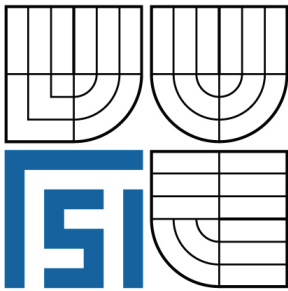


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KRBOVÁ VLOŽKA

FIREPLACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ KALOUSEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Kalousek

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

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

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 bakalářské práce:

Krbová vložka

v anglickém jazyce:

Fireplace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše stavu problematiky na trhu ČR

Návrh krbové vložky pro zadané palivo

Tepelný výměník spaliny-voda

Cíle bakalářské práce:

Návrh rozměrů a výkonu krbové vložky

Návrh přívodu spalovacího vzduchu

Návrh tepelného výměníku

Seznam odborné literatury:

Rybín, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů, SNTL
Budaj, F.: Parní kotle - tepelný výpočet, skripta VUT Brno 1992

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 6.11.2008

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



Anotace

Hlavním tématem bakalářské práce je krbová vložka pro vytápění. První část obsahuje seznámení se základy spalování a s druhy vyráběných krbových vložek. Druhá část práce se věnuje úpravám teplovodního výměníku a přívodu sekundárního vzduchu. V poslední části jsou provedeny výpočty výkonu dané krbové vložky. Jedná se o krbovou vložku Bety z výroby firmy Profitall spol. s.r.o..

Annotation

The main topic of the Bachelor Thesis is a fireplace-insert for heating. The first part contains the introduction to the basics of combustion and the types of fire-produced inserts. The second part of the work deals with adjustments of hot-water exchanger and with secondary air intake. In the last part the calculations of the fireplace insert output are provided. The mentioned fireplace insert is Bety from the production company Profitall s.r.o.

Klíčová slova v českém jazyce:

Spalování, krbová vložka, teplovodní výměník, sekundární vzduch

Klíčová slova v anglickém jazyce:

Combustion, fireplace, hot-water exchanger, secondary air



Bibliografická citace práce:

KALOUSEK, L. *Krbová vložka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

V brně dne:.....

Podpis:.....



Poděkování

Děkuji za spolupráci všem, kteří mi pomohli při odborných konzultacích, zejména Ing. Janu Fiedlerovi, který byl vedoucím práce. Dále bych rád poděkoval za spolupráci Ing. Josefu Holubovi a Ing. Ctiboru Holubovi.



OBSAH

Anotace	3
Bibliografická citace	4
Čestné prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
1. Úvod	9
2. Paliva	9
2.1 Rozdělení paliv	9
2.2 Požadavky	9
2.3 Složení a vlastnosti paliv	10
3. Proces spalování	11
3.1 Spalovací rovnice	11
3.2 Dokonalé a nedokonalé spalování	11
3.3 Spalování biomasy	12
3.4 Spalování dřeva	12
4. Krbové vložky	13
4.1 Srovnání krbové vložky s krbem s otevřeným ohništěm	13
4.2 Dělení krbových vložek	13
4.3 Koncepte krbové vložky	15
5. Krbová vložka BETY	17
5.1 Technické údaje	17
5.2 Rozbor krbové vložky	19
5.2.1 Spalovací komora	19
5.2.2 Teplovodní výměník	21
5.2.3 Sekundární vzduch	23
5.2.4 Předehřev sekundárního vzduchu	24
5.2.5 Regulace sekundárního vzduchu v závislosti na teplotě spalin	24
5.3 Regulace primárního vzduchu v závislosti na teplotě vody	25
5.4 Náhradní zdroj NZ UNI	27
6. Měření	27
6.1 Měření výkonu teplovodního výměníku	27
7. Výpočty	28
7.1 Základní chemické rovnice	28
7.2 Výpočet minimálního množství vzduchu	29
7.2.1 Minimální množství kyslíku pro spálení 1 kg paliva	30
7.2.2 Minimální množství suchého vzduchu	30
7.2.3 Součinitel vlhkosti	30
7.2.4 Minimální množství vlhkého vzduchu pro spálení 1 kg paliva	30



7.3 Výpočet minimálního množství spalin.....	30
7.3.1 Objem oxidu uhličitého CO ₂ ve spalinách	31
7.3.2 Objem dusíku N ₂ ve spalinách	31
7.3.3 Objem argonu Ar ve spalinách	31
7.3.4 Minimální objem suchých spalin	31
7.3.5 Minimální objem vodní páry vzniklé spálením 1 kg paliva	31
7.3.6 Minimální množství páry vzniklé z vlhkého vzduchu	31
7.3.7 Minimální objem vodní páry	32
7.3.8 Minimální množství vlhkých spalin	32
7.4 Maximální množství CO ₂ ve spalinách	32
7.5 Výpočet výkonu teplovodního výměníku	32
7.5.1 Prandtlovo číslo	32
7.5.2 Rychlost proudění spalin	32
7.5.3 Reynoldsovo kritérium	32
7.5.4 Součinitel přestupu tepla spalin	33
7.5.5 Střední logaritmický spád pro protiproudé proudění	33
7.5.6 Teplosměnná plocha	34
7.5.7 Výkon předaný spalinami	34
7.5.8 Průměrná teplota vody	34
7.5.9 Δt na výstupu z ohniště	34
7.5.10 Výkon předaný sáláním stěn	34
7.5.11 Celkový výkon	34
7.6 Výpočet výkonu teplovodního výměníku na základě provedeného měření	35
7.6.1 Výkon pro první měření	35
7.6.2 Výkon pro druhé měření	35
8. Závěr	35
Literatura	37
Seznam použitých symbolů	38



1. Úvod

Již od počátku lidské civilizace byl oheň symbolem života. Lidé v něm hledali životní potřebu, ochranu a duševní uspokojení. S postupným vývojem civilizace, vznikem prvních obydlí, byli lidé nuceni řešit problematiku s umístěním ohniště v obytných prostorech. Nejprve byla ohniště umístována uprostřed obytných místností a kouř byl odváděn stropními otvory. Později se ohniště přesouvala ze středu místnosti směrem ke zdi a byly vytvořeny první komíny pro odvod kouře.

V současnosti již oheň znamená pro člověka životně důležitý zdroj tepla a proto krby, krbová kamna a krbové vložky jsou dnes využívány převážně z estetického hlediska a pro navození příjemné atmosféry. Vzhledem ke konkurenci dnešního trhu, jsou výrobci krbových kamen a krbových vložek nuceni nabídnout uživateli to, co jiný výrobce nenabízí. Jsou v zásadě dva směry kterými se může výrobce ubírat. První možností je, že svou výrobu zaměří na estetický vzhled svých výrobků, což ocení především Ti uživatelé, kteří nekladou důraz na výkon a účinnost daného výrobku. Naopak v druhém případě se výrobce zaměří hlavně na technické parametry, jako je účinnost a výkon.

Firma Profitall spol s r.o. se zaměřuje především na výrobu krbových vložek. Jejím posledním výrobkem se kterým se snaží prorazit především na českém trhu je krbová vložka Bety s teplovodním výměníkem. Snahou této firmy je vyvíjet krbové vložky s požadovaným tepelným výkonem při vysoké účinnosti a spolehlivosti. Současně plně odpovídajícím platným normám ČSN EN.

2. Paliva

Palivo je chemický prvek, nebo látka u které může dojít k chemické reakci spalování, za dodržení vhodných podmínek.

2.1. Rozdělení paliv:

Podle skupenství:

- pevná paliva: koks, uhlí, brikety, biomasa
- plynná paliva: vodík, zemní plyn, koksárenský plyn
- kapalná paliva: benzín, motorová nafta, topné oleje

2.2. Požadavky:

- dobrá výhřevnost
- dobrá zápalnost
- požadovaná teplota bodu zápalu tj. samovznícení
- malý obsah vlhkosti
- dostatečná rychlost spalování

Tab.1 Obsah prchavé hořlaviny v různých druzích paliva

Palivo	Výhřevnost [MJ/Kg]	Prchavá hořlavina [%]
Koks	28,5	1,5
Černé uhlí	28	20
Hnědé uhlí	17	55
Dřevo	18	75
Sláma	16	80

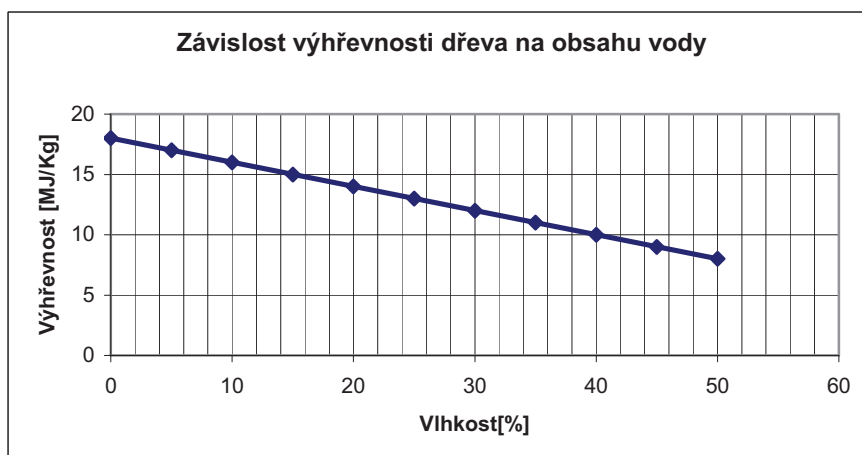
2.3. Složení a vlastnosti paliv:

Abychom mohli rozhodnout o tom, jestli je palivo vhodné pro daný typ ohniště, nebo bychom mohli určit kvalitu paliva, musíme vycházet ze základních vlastností paliv, které jsme schopni naměřit, nebo je zjistit na základě chemického složení paliva.

Základní charakteristické vlastnosti paliv:

- obsah vody v původním palivu W [%]
- obsah popela v původním palivu A [%]
- obsah popela v suchém palivu A^d [%]
- spalné teplo Q [MJ/Kg]
- výhřevnost Q_i [MJ/Kg]
- obsah síry v palivu S [%]
- obsah prchavé hořlaviny V [%]
- sypná hmotnost m [t/m³]
- charakteristické teploty popela t_a t_b t_c [°C]

Tuhá paliva jsou tvořena třemi základními složkami: voda + popelovina + hořlavina = 100%. Jedinou hořlavou složkou je hořlavina, popel a voda jsou nehořlavé. Obsah vody a popela značně ovlivňuje konstrukci spalovacího zařízení a samotný proces hoření. Naším cílem je dosáhnout optimálního složení paliva. Při topení kusovým dřevem, je vhodné jej dostatečnou dobu před zimní sezonou naštípat a uložit na místo, kde bude odvětrávat a vysychat. Hořlavina, která je obsažena v palivu se skládá z uhlíku, vodíku, síry, dusíku a kyslíku. Samotného procesu spalování se účastní jen síra, vodík a uhlík.



3. Proces spalování

Spalování je chemický proces, při kterém se prvky obsažené v palivu slučují s kyslíkem. Tento proces je exotermický, tudíž se při něm teplo uvolňuje. Kvalita spalování je závislá na konstrukčním řešení spalovacího zařízení a na správném poměru paliva a kyslíku.

3.1. Spalovací rovnice:

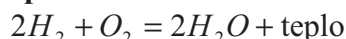
Spalování uhlíku na oxid uhličitý



Spalování síry na oxid siřičitý



Spalování vodíku na vodní páru



3.2. Dokonalé a nedokonalé spalování

Při spalování, je cílem získat z paliva co největší tepelnou energii a minimalizovat tepelné ztráty. Toho dosáhneme tím, že ve spalovací komoře bude zajištěn dostatečný přísun vzduchu a tím dosáhneme ideálního poměru palivo-vzduch.

Při *dokonalém spalování* nejsou v produktech spalování obsaženy žádné hořlavé složky, tím se dosáhne minimálních tepelných ztrát. Dochází k přeměně uhlíku C na oxid uhličitý CO_2 a dále ke spalování vodíku na vodní páru. Naopak při *nedokonalém spalování*, odchází ve výstupních spalinách i část hořlavých látek, které pro nás znamenají energetickou ztrátu. Pro zamezení této ztráty je nutné dodržet správný poměr vzduchu a paliva při dostatečném přísunu kyslíku. Nesmí docházet k prudkému ochlazení plamene. Nedokonalé spalování je nežádoucí také z toho důvodu, že při něm vzniká jedovatý plyn oxid uhelnatý CO. Dalšími produkty nedokonalého spalování jsou metan, vodík a saze.

3.3. Spalování biomasy

Spalování biomasy je dvojího druhu. Dělíme jej podle toho, jaký je výsledný produkt na konci procesu spalování. Pokud je výsledným produktem z větší části plyn, tak jde o *zplyňování*. Naopak, pokud jsou výsledným produktem spalování zejména páry a aerosoly, tak jde o *rychlou pyrolýzu*.

Zplyňování biomasy

Zplyňování biomasy je proces, při kterém se biomasa zahřívá bez přístupu kyslíku a tím dochází k jejímu štěpení na nízkomolekulární prvky a na tuhý zbytek. Během zplyňování dochází k řadě dějů, které jsou závislé na teplotě. Při teplotách do 200°C dochází k uvolňování vody z paliva a vzniku vodní páry. Při těchto teplotách tedy dochází k sušení paliva. V rozmezí teplot 200-500°C dochází k suché destilaci. Ta je doprovázena vznikem plynných a kapalných produktů a pevného uhlíku. Při dalším zvýšení teplot na rozmezí 500-1200°C dochází ke štěpení produktů vzniklých suchou destilací. Tímto vznikají stabilní plyny jako je CO, CO₂, CH₄ a H₂.

Rychlá pyrolýza

Pyrolýza je termický rozklad organických materiálů, který probíhá za nepřítomnosti kyslíku. Pyrolýza může probíhat ve třech teplotních pásmech a podle toho ji dělíme na nízkoteplotní, středněteplotní a vysokoteplotní. Hlavním smyslem pyrolýzy je získat produkt, který dosahuje vyšší energetické úrovně, než původní palivo. Tímto produktem je bioolej.

3.3.1 Spalování dřeva

Na spalování dřeva má zásadní vliv jeho vlhkost, protože voda má velké výparné teplo. To znamená, že voda spotřebuje velkou část energie na její přeměnu ve vodní páru a tím nám klesá energetický zisk. Jako optimální vlhkost dřeva se bere vlhkost okolo 20%. Při zahřívání nejprve dochází k uvolňování vody. Protože dřevo má nízkou tepelnou vodivost, tak k tomuto odpařování dochází i po té, co dřevo už na povrchu hoří plamenem. Teprve potom, kdy se ze dřeva vypaří veškerá voda, dochází k uvolňování prchavých látek a k tepelnému rozkladu jednotlivých látek, ze kterých se dřevo skládá. Dochází ke vzniku směsi plynů a na spalovacím roštu zůstává dřevěné uhlí.

Vlhkost obsažená ve dřevě je dána tím, že hlavní složkou dřeva je celulóza, která snadno absorbuje vodu a přijímá vlhkost. Vzhledem k tomu, že v celulóze připadá na jeden atom uhlíku právě jeden atom kyslíku, tak její výhřevnost v suchém stavu činí 18 MJ/Kg.

Dřevo, stejně jako jiné formy biomasy, mají velký podíl prchavé hořlaviny, což zapříčiňuje, že při zahřátí na teplotu vyšší než je 200 °C dochází k rozkladu a tvorbě hořlavých plynů. Díky těmto plynům, které se při hoření uvolňují, dřevo hoří dlouhým plamenem, což komplikuje konstrukční návrh spalovacího prostoru u zařízeních na spalování dřeva.

4. Krbové vložky

4.1. Srovnání krbové vložky s krbem s otevřeným ohništěm

Postupné zvyšování cen paliva a tepelné energie vyvolává požadavky na efektivnější formy vytápění. Tento požadavek se vztahuje i na tradiční krby s otevřeným ohništěm (dále jen krby). U těchto krbů, byla regulace hoření prováděna prakticky jen manipulací s kouřovou klapkou. Tyto krby se v dnešní době nahrazují krbovými vložkami, které již nemají otevřené ohniště a jejich účinnost je výrazně vyšší. Konstrukce krbů je jednodušší, než u krbových vložek, ale oproti tomu krbové vložky zajišťují dokonalejší spalování, což je hlavní důvodem rozvoje krbových vložek. Krby mají jednodušší čistitelnost oproti krbovým vložkám. U krbů není ve spodní části ohniště spalovací rošt, proto odpadá i popelník, který bývá umístěn právě pod roštem. To znamená, že pokud chceme krb vyčistit od tuhých zbytků, které nám zůstaly v ohništi, musíme je vymetat z ohniště ven. Co se týče hygienických požadavků, tak to není určitě optimální způsob. U krbové vložky stačí vyjmout popelník a vyprázdnit jej. Krb má výhodu oproti krbové vložce v jednodušší údržbě. Díky otevřenému ohništi odpadá údržba čelního skla, jako je tomu u krbové vložky. V dnešní době jsou krby převážně jen okrasou bytu a krbové vložky převzaly funkci topných zařízení.

Výhody krbové vložky:

- vyšší účinnost
- lepší regulace hoření
- lepší odtah spalin
- možnost využití výměníků tepla
- rozvod horkého vzduchu do dalších místností
- lepší čistitelnost
- při zapalování nedochází ke vnikání kouře do místnosti

4.2. Dělení krbových vložek

Podle materiálu:

- celolitinové
- ocelové
- kombinované
- topeniště vyložená šamotem
- topeniště vyložená vermiculitem

Podle konstrukce:

- jednoduché (jednoplášťové)
- dvouplášťové
- s teplovodním výměníkem
- teplovzdušné



Podle použitého paliva:

- zemní plyn, propan butan
- dřevo, dřevěné brikety
- uhlí, koks

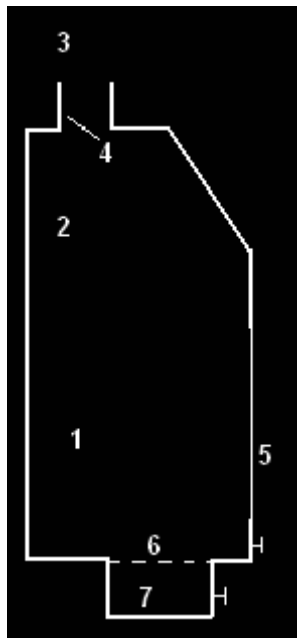
Podle využití tepla:

Krbové vložky bez dalšího využití tepla-Tyto krbové vložky slouží k vytápění místnosti ve které jsou umístěny. Protože teplo není nijak dále využíváno, mají tyto vložky menší výkon, aby nedocházelo k přetápění místnosti.

Krbové vložky s využitím tepla pro vytápění dalších místností – Jsou to dvouplášťové krbové vložky, které se dále obezdívají nebo obkládají vhodným materiálem. Také se používají “kazetové“ krbové vložky, které se vkládají do připravených otvorů ve zdi a jsou napojeny na rozvody teplého vzduchu, které jsou opatřeny ventilátory. Při využití ventilátorů, dochází k výměně velkého množství vzduchu. Tento vzduch je suchý a obsahuje větší množství prachu. Ohřátý vzduch může být rozváděn do okolních místností.

Krbové vložky s teplovodním výměníkem- Tento typ krbové vložky je z ekonomického hlediska nejvýhodnější, protože velká část tepla je předána do vody, která je následně odvedena do ústředního topení a slouží k vytápění všech místností, ve kterých je ústřední topení umístěno. Při použití teplovodního výměníku je nutné volit ústřední vytápění s nuceným oběhem vody.

4.3. Koncepce krbové vložky



Obr.1: Konstrukce krbové vložky

1. Spalovací komora

Spalovací komora je nejdůležitější část krbové vložky při jejím navrhování. Ovlivňuje průběh hoření a předávání tepla do místnosti ve které je krbová vložka situována. Na velikosti spalovací komory je závislé množství přiváděného spalovacího vzduchu. Primární vzduch je přiváděn do spodní části spalovací komory a pro zvýšení účinnosti se do horní části spalovací komory přivádí sekundární vzduch. Terciální vzduch se většinou již nepřivádí a to z toho důvodu, že spalovací komora u krbových vložek není dost velká a mohlo by docházet k ochlazení plamene, nebo hořlavých spalin v horní části spalovací komory. Velikost spalovací komory také klade omezení na velikost paliva, které bude v krbové vložce spalováno. To platí především pro dřevo. Spalovací komora je vyložena žáruvzdorným materiálem, který chrání plášť krbové vložky a zajišťuje potřebnou teplotu pro spalování.



Obr.2: Pohled na spalovací komoru při plném výkonu

2. Kouřová komora

Do této části krbové vložky se dostávají prchavé hořlaviny, které nebyly spáleny ve spalovací komoře. Kouřová komora již nemá tak velký vliv na samotné hoření jako spalovací komora. Převážně v ní dochází jen k hromadění kouře, který je následně odveden kouřovody do komína.

3. Výstupní hrdlo

Výstupní hrdlo spalin umožňuje propojení krbové vložky s komínem. Do horní části krbové vložky se umísťují další výstupní hrdla, která ale neslouží k odvodu kouře do komína, ale využívají se k rozvodu teplého vzduchu do okolních místností.

4. Kouřová klapka

Kouřová klapka slouží k regulaci odvodu kouře a také k regulaci tahu komína, což ovlivňuje přísun vzduchu do spalovací komory. Uzavřením kouřové klapky dosáhneme pomalého dohořívání ohně, nebo snížení tepelného výkonu krbové vložky. Kouřová klapka musí být konstruována tak, aby ani při jejím úplném uzavření tj. osa klapky svírá pravý úhel s osou kouřovodu, nedošlo k úplnému uzavření kouřovodu. Měla by pokrývat max. 75% průchodu. Kouřová klapka bývá většinou ovládána mechanicky, u modernějších krbových vložek i elektronicky.

5. Čelní sklo

Přední část krbové vložky nemusí být prosklená, ale většinou se vložky vyrábějí v proskleném provedení. Prosklené můžou být i boční stěny vložky, to ale snižuje účinnost, pokud nechceme vytápět jen místnost ve které je krbová vložka umístěna. Sklo musí být tvrzené a žáruvzdorné. Jedinou nevýhodou skla je to, že se zanáší a jsme nuceni jej čistit.



Obr.3: Čelní prosklená dvířka

6. Rošt

Na spalovací rošt se pokládá palivo k zátopu. Primární vzduch bývá přiváděn skrz tento rošt. Hlavní úkolem roštu je tedy přívod primárního vzduchu a odvod tuhého zbytku a popela ze spalovací komory. Pro snadnější manipulaci a vyčištění spalovacího prostoru se rošty vyrábějí jako otočné. Ideální je možnost manipulace s roštem, při zavřených dvířkách spalovací komory. Rošty se vyrábějí v mnoha provedeních.



7. Popelník

Je umístěn pod roštem a jsou do něj odváděny tuhé zbytky současně s popelem. Primární vzduch je možné přivádět přes dvířka, která zajišťují přístup k popelníku.

5. Krbová vložka Bety

Jednou z výrobních činností firmy Profitall s.r.o. je výroba krbových kamen a krbových vložek. Firma Profitall zejména u krbových vložek, se zaměřuje na předání co největšího množství tepla do teplovodního výměníku, čímž je zajištěno efektivní vytápění. Profitall s.r.o. nabízí celou řadu krbových vložek. Krbové vložky jsou typově označeny Bety II, Bety III, Bety P a Bety MAX. Většina těchto krbových vložek je vybavena teplovodním výměníkem. Posledním vyrobeným typem je krbová vložka Bety.

5.1. Technické údaje

Tab.2 Technické údaje krbové vložky Bety

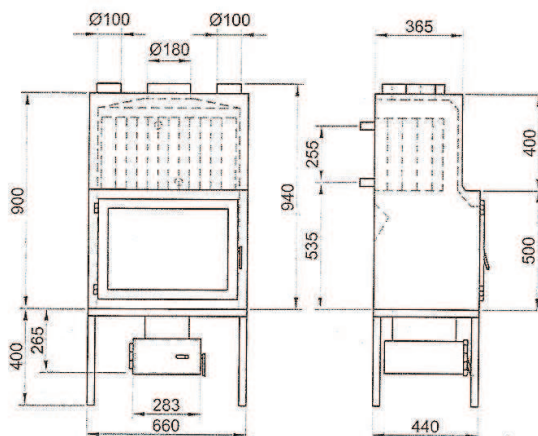
Celkový jmenovitý tepelný výkon	20 kW
Jmenovitý tepelný výkon teplovodního výměníku	16 kW
Výkonový rozsah teplovodního výměníku	4-19 kW
Jmenovitý teplovzdušný výkon	4 kW
Průměr kouřovodu	180 mm
Provozní tah	20 Pa
Výška krbové vložky	1 165 mm
Výška krbové vložky s podstavcem	1 300 mm
Šířka	660 mm
Hloubka	440 mm
Hmotnost	195 kg



Obr.4: Krbová vložka Bety

5.2. Rozbor krbové vložky

Krbová vložka BETY je určena pro teplovodní vytápění objektů dřevem a dřevěnými briketami. S ohledem na to, že dnešním trendem je snaha předávat co největší množství tepelného výkonu do ústředního topení, je krbová vložka BETY konstruována tak, že 80% svého výkonu předává právě do vody. Tím pádem zbytek tepelného výkonu odchází do místnosti, ve které je krbová vložka umístěna. Protože velká část výkonu je předána do vody a ne přímo do místnosti, je možné nepřetržitě provozovat vložku na plný výkon, aniž by docházelo k přetápění místnosti ve které je vložka umístěna. Díky velkému výkonu teplovodního výměníku je možné vytápět celé objekty. Účinnost vytápění může být značně zvýšena použitím akumulární nádrže, která slouží k akumulaci přebytečného výkonu a po ukončení provozu krbové vložky zpětně vytápí celý objekt, nebo tu část, do které je připojena. Vložka je konstruována jako dvouplášťová. Je svařena z ocelových plechů. V horní části krbové vložky je umístěno hrdlo pro odtah spalin, dále tam jsou také umístěna hrdla pro rozvod teplého vzduchu do okolních místností. Krbová vložka stojí na nosné konstrukci. Je to z toho důvodu, že popelník není vestavěn uvnitř krbové vložky, ale je umístěn pod ní. Toto řešení, umožňuje vyjmout popelník při vhodném umístění krbové vložky z místnosti, která je situována za vložkou. Tím se zamezí znečišťování obytné místnosti. Při konečném obkládání a montování, je vložka zabudována i s touto konstrukcí.



Obr.5: Krbová vložka BETY-Konstrukce

5.2.1. Spalovací komora

Spalovací komora má rozměry 500x440x660 mm. Její boční stěny a zadní stěna jsou vyloženy žáruvzdornými deskami a dno spalovací komory je ze žárobetonu. Ve spodní části je umístěn otočný rošt, který zvyšuje komfort obsluhy. Přes tento rošt je přiváděn primární vzduch, jehož regulaci je možné provádět na dvířkách popelníku. Ten je umístěn pod roštem a na vyžádání zákazníka je možné jej konstruovat tak, aby byl přístupný i ze zadní strany vložky. V přední části spalovací komory je vyjímatelné hradítko, které zabraňuje vypadávání dřeva a popela při otevření dvířek.



Obr.6: Pohled na spalovací komoru, rošt, hradítka



Obr.7: Kouřová klapka

Kouřová klapka je umístěna na hrdle kouřovodu a je ovládána manuálně. Při zavření kouřové klapky nedojde k úplnému uzavření kouřovodu, ale i přesto je potřeba při otevírání dvířek mít klapku otevřenou, aby nedošlo k vniknutí kouře do místnosti. Dalším zabezpečením proti vniknutí kouře do spalovací komory je řízení toku spalin-bypass. V případě, že jsou dvířka uzavřena, procházejí spaliny v co největším množství skrz teplovodní výměník. Výhodou je že spalinám je kladen větší odpor a tah komína je menší (pomalejší průchod přes výměník). Proto dochází k dokonalejšímu předání tepla do teplovodního výměníku. Po otevření dvířek se bypass otevře a dochází ke zvýšení tahu komína a spaliny bez většího odporu procházejí do horní části krbové vložky a následně do komína. Tím je kladen menší odpor průchodu spalin a kouře ze spalovací komory. Tento mechanismus slouží i ke zvýšení účinnosti teplovodního výměníku.

5.2.2. Teplovodní výměník

Jak jsem již výše uvedl, cílem firmy Profitall s.r.o. je předat co největší část výkonu do teplovodního výměníku a přes něj do ústředního topení. Ve starších typech krbových vložek, byli používány různé typy teplovodních výměníků, ale svou konstrukcí se lišily jen minimálně. Většina dříve používaných výměníků byla vodotrubného typu. To znamená, že voda procházela trubkami a spaliny předávaly své teplo do výměníku prostřednictvím stěn trubek. Velkou nevýhodou tohoto výměníku byla jeho časová náročnost při výrobě. Tím se značně zvyšovali i náklady na jeho výrobu. Další nevýhodou byla problematická čistitelnost teplosměných ploch. Proto u posledního typu krbové vložky BETY, byla provedena změna a vodotrubný výměník byl nahrazen výměníkem žárotrubným.

Rozdíl je v tom, že nyní je voda obsažena v nádrži teplovodního výměníku a touto nádrží procházejí žárové trubky, které slouží k průchodu spalin skrz teplovodní výměník. V tomto případě je dosaženo větší teplosměné plochy. U starších typů výměníků byla teplosměnou plochou pouze stěna trubek. Protože u žárotrubného výměníku není jeho nádrž nijak izolována vzhledem k okolním stěnám, tak dochází k předávání tepla stěnami této nádrže a dále dochází k přestupu tepla trubkami, které procházejí skrz výměník. Aby byl přestup tepla ještě účinnější, jsou do trubek vkládány rozvířovací plechy. Tyto plechy usměřují tok spalin vzduchu tak, aby narážel do stěn trubek a neprošel výměníkem zbytečně rychle, bez předání dostatečného tepla. Prvotní, do spirály stočené plechy byly pro pracovní výrobu nahrazeny jiným typem rozvířovacích plechů, které jsou konstruovány podle obr.10.

Čištění žárotrubného výměníku je výrazně jednodušší, než u typu předchozího. Výše zmíněné plechy se také používají k čištění výměníku. Jednoduchou manipulací je možné za jejich pomoci vyčistit trubky, kterými procházejí spaliny. Ostatní plochy, které jsou rovné, bez různých zakřivení, jsou snadno čistitelné.

Výměník má jeden vstup na spodní části, kterým se přivádí studená voda a v horní části výměníku je výstup pro odvod teplé vody.

Výhody žárotrubného výměníku oproti vodotrubnému:

- jednodušší výroba
- lepší čistitelnost
- vyšší výkon



Obr.8: Teplovodní výměník s rozvířovacími plechy, pohled skrz kouřovod

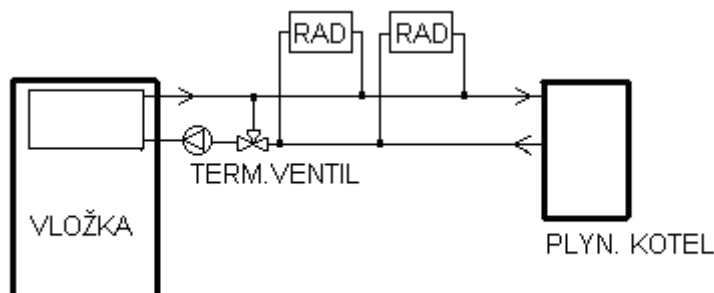


Obr.9: Rozvířovací plech

Při spalování dřeva se do spalin uvolňuje vodní pára a další agresivní produkty, které mohou způsobovat rychlou korozi výměníku a také jeho zanášení. Tento vliv je závažnější u nevysušeného paliva (vyšší obsah vodní páry) a jehličnatého dřeva (vyšší podíl pryskyřice). K těmto nežádoucím jevům nedojde, pokud je výměník dostatečně teplý a nedochází ke kondenzaci spalin.

Možná řešení této problematiky:

1. Před zatopením ve vložce ohřát systém ústředního topení jiným zdrojem (plynový kotel) minimálně na 50°C.
2. Spínání oběhového čerpadla krbové vložky pomocí citlivého čidla v potrubní jímce. Spínání by mělo být nastaveno minimálně při 50°C
3. Do topného okruhu zapojit trojcestný termostatický směšovací ventil, který přepouští topnou vodu dál do systému až po dosažení požadované teploty v teplovodním výměníku.



Obr.10: Zapojení třicestného ventilu do topného okruhu

5.2.3 Sekundární vzduch

Pro dokonalé spalování dřeva v krbové vložce je nutné přivádět dostatečné množství spalovacího vzduchu do spalovací komory. Primární spalovací vzduch je přiváděn přes rošt na dně spalovací komory. Prchavé hořlaviny, uvolňující se při hoření dřeva stoupají do horní části spalovací komory a pokud zde nepřijdou do styku s kyslíkem odcházejí nevyužité společně se spalinami do komína.

Sekundární vzduch přiváděný zadní stěnou spalovací komory do její horní části vzduchovými tryskami zajišťuje dostatek kyslíku pro dohoření prchavé hořlaviny. Vzduchové trysky umístěné podél celé zadní stěny zajišťují dobré promíchávání hořlaviny se vzduchem. Při první zkoušce bylo zjištěno, že tryskami je přiváděno velké množství vzduchu a dochází k ochlazení plamene. Proto byli před druhou zkouškou trysky na výstupu zúženy.

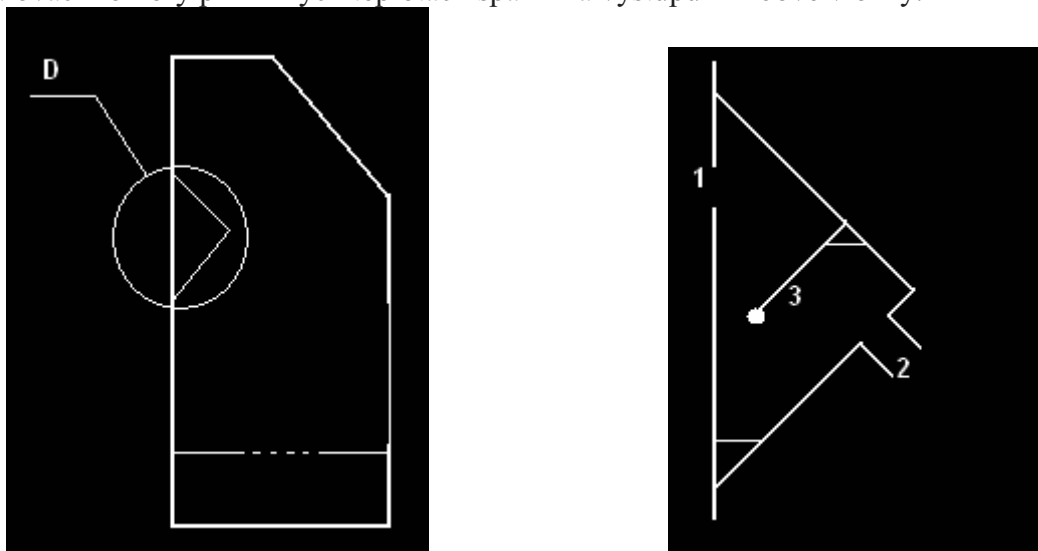
Zavedení sekundárního vzduchu do horní části spalovací komory podstatně zlepšilo spalování a zvýšilo celkovou tepelnou účinnost krbové vložky.



Obr.11: Přívod sekundárního vzduchu

5.2.4. Předeřev sekundárního vzduchu

Nevýhodou tohoto řešení je vliv studeného sekundárního vzduchu na průběh hoření při zatápění a rozhořívání dřeva. Pro zlepšení situace je vhodné opatření, které zajistí předeřev sekundárního vzduchu před jeho vstupem do spalovací komory a dále zabráni vstupu vzduchu do spalovací komory při nízkých teplotách spalin na výstupu z krbové vložky.



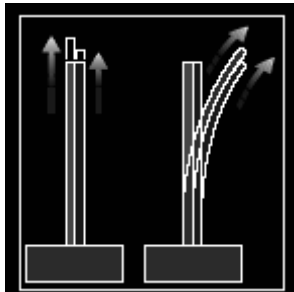
Obr.12: Předeřev sekundárního vzduchu

V bodě 1 je vzduch nasáván a prochází skrz kapsu, která je ohřátá v závislosti na průběhu hoření. Vzduch prochází skrz kapsu a je nucen proudit kolem plechu 3, který by měl zajišťovat to, že vzduch neprojde kapsou přímo, ale bude v ní přidržován a dojde k účinnějšímu ohřevu sekundárního vzduchu. Předeřevovaný vzduch následně vystupuje z kapsy v bodě 2 a je vhnán do spalovací komory.

5.2.5. Regulace sekundárního vzduchu v závislosti na teplotě spalin

Jak již bylo výše zmíněno, sekundární vzduch není vždy přínosem. Je to zejména při rozhořívání a dohořívání plamene. Po zátoku, není krbová vložka dostatečně ohřátá, takže část tepla které vznikne hořením se absorbuje do stěn krbové vložky. Stěny jsou sice od spalovací komory izolovány žáruvzdorným materiálem, ale i přesto dochází k předávání tepla. Sekundární vzduch který je přiváděn v tuto chvíli do spalovací komory způsobuje další ochlazení a tím pádem větší tepelnou ztrátu. Protože spalovací komora není dostatečně ohřátá v počátcích rozhořívání plamene, tak ani předeřívání sekundárního vzduchu nemá požadovaný účinek. Při dohořívání dochází k ochlazení spalovací komory a tím pádem není sekundární vzduch dostatečně předeříván a opět dochází k ochlazení plamene. Aby se zamezilo těmto nežádoucím jevům, je nutné přívod sekundárního vzduchu regulovat v závislosti na teplotě. Tato regulace by mohla být prováděna manuálně. Pro zvýšení komfortu je ale lepší, když regulace bude prováděna automaticky. Automatická regulace by

mohla být prováděna elektronickou cestou, ale to by značně zvýšilo cenu krbové vložky a náklady na její atestaci by také byli podstatně vyšší. Proto se mi jako nejjednodušší řešení jeví využití vlastností *bimetalu*.



Obr.13: Funkce bimetalu

Bimetal je zhotoven ze dvou kovů, které jsou spolu pevně spojeny, proto se mu také říká dvojkov. Protože oba kovy mají různou tepelnou roztažnost, tak při zahřátí bimetalu na teplotu, která odpovídá tepelné roztažnosti jednoho z kovů (druhý kov jí musí mít nižší) dochází k jeho roztahování vlivem teploty. To způsobuje ohyb bimetalu. Tento ohyb je definovatelný podle složení obou kovů. Kov který se ohýbá se nazývá aktivní a druhý kov je pasivní.

My jsme bimetal použili k ovládní přívodu sekundárního vzduchu. Tím je regulace automatická a není potřeba žádných elektronických zařízení. Automatické ovládní pomocí bimetalu je navrženo teoreticky, ale prakticky ještě není úplně dokončeno. Bimetal by měl být umístěn na vnější straně pláště krbové vložky za kouřovodem. Při dosažení povrchové teploty okolo 60°C by se měl bimetal začít ohýbat a přes řetízek, který je na něm uchycen, začít otvírat vstup pro nasávání sekundárního vzduchu. Při plném výkonu krbové vložky zůstane přívod vzduchu otevřen a při dohořívání se bude opět uzavírat v závislosti na povrchové teplotě.

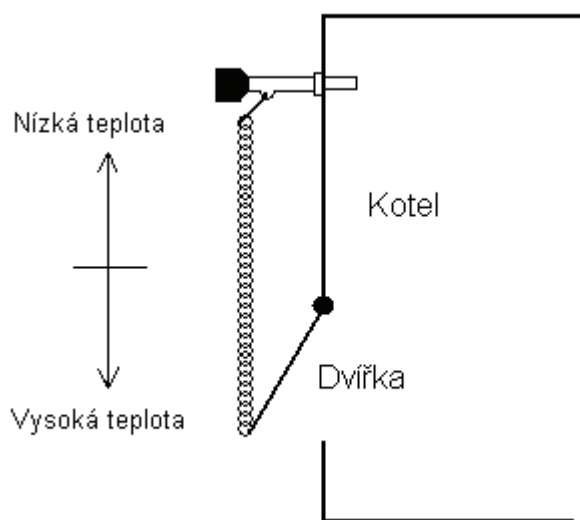
Bimetal který jsme použili pro zkušební provoz byl dodán firmou Kanthal. Označení tohoto bimetalu je KANTHAL 200 R 110 TB 20110. Jedna část bimetalu je vyrobena z Ni a druhá je slitina MnNiCu, to zajišťuje specifické vlastnosti tohoto bimetalu.

5.3. Regulace primárního vzduchu v závislosti na teplotě vody

Jednou z možností, jak je možné provádět regulaci přívodu primárního vzduchu je regulace v závislosti na teplotě vody. Pro tuto variantu regulace jsme využily termostatický řetízkový regulátor spalovacího vzduchu u kterého si nastavíme teplotu ohřáté vody, kterou bychom chtěli udržovat a regulátor provádí automatickou regulaci primárního vzduchu v závislosti na aktuální teplotě vody. Pokud si tedy na regulátoru nastavíme teplotu vody 80°C, tak při dosažení této teploty bude přívod primárního vzduchu uzavřen. Při poklesu teploty dojde k opětovnému otevření. Nevýhodou této regulace je pomalejší odezva na průběh hoření ve spalovací komoře a že regulace je prováděna v závislosti na teplotě vody a ne spalin. Další

nevýhodou je přístup při nastavování teploty na regulátoru, protože je umístěn na zadní stěně krbové vložky.

Tento typ regulace byl použit u starších typů krbových vložek a je předpokladem že bude využit u krbové vložky Bety. U krbové vložky Bety je regulace primárního vzduchu manuální.



Obr.14: Princip činnosti termostatického regulátoru

Parametry termostatického řetízkového regulátoru:

- Regulační rozsah: 30 - 90°C
- Maximální teplota vody: 120°C
- Maximální teplota prostředí: 60°C
- Zatížení řetízku: 100 – 800g
- Pracovní poloha: vertikální, horizontální



Obr.15: Regulace přívodu primárního vzduchu u krbové vložky Bety II

5.4. Náhradní zdroj NZ UNI

Pokud je krbová vložka vybavena teplovodním výměníkem napojeným na ústřední topení, musí být do oběhu vody zapojeno čerpadlo, pokud zapojení není provedeno jako samotížné. Aby se zamezilo přehřátí vody ve výměníku v případě výpadku proudu a tím vyřazením čerpadla z provozu, musí být čerpadlo připojeno na náhradní zdroj. Jednou z možností je čerpadlo připojit na akumulátor, který bude dobíjen např. přes NZ UNI. Tento náhradní zdroj slouží k automatickému dobíjení akumulátoru v případě že je akumulátor vybit. Nabíječka je vybavena ochranou proti přebití baterie. Pokud nedošlo k výpadku elektrické energie, tak NZ UNI slouží jako měnič 12Vss/230Vst/50Hz. Zdroj je také vybaven teplotním čidlem, které je nutné připojit na výstup teplé vody z krbové vložky. Na přístroji nastavíme teplotu, při které chceme aby bylo čerpadlo spuštěno.

Parametry NZ UNI:

- Síť: 220-240V, 40 – 60Hz
- Baterie: 12V, 30 – 150Ah, olověný akumulátor
- Měnič: 12Vss./230Vst./50Hz
- Max výkon měniče: 200W
- Připojení čerpadla: max. 150W

6.Měření

6.1.Měření výkonu teplovodního výměníku:

Použitá zařízení

- Nádrž o objemu 235 l
- Čerpadlo
- Třícestný ventil
- Teploměr

Měření se provádělo každých 5min a měřili jsme teploty na vstupu a výstupu nádrže. Dále byla měřena teplota spalin v ústí kouřovodu.

První měření bylo prováděno před tím, než byla zhotovena úprava přívodu sekundárního vzduchu a rozvířovacích plechů. Při prvním měření byl do soustavy zapojen trojcestný termostatický ventil. Nejprve byla ohřívána voda v teplovodním výměníku a při teplotě 50 °C se trojcestný ventil otevřel. Následně byla ohřívána voda v celém systému.

Tab.3 Hodnoty 1.měření

čas t [min]	T _{n1} [°C]	T _{n2} [°C]	T _{prům} [°C]	T _n [°C]	T _{spal} [°C]
5	52	14	33	0	250
10	50	20	35	2	
15	50	28	39	6	
20	50	37	43,5	10,5	
25	52	42	47	14	
30	57	44	50,5	17,5	270
35	59	49	54	21	

Druhé měření bylo provedeno po úpravě přívodu sekundárního vzduchu a rozviřovacích plechů. Opět byla měřena teplota na vstupu a výstupu nádrže a teplota spalin. Termostatický ventil byl pro toto měření odpojen.

Tab.4 Hodnoty 2.měření

čas t [min]	T _{n1} [°C]	T _{n2} [°C]	T _{prům} [°C]	T _n [°C]	T _{spal} [°C]
0	10	10	10	0	127
5	26	8	17	7	163
10	37	8	22,5	12,5	185
15	43	20	31,5	21,5	191
20	46	12	29	19	195
25	48	18	33	23	192
30	49	28	38,5	28,5	195
35	49	43	46	36	192
40	50	50	50	40	187



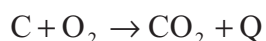
6. Výpočty

6.1. Základní chemické rovnice:

Dokonalé spalování

Přebytek vzduchu $\alpha = 1$

Spalování uhlíku na oxid uhličitý CO_2



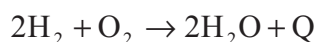
$$1 \text{ mol } C + 1 \text{ mol } O_2 = 1 \text{ mol } CO_2 + Q$$

$$12,01 \text{ kg } C + 32 \text{ kg } O_2 = 44,01 \text{ kg } CO_2 + 407260 \text{ kJ}$$

$$12,01 \text{ kg } C + 22,39 \text{ m}_n^3$$

$$1 \text{ kg } C + 1,865 \text{ m}_n^3 = 1,854 \text{ m}_n^3 + 33910 \text{ kJ/kg}$$

Spalování vodíku na vodní páru H_2O



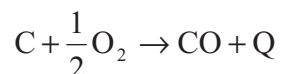
$$2 \text{ mol } H_2 + 1 \text{ mol } O_2 = 2 \text{ mol } H_2O + Q$$

$$4,032 \text{ kg } H_2 + 32 \text{ kg } O_2 = 36,032 \text{ kg } H_2O + 486179 \text{ kJ}$$

$$4,032 \text{ kg } H_2 + 22,39 \text{ m}_n^3 = 44,80 \text{ m}_n^3$$

$$1 \text{ kg } H_2 + 5,553 \text{ m}_n^3 = 11,11 \text{ m}_n^3 + 120580 \text{ kJ/kg}$$

Nedokonalé spalování



$$1 \text{ mol } C + \frac{1}{2} \text{ mol } O_2 = 1 \text{ mol } CO + Q$$

$$12,01 \text{ kg } C + 16 \text{ kg } O_2 = 28,01 \text{ kg } CO + 151866 \text{ kJ}$$

$$12,01 \text{ kg } C + 11,195 \text{ m}_n^3 = 22,50 \text{ m}_n^3$$

$$1 \text{ kg } C + 0,932 \text{ m}_n^3 = 1,873 \text{ m}_n^3 + 12645 \text{ kJ/kg}$$

6.2. Výpočet minimálního množství vzduchu

Tab.5 Prvkové složení a vlastnosti paliva dodané firmou Profitall s r.o.

Spalné teplo	Q	MJ/kg	18,29
Výhřevnost	Q _i	MJ/kg	16,8
Uhlík	C	% hmot.	46,81
Vodík	H	% hmot.	5,95
Síra	S	% hmot.	0
Dusík	N	% hmot.	0,09
Kyslík	O	% hmot.	38,32
Voda veškerá	W	% hmot.	5,71
Obsah popela	A	% hmot.	1,21
Uhlík ve zbytku spalování	C _i	%	17,73

6.2.1. Minimální množství kyslíku pro spálení 1 kg paliva:

$$V_{O_2 \min} = \frac{22,39}{100} \cdot \left(\frac{C}{12,01} + \frac{H}{4,032} + \frac{S}{32,03} - \frac{O}{32} \right)$$
$$V_{O_2 \min} = \frac{22,39}{100} \cdot \left(\frac{46,81}{12,01} + \frac{5,95}{4,032} - \frac{38,32}{32} \right) = 0,935 \quad [m_n^3 / kg]$$

6.2.2. Minimální množství suchého vzduchu:

$$V_{VZ \min}^S = \frac{100}{21} \cdot V_{O_2 \min}$$
$$V_{VZ \min}^S = \frac{100}{21} \cdot 0,94 = 4,452 \quad [m_n^3 / kg]$$

6.2.3. Součinitel vlhkosti:

$$f = 1 + \varphi \cdot \frac{p''}{p_c - \varphi \cdot p''}$$

kde uvažujeme: - relativní vlhkost $\varphi = 0,7$

- absolutní tlak vodní páry na mezi sytosti pro teplotu 20°C

$$p'' = 2,34 \text{ kPa}$$

- celkový absolutní tlak vlhkého vzduchu $p_c = 101,2 \text{ kPa}$

$$f = 1 + 0,7 \cdot \frac{2,34}{101,2 - 0,7 \cdot 2,34} = 1,016$$

6.2.4. Minimální množství vlhkého vzduchu pro spálení 1 kg paliva:

$$V_{VZ \min} = f \cdot V_{VZ \min}^S$$

$$V_{VZ \min} = 1,02 \cdot 4,45 = 4,525 \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$

6.3. Výpočet minimálního množství spalin:

Minimální množství spalin vznikne při stechiometrickém spalování, tzn. že přebytek vzduchu $\alpha = 1$.

6.3.1. Objem oxidu uhličitého CO₂ ve spalinách:

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{C}{12,01} + 0,0003 \cdot V_{VZ \min}^S$$

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{46,81}{12,01} + 0,0003 \cdot 4,452 = 0,869 \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$

6.3.2. Objem dusíku N₂ ve spalinách:

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{N}{28,016} + 0,7805 \cdot V_{VZ \min}^S$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{0,09}{28,016} + 0,7805 \cdot 4,452 = 3,476 \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$

6.3.3. Objem argonu Ar ve spalinách:

$$V_{Ar} = 0,0092 \cdot V_{VZ \min}^S$$

$$V_{Ar} = 0,0092 \cdot 4,452 = 0,041 \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$

6.3.4. Minimální objem suchých spalin:

$$V_{SP \min}^S = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{Ar}$$

$$V_{SP \min}^S = 0,869 + 3,476 + 0,041 = 4,386 \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$

6.3.5. Minimální objem vodní páry vzniklé spálením 1 kg paliva:

$$V_{H_2O \min}^P = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{H}{4,032} + \frac{22,4}{100} + \frac{W}{18,016}$$

$$V_{H_2O \min}^P = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{5,95}{4,032} + \frac{22,4}{100} + \frac{5,71}{18,016} = 0,732 \text{ [m}_n^3 / \text{kg]}$$

6.3.6. Minimální množství páry vzniklé z vlhkého vzduchu:

$$V_{H_2O \min}^{VZ} = (f - 1) \cdot V_{VZ \min}^S$$

$$V_{H_2O \min}^{VZ} = (1,016 - 1) \cdot 4,452 = 0,073 \text{ [m}_n^3 / \text{kg]}$$

6.3.7. Minimální objem vodní páry:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O \min}^{VZ} + V_{H_2O \min}^P$$

$$V_{H_2O} = 0,073 + 0,732 = 0,805 \text{ [m}_n^3 / \text{kg]}$$

6.3.8. Minimální množství vlhkých spalin:

$$V_{SP \min} = V_{SP \min}^S + V_{H_2O}^P + V_{H_2O}^{VZ}$$

$$V_{SP \min} = 4,386 + 0,732 + 0,073 = 5,191 \text{ [m}_n^3 / \text{kg]}$$

6.4. Maximální množství CO₂ ve spalinách:

$$(CO_2)_{\max} = \frac{V_{CO_2}}{V_{SP \min}^S} \cdot 100$$

$$(CO_2)_{\max} = \frac{0,88}{4,386} \cdot 100 = 19,814 \text{ [%]}$$

6.5. Výpočet výkonu teplovodního výměníku**6.5.1. Prandtlovo číslo**

$$P_R = \frac{c_p \cdot \nu}{\lambda_s} = \frac{1370 \cdot 56,5 \cdot 10^{-6}}{54,3 \cdot 10^{-3}} = 1,42 \text{ [-]}$$

λ_s - dle tabulky pro střední teplotu proudu spalin



6.5.2. Rychlost proudění spalin

$$u = \frac{\dot{m}_{sp}}{n_{tr} \cdot S} = \frac{0,0169}{22 \cdot 0,0621} = 0,272 \text{ [m/s]}$$

$$n_{tr}=22$$

\dot{m}_{sp} -dodané firmou Profitall na základě měření

6.5.3. Reynoldsovo kritérium

$$R_e = \frac{u \cdot d}{\nu} = \frac{0,272 \cdot 0,06}{56,5 \cdot 10^{-6}} = 288 \text{ [-]}$$

6.5.4. Součinitel přestupu tepla spalin

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_s}{d} \cdot 0,023 \cdot R_e^{0,8} \cdot P_R^{0,4} = \frac{54,3 \cdot 10^{-3}}{0,06} \cdot 0,023 \cdot 288^{0,8} \cdot 1,42^{0,4} = 2,22$$

Součinitel přestupu vody bude dále ve výpočtu zanedbán. Je to z toho důvodu, že vycházíme z tohoto vztahu pro součinitel přestupu tepla:

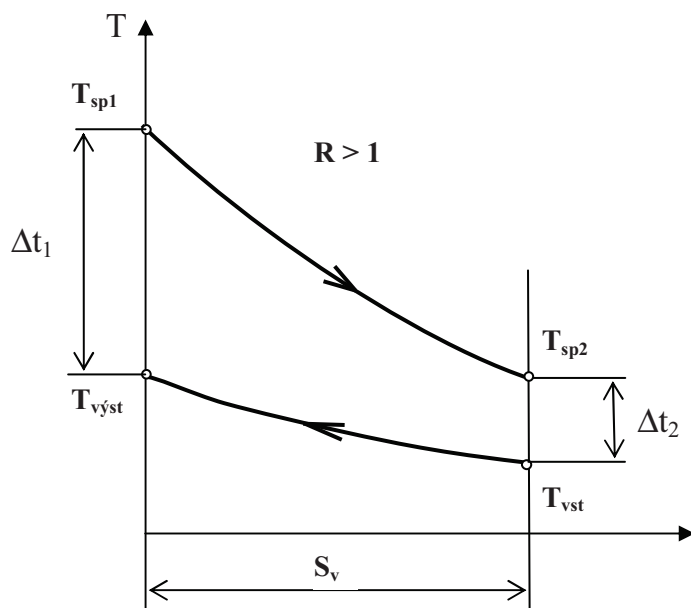
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

kde α_1 -součinitel přestupu tepla u vody
 α_2 - součinitel přestupu tepla u spalin

$$\alpha_1 \gg \alpha_2 \rightarrow k \approx \alpha_2$$

k-součinitel přestupu tepla

7.5.5. Střední logaritmický spád pro protiproudé proudění



Obr.5. Schéma protiproudého proudění

$$\Delta T_{LN} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T_{sp1} - T_{vyst} = 550 - 56 = 494 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_2 = T_{sp2} - T_{vst} = 192 - 10 = 182 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta T_{LN} = \frac{494 - 182}{\ln \frac{494}{182}} = 312 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

7.5.6. Teplosměnná plocha

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot n_r = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 0,3 \cdot 22 = 1,24 \text{ [m}^2\text{]}$$

7.5.7. Výkon předaný spalinami

$$Q_{sp} = k \cdot S \cdot \Delta T_{LN} = 2,22 \cdot 1,24 \cdot 312 = 0,86 \text{ [kW]}$$

7.5.8. Průměrná teplota vody

$$T_Z = \frac{T_{vst} + T_{vyst}}{2} = \frac{10 + 56}{2} = 33 \text{ [}^\circ\text{C]}$$



7.5.9. Δt na výstupu z ohniště

Dle [1] str.125

$$\Delta t = 80 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

7.5.10. Výkon předaný sáláním stěn

$$Q_{st} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4) = 0,952 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1,24 \cdot (713,15^4 - 386,15^4) = 15,8 \text{ [kW]}$$

T_1 - 440°C zadáno

$$T_1 = 440 + 273,15 = 713,15 \text{ [K]}$$

$$T_2 = T_z + \Delta t + 273,15 = 386,15 \text{ [K]}$$

σ - Stefan Boltzmanova konstanta

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$$

ε - poměrná zářivost vnějšího povrchu výměníku, určena dle tabulky č.42 [4]

$$\varepsilon = 0,952$$

7.5.11. Celkový výkon

$$Q_C = Q_{sp} + Q_{st} = 0,86 + 15,8 = 16,66 \text{ [kW]}$$

7.6. Výpočet výkonu teplovodního výměníku na základě provedeného měření

7.6.1. Výkon pro první měření

Hodnoty použity dle tab.3

$$Q_1 = \frac{V_c + c_p + T_n}{\Delta t} = \frac{267 \cdot 4187 \cdot 21}{2100} = 11,1 \text{ [kW]}$$

$$V_c = V_1 + V_2 = 235 + 32 = 267 \text{ l}$$

V_1 - objem nádrže

V_2 - objem teplovodního výměníku

T_n - nárůst teploty

7.6.2. Výkon pro druhé měření

Hodnoty použity dle tab.4

$$Q_2 = \frac{V_c + c_p + T_n}{\Delta t} = \frac{267 \cdot 4187 \cdot 40}{2400} = 18,6 \text{ [Kw]}$$

8. Závěr

U krbové vložky BETY, bylo provedeno několik konstrukčních změn. Tyto změny měli mít za důsledek zvýšení teplovodního výkonu a zvýšení účinnosti krbové vložky.

První změnou, která byla provedena, byla úprava přívodu sekundárního vzduchu. Přívod sekundárního vzduchu je nyní řešen tak, že vzduch je před vstupem do spalovací komory přehříván. To znamená že nedochází ke zbytečnému ochlazování spalovací komory a je využita větší část tepla. Tím se také zvýšila účinnost. Dále byla provedena změna rozměrů trysek sekundárního vzduchu uvnitř spalovací komory. Trysky byly zúženy a tím se docílilo toho, že vzduch se dostane dál do spalovací komory a zajistí lepší dohoření prchavé hořlaviny. Lepší dohoření prchavé hořlaviny je viditelné ve spalovací komoře. Plameny jsou světlejší než byli původně a to potvrzuje lepší spalování.

Další změnou, která se prováděla na straně sekundárního vzduchu, byla jeho regulace. Regulace by měla být provedena pomocí bimetalu a to v závislosti na teplotě spalin. Od firmy Kanthal jsme obdrželi jeden vzorek bimetalového pásku. Ten ovšem byl nevyhovující, protože jeho tuhost byla nižší než bylo předpokládáno a docházelo k jeho ohýbání již samotnou vahou řetízku a šoupátka, které má uzavírat přívod sekundárního vzduchu vně krbové vložky. Jiný vzorek bimetalu se mi nepodařilo sehnat. Regulace sekundárního vzduchu je tedy zatím navržena, ale nemůže být prakticky odzkoušena. Je předpoklad, že dojde ke zvýšení účinnosti krbové vložky, zejména v počáteční a konečné fázi hoření.

Změnou konstrukce teplovodního výměníku se dosáhlo největších změn v oblasti výkonu a účinnosti krbové vložky. Také byly sníženy časové nároky na výrobu výměníku a tím klesla i jeho výrobní cena. Návrhem nového typu výměníku, který je konstruován jako žárový, se dosáhlo vysokého výkonu na straně vody. Po prvním měření a následném výpočtu jsme se dostali na hodnotu 11 kW. Při tomto měření jsme dále zjistili, že teplota spalin za výměníkem je okolo 270°C. Tato teplota je příliš vysoká. Optimum je okolo 200°C. Po druhém měření, které bylo provedeno po změnách provedených na sekundárním vzduchu a za použití rozvířovacích plechů, byla naměřena teplota za výměníkem 195°C, což je téměř ideální. Výkon výměníku je nyní 18,6 kW. Toto snížení teploty spalin a nárůst výkonu je připisováno především rozvířovacím plechům, které byly umístěny do žárových trubek. Tyto plechy budou dále sloužit k čištění žárových trubek, které se postupem času budou zanášet. Změřené a vypočtené výkony výměníku se od sebe liší. Předpokládám, že výkon který byl změřen je reálný a ten vypočtený je pouze teoretický. Do výpočtu nebyly např. zahrnuty rozvířovací plechy, které jak je vidět podle měření, měli velký přínos pro zvýšení výkonu. Závěrem bych zhodnotil úpravy které byly provedeny za úspěšné. Dosažené výsledky v některých ohledech dokonce předčili naše očekávání.



Literatura

- [1] Budaj, F.: Parní kotle – podklady pro tepelný výpočet, nakladatelství VUT Brno, 1992
- [2] Kadlec,A.,Kadlecová,A.: Krby a krbová kamna, Littera Brno, Sobotáles Praha, 2001
- [3] Rybín, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů, SNTL Praha, 1978
- [4] Michejev, M. A., Základy sdílení tepla, SNTL Praha, prosinec 1953

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

A^d	obsah popela v suchém palivu	[%]
A	obsah popela v původním palivu	[%]
Q	Spalné teplo	[MJ/kg]
Q_i	výhřevnost	[MJ/kg]
S	Obsah síry v palivu	[%]
V	obsah prchavé hořlaviny	[%]
t_a	Teplota měknutí popela	[°C]
t_b	Teplota tavení popela	[°C]
t_c	Teplota tečení popela	[°C]
C	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	[%]
O	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	[%]
O_2	Objemová koncentrace kyslíku ve spalinách	[%]
H	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	[%]
N	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	[-]
S	Hmotnostní podíl síry v palivu	[%]
W	Hmotnostní podíl vody v palivu	[%]
p	tlak	[Pa]
α	Součinitel přebytku vzduchu	[-]
φ	Relativní vlhkost vzduchu	[%]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]
λ_s	Tepelná vodivost spalin	[W/mK]
c_p	Měrná tepelná kapacita vody	[J/Kg.K]
\dot{m}_{sp}	Hmotnostní průtok spalin	[Kg/s]
u	Rychlost proudění spalin	[m/s]
n_{tr}	Počet trubek ve výměníku	[-]
d	Průměr trubek ve výměníku	[mm]
T_{n1}	Vstupní teplota do nádrže	[°C]
T_{n2}	Výstupní teplota z nádrže	[°C]
$T_{prům}$	Průměrná teplota v nádrži	[°C]
T_n	Nárůst teploty v nádrži	[°C]



T_{spal}	Teplota spalin v ústí kouřovodu	[°C]
T_{sp1}	Teplota spalin před výměníkem	[°C]
T_{sp2}	Teplota spalin za výměníkem	[°C]
$T_{\text{výst}}$	Teplota vody vystupující z výměníku	[°C]
T_{vstup}	Teplota vody vstupující do výměníku	[°C]
l	Délka žárových trubek	[mm]
r	Poloměr žárových trubek	[mm]