, Praha, 1983

[17] http://www.vosaspsekrizik.cz/cs/download/studium/sps/elektroenergetika/nova-technologie-v-klas-energetice.pdf

[18] http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iii/papers/10-Milcak.pdf

[19] Chungen Yin, Lasse A. Rosendahl, Søren K. Kær, Grate-firing of biomass for heat and power production, Institute of Energy Technology Aalborg University, DK-9220 Aalborg East, Denmark, 2008

[20] http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=5359ebbcaa94bf171c951f2614090d88&cid=4524cab599676

[21] Larry Baxter, Improved Recovery Boiler Performance through Control of Combustion, Sulfur and Alkali Chemistry, Brigham Young University

[22] Marek Baláš, Hugo Šen, Negativní vlivy energetického využití biomasy – Emise, VUT FSI Brno, 2006

[23] http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_HIO/kapitoly/Skodliviny/Tezkovyuvod.htm

[24] Stehlík P., Energie a emise - podklady pro výuku, ÚPEI FSI VUT, Brno, 2009

[25] Oral J., Troubleshooting - podklady pro výuku, ÚPEI FSI VUT, Brno, 2009

[26] http://www.wemac.cz

[27] http://www.rojek.cz

[28] http://www.zelenausporam.cz/

[29] http://www.ling.cz/

[30] http://www.tzb-info.cz/

[31] http://www.leister.com/en/index.html

[32] L.B.M. van Kessel, A.R.J. Arendsen, P.D.M. de Boer-Meulman, G. Brem, The effect of air preheating on the combustion of solid fuels on a grate, TNO Environment, Energy and Process Innovation Apeldoorn, The Netherlands, 2003

[33] Sjaak van Loo, Jaap Koppejan, The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing, Earthscan, USA, 2008