

Česká zemědělská univerzita

Technická fakulta



Návrh inovace kotelny pro vytápění rodinného domku

Diplomová práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Kateřina Skanderová

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kateřina Skanderová

obor Obchod a podnikání s technikou

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Návrh inovace kotelny pro vytápění rodinného
domku**

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Výchozí podmínky řešení
5. Návrh řešení a dosažené výsledky
6. Technicko-ekonomické zhodnocení řešení
7. Závěr
8. Seznam literatury
9. Přílohy



Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

- Malat'ák, J.; Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6.
- Obroučka, K.: Termické zneškodňování odpadů. VŠB Ostrava, Ostrava, 1997, 140 s. ISBN 80-248-0009-8.
- Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str. ISBN 80-86534-06-5.
- ČSN 07 0240: Teplovodní a nízkotlaké parní kotle. ČNI Praha, Brno 1995, 64 s.
- VVI - časopis pro vytápění, větrání, instalaci, roč. 1995 – 2009

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

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011

L.S.


.....
Vedoucí katedry




.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh inovace kotelny pro vytápění v rodinném domku** vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze dne.....

.....

podpis studenta

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Janu Malaťakovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při zpracování diplomové práce. Dále také děkuji všem autorům za literaturu a materiály, které jsem použila pro zpracování této práce.

Abstrakt: Tato diplomová práce řeší problematiku inovace spalovacího zařízení pro vytápění rodinného domku. V kapitole „ Přehled poznatků z literatury“ je shrnuta základní definice biomasy, její rozdělení a využití jako obnovitelného zdroje energie. Dále se tato kapitola zaměřuje na druhy tuhé biomasy a vhodná spalovací zařízení, která lze pro její spalování využít. Spalovací zařízení a jejich princip jsou zde stručně popsány. Výchozí podmínky jsou popsány v následující kapitole, která se zabývá popisem umístění stávajícího zařízení a jeho funkce. V kapitole „ Návrh řešení a dosažené výsledky“ je provedeno výběrové řízení na vhodné spalovací zařízení a také tato kapitola obsahuje vlastní měření a naměřené výsledky. V poslední kapitole „Technicko-ekonomické zhodnocení řešení“ se tato práce zabývá posouzením investice.

Klíčová slova: inovace, spalovací zařízení, biomasa, dřevní pelety

Design of innovation of fire- room for rating family cottage

Summary: This thesis addresses the issue of incineration facilities for innovation of heating of the family house. In the chapter "Overview of findings from the literature is summarized the basic definition of biomass, its subdivision and use as renewable energy sources. Furthermore, this chapter focuses on species solid biomass combustion and suitable equipment, which can be used for the combustion use. Combustion devices and their principles are briefly described. Initial conditions are described in the following chapter, which deals with description of the location of existing equipment and its functions. There is a tender for the appropriate combustion equipment in the chapter "Design solutions and results". This chapter also contains particular measurements and presentation of measured results. The last chapter "Technical and economic evaluation solution", deals with the assessment of the investment from economical and technical point of view.

Key words: innovation, combustion, biomass, wood pellets

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce a metodika	2
3. Přehled poznatků z literatury	4
3.1. Současné možnosti získávání energie z obnovitelných zdrojů	4
3.2. Biomasa	4
3.2.2 Vznik biomasy.....	4
3.2.3 Získávání energie z biomasy	5
3.2.4 Zdroje biomasy	6
3.2.5 Využití biomasy jako energetického zdroje	7
3.2.6 Termochemické přeměny biomasy	7
3.3 Biopaliva	8
3.3.1 Druhy tuhých biopaliv.....	9
3.3.2 Mechanická úprava tuhých biopaliv	10
3.4 Právní předpoklady spalování tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních	12
3.5 Základní složení a vlastnosti tuhých biopaliv	13
3.5.1 Obsah vody v tuhých palivech	14
3.5.2 Obsah popela v tuhých palivech	15
3.5.3 Spalné teplo a výhřevnost tuhých paliv.....	15
3.5.4 Prchavá hořlavina	17
3.5.5 Obsah síry v tuhých palivech	17
3.5.6 Charakteristické teploty popela tuhých paliv	18
3.5.7 Chemické vlastnosti paliv.....	18
3.6 Spalovací zařízení na tuhá paliva	19
3.6.1 Současná moderní spalovací zařízení	21
4. Výchozí podmínky řešení	27
5. Návrh řešení a dosažené výsledky	29
5.1 Výběrové řízení spalovacího zařízení na pelety do tepelného výkonu 25 KW	29
5.1.1 Benekov.....	29
5.1.2 Viadrus.....	34
5.1.3 Ponast.....	37

5.1.4 Verner	39
5.1.5 Vyhodnocení výběrového řízení na spalovací zařízení do tepelného výkonu 25 kW	41
5.2 Teoretický rozbor vybraného spalovacího zařízení	46
5.3 Vlastní měření	49
5.3.1 Analýza paliva	49
5.3.4 Měřicí zařízení	52
5.3.5 Statistické zhodnocení naměřených hodnot	55
5.3.6 Zhodnocení vlastního měření	56
6. Technicko- ekonomické zhodnocení řešení.....	60
7. Závěr	62
8. Seznam literatury.....	64
Seznam obrázků	66
Seznam tabulek	67
9. Přílohy.....	69

1. Úvod

V současné době se energie vyrábí převážně spalováním fosilních paliv, tj. uhlí, ropa, zemní plyn. Tato fosilní paliva byla vytvořena v průběhu několika desítek milionů let a jejich zásoby klesají rychlostí, se kterou v počátcích využívání těchto zdrojů, tedy na přelomu 19. a 20. století, nebylo kalkulováno a obecně panovalo přesvědčení, že se jedná o zdroje dostatečné a prakticky nevyčerpatelné. S civilizačním vývojem se ukázalo, že spotřeba energie roste natolik, že je potřeba nalézt a vyvíjet další zdroje energie, jedná se například o jadernou energetiku, energii z obnovitelných zdrojů, v největší míře tedy větrné a solární elektrárny a také se zaměřit na energii biopaliv.

Jedním z těchto zdrojů je energie biomasy, která je v podobě dřeva, travin a sušených výkalů dobytka, tedy tzv. tradiční biomasy využívána již od nepaměti. Lidstvo se k tomuto typu energie opět vrací a dostává se do podvědomí z důvodu zdokonalení spalovacích zařízení oproti dobám minulým, tedy pro množství získané energie a modernizaci v takové míře, že je možno zařízení ovládat dálkově, či programovat, dále pak příznivé ceny, dostupnosti paliv a v neposlední řadě také pro čím dál tím větší uvědomění v oblasti ekologie a ochrany životního prostředí. Biomasa je vhodnou alternativou pro zeměpisné šířky států, kde nelze využít nové zdroje získávání energie, jako jsou například mořské vlny, či příliv a odliv (slapová energie), tedy pro Českou Republiku, potažmo celou Evropu, kde Severní státy, jako Finsko a Švédsko již dnes dosahují 20% veškerého získávání energie díky biomase, následované Rakouskem s jeho 13%.

Úkolem této diplomové práce je usnadnit orientaci v otázce biomasy, posoudit její přínos a možnosti při výrobě tepelné energie. V praktické části je věnován prostor pro porovnání vybraných nabízených spalovacích zařízení-kotlů a pro vhodnost využití, konkrétně pro záměnu za jiný typ kotle v rodinném domku střední velikosti.

2. Cíl práce a metodika

Cílem této diplomové práce je návrh inovace vhodného spalovacího zařízení pro rodinný dům střední velikosti. V teoretické části se práce zabývá obnovitelnými zdroji energie a to především biomasou, která je využívána jako palivo a její podíl na výrobě tepelné energie je rok od roku větší. Dále jsou v této kapitole uvedeny vlastnosti tuhých biopaliv a jejich právní úprava. V závěru teoretické části práce je uvedeno rozdělení spalovacích zařízení na tuhou biomasu a u každého z těchto zařízení je popsán základní princip, konstrukce a jeho funkce.

Výchozí podmínky popisují současné umístění spalovacího zařízení a jeho stručný popis. V této kapitole jsou uvedeny i technické parametry stávajícího zařízení a schéma umístění kotelny.

Na základě současné nabídky spalovacích zařízení na trhu je provedeno výběrové řízení pro vhodné vytápění rodinného domku. Do tohoto výběrového řízení byly vybrány 4 společnosti, které jsou jak na českém, tak i na zahraničním trhu špičkou v oblasti spalovacích zařízení na biomasu. Ke každé společnosti je uvedena charakteristika a následně vybraná zařízení popsána a jejich parametry jsou shrnuty do tabulky. Při porovnávání parametrů jednotlivých kotlů je především kladen důraz na pořizovací náklady, požadovaný výkon, ale také na komfort a nároky na obsluhu. Vybrané parametry všech zařízení jsou pak porovnány graficky. Na základě tohoto grafického porovnání proběhlo vyhodnocení výběrového řízení, díky jemuž je vybráno vhodné spalovací zařízení.

Dále se tato práce zabývá samotným měřením a stechiometrickými výpočty. Vybrané palivo bylo podrobené chemické analýze, kterou provedl Ústav energetiky, sídlící na VŠCHT v Praze. Tyto údaje, které analýza zjistila, byly výchozí pro další výpočty.

Samotné probíhalo v lednu 2011 ve Výzkumném zemědělském ústavu v Praze. Měřené spalovací zařízení bylo Benekov Pelling 27 a použitý vzorek dřevní pelety Biomac. Měření spalin bylo měřeno analyzátozem GA- 60. Sonda tohoto analyzátoru se vsunula a připevnila do části komínu, která vychází ze

spalovacího zařízení. Doba měření byla 50 minut, hodnoty byly přístrojem zaznamenávány každou minutu. Po ukončení měření se hodnoty pomocí datového kabelu převedly do počítačového programu FGH⁺ Basic. Pro další zpracování, úpravu a přepočet naměřených dat byl využit program MS Excel.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze 1. Statistické zhodnocení měření bylo provedeno pomocí ukazatelů směrodatné odchylky, variačního koeficientu a rozptylu. Tyto výsledné hodnoty jsou uvedeny ve zhodnocení měření a jsou porovnány s platnými emisními limity, které jsou stanoveny vyhláškou. Tato porovnání jsou následně i graficky zpracována.

Poslední část diplomové práce se zabývá technicko-ekonomickým zhodnocením vybraného spalovacího zařízení se stávajícím. Jako výchozím parametrem pro další výpočty je zde vyčíslena hodnota investice do inovace spalovacího zařízení, včetně dalších pořizovacích nákladů, jako je montáž, doprava a drobné stavební práce.

Na základě ceny a spotřeby paliva jsou vypočteny roční náklady na vytápění. K výpočtům jsou použity aktuální ceníky dodavatelů zemního plynu a elektrické energie. Z vypočtených výsledků je investice zhodnocena.

3. Přehled poznatků z literatury

3.1. Současné možnosti získávání energie z obnovitelných zdrojů

Za obnovitelnou energii můžeme označit takovou energii, která je z lidského pohledu nevyčerpatelná. Jedná se o energii, kterou máme možnost díky slunečnímu záření či jinému silnému přírodnímu faktoru obnovovat.

Obnovitelnými zdroji se podle § 2 zákona č. 180/2005 Sb. rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou:

- energie větru,
- energie slunečního záření,
- geotermální energie,
- energie vody,
- energie půdy,
- energie vzduchu,
- energie biomasy
- energie skládkového plynu. [<http://www.uur.cz>]

3.2. Biomasa

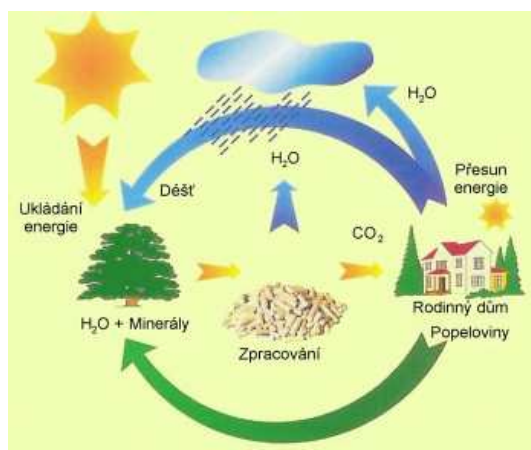
Biomasa je definována jako hmota organického původu. V souvislosti s energetikou jde nejčastěji o dřevo a dřevní odpad, slámu a jiné zemědělské zbytky včetně exkrementů užitkových zvířat. [<http://www.alternativni-zdroje.cz>]

3.2.2 Vznik biomasy

Rostliny na svůj růst využívají CO₂ z atmosféry a vodu ze země, které díky fotosyntéze přetvářejí na uhlovodíky - stavební články biomasy. Sluneční energie, která je hybnou silou fotosyntézy je ve skutečnosti uskladněna v chemických vazbách tohoto organického materiálu. Při spalování biomasy znovu získáváme

energii uloženou v chemických vazbách. Kyslík ze vzduchu se spojuje s uhlíkem v rostlině, přičemž vzniká oxid uhličitý a voda. Tento proces je cyklicky uzavřen, protože vzniklý oxid uhličitý je vstupní látkou pro novou biomasu. [\[http://www.mze.cz\]](http://www.mze.cz)

Obr. 1: Koloběh CO₂ v regeneračním cyklu v přírodě



[\[http://www.kea-olomouc.cz\]](http://www.kea-olomouc.cz)

3.2.3 Získávání energie z biomasy

Způsob získávání energie je závislý na fyzikálních a chemických vlastnostech této suroviny (např. vlhkosti). Na zpracování má vliv velké množství vody a sušiny, což má také vliv na způsob získávání energie. Hranicí mezi suchými a mokřými procesy získávání energie z biomasy je hodnota 50% sušiny.

Rozlišujeme biomasu:

- suchou (např. dřevo),
- mokrou (např. kejda - tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat promísené s vodou).

Základní technologie zpracování biomasy se dělí na:

- Termochemická přeměna (suché procesy)
 - spalování
 - zplyňování
 - pyrolýza
- Biochemická přeměna (mokré procesy)
 - metanové kvašení
 - alkoholové kvašení
- Fyzikální a chemická přeměna
 - mechanicky (štípání, drcení, lisování, peletování, briketování apod.)
 - chemicky (esterifikace bioolejů). [PRAVDA, L. 2004]

3.2.4 Zdroje biomasy

1. Záměrně produkovaná k energetickým účelům:

- lignocelulóznové: energetické dřeviny, obiloviny, travní porosty, ostatní rostliny,
- olejnaté: řepka olejná, slunečnice, len, dýně na semeno,
- škrobnato-cukernaté: brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice.

2. Odpadní:

- rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny,
- odpady z živočišné výroby,
- komunální organické odpady z venkovských sídel,
- organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob,
- odpady z lesního hospodářství . [PASTOREK, Z. et al. 2004]

3.2.5 Využití biomasy jako energetického zdroje

Z hlediska využití biomasy pro stacionární energetické zdroje lze obecně dělit biomasu na 3 základní druhy, přičemž některé konkrétní zdroje biomasy jsou využitelné ve více skupinách:

Biomasa určená pro přímé spalování (výroba tepla) a výrobu tuhých biopaliv, např.:

- dřevo, dřevní odpady,
- vybrané druhy rychle rostoucích dřevin a rostlin,
- energetické rostliny,
- zemědělské produkty a přebytky (obilná a řepková sláma, apod.),
- některé průmyslové a komunální odpady.

Biomasa vhodná pro výrobu bioplynu:

- exkrementy hospodářských zvířat,
- fytomasa – senáže, siláže, části a kořeny rostlin, vybrané druhy energetických rostlin, ekonomicky neprodejné produkty, speciální odpady,
- tříděné domovní a komunální odpady (biologická složka),
- energetické využívání skládkového (bio)plynu – odplynění skládek.

Biomasa vhodná pro zplynování a pyrolýzu – výroba plyných a kapalných paliv:

- dřevo, dřevní odpady,
- vybrané druhy energetických dřevin a rostlin,
- zemědělské odpady, produkty a přebytky,
- komunální odpady. [<http://www.oldweb.obecmalenice.cz>].

3.2.6 Termochemické přeměny biomasy

Pro dokonalé využití energie obsažené v biomase je nutno využít vhodného způsobu. Doposud byly využívány především metody termické přeměny formou spalování. V posledních letech se do prostředí dostávají i další metody.

Spalování

Spalování paliv je chemický pochod, při kterém se slučují hořlavé prvky obsažené v hořlavině paliva s kyslíkem. Při tomto procesu se uvolňuje teplo. [<http://www.mze.cz>].

Pyrolýza

Je termický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny, které se mohou využívat k syntézním výrobám nebo jako topný olej, popř. topný plyn. Podle druhu zpracovávaného materiálu a požadovaných produktů se pyrolýza provádí při atmosférickém, zvýšeném nebo i sníženém tlaku za vysokých nebo nízkých teplot. [PASTOREK, Z. et al. 2004]

Zplyňování biomasy

Pro zplyňování je nejvhodnější palivové či odpadní dřevo získané při těžbě nebo v dřevozpracujících závodech. Rozložit biomasu na plynné palivo je možné různými způsoby. [JENSEN, J.- SORESEN, B. 1983]

Většinou se dřevo zplyňuje za přítupu vzduchu. Základní technologie zplyňování jsou protiproudá, souprroudá a fluidní. [PASTOREK, Z. et al. 2004]

3.3 Biopaliva

Biopalivo vzniká cílenou výrobou či přípravou z biomasy. Představuje tedy jedno z možných využití biomasy, kterou lze jinak použít jako surovinu pro výstavbu, nábytek, balení, pro výrobky z papíru atd.

Možné rozdělení biopaliv:

- tuhá a kapalná biopaliva,
- plynná biopaliva. [<http://www.slukoenergy.cz>]

3.3.1 Druhy tuhých biopaliv

Tuhá biopaliva se mohou vyrábět v různých velikostech a tvarech. Velikost a tvar ovlivňují manipulaci s palivem a jeho vlastnosti hoření. Biopaliva se mohou dodávat například ve formách uvedených v tab. 1.

Tab. 1: Hlavní obchodní formy tuhých biopaliv

Název paliva	Typická velikost částic	Běžná metoda přípravy
Brikety	$\varnothing > 25 \text{ mm}$	Mechanickým stlačením
Pelety	$\varnothing < 25 \text{ mm}$	Mechanickým stlačením
Palivový jemný prach	$< 1 \text{ mm}$	Mletím
Piliny	1 mm až 5 mm	Řezáním ostrými nástroji
Dřevní štěpka	5 mm až 100 mm	Řezáním ostrými nástroji
Rozdrcené dřevní palivo	různé	Řezáním ostrými nástroji
Polena	100 mm až 1 000 mm	Řezáním ostrými nástroji
Celé dřevo	$> 500 \text{ mm}$	Řezáním ostrými nástroji
Malé balíky slámy	$0,1 \text{ m}^3$	Stlačením a svázáním
Velké balíky slámy	$3,7 \text{ m}^3$	Stlačením a svázáním
Kulaté balíky slámy	$2,1 \text{ m}^3$	Stlačením a svázáním
Svazek	různé	Podélným orientováním a
Kůra	různé	Odkornění zbytků stromů
Řezanka ze slámy	10 mm až 200 mm	Rozřezání během sklizení
Zrno nebo semeno	různé	Bez přípravy nebo sušením
Slupky a ovocné pecky	5 mm až 15 mm	Bez přípravy

[MALAŤÁK, J. et al. 2010, str. 16]

Obchodní formy tuhých paliv běžně používané v domácnosti jsou dřevní pelety, dřevní brikety, dřevní štěpka a rozdrcené dřevní palivo.

[MALAŤÁK, J. et al. 2010]

3.3.2 Mechanická úprava tuhých biopaliv

Biomasu, která je určená pro výrobu energie, většinou nelze ve spalovacích zařízeních použít přímo, ale je třeba ji upravit do vhodného tvaru a rozměrů- často se jako koncové technologie této úpravy používají metody briketování a peletování. Kromě tvaru a rozměrů (velikosti) jsou velmi důležité i mechanické vlastnosti briket a pelet. Ty zásadním způsobem ovlivňují nejen způsob manipulace s briketami a peletami (způsob uskladnění, dávkování apod.).

Při lisování biopaliv bez pojiv se jednotlivé částice přiblíží na minimální molekulovou vzdálenost. Mluví se o vzdálenosti, při které jsou účinné valenční síly ve formě Van der Walsových sil. Uvedené pohyby molekul mohou proběhnout jen za velmi vysokých tlaků. Základním vstupem je vlhkost, která je důležitá pro lisování paliv z biomasy. Pokud vlhkost při lisování přesáhne hranici 20%, biomasa se v lisovací komoře nezhutní do požadovaného rozměru a briketa nebo peleta se rozpadne. Doporučuje se vlhkost maximálně do 15% pro kvalitní zhutnění. [PLÍŠTIL, D.,MALAŤÁK, J. 2004]

Systémy tvarovacích zařízení

Můžeme rozlišovat různé systémy tvarovacích zařízení:

- pístové hydraulické nebo mechanické lisy,
- šnekové lisy jednovřetenové nebo dvouvřetenové,
- protlačovací, granulační lisy. [PASTOREK, Z. et al. 2004]

Peletování

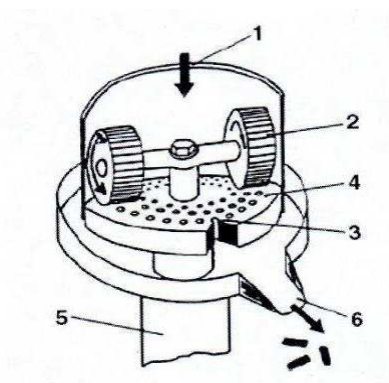
Surovinou je dřevní hmota (optimální velikost částic je 2-3mm) a nesmí obsahovat příliš mnoho prachu, který zhoršuje pevnost vyrobených pelet. Obsah vody by se měl pohybovat kolem 10%, tj. piliny z pily se musí sušit (na rozdíl odpadu z truhlářské výroby, který je relativně suchý). Vlhké piliny se zpravidla suší v bubnových sušárnách přímo spaliny nebo čistým horkým vzduchem (přes výměník) při teplotách kolem 160°C. Spotřeba tepla je zhruba 5 MJ/kg odpařené

vody; to je ekvivalentní zhruba 0,5 kg odpadového dřeva. Surovina většinou není k dispozici v optimální velikosti, často jde o směs obsahující piliny, hobliny a kousky dřeva. Před vlastní peletizací je nutno ji homogenizovat a částice upravit na vhodnou velikost. K tomu se používá drtič, což je také energeticky poměrně náročné (příkon drtiče je v řádu desítek kW).

Hlavním nástrojem výrobní linky je protlačovací matricový lis. Protlačovací matrice je vyrobena z ušlechtilé oceli a je opatřena soustavou otvorů potřebného průřezu. Nad nimiž se odvalují přítlačné rolny, které zpracovaný materiál protlačují otvory matice. Při tom vzniká značné množství tepla, které materiál ohřeje a změkčí v surovině obsažený lignin. Ten je spolu s přídatným organickým pojivem (např. kukuřičnou moukou) hlavní příčinou pevnosti peletek.

Obr. 2: Matricový protlačovací granulační lis

1- vkládání suroviny, 2- protlačovací kola, 3- protlačovací otvory matrice, 4- horizontální matrice, 5- pohon, převodovka, elektromotor, 6- odvod vyrobených granulí



[PASTOREK, Z. et al. 2004, str. 46]

Po výstupu z paletizátoru se peletky musí ochladit. Teprve po zatuhnutí pojiva dostanou potřebnou pevnost a trvanlivost. Před expedicí je ještě zařazeno vibrační ploché nebo rotační síto, které z finálního výrobku odstraňuje prach a zlomky pelet. [MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. 2006]

Pelety

Jedná se o lisované tvarované granule, která jsou vyrobeny výhradně z biomasy (dřevo, dřevní odpad, piliny, stébelniny). Používá se termín peletky i pelety (je to jedno a totéž palivo). Průměr peletek se pohybuje v rozmezí 6-20 mm a jejich délka je 10-20 mm. Na přání zákazníka je možné vyrobit i jiné rozměry. Výhřevnost závisí nejvíce na vlhkosti. Při přirozeném obsahu vody získaném ze vzduchu cca (8-10%) mají peletky výhřevnost okolo 18-19 MJ.kg⁻¹.

[SLADKÝ V. et al. 2002]

Obr. 3: Bílé pelety vyráběny ze smrkových pilin



[<http://www.mm-pellets.com>]

3.4 Právní předpoklady spalování tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních

Pro posouzení kvality spalovacích pochodů a vlivů spalovacích zařízení spalující dřevo nebo biomasu na životní prostředí je nutné seznámit se s právními podmínkami, a to především v oblasti emisních limitů a kvality paliv z hlediska ochrany ovzduší. [MALAŤÁK, J. et al. 2010]

Tab. 2: Platné emisní limity pro malá spalovací zařízení

Druh paliva	Výkon (kW)	Max. povolené množství CO _{ref} (mg.m ⁻³)	Referenční obsah kyslíku (% obj.)
Tuhá paliva obecně	› 15	5 000	6
Dřevo	› 15	5 000	11
Kapalná paliva	› 11	1 000	3
Plynná paliva	› 11	500	3

[Příloha č. 7 nařízení vlády č. 146/2007 Sb.]

Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší u teplovodních spalovacích zařízení pro ústřední vytápění na spalování biomasy ošetřuje směrnice č. 13- 2006.

Tato směrnice se vztahuje na spotřebiče s vymezením na teplovodní spalovací zařízení pro spalování biomasy s ruční nebo samočinnou dodávkou o jmenovitém výkonu nejvýše do výkonu 300 kW podle: ČSN 07 0240 a ČSN EN 303-5 viz tab. 3.

Tab. 3: Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší

CO	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	4 500/2 000
NO _x	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	550/250
SO ₂	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	130/60
C _x H _y	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	130/60
Tuhé znečišťující látky	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	420/190

[Směrnice č. 13- 2006]

3.5 Základní složení a vlastnosti tuhých biopaliv

Pro posouzení vhodnosti spálení tuhého paliva v určitém typu spalovacího zařízení nebo při vyhodnocení jakosti tuhého paliva je zapotřebí znát takové vlastnosti spalovaného tuhého paliva, které jej dostatečně charakterizují. Jsou to především:

- obsah vody v původním palivu W (% hm.),
- obsah popele v původním palivu A (% hm.),
- spalné teplo Q_s ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) a výhřevnost Q_i ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)
- prchavá a neprchavá hořlavina v palivu V (% hm) a NV (% hm.)
- obsah veškeré síry v palivu S (% hm.)
- charakteristické teploty popele t_A, t_B, t_C ($^{\circ}\text{C}$)
- spékavost popele

Všechna tuhá paliva, která se vyskytují v přirozeném (surovém) stavu, se skládají ze tří základních složek, a to z celkové vody, popele (přesněji popelovin), hořlaviny.

Voda a popel tvoří nehořlavou část paliva, která se označuje také jako balast nebo přítěž. Obě tyto složky snižují výhřevnost paliva. Svou přítomností v palivu přímo ovlivňují konstrukci spalovacích zařízení a při provozu bývají mnohdy zdrojem četných obtíží. Hořlavá část paliva se skládá z uhlíku, vodíku, síry a dusíku.

Všechny tři základní složky paliva (voda, popel, hořlavina) jsou velmi důležitými činiteli při spalování a svými vlastnostmi ovlivňují nejen konstrukci spalovacího zařízení, ale i jeho provoz. [RYBÍN, M. 1985; MALATÁK, J., VACULÍK, P. 2008]

3.5.1 Obsah vody v tuhých palivech

Voda je obsažena v každé tuhé biomase. Podobně jako popeloviny je voda nehořlavou složkou paliva, která snižuje jeho tepelnou hodnotu, a proto je v palivu nežádoucí.

Obsah vody v tuhé biomase kolísá v širokém rozmezí od 0 % do 60 %. Přirozený obsah vody v palivu se řídí jeho geologickým stářím. Čím je palivo mladší, tím více vody obsahuje. [MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. 2008]

3.5.2 Obsah popela v tuhých palivech

Minerální látky obsažené v tuhém palivu (přirozené i uměle zušlechtěném) před jeho spálením se nazývají popeloviny. Spálením paliva v ohništi vznikne z popelovin tuhý zbytek, kterému se všeobecně, avšak ne zcela správně, říká popel. Popel je takový tuhý zbytek, který se získá dokonalým spálením tuhé biomasy při teplotě $800 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$ v oxidační atmosféře. Přitom se popeloviny (původní minerální složky) rozkládají na těkavé zplodiny a netěkavý zbytek nebo uvolňují krystalovou vodu. [OBROUČKA, K. 2001]

3.5.3 Spalné teplo a výhřevnost tuhých paliv

Při spalování se hořlavé látky paliva slučují s kyslíkem a vznikají produkty spalování, nazývané spaliny. Tento pochod je doprovázen uvolňováním určitého množství tepla, které se u tuhých a kapalných paliv vztahuje na hmotnostní jednotku $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (za normálních podmínek: $t=0^\circ\text{C}$, $p=101,3 \text{ kPa}$, označení m^3_{N}). V technické praxi se uvolněné teplo vyjadřuje jako spalné teplo Q_s^r nebo jako výhřevnost Q_i^r paliva. [MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. 2008]

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

Protože při spalování paliva ve spalovacím zařízení odcházejí spaliny s teplotou vyšší než $100 \text{ }^\circ\text{C}$, takže voda se mění v páru, používá se při tepelných výpočtech častěji výhřevnost paliva Q_i^r .

Výhřevnost paliva Q_i^r je množství tepla uvolněné při dokonalém spálení měrné jednotky paliva při ochlazení spalin na 0°C , přičemž vlhkost paliva zůstane

ve spalínách jako vodní pára. Hodnota výhřevnosti paliva je tedy nižší než spalné teplo o množství tepla potřebné k ohřevu vody z původní teploty paliva na 100°C a o skupenské teplo vypařování vody. [OBROUČKA, K. 2001]

Závislost mezi spalným teplem Q_s^r a výhřevností Q_i^r lze vyjádřit vztahem podle ČSN 44 1352:

$$Q_1 = Q_s - (0,02442 \cdot 1000) \cdot (W + 8,94 \cdot H) \quad (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}_N) \quad (1)$$

kde: W je obsah vody v analytickém vzorku (%),
 8,94 .. koeficient pro přepočtení vodíku na vodu,
 H .. obsah vodíku v analytickém vzorku (%),
 0,02442 .. hodnota, která odpovídá energii spotřebované na ohřev, a vytápění 1% vody při teplotě 25°C.

Přepočtení výhřevnosti Q_i^r při obsahu veškeré vody (W_t^r) na jiný obsah veškeré vody (W_{ti}^r) se provádí podle vzorce:

$$Q_{in} = \frac{100 - (W_{ti})}{100 - (W_t)} \cdot (Q_i + 0,02442(W_t)) - 0,02442 \cdot (W_{ti}) \quad (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}, \text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}_N) \quad (2)$$

kde: (W_{ti}) je obsah veškeré vody, na kterou provádíme přepočtení (%),
 (W_t) obsah veškeré vody v původním vzorku,
 Q_1 výhřevnost původního vzorku ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$)

Spalné teplo lze nejpřesněji určit měřením v kalorimetrech (ČSN 44 1352). V technické praxi je určeno spalné teplo a výhřevnost výpočtem, k čemuž se využívá výsledků celkové (elementární) nebo technické (immediální) analýzy paliva. [MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. 2008]

3.5.4 Prchavá hořlavina

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

Prchavá hořlavina je součástí celkové hořlaviny obsažené v palivu. Prchavou hořlavinu tvoří plynné hořlavé látky, které se z paliva uvolňují při zahřátí na určitou teplotu. Hoření prchavé hořlaviny se jeví jako plamen. Způsob stanovení prchavé hořlaviny v palivu určuje ČSN 44 135. [MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. 2008]

Tab.4: Obsah prchavé hořlaviny základních druhů pevných paliv

Palivo	Dřevo	Sláma	Traviny	Kůra	Hnědé uhlí		Polokoks	Koks
Obsah prchavé hořlaviny v %	75-85	70-82	74-80	70-80	48	31	13	4

[PASTOREK, Z. et al. 2004, str. 86]

3.5.5 Obsah síry v tuhých palivech

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

Vyšší obsah síry v tuhých palivech je v provozních podmínkách nepříjemným činitelem. Za vyšší obsah síry, který již může při provozu kotlů způsobit citelné škody, se podle zkušeností a výzkumu v této oblasti považuje obsah nad 1,8% v tuhém palivu a nad 1,0% v kapalných palivech (topných olejích). [RYBÍN, M. 1985]

3.5.6 Charakteristické teploty popele tuhých paliv

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

- teplota počátku měknutí t_A (°C),
- teplota tání t_B (°C),
- teplota počátku tečení t_C (°C). [RYBÍN, M. 1985]

3.5.7 Chemické vlastnosti paliv

Vedle základního rozdělení a charakteristik biopaliv se stanovuje elementární analýza s ohledem na základní parametry paliv, jako je:

- obsah vody v původním vzorku W (% hm.),
- obsah popele v původním vzorku A (% hm.),
- stanovení spalného tepla Q_s (MJ.kg⁻¹),
- prchavá a neprchavá hořlavina V (% hm.) a NV (% hm.),
- obsah uhlíku, vodíku a dusíku (% hm.),
- obsah kyslíku, síry a chlóru (% hm.). [MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. 2008]

3.6 Spalovací zařízení na tuhá paliva

V současné době je možné vyrobit spalovací zařízení na tuhá biopaliva o minimálním výkonu asi 17 kW při splnění podmínek účinnosti spalovacího procesu a co nejmenšího vlivu na životní prostředí. V těchto spalovacích zařízeních je nejobvyklejším palivem kusové dříví (polena), pelety a brikety. [KÁRA, J. et al. 1996]

Spalovací proces probíhá v následujících čtyřech fázích:

- fáze sušení, odpařování vody z paliva;
- fáze uvolňování plynné složky z paliva;
- fáze spalování plynné složky paliva;
- fáze spalování pevných látek, zejména uhlíku.

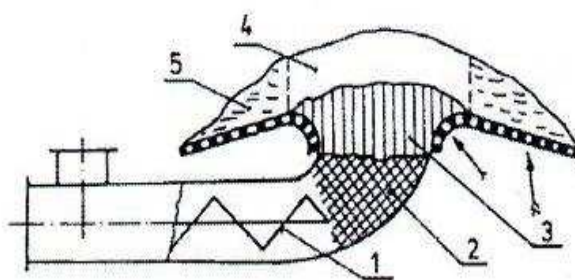
Pro biomasu je specifické, že mezi tuhými palivy obsahuje nejvyšší podíl pyrolýzou uvolňovaných plynných látek (75 až 85%) nehořících na roštu, ale ve vzhledu mezi roštem a komínem (hovoří se o dlouhém plameni). Z toho vyplývají neopomenutelné důsledky pro konstrukci topenišť:

- pod rošt se přivádí pouze menší část kyslíku, potřebné pro okysličení pevných zbytků paliva na roštu (primární vzduch);
- větší část kyslíku se přivádí do proudu unikajících plynů do prostoru za rošt (sekundární vzduch)
- prostor bezprostředně nad roštem (či za ním) nemůže být konstruován jako výměník tepla, ale jako žár udržující prostor (se šamotovou vyzdívkou), jehož úkolem je udržet plyny a přiváděný kyslík na potřebné zápalné teplotě. [Pastorek, Z. et al. 2004]

Většina malých spalovacích zařízení má spodní odhořívání paliva (obr. 4). Tyto kotle se liší od běžných kotlů na pevná paliva principem spalování. Jsou konstruovány tak, aby při hoření paliva docházelo k pyrolytické destilaci, při které se veškeré spalitelné složky paliva zplyňují.

Obr. 4: Schéma spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva

1- přívod paliva, 2- pásmo sušení, 3- pásmo uvolňování prchavé hořlaviny, 4- pásmo vyhořívání prchavé hořlaviny, 5- pásmo vyhořívání koksového zbytku



[Pastorek, Z. et al. 2004]

Spalování probíhá třístupňovým procesem v jednotlivých zónách:

- 1. zóna- vysoušení a zplynování dřevní hmoty,
- 2. zóna- hoření dřevního plynu na trysce s přívodem předehřátého sekundárního vzduchu,
- 3. zóna- dohořívání v nechlazeném spalovacím prostoru.

Takto řízený systém spalování zaručuje kotlům vysokou účinnost. Přitom je topný výkon plynule regulovatelný od 40% do 90%. [Pastorek, Z. et al .2004]

3.6.1 Současná moderní spalovací zařízení

Nejčastější zástupci současných moderních malých spalovacích zařízení na tuhou biomasu pracují na principu:

- spodního přikládání- retortové přikládání, kdy jsou pelety šnekovým podavačem tlačeny přes retortu (koleno) do spalovacího prostoru,
 - samospádného přikládání- pelety jsou ze zásobníku šnekovým podavačem vytlačeny nad rošt, kam poté přepadávají,
 - zplyňovacího spalovacího zařízení na dřevní polena a brikety,
 - hořákového topeniště- podávání pelet do hořáku samospádem.
- [MALAŤÁK ,J. et al. 2010]*

Spalovací zařízení se spodním přikládáním

Teplovodní spalovací zařízení se spodním přikládáním na tuhá paliva jsou určena především pro vytápění rodinných domků, chat, malých provozoven apod.

Přednosti spalovacího zařízení se spodním přikládáním:

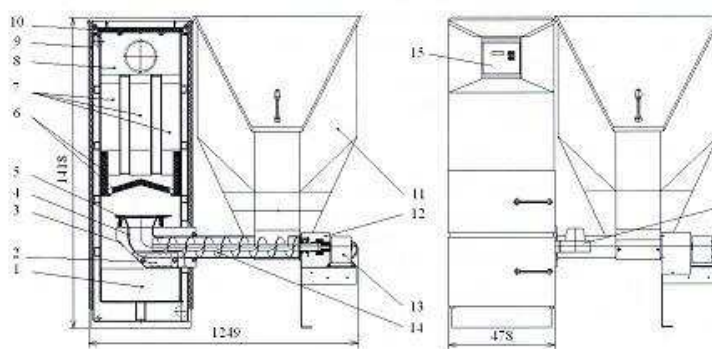
- automatický provoz řízený pokojovým termostatem zaručující komfort,
- vysoká účinnost až 84%,
- možnost ohřevu teplé užitkové vody,
- možnost spalování biomasy v podobě dřevěných pelet,
- mechanický přísun paliva z vestavěného zásobníku,
- jednoduchá, časově nenáročná obsluha a údržba,
- nízké provozní náklady,
- nízké emise.

Hlavní částí spalovacího zařízení vycházejí z principu spodního přikládání paliva. Pod výměníkem je umístěno spalovací zařízení, které je tvořeno litinovým roštem, keramickým reflektorem, retortou, tzn. Litinovým kolenem pro přísun paliva, a směšovačem vzduchu. Keramický reflektor usměrňuje hoření, snižuje úletovou prašnost, odráží teplo zpět do hořáku, a napomáhá tak k dokonalému spalování. Litinové koleno pro přísun paliva je opatřeno otvory pro vyrovnávání

tlaku spalovacího vzduchu uvnitř retorty, čímž zabraňuje prošlehnutí plamene do podavače při procesu hoření. Pod spalovací komorou je popelníková zásuvka. Vedle kotle je umístěn zásobník paliva, který ústí do šnekového podávacího zařízení. Za zásobníkem paliva musí být nádrž havarijního hasicího zařízení, které rovněž vyúsťuje do šnekového podávacího zařízení. Ventilátor pro spalovací vzduch je umístěn před zásobníkem paliva a je napojen na směšovač. Škrticí klapkou na ventilátoru je možno regulovat množství spalovacího vzduchu. [<http://www.benekov.cz>]

Obr. 5: Schéma spalovacího zařízení se spodním přikládáním

1- popelníková zásuvka, 2- čistící otvor směšovače, 3- směšovač vzduchu. 4- retorta, 5- rošt, 6- keramický reflektor, 7- lamely konvekční části, 8- odvod spalin, 9- izolace spalovacího zařízení, 10- výstup topné vody, 11- zásobník paliva, 12- převodové ústrojí, 13- motor, 14- podavač paliva, 15- , 16- ventilátor se škrticí klapkou.



[MALAŤÁK ,J. et al. 2010]

Spalovací zařízení se samospádným přikládáním

Spalovací zařízení se samospádným přikládáním může sloužit pro spalování různých druhů tuhých biopaliv (dřevních, rostlinných pelet, obilí,...). Používá se jako komfortní, úsporný a k životnímu prostředí šetrný zdroj tepla pro vytápění, ohřev vody a obdobné aplikace.

Nejvýznamnější část spalovacího zařízení tvoří hořákový prostor. Hořákový prostor je obložen tvarovkami ze speciální jakostní keramiky. Zadní stěna je opatřena otvory zapalovacího vzduchu ve spodní části a otvory sekundárního vzduchu v horní části. Na zadní stěně pod výstupem ze spadu je umístěn rozptylovač paliva. Dno spalovacího prostoru tvoří rošt opatřený pohyblivými

roštnicemi. Ve svislé stěně pod výstupem z hořákového prostoru je otvor pro vybírání popele z prostoru pod roštem. Na této stěně je zavěšen popelník tak, že jeho zadní stěna tvoří uzávěr vybírajícího otvoru.

Rošt pod šnekovým dopravníkem je pákový mechanismus pohonu roštnic. Násypka je ve spodní části zadní stěny opatřena víčkem pro případ nutnosti zásahu do prostoru šnekového podavače (uvíznutí tvrdého předmětu).

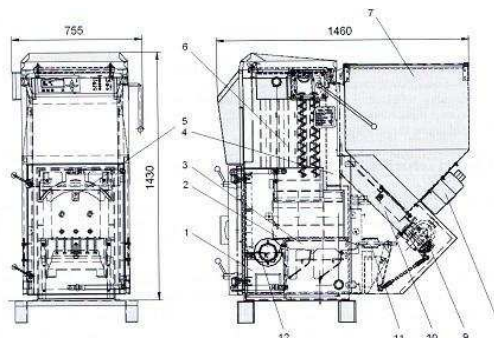
Vzduchování obsahuje ventilátor se zpětnou klapkou, komoru pro ohřev zapalovacího vzduchu se spirálovou zapalovací tyčí, regulační clonu primárního vzduchu a dvojici regulačních clon sekundárního vzduchu. Vzduchování je hadicí propojeno se spadem paliva. Tím je zajištěn ve spadu paliva přetlak, což zabraňuje pronikání kouře do podavače a násypky během provozu.

Turbulátory jsou umístěny v posledním tahu spalínového výměníku. Jsou zavěšeny na pohyblivém držáku s ovládací pákou, což umožňuje snadné čištění posledního tahu výměníku během provozu. Turbulátory (vířiče) jsou plechové spirály, které zabezpečují turbulentní proudění spalin trubkami tepelného výměníku, podstatně zlepšují předávání tepla.

Spalovací zařízení pracuje tak, že šnekový dopravník dopravuje palivo z násypky do spadu, odkud propadává do hořákového prostoru. Rozptylovač zajišťuje rovnoměrnější rozmístění paliva po ploše roštu. V hořákovém prostoru se palivo spaluje a nespalitelné zbytky jsou vytlačovány roštnicemi do popelníku (pokud je kotel vybaven přídatným odpopelovacím zařízením, je místo popelníku žlab se šnekovým dopravníkem, který popel vynáší do popelnice). Roštování je poháněno reverzním chodem pohonu plnicího dopravníku. Spaliny proudí výměníkem, kde předávají teplo do topné vody. Ochlazené spaliny odchází výstupním hrdlem do komína. Vzduch potřebný pro spalování dodává přetlakový ventilátor. [<http://kotle-verner.cz>]

Obr. 6: Schéma spalovacího zařízení se samospádným přikládáním

1- popelník, 2- hořákový prostor, 3- roštnice, 4- spad paliva, 5- rozptylovač paliva, 6- tabulátory, 7- násypka, 8. - hasicí zařízení, 9- převodovka s elektromotorem, 10- šnekový dopravník, 11- pohon roštnic, 12- žlab popele.



[<http://kotle-verner.cz>]

Zplyňovací spalovací zařízení

Zplyňovací spalovací zařízení jsou konstruována pro spalování kusovitého dřeva ve formě polen nebo briket na principu generátorového zplyňování s použitím odtahového ventilátoru, který odsává spaliny z kotle nebo vhání vzduch do kotle.

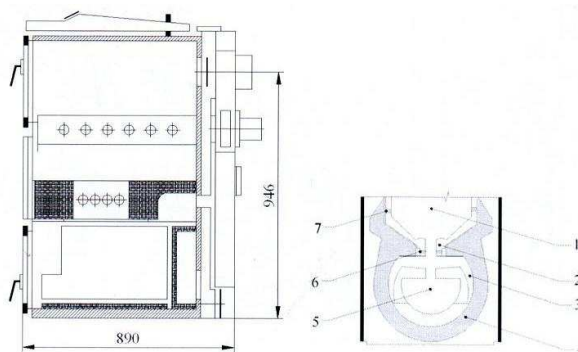
Část spalovacího zařízení tvoří násypka paliva, která je ve spodní části opatřena žáruvzdornou tvarovkou s podélným otvorem pro průchod spalin a plynů. Dohořivací prostor pod ní je opatřen keramickými tvarovkami. V zadní části těla spalovacího zařízení je svislý spalinový kanál, opatřený ve vrchní části zatápěcí záklopkou. Vrchní část spalinového kanálu je opatřena odtahovým hrdlem pro připojení na komín. [<http://atmos.cz>]

Přednosti zplyňovacích kotlů:

- možnost spalovat velké kusové dřevo,
- primární i sekundární vzduch je předehříván ve vysokou teplotu- vyšší účinnost,
- snadná obsluha a čištění,
- keramický spalovací prostor- vysoká účinnost,
- malé rozměry a nízká hmotnost. [<http://atmos.cz>]

Obr. 7: Schéma zplyňovacího spalovacího zařízení

1- topeniště, 2- tryska, 3- přívod vzduchu, 4- těleso kotle, 5- kulový prostor, 6- těsnění, 7- clona topeniště.



[<http://atmos.cz>]

Spalovací zařízení s hořákovým topeništěm

Spalovací zařízení s hořákovým topeništěm na dřevní pelety jsou určena především na vytápění rodinných domků, menších komunálních objektů, chat a menších provozoven či podnikatelských budov.

Přednosti spalovacího zařízení s hořákovým topeništěm:

- automatický provoz zajištěný řídicí jednotkou spolupracující s prostorovým termostatem,
- řídicí jednotka řídí vlastní provoz spalovacího zařízení, zaručuje bezobslužný provoz a vysokou provozní spolehlivost,
- modulace výkonu spalovacího zařízení umožňuje přizpůsobit výrobu tepelné energie okamžité potřebě objektu,
- použitím hořákového systému se dvěma samostatnými pohony a systémem keramického katalytického reflektoru je zajištěno dokonalé spalování, což podporuje vysokou tepelnou účinnost výrobku a zároveň i vynikající ekologické parametry s minimálním obsahem škodlivin ve spalinách (20- 50krát nižší než u klasického kotle).

Hlavní část spalovacího zařízení tvoří hořákové topeniště, které je schematicky zobrazeno jako součást obr. Vlastní těleso hořáku je svařenec skříňového typu z vysoce legovaného materiálu se spodním šikmým vstupem paliva. Palivo je dopravováno zabudovaným podavačem poháněným elektromotorem s převodovkou.

Sestava štěrbinových trysek zajišťuje přívod spalovacího vzduchu tak, aby došlo k řízenému dokonalému spalování ve spalovacím prostoru hořáku. Vyhořelé palivo je posléze posouváno přes přepadovou hranu spalovacího prostoru do popelníku.

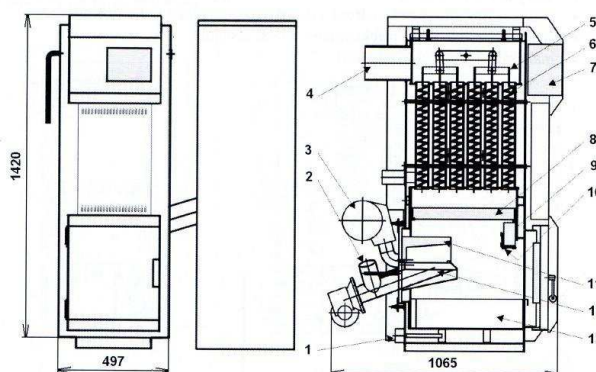
Vnitřní prostor vlastního tělesa hořáku je napojen na ventilátor vzduchu, jehož otáčky mohou být v souvislosti s požadovaným výkonem kotle, příp. s použitým typem paliva, regulovány v širokém rozsahu.

Dohořivací keramický rošt má funkci zvýšit turbulenci spalin před vstupem do vlastního výměníku, dodatečně zužitkovat dosud nespálené zbytky plynné hořlaviny na žhavém povrchu keramiky a usměrnit proudění spalin výměníkem.

[<http://atmos.cz>]

Obr. 8: Schéma spalovacího zařízení s hořákovým topeništěm

1- elektrické topné těleso, 2- vstup paliva, 3- ventilátor, 4- odtah spalin, 5- čištění výměníku, 6- tabulátory, 7- řídicí jednotka, 8- keramický rošt, 9- keramický štít, 10- držák štítu, 11- keramický reflektor, 12- hořák, 13- popelník.



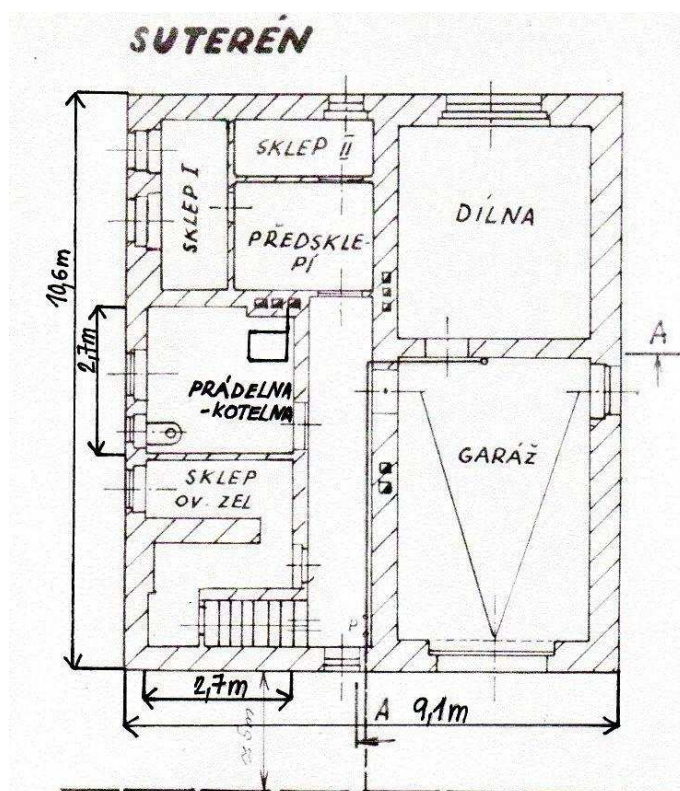
[<http://ponast.cz>]

4. Výchozí podmínky řešení

Rodinný dům je situován ve vilové čtvrti v Praze. Jedná se o cihlovou stavbu se špaletovými okny a její výstavba probíhala v letech 1968 až 1971. Objekt se skládá ze suterénu, dvou nadzemních pater a půdních prostor. Přízemí a první patro tvoří bytové jednotky, které jsou plně vytápěny. Půdní a sklepní prostory jsou vytápěny jen částečně. Chodba, která spojuje všechna patra od sklepa, až po půdu není vytápěna vůbec. Ve sklepních a půdních prostorech dochází ke značným tepelným ztrátám, neboť nejsou dostatečně izolované.

Dům je napojen na inženýrské sítě plynovodu, vodovodu, kanalizace a elektrické sítě. V současné době se k jeho vytápění používá zemní plyn.

Obr. 9: Schéma umístění kotelny v rodinném domě



Kotelna je umístěna ve sklepních prostorách rodinného domu (obr. 9). K současnému vytápění se využívá plynový kotel Viadrus G 23, jehož obsluha je plně automatizovaná. Lze jej nastavovat manuálně či pomocí regulačního systému, který je umístěn v bytových jednotkách. Parametry stávajícího zařízení jsou uvedeny v tab. 5.

Tento plynový kotel zajišťuje nejen vytápění, ale i ohřev teplé vody průtokovým zásobníkem, který je zajišťován samostatným okruhem. Pro vytápění je ohřátá voda rozvedena průtokově do jednotlivých radiátorů a celý systém rozvodů je zakončen expanzomatem určeným k vyrovnání tlaku a opatřeným pojistným ventilem. Průtok vody je v každém okruhu zajištěn čerpadlem.

Tab. 5: Technické údaje plynového kotle Viadrus G 23

Technické parametry		Viadrus G 23
Jmenovitý výkon	[kW]	25
Regulovatelný výkon	[kW]	12,5-32
Hmotnost	[kg]	214
Obsah zásobníku paliva	[l]	-
Účinnost	[%]	90
Max. elektrický příkon	[W]	170
Rok výroby		1991
Rozměry kotle: š x h x v	[mm]	615x585x1237

[<http://viadrus.cz>]

Mezi největší nedostatky stávajícího vytápění patří samotný kotel, který je na hranici životnosti. V posledních letech se jedná i o častou poruchovost. Při poslední revizi kotle byla majitelům doporučena výměna stávajícího zařízení za nové a to z důvodů, dnes již těžko dostupných náhradních dílů.

Dalším důvodem výměny kotle jsou nestále a především rostoucí ceny plynu. Proto se majitelé rozhodli inovovat plynový kotel za kotel na tuhá biopaliva. Hlavním důvodem je i přes vyšší pořizovací náklady úspora, která se především projeví v ročních nákladech na vytápění. V celém svém objemu je toto zařízení rentabilní v řádu jednotek let.

5. Návrh řešení a dosažené výsledky

V této praktické části práce je vypsáno výběrové řízení na vhodné spalovací zařízení. Vybraná zařízení jsou porovnávána dle parametrů, které jsou zapsány do tabulek. Dále jsou zde popsány výpočty a měření na vybraném spalovacím zařízení.

5.1 Výběrové řízení spalovacího zařízení na pelety do tepelného výkonu 25 KW

Do výběrového řízení na vhodné spalovací zařízení a byli zařazeni přední výrobci spalovacích zařízení na tuhá biopaliva, a to především na pelety.

Spalovací zařízení byla vybírána dle požadovaných kritérií, a to:

- výkon do 25 KW,
- pořizovací náklady do 180 000,-,
- malé nároky na obsluhy,
- nízké provozní náklady,
- dostupnost náhradních dílů.

5.1.1 Benekov

Již od roku 1949 patří firma BENEKOV mezi významné evropské firmy zabývající se problematikou spalování uhlí, v současnosti také biomasy.

Řady výrobků jsou vyvíjeny ve spolupráci se zahraničními partnery a ve stručnosti jsou rozděleny na zařízení spalující kusové dřevo (pyroling), uhlí (ling), dřevní pelety a obilí (pelling), a také dřevní štěpky, hobliny a odřezky (Benekov S).

Firma exportuje do 23 evropských zemí pro využívání vytápění rodinných domů, škol, firem a jiných podobných objektů. [<http://benekov.cz>]

Benekov C 25p

Kotel Benekov C 25p lze použít pro vytápění standardních rodinných domů. Jako palivo jsou doporučeny dřevní pelety.

Mezi přednosti kotle patří:

- nízké provozní náklady,
- účinnost přes 90 %,
- nízká spotřeba paliva,
- nízká spotřeba elektrické energie,
- moderní regulace Siemens s modulovaným řízením umožňuje udržení vysoké účinnosti v celém rozsahu výkonu.

Obr. 10: Benekov C 25p



[<http://benekov.cz>]

Benekov R 25

Tento kotel lze použít pro kombinované spalování dřevních pelet a energetického obilí. Jako doplňkové palivo lze použít kusové dřevo, které je možné spalovat zároveň s peletami nebo energetickým obilím.

Mezi přednosti kotle patří:

- automatický provoz,
- mechanický přísun paliva,
- jednoduchá, časově nenáročná obsluha a údržba,
- nízké provozní náklady,
- automatické zapalování kotle (na přání),
- řízené spalování pomocí lambda-sondy (na přání).

Obr. 11: Benekov R 25



[<http://benekov.cz>]

Benekov Pelling 27

Kotel Benekov Pelling 27 lze použít stejně jako předchozí kotel R 25 pro kombinované spalování dřevních pelet a energetického obilí.

Mezi přednosti kotle patří:

- mechanický přísun paliva,
- časově nenáročná obsluha a údržba,
- nízké provozní náklady,
- nízká emisní zátěž pro okolí,
- automatické zapalování kotle (na přání),
- řízené spalování pomocí lambda-sondy (na přání).

Obr. 12: Benekov Pelling 27



[<http://benekov.cz>]

Tab. 6: Technické parametry spalovacích zařízení Benekov do tepelného výkonu 25kW

Základní parametry		Benekov C 25p	Benekov R 25	Benekov pelling 27
Jmenovitý výkon	[kW]	25	24	25
Regulovatelný výkon	[kW]	7,5-25	7-24	7,5-25
Účinnost kotle	[%]	90,8	92,7	89,4
Spotřeba paliva- pelety	[kg.h ⁻¹]	1,9-5	1,9-6	1,9-6,2
Doporučené palivo		Pelety	Pelety, Obilí	Pelety, Obilí
Hmotnost	[kg]	377	437	392
Rozměry kotle:				
Šířka	[mm]	1165	1164	1484
Hloubka	[mm]	990	905	1124
Výška	[mm]	1475	1476	1230
Kapacita zásobníku paliva	[dm ³]	370	295	390
Průměr kouřovodu	[mm]	145	145	145
Komínový tah	[mbar]	0,15-0,20	0,15-2,0	0,15-2,0
Objem vodního prostoru	[l]	89	89	90
Max. příkon při provozu	[W]	84	121	255
Pracovní přetlak topné vody	[kPa]	2,0 (200)	2,0 (200)	2,0 (200)
Cena kotle + zásobník (vč. DPH)	[kč]	107 880	144 000	86280

[<http://benekov.cz>]

Tab. 7: Předepsané palivo pro kotle Benekov

Typ paliva/parametry	Dřevní pelety	Obilí
Zrnitost [Φ]	6 -14	-
Délka [mm]	max. 30	550-800
Obsah vody [%]	max. 12	max. 14

[<http://benekov.cz>]

5.1.2 Viadrus

Viadrus je významný český výrobce litinových kotlů a radiátorů s tradicí datující se do roku 1890. Závod Viadrus patří do významné české společnosti ŽDB GROUP, a.s. Má za sebou bohatou historii s řadou významných mezníků. Díky své dlouholeté znalosti trhu a oboru tepelné techniky se i nadále rozvíjí, inovuje produktové portfolio a kromě klasických zdrojů se nově orientuje i na obnovitelné zdroje tepla. [<http://viadrus.cz>]

Herkules Eco

Tento kotel je určen k spalování dřevěných pelet. Jeho úsporné a ekologické vytápění s požadavky na automatický provoz, minimální nároky na obsluhu a rozsáhlé možnosti nastavení.

Mezi přednosti kotle patří:

- časově nenáročná obsluha a údržba;
- nízké provozní náklady;
- možnost řízení provozu kotle pokojovým přístrojem;
- vysoká životnost litinového výměníku.

Obr. 13: Herkules Eco



[<http://viadrus.cz>]

Woodpell

Kotel Woodpell na spalování dřevních pelet je určený k úspornému a ekologickému vytápění v automatickém režimu s minimálními nároky na obsluhu kotle. Modulační automatický regulátor ovládá činnost kotle včetně automatického zapalování a umožňuje rovněž ruční režim ovládání kotle, což lze s výhodou využívat zejména při uvádění kotle do provozu nebo při výpadku elektrické energie.

Mezi přednosti kotle patří:

- vysoká životnost litinového kotlového tělesa,
- vysoká účinnost a ekologický automatický provoz,
- automatické zapalování,
- jednoduchá, časově nenáročná obsluha a údržba,
- přísun paliva z libovolného zásobníku,
- záruka na kotlové těleso 5 let.

Obr. 14: Viadrus Woodpell



[<http://viadrus.cz>]

Tab. 8: Technické parametry spalovacích zařízení Viadrus do tepelného výkonu 25 kW

Základní parametry		Herkule Eco (starý design)	Woodpell
Jmenovitý výkon	[kW]	24	25
Regulovatelný výkon	[kW]	7-24	6,46-25,85
Účinnost kotle	[%]	83	85
Spotřeba paliva- pelety	[kg.h ⁻¹]	1,8-5,9	1,64- 6,52
Doporučené palivo		Pelety	Pelety
Hmotnost	[kg]	441	433
Rozměry kotle:			
	[mm]	1940	2280
	[mm]	405	1505
Rozměry kotle š x v x h	[mm]	1140	1390
Kapacita zásobníku paliva	[kg]	470	470
Průměr kouřovodu	[mm]	156	160
Komínový tah	[kPa]	0,15-0,25	0,2-0,3
Teplota spalin	[°C]	110-170	104-218
Objem vodního prostoru	[l]	40,9	50,3
Max. příkon při provozu	[W]	230	39
Pracovní přetlak topné vody	[kPa]	2	2
Cena kotle (vč. DPH)		82632	86798,40
Cena zásobníku (vč. DPH)	[Kč]	8191,2	-
Celkem	[Kč]	90823,2	86798,40

[<http://viadrus.cz>]

Tab. 9: Předepsané palivo pro kotle Viadrus Hercules a Woodpell

Typ kotle	Dřevěné pelety	Vlhkost
Viadrus Herkules ECO	Φ 6-10 mm	12%
Viadrus Woodpell	Φ 6-10 mm	12%

[<http://viadrus.cz>]

5.1.3 Ponast

Společnost PONAST spol. s r.o. byla založena jako ryze česká společnost v roce 1992. Firma patří do skupiny malých a středních podniků. Během doby své existence se sortiment produkce postupně měnil a vyvíjel. Od roku 1999 se specializuje především na strojírenskou výrobu, jejíž stále rostoucí součástí je výroba automatických teplovodních kotlů na spalování dřevních pelet. Je tedy výrobcem automatických teplovodních kotlů na dřevní pelety, které úspěšně uvádí do provozu nejen na českém trhu, ale ve stále větším měřítku i na trzích Evropské unie. [<http://ponast.cz>]

KP 20

Řada teplovodních automatických kotlů KP na dřevní pelety je určena především pro vytápění rodinných domků, bytových domů, menších komunálních objektů, chat a menších provozoven či podnikatelských budov.

Mezi přednosti kolte, patří:

- automatický provoz,
- řídicí jednotka,
- přednostní ohřev TUV,
- modulace výkonu,
- bezdýmné spalování paliva.

Obr. 15: Ponast KP 20



[<http://ponast.cz>]

Tab. 10: Technické parametry spalovacího zařízení Ponast do tepelného výkonu 25 kW

Základní parametry		KP20
Jmenovitý výkon	[kW]	25
Regulovatelný výkon	[kW]	7,5-25
Účinnost kotle	[%]	85-88
Spotřeba paliva- pelety	[kg.h ⁻¹]	1,61-6,25
Doporučené palivo		Pelety
Hmotnost	[kg]	526
Rozměry kotle:		
Šířka	[mm]	497
Hloubka	[mm]	1065
Výška	[mm]	1420
Kapacita zásobníku paliva	[kg]	400
Průměr kouřovodu	[mm]	145
Komínový tah	[mbar]	0,10-0,2
Objem vodního prostoru	[l]	87
Max. příkon při provozu	[W]	180
Pracovní přetlak topné vody	[kPa]	do 2,5
Cena kotle (vč. DPH)	[Kč]	95880

[<http://ponast.cz>]

Tab. 11: Předepsané palivo pro spalovací zařízení KP 20

Typ kotle	Dřevěné pelety	Vlhkost
Ponast KP 20	Φ 4-10 mm	10-12%

[<http://ponast.cz>]

5.1.4 Verner

Společnost VERNER, začínající v roce 1992 s jednoduchým sortimentem výrobků, je dnes moderní organizací nabízející velmi rozmanité produkty a služby, které podporují její rostoucí pozici na českém i zahraničním trhu. Od počátku své působnosti se zaměřuje na výrobu zařízení pro ekologické spalování.

[<http://kotle-verner.cz>]

VERNER A251

Tento kotel je především určen pro komfortní, úsporné a ekologické vytápění rodinných domů, bytových jednotek, zemědělských budov, škol, provozoven a obdobných objektů.

Kotle zajišťují plně automatický provoz od dopravy paliva a jeho zapálení až po transport popela. Základní násypka umožňuje několikadenní provoz bez nutnosti doplňování. Pro spalování jsou doporučeny kvalitní dřevní pelety.

Mezi přednosti kotle patří:

- vysoký komfort obsluhy, automatický provoz,
- výborná regulace výkonu,
- nízké provozní náklady,
- dlouhá životnost,
- schopnost spalovat různé typy paliv.

Obr. 16: Verner A 251



[<http://kotle-verner.cz>]

Tab. 12: Technické parametry spalovacího zařízení Verner do tepelného výkonu 25 KW

Parametry		Kotel VERNER A251
Jmenovitý výkon	[kW]	25
Regulovatelný výkon	[kW]	7,5- 30
Účinnost kotle	[%]	91
Spotřeba paliva- pelety	[kg.h-1]	5,6
Doporučené palivo		Pelety
Hmotnost	[kg]	575
Rozměry kotle:		
Šířka	[mm]	670
Hloubka	[mm]	1460
Výška	[mm]	1430
Obsah zásobníku	[l]	240
Průměr kouřovodu	[mm]	160
Komínový tah	[kW]	0,15-0,3
Vodní objem	[%]	85
Ø příkon při provozu	[W]	1500
Pracovní přetlak vody	[kPa]	3
Cena (vč. DPH)	[kč]	179880

[<http://kotle-verner.cz>]

Tab. 13: Předepsané palivo pro spalovací zařízení Verner A 251

Typ kotle	Dřevěné pelety	Vlhkost
Verner A 251	Φ 6-14 mm	10-12%

[<http://kotle-verner.cz>]

5.1.5 Vyhodnocení výběrového řízení na spalovací zařízení do tepelného výkonu 25 kW

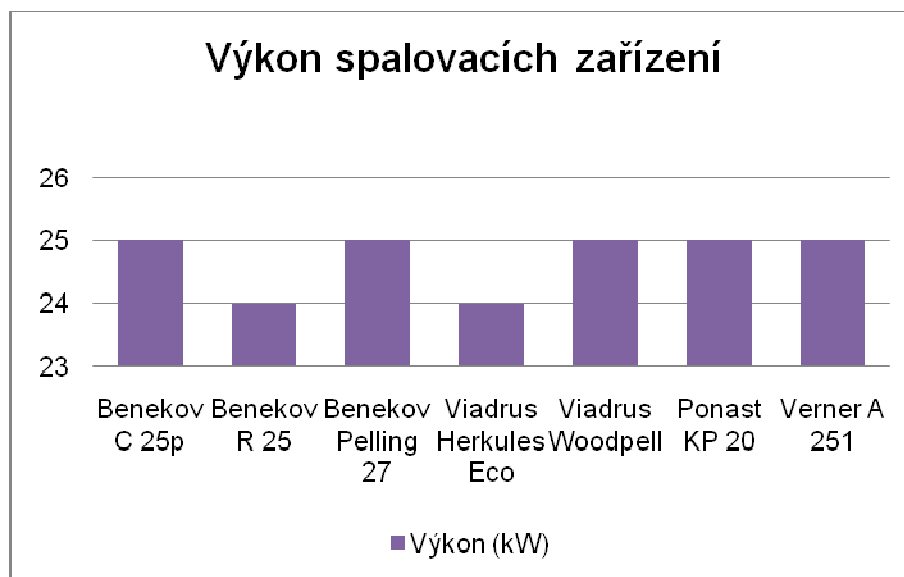
Všechna spalovací zařízení splňují normu ČSN EN 303-05 a jsou vyráběna výrobci, kteří se řadí v problematice spalovacích zařízení na tuhá biopaliva mezi špičku, jak na českém, tak i na zahraničním trhu.

I přesto, že byla vybírána zařízení s výkonem 24- 25 kW, se v porovnání parametrů tab. 14 ukázalo, že mezi nimi nalezeneme značné rozdíly. Vybrané parametry jsou zobrazeny graficky na obr. 17, 18, 19, 20.

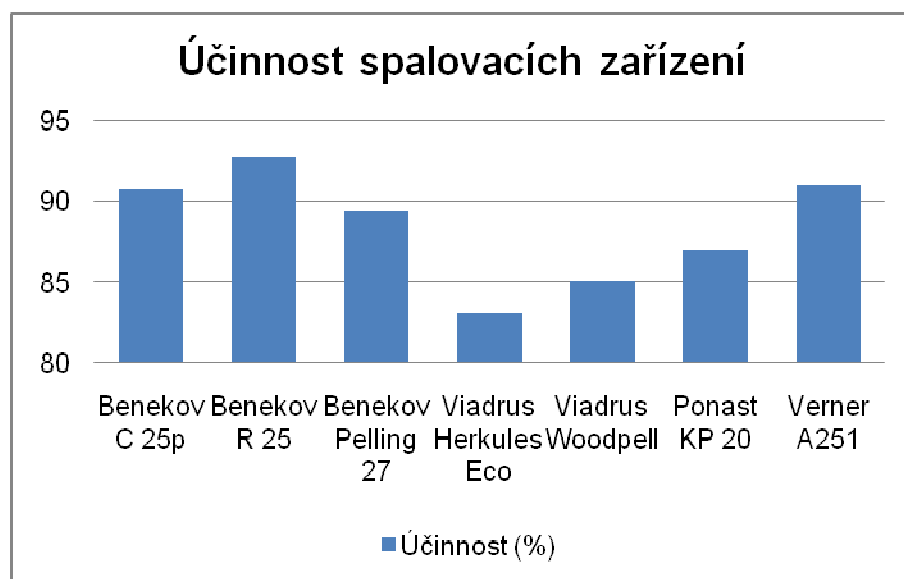
Tab. 14: Porovnání technických parametrů vybraných spalovacích zařízení do tepelného výkonu 25 kW

Základní parametry		Benekov C 25p	Benekov R 25	Benekov pelling 27	Hercules ECO	Woodpell	KP20	Verner A 251
Jmenovitý výkon	[kW]	25	24	25	24	25,85	25	25
Regulovatelný výkon	[kW]	7,5-25	7-24	7,5-25	7-24	6,46-25,85	7,5-25	7,5- 30
Účinnost kotle	[%]	90,8	92,7	89,4	83	85	85-88	91
Spotřeba paliva- pelety	[kg.h ⁻¹]	1,9-5	1,9-6	1,9-6,2	1,8-5,9	1,64- 6,52	1,61-6,25	5,6
Doporučené palivo		Pelety	Pelety,	Pelety,	Pelety	Pelety	Pelety	Pelety
Hmotnost	[kg]	377	437	392	441	433	526	575
Rozměry kotle:								
Šířka	[mm]	1165	1164	1484	1940	2280	497	6701
Hloubka	[mm]	990	905	1124	1405	1505	1065	1460
Výška	[mm]	475	1476	230	1140	1390	1420	1430
Kapacita zásobníku paliva	[dm ³]	370	295	390	470	470	400	240
Průměr kouřovodu	[mm]	145	145	145	156	160	145	160
Komínový tah	[mbar]	0,15-0,20	0,15-2,0	0,15-2,0	0,15-0,25	0,2-0,3	0,10-0,2	0,15-0,3
Objem vodního prostoru	[l]	89	89	90	40,9	50,3	87	85
Max. příkon při provozu	[W]	84	121	255	230	39	180	1500
Pracovní přetlak topné vody	[kPa]	2	2	2	2	2	do 2,5	3
Cena kotle + zásobník (vč. DPH)	[Kč]	107 880	144 000	86280	90823,2	86798,40	95880	179880

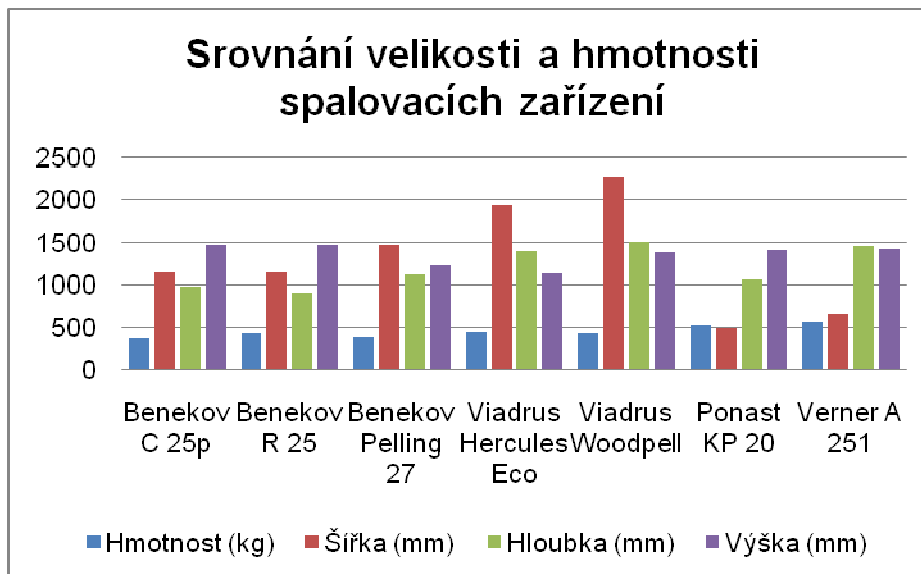
Obr. 17: Porovnání výkonu vybraných spalovacích zařízení do výkonu 25 kW



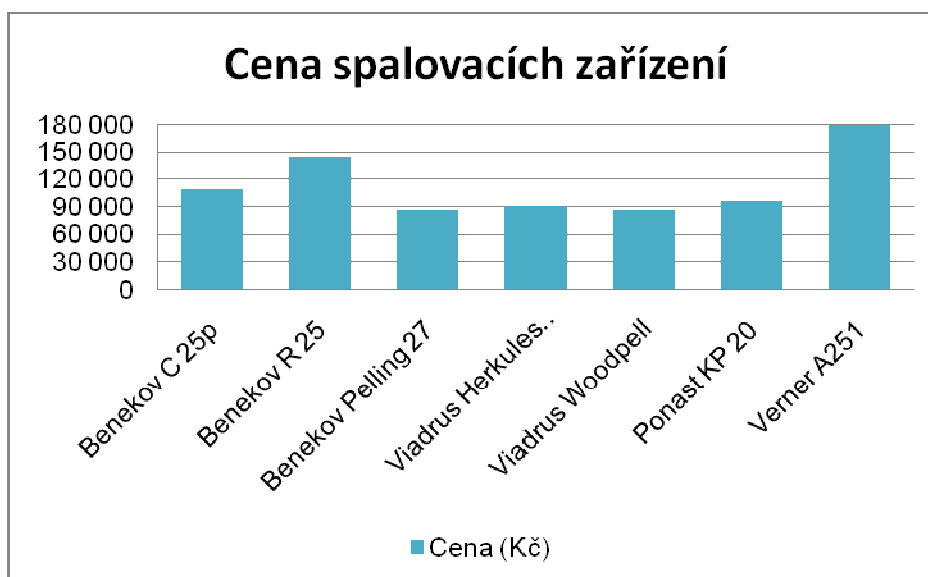
Obr. 18: Porovnání účinnosti vybraných spalovacích zařízení do výkonu 25 kW



Obr. 19: Porovnání velikosti a hmotnosti vybraných spalovacích zařízení do výkonu 25 kW



Obr. 20: Porovnání cen vybraných spalovacích zařízení do výkonu 25 kW



Graficky znázorněné parametry byly zvoleny jako hlavní parametry k dokončení výběrového řízení na vhodného spalovacího zařízení do tepelného výkonu 25 kW. Výsledné hodnocení zařízení je uvedeno v tab. 15.

Tab. 15: Porovnání graficky znázorněných parametrů (1- nejlepší, 7- nejhorší)

Parametry		Benekov C 25p	Benekov R 25	Benekov pelling 27	Hercules ECO	Woodpell	KP20	Verner A 251
Výkon	[kW]	1	2	1	2	1	1	1
Účinnost	[%]	3	1	4	7	6	5	2
Velikost	[mm]	5	3	4	6	7	1	2
Hmotnost	[kg]	1	4	2	5	3	6	7
Cena	[Kč]	5	6	1	3	2	4	7
Celkem		15	16	12	23	19	17	19

Na základě porovnání parametrů bylo vybráno spalovací zařízení Benekov Pelling 27. I přes nižší účinnost a větší rozměry než u konkurenčních porovnávaných zařízení, bylo při výběru přihlédnuto především k ceně, která je výrazně nižší při zachování konkurence schopných parametrů.

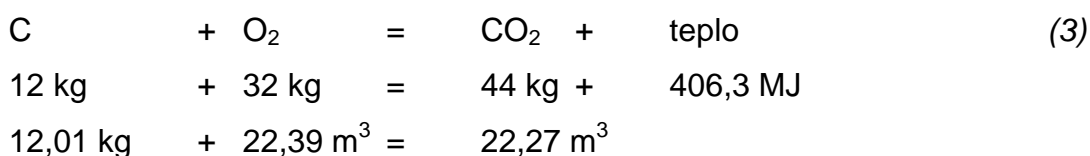
5.2 Teoretický rozbor vybraného spalovacího zařízení

Pro měření bylo vybráno spalovací zařízení Benekov Pelling 27. Jedná se o teplovodní kotel, který vychází z principu spodního přikládání paliva. Tento druh spalovacího zařízení je detailně popsán v teoretické části této diplomové práce.

Spalování tuhých a kapalných paliv

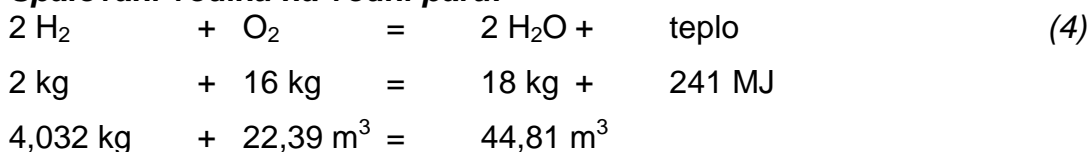
Použitím molekulových hmotností jednotlivých prvků lze vyjádřit vztahy pro oxidační reakce při spalování stechiometrickými rovnicemi:

Spalování uhlíku na oxid uhličitý:



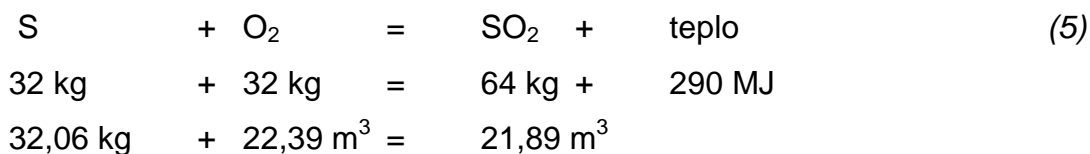
Výhřevnost 1 kg čistého uhlíku je 33,85 MJ.kg⁻¹.

Spalování vodíku na vodní páru:



Výhřevnost 1 kg vodíku je 120,5 MJ.kg⁻¹.

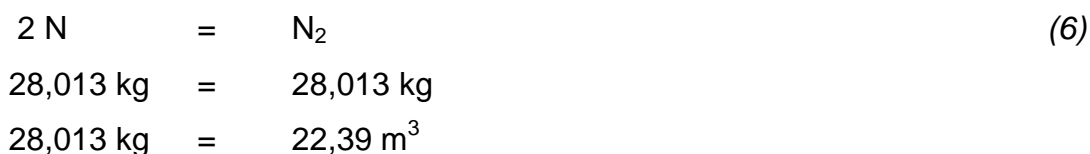
Spalování síry na oxid siřičitý:



Výhřevnost 1 kg síry je 9,0625 MJ.kg⁻¹.

Pro převod ostatních prvků a vlhkosti (vody) do plynné fáze platí:

Pro dusík:



Pro kyslík:

$$\begin{aligned} 2 \text{ O} &= \text{O}_2 & (7) \\ 31,999 \text{ kg} &= 31,999 \text{ kg} \\ 31,999 \text{ kg} &= 22,39 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pro vlhkost platí:

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O}_{\text{kap}} &= \text{H}_2\text{O}_{\text{pára}} & (8) \\ 18,015 \text{ kg} &= 18,015 \text{ kg} \\ 18,015 \text{ kg} &= 22,41 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Všechny objemy a hmotnosti spalovacího vzduchu a spalin v rovnicích jsou udávány za tzv. normálních podmínek, tj. při teplotě $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $p = 101,325 \text{ kPa}$.

Objemové spalování (hodnoty reálných molárních objemů plynů)

Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování:

$$O_{\min} = \frac{22,39}{12,01} \cdot C + \frac{22,39}{4,032} \cdot H + \frac{22,39}{32,06} \cdot S - \frac{22,39}{31,99} \cdot O, \text{ (m}^3_{\text{N}} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (9)$$

Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{\min} = O_{\min} \cdot \frac{100}{21}, \text{ (m}^3_{\text{N}} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (10)$$

Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{\text{skut}} = O_{\min} \cdot \frac{100}{21} \cdot n, \text{ (m}^3_{\text{N}} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (11)$$

Teoretické objemové množství suchých spalin:

$$v_{\text{spmin}}^s = \frac{22,27}{12,01} \cdot C + \frac{21,89}{32,06} \cdot S + \frac{22,40}{28,013} \cdot N + 0,7805 \cdot L_{\min}, \text{ (m}^3_{\text{N}} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (12)$$

kde: C, H, O, S, N, W jsou poměrná množství uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$),
n .. součinitel přebytku vzduchu (-).

Objemové množství vlhkých spalin:

$$v_{sp}^v = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{H_2O} + v_{N_2} + v_{O_2} + v_{Ar}, \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (13)$$

Objemové množství suchých spalin:

$$v_{sp}^s = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{N_2} + v_{O_2} + v_{Ar}, \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (14)$$

$$\text{kde: } v_{CO_2} = \frac{22,27}{12,01} \cdot C + 0,0003 \cdot L_{skut}, \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (15)$$

$$v_{SO_2} = \frac{21,89}{32,06} \cdot S, \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (16)$$

$$v_{H_2O} = \frac{44,81}{4,032} \cdot H + \frac{22,41}{18,015} \cdot W + (v - 1) \cdot L_{skut}, \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (17)$$

$$v_{N_2} = \frac{22,40}{28,013} \cdot N + O_{\min} \cdot \frac{78,05}{21} \cdot n, \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (18)$$

$$v_{O_2} = O_{\min} \cdot (n - 1), \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (19)$$

$$v_{Ar} = 0,0092 \cdot L_{skut} \text{ (m}^3_{N} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)} \quad (20)$$

Vyjádření jednotlivých složek spalin v %:

Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách:

$$CO_{2\max} = \frac{\frac{22,27}{12,01} \cdot C}{v_{sp\min}^s} \cdot 100, \text{ (}\% \text{)} \quad (21)$$

Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách:

$$SO_{2\max} = \frac{\frac{21,89}{32,06} \cdot S}{v_{sp\min}^s} \cdot 100, \text{ (}\% \text{)} \quad (22)$$

Objemová koncentrace složek spalin ve vlhkých spalinách:

$$CO_2 = \frac{v_{CO_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100, \text{ (}\% \text{)} \quad (23)$$

$$H_2O = \frac{v_{H_2O}}{v_{sp}^v} \cdot 100, \text{ (}\% \text{)} \quad (24)$$

$$SO_2 = \frac{v_{SO_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100, \text{ (}\% \text{)} \quad (25)$$

$$N_2 = \frac{v_{N_2}}{v_{sp}} \cdot 100, (\%) \quad (26)$$

$$O_2 = \frac{v_{O_2}}{v_{sp}} \cdot 100, (\%) \quad (27)$$

5.3 Vlastní měření

Pro stanovení emisních parametrů je nutné provést chemickou analýzu paliva. Po této analýze následují stechiometrické výpočty a statistické zhodnocení naměřených hodnot.

5.3.1 Analýza paliva

Pro vlastní měření bylo vybráno velmi kvalitní palivo značky Biomac. Jedná se o bílé ekopelety o průměru 6 mm, které jsou vyrobeny ze smrkové štěpky. Při detailní chemické analýze paliva, která byla provedena v ústavu energetiky, který sídlí na VŠCHT v Praze, byly zjištěny vlastnosti, které jsou uvedeny v tab. 17.

Tab. 16: Chemická analýza vlastností dřevěných ekopelet Biomac

W	Veškerá voda v původním vzorku	kg.kg ⁻¹	0,0729
C	Množství uhlíku v původním vzorku	kg.kg ⁻¹	0,4957
H	Množství vodíku v původním vzorku	kg.kg ⁻¹	0,064
O	Množství kyslíku v původním vzorku	kg.kg ⁻¹	0,362
S	Množství síry v původním vzorku	kg.kg ⁻¹	0,0001
N	Množství dusíku v původním vzorku	kg.kg ⁻¹	0,0019
A	Množství popele v původním vzorku	kg.kg ⁻¹	0,0033

Výhřevnost paliva byla počítána na základě vzorce (1), který je uveden v teoretické části této práce.

Spalné teplo bylo určeno pomocí kalorimetru. Toto měření bylo provedeno stejně jako analýza paliva v Ústavu energetiky na VŠCHT v Praze. Výsledky jsou uvedeny v tab. 17.

Tab. 17:

1.2 Spalné teplo a výhřevnost paliv (hořlavých odpadů)			
Q_n	Výhřevnost paliva podle ČSN 44 1352	kJ.kg^{-1}	18364,76
Q_v	Spalné teplo	kJ.kg^{-1}	19940,00

Hodnoty objemového spalování byly vypočítány na základě vzorců, které jsou uvedeny v podkapitole teoretický rozbor zařízení. Pro přehlednost je ke každé vypočtené hodnotě přiřazeno číslo vzorce, podle kterého byla vypočtena. Výsledky výpočtu hodnot objemového spalování jsou uvedeny v tab. 18.

Tab. 18: Souhrnný přehled výpočtu hodnot objemového spalování

O_{\min}	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	1,03	(9)
L_{\min}	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	4,89	(10)
L_{skut}	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	10,26	(11)
n	Součinitel přebytku vzduchu		2,10	
v_{sp}^v	Objemové množství vlhkých spalin	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	11,37	(12)
v_{sp}^s	Objemové množství suchých spalin	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	10,16	(13)
v_{spmin}^s	Teoretické objemové množství suchých spalin	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	4,74	(14)
v_{CO_2}	Objemové množství CO_2	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	0,92	(15)
v_{SO_2}	Objemové množství SO_2	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	0,00	(16)
$v_{\text{H}_2\text{O}}$	Objemové množství H_2O	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	1,21	(27)
v_{N_2}	Objemové množství N_2	$\text{m}^3\text{N.kg}^{-1}$	8,01	(17)

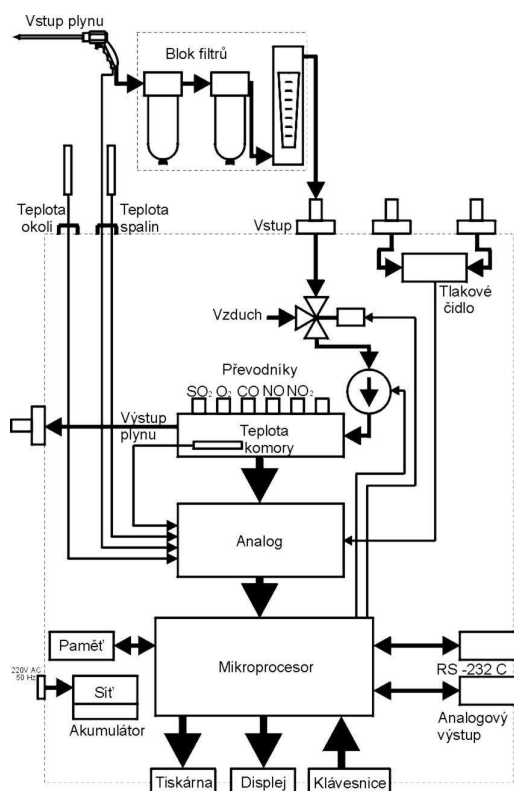
v_{O_2}	Objemové množství O_2	$m^3N.kg^{-1}$	1,13	(18)
v_{Ar}	Objemové množství Ar	$m^3N.kg^{-1}$	0,09	(19)
Vyjádření jednotlivých složek spalin v %				
CO_{2max}	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách	%	19,41	(20)
SO_{2max}	Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalinách	%	0,00	(21)
CO_2	Oxid uhličitý	%	8,11	(22)
SO_2	Oxid siřičitý	%	0,00	(23)
H_2O	Voda	%	10,66	(24)
N_2	Dusík	%	70,46	(25)
O_2	Kyslík	%	9,93	(26)
n	Přibližný výpočet součinitele přebytku vzduchu z poměru CO_{2max} a CO_2		2,39	(27)

Pozn. N znamená, že hodnoty jsou vypočítány za normálních podmínek, tj. při teplotě $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ a tlaku $p = 101,325 \text{ kPa}$.

5.3.4 Měřicí zařízení

Pro stanovení hmotnostních toků, emisních faktorů a charakteristiky tuhých částic při termickém zpracování směsi organických odpadů a rostlinné biomasy je použit přístroj GA-60.

Obr. 21: Blokové schéma přístroje GA-60



[Provozní manuál analyzátoru GA- 60]

Přístroj GA-60 (obr. 20) je víceúčelový analyzátor kouřových plynů. Jeho princip je založen na využití elektrochemických převodníků. Přístroj GA-60 má standardně pět převodníků s možností zabudování šestého převodníku. Standardní vybavení představuje převodníky na analýzu těchto složek spalin: kyslík (O₂), oxid uhelnatý (CO), oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO₂), oxid siřičitý (SO₂) a chlorovodík (Cl) viz. tab. 19.

Tab.19: Přehled převodníků pro analyzátor GA-60

Převodník	Typ	Měřicí rozsah (ppm)
CO	3F/F	0 – 20 000
NO	3NF/F	0 – 5 000
NO ₂	3NDH	0 - 800
SO ₂	3SF	0 – 2 000
H ₂ S	3H	0 – 1 000
H ₂	3HYT	0 – 2 000
HCN	3HN	0 - 200
HCl	3HL	0 - 100
Cl ₂	3CLH	0 - 250

[<http://madur.com>]

Oxid uhličitý je počítán na základě naměřené koncentrace kyslíku a charakteristiky paliva, ostatní komponenty spalin jsou přímo měřeny převodníky. Hodnoty kyslíku a oxid uhličitý jsou uváděny v procentech, ostatní složky pak ve třech koncentracích:

- objemová koncentrace v ppm,
- hmotnostní koncentrace za normálních podmínek (0°C, 101,332 kPa) v mg.m⁻³,
- hmotnostní koncentrace za normálních podmínek vztažená na zadaný obsah O₂ (většinou O₂ = O_r = 11%).

Přístroj GA-60 umožňuje dále měřit jak teplotu okolí, tak teplotu spalin. Na základě těchto měření a chemických parametrů provádí přístroj výpočet charakteristik spalování v rozsahu:

- komínová ztráta,
- účinnost spalování tepelně-technická,
- přebytek vzduchu,
- dílčí ztráty.

Pomocí přístroje je možné měřit přetlak i podtlak a zároveň diferenční tlak, a tím i rychlost proudění spalin v kouřovodu.

Tab. 20: Technické údaje analyzátoru GA-60

Veličina/Princip měření	Rozsah	Rozlišení	Přesnost čidla
Teplota okolí/čidlo Pt 500	0 – 100°C	1 °C	± 2%
Teplota spalin	0 – 1 300 °C	1 °C	± 5%
Čidlo NiCr/ni (nebo PtRh/Pt)	0 – 1 600 °C	1 °C	± 2%
Elektrochemický převodník/kyslík (O ₂)	0 – 20,95%	0,01%	± 2%
Elektrochemický převodník/oxid uhelnatý (CO)	0 – 20 000ppm	1ppm	± 5%
Elektrochemický převodník/oxid dusný (NO)	0 – 5 000ppm	1ppm	± 5%
Elektrochemický převodník/oxid dusičitý (NO ₂)	0 – 800ppm	1ppm	± 5%
Elektrochemický převodník/oxid siřičitý (SO ₂)	0 – 2 000ppm	1ppm	± 5%
Tlak	± 50 hPa	0,01 hPa	
Sazové číslo podle Bacharacha	0 - 9	1	
Oxidy dusíku (NO _x) jako NO ₂ /výpočet z NO+NO ₂	0 – 6 000ppm	1ppm	
Oxid uhličitý (CO ₂)/výpočet dle paliva z CO ₂ max a O ₂	0 – 25%	0,1%	
Tepelně technická účinnost/výpočet dle DIN/öNORM	0 – 100%	0,1%	
Ztráta komínová a nedokonalým spal./výpočet dle DIN/öNORM	0 – 100%	0,1%	
Přebytek vzduchu/výpočet dle DIN/öNORM	1 - ∞	0,01	

[<http://madur.com>]

Obr. 22: Madur GA-60



[<http://madur.com>]

5.3.5 Statistické zhodnocení naměřených hodnot

Rozptyl

Rozptyl je definován jako součet čtverců odchylek jednotlivých hodnot znaku x od aritmetického průměru \bar{x} , dělený rozsahem souboru:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} .$$

Vzorec představuje prostou formu rozptylu, která je vhodná pro výpočet rozptylu z netříděné řady naměřených hodnot.

Rozptyl s^2 ve tvaru zavedeném v předchozím vzorci používáme u jednorozměrných výběrových souborů pouze jako popisné charakteristiky variability. Chceme-li výběrový rozptyl použít k odhadu, vyjdeme při jeho výpočtu z tvaru:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 .$$

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka (s) je definována jako kladná druhá odmocnina rozptylu:

$$s = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{n}}.$$

Výhodou směrodatné odchylky vzhledem k rozptylu je to, že charakterizuje variabilitu v měrných jednotkách sledovaného statistického znaku, zatímco rozptyl je vyjádřen ve čtvercích těchto jednotek.

Variační koeficient

Variační koeficient (V) je podílem směrodatné odchylky a aritmetického průměru:

$$V = \frac{s}{\bar{x}}.$$

Variační koeficient je relativní charakteristikou variability a používáme ho tehdy, máme-li porovnat variabilitu statistického znaku u dvou nebo více souborů, nebo tehdy, máme-li porovnat variabilitu několika statistických znaků, vyjádřených v různých měrných jednotkách.

5.3.6 Zhodnocení vlastního měření

Naměřené hodnoty analyzátozem GA- 60 byly převedeny pomocí datového kabelu do počítače, kde byly následně upraveny a statisticky zhodnoceny. Výsledky naměřených hodnot v tab. 21 byly porovnány s emisními limity tab. 22, stanovenými vyhláškou.

Tab. 21: Výsledky naměřených hodnot

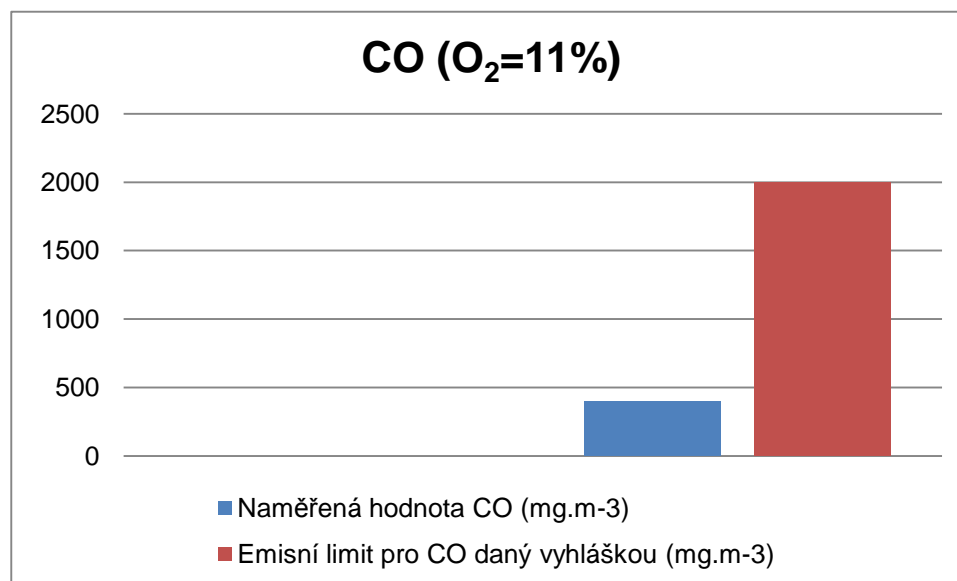
		Průměr	s ²	s	V
T _{ok}	°C	22,00	0,00	0,00	0,00
T _{pl}	°C	279,84	5,98	2,44	0,01
O ₂	%	9,83	1,03	1,01	0,10
n z O ₂	0	1,89	0,03	0,18	0,09
CO ₂	%	10,27	0,88	0,94	0,09
n z CO ₂	0	1,87	0,03	0,17	0,09
CO	ppm	366,50	51802,26	227,60	0,62
CO	mg.m-3	458,29	80998,85	284,60	0,62
CO (O ₂ =11%)	mg.m-3	400,23	51166,06	226,20	0,57
NO	ppm	126,36	2222,93	47,15	0,37
NO	mg.m-3	169,21	3986,34	63,14	0,37
NO (O ₂ =11%)	mg.m-3	154,06	3567,69	59,73	0,39
SO ₂	ppm	18,92	529,83	23,02	1,22
SO ₂	mg.m-3	55,88	4621,16	67,98	1,22
SO ₂ (O ₂ =11%)	mg.m-3	51,05	3622,79	60,19	1,18
NO _x	ppm	126,36	2222,93	47,15	0,37
NO _x	mg.m-3	259,43	9370,15	96,80	0,37
NO _x (O ₂ =11%)	mg.m-3	236,21	8386,09	91,58	0,39

Tab. 22: Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší

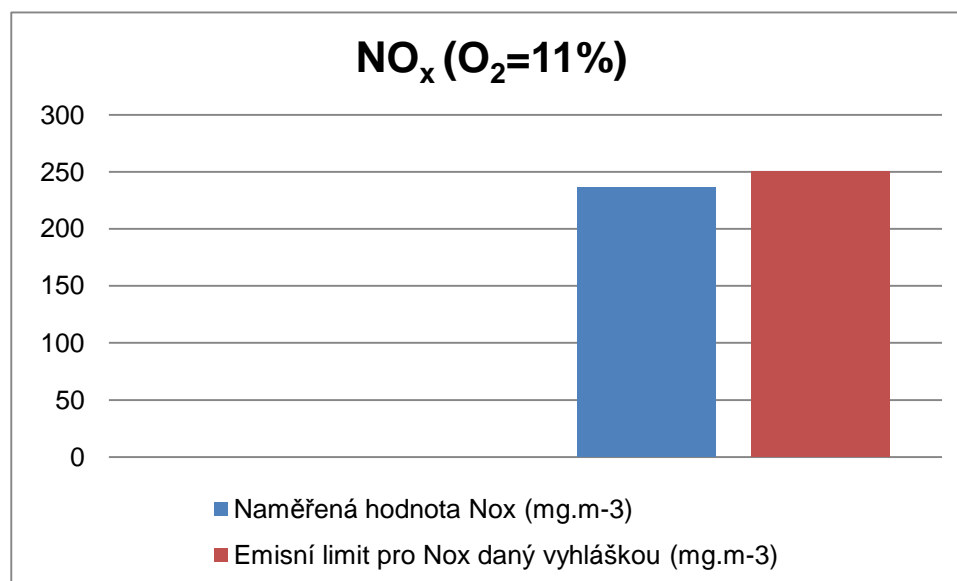
CO	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	4 500/2 000
NO _x	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	550/250
SO ₂	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	130/60
C _x H _y	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	130/60
Tuhé znečišťující látky	(mg.kWh ⁻¹)/ (mg.m ⁻³)	420/190

Emise v mg.m⁻³ jsou vztaženy na suché spaliny a normální podmínky 101,32 kPa a 0°C při referenčním obsahu O₂ ve spalínách 11% obj. Hmotnostní koncentrace NO_x je vztažena k NO₂. Hmotnostní koncentrace C_xH_y je vztažena k C₃H₈. Stanovené emise se nevztahují na dobu zátopu a dobu po přiložení do 5 minut.

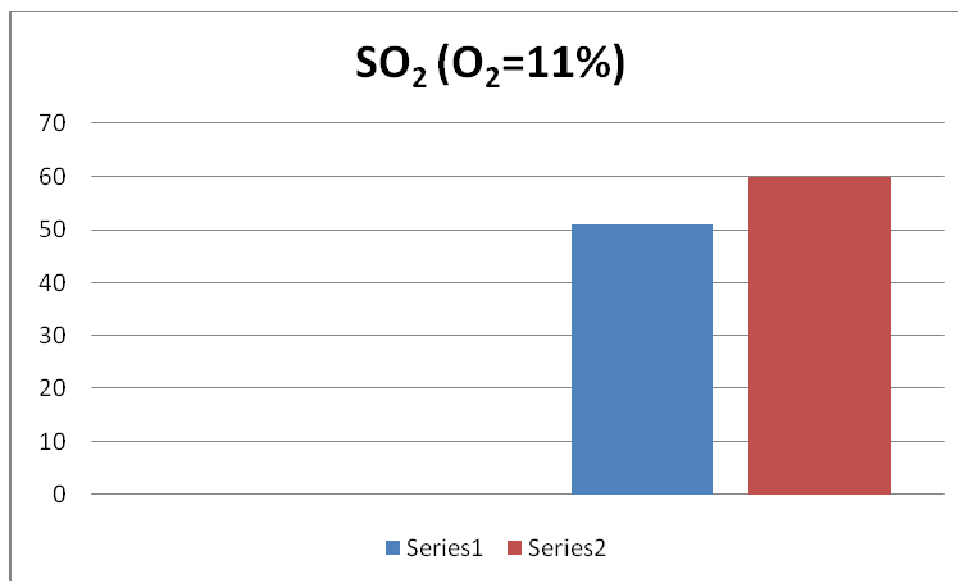
Obr. 23: Porovnání naměřených hodnot CO s platnými emisními limity



Obr. 24: Porovnání naměřených hodnot NO_x s platnými emisními limity



Obr. 25: Porovnání naměřených hodnot SO₂ s platnými emisními limity



Porovnáním naměřených hodnot a emisních limitů bylo zjištěno, že spalovací zařízení Pelling 27 při spalování dřevěných pelet ze smrkové štěpky plní emisní limity a je vhodný pro inovaci vytápění do rodinného domku střední velikosti.

6. Technicko- ekonomické zhodnocení řešení

Investiční náklady na inovaci spalovacího zařízení

Tyto náklady se skládají z pořízení spalovacího zařízení a pořizovacích nákladů k tomu spojených. Tyto náklady jsou uvedeny v tab. 23.

Tab. 23: Náklady na inovaci spalovacího zařízení

Investiční náklady na pořízení spalovacího zařízení		
Spalovací zařízení Pelling 27	[Kč]	86 280
Montáž spalovacího zařízení	[Kč]	20 000
Drobné stavební úpravy	[Kč]	7 000
Celkem (vč. DPH)	[Kč]	113 280

Investiční náklady nepřesáhly limit, který byl na inovaci stanoven, vše bude hrazeno z vlastních zdrojů.

Současné náklady na vytápění zemním plynem

V současné době se používá k vytápění rodinného domu zemí plyn, který je dodáván společností Pražská plynárenská a.s. Z porovnání ročních vyúčtování bylo zjištěno, že roční spotřeba zemního plynu na vytápění je 46, 663 v MWh.

Roční náklady na vytápění dřevními peletami

Roční spotřeba dřevěných pelet pro spalovací zařízení Pelling 27 je 6-7 tun. Důležitým faktorem, který se projeví v konečných nákladech na vytápění, je cena pelet, která se u jednotlivých dodavatelů značně liší. Je nutné si uvědomit, že čím kvalitnější palivo se bude spalovat, tím šetrněji a hlavně ekonomičtěji bude spalovací zařízení pracovat. Proto se ve vyhledávání vhodného dodavatele budeme soustředit na výrobce bílých dřevních pelet, nejlépe ze smrkové štěpky.

Rodinný dům se nachází v Praze, proto se výběr vhodného dodavatele dřevních pelet orientuje v jejím rozsahu nebo přilehlém okolí. V tab. 23 jsou pro přehled vypsáni možní dodavatelé a ceny paliva.

Tab. 23: Přehled jednotlivých výrobců dřevěných pelet

Náklady na palivo		Biomac	Rioni	CDP
Cena paliva	[t]	6405	5100	5000
Doprava	[Kč]	300	500	500
Celkem	[Kč]	38 730	31 100	30 500

Náklady na provoz zařízení

Kromě nákladů na spotřebu paliva, je také nutno vypočítat náklady na provoz zařízení, tj. spotřeba elektrického proudu. Pro výpočet těchto nákladů je nutné znát příkon zařízení, dobu, po kterou bude zařízení zapojeno do elektrické sítě a platné tarifní ceníky dodavatele elektrické energie.

Tab. 24: Porovnání roční nákladů na provoz spalovacích zařízení

Parametry		Viadrus G 23	Pelling 27
Příkon	[W]	170	255
Doba zapojení	[dny]	365	365
Cena za energii	[Kč]	4,54	4,54
Celkem	[Kč]	6 760	10 141,50

Tab. 25: Porovnání celkových nákladů na vytápění spalovacího zařízení Pelling 27 se stávajícím zařízením Viadrus G 23

		Viadrus G 23	Pelling 27
Spotřeba paliva	[Kč]	52 578	30 500
Náklady na provoz	[Kč]	6760	10 142
Celkem	[Kč]	59338	40 642

Tab. 26: Návratnost

Současné roční náklady [Kč]	Investice do nového zařízení [Kč]	Roční náklady [Kč]	Roční úspora [Kč]	Návratnost [roky]
59 338	113 280	40642	18696	6,1

7. Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout inovaci spalovacího zařízení pro vytápění rodinného domku, konkrétně inovace plynového spalovacího zařízení na zařízení na tuhou biomasu v podobě dřevěných pelet. Při výběru vhodné možnosti vytápění byl zohledněn fakt, že je biomasa ekologický zdroj paliva, její spalování je šetrné k okolnímu prostředí a s porovnáním cen ostatních paliv, např. fosilních, je také ekonomicky výhodná.

V teoretické části byla popsána biomasa, její druhy a možnosti využití ve výrobě tepelné energie. Pozornost byla věnována tuhým biopalivům a to především peletám. Dále pak byla uvedena právní úprava tuhých biopaliv a jejich vlastnosti.

Pro spalování tuhé biomasy je možno vybrat z několika spalovacích zařízení, které fungují na odlišných principech. Tato spalovací zařízení jsou detailně popsána v závěru teoretické části.

Ve výchozích podmínkách bylo popsáno současné vytápění a stávající spalovací zařízení, které vytápění zajišťuje.

V praktické části bylo nejprve provedeno výběrové řízení na vhodné spalovací zařízení k inovaci. Bylo zadáno několik důležitých kritérií, která byla výchozí pro výběr zařízení. Na základě porovnání parametrů bylo vybráno vhodné spalovací zařízení, které splňovala i požadovaná kritéria.

Dále se praktická část zabývá vlastním měřením, kde na základě chemické analýzy paliva byly provedeny stechiometrické výpočty. Naměřené hodnoty byly statisticky zhodnoceny pomocí rozptylu, směrodatné odchylky a variačního koeficientu. Tyto zhodnocené výsledky měření byly porovnány s emisními limity, které jsou povoleny vyhláškou. Bylo zjištěno, že spalovací zařízení Benekov Pelling 27 tyto limity emisí splňuje.

V technicko-ekonomickém zhodnocení byl proveden součet veškerých nákladů na inovaci spalovacího zařízení Pelling 27.

Dále byla porovnána roční spotřeba paliva obou porovnávaných zařízení a jejich provozní náklady. Na základě vypočtené úspory byla dopočítána návratnost inovovaného spalovacího zařízení na 6, 1 let.

Tato práce zhodnocuje možnost inovace spalovacího zařízení na tuhá biopaliva místo stávajícího zařízení na zemní plyn. Na základě zjištěných výsledků je spalovací zařízení Pelling 27 doporučeno k inovaci vytápění rodinného domku střední velikosti.

8. Seznam literatury

- [1] OZE. In *STAVBY A ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU ENERGIE Z VYBRANÝCH OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ* [online]. Praha : Ministerstvo pro místní rozvoj, 2007 [cit. 2011-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.uur.cz/images/konzultacnistredisko/MetodickeNavody/OZE/OZEmetodika.pdf>>
- [2] *Alternativní zdroje energie* [online]. 2010 [cit. 2011-03-19]. Alternativní zdroje energie. Dostupné z WWW: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vyroba-energie-biomasa.htm>>
- [3] Zpracování odstraněného dřeva (reví) spalováním.. *Projekt QH 82242* [online]. 2008, A803/08, [cit. 2011-03-19]. Dostupný z WWW: <www.mze-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/54373.aspx>.
- [4] PRAVDA, Lukáš. Energie z biomasy III- seminář. In *Biomasa jako obnovitelný zdroj energie* [online]. Brno : -, 2004 [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iii/papers/20-PravdaI.pdf>.
- [5] PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav ; JEVIČ, Petr. *Biomasa : obnovitelný zdroj energie*. Praha : FCC PUBLIC, 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5
- [6] *Představení jednotlivých obnovitelných zdrojů (OZE)* [online]. 2009 [cit. 2011-03-19]. ENERGIE BIOMASY, ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY VYUŽITÍ. Dostupné WWW:<<http://www.oldweb.obecmalenice.cz/oze/biomasa1.htm>>.
- [7] JENSEN, J.- SORESEN, B.: *Fundamentals of Energy Storage*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, Jon Wiley- Sons 1983, 345 s.
- [8] *Sluko energy* [online]. 2011 [cit. 2011-03-19]. Biopalivo. Dostupné z WWW: <<http://www.slukoenergy.cz/biopalivo>>.
- [9] MALAŤÁK, Jan; JEVIČ, Petr; VACULÍK, Petr. *Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek*. Praha : Powerprint, 2010. 234 s. ISBN 978-80-87415-02-3.
- [10] MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří. *Energie z biomasy*. Brno : ERA , 2006. 94 s. ISBN 80-7366-071-7.
- [11] SLADKÝ, V; DVOŘÁK, J; ANDERT, D. *Příprava paliva z biomasy*. Praha : ÚZPI, 1995. 50 s.

- [12] Česko. Účinnost spalování paliv a přípustná koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. In *Příloha č. 7 k nařízení vlády č. 146/2007 Sb.* 2007.
- [13] Směrnice č. 13- 2006 s požadavky pro propůjčení ochranné známky- Teplovodní kotle pro ústřední vytápění na spalování biomasy
- [14] RYBÍN, M. . *Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů*. Praha : SNTL, 1985. 520 s. ISBN 04-227-85.
- [15] MALAŤÁK, J., VACULÍK, P.:*Biomasa pro výrobu energie*. ČZU v Praze, Technická fakulta, Powerprint, Praha 2008, ISBN 978-80-213-1810-6, s. 2006
- [16] OBROUČKA, Karel. *Termické odstraňování a energetické využití odpadů*. Ostrava : VŠB TU Ostrava, 2001. 143 s. ISBN 80-248-0009-8.
- [17] KÁRA, J., ŠRÁMEK, V., HULTA, P., STEJSKAL, F., KOPNICKÁ, A.: *Využití biomasy pro energetické účely*. Praha, ČEA 1996, 108 s.
- [18] PLÍŠTIL, D., MALAŤÁK, J.: *Utilize Residual Biomass from Agricultural Produce*. In: International Conference- Collection of Abstracts, Science and Research- Tools of Global Development Strategy, Czech University of Agriculture Prague, Technical Faculty 2004, ISBN 80-213-1187-8, s. 36.
- [19] Firemní literatura a webové stránky firem Benekov, Viadrus, Ponast, Atmos, Verner.
- [20] *Benekov* [online]. 2011 [cit. 2011-03-09]. www.benekov.cz. Dostupné z WWW: <www.benekov.cz>
- [20] *Viadrus* [online]. 2011 [cit. 2011-03-19]. Viadrus. Dostupné z WWW: <www.viadrus.cz>.
- [21] *Ponast* [online]. 2011 [cit. 2011-03-19]. Ponast. Dostupné z WWW: <www.ponast.cz>.
- [22] *Verner* [online]. 2011 [cit. 2011-03-19]. Verner. Dostupné z WWW: <www.viadrus.cz>.

Seznam obrázků

- Obr. 1:** Koloběh CO₂ v regeneračním cyklu v přírodě
- Obr. 2:** Matricový protlačovací granulační lis
- Obr. 3:** Bílé pelety vyráběny ze smrkových pilin
- Obr. 4:** Schéma spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva
- Obr. 5:** Schéma spalovacího zařízení se spodním přikládáním
- Obr. 6:** Schéma spalovacího zařízení se samospádným přikládáním
- Obr. 7:** Schéma zplyňovacího spalovacího zařízení
- Obr. 8:** Schéma spalovacího zařízení s hořákovým topeništěm
- Obr. 9:** Schéma umístění kotelny v rodinném domě
- Obr. 10:** Benekov C 25p
- Obr. 11:** Benekov R 25p
- Obr. 12:** Benekov Pelling 27
- Obr. 13:** Viadrus Hercules Eco
- Obr. 14:** Viadrus Woodpell
- Obr. 15:** Ponast KP 20
- Obr. 16:** Verner A 251
- Obr. 17:** Porovnání výkonu vybraných spalovacích zařízení do výkonu 25kW
- Obr. 18:** Porovnání účinnosti vybraných spalovacích zařízení do výkonu 25kW
- Obr. 19:** Porovnání velikosti a hmotnosti vybraných spalovacích zařízení
- Obr. 20:** Porovnání ceny vybraných spalovacích zařízení

Seznam tabulek

- Tab. 1:** Hlavní obchodní formy tuhých biopaliv
- Tab. 2:** Platné emisní limity pro malá spalovací zařízení
- Tab. 3:** Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší
- Tab. 4:** Obsah prchavé hořlaviny základních druhů pevných paliv
- Tab. 5:** Technické údaje plynového kotle Viadrus G 23
- Tab. 6:** Technické parametry spalovacích zařízení Benekov do 25 kW
- Tab. 7:** Předepsané palivo pro kotle Benekov Pelling 27, Benekov R 25
- Tab. 8:** Technické parametry spalovacích zařízení Viadrus do výkonu 25 kW
- Tab. 9:** Předepsané palivo pro kotle Viadrus Hercules a Woodpell
- Tab. 10:** Technické parametry spalovacího zařízení Ponast KP 20 do tepelného výkonu 25 kW
- Tab. 11:** Předepsané palivo pro spalovací zařízení KP 20
- Tab. 12:** Technické parametry spalovacího zařízení Verner A 251 do tepelného výkonu 25 KW
- Tab. 13:** Předepsané palivo pro spalovací zařízení Verner A 251
- Tab. 14:** Porovnání technických parametrů vybraných spalovacích zařízení
- Tab. 15:** Porovnání graficky znázorněných parametrů (1- nejlepší, 7- nejhorší)
- Tab. 16:** Chemická analýza vlastností dřevěných ekopelet Biomac
- Tab. 17:**
- Tab. 18:** Souhrnný přehled výpočtu hodnot objemového spalování
- Tab. 19:** Přehled převodníků pro analyzátor GA-60
- Tab. 20:** Technické údaje analyzátoru GA-60

Tab. 21: Výsledky naměřených hodnot

Tab. 22: Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší

Tab. 23: Náklady na inovaci spalovacího zařízení

Tab. 24: Porovnání roční nákladů na provoz spalovacích zařízení

9. Přílohy

Seznam příloh

- **Příloha 1:** Naměřené hodnoty analyzátozem GA- 60 na spalovacím zařízení Benekov Pelling 27

