



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF ENERGY

MOŽNOSTI VYTÁPĚNÍ BIOMASOU

BIOMASS HEATING OPTIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL SYNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. OTAKAR ŠTELCL

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Synek

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Možnosti vytápění biomasou

v anglickém jazyce:

Biomass heating options

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozdělení lokálních zdrojů tepla na biomasu. Praktická zkouška krbových kamen na zkušebně.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše používaných typů krbových vložek a kamen
- Základní tepelné výpočty a možnosti optimalizace užitečných vlastností
- Praktické měření krbových kamen na zkušebně



Seznam odborné literatury:

Rybín, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích, STNL Praha 1978

Budaj, F.: Parní kotle, skripty VUT 1995

Norma ČSN EN 13229

www.biom.cz

www.tzb-info.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Otakar Štelcl

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 29.10.2010



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Bakalářská práce je rozdělena na pět hlavních částí. V první části se zabývá rozdělením krbových kamen podle roštu, použitého výrobního materiálu, podle spalovacích vzduchů a přenosu tepla. Druhá část se zabývá normou ČSN EN 13 240. Následují oddíly pojednávající o měřicím úseku, použitých měřicích přístrojích a zkušební palivu. Poslední část se zabývá samotnými měřeními, vyhodnocováním výsledků a výpočtem účinnosti.

Klíčová slova

Krbová kamna, krbová vložka, tepelné ztráty, účinnost krbových kamen, primární a sekundární spalovací vzduch, koncentrace emisních plynů.

Abstract

This bachelor thesis is divided into five main parts. The first part divides stoves according to the type of grate, material, transmission of heat and combustion of gasses. The second part deals with the ČSN EN 13 240 norm. The following parts discuss measurement points and the devices used for measuring and test fuel. The last part deals with the collected data, the results drawn from these data and the efficiency calculation.

Keywords

Stoves, fireplace insert, heat loss, stoves efficiency, emissions concentration, combustion of gasses.

Bibliografická citace

SYNEK, M. Možnosti vytápění biomasou. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Otakar Štelcl.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu literatury.

V Brně dne _____

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Otakaru Štelcovi za odborné vedení, vstřícnost a čas, který mi věnoval při psaní bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval vedení a zaměstnancům firmy STEKO spol. s r.o. za ochotu a konzultace při měření krbové vložky na zkušebně jejich firmy.

Obsah

1.	Úvod.....	15
2.	Rozdělení krbů, krbových vložek a krbových kamen	16
2.1	Rozdělení podle materiálů	17
2.2	Rozdělení podle roštu	17
2.3	Rozdělení podle spalovacího vzduchu	18
2.4	Dělení podle přenosů tepla	20
3.	Norma ČSN EN 13240.....	22
3.1	Tepelné ztráty a účinnost.....	22
3.2	Poměrné ztráty citelným teplem spalín	22
3.3	Poměrné ztráty plynným nedopalem.....	22
3.4	Poměrné ztráty mechanickým nedopalem	22
3.5	Celkový tepelný výkon.....	23
3.6	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalín při srovnávacích podmínkách.....	23
3.7	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry.....	23
3.8	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v nespálených zbytcích.....	23
3.9	Koncentrace CO	23
4.	Zkouška krbové vložky	24
4.1	Měřicí úsek	24
5.	Použité měřicí přístroje	25
5.1	Digitální váha CAS	25
5.2	Vlhkoměr dřeva WHT 770	25
5.3	Tahoměr.....	27
5.4	Digitální teploměr M 305	27
5.5	Analyzátor spalín Inftralyt 5000	28
6.	Zkušební palivo.....	30
6.1	Buk lesní.....	30
6.2	Stechiometrické výpočty	31
6.2.1	Výpočet minimálního množství vzduchu	31
6.2.2	Výpočet minimálního množství spalín	32
6.2.3	Maximální množství CO ₂ ve spalínách	33
6.2.4	Výpočet součinitele α	33

7. Měření krbové vložky	34
7.1 Měření číslo 1	35
7.2 Měření číslo 2	39
7.3 Měření číslo 3	43
7.4 Měření číslo 4	47
8. Závěr	52
Seznam použité literatury.....	53
Seznam použitých značek a symbolů.....	54

1. Úvod

Oheň, hlavně spalování dřeva, je uctíván už od pravěku jako symbol ochrany před nebezpečím, dobrý pomocník při zpracování potravy a zdroj tepla. Spalování dřeva se stalo nedílnou součástí každodenního života po celá staletí až do dnešní, moderní doby. Dnes se spalování biomasy využívá převážně k vytápění obytných prostor.

Od poloviny 19. století se jako palivový materiál používalo výhradně černé a hnědé uhlí, nejen pro vytápění domu, ale hlavně v továrnách. Tato varianta byla sice levná, ale s použitím starých kotlů málo efektivní. Dnes je nevýhodou těchto fosilních paliv (uhlí, zemní plyn, ropa,...) jejich vysoká cena, vliv na životní prostředí (jejich spalováním vzniká velké množství spalin, které znečišťují ovzduší), devastace přírody při jejich těžbě. Tyto zdroje energie nejsou navíc nevyčerpatelné, proto je nutné hledat alternativní paliva. Nejlevnější a dnes i nejoblíbenější je vytápění dřevem.

Moderním trendem se nyní stává výstavba nízkopodlažních, jednogeneračních domů, ve kterých se stále častěji objevují jako zdroje tepelné energie právě krbové kamna a krbové vložky. Jejich nespornou výhodou je výkonová i vzhledová rozmanitost, takže z užitečného tepelného zdroje se stává i estetický doplněk domácnosti.

Při spalování dřeva dochází k chemickým reakcím, při nichž se slučuje uhlík a ostatní prvky obsažené v palivu s okolním vzduchem a tím vznikají emisní plyny odcházející do ovzduší. Snahou je dosáhnout takového nastavení, hlavně přívodu vzduchu do spalovací komory, abychom docílili co nejvyšší účinnosti a snížili emise oxidu uhelnatého na úkor zvýšení oxidu uhličitého, který potřebují rostliny ke svému dýchání.

Cílem této práce je provést základní rozdělení krbových kamen a krbových vložek, provést orientační měření účinnosti a emisí dle normy ČSN EN 13 240 a na základě výsledků zkoušky vyhodnotit nejlepší nastavení krbové vložky.



2. Rozdělení krbů, krbových vložek a krbových kamen

V dnešní moderní se mnoho lidí snaží vrátit ke kořenům našich předků a umístit „živý“ oheň zpět do svých domovů. Požadavky zákazníků na výrobce interiérových topenišť jsou čím dál náročnější. Proto je snahou konstruktérů přivést své výrobky k dokonalosti jak z hlediska dizajnu, tak z hlediska účinnosti a výkonu. Existuje spousta aspektů, podle kterých lze tyto výrobky dělit:

Klasické krby bez krbové vložky

Nejčastěji využívané jako venkovní jsou pro vytápění obytných prostor nevyhovující, z tohoto důvodu o nich v rámci této práce již nebude zmínka. Negativní faktory jsou nízká účinnost a dým vstupující do okolí v případě špatného tahu komínu například při inverzním počasí.



Obr. 2.1 Klasický krb bez krbové vložky [2]



Obr. 2.3 Krbová kamna [2]

Krbová kamna

se používají k pravidelnému vytápění obytných prostor a užívají se tam, kde je obtížné, nebo nemožné zabudování krbové vložky. Jsou umístěna podobně jako krbová vložka. Nespornou výhodou tohoto druhu vytápění je široká dizajnová rozmanitost, při níž si každý uživatel přijde na své.

Krbová vložka

je jednoduchým topeništěm na fosilní paliva, které lze snadno vsadit do obestavby a tím vytvořit dojem komfortního doplňku domácnosti. Krbová vložka je umístěna před, nebo vedle komínu, s nímž je spojena s komínovou rourou.



Obr. 2.2 Krbová vložka [2]

2.1 Rozdělení podle materiálů

Mezi základní nejpoužívanější materiály pro výrobu krbových vložek a kamen patří především:

- ocel
- litina

Ocelové krbové vložky a kamna jsou dnes nejrozšířenější pro svoji nízkou cenu. Pro výrobu se používají ocelové plechy o tloušťce 3-6 mm. Dobře snáší teplotní šoky, rychle se zahřeje a předává teplo do okolí. Nevýhodou těchto výrobků je jejich nízká životnost oproti kamnům vyrobených z litiny.

Litina je pro výrobu kvalitnějším materiálem díky dlouhodobé životnosti a je odolná proti prohoření. I přes vysokou cenu se svávají litinové kamna stále oblíbenější. Obecně platí, že se litina dlouho nahřívá, ale její nespornou výhodou je vysoká akumulční schopnost.

Krbové kamna a vložky se vyrábí také kombinací těchto dvou materiálů, pro zvýšení kvality a snížení ceny.

Důležitou součástí je i šamot, nebo vermikulit. Tyto materiály se používají jako vystýlky spalovacích komor a napomáhají k rovnoměrnému rozkladu teplot. Šamot i vermikulit mají také výborné akumulční účinky.

2.2 Rozdělení podle roštu

- roštové
- bezroštové

Základní rozdíl je v přísunu primárního spalovacího vzduchu. U roštových krbových kamen a vložek je vzduch přiváděn do spalovací komory otvorem ve spodní části dvířek. U paliv s velkým množstvím popeloviny je rošt nespornou výhodou, protože zbytky vzniklé mechanickým nedopalem odchází přes rošt do popelníku. Na druhou stranu žhavé uhlíky, které propadnou roštem, se ochlazují z důvodu přísunu studeného primárního vzduchu a dochází k jejich následnému uhasnutí. Ztráty vzniklé mechanickým nedopalem navíc snižují účinnost kamen.

Bezroštové krbové kamna a vložky mají přísun primárního vzduchu zajištěny otvory těsně nad dnem v bočních stěnách (popř. v zadní stěně) spalovací komory. Vzduch je většinou předeřhříván (nedochází ke snižování teploty ve spalovací komoře), což vede k dokonalejšímu spalování. Jelikož nedochází k odstraňování tuhých zbytků spalování do popelníku, jsou tyto zbytky opětovně spalovány, čímž se snižuje obsah popela a zvyšuje se účinnost. Tento způsob je označován za čistý, ekologický a úsporný.

Snížení obsahu popela lze dosáhnout spalováním co nejdokonaleji vysušeného dřeva.

*Obr. 2.4 Roštové topeniště**Obr. 2.5 Bezroštové topeniště [3]*

2.3 Rozdělení podle spalovacího vzduchu

Pro hoření je nutné přivádět do topeniště dostatek kyslíku (součást okolního vzduchu), ten se po reakci s hořlavinou přemění na spaliny, které jsou následně odváděny komínem. Množstvím dodávaného vzduchu se reguluje rychlost spalování paliva. Při nízkém přísunu vzduchu nedochází k dokonalému spalování, tím plýtváme palivem. V krajním případě může dojít k tomu, že se ve spalovací komoře nashromáždí velké množství nedohořelých spalin a ty mohou explodovat, což může vést až ke vzniku požáru.

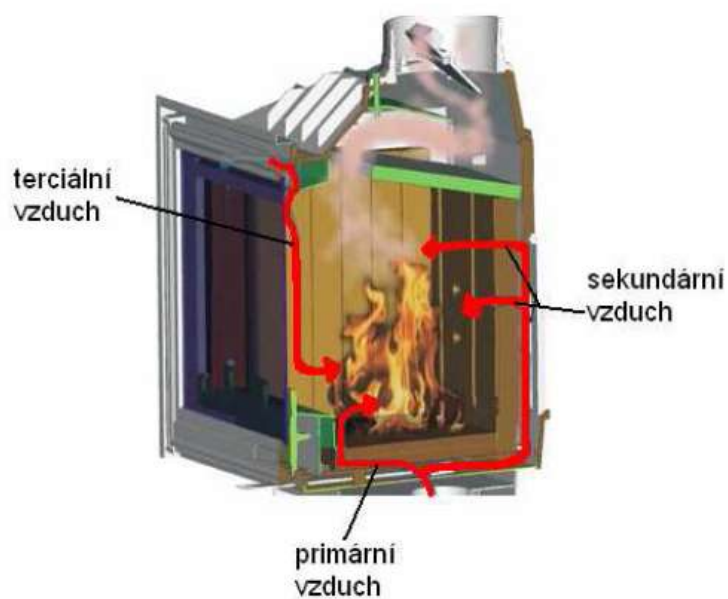
Většina dnešních krbových kamen a vložek má přísun vzduchu rozdělen na tři hlavní přívody:

- Primární
- Sekundární
- Terciální

Přísun primárního vzduchu je u většiny dnešních kamen umístěn ve spodní části dvířek, nebo pod nimi a je přiváděn pod rošt. Tento vzduch ovlivňuje výrazně spalování (výkon) a je důležitý především pro roztápění a v průběhu hoření je postupně ubírán.

Při primární hoření vzniká velké množství plynných uhlovodíků, které mohou být ještě druhotně spalovány. Tady přichází na řadu sekundární přísun vzduchu. Vzduch je nasáván z okolí a přehříván v meziplášťových komorách a přiváděn do horní části kamen. Množství přísunu sekundárního vzduchu je dáno stechiometrickými vztahy. Při nedodržení tohoto přísunu dochází k nedokonalému spalování, velké komínové ztrátě a tudíž snížení účinnosti.

Terciální vzduch je přiváděn otvory v horní části dvířek a většinou není přehříván, protože se používá na „oplach skla“, což znamená, že v důsledku své nižší teploty (vyšší hustoty) klouže po skle na dno spalovací komory a napomáhá sekundárnímu spalování uhlovodíků usazených na dvířkách, čímž se sklo čistí. Následně tento vzduch může nahradit primární (trysky pro přísun primárního vzduchu mohou být zcela uzavřeny). **[10]**



Obr. 2.6 Schéma přívodů vzduchu [6]



Obr.2.7 Přívod sekundární vzduchu



Obr. 2.8 Přívod terciálního vzduchu

2.4 Dělení podle přenosů tepla

- Sálavé
- Teplovzdušné
- Teplovodní

Mezi sálavé kamna se řadí především jednoplášťové kamna a vložky bez obezdívky a klasická kachlová kamna. Jako výrobní materiály se používají ty, které mají výborné akumulční vlastnosti, např. litina. Tyto výrobky se řadí do tepelných zdrojů s nižším výkonem, a proto jsou používány především k vytápění menších, nebo méně často obývaných prostor jako jsou například chaty. [6]

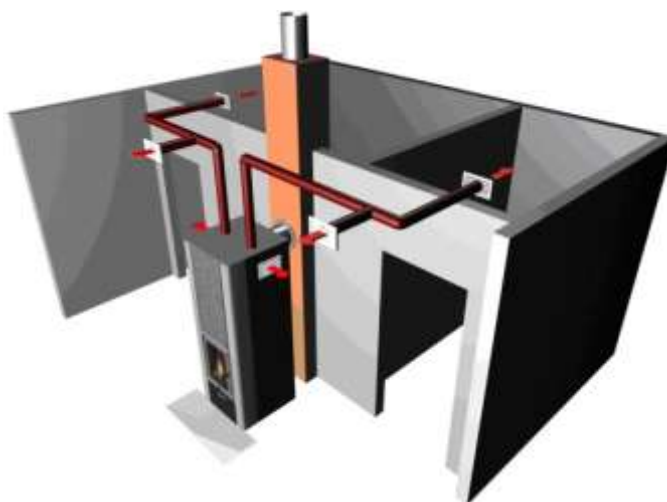


Obr. 2.9 Litinová sálavá kamna[3]

Teplovzdušné krby se používají výhradně u trvale obydlených objektů. Tyto krby jsou výborné alternativní, nezávislé zdroje energie, ale jako všechny ostatní mají své výhody i nevýhody. Mezi nesporné výhody patří velmi rychlé předávání tepla do okolí, vysoký okamžitý výkon a možnost teplovzdušných rozvodů. Opakem jsou nerovnoměrné teploty v interiéru (rozdílné teploty mezi podlahou a stropem). U teplovzdušných kamen a vložek je vzduch ohříván mezi dvěma pláštěmi. Studený okolní vzduch je nasáván do meziplášťových komor otvory ve spod kamen, ohříván a odváděn do teplovzdušných trubek. Tyto rozvody (trubky) umožňují distribuci teplého vzduchu do ostatních místností. Tento teplý vzduch je na delší úseky přepravován pomocí ventilátoru. Takovýto systém je ovšem závislý na elektrické energii. Mezi další nevýhody teplovzdušných rozvodů patří víření prachu. [1]

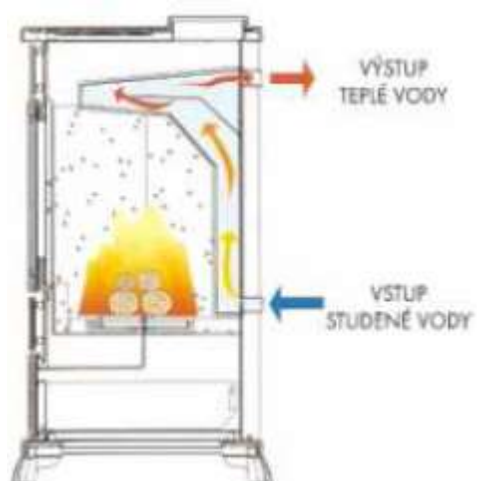


Obr. 2.10 Teplovzdušná krbová vložka [1]



Obr. 2.11 Schéma rozvodů teplovzdušnými trubkami[1]

Teplovodní krbové kamna a vložky se většinou používají jako záložní (sekundární) zdroj energie v kombinaci s jiným například plynovým kotlem, nebo solárním systémem. Teplovodní kamna předávají část tepla do okolí (konvekci) a část tepla do vody skrze teplovodní výměník. Tento poměr je dán konstrukcí spalovací komory a velikostí tepelného výměníku. Je zapotřebí dbát na to, aby nedocházelo k přílišnému ochlazení spalin, což by mělo za následek snížení účinnosti celého systému. Teplovodní kamna jsou určena k ohřevu vody pro vytápění objektů a přípravu teplé užitkové vody. [6]



Obr. 2.12 Princip funkce teplovodních kamen [6]

3. Norma ČSN EN 13240

Podle účinnosti lze krbové vložky a kamna zařadit do jednotlivých tříd:

Třída účinnosti	Mezní hodnoty účinnosti [%]
Třída 1	≥ 70
Třída 2	$\geq 60 < 70$
Třída 3	$\geq 50 < 60$
Třída 4	$\geq 30 < 50$

Tab. 3.1 Třídy účinnosti

3.1 Tepelné ztráty a účinnost

Tepelné ztráty se stanoví z průměrných hodnot teplot spalin a místnosti, složení spalin a hořlavých složek v pevných zbytcích spalování.

Účinnost se stanoví z těchto ztrát podle tohoto vzorce:

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad (1)$$

3.2 Poměrné ztráty citelným teplem spalin

$$Q_a = (t_a - t_r) \times [(C_{pmd} \times (C - C_r)) / (0,536 \times (CO + CO_2))] + [C_{pmH_2O} \times 1,224 \times (9H + W) / 100] \quad (2)$$

$$q_a = 100 \times Q_a / H_u \quad (3)$$

3.3 Poměrné ztráty plynným nedopalem

$$Q_b = 12\,644 \times CO \times (C - C_r) / [0,536 \times (CO_2 + CO) \times 100] \quad (4)$$

$$q_b = 100 \times Q_b / H_u \quad (5)$$

3.4 Poměrné ztráty mechanickým nedopalem

$$Q_r = 335 \times b \times R / 100 \quad (6)$$

$$q_r = 100 \times Q_r / H_u \quad (7)$$

3.5 Celkový tepelný výkon

Celkový tepelný výkon se počítá z hmotnosti paliva spáleného za hodinu, z výhřevnosti zkušební paliva a z účinnosti s použitím tohoto vzorce:

$$P = \frac{\eta \times B \times H_u}{100 \times 3600} \quad (8)$$

3.6 Střední měrná tepelná kapacita suchých spalín při srovnávacích podmínkách

$$C_{pmd} = 3,6 \times \left(0,361 + 0,008 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) + 0,034 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 + \left(0,085 + 0,19 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) - 0,14 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right) \times \left(\frac{CO_2}{100} \right) + \left(0,03 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) - 0,2 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right) \times \left(\frac{CO_2}{100} \right) \right) \quad (9)$$

3.7 Střední měrná tepelná kapacita vodní páry

$$C_{pmH_2O} = 3,6 \times \left(0,414 + 0,038 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) + 0,034 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right) \quad (10)$$

3.8 Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v nespálených zbytcích

$$C_r = R \times b / 100 \quad (11)$$

3.9 Koncentrace CO

Průměrná hodnota oxidu uhličitýho (CO_{avg}) se vypočítá jako průměrná hodnota všech údajů oxidu uhličitýho CO získaných z odečtů na přístrojích v průběhu doby zkoušení.

Hodnota CO_{avg} se přepočítá na hodnotu koncentrace CO na základě běžného obsahu kyslíku ve spalínách podle jednoho z těchto vzorců:

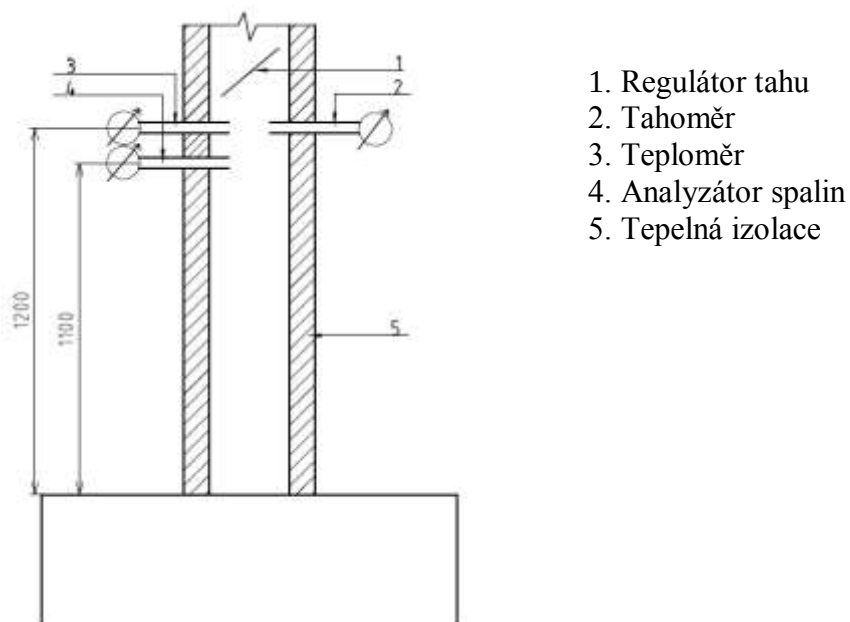
$$CO = CO_{avg} \times \frac{21 - O_{2standartized}}{21 - O_{2avg}} \quad (12)$$

$$CO = CO_{avg} \times \frac{CO_{2max}}{CO_{2avg}} \times \frac{21 - O_{2standartized}}{21} \quad (13)$$

Pro účely této normy je normalizovaná koncentrace kyslíku ($O_{2standartized}$) ve spalínách 13%.

4. Zkouška krbové vložky

4.1 Měřicí úsek



Obr. 4.1 Měřicí úsek

Měřicí úsek Obr. 4.1 je kouřovod (komín), ve kterém jsou navrtány otvory ve výšce udané normou. Do těchto otvorů jsou navařeny vývody pro umístění čidel: tahoměru (1200mm), teploměru pro měření teploty spalin (1200mm) a analyzátoru spalin (1100mm). Kouřovod musí být co nejdokonaleji izolován od okolí, aby nedocházelo k předčasnému ochlazení spalin, tudíž ke zkreslení výsledků měření. Dalším důležitým prvkem pro přesnost měření je utěsnění mezer spoje mezi kouřovodem a odvodem směsi plynů ze spalovací komory. Při nedokonalém utěsnění by mohl být do měřicího úseku nasáván vzduch z okolního prostoru, což by mělo za následek ochlazení spalin a změnu jejich koncentrace.

5. Použité měřicí přístroje

- digitální váha
- měřič vlhkosti
- tahoměr
- digitální teploměr
- analyzátor spalín

5.1 Digitální váha CAS

Před začátkem měření je zapotřebí ujistit se, že se váha nachází v dokonale vodorovné rovině a po připojení do elektrické sítě musíme přístroj recalibrovat, aby počáteční hodnota, kterou display znázorňuje byla nula.

rozsah měření: 0 – 12 kg

nejmenší dílek stupnice: 5g

chyba měření: 2,5g



Obr. 5.1 Digitální váha CAS

5.2 Vlhkoměr dřeva WHT 770

Tento přístroj je určen k měření vlhkosti dřeva a jeho teploty. Je optimální udělat několik měření a vypočítat jejich aritmetický průměr, jelikož není zaručeno, že v každém místě měření bude stejná vlhkost.

rozsah měření vlhkosti: 0 – 90% chyba měření: 1%

rozsah měření teplot: 0 - 110°C chyba měření: 0,5°C



Obr. 5.2 Vlhkoměr dřeva WHT 770

Tento typ přístroje udává hodnoty pro smrkové dřevo, proto je zapotřebí přepočítat hodnotu vlhkosti dle následující tabulky

Převodní tabulka pro korekci vlhkosti běžných druhů dřevin

Druh dřeva	Vlhkost v %																			
Naměřená vlhkost (v %)	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0		
Smrkové dřevo																				
Dub bílý	7.2	8.0	8.8	9.6	10.5	11.5	12.4	13.5	14.5	15.6	16.5	17.3	18.3	19.3	20.2	21.2	22.1	23.1		
Buk	8.7	7.4	8.1	9.0	10.0	11.0	12.2	13.2	14.0	14.7	15.4	16.3	17.1	17.8	18.8	20.0	21.0	22.0		
Jedle bílá	8.8	8.7	10.6	11.4	12.3	13.1	14.1	15.1	16.2	17.3	18.1	19.1	20.0	21.1	22.1	23.0	24.0	24.8		
Jasán bílý	7.6	8.2	9.0	9.8	10.7	11.5	12.4	13.2	13.9	14.7	15.6	16.4	17.2	17.9	18.7	19.5	20.3	20.9		
Lípa	7.5	7.9	8.8	9.5	10.3	11.1	12.0	13.1	14.0	14.9	15.9	16.8	17.8	18.7	19.8	20.8	21.5	22.2		
Bříza	8.9	8.8	10.8	11.8	12.5	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.5	20.5	21.0	22.8	23.8	24.6	25.7		
Mešpatník	8.2	9.2	10.3	11.3	12.3	13.2	14.0	14.8	15.7	16.5	17.2	18.1	18.8	19.6	20.3	20.9	21.7	22.3		
Javor	8.8	8.5	10.0	10.8	11.7	12.5	13.4	14.3	15.2	16.1	17.1	18.2	19.2	20.3	21.2	22.4	23.7	24.0		
Vlašský ořech	8.5	9.4	10.3	11.2	12.1	13.0	13.9	14.8	15.7	16.5	17.3	18.3	19.2	20.1	20.9	21.8	22.7	23.3		
Borovice	8.6	9.6	10.7	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.7	19.7	20.6	21.5	22.4	23.3	24.1	24.9		
Jilm americký	7.0	8.1	8.7	9.1	9.8	10.4	11.0	11.7	12.5	13.4	14.1	14.9	15.6	16.3	17.0	17.7	18.6	19.0		
Modřín	8.7	9.7	10.8	11.8	12.7	13.6	14.6	15.5	16.5	17.5	18.4	19.4	20.4	21.3	22.1	23.1	23.9	24.8		
Člbe	8.9	9.9	10.8	11.8	12.9	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	22.0	22.9	23.8	24.7	25.6		
Topol	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.8	15.9	17.0	17.9	18.7	19.7	20.7	21.6	22.6	23.6	24.7	25.9		

Obr. 5.3 Převodní tabulka vlhkosti dřeva

5.3 Tahoměr

Tento přístroj udává rozdíl tlaků mezi okolím a měřicím úsekem. Pracuje na principu deformace membrány.

Rozsah měření: 0 – 50Pa

Chyba měření 0,5Pa



Obr 5.4 Laboratorní tahoměr

5.4 Digitální teploměr M 305

Jedná se o přenosný teploměr pracující ve dvou stupnicích: Fahrenheitovy a Celsiovy. Pro účely této zkoušky byla zvolena stupnice Celsiova z důvodu rozšířenosti a použití normy ČSN EN 13240. Tento přístroj je vybaven dvěma vstupy pro termočlánky a jedním výstupem pro on line záznam. Data jsou ukládány do paměti a po následném připojení k počítači můžou být hodnoty měření použity pro další zpracování.

rozsah měření	-50 -1300°C	při teplotě okolí	0 - 50°C
chyba měření	0,5%	při relativní vlhkosti	0 – 80%



Obr 5.5 Digitální teploměr M 305

5.5 Analyzátor spalín Inftralyt 5000

Tento přístroj slouží určování složení výfukových plynů při spalování. Inftralyt je vybaven ovládacím panelem, několika display pro určování okamžitého složení spalín (oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, směsi uhlovodíků a kyslíku), dvěma vstupy pro nasávání analyzovaných spalín a kalibračního vzduchu, několika výstupy na propojení se záznamovou technikou (v našem případě počítač).

Po uvedení analyzátoru do provozu se přístroj automaticky kalibruje a po uplynutí šesti minut je připraven k provozu.

rozsah měření	CO	0 - 10% objemových
	CO ₂	0 - 20% objemových
	HC	0 - 25% objemových
	O ₂	0 - 25% objemových



Obr. 5.6 Analyzátor spalín Infracal 5000

Tímto přístrojem nesmí procházet žádné pevné ani kapalné látky, z tohoto důvodu musíme instalovat před Infracal čistící trasu vybavenou filtry, průtokoměrem, škrtkím a trojcestným ventilem. Součástí čistící trasy je chladič, který snižuje teplotu spaliny pod 50°C. Při vyšších teplotách by mohlo dojít k poškození přístroje.



Obr 5.7 Čistící trasa kufříkovém provedení

6. Zkušební palivo

6.1 Buk lesní

(*Fagus silvatica*) je poměrně kvalitním palivem. Obsahuje jen malé množství popeloviny, chlóru a síry. Obsahuje velké množství prchavé hořlaviny. Bukové dřevo vysychá při dobrém skladování na vlhkost asi 15% a tím dosahuje výhřevnosti asi $15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Dříve se suchou destilací bukového dřeva vyráběl dřevěný líh a bylo materiálem pro výrobu dřevoplynu. Dnes se používá pro energetické využití hlavně ve formě polen, dále se využívá ve formě odřezků a pilin jako palivo do kotlů. Piliny mohou být taktéž peletovány a spalovány přímo.

Pro zkoušku bylo použito bukové dříví ve formě rozštípaných polen.

Spálené teplo	H_s	$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	17,5
Výhřevnost	H_u	$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	16
Uhlík	C	% hmot.	43,5
Vodík	H	% hmot.	5,8
Síra	S	% hmot.	0,01
Dusík	N	% hmot.	0,09
Kyslík	O	% hmot.	41,2
Hmotnostní podíl vody	W	% hmot.	8,2
Obsah popela	R		1,2

Tab. 6.1 Rozbor zkušebního paliva



Obr. 6.1 Zkušební palivo

6.2 Stechiometrické výpočty

6.2.1 Výpočet minimálního množství vzduchu

Minimální množství kyslíku pro spálení 1 kg paliva:

$$V_{O2min} = \frac{22,39}{100} * \left(\frac{C}{12,01} + \frac{H}{4,032} + \frac{S}{32,03} - \frac{O}{32} \right) [m_n^3/kg] \quad (14)$$

$$V_{O2min} = \frac{22,39}{100} * \left(\frac{43,5}{12,01} + \frac{5,8}{4,032} + \frac{0,01}{32,03} - \frac{41,2}{32} \right) = 0,845 m_n^3/kg$$

Minimální množství suchého vzduchu:

$$V_{VZmin}^S = \frac{100}{21} * V_{O2min} [m_n^3/kg] \quad (15)$$

$$V_{VZmin}^S = \frac{100}{21} * 0,845 = 4,023 m_n^3/kg$$

Součinitel vlhkosti:

$$f = 1 + \varphi * \frac{p''}{p_c - \varphi * p''} \quad (16)$$

kde - relativní vlhkost $\varphi=0,7$

- tlak syté vodní páry pro teplotu 20°C $p'' = 2,34$ kPa

- celkový absolutní tlak vlhkého vzduchu $p_c = 101,2$ kPa

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

Minimální množství vlhkého vzduchu pro spálení 1 kg paliva:

$$V_{VZmin} = f * V_{VZmin}^S [m_n^3/kg] \quad (17)$$

$$V_{VZmin} = 1,016 * 4,023 = 4,087 m_n^3/kg$$

6.2.2 Výpočet minimálního množství spalin

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

Objem oxidu uhličitého CO_2 ve spalinách:

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{100} * \frac{C}{12,01} + 0,0003 * V_{VZmin}^S [m_n^3/kg] \quad (18)$$

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{100} * \frac{43,5}{12,01} + 0,0003 * 4,023 = 0,807 m_n^3/kg$$

Objem dusíku N_2 ve spalinách:

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{100} * \frac{N}{28,016} + 0,7805 * V_{VZmin}^S [m_n^3/kg] \quad (19)$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{100} * \frac{0,09}{28,016} + 0,7805 * 4,023 = 3,141 m_n^3/kg$$

Objem argonu Ar ve spalinách:

$$V_{Ar} = 0,0092 * V_{VZmin}^S [m_n^3/kg] \quad (20)$$

$$V_{Ar} = 0,0092 * 4,023 = 0,037 m_n^3/kg$$

Minimální objem suchých spalin:

$$V_{SPmin}^S = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{Ar} [m_n^3/kg] \quad (21)$$

$$V_{SPmin}^S = 0,807 + 3,141 + 0,037 = 3,985 m_n^3/kg$$

Minimální objem vodní páry vzniklé spálením 1 kg paliva:

$$V_{H_2Omin}^P = \frac{44,8}{100} * \frac{H}{4,032} + \frac{22,4}{100} * \frac{W}{18,016} [m_n^3/kg] \quad (22)$$

$$V_{H_2Omin}^P = \frac{44,8}{100} * \frac{5,8}{4,032} + \frac{22,4}{100} * \frac{8,2}{18,016} = 0,746 [m_n^3/kg]$$

Minimální množství páry vzniklé z vlhkého vzduchu:

$$V_{H_2Omin}^{VZ} = (f - 1) * V_{VZmin}^S [m_n^3/kg] \quad (23)$$

$$V_{H_2Omin}^{VZ} = (1,016 - 1) * 4,023 = 0,064 m_n^3/kg$$

Minimální objem vodní páry:

$$V_{H_2O} = V_{H_2Omin}^{VZ} + V_{H_2Omin}^P [m_n^3/kg] \quad (24)$$

$$V_{H_2O} = 0,064 + 0,746 = 0,810 m_n^3/kg$$

Minimální množství vlhkých spalin:

$$V_{SPmin} = V_{SPmin}^S + V_{H_2O}^P + V_{H_2Omin}^{VZ} [m_n^3/kg] \quad (25)$$

$$V_{SPmin} = 3,985 + 0,746 + 0,064 = 4,795 m_n^3/kg$$

6.2.3 Maximální množství CO_2 ve spalinách

$$(CO_2)_{max} = \frac{V_{CO_2}}{V_{SPmin}^S} * 100[\%] \quad (26)$$

$$(CO_2)_{max} = \frac{0,807}{3,985} * 100 = 20,251 \%$$

6.2.4 Výpočet součinitele α

Součinitel α vyjadřuje míru přebytku vzduchu ve spalovací komoře při spalování.

Vypočítá se z naměřených koncentrací spalin:

$$\alpha = 1 + \left(\frac{(CO_2)_{max}}{CO_2} - 1 \right) * \frac{V_{SPmin}^S}{V_{VZmin}^S} \quad (27)$$

7. Měření krbové vložky

Po nainstalování krbové vložky, měřicího úseku a všech měřících přístrojů můžeme provést spouštěcí zátop. Jedná se o zátop předem určeným množstvím paliva stejného chemického složení, jaké bude mít palivo při samotné zkoušce. Spouštěcí zátop je velmi důležitým krokem, díky kterému dosáhneme provozní teploty krbové vložky a tím zamezíme nepřesnostem, hlavně u prvního měření.

Pro sestavení grafů a následných výpočtů nám poslouží záznamy z digitálního teploměru M305 a analyzátoru spalin Infralyt 5000, přičemž za pomoci tahoměru a regulátoru tahu budeme udržovat tah na 10Pa jak nám předepisuje norma. Zvolený interval mezi měřeními je 1 minuta. U měření č. 1, 2, 3 byla doba měření zkrácena na 45 minut, jak nám dovoluje norma. Pro měření č. 4 byla zachována doba 60 minut.

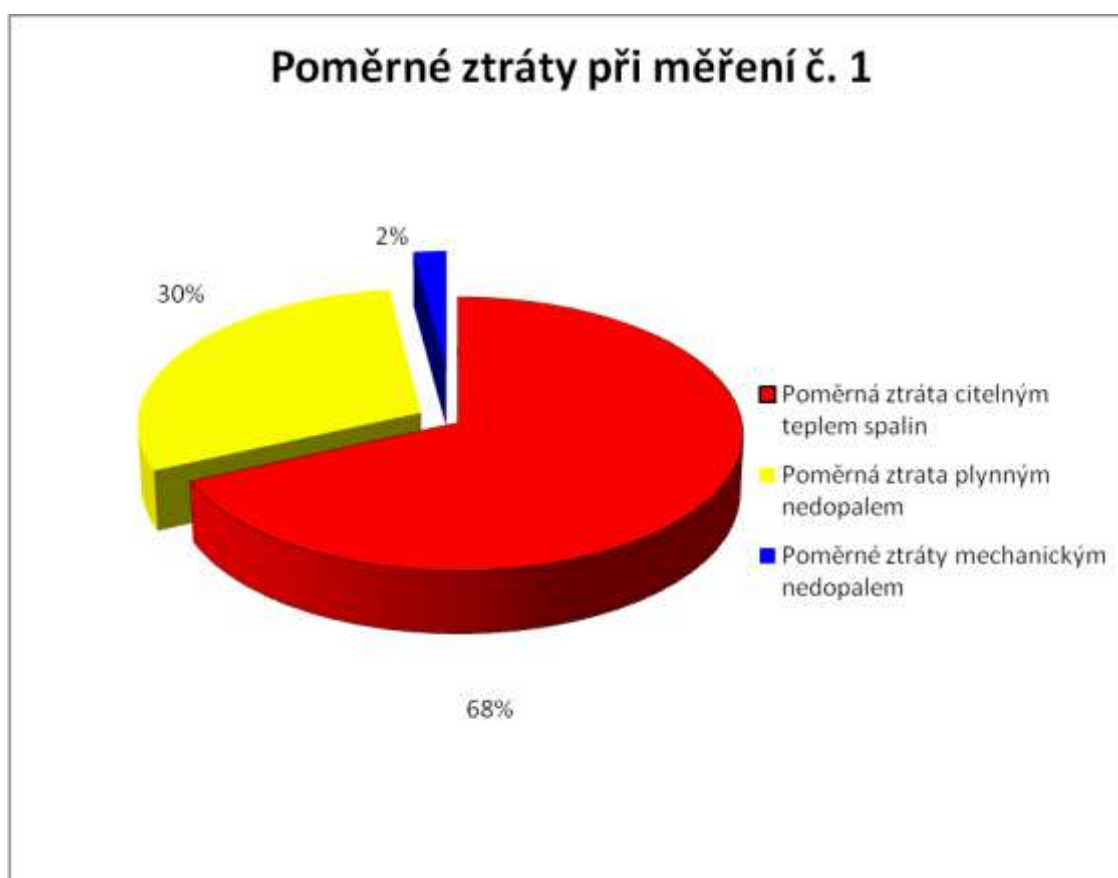


Obr. 7.1 Krbová vložka, měřicí úsek a přístroje

7.1 Měření číslo 1

přívod vzduchu	primární	1/6
	sekundární	1/2
	terciální	1
tah komína		10Pa
průměrná hmotnost paliva na 45 minut		3kg
počet kusů paliva		6ks
interval měření		10s
tepelný příkon		13,33 kW

Tab. 7.1 Nastavení krbové vložky pro měření č. 1

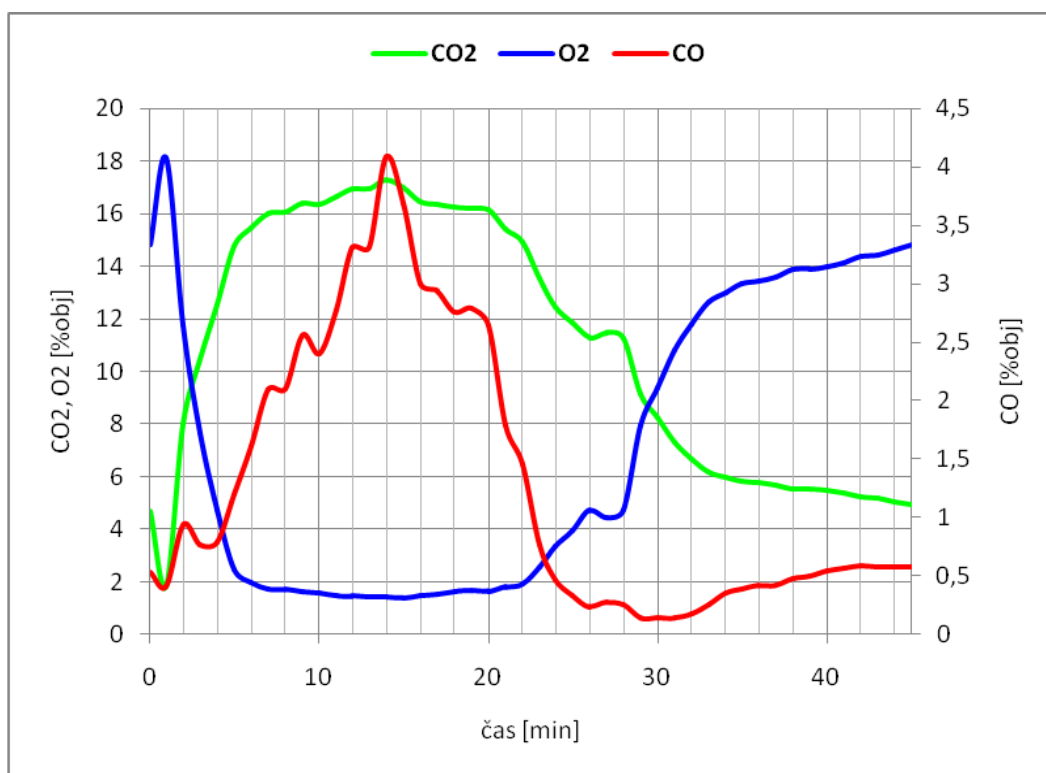


Graf 7.1 Poměrné ztráty

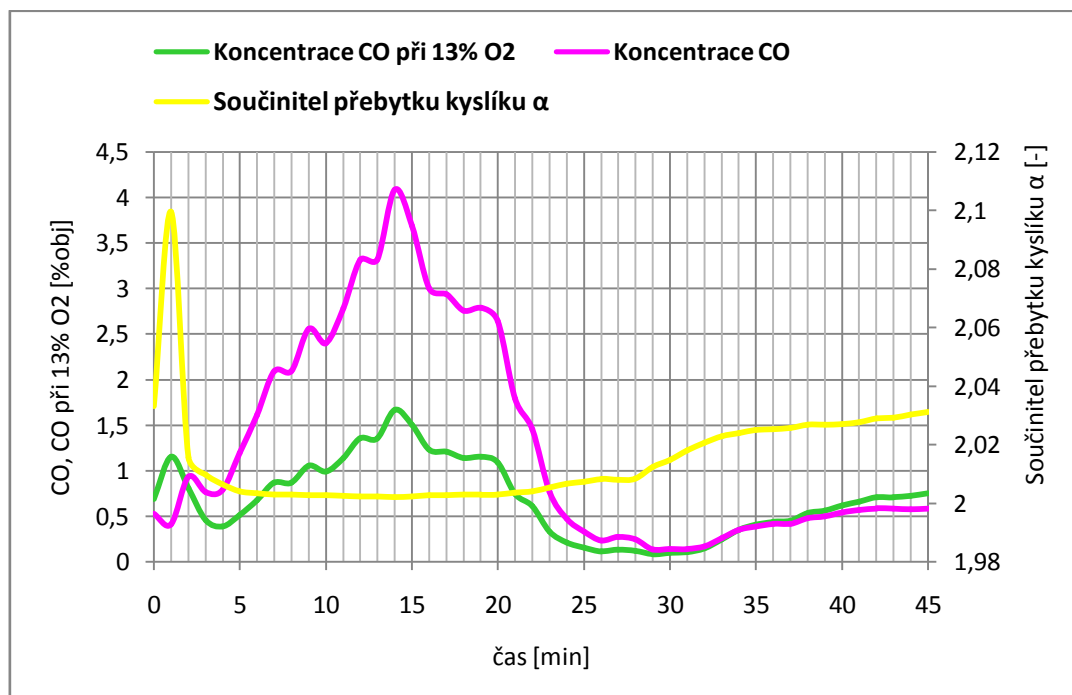
čas	CO	CO2	O2	t spalin
0:00:00	0,532	4,7	14,82	260,8
0:01:00	0,414	1,84	18,13	272,3
0:02:00	0,936	8,01	11,74	281,3
0:03:00	0,766	10,45	7,67	281,1
0:04:00	0,79	12,57	4,75	284,3
0:05:00	1,198	14,77	2,47	288,2
0:06:00	1,612	15,49	1,98	292,8
0:07:00	2,096	16,01	1,74	293,4
0:08:00	2,1	16,06	1,72	294,8
0:09:00	2,562	16,39	1,64	295,4
0:10:00	2,404	16,37	1,58	298,6
7:35:02	2,784	16,67	1,47	294,4
0:12:00	3,316	16,94	1,46	293,6
0:13:00	3,318	16,96	1,44	299,4
0:14:00	4,088	17,3	1,41	295,9
0:15:00	3,696	17,01	1,4	292,2
0:16:00	3,004	16,47	1,46	295,2
0:17:00	2,94	16,35	1,52	288,6
0:18:00	2,76	16,24	1,63	288,6
0:19:00	2,79	16,21	1,65	290,7
0:20:00	2,642	16,14	1,64	290,5
0:21:00	1,794	15,4	1,8	283,7
0:22:00	1,458	14,92	1,91	287,9
0:23:00	0,768	13,54	2,54	286,6
0:24:00	0,47	12,44	3,36	279,1
0:25:00	0,334	11,86	3,93	275,5
0:26:00	0,236	11,29	4,72	270,1
0:27:00	0,276	11,47	4,45	286,4
0:28:00	0,25	11,24	4,74	263,9
0:29:00	0,138	9,14	7,94	257
0:30:00	0,142	8,23	9,37	253,4
0:31:00	0,14	7,3	10,8	250,3
0:32:00	0,172	6,67	11,83	246,9
0:33:00	0,258	6,18	12,64	245,4
0:34:00	0,354	5,99	13,01	238,8
0:35:00	0,39	5,81	13,33	235,8
0:36:00	0,416	5,76	13,42	231,2
0:37:00	0,418	5,68	13,58	227,2
0:38:00	0,48	5,53	13,87	223,4
0:39:00	0,498	5,53	13,9	223,5
0:40:00	0,546	5,49	13,97	218,7
0:41:00	0,57	5,38	14,15	214,8
0:42:00	0,588	5,22	14,37	212,9
0:43:00	0,582	5,17	14,43	214,4
0:44:00	0,578	5,05	14,62	205,5
0:45:00	0,582	4,92	14,8	198,3

Tab. 7.2 Hodnoty měření číslo 1

Průběh koncentrace CO, CO₂ a O₂ při měření 1

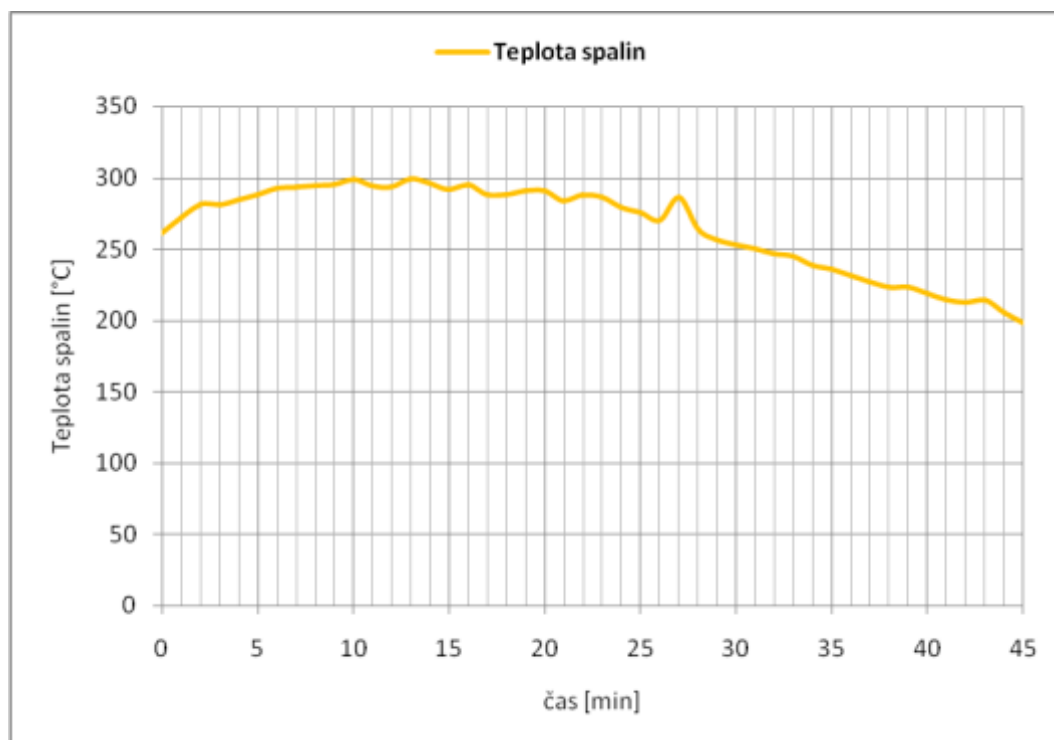


Graf 7.2 Průběh koncentrace emisních plynů v závislosti na čase



Graf 7.3 Porovnání koncentrace CO a CO při 13% O₂ v závislosti na čase
Součinitel přebytku kyslíku α v závislosti na čase

Průběh teplot t_a při měření 1



Graf 7.4 Průběh teplot spalin v závislosti na čase

Veličina	Průměrná hodnota	jednotka
koncentrace CO ve spalinách	1,29	[%]
koncentrace CO ₂ ve spalinách	10,96	[%]
koncentrace O ₂ ve spalinách	7,19	[%]
teplota spalin t_a	265,28	[°C]
koncentrace CO při 13% O ₂ ve spalinách	0,75	[%]
poměrné ztráty citelným teplem spalin q_a	15,36	[%]
poměrné ztráty plynným nedopalem q_b	6,70	[%]
poměrné ztráty mechanickým nedopalem q_r	0,47	[%]
účinnost η	77,46	[%]
průměrný tepelný výkon pro 45 minut	13,77	[kW]
průměrný tepelný výkon pro 60 minut (přepočteno)	10,33	[kW]

Tab. 7.3 výstupní hodnoty

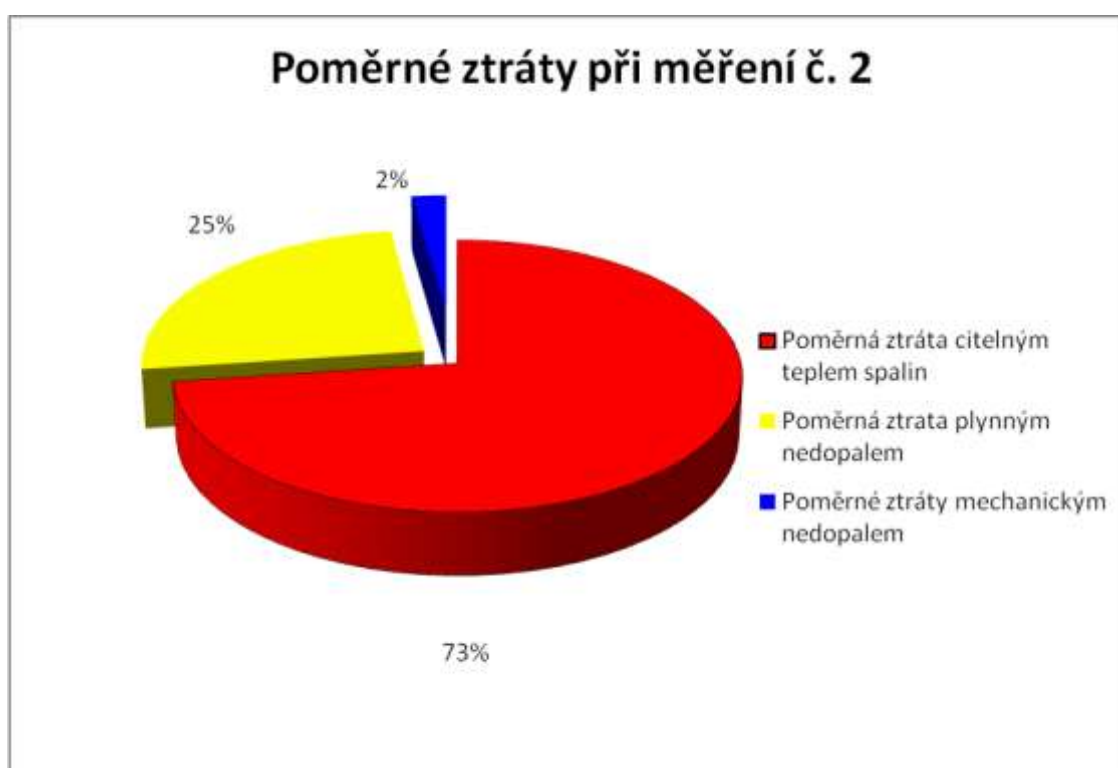
Hodnocení prvního měření

Průměrná účinnost krbové vložky dosáhla hodnoty 77,46%. Nejvyšší hodnota teplot spalin se pohybovala těsně pod hranicí 300°C, což bylo v době nejintenzivnějšího hoření paliva asi v jedné třetině doby měření. V tu stejnou dobu narůstala koncentrace oxidu uhelnatého až do svého maxima na hodnotu více než 4% obj. Tato velmi vysoká hodnota byla zapříčiněna velkým počtem drobných kusů zkušební paliva a vysokým přísunem vzduchu. Tyto dva faktory měli za následek velmi rychle hoření. Průměrná koncentrace CO při 13% O₂ dosáhla hodnoty téměř 0,75%, což zapříčinilo relativně vysoké poměrné ztráty plynným nedopalem.

7.2 Měření číslo 2

přívod vzduchu	primární	1/6
	sekundární	1/2
	terciální	1
tah komína		10Pa
průměrná hmotnost paliva na 45 minut		3kg
počet kusů paliva		3ks
interval měření		10s
tepelný příkon		13,33 kW

Tab. 7.4 Nastavení krbové vložky pro měření č.2

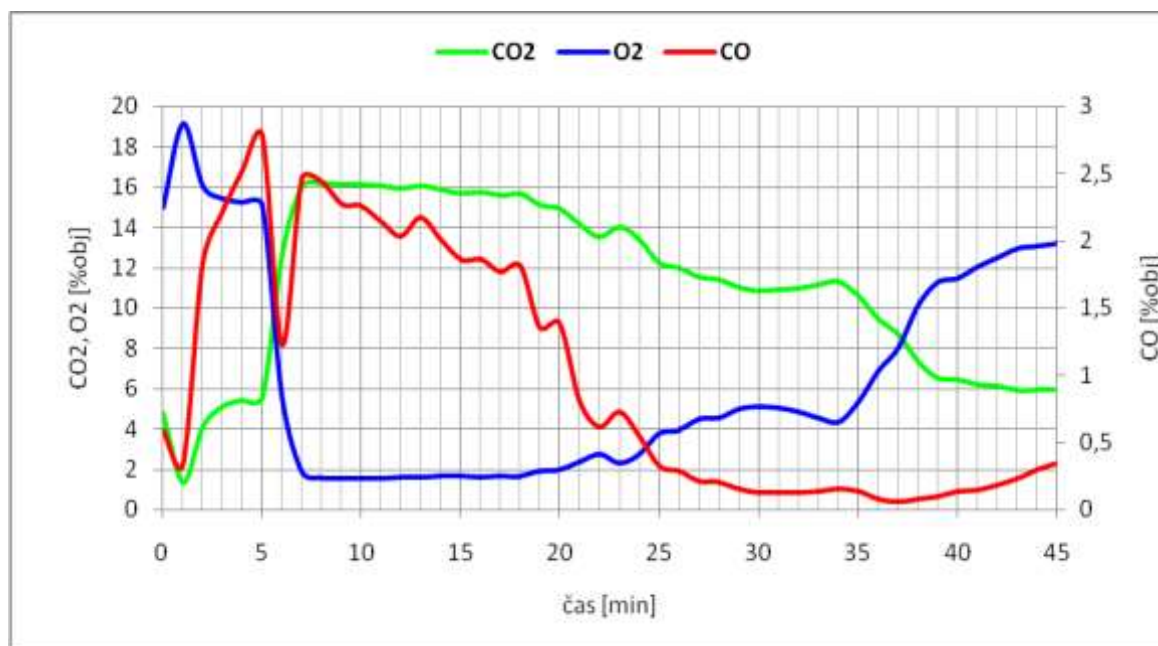


Graf 7.5 Poměrné ztráty

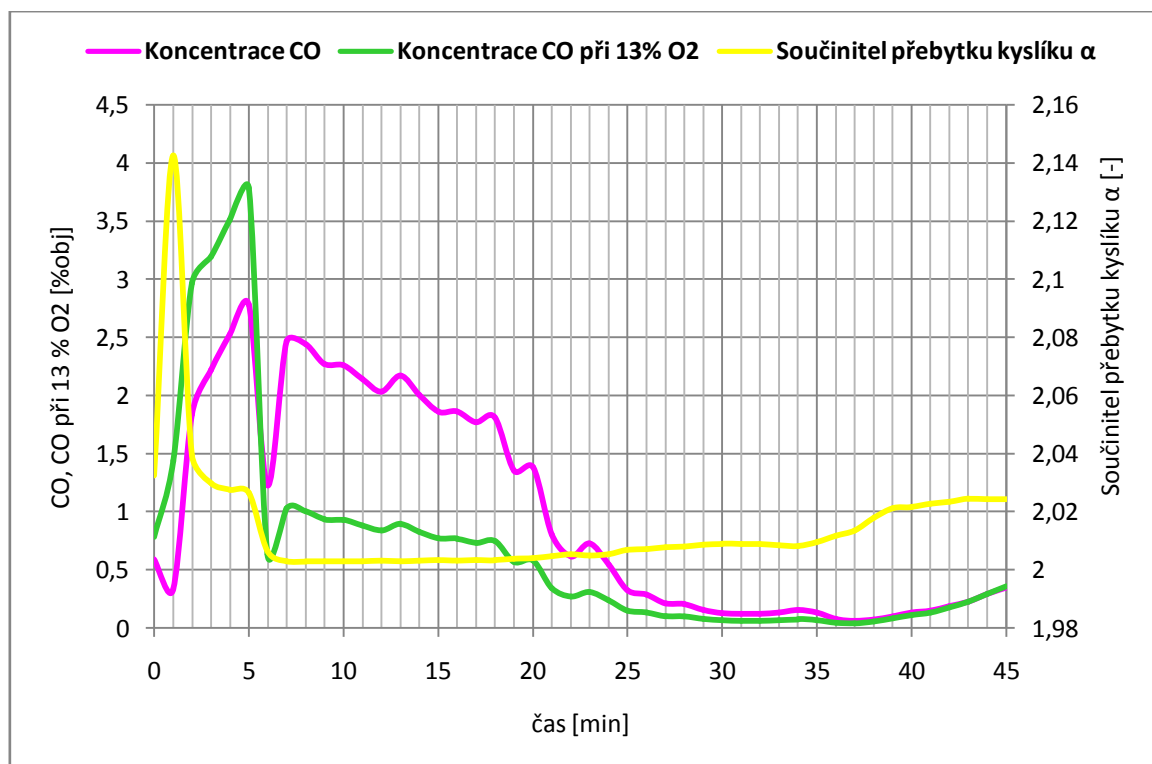
čas	CO	CO2	O2	t spalin
0:00:00	0,59	4,79	14,99	164,9
0:01:00	0,336	1,32	19,13	194,3
0:02:00	1,838	4,1	16,04	194,5
0:03:00	2,22	5,1	15,44	245,7
0:04:00	2,522	5,42	15,25	247
0:05:00	2,78	5,57	15,12	251,7
0:06:00	1,228	12,62	5,54	258,5
0:07:00	2,466	16,01	1,87	268,4
0:08:00	2,44	16,2	1,57	269,1
0:09:00	2,272	16,13	1,57	270,2
0:10:00	2,26	16,12	1,56	278,2
0:11:00	2,142	16,04	1,55	278,1
0:12:00	2,036	15,94	1,61	277,5
0:13:00	2,174	16,05	1,58	281,2
0:14:00	2,008	15,9	1,64	287,3
0:15:00	1,861	15,71	1,69	283,1
0:16:00	1,864	15,75	1,63	285,3
0:17:00	1,772	15,6	1,68	286
0:18:00	1,814	15,67	1,64	291,5
0:19:00	1,354	15,12	1,91	284,9
0:20:00	1,382	14,94	1,97	288,4
0:21:00	0,804	14,16	2,4	286,6
0:22:00	0,616	13,52	2,76	289,5
0:23:00	0,726	14,01	2,32	281,4
0:24:00	0,548	13,42	2,73	283,9
0:25:00	0,324	12,26	3,79	279,9
0:26:00	0,286	12,01	3,95	279,4
0:27:00	0,212	11,57	4,48	277,1
0:28:00	0,206	11,44	4,54	277
0:29:00	0,156	11,06	4,99	273,3
0:30:00	0,13	10,87	5,11	273,4
0:31:00	0,124	10,9	5,04	273,3
0:32:00	0,124	10,95	4,86	272,2
0:33:00	0,136	11,14	4,53	269,2
0:34:00	0,158	11,31	4,33	264,5
0:35:00	0,134	10,56	5,38	261,8
0:36:00	0,078	9,45	6,89	259,5
0:37:00	0,064	8,69	8,03	254,2
0:38:00	0,076	7,34	10,13	247,7
0:39:00	0,102	6,52	11,28	250,4
0:40:00	0,134	6,45	11,49	243,9
0:41:00	0,148	6,22	12,03	242,2
0:42:00	0,188	6,1	12,48	236,6
0:43:00	0,23	5,91	12,97	233,4
0:44:00	0,294	5,95	13,06	230,2
0:45:00	0,35	5,94	13,21	230,2

Tab. 7.5 Hodnoty měření číslo 2

Průběh koncentrace CO, CO₂ a O₂ při měření 2

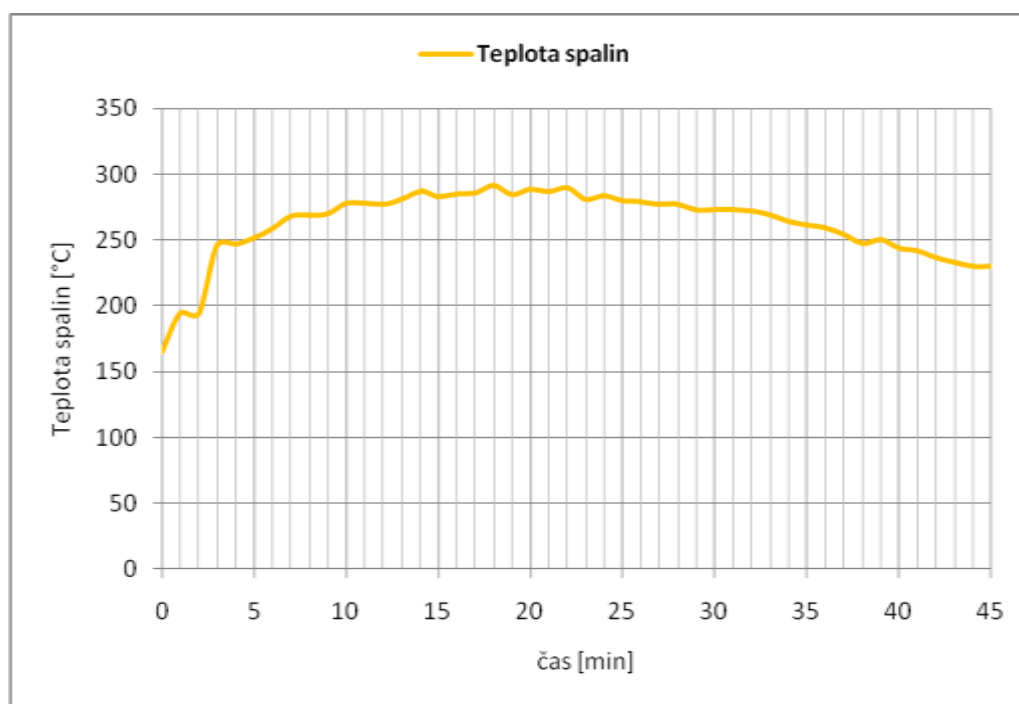


Graf 7.6 Průběh koncentrace emisních plynů v závislosti na čase



Graf 7.7 Porovnání koncentrace CO a CO při 13% O₂ v závislosti na čase
Součinitel přebytku kyslíku α v závislosti na čase

Průběh teplot t_a při měření 2



Graf 7.8 Průběh teplot spalin v závislosti na čase

Veličina	Průměrná hodnota	jednotka
koncentrace CO ve spalinách	0,99	[%]
koncentrace CO ₂ ve spalinách	11,04	[%]
koncentrace O ₂ ve spalinách	6,47	[%]
teplota spalin t_a	262,10	[°C]
koncentrace CO při 13% O ₂ ve spalinách	0,39	[%]
poměrné ztráty citelným teplem spalin q_a	15,40	[%]
poměrné ztráty plynným nedopalem q_b	5,27	[%]
poměrné ztráty mechanickým nedopalem q_r	0,47	[%]
účinnost η	78,86	[%]
průměrný tepelný výkon pro 45 min	14,02	[kW]
průměrný tepelný výkon pro 60 min (přepočteno)	10,52	[kW]

Tab. 7.6 výstupní hodnoty

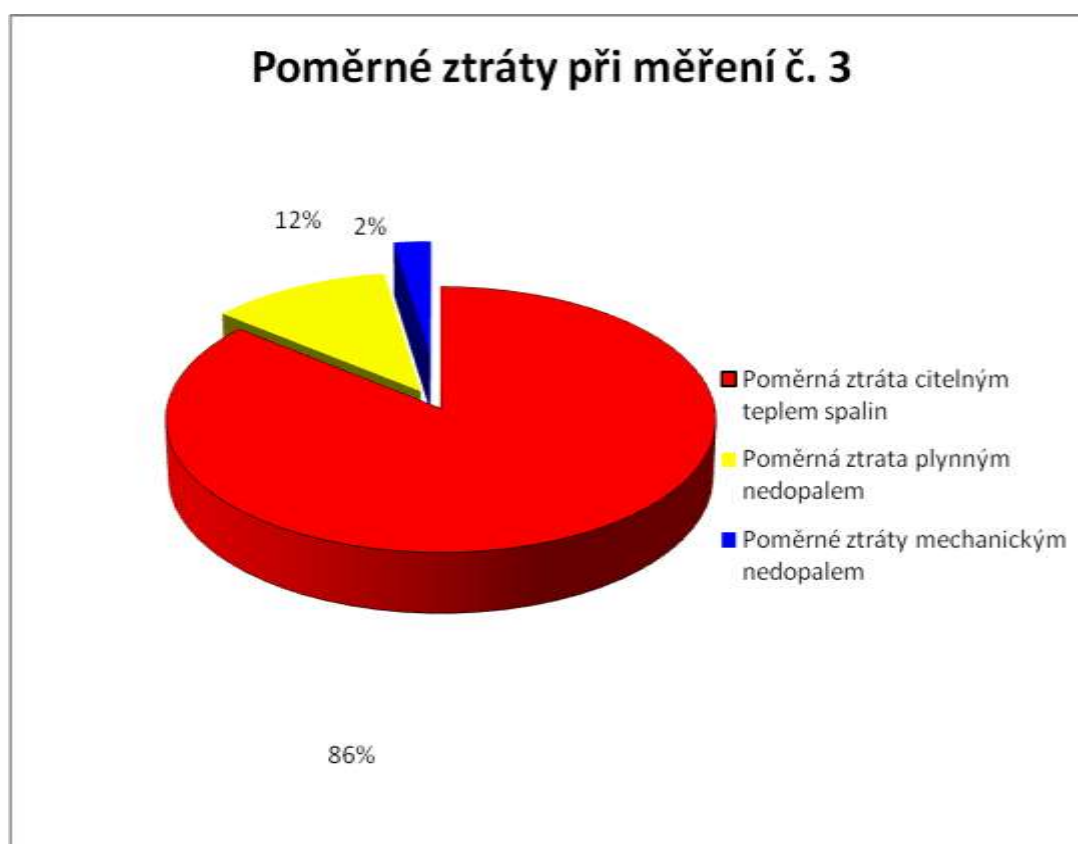
Hodnocení druhého měření

Při ponechání stejného nastavení přísunu vzduchu do spalovací komory a změnou velikosti paliva (větší kusy) jsme snížili intenzitu hoření. Vzhledem k prvnímu měření došlo k navýšení účinnosti o necelých 1,5%, snížení teploty spalin a emisních plynů. Snížení maximální hodnoty koncentrace CO ve spalinách se sice příznivě projevilo na průměrné hodnotě, avšak vztahením na hodnotu CO při 13% O₂ dostaneme hodnotu, převyšující hodnotu optimální. Z toho lze vyvodit závěr, že přísun primárního vzduchu do spalovací komory je vysoký, tzn. nepříznivý poměr primárního, sekundárního a terciálního vzduchu.

7.3 Měření číslo 3

přívod vzduchu	primární	0
	sekundární	3/4
	terciální	1
tah komína		10Pa
průměrná hmotnost paliva na 45 minut		3kg
počet kusů paliva		3ks
interval měření		10s
tepelný příkon		13.33 kW

Tab. 7.7 Nastavení krbové vložky pro měření č. 3

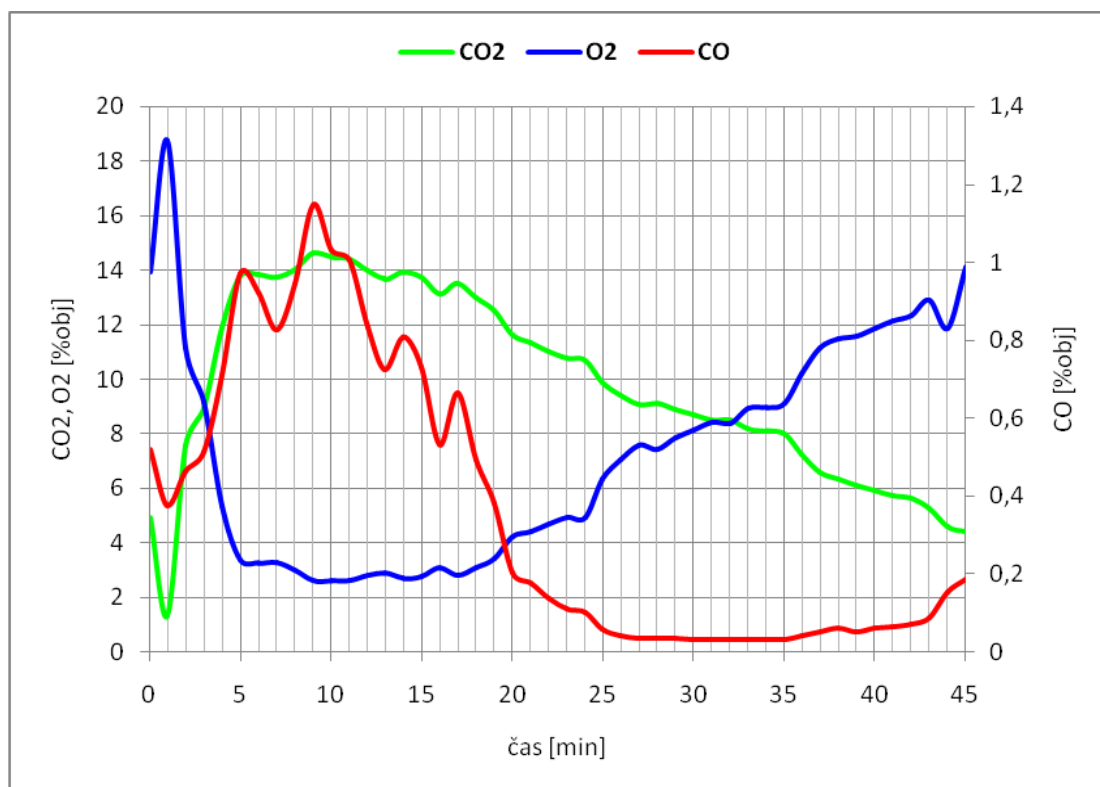


Graf 7.9 Poměrné ztráty

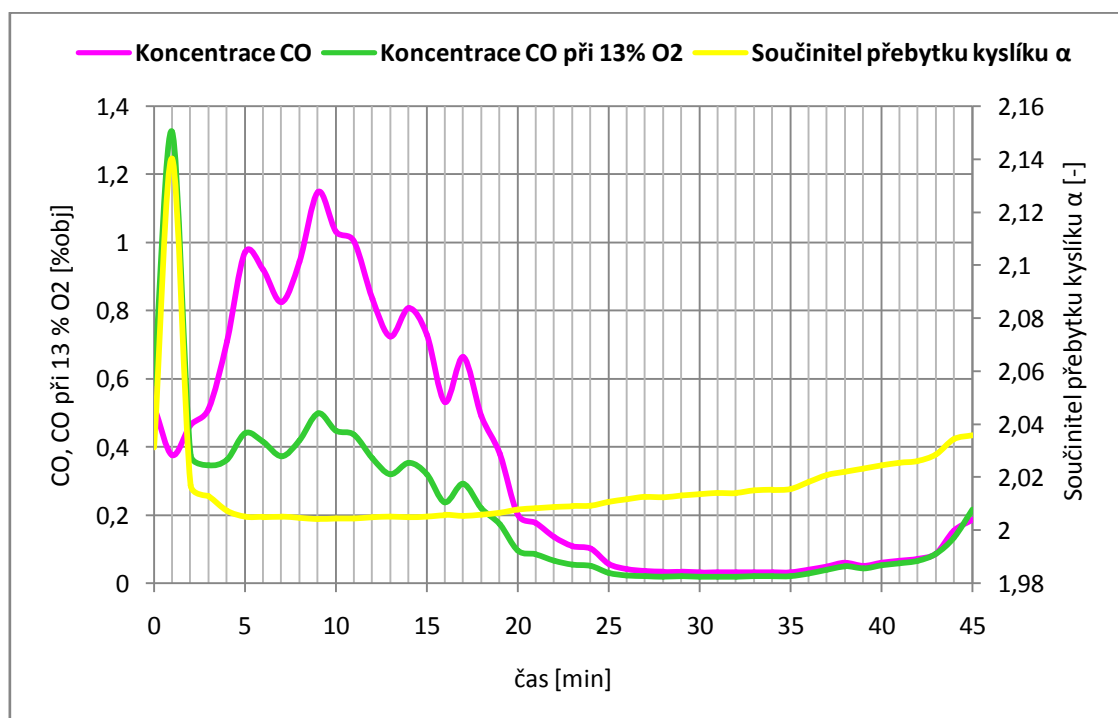
čas	CO	CO2	O2	t spalin
0:00:00	0,52	4,91	13,92	221,4
0:01:00	0,376	1,34	18,73	232,5
0:02:00	0,464	7,57	11,16	236
0:03:00	0,512	8,94	9,18	247,1
0:04:00	0,71	11,89	5,35	249,7
0:05:00	0,972	13,77	3,36	254,4
0:06:00	0,922	13,83	3,26	254
0:07:00	0,826	13,74	3,28	252
0:08:00	0,944	14,04	3,01	254,5
0:09:00	1,148	14,62	2,61	257,2
0:10:00	1,032	14,48	2,6	265
0:11:00	1,004	14,42	2,6	263,9
0:12:00	0,834	13,98	2,82	261,6
0:13:00	0,724	13,68	2,9	263,7
0:14:00	0,808	13,94	2,7	260,6
0:15:00	0,73	13,75	2,76	265,9
0:16:00	0,532	13,14	3,09	264,2
0:17:00	0,664	13,51	2,82	263,8
0:18:00	0,492	12,99	3,09	264,9
0:19:00	0,38	12,52	3,41	265,3
0:20:00	0,202	11,63	4,22	263,2
0:21:00	0,178	11,33	4,4	260,7
0:22:00	0,136	11,03	4,68	261
0:23:00	0,11	10,77	4,92	259,3
0:24:00	0,102	10,7	4,92	259,7
0:25:00	0,058	9,89	6,32	251,9
0:26:00	0,042	9,43	7,03	253,3
0:27:00	0,036	9,06	7,59	250,6
0:28:00	0,034	9,11	7,44	250,5
0:29:00	0,034	8,88	7,84	246
0:30:00	0,032	8,69	8,13	250
0:31:00	0,032	8,49	8,43	246,9
0:32:00	0,032	8,51	8,39	244,4
0:33:00	0,032	8,17	8,93	242
0:34:00	0,032	8,1	8,97	238,8
0:35:00	0,032	7,97	9,12	237,3
0:36:00	0,04	7,23	10,22	238,2
0:37:00	0,05	6,59	11,14	235,7
0:38:00	0,06	6,33	11,47	230
0:39:00	0,052	6,12	11,58	227,7
0:40:00	0,06	5,91	11,88	224,4
0:41:00	0,066	5,73	12,15	219
0:42:00	0,072	5,64	12,35	214,1
0:43:00	0,088	5,27	12,9	212,2
0:44:00	0,154	4,58	11,87	210,6
0:45:00	0,186	4,43	14,11	208,3

Tab. 7.8 Hodnoty měření číslo 3

Průběh koncentrace CO, CO₂ a O₂ při měření 3

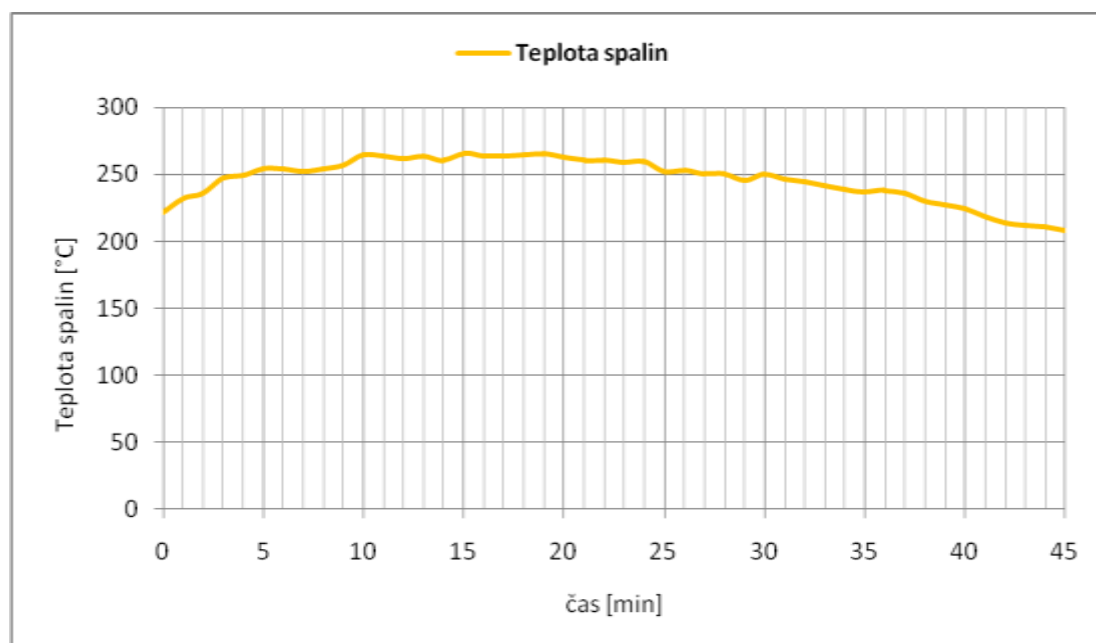


Graf 7.10 Průběh koncentrace emisních plynů v závislosti na čase



Graf 7.11 Porovnání koncentrace CO a CO při 13% O₂ v závislosti na čase
Součinitel přebytku kyslíku α v závislosti na čase

Průběh teplot t_a při měření 3



Graf 7.12 Průběh teplot spalin v závislosti na čase

Veličina	Průměrná hodnota	jednotka
koncentrace CO ve spalinách	0,36	[%]
koncentrace CO ₂ ve spalinách	9,80	[%]
koncentrace O ₂ ve spalinách	7,25	[%]
teplota spalin t_a	246,38	[°C]
koncentrace CO při 13% O ₂ ve spalinách	0,21	[%]
poměrné ztráty citelným teplem spalin q_a	16,67	[%]
poměrné ztráty plynným nedopalem q_b	2,26	[%]
poměrné ztráty mechanickým nedopalem q_r	0,47	[%]
účinnost η	80,60	[%]
průměrný tepelný výkon pro 45 min	14,33	[kW]
průměrný tepelný výkon pro 60 min (přepočteno)	10,75	[kW]

Tab. 7.9 výstupní hodnoty

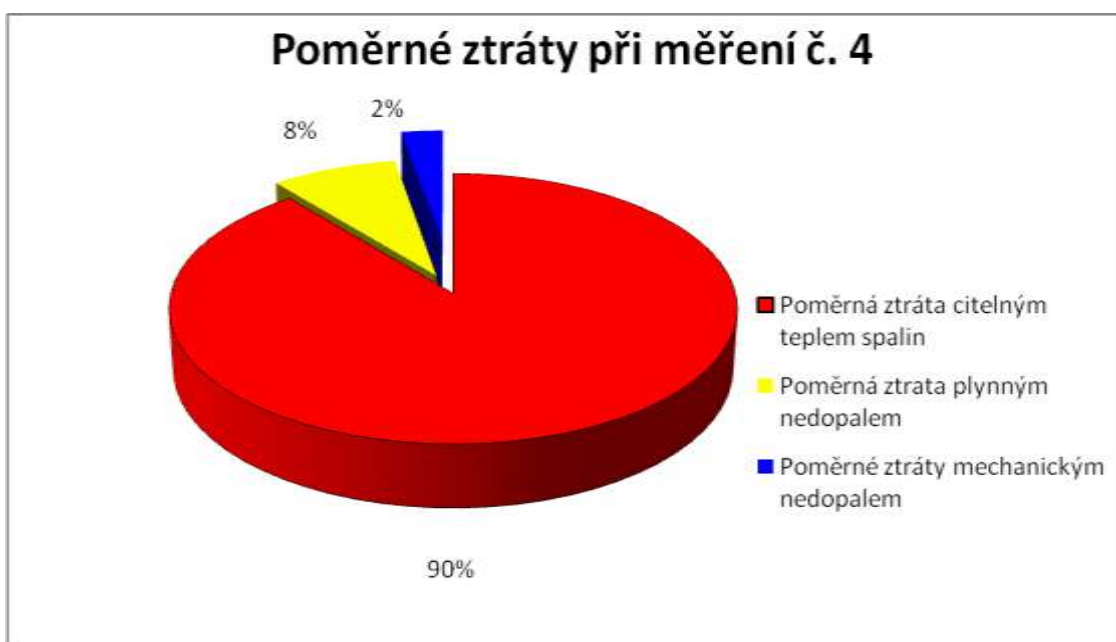
Hodnocení třetího měření

Úplným uzavřením primárního přívodu vzduchu a pootevřením sekundárního jsme snížili přísun vzduchu do spalovací komory. Maximální a minimální hodnota teploty spalin se přiblížila průměrné hodnotě, čímž jsme docílili pomalejšího a plynulejšího hoření. To mělo za následek snížení koncentrace emisních plynů, zvýšení účinnosti a výkonu. Maximální hodnota koncentrace CO se snížila na 1,15% obj., průměrná hodnota také klesla, vztaženo ke koncentraci CO při 13% O₂ znamená hodnotu 0,21 % obj. čímž jsme se dostali pod přijatelnou hranici 0,3% obj. Nárůst okamžité hodnoty této koncentrace v prvních dvou minutách viz. graf 5.10 byl zapříčiněn rozhoříváním paliva a tudíž nízkou reaktivností kyslíku s uhlíkem (vysoký přebytek kyslíku). Pro hoření nastali nevhodné podmínky, vysoký přísun sekundárního a malý přísun primárního vzduchu pod rošt (ten podporuje rozhořívání).

7.4 Měření číslo 4

přívod vzduchu	primární	0
	sekundární	1/2
	terciální	1
tah komína		10Pa
průměrná hmotnost paliva na 60 minut		3kg
počet kusů paliva		3ks
interval měření		10s
tepelný příkon		13,33 kW

Tab. 7.10 Nastavení krbové vložky pro měření č. 4

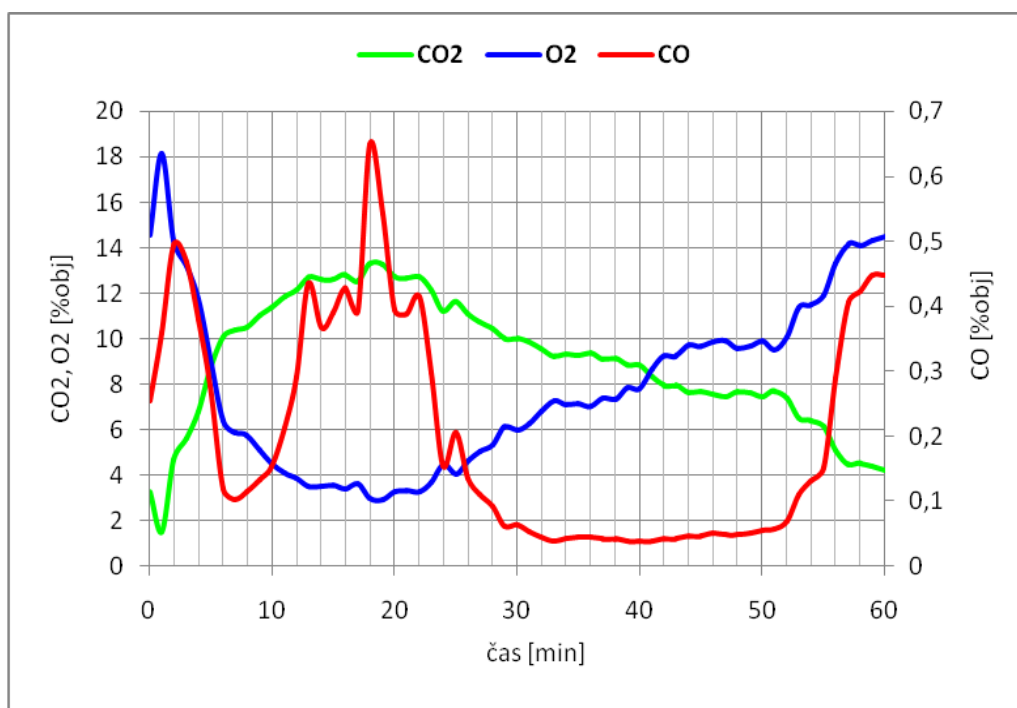


Graf 7.13 Poměrné ztráty

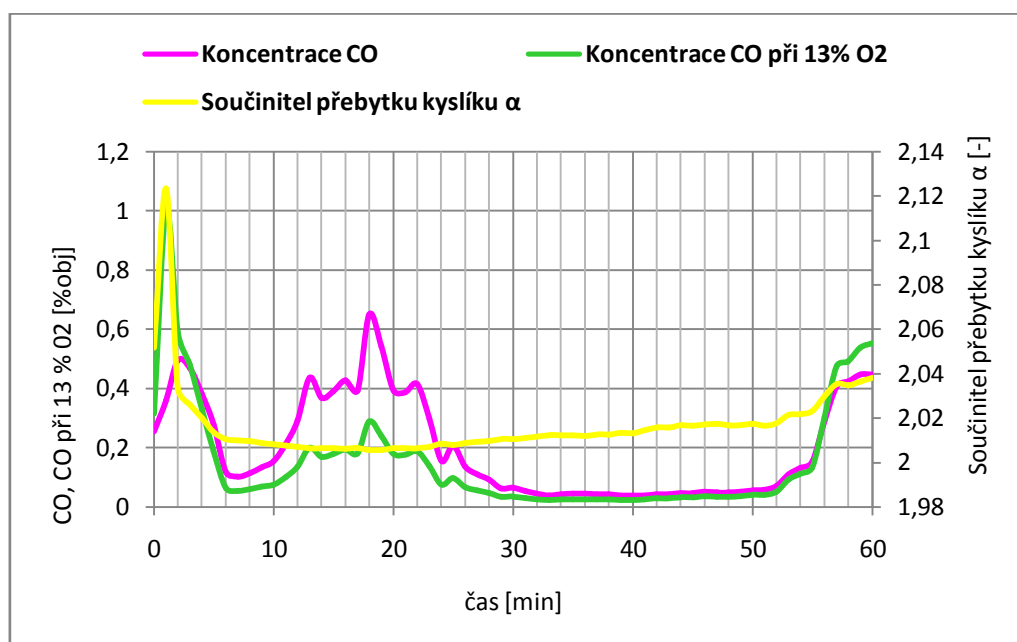
čas	CO	CO2	O2	t spalín	čas	CO	CO2	O2	t spalín
0:00:00	0,254	3,28	14,57	195,2	0:31:00	0,054	9,84	6,27	227
0:01:00	0,36	1,51	18,15	196,8	0:32:00	0,044	9,55	6,82	226,4
0:02:00	0,494	4,67	14,32	200,5	0:33:00	0,038	9,23	7,27	220,1
0:03:00	0,468	5,64	13,19	211,3	0:34:00	0,042	9,31	7,11	220,9
0:04:00	0,38	6,83	11,75	211,4	0:35:00	0,044	9,27	7,15	218,7
0:05:00	0,278	8,68	9,18	210,1	0:36:00	0,044	9,36	7,03	217,3
0:06:00	0,118	10,07	6,39	216,4	0:37:00	0,042	9,12	7,37	214,5
0:07:00	0,102	10,38	5,89	213,3	0:38:00	0,042	9,13	7,35	213,8
0:08:00	0,114	10,53	5,77	214,7	0:39:00	0,038	8,84	7,86	213,4
0:09:00	0,134	11,04	5,1	217,5	0:40:00	0,038	8,86	7,8	209,2
0:10:00	0,154	11,41	4,51	219	0:41:00	0,038	8,33	8,66	210
0:11:00	0,214	11,88	4,07	220,6	0:42:00	0,042	7,95	9,25	207,3
0:12:00	0,292	12,17	3,87	225,1	0:43:00	0,042	7,95	9,24	205,1
0:13:00	0,436	12,7	3,51	224,7	0:44:00	0,046	7,65	9,71	209,4
0:14:00	0,368	12,59	3,52	229,7	0:45:00	0,046	7,69	9,65	203,1
0:15:00	0,39	12,6	3,55	227,2	0:46:00	0,05	7,58	9,87	202,7
0:16:00	0,428	12,82	3,39	226,5	0:47:00	0,048	7,46	9,91	205,7
0:17:00	0,394	12,55	3,63	229,6	0:48:00	0,048	7,68	9,58	198,7
0:18:00	0,65	13,31	2,97	228,6	0:49:00	0,05	7,64	9,67	197,3
0:19:00	0,542	13,28	2,91	229,8	0:50:00	0,056	7,46	9,92	198,5
0:20:00	0,394	12,72	3,29	229,8	0:51:00	0,058	7,7	9,53	192,7
0:21:00	0,388	12,65	3,33	233,3	0:52:00	0,07	7,39	10,08	192,7
0:22:00	0,414	12,72	3,25	228,7	0:53:00	0,11	6,49	11,39	198,8
0:23:00	0,298	12,13	3,67	230,5	0:54:00	0,132	6,41	11,48	189
0:24:00	0,154	11,23	4,48	227,5	0:55:00	0,152	6,13	11,92	181,8
0:25:00	0,206	11,64	4,06	224,6	0:56:00	0,29	5,11	13,34	182,8
0:26:00	0,136	11,1	4,62	229,8	0:57:00	0,406	4,48	14,17	180,9
0:27:00	0,11	10,75	5,06	226	0:58:00	0,424	4,53	14,1	177,1
0:28:00	0,092	10,46	5,34	223,1	0:59:00	0,448	4,37	14,34	177,6
0:29:00	0,062	10,01	6,13	228,2	1:00:00	0,448	4,22	14,52	177,3
0:30:00	0,064	10,02	5,99	226,4					

Tab. 7.11 Hodnoty měření číslo 4

Průběh koncentrace CO, CO₂ a O₂ při měření 4

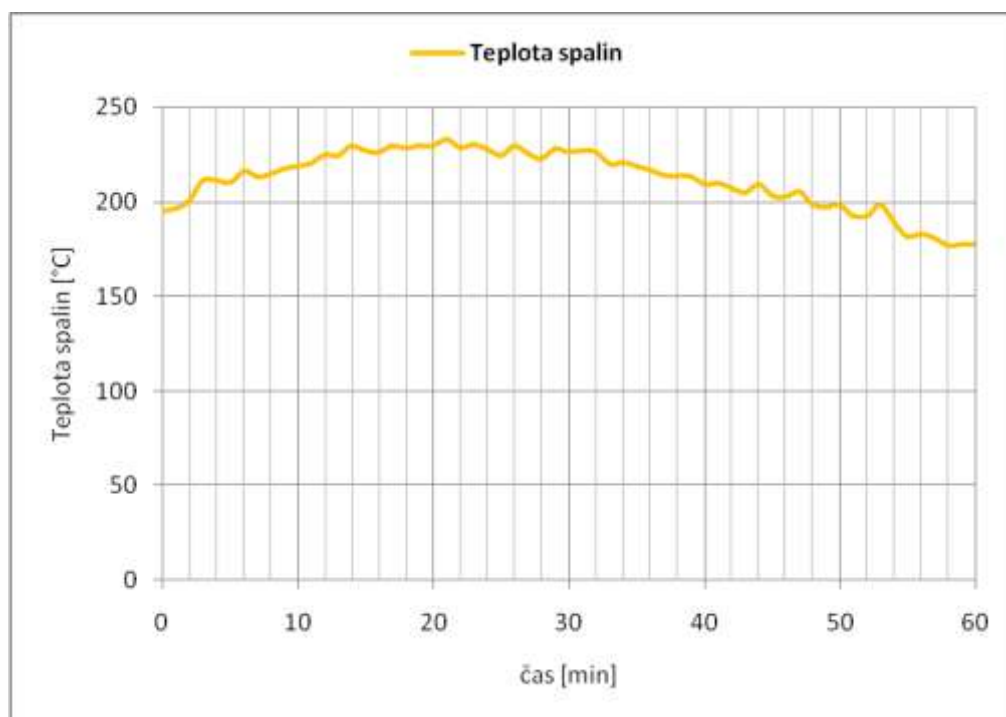


Graf 7.14 Průběh koncentrace emisních plynů v závislosti na čase



Graf 7.15 Porovnání koncentrace CO a CO při 13% O₂ v závislosti na čase
Součinitel přebytku kyslíku α v závislosti na čase

Průběh teplot t_a při měření 4



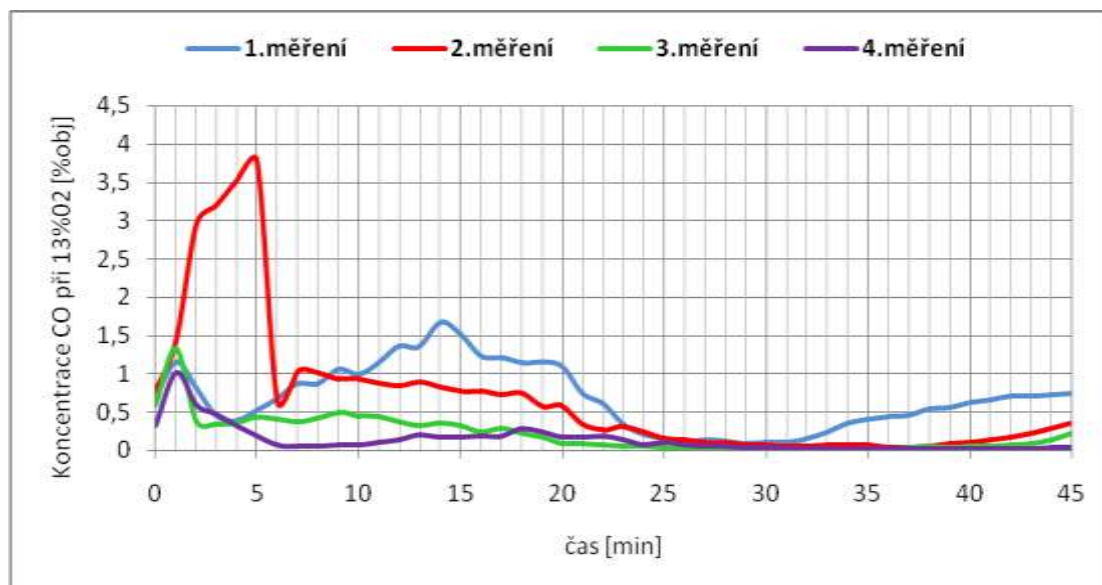
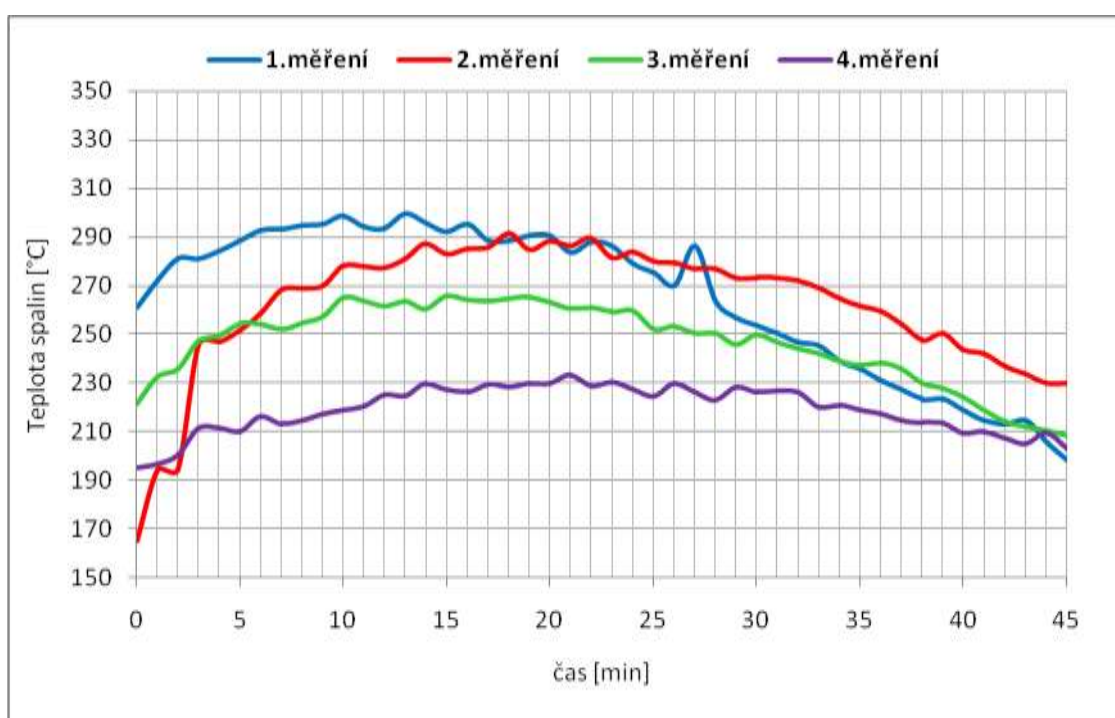
Graf 7.16 Průběh teplot spalin v závislosti na čase

Veličina	Průměrná hodnota	jednotka
koncentrace CO ve spalinách	0,20	[%]
koncentrace CO ₂ ve spalinách	9,02	[%]
koncentrace O ₂ ve spalinách	7,90	[%]
teplota spalin t_a	211,90	[°C]
koncentrace CO při 13% O ₂ ve spalinách	0,12	[%]
poměrné ztráty citelným teplem spalin q_a	15,33	[%]
poměrné ztráty plynným nedopalem q_b	1,40	[%]
poměrné ztráty mechanickým nedopalem q_r	0,47	[%]
účinnost η	82,81	[%]
průměrný tepelný výkon	11,04	[kW]

Tab. 7.12 výstupní hodnoty

Hodnocení čtvrtého měření

Pro čtvrté měření jsme nechali zcela uzavřený přísun primárního vzduchu a sekundární jsme přivřeli na jednu polovinu, čímž jsme docílili nejideálnějšího spalování ze všech měření. Stabilizovali jsme hodnoty teplot spalin a snížili jejich průměrnou hodnotu na 212 °C v kombinaci se snížením emisních plynů se to příznivě projevilo na zvýšení výkonu a účinnosti. Průměrná hodnota CO při 13% O₂ klesla na 0,12.

Graf 7.17 Srovnání koncentrace CO při 13% O₂

Graf 7.18 Srovnání teplot spalín

Při postupných úpravách nastavení krbové vložky jsme snižovali hodnoty koncentrací emisních plynů viz.graf 5.17 teplot spalín viz.graf 5.18. Výjimku tvoří pouze začátek druhého měření, při němž přiváděli do spalovací komory velké množství vzduchu při malém počtu polen, kterému trvalo vzplanutí delší dobu, a ve spalovací komoře vznikl velký přebytek kyslíku. Tento jev měl za následek příkrý nárůst teplot na začátku druhého měření.

S přihlédnutím k výsledkům všech čtyř měření jsme měřením číslo čtyři docílili nejideálnějšího nastavení vzhledem k účinnosti a výkonu.

8. Závěr

Cílem této práce bylo provést základní rozdělení a popis jednotlivých druhů krbových kamen a krbových vložek. Další část se zabývá normou ČSN EN 13240, která popisuje zkoušku krbových kamen a zabývá se výpočty koncentrací spalin v průběhu hoření. V následujících částech bakalářské práce je popis měřicího úseku, jednotlivých měřících přístrojů a zkušebního paliva spolu se stechiometrickými výpočty. Poslední a podstatná část práce se zabývá samotnou zkouškou krbové vložky. V rozboru každého ze čtyř samostatných měření se nachází průměrné hodnoty měření, grafické znázornění koncentrací jednotlivých emisních plynů teploty spalin a zhodnocení výsledků měření. Veškeré výpočty a graficky znázorněné hodnoty byly provedeny v programu Microsoft Excel. Ze známých výsledků vyšlo najevo pro dosažení nejvyšší účinnosti je nejdůležitější sekundární přísun vzduchu. Primární vzduch je potřebný hlavně pro rozhoření paliva a jeho pozdější podílení se na hoření zvyšuje hodnotu součinitele přebytku vzduchu a vysokou komínovou ztrátu.

Seznam použité literatury

- [1]*Teplovzdušný krb_krbová vložka_Bodart&Gonay_Kamnářství Koutecký_www.3xk.cz* [online]. 1999 [cit. 2011-05-13]. Teplovzdušné krby. Dostupné z WWW: <<http://www.3xk.cz/krby/teplovzdušne-krby>>.
- [2]*HS Flamingo s.r.o. - krby, kamna, vložky a kamnářské doplňky* [online]. 1999 [cit. 2011-04-15]. HS Flamingo s.r.o. - krby, kamna, vložky a kamnářské doplňky. Dostupné z WWW: <<http://www.hsflamingo.cz/cs/czk/krbova-kamna>>.
- [3]*Popis a pokyny - krbová kamna ABX - Eisenhammer.cz* [online]. 1999 [cit. 2011-05-08]. Popis a pokyny - krbová kamna ABX. Dostupné z WWW: <<http://www.eisenhammer.cz/popis-a-pokyny-krbova-kamna-abx-227.html>>.
- [4]*INTERREG - Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy* [online]. 2004 [cit. 2011-04-27]. INTERREG - Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy. Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/download.htm>>.
- [5]*Koumak.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05-22]. Typy krbových vložek. Dostupné z WWW: <<http://www.koumak.cz/krby/typy-vlozek>>.
- [6]ŠTELCL, O. Krbová vložka. BRNO: Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, 2008. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
- [7]RYBÍN, M. *Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích*. Praha : STNL, 1978.
- [8]Budaj, F.:Parní kotle, skriptu VUT 1995
- [9]Norma ČSN EN 13229
- [10]*Titulní strana TZB-info* [online]. 2000 [cit. 2011-05-22]. [Http://www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz). Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/>>.

Seznam použitých značek a symbolů

	Název veličiny	Jednotka
B	Hmotnostní tok zkušební paliva	kg/h
b	Hmotnostní podíl spalitelných složek v pevných zbytcích spalování vztahu k jejich hmotnosti	%
C	Hmotnostní podíl uhlíku ve zkušebním palivu	%
CO	Objemová koncentrace oxidu uhelnatého v suchých spalínách	%
CO ₂	Objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalínách	%
C _p	Střední měrná tepelná kapacita vody	kJ/(K.m ³)
C _r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v pevných zbytcích spalování propadlých roštem v závislosti na množství spáleného zkušební paliva	%
C _{pm}	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalín při srovnávacích podmínkách v závislosti na teplotě a složení spalín	kJ/(K.m ³)
C _{pmH₂O}	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry při srovnávacích podmínkách v závislosti na teplotě	kJ/(K.m ³)
H	Hmotnostní podíl vodíku ve zkušebním palivu	%
H _u	Výhřevnost zkušební paliva	kJ/kg
η	Účinnost	%
P	Celkový tepelný výkon	kW
Q _a	Ztráty citelným teplem spalín ve vztahu k hmotnosti zkušební paliva	kJ/kg
Q _b	Ztráty plynným nedopalem ve vztahu k hmotnosti zkušební paliva	kJ/kg
Q _r	Ztráty mechanickým nedopalem ve vztahu k hmotnosti zkušební paliva	kJ/kg
q _a	Poměrná ztráta citelným teplem spalín (Q _a) ve vztahu k výhřevnosti zkušební paliva	%
q _b	Poměrná ztráta plynným nedopalem (Q _b) ve vztahu k výhřevnosti zkušební paliva	%
q _r	Poměrná ztráta mechanickým nedopalem (Q _r) ve vztahu k výhřevnosti zkušební paliva	%
R	Hmotnostní podíl pevných zbytků spalování propadlých roštem ve vztahu k hmotnosti spáleného zkušební paliva	%
t _a	Teplota spalín	°C
t _r	Teplota místnosti	°C
W	Hmotnostní podíl vody ve zkušebním palivu	%