

Anotace

Tato diplomová práce si bere za cíl experimentálně změřit krbovou vložku Golem 1.1 pro vytápění v zapojení bez deflektoru a s deflektorem na zkušebně firmy Steko s.r.o. V návaznosti na toto měření jsou zde znázorněny emise CO, CO₂, obsah kyslíku ve spalínách, teplota ve spalinovodu a vypočítána účinnost pro různé režimy primárního vzduchu nasávaného do vložky a pro různý počet kusů paliva.

Annotation

The aim of this diploma thesis is to experimentally measure the Golem 1.1 fireplace insert for heating with and without a deflector in the Steko s.r.o. company's test room. Following this measurement, the emissions of CO, CO₂, oxygen content in the flue gases and the temperature in the flue duct are listed here and the efficiency is calculated for different modes of primary air sucked in the insert and for different numbers of fuel pieces.

Klíčová slova

Krbová vložka, spalování, dřevo, výhřevnost, účinnost, emise, spaliny.

Key words

Fireplace inlay, combustion, wood, heating value, efficiency, emissions, flue gases.

Bibliografická citace vlastní práce:

Škaroupka, P. *Krbová vložka pro vytápění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 68 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce, a že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 20.5.2008

.....
Škaroupka Pavel

PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji panu Doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. za odborné vedení při tvorbě diplomové práce. Můj velký dík také patří mým rodičům, kteří mi byli psychickou i finanční podporou po celou dobu mého studia.

Obsah:

1. ÚVOD.....	9
2. POPIS KRBOVÉ VLOŽKY	10
2.1 Základní pojmy	11
2.2 Rozdělení krbových vložek.....	11
3. TUHÁ PALIVA.....	11
3.1 Základní vlastnosti a složení tuhých paliv	11
3.2 Dřevo jako palivo	12
4. SPALOVÁNÍ DŘEVA.....	13
4.1 Podstata spalování.....	13
4.2 Základní chemické rovnice	13
4.3 Nedokonalé spalování	13
5. ZKUŠEBNÍ PALIVO	14
6. VÝPOČET MINIMÁLNÍHO MNOŽSTVÍ VZDUCHU.....	15
6.1 Minimální množství kyslíku pro spálení 1 kg paliva.....	15
6.2 Minimální množství suchého vzduchu	15
6.3 Součinitel vlhkosti	15
6.4 Minimální množství vlhkého vzduchu pro spálení 1 kg paliva	15
7. VÝPOČET MINIMÁLNÍHO MNOŽSTVÍ SPALIN	15
7.1 Objem oxidu uhličitého CO ₂ ve spalinách.....	16
7.2 Objem dusíku N ₂ ve spalinách	16
7.3 Objem argonu Ar ve spalinách	16
7.4 Minimální objem suchých spalin	16
7.5 Minimální objem vodní páry vzniklé spálením 1 kg paliva	16
7.6 Minimální množství páry vzniklé z vlhkého vzduchu.....	16
7.7 Minimální objem vodní páry	16
7.8 Minimální množství vlhkých spalin.....	17
8. MAXIMÁLNÍ MNOŽSTVÍ CO₂ VE SPALINÁCH.....	17
9. VÝPOČET SOUČinitele α.....	17
10. KRBOVÁ VLOŽKA GOLEM 1.1.....	18
11. ZPŮSOB ZKOUŠENÍ KRBOVÝCH VLOŽEK.....	19
11.1 Uvedení spotřebiče do provozu	19
11.2 Doba zkoušení.....	19
11.3 Měřicí úsek	19
11.4 Schéma měření.....	20
12. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE.....	20
12.1 Analyzátor spalin INFRAlyt 5000	20
12.2 Digitální teploměr M305.....	21
12.3 Digitální manometr DC 100.....	21
12.4 Měřič vlhkosti WHT 770.....	22
12.5 Digitální váha CAS.....	23
13. VÝPOČET ÚČINNOSTI KRBOVÉ VLOŽKY	23
13.1 Třídy účinnosti.....	23
13.2 Střední měrná tepelná kapacita suchých spalin	24
13.3 Střední měrná tepelná kapacita vodní páry	24

13.4	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu C_r	24
13.5	Poměrná ztráta citelným teplem spalin.....	24
13.6	Poměrná ztráta plynným nedopalem	25
13.7	Poměrná ztráta mechanickým nedopalem	25
14.	TEPELNÝ PŘÍKON A VÝKON KRBOVÉ VLOŽKY	25
14.1	Tepelný příkon krbové vložky	25
14.2	Tepelný výkon krbové vložky	25
15.	KONCENTRACE CO VE SPALINÁCH	26
15.1	Výpočet koncentrace.....	26
15.2	Třídy emisí oxidu uhelnatého	26
16.	ZKOUŠKY KRBOVÉ VLOŽKY GOLEM 1.1 BEZ DEFLEKTORU	27
16.1	EXPERIMENT č.1	27
16.1.1	Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky.....	27
16.1.2	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.1.....	27
16.1.3	Grafické zpracování naměřených hodnot	28
16.1.4	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.2.....	29
16.1.5	Grafické zpracování naměřených hodnot	30
16.1.6	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.3.....	31
16.1.7	Grafické zpracování naměřených hodnot	32
16.1.8	Průměrné hodnoty z eperimentu č.1	33
16.2	Příklad výpočtu experimentu č.1	34
16.2.1	Výpočet účinnosti krbové vložky	35
16.2.2	Tepelný příkon a výkon krbové vložky	36
16.2.3	Koncentrace CO ve spalinách.....	36
16.2.4	Součinitel přebytku vzduchu α ve spalinách	37
16.3	EXPERIMENT č.2	37
16.3.1	Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky.....	37
16.3.2	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.1.....	38
16.3.3	Grafické zpracování naměřených hodnot	39
16.3.4	Tabulky naměřených a průměrných hodnot - zkouška č.2	40
16.3.5	Grafické zpracování naměřených hodnot	41
16.3.6	Průměrné hodnoty z experimentu č.2	42
16.4	Vypočtené hodnoty experimentu č.2	42
17.	ZKOUŠKY KRBOVÉ VLOŽKY GOLEM 1.1 S DEFLEKTOREM	43
17.1	EXPERIMENT č.1	43
17.1.1	Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky.....	43
17.1.2	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.1.....	44
17.1.3	Grafické zpracování naměřených hodnot	45
17.1.4	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.2.....	46
17.1.5	Grafické zpracování naměřených hodnot	47
17.1.6	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.3.....	48
17.1.7	Grafické zpracování naměřených hodnot	49
17.1.8	Průměrné hodnoty z eperimentu č.1	50
17.2	Vypočtené hodnoty z experimentu č.1.....	50
17.3	EXPERIMENT č.2	51
17.3.1	Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky.....	51
17.3.2	Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.1.....	52
17.3.3	Grafické zpracování naměřených hodnot	53
17.3.4	Tabulky naměřených a průměrných hodnot - zkouška č.2	54

17.3.5	Grafické zpracování naměřených hodnot	55
17.3.6	Průměrné hodnoty z experimentu č.2	56
17.4	Vypočtené hodnoty experimentu č.2	56
17.5	EXPERIMENT č.3	57
17.5.1	Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky	57
17.5.2	Tabulky naměřených a průměrných hodnot	58
17.5.3	Grafické zpracování naměřených hodnot	58
17.5.4	Průměrné hodnoty z experimentu č.3	60
17.6	Vypočtené hodnoty experimentu č.3	60
17.7	EXPERIMENT č.4	61
17.7.1	Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky	61
17.7.2	Tabulky naměřených a průměrných hodnot	61
17.7.3	Grafické zpracování naměřených hodnot	62
17.7.4	Průměrné hodnoty z experimentu č.4	63
17.8	Vypočtené hodnoty experimentu č.4	63
18.	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	64

1. ÚVOD



Obr.1. Budova firmy Steko Krby

Firma Steko spol. s r.o. je jedna z mnoha firem zabývajících se výrobou ocelolitinových krbových vložek. Ve svém nově zrekonstruovaném závodě v Dolní Lhotě, kam se přestěhovala na podzim minulého roku z původního areálu na „Starém“ Blansku, kde uvolnila místo jiné části ze skupiny firem Steko, se již řadu let věnuje jejich vývoji a výrobě. Její výrobky patří na trhu k těm nejlepším, což dokazuje i její zvyšující se obrát výroby a velká poptávka

po jejich výrobcích.

Hlavním cílem firmy stejně jako i jiných je vytvářet zisk, a proto je zde patrná snaha expandovat i na jiné trhy než na ten tuzemský. Již řadu let dodává svoje výrobky i do jiných zemí např. Francie. Zde však firma naráží na přísné ekologické normy, a ty je potřeba splnit, aby bylo možno začít s prodejem. A tato skutečnost se stala právě hybným motorem pro vznik této diplomové práce, kdy firma stojí před podobným problémem a to před rozšířením prodeje do severských zemí, kde jsou potřeba splnit již zmíněné přísné ekologické limity. Proto se konstruktéři této firmy začali snažit zvýšit účinnost a zlepšit proces spalování svých krbových vložek a ověřit si tato vylepšení na své vlastní zkušebně před tím, než si je nechají oficiálně změřit v akreditované zkušebně v Brně Řečkovících. Jejich cílem je dosáhnou hranice účinnosti 70%.

A proto se cílem mé diplomové práce stalo právě provedení experimentálního měření na zkušebně výrobního závodu a vyhodnocení měření z hlediska emisí a účinností pro variantu:

- a) bez deflektoru
- b) s deflektorem (obr.2)



Obr.2 Deflektor



2. POPIS KRBOVÉ VLOŽKY

2.1 Základní pojmy

KRB(1) - spotřebič s otevřenou, nebo uzavřenou spalovací komorou, určený k lokálnímu vytápění sdílející teplo převážně sáláním, konvekcí, částečně vedením.

SPALOVACÍ KOMORA(2) – vnitřní prostor krbu, v němž probíhá spalování paliva.

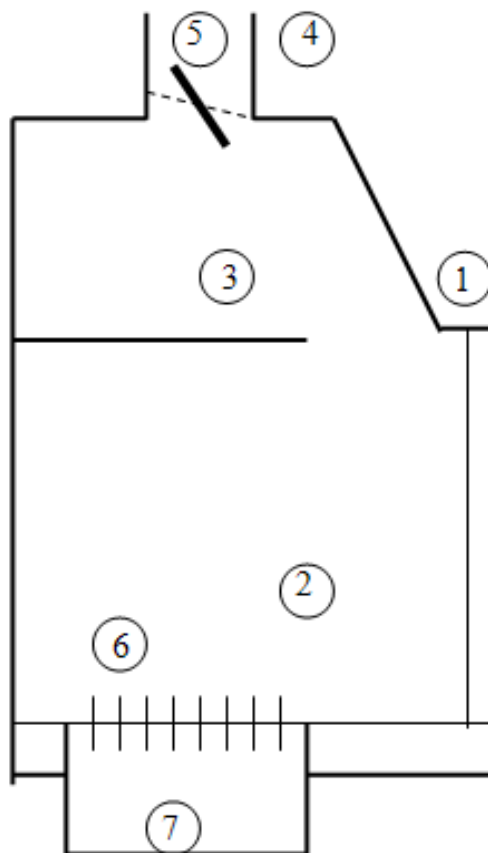
KOUŘOVÁ KOMORA(3) – část vnitřního prostoru krbu, v němž dochází k míšení spalin se vzduchem a k usměrnění do odtahového hrdla.

HRDLO PRO ODVÁDĚNÍ SPALIN (4) – část spotřebiče určená k připojení kouřovodu umožňujícího volné odvádění spalin do komína.

ODTAHOVÁ KLAPKA(5) – zařízení ke změně tlakové ztráty protékajících spalin. V uzavřené poloze smí omezovat max. 75 % průřezu odtahového hrdla.

ROŠT (6) – část vnitřního prostoru spotřebiče, na které leží vrstva paliva, ze které propadávají pevné zbytky spalování do popelníku a kterou protéká spalovací vzduch.

POPELNÍK (7)– uzavřený prostor pro shromažďování pevných zbytků spalování propadlých roštem.



Obr.3. Schéma krbové vložky

2.2 Rozdělení krbových vložek

Krbové vložky lze dělit dle několika hledisek:

- a) dle použitého materiálu:
 - vložky z kotlového ocelového plechu s vyzdívkou ze šamotu
 - vložky z litiny s vyzdívkou ze šamotu
 - vložky kombinované – litina, ocelový plech
 - vložky celolitinové
- b) dle konstrukce spalovací komory
 - vložky s otevřenou spalovací komorou
 - vložky s uzavřenou spalovací komorou
- c) dle provedení
 - bez samostatného odkouření (při úpravě otevřeného krbu se zasune do ohniště)
 - vložky s odkouřením (zasunují se do komína)

Vložka může být osazena teplovodním výměníkem pro ohřev vody, který je možno napojit na rozvod ústředního vytápění, na rozvod TUV nebo na jiný ohřev vody.

Často se také používají vložky dvouplášťové pro ohřev topného vzduchu. Ohřátý vzduch se rozvádí pomocí rozvodů do dalších místností. Pro zlepšení proudění, můžeme použít ventilátorů.

3. TUHÁ PALIVA

3.1 Základní vlastnosti a složení tuhých paliv

Základní složky paliva:

- hořlavina
- popelovina
- voda

Základem pro volbu paliva pro spalovací zařízení jsou jeho vlastnosti a složení. Základní vlastnosti a složení tuhých paliv:

- spalné teplo H_S (J/kg) a výhřevnost H_U (J/kg)
- obsah vody W (%)
- obsah popeloviny A (%)
- obsah síry S (%)
- obsah prchavé hořlaviny V^{daf} (%)
- charakteristické teploty popela t_a, t_b, t_c (°C)
- sypané vlastnosti
- sypaná hmotnost (t/m^3)
- spékavost a napůchavost

Spalné teplo H_S vzniká dokonalým spálením hořlavé složky na oxid uhličitý CO_2 , oxid siřičitý SO_2 , vodu H_2O v kapalném stavu a dusík N_2 . Výhřevnost H_U je teplo vznikající stejným způsobem s tím rozdílem, že uvolněná voda je v plynném stavu, to znamená, že výhřevnost je vždy menší než spalné teplo.

Hořlavinu tvoří uhlík C, vodík H₂, síra S, kyslík O₂ a dusík N₂, který se nepodílí na spalovací reakci.

Voda a popelovina tvoří nehořlavou část paliva a negativně ovlivňuje spalovací proces a konstrukci zařízení. Obsah vody v tuhých palivech kolísá v širokém rozmezí a u některých paliv jako například rašelina tvoří i více než 90 %.

Popel tvoří minerální látky, jako jsou křemičitany, uhličitany, sírany a další sloučeniny.

Síra se v tuhém stavu vyskytuje ve dvou formách. Podle toho, na které složky je vázána, se dělí na síru organickou a anorganickou. Síra spalitelná je organicky vázána a je součástí hořlaviny, síra nespalitelná je síra síranová. Dále se určuje ještě síra prchavá a neprchavá.

Prchavá hořlavina je součástí celkové hořlaviny a tvoří ji plynné hořlavé látky, které se uvolňují při zahřátí paliva na určitou teplotu. Čím je palivo geologicky starší, tím méně prchavé hořlaviny obsahuje. Nejvíce prchavé hořlaviny obsahuje rašelina a dřevo. Prchavá hořlavina ovlivňuje vzněcování paliva a čím více ji palivo obsahuje, tím snadněji se zapaluje.

Charakteristické teploty popela určují spalovací teploty v ohništi, aby nedošlo k poruše spalovacího zařízení. Dělí se na teplotu počátku měknutí t_a , teplotu tání t_b , teplotu počátku tečení t_c a jsou závislé především na složení popela.

3.2. Dřevo jako palivo

Dřevo patří mezi ekologická paliva, neboť množství oxidu uhličitého vzniklé jeho spálením je rovno množství, které rostlina spotřebovala při svém růstu a nepřispívá ke skleníkovému efektu. Dřevo neobsahuje prakticky žádnou síru a při spalování tedy nevzniká oxid siřičitý, který negativně působí na životní prostředí a spalovací zařízení. Je geologicky nejmladší a obsahuje až 95 % prchavé hořlaviny z celkové hořlaviny a vzněcovací teplota je díky tomu nízká, přibližně v rozmezí 180°C až 260°C. Analytické složení dřevní hmoty se příliš nemění a průměrné složení hořlaviny je v tabulce 1. Pro spalování je nejvhodnější dřevo s obsahem vody do 20 %.

Složka hořlaviny v %	Druh dřeva	
	Jehličnaté	Listnaté
Uhlík	51,0	50,0
Vodík	6,2	6,2
Dusík	0,6	0,6
Kyslík	42,2	43,3

Tab.1

4. SPALOVÁNÍ DŘEVA

4.1 Podstata spalování

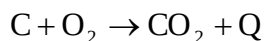
Spalování dřeva je fyzikálně chemický proces oxidace aktivních látek kyslíkem na produkty spalování. Hoření částice dřeva lze rozdělit do čtyř etap:

- ohřev a sušení
- uvolnění plynných látek
- hoření prchavých složek
- hoření pevných složek

4.2 Základní chemické rovnice

Chemické rovnice popisující dokonalé spalování dřeva, tj. s přebytkem vzduchu $\alpha = 1$, jsou:

Spalování uhlíku na oxid uhličitý CO_2



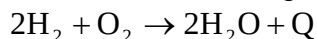
$$1 \text{ mol C} + 1 \text{ mol O}_2 = 1 \text{ mol CO}_2 + Q$$

$$12,01 \text{ kg C} + 32 \text{ kg O}_2 = 44,01 \text{ kg CO}_2 + 407260 \text{ kJ}$$

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

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

Spalování vodíku na vodní páru H_2O :



$$2 \text{ mol H}_2 + 1 \text{ mol O}_2 = 2 \text{ mol H}_2\text{O} + Q$$

$$4,032 \text{ kg H}_2 + 32 \text{ kg O}_2 = 36,032 \text{ kg H}_2\text{O} + 486179 \text{ kJ}$$

$$4,032 \text{ kg H}_2 + 22,39 \text{ m}_n^3 = 44,80 \text{ m}_n^3$$

$$1 \text{ kg H}_2 + 5,553 \text{ m}_n^3 = 11,11 \text{ m}_n^3 + 120580 \text{ kJ/kg}$$

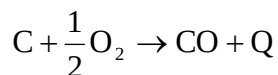
Dusík obsažený v palivu se neúčastní spalování, ale slučuje se při hoření s kyslíkem na oxidy dusíku NO_x .

Výše uvedené rovnice jsou exotermické a objemy spalin a kyslíku jsou uváděny v normálním stavu (0°C ; 0,1 MPa).

4.3 Nedokonalé spalování

Ve skutečnosti probíhá spalování s přebytkem vzduchu $\alpha > 1$, kdy je větší pravděpodobnost setkání okysličovadla s hořlavinou. V opačném případě dojde k nedokonalému spalování. Produktem nedokonalého spalování je jednak oxid uhelnatý a také snížená účinnost zařízení.

Nedokonalé spalování popisuje rovnice:



$$1 \text{ mol C} + \frac{1}{2} \text{ mol O}_2 = 1 \text{ mol CO} + \text{Q}$$

$$12,01 \text{ kg C} + 16 \text{ kg O}_2 = 28,01 \text{ kg CO} + 151866 \text{ kJ}$$

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

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

Při nedokonalém spalování část uhlíku shoří na CO_2 , část na CO a část uhlíku neshoří vůbec.

Pro kontrolu spalování se někdy používá Ostwaldův trojúhelník.

5. ZKUŠEBNÍ PALIVO

Použité palivo je na vzduchu proschlé dříví ve formě přířezků. Z laboratorního rozboru SZÚ byly zjištěny vlastnosti a prvkové složení, tyto jsou uvedeny v tab. 2.

Spalné teplo	H_s	MJ/kg	18,29
Výhřevnost	H_U	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

Tab.2

6. VÝPOČET MINIMÁLNÍHO MNOŽSTVÍ VZDUCHU

6.1 Minimální množství kyslíku pro spálení 1 kg paliva:

$$V_{O_2 \min} = \frac{22,39}{100} \cdot \left(\frac{C}{12,01} + \frac{H}{4,032} + \frac{S}{32,03} - \frac{O}{32} \right) \quad [m_n^3 / kg] \quad (1)$$
$$V_{O_2 \min} = \frac{22,39}{100} \cdot \left(\frac{46,81}{12,01} + \frac{5,95}{4,032} - \frac{38,32}{32} \right) = 0,935 \quad m_n^3 / kg$$

6.2 Minimální množství suchého vzduchu

$$V_{VZ \min}^S = \frac{100}{21} \cdot V_{O_2 \min} \quad [m_n^3 / kg] \quad (2)$$
$$V_{VZ \min}^S = \frac{100}{21} \cdot 0,94 = 4,452 \quad m_n^3 / kg$$

6.3 Součinitel vlhkosti

$$f = 1 + \varphi \cdot \frac{p''}{p_c - \varphi \cdot p''} \quad (3)$$

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 $p_c = 101,2 \text{ kPa}$

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

6.4 Minimální množství vlhkého vzduchu pro spálení 1 kg paliva

$$V_{VZ \min} = f \cdot V_{VZ \min}^S \quad [m_n^3 / kg] \quad (4)$$
$$V_{VZ \min} = 1,02 \cdot 4,45 = 4,525 \quad m_n^3 / kg$$

7. VÝPOČET MINIMÁLNÍHO MNOŽSTVÍ SPALIN

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

7.1 Objem oxidu uhličitého CO₂ ve spalínách:

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{C}{12,01} + 0,0003 \cdot V_{\text{VZ min}}^S \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$
$$V_{\text{CO}_2} = \frac{22,26}{100} \cdot \frac{46,81}{12,01} + 0,0003 \cdot 4,452 = 0,869 \text{ m}_n^3 / \text{kg} \quad (5)$$

7.2 Objem dusíku N₂ ve spalínách:

$$V_{\text{N}_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{N}{28,016} + 0,7805 \cdot V_{\text{VZ min}}^S \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$
$$V_{\text{N}_2} = \frac{22,4}{100} \cdot \frac{0,09}{28,016} + 0,7805 \cdot 4,452 = 3,476 \text{ m}_n^3 / \text{kg} \quad (6)$$

7.3 Objem argonu Ar ve spalínách:

$$V_{\text{Ar}} = 0,0092 \cdot V_{\text{VZ min}}^S \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$
$$V_{\text{Ar}} = 0,0092 \cdot 4,452 = 0,041 \text{ m}_n^3 / \text{kg} \quad (7)$$

7.4 Minimální objem suchých spalín:

$$V_{\text{SP min}}^S = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{Ar}} \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$
$$V_{\text{SP min}}^S = 0,869 + 3,476 + 0,041 = 4,386 \text{ m}_n^3 / \text{kg} \quad (8)$$

7.5 Minimální objem vodní páry vzniklé spálením 1 kg paliva:

$$V_{\text{H}_2\text{O min}}^P = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{H}{4,032} + \frac{22,4}{100} \cdot \frac{W}{18,016} \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$
$$V_{\text{H}_2\text{O min}}^P = \frac{44,8}{100} \cdot \frac{5,95}{4,032} + \frac{22,4}{100} \cdot \frac{5,71}{18,016} = 0,732 \text{ m}_n^3 / \text{kg} \quad (9)$$

7.6 Minimální množství páry vzniklé z vlhkého vzduchu:

$$V_{\text{H}_2\text{O min}}^{\text{VZ}} = (f - 1) \cdot V_{\text{VZ min}}^S \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$
$$V_{\text{H}_2\text{O min}}^{\text{VZ}} = (1,016 - 1) \cdot 4,452 = 0,073 \text{ m}_n^3 / \text{kg} \quad (10)$$

7.7 Minimální objem vodní páry

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O min}}^{\text{VZ}} + V_{\text{H}_2\text{O min}}^P \quad [\text{m}_n^3 / \text{kg}]$$
$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,073 + 0,732 = 0,805 \text{ m}_n^3 / \text{kg} \quad (11)$$

7.8 Minimální množství vlhkých spalín:

$$V_{SP\ min} = V_{SP\ min}^S + V_{H_2O}^P + V_{H_2O}^{VZ} \quad [m_n^3 / kg]$$
$$V_{SP\ min} = 4,386 + 0,732 + 0,073 = 5,191 \quad m_n^3 / kg \quad (12)$$

8. MAXIMÁLNÍ MNOŽSTVÍ CO₂ VE SPALINÁCH

$$(CO_2)_{max} = \frac{V_{CO_2}}{V_{SP\ min}^S} \cdot 100 \quad [\%]$$
$$(CO_2)_{max} = \frac{0,88}{4,386} \cdot 100 = 19,814 \quad \% \quad (13)$$

9. VÝPOČET SOUČiniteLE α

Součinitel α vyjadřuje míru přebytku vzduchu ve spalovací komoře při spalování. Vypočítává se z naměřených koncentrací spalín:

$$\alpha = 1 + \left(\frac{(CO_2)_{max}}{CO_2} - 1 \right) \cdot \frac{V_{SP\ min}^S}{V_{VZ\ min}^S} \quad (14)$$

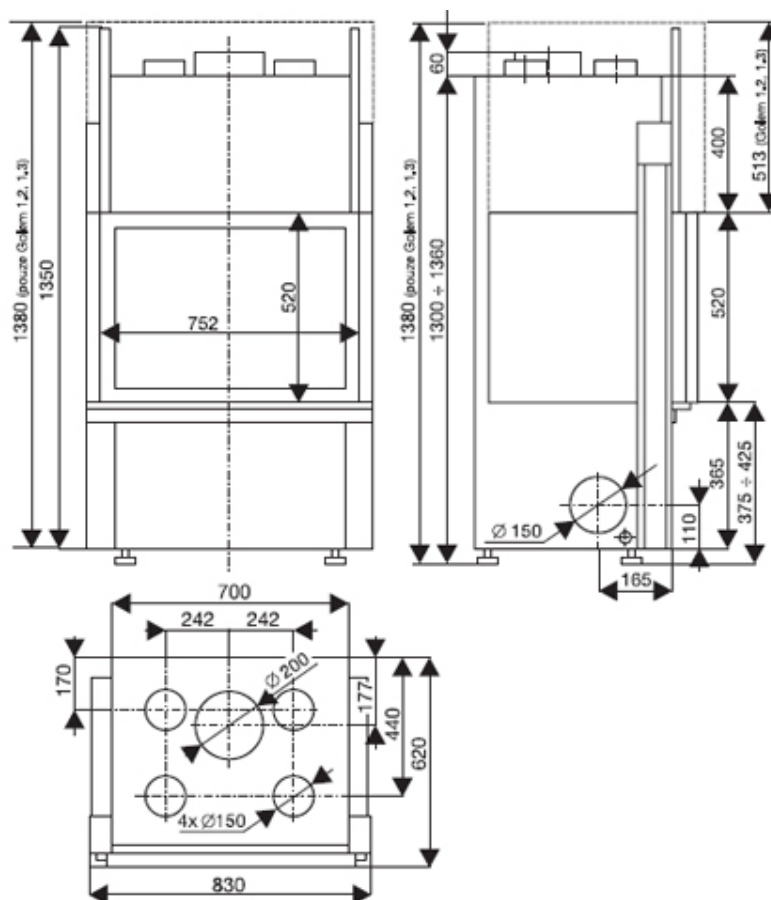
10. KRBOVÁ VLOŽKA GOLEM 1.1



Obr.4 Krbová vložka Golem 1.1

Dvouplášťové krbové vložky řady GOLEM jsou určeny ke spalování dřeva a dřevěných ekobriket. Ohniště tvoří šamotové tvarovky, vyjímatelný litinový rošt a popelník. Boční stěny jsou zhotoveny ze šamotových tvarovek nebo prosklené. Zadní stěna topeniště je vyrobena z šedé litiny. Z čelního pohledu uzavírá topeniště vertikálně posuvný rám s dvířky prosklenými keramickým sklem tloušťky 4 mm. Jeho hmotnost je kompenzována protizávažím. Dvířka je možné otvírat i do strany, což umožňuje snadné čištění skla. Vzduch vstupuje dvěma přívody o průměru 150 mm do výměníku, kde je ohříván. Odtud vychází do místnosti čtyřmi výstupy umístěnými v horní části krbu. Do spodní části krbové vložky lze instalovat ventilátor zajišťující nucený oběh vzduchu ve výměníku. Krbové vložky GOLEM mohou vytopit prostor až 320 m³. (orientační údaj).

Vložka se hodí k vytápění rodinných domků, chalup, chat, společenských místností apod. Její účinnost je kolem 65%, jmenovitý výkon 12 - 16 kW, spotřeba paliva 4 - 6,5 kg/h a hmotnost 230 kg.



Obr.5 Výkres krbové vložky Golem 1.1. s čelním prosklením (zdroj:www.steko.cz)

11. ZPŮSOB ZKOUŠENÍ KRBOVÝCH VLOŽEK [3]

11.1 Uvedení spotřebiče do provozu

Spotřebič se uvádí do provozu spouštěcím zátopem. Jedná se o zátop určitým množstvím paliva stejného složení jako má palivo použité při samotné zkoušce. Provozní tah se nastaví tak, aby statický tlak v měřicím úseku byl nastaven na běžný tah spotřebiče nebo na tah určený při dané zkoušce.

11.2 Doba zkoušení

Po uvedení spotřebiče do provozu je přivedeno předem stanovené množství paliva. Doba zkoušení začíná ihned po dodávce paliva do spotřebiče. Měří se teplota spalin a teplota okolí, složení spalin a tah se udržuje na dané hodnotě. Změřené hodnoty jsou zaznamenávány v daných časových intervalech.

11.3 Měřicí úsek

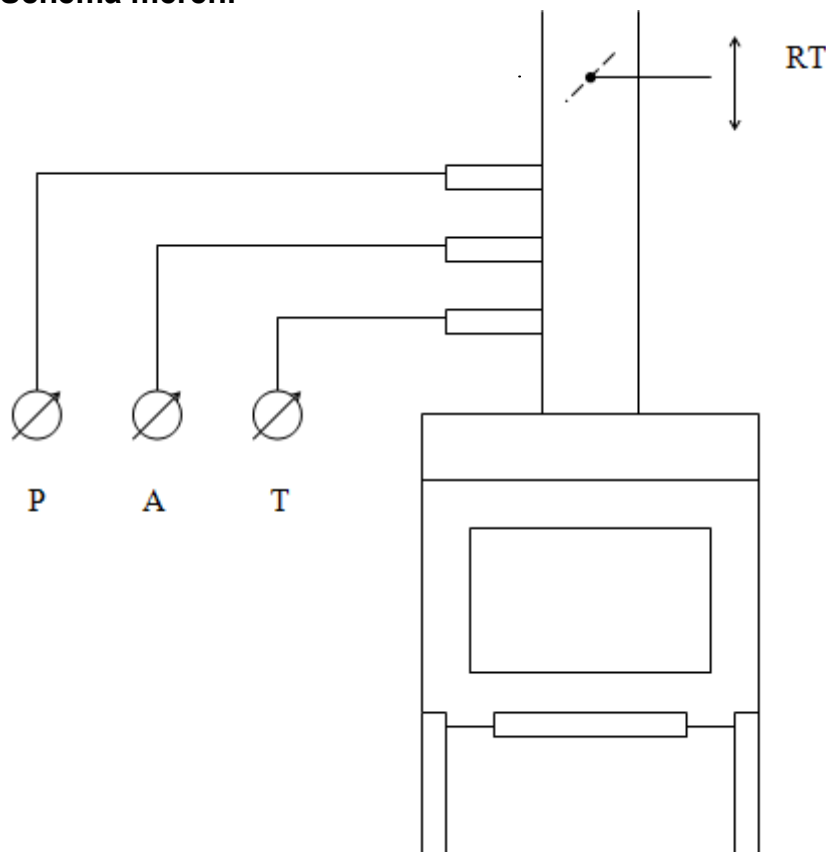
Měřicí úsek spalin a konstrukční uspořádání je znázorněno na obr. 6



Obr.6 Měřicí úsek spalin a jeho zatěsňování

V měřicím úseku jsou nainstalována čidla teploměru a tahoměru (manometru). Pro odběr vzorků spalin je použita ocelová trubka dlouhá tak, aby došlo k potřebnému vychlazení spalin, které je nutno provést vzhledem k analyzátoru. Prostor před měřicím úsekem bylo třeba řádně zatěsnit, aby nedošlo k falešnému přísávání vzduchu a tím k znehodnocení měření viz obr. 6. Nad měřicím úsekem je instalován regulátor tahu.

11.4 Schéma měření



Obr. 7. Schéma měření

P.....manometr , A.....analyzátor spalín , T.....teploměr , RT.....regulátor tahu

12. MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE

Při měření byl použit analyzátor spalín INFRALYT 5000, digitální teploměr M305, digitální manometr DC 100, digitální váha CAS a měřič vlhkosti WHT 770.

12.1 Analyzátor spalín INFRALYT 5000

Analyzátor spalín INFRALYT 5000 umožňuje měřit objemové koncentrace v procentech těchto plynů:

- oxidu uhelnatého CO v rozsahu 0 - 15 %
- oxidu uhličitého CO₂ v rozsahu 0 - 20 %
- sumu uhlovodíků HC v rozsahu 0 - 20 %
- kyslíku O₂ v rozsahu 0 – 15 %

Součástí přístroje je čistící trasa v kufříkovém provedení, která obsahuje kromě filtrů také průtokoměr, trojcestný ventil a ventil pro regulaci průtoku.

Spaliny jsou nasávány analyzátozem přes tuto čistící trať, kde se zároveň dochlazují na maximální teplotu 50°C, která nesmí být překročena při vstupu spalín do přístroje. Přístroj se po zapnutí automaticky kalibruje a po 6 minutách je připraven pro měření. Před měřením se měřicí trasa kontroluje na těsnost. Po skončení se přístroj vyplachuje

tak, že se odpojí od měřicího úseku a nechá se určitou dobu nasávat vzduch. Po této operaci se přístroj může vypnout.



Obr.8 Analyzátor INFRALYT 5000 s čistící trasou

12.2. Digitální teploměr M305

Digitální teploměr M305 je přenosný teploměr s možností připojení termočlánku jako měřicího čidla. Může pracovat se dvěma stupnicemi a to s Celsiovou a Fahrenheitovou.

Měřicí rozsah teploměru je od -50°C do $+1300^{\circ}\text{C}$ a teplota okolí při měření by měla být v rozmezí 0°C až 50°C . Přesnost měření je 0,5% měřené hodnoty při relativní vlhkosti do 80%. Použitá sonda s termočlánkem je vhodná pro teploty do 600°C a vedení sondy je izolováno teflonem.

12.3 Digitální manometr DC 100

Je to vícefunkční měřicí přístroj na měření diferenčního tlaku, rychlosti proudění vzduchu, teploty a vlhkosti (volitelně). Je to extrémně přesný přístroj.

Diferenční tlak:

Rozsah: $\pm 100\text{hPa}$

Přesnost: $< 3\%$ z naměřené hodnoty, v rozsahu $< \pm 10\text{Pa}$ menší než $\pm 0,3\text{Pa}$

Rozlišení: $0,1\text{Pa}$ v rozsahu $-1200 - +1200\text{hPa}$



Okolní teplota:

Rozsah: -19,9°C – 99,9°C

Přesnost: < +2°C

Rozlišení: 0,1°C

Měření vlhkosti (volitelně):

Rozsah: 0% - 100%
(nekondenzovatelný)

Přesnost: +5% (0-60%),
jinak < 10%

Rozlišení: 1%

Obr.9 Digitální manometr

12.4 Měřič vlhkosti WHT 770

Slouží k měření vlhkosti dřeva (nejčastěji smrkového) ve všech oblastech dřevozpracujícího a nábytkářského průmyslu. S tímto přístrojem lze měřit i teplotu a to přepojením konektoru a přepnutím přepínače.

Rozsah měření

- vlhkost.....5 - 100 %
- teplota.....0 - 110°C

Chyba měření

- vlhkost.....± 1 %
- teplota.....± 0,5°C



Obr.10 Měřič vlhkosti WHT 770

12.5 Digitální váha CAS

Rozsah měření..... 0 – 12 kg

Chyba měření:..... ± 5 g



Obr. 11 Digitální váha CAS

13. VÝPOČET ÚČINNOSTI KRBOVÉ VLOŽKY

Zkoušení, výpočty účinnosti, tepelného výkonu a stanovení koncentrace oxidu uhelnatého se provádí dle ČSN EN 13 229 a jejích pozdějších dodatků.

Podle této normy se účinnost stanoví ze ztrát. Jsou to tyto ztráty:

- poměrná ztráta citelným teplem spalin q_a
- poměrná ztráta plynným nedopalem q_b
- poměrná ztráta mechanickým nedopalem q_r

Účinnost je dána vztahem:

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad [\%] \quad (15)$$

13.1. Třídy účinnosti

Spotřebiče lze podle účinnosti zařadit do tříd podle tabulky 3.

Třída účinnosti spotřebiče	Spotřebiče s uzavřenými dvířky
	Mezní hodnoty třídy účinnosti %
Třída 1	≥ 70
Třída 2	$\geq 60 < 70$
Třída 3	$\geq 50 < 60$
Třída 4	$\geq 30 < 50$

Tab.3

13.2 Střední měrná tepelná kapacita suchých spalin

Při srovnávacích podmínkách se vypočte dle vztahu:

$$c_{pmd} = 3,6 \cdot \left[0,361 + 0,008 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 + \left(0,085 + 0,19 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) - 0,14 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 \right) \cdot \left(\frac{CO_2}{100} \right) + \left(0,03 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) - 0,2 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 \right) \cdot \left(\frac{CO}{100} \right) \right] \quad [kJ/Km^3] \quad (16)$$

13.3 Střední měrná tepelná kapacita vodní páry

Vypočítá se dle vztahu:

$$c_{pmH_2O} = 3,6 \cdot \left(0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 \right) \quad [kJ/m^3 K] \quad (17)$$

13.4 Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu C_r

Určíme ho z hmotnostního podílu uhlíku ve zbytcích spalování podle vztahu:

$$C_r = R \cdot \frac{C_i}{100} \quad [\%] \quad (18)$$

13.5. Poměrná ztráta citelným teplem spalin

Ztráta citelným teplem spalin:

$$Q_a = (t_{sp} - t_{ok}) \cdot \left[\left[\frac{(c_{pmd} \cdot (C - C_R))}{0,536 \cdot (CO + CO_2)} \right] + \left[\frac{c_{pmH_2O} \cdot 1,92 \cdot (9 \cdot H + W)}{100} \right] \right] \quad [kJ/kg] \quad (19)$$

Poměrná ztráta citelným teplem spalín (vtaženo k výhřevnosti zkušebního paliva):

$$q_a = 100 \cdot \frac{Q_a}{H_U} \quad [\%] \quad (20)$$

13.6 Poměrná ztráta plynným nedopalem

Ztráta plynným nedopalem:

$$Q_b = \frac{12644 \cdot CO \cdot (C - C_r)}{[0,536 \cdot (CO_2 + CO) \cdot 100]} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (21)$$

Poměrná ztráta plynným nedopalem (vtaženo k výhřevnosti zkušebního paliva):

$$q_b = 100 \cdot \frac{Q_b}{H_U} \quad [\%] \quad (22)$$

13.7. Poměrná ztráta mechanickým nedopalem

Ztráta mechanickým nedopalem:

$$Q_r = \frac{335 \cdot R \cdot C_i}{100} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (23)$$

Poměrná ztráta mechanickým nedopalem (vtaženo k výhřevnosti zkušebního paliva):

$$q_r = 100 \cdot \frac{Q_r}{H_U} \quad [\%] \quad (24)$$

14. TEPELNÝ PŘÍKON A VÝKON KRBOVÉ VLOŽKY

14.1 Tepelný příkon krbové vložky

Určuje se z hmotnostního toku paliva a z jeho výhřevnosti dle vztahu:

$$P_p = \frac{\dot{m} \cdot H_U}{3600} \quad [\text{kW}] \quad (25)$$

14.2 Tepelný výkon krbové vložky

Určuje se z tepelného příkonu a tepelných ztrát dle vztahu:

$$P_{KV} = P_p \cdot \frac{100 - (q_a + q_b + q_r)}{100} \quad [\text{kW}] \quad (26)$$

15. KONCENTRACE CO VE SPALINÁCH

15.1 Výpočet koncentrace

Průměrná hodnota oxidu uhelnatého ($\text{CO}_{\text{stř}}$) se vypočítá jako průměrná hodnota všech údajů CO získaných z odečtů na přístrojích v průběhu doby zkoušení.

Pro přepočet střední objemové koncentrace oxidu uhelnatého s ohledem na běžný obsah kyslíku ve spalínách lze využít těchto vztahů:

$$\text{CO}_{\text{př}} = \text{CO}_{\text{stř}} \cdot \frac{21 - \text{O}_{2\text{s tan d}}}{21 - \text{O}_{2\text{stř}}} \quad [\%] \quad (27)$$

$$\text{CO}_{\text{př}} = \text{CO}_{\text{stř}} \cdot \frac{\text{CO}_{2\text{max}}}{\text{CO}_{2\text{stř}}} \cdot \frac{21 - \text{O}_{2\text{s tan d}}}{21} \quad [\%] \quad (28)$$

kde je dle normy $\text{O}_{2\text{stand}} = 13 \%$

15.2. Třídy emisí oxidu uhelnatého

Tabulka 4 udává průměrné koncentrace oxidu uhelnatého, přepočtená na 13% obsahu kyslíku (O_2), ve spalínách, jimž odpovídá třída spotřebiče 1 nebo 2.

Třída CO spotřebiče	Spotřebiče s uzavřenými dvířky
	Mezní hodnoty tříd emisí CO (při 13 % O_2) %
Třída 1	$\leq 0,3$
Třída 2	$> 0,3 \leq 1,0$

Tab. 4

16. ZKOUŠKY KRBOVÉ VLOŽKY GOLEM 1.1 BEZ DEFLEKTORU

16.1 Experiment č.1

16.1.1 Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky

Statický tah.....11Pa

Primární vzduch.....1/4 otevření primárního vzduchu (otvor pod dvířky)

Sekundární vzduch.....mezera okolo dvířek a rámem krb. vložky

Hmotnostní tok paliva 4kg/h

Interval mezi měřeními.....2 min.

Rozložení paliva.....rovnoměrně po ploše

Počet kusů paliva 3ks

16.1.2 Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.1

Čas	T _{sp}	CO	CO ₂	O ₂
[min]	[°C]	[%]	[%]	[%]
0	218	0,4	0,82	19,1
2	321	0,65	1,1	18,51
4	373	0,2	4,54	14
6	370	0,25	5,49	12,97
8	368	0,15	6,8	11,04
10	357	0,14	6,46	11,67
12	356	0,13	6,26	11,82
14	362	0,12	6,13	11,93
16	362	0,12	6,54	11,36
18	354	0,12	6,64	11,52
20	367	0,11	5,76	12,25
22	345	0,1	5,46	12,59
24	344	0,11	5,31	12,78
26	336	0,11	5,28	12,86
28	314	0,14	4,6	13,67
30	318	0,13	3,94	14,58
32	299	0,13	3,4	15,05
34	276	0,15	2,55	16,25
36	258	0,16	2,11	16,82
38	237	0,25	1,56	17,44
40	227	0,27	1,46	17,65
42	219	0,29	1,39	17,75
44	209	0,3	1,31	17,9
45	207	0,31	1,3	17,93

Tab. 5

Tabulka průměrných hodnot - zk.č. 1

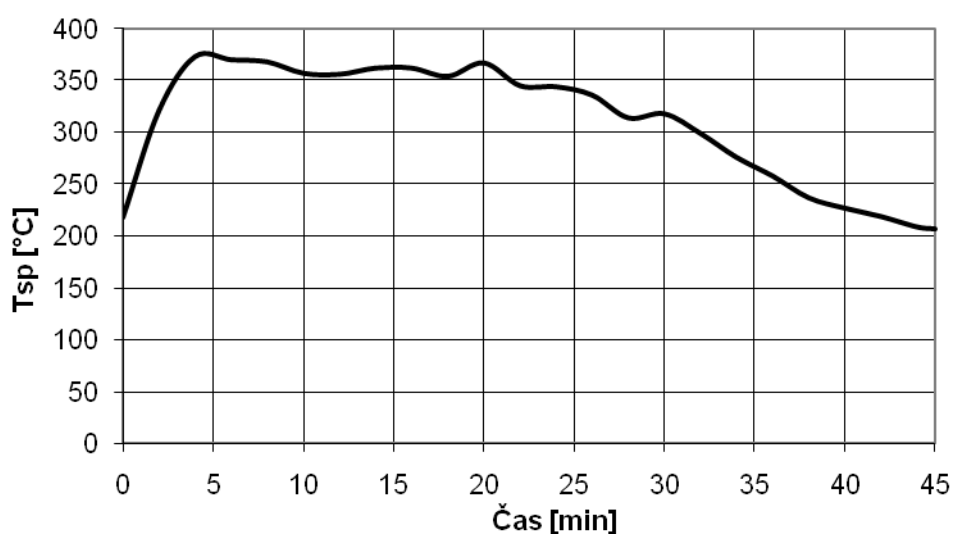
T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
25	308,21	0,20	4,01	14,56

Tab. 6

16.1.3 Grafické zpracování naměřených hodnot

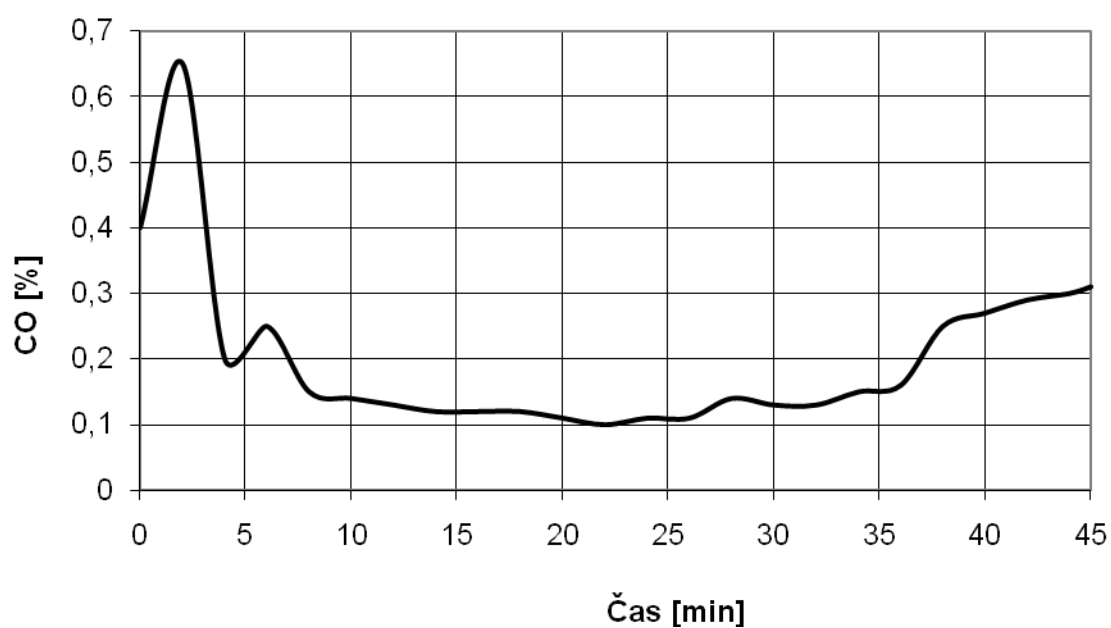
Graf 1.

Průběh teploty spalín v závislosti na čase

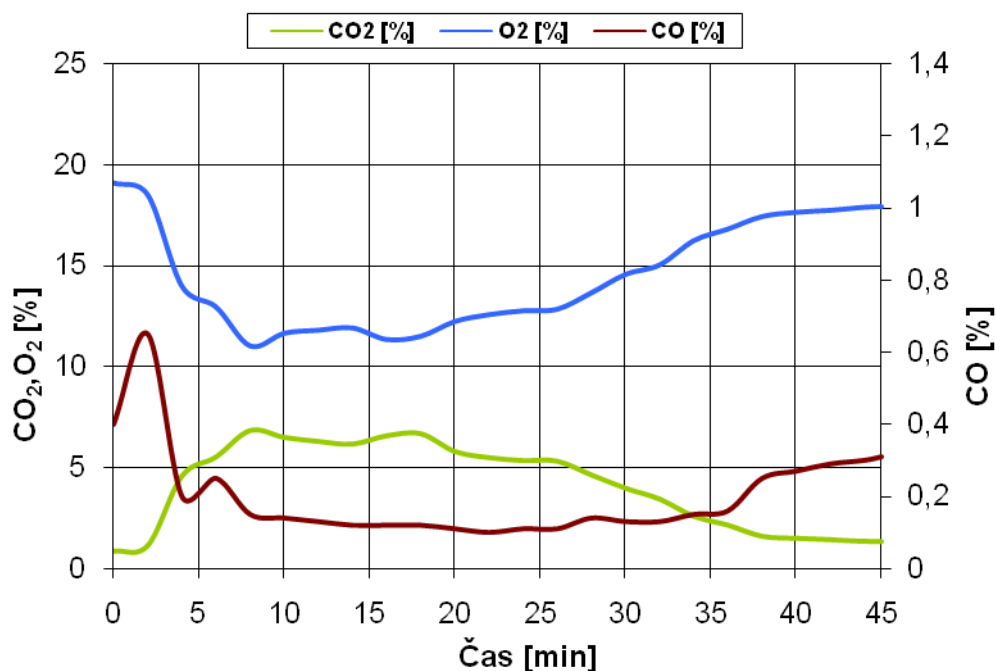


Graf 2.

Koncentrace CO ve spalínách v závislosti na čase



Graf 3.

Koncentrace CO , CO_2 , O_2 ve spalinách v závislosti na čase

16.1.4 Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.2

Čas [min]	T_{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	177	0,59	2,01	19,32
2	301	0,33	5,54	12,8
4	335	0,25	5,82	12,55
6	379	0,15	8,05	9,2
8	386	0,15	7,84	9,5
10	409	0,156	7,82	9,48
12	424	0,14	7,66	9,58
14	402	0,13	6,51	11,24
16	398	0,13	6,02	11,8
18	395	0,13	5,84	12,1
20	384	0,12	5,77	12,14
22	359	0,1	4,78	13,4
24	346	0,12	4,16	14,26
26	345	0,13	4,12	14,33
28	360	0,13	4,48	13,79
30	312	0,14	3,91	14,5
32	305	0,18	3,09	15,5
34	298	0,2	3,18	15,44
36	267	0,3	2,83	15,98
38	249	0,33	2,19	16,74
40	239	0,34	1,99	16,98
42	235	0,35	1,86	17,15
44	226	0,4	1,7	17,33
45	220	0,39	1,64	17,44

Tab. 7

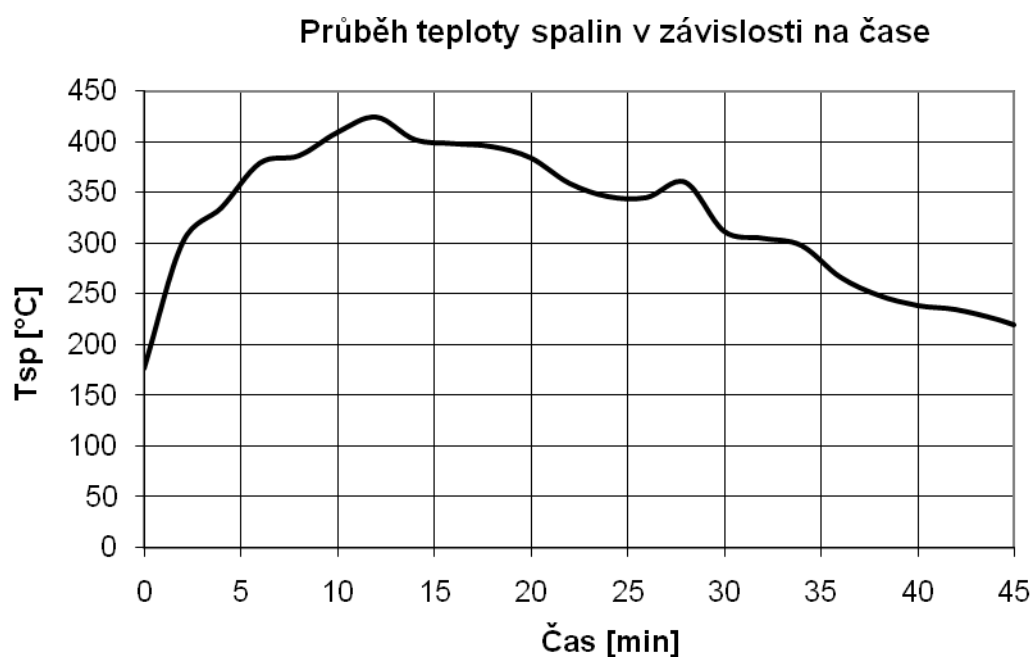
Tabulka průměrných hodnot – zk. č. 2

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
24,50	322,96	0,22	4,53	13,86

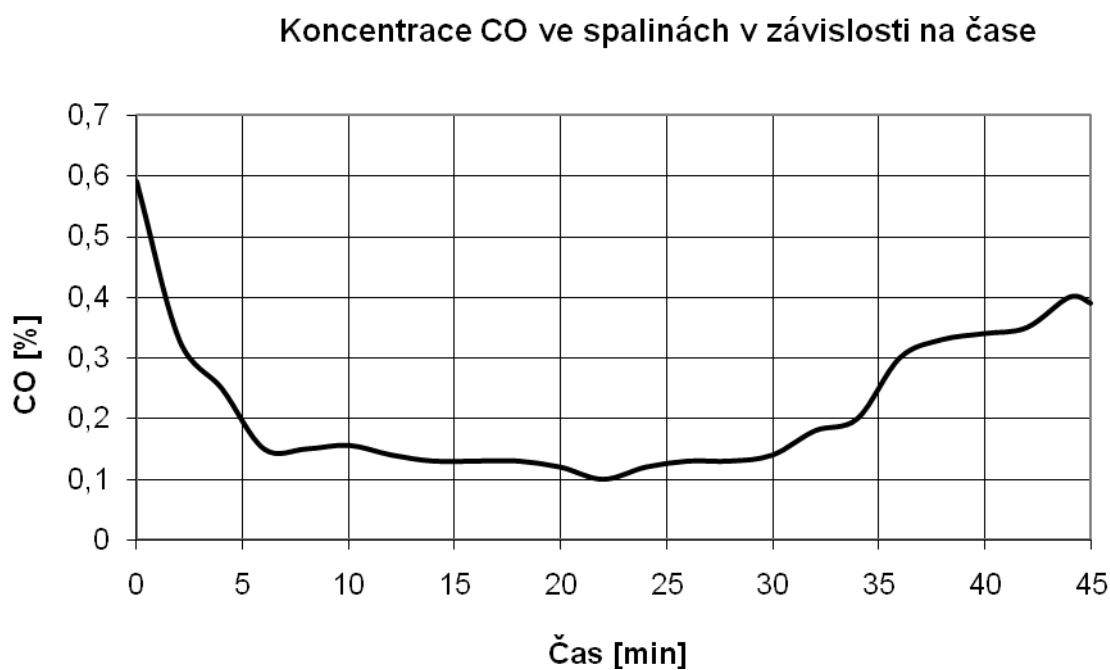
Tab. 8

16.1.5 Grafické zpracování naměřených hodnot

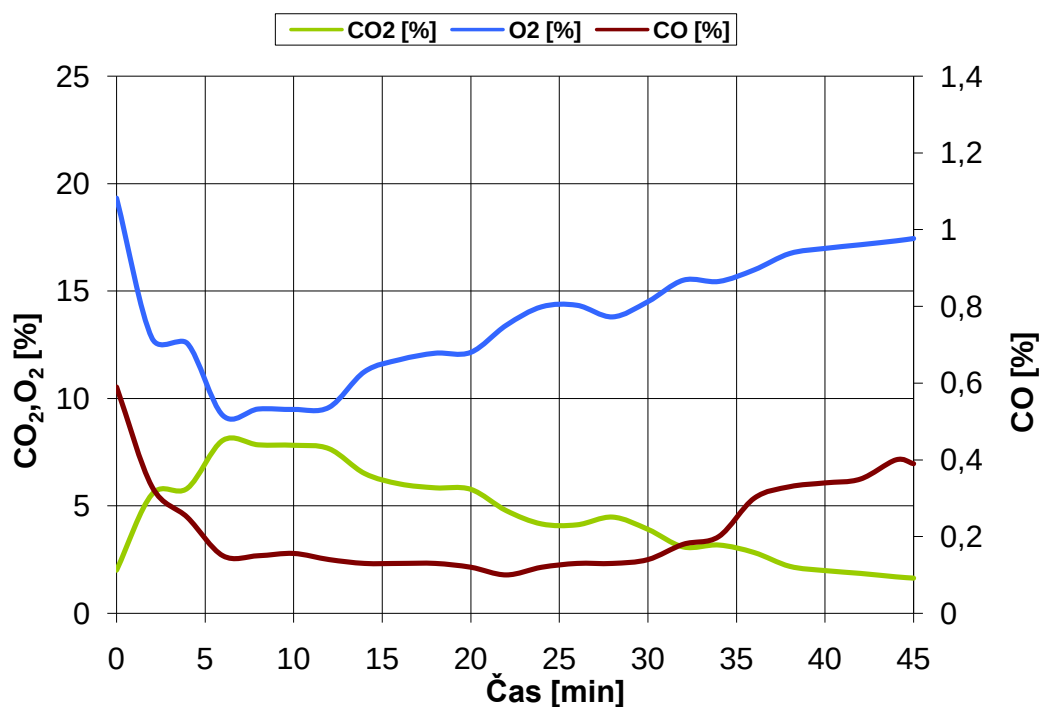
Graf 4.



Graf.5



Graf.6

Koncentrace CO, CO₂, O₂ ve spalinách v závislosti na čase

16.1.6 Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.3

Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	208	0,48	0,81	18,9
2	270	0,4	3,1	16,9
4	325	0,31	4,5	14,13
6	340	0,22	5,85	12,38
8	355	0,16	6,18	11,88
10	366	0,14	6,59	11,29
12	384	0,14	6,99	10,7
14	398	0,14	7,34	10,16
16	405	0,14	7,46	9,85
18	400	0,14	7,57	9,7
20	385	0,11	6,1	11,72
22	396	0,12	5,36	12,7
24	384	0,12	5,6	12,37
26	380	0,12	5,14	12,88
28	375	0,13	5,17	12,9
30	373	0,14	5,27	12,7
32	340	0,15	4,84	13,28
34	330	0,19	3,8	14,7
36	335	0,19	3,65	14,91
38	301	0,18	3,15	15,5
40	289	0,19	3,38	15,17
42	270	0,25	3,1	15,6
44	254	0,36	2,27	16,6
45	248	0,38	2,19	16,7

Tab. 9

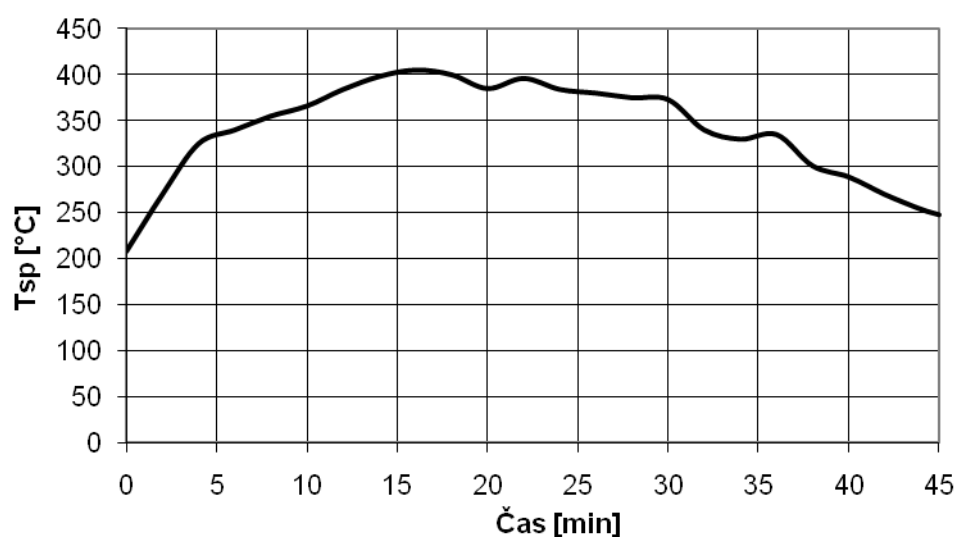
Tabulka průměrných hodnot – zk. č. 3

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
25,00	337,96	0,20	4,81	13,48

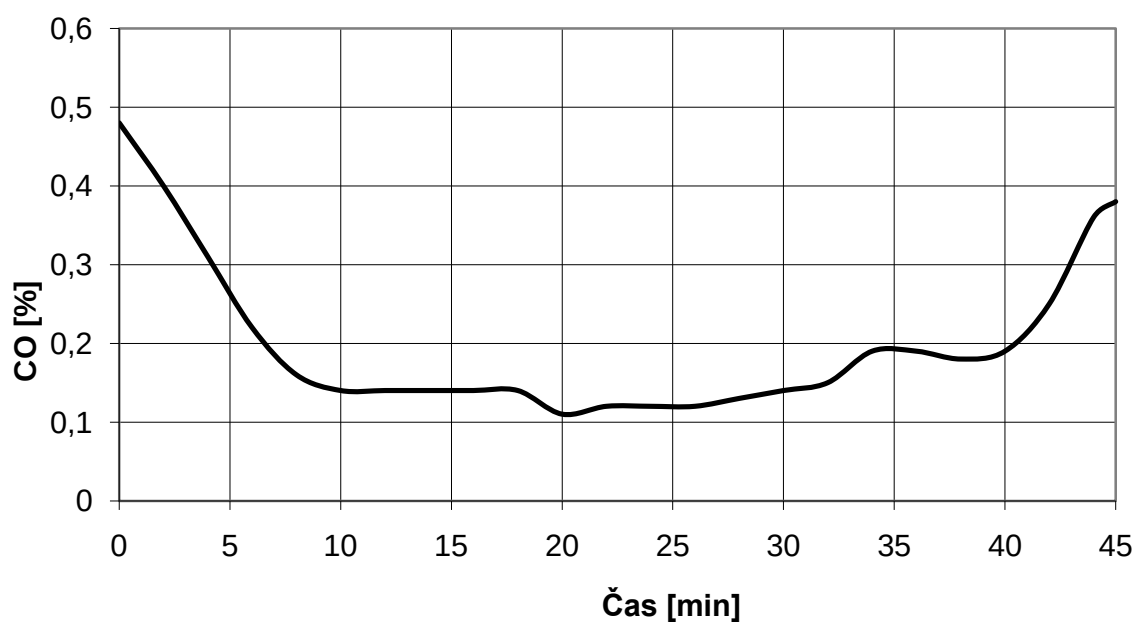
Tab. 10

16.1.7 Grafické zpracování naměřených hodnot

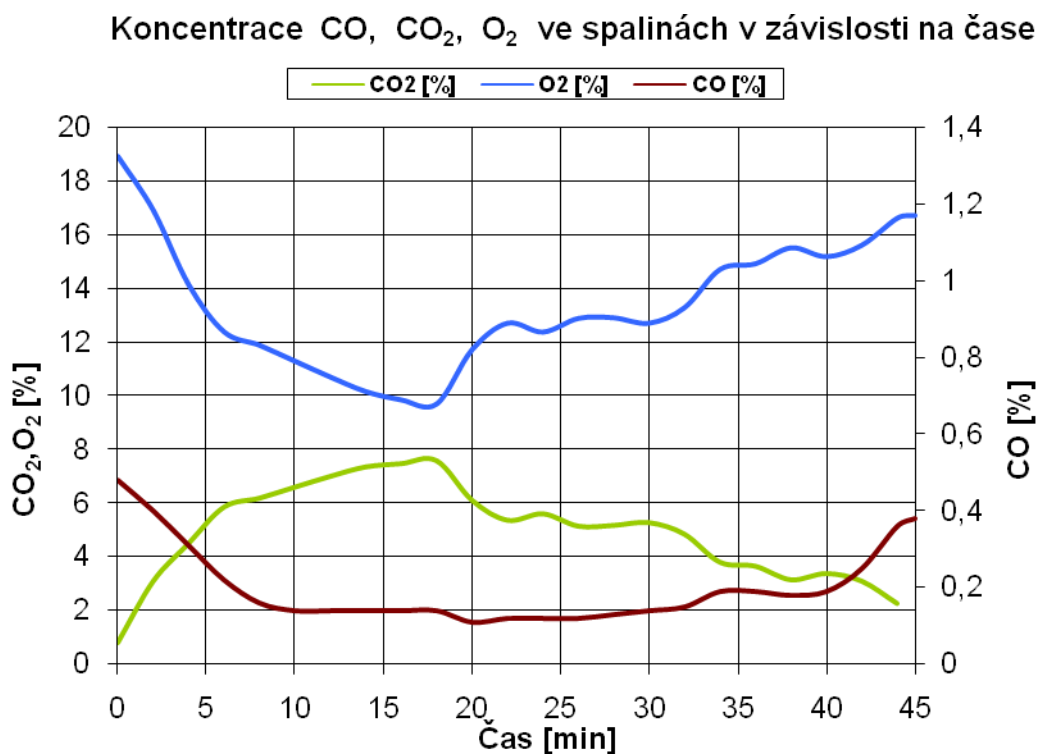
Graf 7.

Průběh teploty spalin v závislosti na čase

Graf 8.

Koncentrace CO ve spalinách v závislosti na čase

Graf 9.



16.1.8 Průměrné hodnoty z experimentu č.1

T _{ok}	T _{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
24,8	323,04	0,21	4,45	13,97

Tab. 11

16.2 Příklad výpočtu experimentu č.1

16.2.1 Výpočet účinnosti krbové vložky

Střední měrná tepelná kapacita suchých spalín :

Vypočteme dle vztahu (16):

$$c_{pmd} = 3,6 \cdot \left[\begin{aligned} &0,361 + 0,008 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 + \left(0,085 + 0,19 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) - 0,14 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 \right) \cdot \left[\frac{(CO_2)}{100} \right] + \left(0,03 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) - 0,2 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 \right) \cdot \left[\frac{(CO)}{100} \right] \end{aligned} \right] \text{ [kJ/m}^3\text{K]}$$

$$c_{pmd} = 3,6 \cdot \left[0,361 + 0,008 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right)^2 + \left(0,085 + 0,19 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right) - 0,14 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right)^2 \right) \cdot \left(\frac{4,45}{100} \right) + \left(0,03 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right) - 0,2 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right)^2 \right) \cdot \left(\frac{4,45}{100} \right) \right]$$

$$c_{pmd} = 1,34 \text{ kJ/m}^3 \text{K}$$

Střední měrná tepelná kapacita vodní páry :

Je dána vztahem (17):

$$c_{pmH_2O} = 3,6 \cdot \left(0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{t_{sp}}{1000} \right)^2 \right) \text{ [kJ/m}^3 \text{K]}$$

$$c_{pmH_2O} = 3,6 \cdot \left(0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{323,04}{1000} \right)^2 \right)$$

$$c_{pmH_2O} = 1,54 \text{ kJ/m}^3 \text{K}$$

Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu :

Vypočteme dle vztahu (18):

$$C_r = R \cdot \frac{C_i}{100} \quad [\%]$$

$$C_r = 1,33 \cdot \frac{17,73}{100} = 0,236\%$$

Vstupní hodnoty pro výpočet:

m_{pv}	Celková hmotnost spáleného paliva	15	kg
m_{zi}	Hmotnost tuhých zbytků spalování propadlých roštem	0,2	kg
$\dot{m}_{pvs}$	Hmotnostní tok paliva spáleného při jednotlivých zkouškách	4	kg/h
R	Hmotnostní podíl tuhých zbytků ve vztahu k hmotnosti zkušební paliva	1,33	%
c_{pmd}	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalin	1,34	kJ/m ³ K
c_{pmH_2O}	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry	1,54	kJ/m ³ K
C_r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu	0,24	%
t_{ok}	Průměrná teplota okolí	24,8	°C

Tab. 12

Poměrná ztráta citelným teplem spalín q_a :

Vypočítá se dle vztahu (19) a (20):

$$Q_a = (t_{sp} - t_{ok}) \cdot \left[\left[\frac{c_{pmd} \cdot (C - C_r)}{0,536 \cdot (CO + CO_2)} \right] + \left[\frac{c_{pmH_2O} \cdot 1,92 \cdot (9 \cdot H + W)}{100} \right] \right] \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$Q_a = (323,04 - 24,8) \cdot \left[\left[\frac{1,34 \cdot (46,81 - 0,24)}{0,536 \cdot (0,21 + 4,45)} \right] + \left[\frac{1,54 \cdot 1,92 \cdot (9 \cdot 5,95 + 5,71)}{100} \right] \right]$$

$$Q_a = 7980,7 \text{ kJ/kg}$$

$$q_a = 100 \cdot \frac{Q_a}{H_U} \quad [\%]$$

$$q_a = 100 \cdot \frac{7980,7}{16800} = 47,5\%$$

Poměrná ztráta plynným nedopalem q_b

Získáme dle vztahů (21), (22):

$$Q_b = \frac{12644 \cdot CO \cdot (C - C_r)}{[0,536 \cdot (CO_2 + CO) \cdot 100]} \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$Q_b = \frac{12644 \cdot 0,21 \cdot (46,81 - 0,24)}{[0,536 \cdot (4,45 - 0,21) \cdot 100]} = 495,2 \text{ kJ/kg}$$

$$q_b = 100 \cdot \frac{Q_b}{H_U} \quad [\%]$$

$$q_b = 100 \cdot \frac{495,2}{16800} = 2,95\%$$

Poměrná ztráta mechanickým nedopalem q_r :

Vypočítáme dle vztahů (23), (24):

$$Q_r = \frac{335 \cdot R \cdot C_i}{100} \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$Q_r = \frac{335 \cdot 1,33 \cdot 17,73}{100} = 79,2 \text{ kJ/kg}$$

$$q_r = 100 \cdot \frac{Q_r}{H_U} \quad [\%]$$

$$q_b = 100 \cdot \frac{79,2}{16800} = 0,47\%$$

Účinnost krbové vložky:

Vypočteme dle vztahu (15):

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad [\%]$$

$$\eta = 100 - (47,5 + 2,95 + 0,47) = 49\%$$

16.2.2 Tepelný příkon a výkon krbové vložky

Tepelný příkon krbové vložky:

Dostaneme výpočtem vztahu (25):

$$P_p = \frac{\dot{m} \cdot H_u}{3600} \quad [\text{kW}]$$

$$P_p = \frac{4 \cdot 16800}{3600} = 18,67 \text{ kW}$$

Tepelný výkon krbové vložky:

Vypočteme dle vztahu (26):

$$P_{KV} = P_p \cdot \frac{100 - (q_a + q_b + q_r)}{100} \quad [\text{kW}]$$

$$P_{KV} = 18,67 \cdot \frac{100 - (47,5 + 2,95 + 0,47)}{100} = 9,25 \text{ kW}$$

16.2.3 Koncentrace CO ve spalínách

Vypočítá se podle vztahu (28) nebo (29):

$$CO_{př} = CO_{stř} \cdot \frac{21 - O_{2s \text{ tand}}}{21 - O_{2stř}} \quad [\%]$$

$$CO_{př} = 0,21 \cdot \frac{21 - 13}{21 - 13,97} = 0,24\%$$

$$CO_{př} = CO_{stř} \cdot \frac{CO_{2 \text{ max}}}{CO_{2stř}} \cdot \frac{21 - O_{2s \text{ tand}}}{21} \quad [\%]$$

$$CO_{př} = 0,21 \cdot \frac{8,05}{4,45} \cdot \frac{21 - 13}{21} = 0,14\%$$

16.2.4 Součinitel přebytku vzduchu α ve spalinách

Dosadíme do vztahu (14):

Průměrný součinitel přebytku vzduchu se určí z průměrných hodnot CO_2

$$\alpha = 1 + \left(\frac{(\text{CO}_2)_{\max}}{\text{CO}_2} - 1 \right) \cdot \frac{V_{\text{SP min}}^S}{V_{\text{VZ min}}^S}$$

$$\alpha = 1 + \left(\frac{8,05}{4,45} - 1 \right) \cdot \frac{4,386}{4,452} = 1,796$$

16.3 Experiment č. 2

16.3.1 Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky

Statický tah.....11Pa

Primární vzduch.....1/8 otevření primárního vzduchu (otvor pod dvířky)

Sekundární vzduch.....mezera okolo dvířek a rámem krb. vložky

Hmotnostní tok paliva 4kg/h

Interval mezi měřeními.....2 min

Rozložení paliva.....rovnoměrně po ploše

Počet kusů paliva 3ks

16.3.2 Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č. 1

Čas	T _{sp}	CO	CO ₂	O ₂
[min]	[°C]	[%]	[%]	[%]
0	215	0,28	0,87	18,61
2	248	0,61	1,8	17,44
4	295	0,41	3,5	15,35
6	349	0,36	5,58	12,8
8	393	0,28	6,68	11,29
10	387	0,2	7,89	9,58
12	395	0,15	7,91	9,5
14	402	0,15	7,9	9,31
16	394	0,14	7,58	9,87
18	403	0,17	6,71	10,84
20	412	0,15	6,61	11,04
22	407	0,14	6,2	11,58
24	399	0,15	5,76	12,09
26	388	0,14	5,46	12,5
28	370	0,14	4,65	13,38
30	358	0,15	4,18	14,07
32	323	0,17	3,82	14,65
34	309	0,2	3,22	15,34
36	293	0,23	2,83	15,95
38	283	0,31	2,74	16,06
40	276	0,29	2,67	16,16
42	264	0,29	2,6	16,3
44	246	0,26	2,3	16,65
45	242	0,32	2,31	16,72

Tab. 13

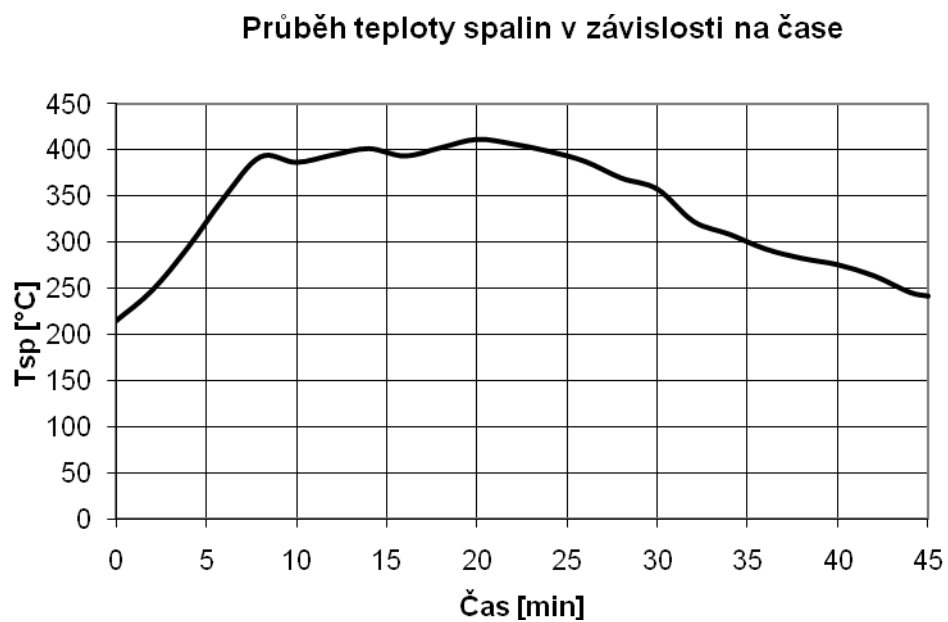
Tabulka průměrných hodnot – zkouška č. 1

T _{ok}	T _{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
26	335,46	0,24	4,66	13,63

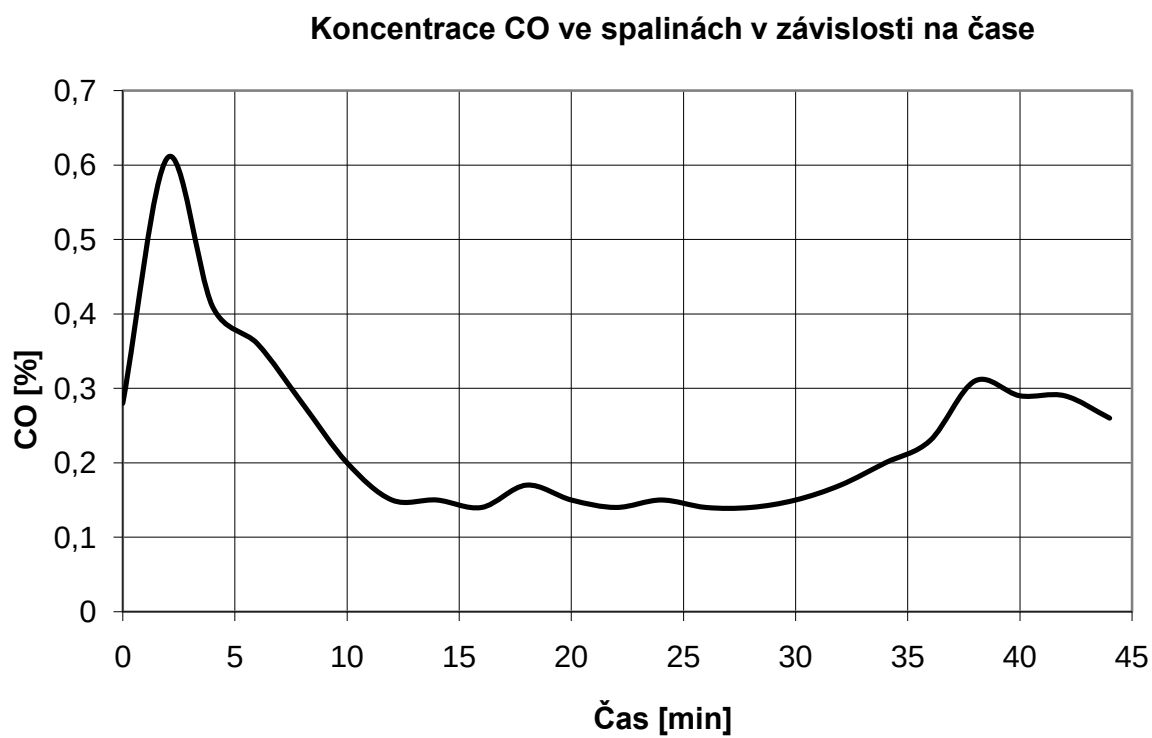
Tab. 14

16.3.3 Grafické zpracování naměřených hodnot

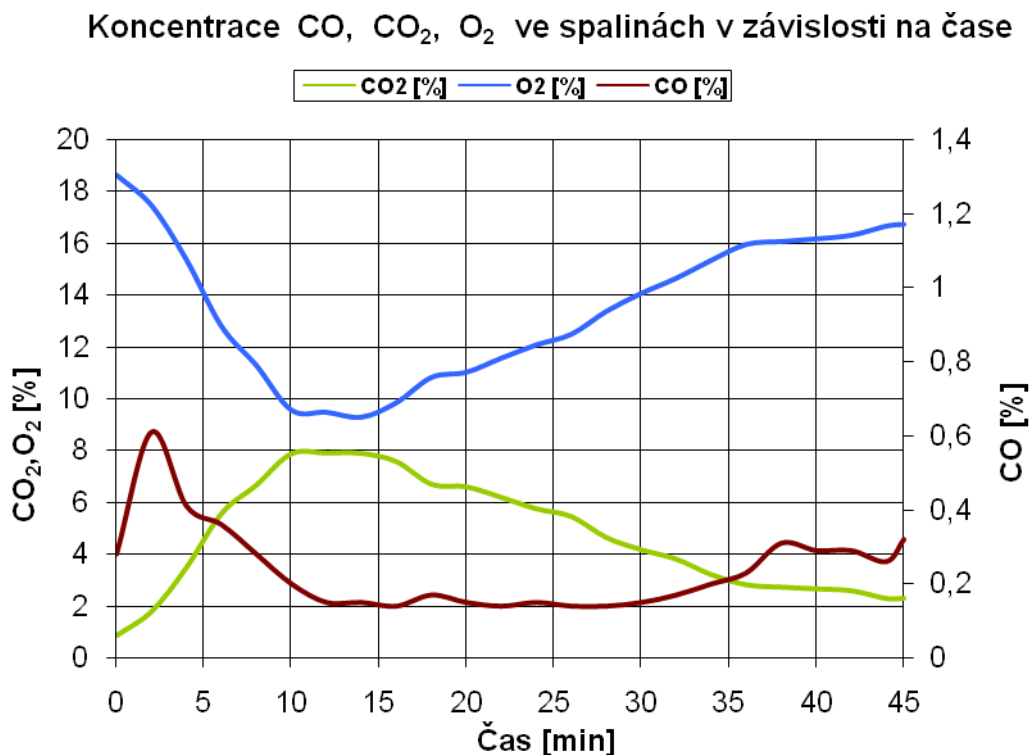
Graf 10.



Graf 11.



Graf 12.



16.3.4 Tabulky naměřených a průměrných hodnot - zkouška č.2

Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	184	0,55	0,87	18,68
2	270	0,32	3,81	14,91
4	306	0,24	4,83	13,57
6	349	0,27	5,89	12,26
8	402	0,17	7,17	10,47
10	399	0,13	7,69	9,6
12	414	0,12	7,32	10,1
14	415	0,12	7,08	10,34
16	420	0,11	7,42	9,85
18	425	0,1	7,24	10,07
20	431	0,1	7,37	9,9
22	429	0,1	7,45	9,7
24	418	0,09	6,79	10,6
26	415	0,09	6,43	11,06
28	396	0,11	5,95	11,64
30	359	0,15	4,83	13,06
32	344	0,2	4,53	13,63
34	324	0,26	4,06	14,24
36	289	0,33	3,27	15,39
38	262	0,49	2,21	16,7
40	251	0,48	2,06	16,85
42	243	0,47	2,03	16,89
44	236	0,47	1,98	16,95
45	232	0,46	1,98	16,99

Tab. 15

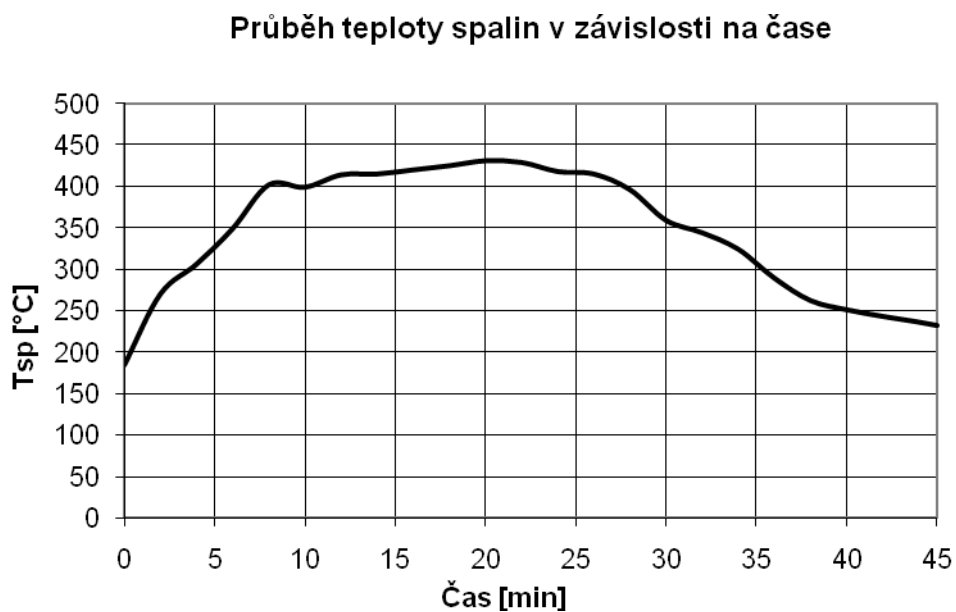
Tabulka průměrných hodnot – zkouška č.2

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
25,00	342,21	0,25	5,01	13,06

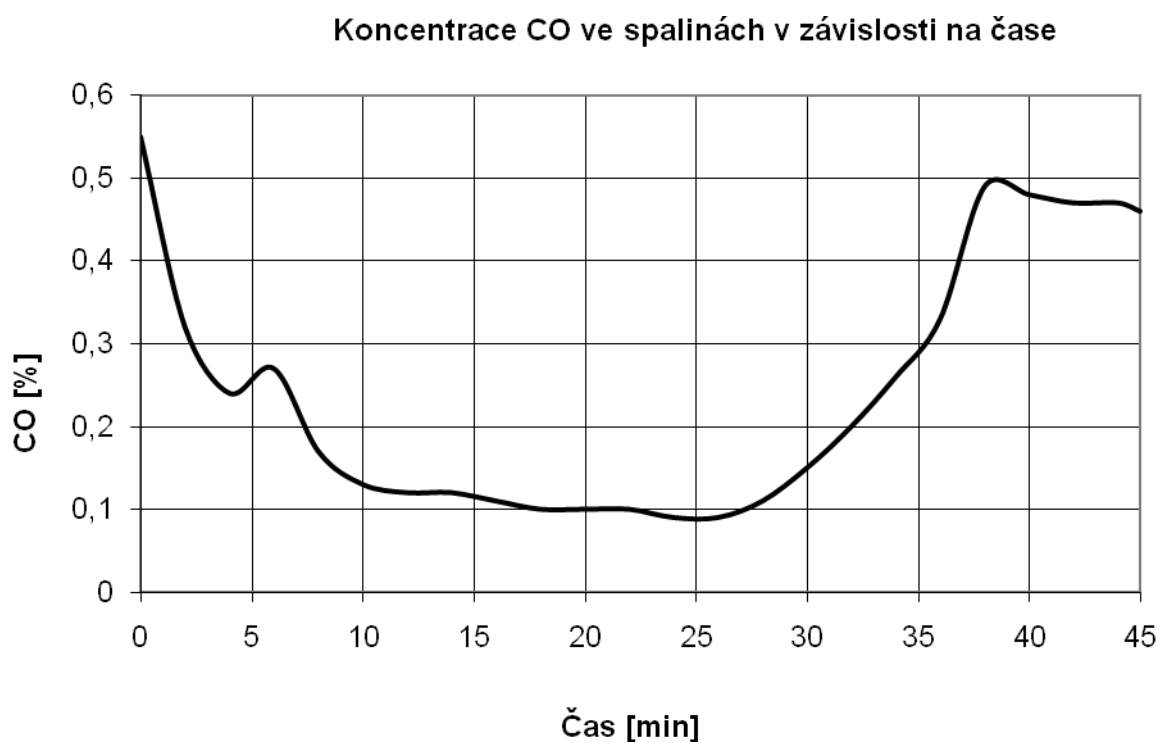
Tab. 16

16.3.5 Grafické zpracování naměřených hodnot

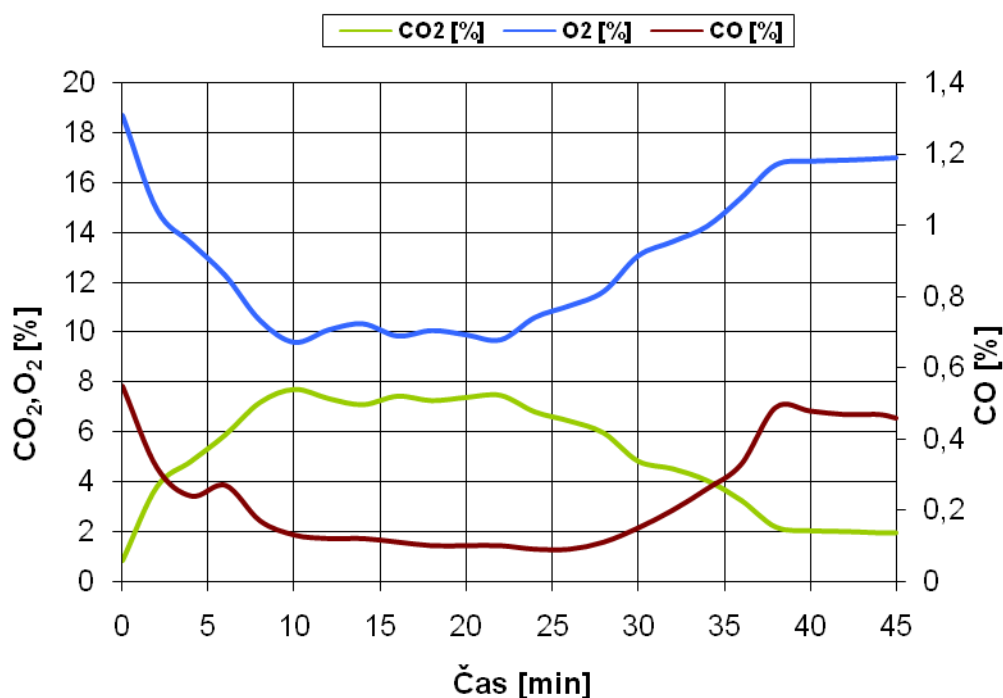
Graf 13.



Graf 14.



Graf 15.

Koncentrace CO, CO₂, O₂ ve spalínách v závislosti na čase

16.3.6 Průměrné hodnoty z experimentu č. 2

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
25,5	338,83	0,24	4,83	13,34

Tab. 17

16.4. Vypočtené hodnoty experimentu č. 2

Vstupní hodnoty pro výpočet:

m_{pv}	Celková hmotnost spáleného paliva	15	kg
m_{zi}	Hmotnost tuhých zbytků spalování propadlých roštem	0,2	kg
$\dot{m}_{pvs}$	Hmotnostní tok paliva spáleného při jednotlivých zkouškách	4	kg/h
R	Hmotnostní podíl tuhých zbytků ve vztahu k hmotnosti zkušební paliva	1,33	%
c_{pmd}	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalín	1,34	kJ/Km ₃
c_{pmH_2O}	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry	1,55	kJ/Km ₃
C_r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu	0,24	%
t_{ok}	Průměrná teplota okolí	25,5	°C

Tab. 18

Vypočtené hodnoty dle příkladu výpočtu v experimentu č.1

q_a	Poměrná ztráta citelným teplem spalin	46,2	%
q_b	Poměrná ztráta plynným nedopalem	3,11	%
q_r	Poměrná ztráta mech. nedopalem	0,47	%
η	Účinnost krbové vložky	50,2	%
P_p	Tepelný příkon krbové vložky	18,67	kW
P_{kv}	Tepelný výkon krbové vložky	9,46	kW
$CO_{př}$	Koncentrace CO ve spalinách	0,25	%
α	Součinitel přebytku vzduchu ve spalinách	1,62	-

Tab. 19

17. ZKOUŠKY KRBOVÉ VLOŽKY GOLEM 1.1 S DEFLEKTOREM

17.1 Experiment č.1

17.1.1 Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky

Statický tah.....11Pa

Primární vzduch.....1/4 otevření primárního vzduchu (otvor pod dvířky)

Sekundární vzduch.....mezera okolo dvířek a rámem krb. vložky

Hmotnostní tok paliva 4kg/h

Interval mezi měřeními.....2 min.

Rozložení paliva.....rovnoměrně po ploše

Počet kusů paliva 3ks

17.1.2 Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č.1

Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	215	0,14	0,56	20,26
2	251	0,52	3,65	15,9
4	281	0,3	6,27	12,44
6	295	0,27	7,68	10,58
8	303	0,26	7,98	10
10	315	0,34	9,06	8,41
12	318	0,3	8,89	8,54
14	330	0,19	8,44	9
16	330	0,16	8	9,59
18	330	0,14	7,72	9,9
20	321	0,12	6,94	10,9
22	319	0,1	6,29	11,68
24	308	0,1	6,07	12,06
26	299	0,12	5,25	13,07
28	292	0,12	4,91	13,49
30	283	0,13	4,93	13,45
32	266	0,15	3,31	15,69
34	250	0,22	2,65	16,54
36	235	0,25	2,3	17,04
38	225	0,28	2,16	17,31
40	217	0,3	2,19	17,36
42	205	0,33	2,1	17,56
44	200	0,34	1,91	17,85
45	195	0,33	1,81	17,96

Tab. 20

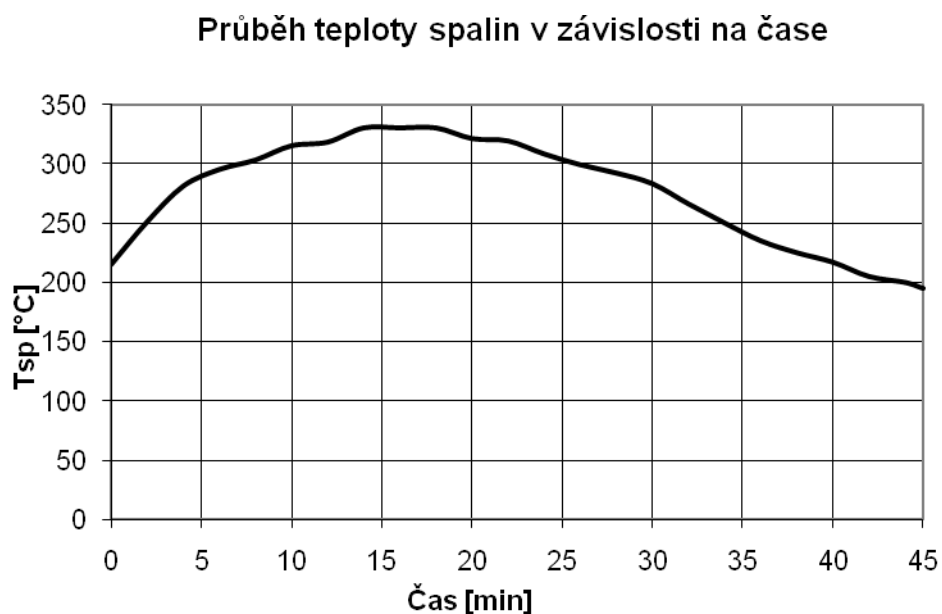
Tabulka průměrných hodnot – zkouška č.1

T _{ok}	T _{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
22	274,29	0,23	5,04	13,61

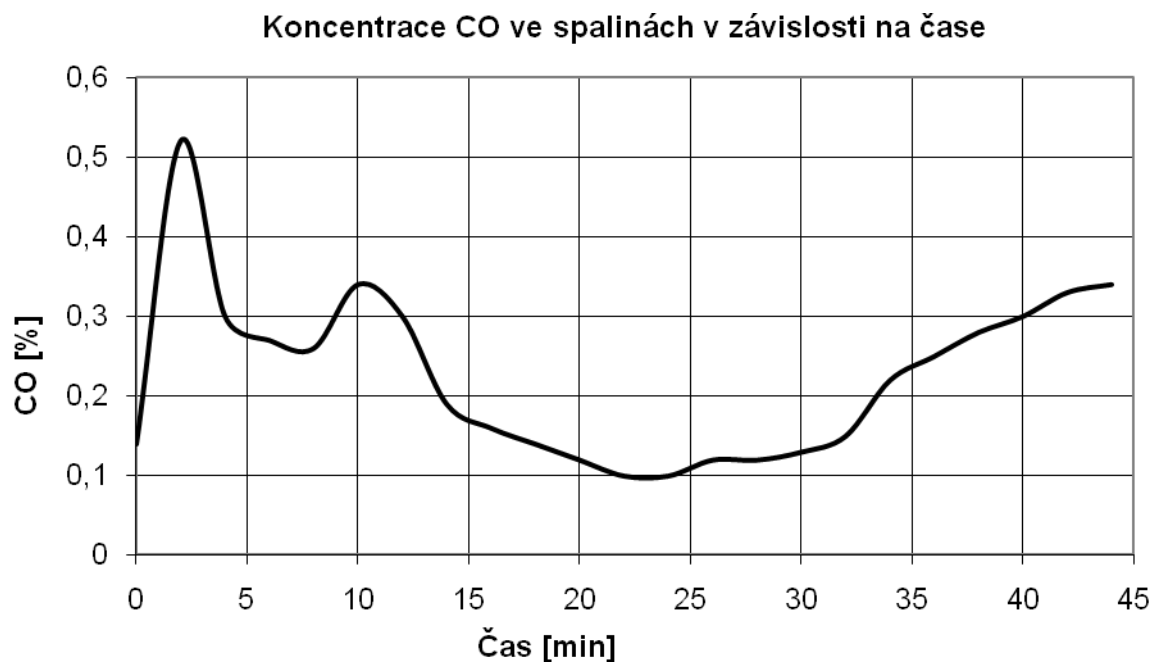
Tab. 21

17.1.3. Grafické zpracování naměřených hodnot

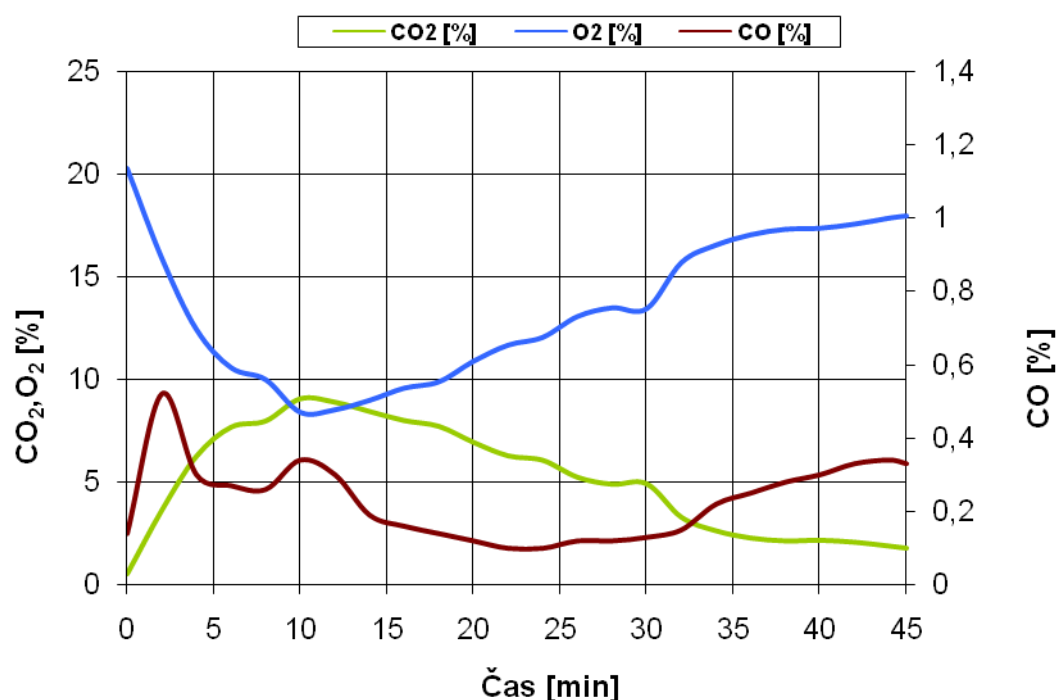
Graf 16.



Graf 17.



Graf 18.

Koncentrace CO, CO₂, O₂ ve spalínách v závislosti na čase

17.1.4 Tabulky naměřených a průměrných hodnot - zkouška č.2

Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	180	0,45	0,85	19,48
2	245	0,27	5,5	13,68
4	267	0,18	6,7	11,69
6	286	0,14	7,27	10,9
8	289	0,14	7,68	10,2
10	305	0,15	8,26	9,37
12	311	0,13	7,96	9,72
14	321	0,14	8,19	9,41
16	312	0,1	7,7	10,06
18	310	0,09	7,18	10,64
20	307	0,09	6,27	11,94
22	302	0,09	5,84	12,47
24	295	0,1	5,54	12,84
26	291	0,1	5,29	13,15
28	292	0,12	5,03	13,52
30	287	0,11	5,3	12,96
32	268	0,17	3	16,2
34	256	0,2	2,66	16,66
36	243	0,26	2,48	16,98
38	229	0,31	2,3	17,25
40	227	0,37	2,22	17,4
42	218	0,34	2,16	17,54
44	211	0,25	2	17,78
45	207	0,34	1,96	17,84

Tab. 22

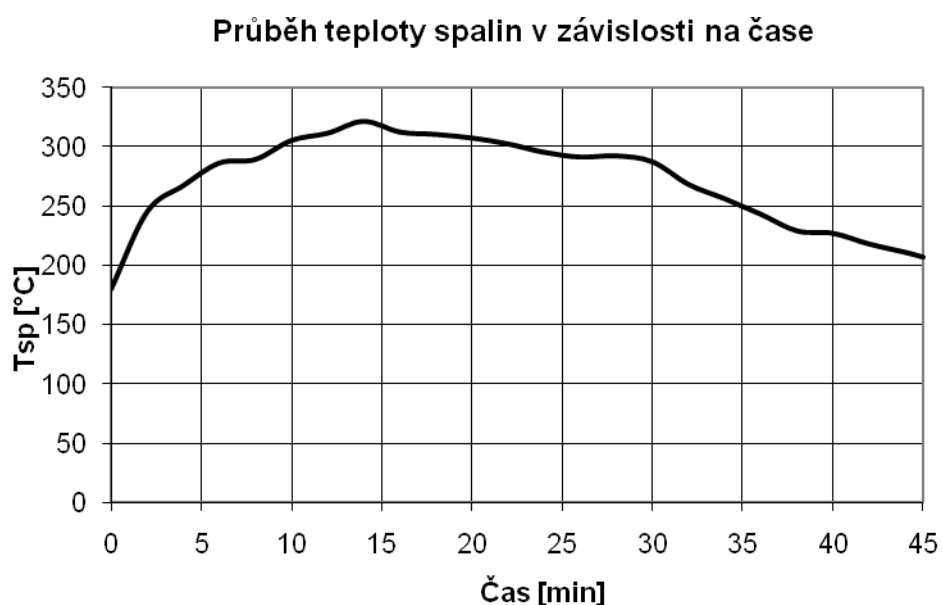
Tabulka průměrných hodnot – zkouška č.2

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
23,50	269,13	0,19	4,97	13,74

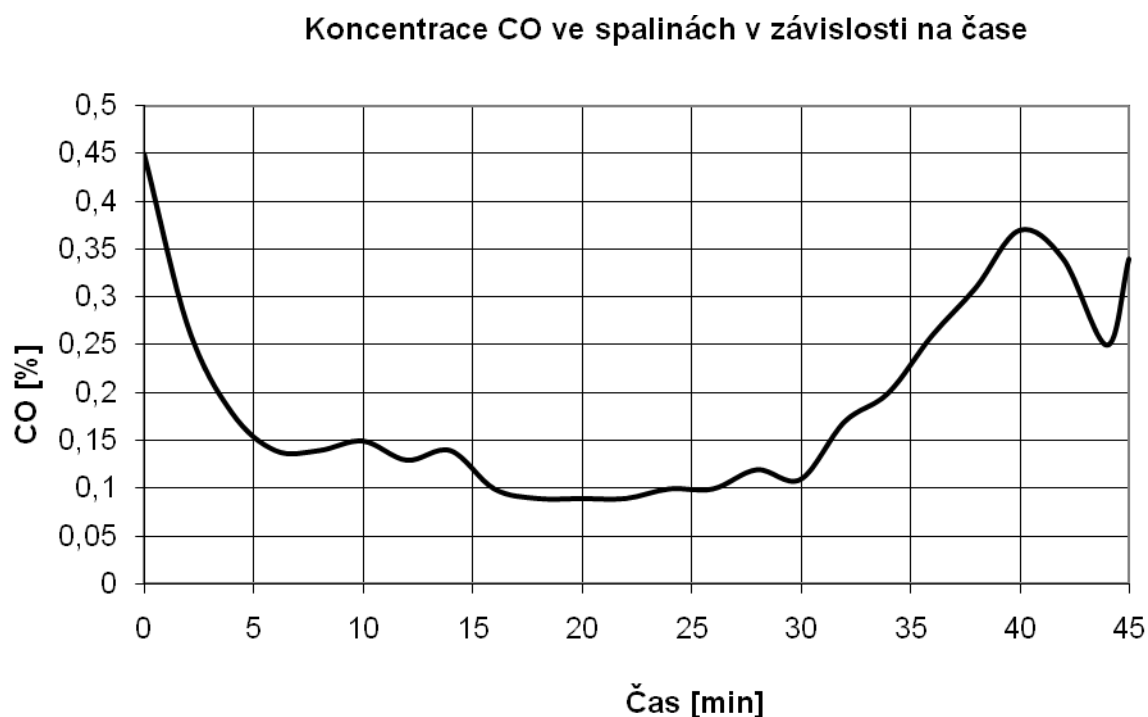
Tab. 23

17.1.5 Grafické zpracování naměřených hodnot

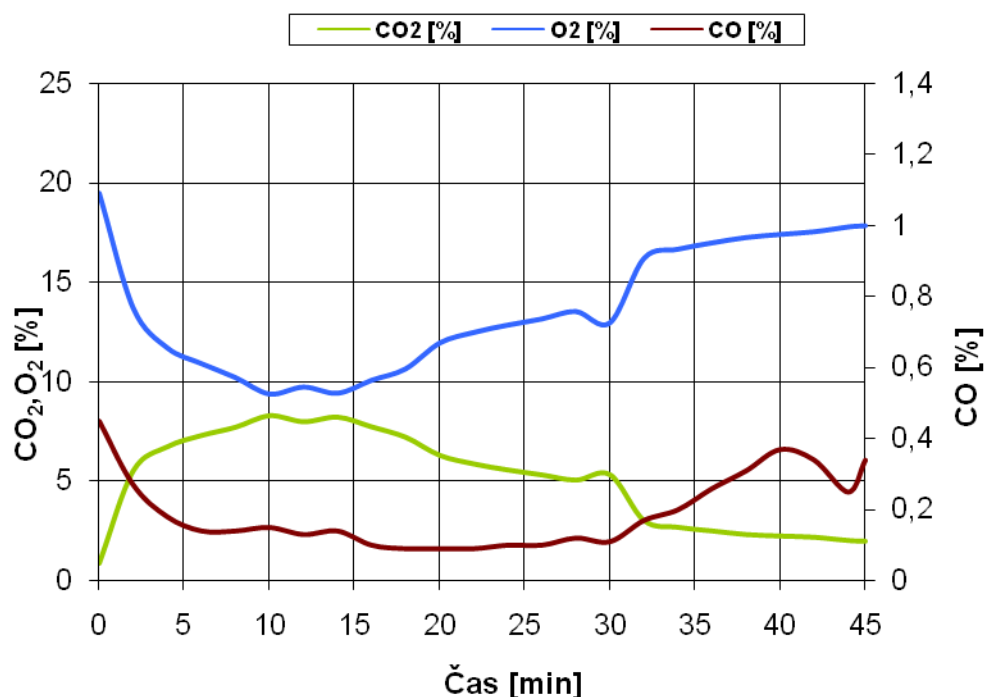
Graf 19.



Graf 20.



Graf 21.

Koncentrace CO, CO₂, O₂ ve spalínách v závislosti na čase

17.1.6 Tabulky naměřených a průměrných hodnot - zkouška č.3

Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	175	0,65	1,03	19,23
2	236	0,8	0,99	19,46
4	250	0,35	6,76	12,01
6	266	0,34	6,82	11,73
8	280	0,16	7,26	10,86
10	304	0,21	8,77	8,66
12	317	0,14	8,08	9,47
14	327	0,15	8,08	9,49
16	344	0,12	8,03	9,41
18	345	0,12	8,14	9,15
20	348	0,13	8,16	9,08
22	338	0,11	7,3	10,35
24	321	0,1	5,83	12,21
26	325	0,11	5,84	12,2
28	314	0,13	4,86	13,68
30	284	0,18	3,7	15,23
32	265	0,26	2,93	16,29
34	248	0,29	3,62	16,77
36	241	0,3	2,46	17
38	236	0,32	2,4	17,17
40	227	0,38	2,25	17,36
42	220	0,42	2,22	17,43
44	210	0,41	2,04	17,68
45	212	0,43	2,09	17,6

Tab. 24

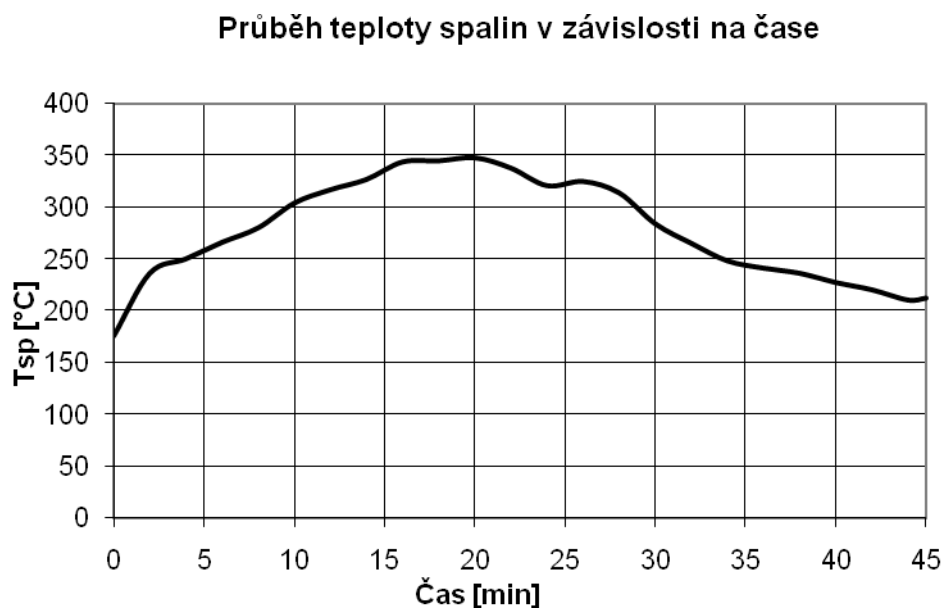
Tabulka průměrných hodnot – zkouška č.3

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
25,50	276,38	0,28	4,99	13,73

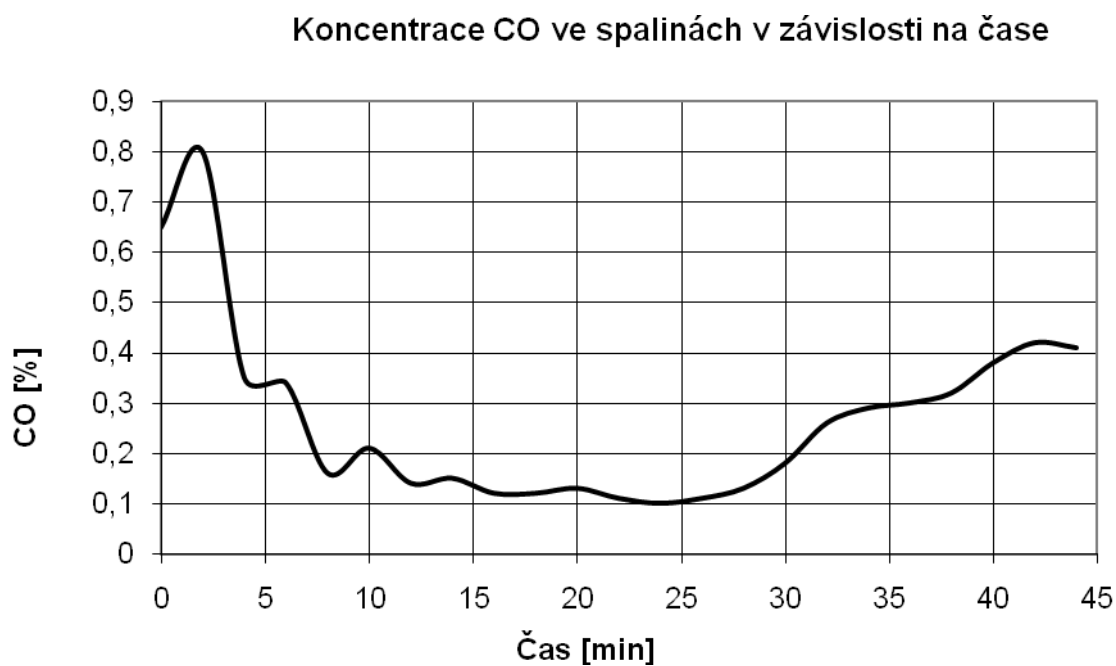
Tab. 25

17.1.7 Grafické zpracování naměřených hodnot

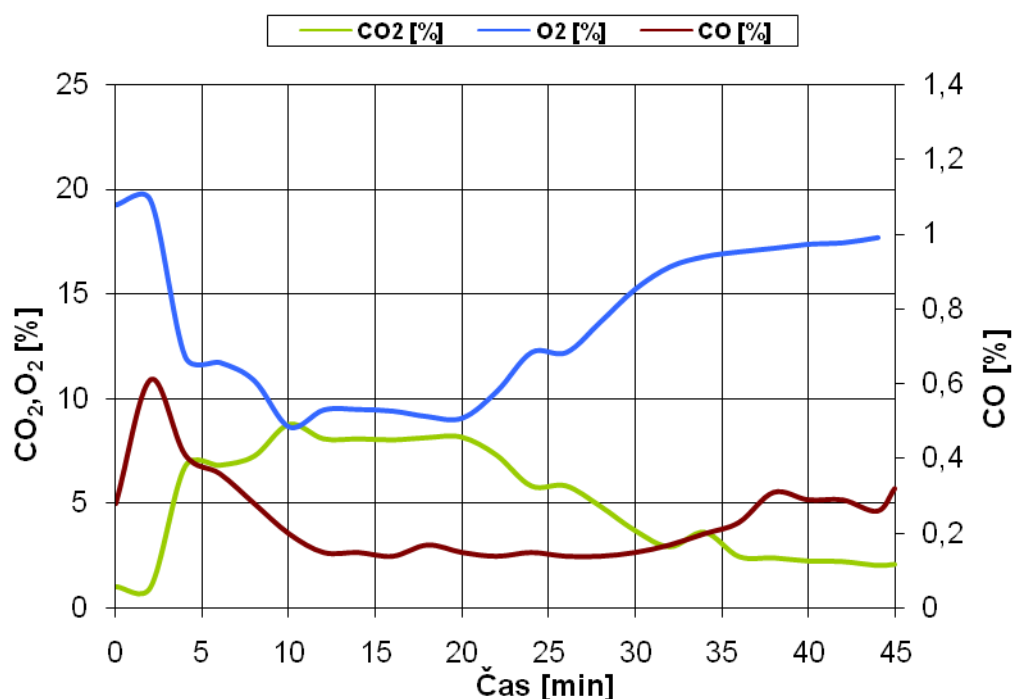
Graf 22.



Graf 23.



Graf 24.

Koncentrace CO, CO₂, O₂ ve spalínách v závislosti na čase

17.1.8. Průměrné hodnoty z experimentu č.1

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
23,7	273,26	0,23	5,00	13,69

Tab. 26

17.2 Vypočtené hodnoty experimentu č.1

Vstupní hodnoty pro výpočet:

m_{pv}	Celková hmotnost spáleného paliva	21	kg
m_{zi}	Hmotnost tuhých zbytků spalování propadlých roštem	0,26	kg
$\dot{m}_{pvs}$	Hmotnostní tok paliva spáleného při jednotlivých zkouškách	4	kg/h
R	Hmotnostní podíl tuhých zbytků ve vztahu k hmotnosti zkušebního paliva	1,24	%
c_{pmd}	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalín	1,34	kJ/Km ₃
c_{pmH_2O}	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry	1,54	kJ/Km ₃
C_r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu	0,22	%
t_{ok}	Průměrná teplota okolí	23,7	°C

Tab. 27

Vypočtené hodnoty dle příkladu výpočtu v experimentu č.1 v měření bez deflektoru:

q_a	Poměrná ztráta citelným teplem spalin	35,6	%
q_b	Poměrná ztráta plynným nedopalem	2,9	%
q_r	Poměrná ztráta mech. nedopalem	0,44	%
η	Účinnost krbové vložky	61	%
P_p	Tepelný příkon krbové vložky	18,67	kW
P_{kv}	Tepelný výkon krbové vložky	11,48	kW
$CO_{př}$	Koncentrace CO ve spalinách	0,25	%
α	Součinitel přebytku vzduchu ve spalinách	1,79	-

Tab. 28

17.3 Experiment č.2

17.3.1 Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky

Statický tah.....11Pa

Primární vzduch.....1/8 otevření primárního vzduchu (otvor pod dvířky)

Sekundární vzduch.....mezera okolo dvířek a rámem krb. vložky

Hmotnostní tok paliva 4kg/h

Interval mezi měřeními.....2 min.

Rozložení paliva.....rovnoměrně po ploše

Počet kusů paliva 3ks

17.3.2 Tabulky naměřených a průměrných hodnot – zkouška č. 1

Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	215	0,14	0,56	20,26
2	251	0,52	3,65	15,9
4	281	0,3	6,27	12,44
6	295	0,27	7,68	10,58
8	303	0,26	7,98	10
10	315	0,34	9,06	8,41
12	318	0,3	8,89	8,54
14	330	0,19	8,44	9
16	330	0,16	8	9,59
18	330	0,14	7,72	9,9
20	321	0,12	6,94	10,9
22	319	0,1	6,29	11,68
24	308	0,1	6,07	12,06
26	299	0,12	5,25	13,07
28	292	0,12	4,91	13,49
30	283	0,13	4,93	13,45
32	266	0,15	3,31	15,69
34	250	0,22	2,65	16,54
36	235	0,25	2,3	17,04
38	225	0,28	2,16	17,31
40	217	0,3	2,19	17,36
42	205	0,33	2,1	17,56
44	200	0,34	1,91	17,85
45	195	0,33	1,81	17,96

Tab. 29

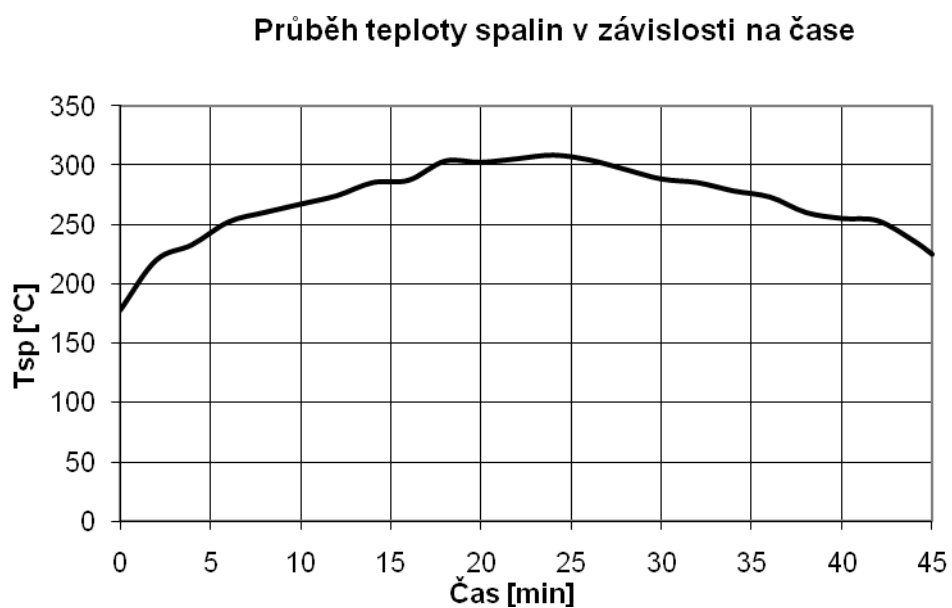
Tabulka průměrných hodnot – zkouška č. 1

T _{ok} °C	T _{sp} °C	CO %obj.	CO ₂ %obj.	O ₂ %obj.
22	274,29	0,23	5,04	13,61

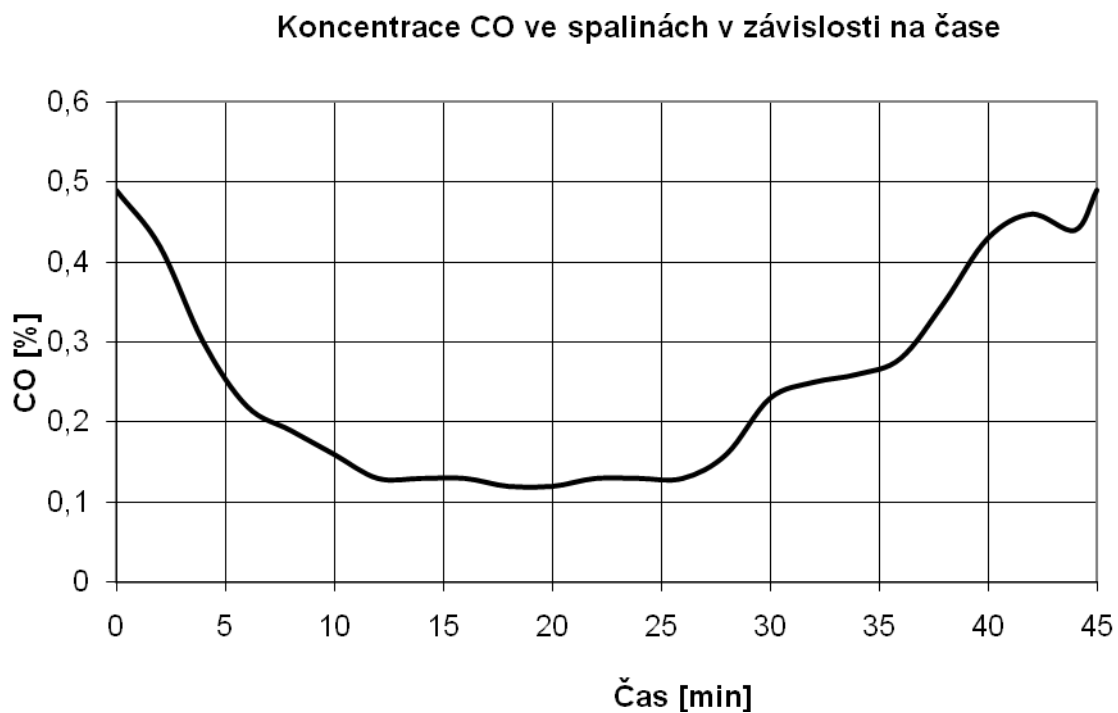
Tab. 30

17.3.3 Grafické zpracování naměřených hodnot

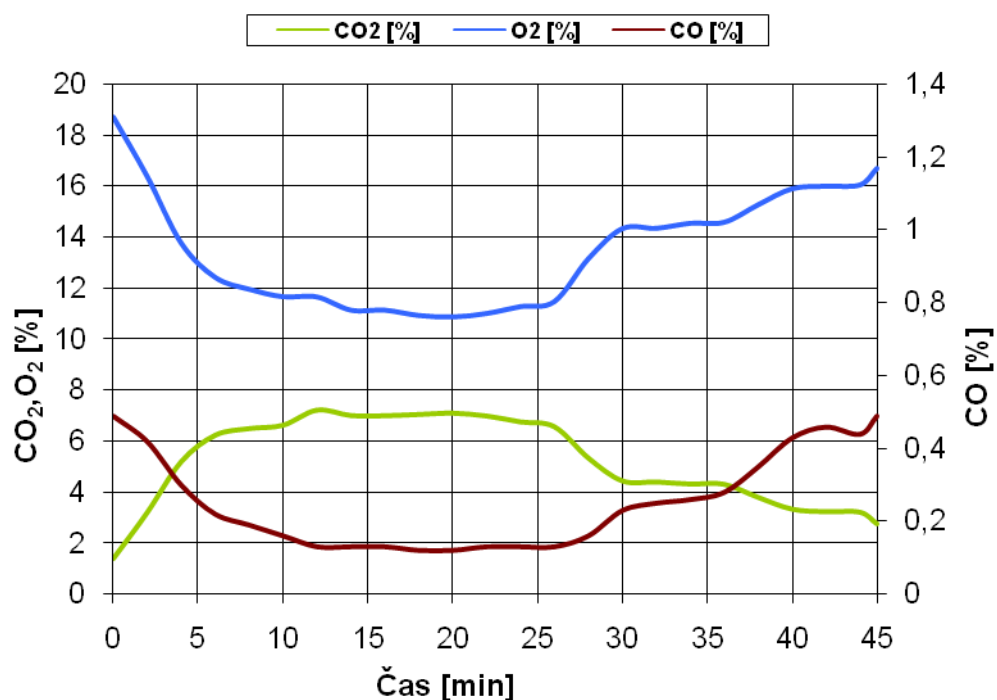
Graf 25.



Graf 26.



Graf 27.

Koncentrace CO, CO₂, O₂ ve spalinách v závislosti na čase

17.3.4 Tabulky naměřených a průměrných hodnot - zkouška č.2

Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	203	0,6	0,74	19,6
2	225	0,47	2,03	17,8
4	257	0,29	4,89	14
6	270	0,22	5,8	13,04
8	282	0,16	6,6	11,83
10	296	0,12	7,23	10,8
12	313	0,12	7,82	9,79
14	322	0,11	7,93	9,7
16	319	0,1	7,6	9,9
18	323	0,1	7,24	10,72
20	323	0,1	6,87	11,12
22	319	0,1	6,94	10,96
24	321	0,1	6,8	11,12
26	321	0,09	6,69	11,26
28	322	0,09	6,67	11,26
30	309	0,1	6,32	11,75
32	293	0,15	4,72	13,94
34	283	0,2	3,99	14,99
36	274	0,24	3,73	15,4
38	269	0,22	3,82	15,27
40	261	0,19	4,06	14,94
42	237	0,31	3,53	17,06
44	231	0,35	2,29	17,41
45	244	0,33	2,24	17,48

Tab. 31

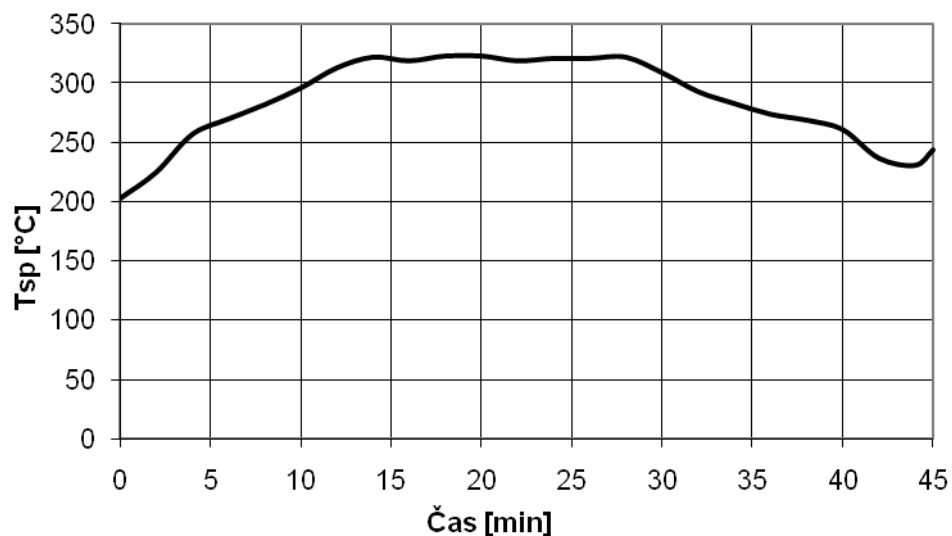
Tabulka průměrných hodnot – zkouška č.2

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
27,00	284,04	0,20	5,27	13,38

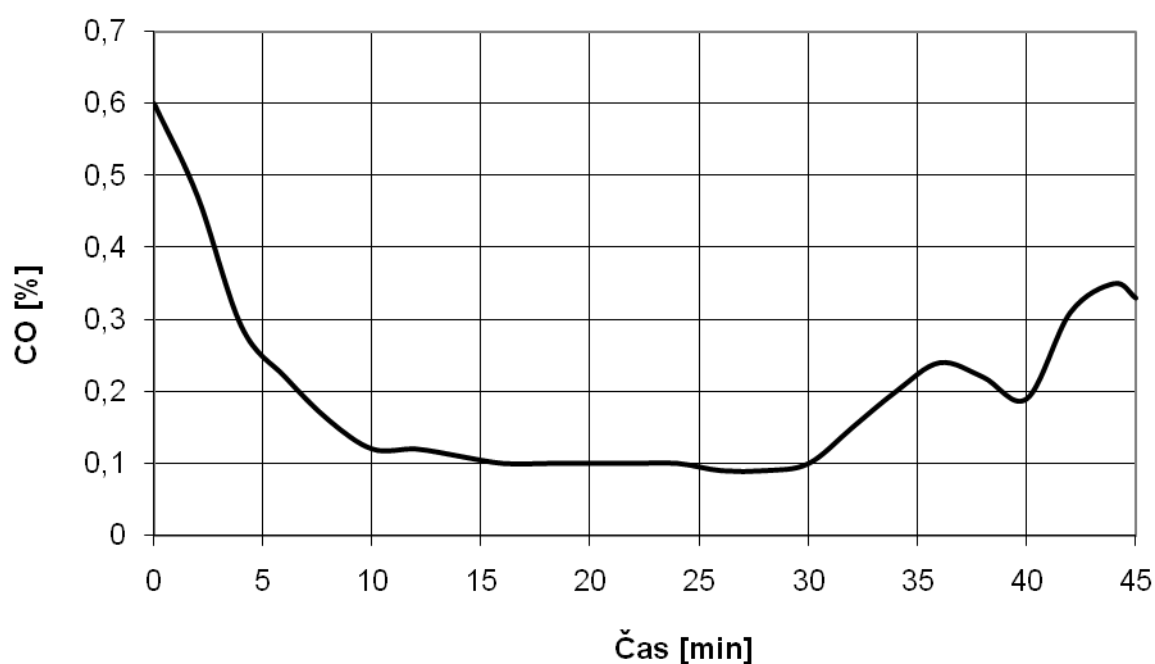
Tab. 32

17.3.5 Grafické zpracování naměřených hodnot

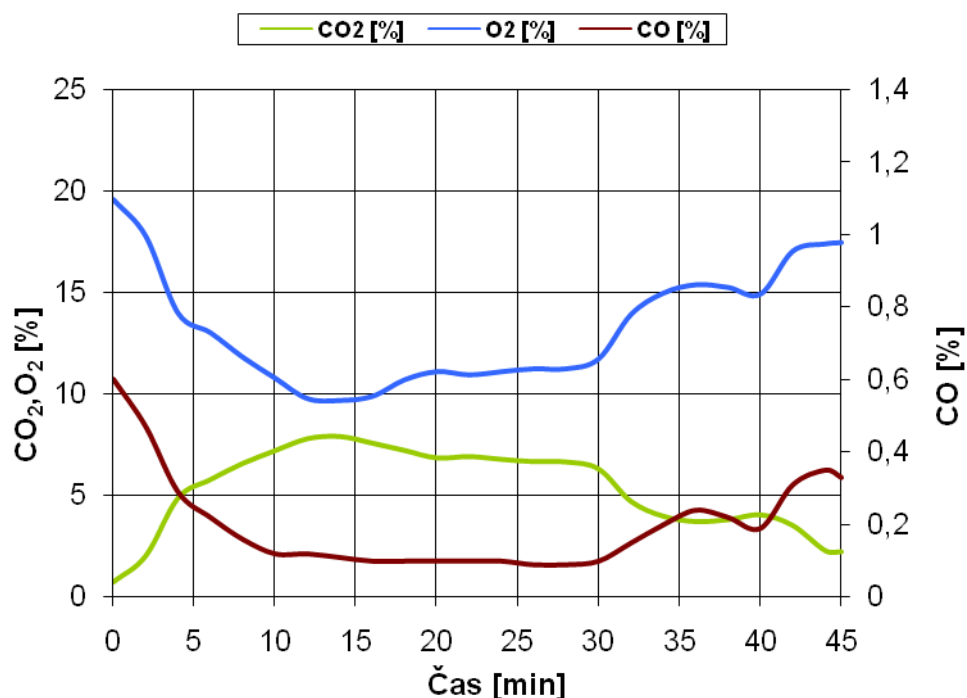
Graf 28.

Průběh teploty spalin v závislosti na čase

Graf 29.

Koncentrace CO ve spalinách v závislosti na čase

Graf 30.

Koncentrace CO , CO_2 , O_2 ve spalinách v závislosti na čase

17.3.6 Průměrné hodnoty z experimentu č. 2

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO_2	O_2
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	%obj.	%obj.	%obj.
26,5	275,92	0,23	5,22	13,46

Tab.33

17.4 Vypočtené hodnoty experimentu č. 2

Vstupní hodnoty pro výpočet:

m_{pv}	Celková hmotnost spáleného paliva	21	kg
m_{zi}	Hmotnost tuhých zbytků spalování propadlých roštem	0,26	kg
$\dot{m}_{\text{pvs}}$	Hmotnostní tok paliva spáleného při jednotlivých zkouškách	4	kg/h
R	Hmotnostní podíl tuhých zbytků ve vztahu k hmotnosti zkušebního paliva	1,24	%
c_{pmd}	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalin	1,34	kJ/Km_3
$c_{\text{pmH}_2\text{O}}$	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry	1,54	kJ/Km_3
C_r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu	0,22	%
t_{ok}	Průměrná teplota okolí	26,5	$^{\circ}\text{C}$

Tab. 34

Vypočtené hodnoty dle příkladu výpočtu v experimentu č. 1 v měření bez deflektoru:

q_a	Poměrná ztráta citelným teplem spalin	34,3	%
q_b	Poměrná ztráta plynným nedopalem	2,75	%
q_r	Poměrná ztráta mech. nedopalem	0,44	%
η	Účinnost krbové vložky	62,5	%
P_p	Tepelný příkon krbové vložky	18,67	kW
P_{kv}	Tepelný výkon krbové vložky	11,74	kW
$CO_{př}$	Koncentrace CO ve spalinách	0,24	%
α	Součinitel přebytku vzduchu ve spalinách	1,51	-

Tab. 35

17.5 Experiment č.3

17.5.1 Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky

Statický tah.....11Pa

Primární vzduch..... primární vzduch uzavřen (otvor pod dvířky)

Sekundární vzduch.....mezera okolo dvířek a rámem krb. vložky

Hmotnostní tok paliva 4kg/h

Interval mezi měřeními.....2 min.

Rozložení paliva.....rovnoměrně po ploše

Počet kusů paliva 2ks

17.5.2 Tabulka naměřených hodnot

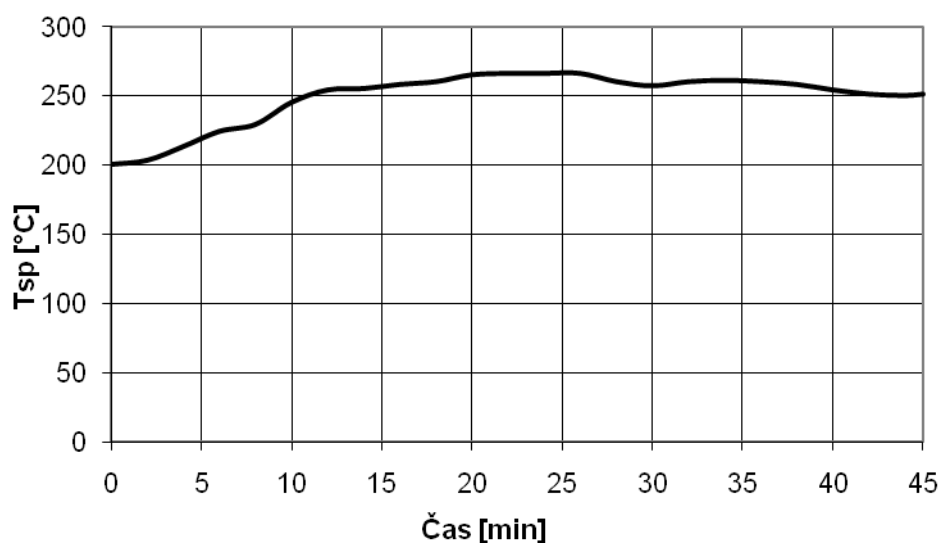
Čas [min]	T _{sp} [°C]	CO [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
0	200	0,22	0,74	19,8
2	203	0,4	1,77	18,45
4	213	0,43	2,97	16,8
6	224	0,31	4,18	15,29
8	229	0,27	4,35	15,12
10	245	0,18	4,93	14,15
12	254	0,19	5,3	13,79
14	255	0,2	5,16	13,96
16	258	0,19	5,05	14,1
18	260	0,17	5,12	13,91
20	265	0,17	5,09	13,94
22	266	0,16	4,85	14,24
24	266	0,15	4,78	14,36
26	266	0,15	4,61	14,62
28	260	0,14	4,56	14,69
30	257	0,15	4,55	14,69
32	260	0,16	4,51	14,7
34	261	0,15	4,48	14,74
36	260	0,16	4,35	14,92
38	258	0,22	3,82	15,27
40	254	0,16	4,02	15,33
42	251	0,15	3,87	15,58
44	250	0,16	3,87	15,54
45	251	0,16	3,61	15,89

Tab. 36

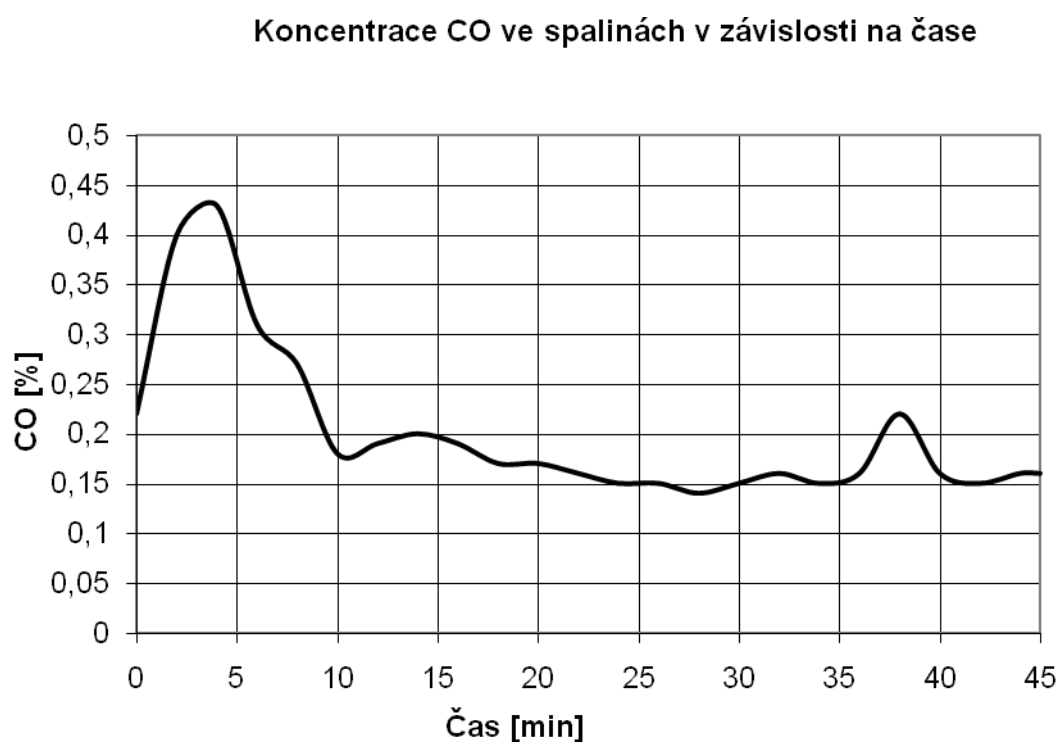
17.5.3 Grafické zpracování naměřených hodnot

Graf 31.

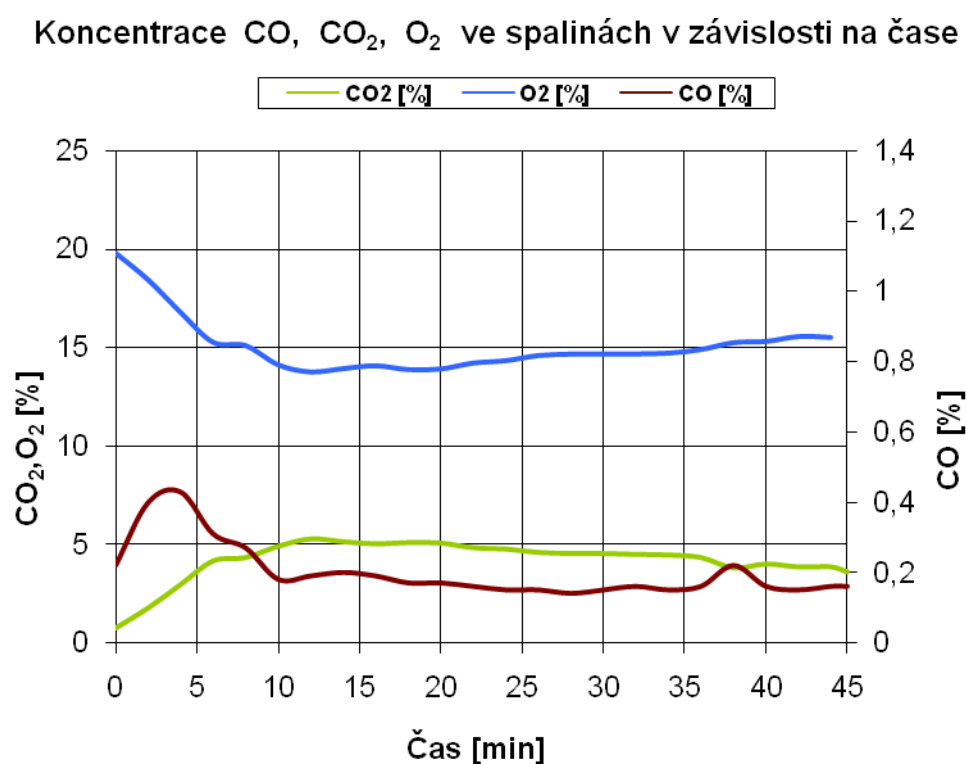
Průběh teploty spalin v závislosti na čase



Graf 32.



Graf 33.



17.5.4 Průměrné hodnoty z experimentu č. 3

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
28,0	248,58	0,20	4,19	15,16

Tab. 37

17.6 Vypočtené hodnoty experimentu č. 3

Vstupní hodnoty pro výpočet:

m_{pv}	Celková hmotnost spáleného paliva	21	kg
m_{zi}	Hmotnost tuhých zbytků spalování propadlých roštem	0,26	kg
$\dot{m}_{pvs}$	Hmotnostní tok paliva spáleného při jednotlivých zkouškách	4	kg/h
R	Hmotnostní podíl tuhých zbytků ve vztahu k hmotnosti zkušebního paliva	1,24	%
c_{pmd}	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalin	1,33	kJ/Km ₃
c_{pmH_2O}	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry	1,53	kJ/Km ₃
C_r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu	0,22	%
t_{ok}	Průměrná teplota okolí	28	°C

Tab. 38

Vypočtené hodnoty dle příkladu výpočtu v experimentu č. 1 v měření bez deflektoru:

q_a	Poměrná ztráta citelným teplem spalin	36,9	%
q_b	Poměrná ztráta plynným nedopalem	2,98	%
q_r	Poměrná ztráta mech. nedopalem	0,44	%
η	Účinnost krbové vložky	59,6	%
P_p	Tepelný příkon krbové vložky	18,67	kW
P_{kv}	Tepelný výkon krbové vložky	11,22	kW
CO _{př}	Koncentrace CO ve spalinách	0,27	%
α	Součinitel přebytku vzduchu ve spalinách	1,21	-

Tab. 39

17.7 Experiment č. 4

17.7.1 Nastavení spotřebiče a parametry zkoušky

Statický tah.....11Pa

Primární vzduch..... 1/8 otevření primárního vzduchu (otvor pod dvířky)

Sekundární vzduch.....mezera okolo dvířek a rámem krb. vložky

Hmotnostní tok paliva 4kg/h

Interval mezi měřeními.....2 min.

Rozložení paliva.....rovnoměrně po ploše

Počet kusů paliva 2ks

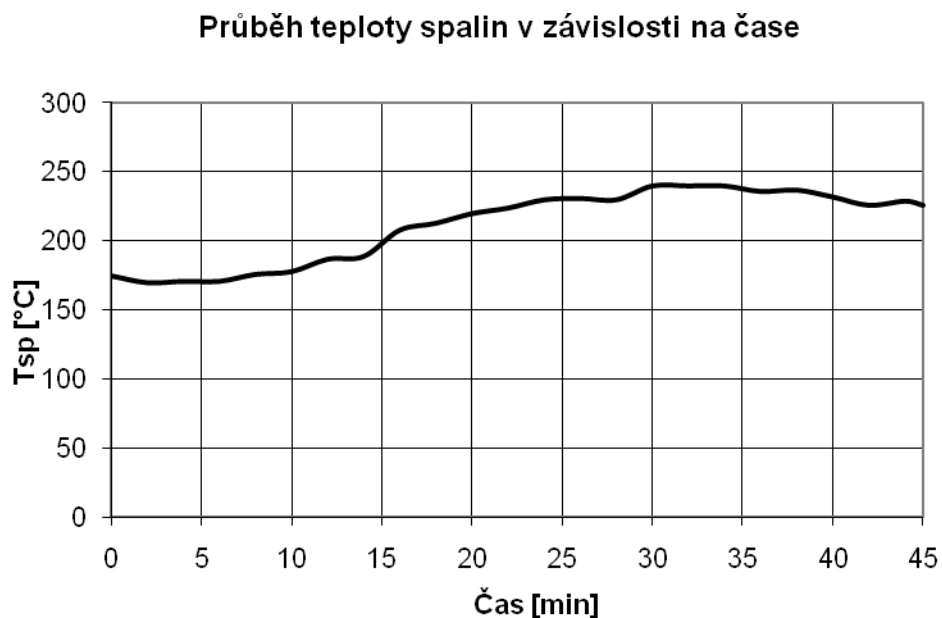
17.7.2 Tabulka naměřených hodnot

Čas	T _{sp}	CO	CO ₂	O ₂
[min]	[°C]	[%]	[%]	[%]
0	175	0,17	0,81	19,8
2	170	0,3	1,1	19,1
4	171	0,43	1,56	18,7
6	171	0,41	2,02	18,33
8	176	0,4	2,23	18,16
10	178	0,4	2,46	17,9
12	187	0,37	2,6	17,78
14	189	0,32	3,09	17
16	208	0,29	3,6	16,3
18	213	0,22	4,04	15,71
20	220	0,2	4,27	15,35
22	224	0,19	4,24	15,35
24	230	0,19	4,28	15,25
26	231	0,18	4,23	15,26
28	230	0,17	4,2	15,3
30	240	0,16	4,14	15,35
32	240	0,15	4,16	15,2
34	240	0,14	4,26	15,16
36	236	0,14	4,05	15,45
38	237	0,16	3,77	15,84
40	232	0,15	3,47	16,24
42	226	0,15	3,36	16,38
44	229	0,16	3,35	16,38
45	226	0,15	3,32	16,4

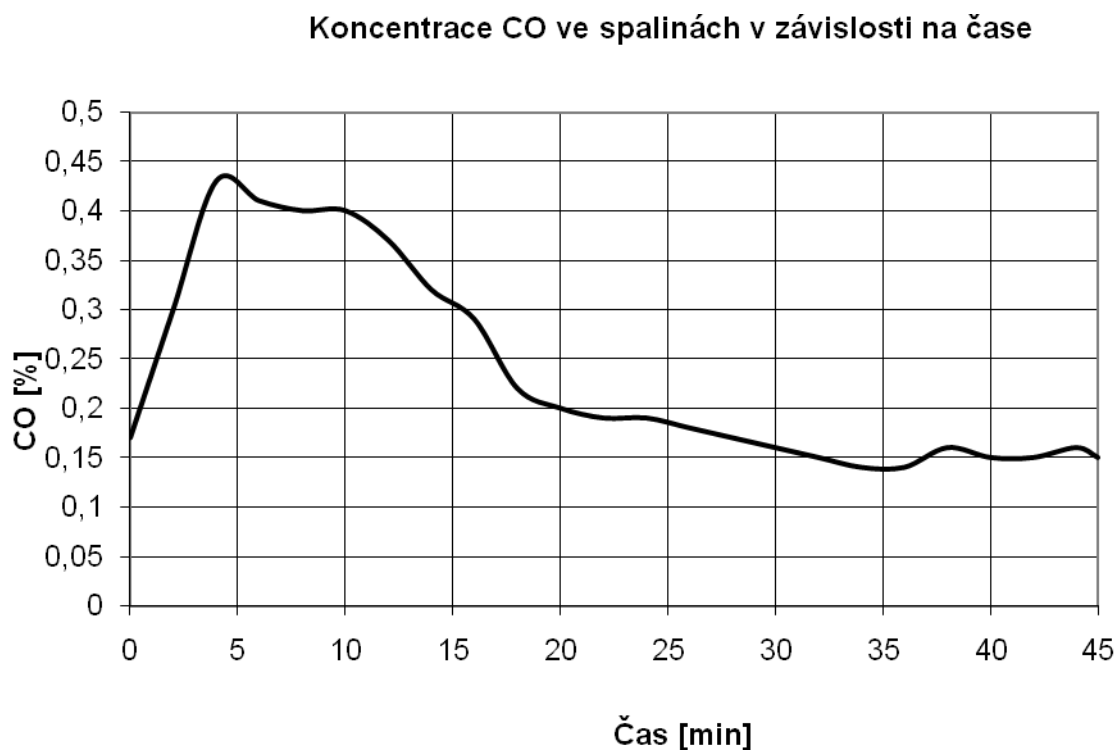
Tab.40

17.7.3 Grafické zpracování naměřených hodnot

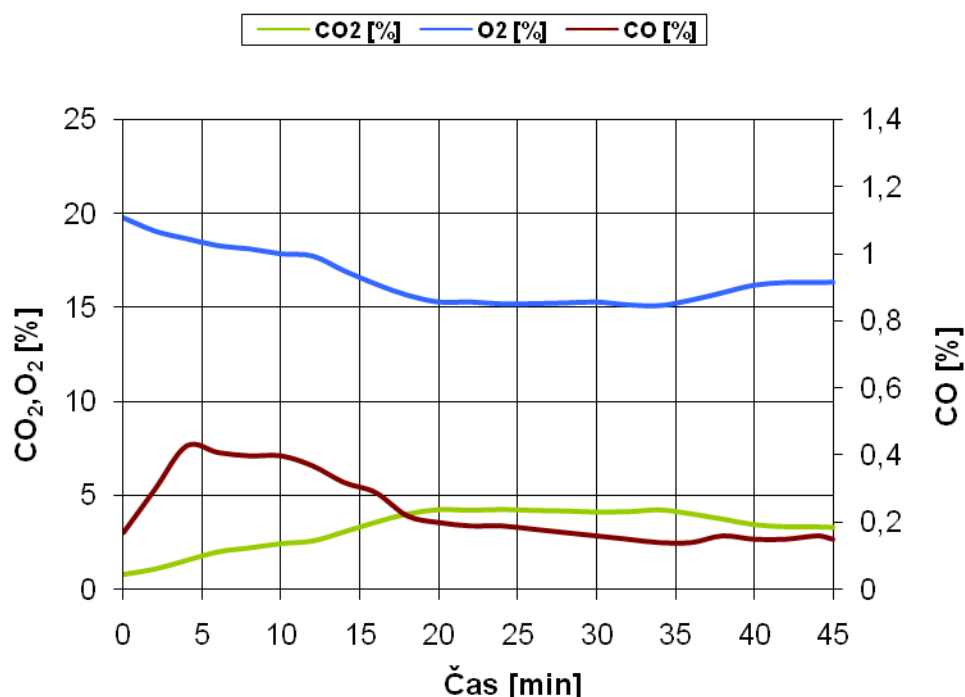
Graf 34



Graf 35.



Graf 36.

Koncentrace CO , CO_2 , O_2 ve spalínách v závislosti na čase

17.7.4 Průměrné hodnoty z experimentu č. 3

T_{ok}	T_{sp}	CO	CO ₂	O ₂
°C	°C	%obj.	%obj.	%obj.
27,0	211,63	0,23	3,28	16,57

Tab. 41

17.8 Vypočtené hodnoty experimentu č. 4

Vstupní hodnoty pro výpočet:

m_{pv}	Celková hmotnost spáleného paliva	21	kg
m_{zi}	Hmotnost tuhých zbytků spalování propadlých roštem	0,26	kg
$\dot{m}_{pvs}$	Hmotnostní tok paliva spáleného při jednotlivých zkouškách	4	kg/h
R	Hmotnostní podíl tuhých zbytků ve vztahu k hmotnosti zkušební paliva	1,24	%
c_{pmd}	Střední měrná tepelná kapacita suchých spalín	1,32	kJ/Km ₃
c_{pmH_2O}	Střední měrná tepelná kapacita vodní páry	1,52	kJ/Km ₃
C_r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu	0,22	%
t_{ok}	Průměrná teplota okolí	27	°C

Tab. 42

Vypočtené hodnoty dle příkladu výpočtu v experimentu č. 1 v měření bez deflektoru:

q_a	Poměrná ztráta citelným teplem spalin	37,9	%
q_b	Poměrná ztráta plynným nedopalem	4,35	%
q_r	Poměrná ztráta mech. nedopalem	0,44	%
η	Účinnost krbové vložky	57,2	%
P_p	Tepelný příkon krbové vložky	18,67	kW
P_{kv}	Tepelný výkon krbové vložky	10,77	kW
$CO_{př}$	Koncentrace CO ve spalinách	0,42	%
α	Součinitel přebytku vzduchu ve spalinách	1,3	-

Tab. 43

18. Závěrečné zhodnocení výsledků měření

Z měření vyplývá, že daný vzorek krbové vložky nesplnil očekávanou účinnost 70%. Při dvou téměř rovnocenných experimentech z prvního a druhého dne zkoušek, jak je patrné z tabulky 44, dosáhl při zapojení bez deflektoru účinnosti kolem 50%, což ho řadí do 3 třídy účinnosti spotřebiče a s deflektorem došlo k nárůstu na 61% což odpovídá 2 třídě účinnosti. Maximální účinnosti 62,5% bylo dosaženo při zapojení s deflektorem na 1/8 primárního vzduchu. Při použití deflektoru, jak je patrné z grafů níže, dále podle očekávání klesla teplota ve spalinovodu, emise CO_2 a emise CO zůstaly přibližně na stejné hodnotě a zařadily vložku do 1 třídy emise CO spotřebiče. V grafu srovnávajícím emise CO je patrná špička v průběhu v zapojení s deflektorem, která byla zřejmě způsobena zahájením měření při jedné ze zkoušek prvního experimentu s deflektorem dříve, než došlo ke vznícení paliva. Dále byl pak podle očekávání vypočítán nejmenší přebytek vzduchu u experimentu 3 v zapojení s deflektorem, kdy byl otvor primárního nasávaného vzduchu zcela uzavřen a vložka si nasávala pouze falešný vzduch kolem dvířek.

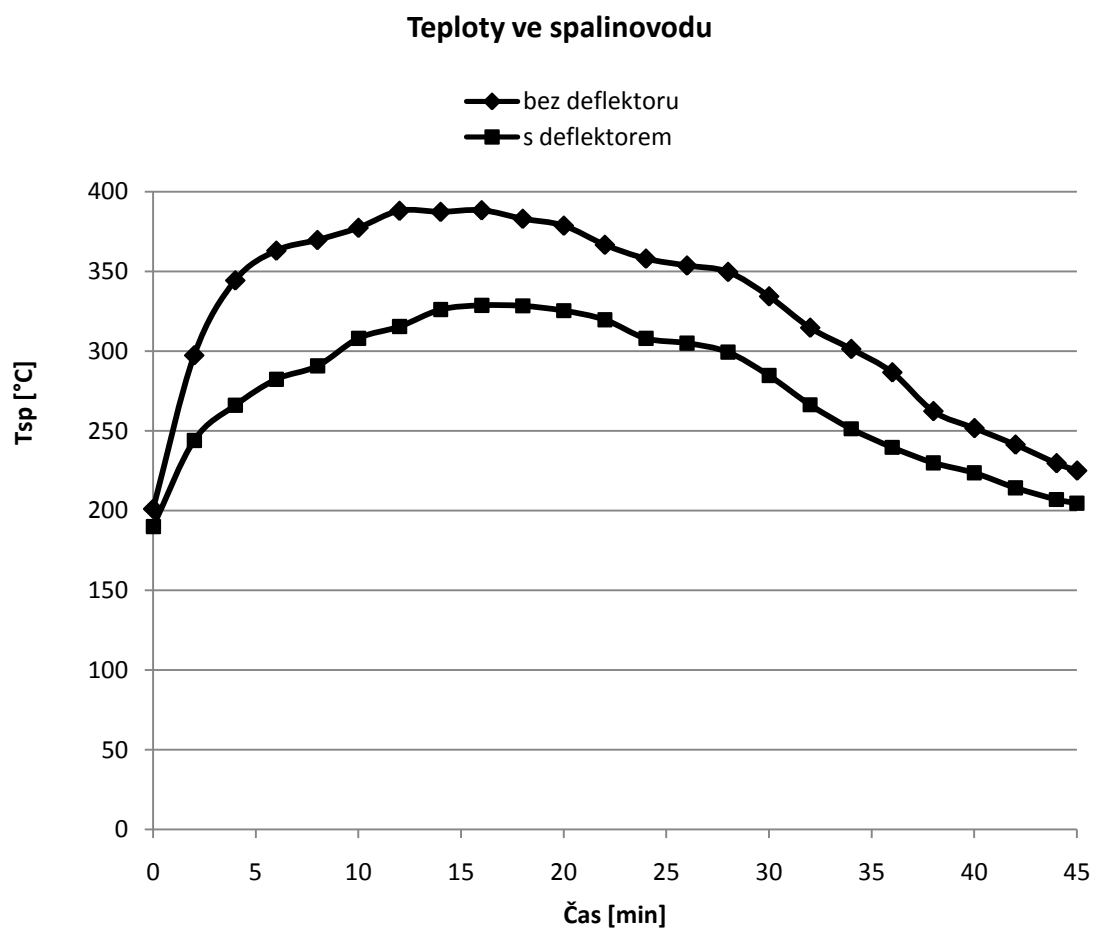
Po tomto změření krbové vložky je zcela zřejmé, že dalším krokem v konstrukci této vložky pro dosažení větší účinnosti by mělo být zvětšení plochy deflektoru a nebo doplnění prostoru nad ohništěm další výměňkovou plochou.

Porovnání jednotlivých výsledků měření:

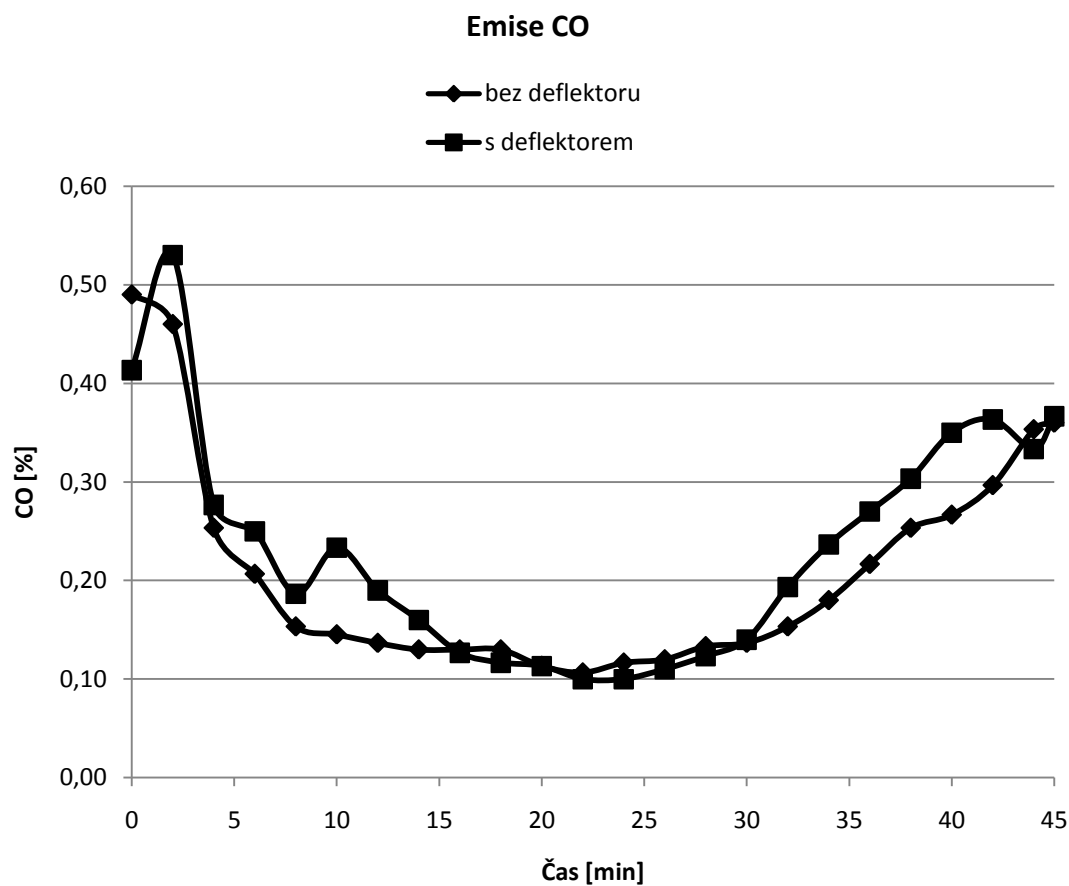
		η (%)	P_{KV} (kW)	CO_{PR} (%)		q_a (%)	q_b (%)	q_r (%)	α (-)
Bez deflektoru	Experiment 1	49,8	9,25	0,24	0,14	47,5	2,95	0,4	1,79
	Experiment 2	50,2	9,46	0,25	0,15	46,2	3,11	0,47	1,62
S deflektorem	Experiment 1	61	11,48	0,25	0,16	35,6	2,9	0,44	1,79
	Experiment 2	62,5	11,74	0,24	0,13	34,3	2,75	0,44	1,51
	Experiment 3	59,7	11,22	0,27	0,09	36,92	2,98	0,44	1,21
	Experiment 4	57,2	10,77	0,42	0,12	37,97	4,35	0,44	1,3

Tab. 44

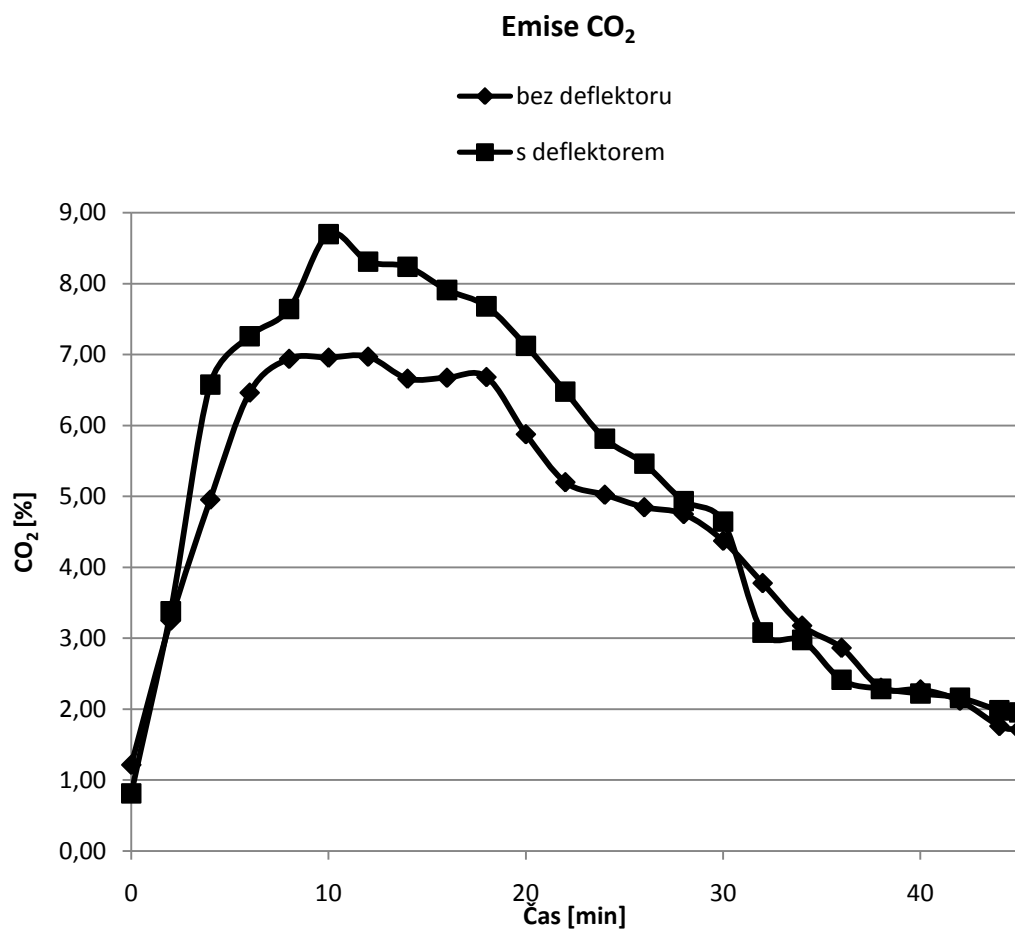
Graf 37.



Graf 38.



Graf 39.



SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

A	Hmotnostní podíl popela v palivu	[%]
M_{sp}	Množství spáleného paliva	[kg/s]
C_i	Hmotnostní podíl uhlíku v příslušném zbytku spalování	[%]
C_r	Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku v palivu	[%]
C	Hmotnostní podíl uhlíku v palivu	[%]
C_z	Hmotnostní podíl uhlíku ve zbytcích spalování vztažený na výchozí hmotnost paliva	[%]
CO	Objemová koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách	[%]
CO ₂	Objemová koncentrace oxidu uhličitého ve spalinách	[%]
H	Hmotnostní podíl vodíku v palivu	[%]
N	Hmotnostní podíl dusíku v palivu	[%]
O	Hmotnostní podíl kyslíku v palivu	[%]
O ₂	Objemová koncentrace kyslíku ve spalinách	[%]
P_p	Tepelný příkon	[kW]
P_{kv}	Tepelný výkon	[kW]
H_U	Výhřevnost paliva	[kJ/kg]
H_S	Spalné teplo	[kJ/kg]
Q_a	Ztráty citelným teplem spalin ve vztahu k hmotnosti zkušebního paliva	[kJ/kg]
Q_b	Ztráty plynným nedopalem ve vztahu k hmotnosti zkušebního paliva	[kJ/kg]
Q_r	Ztráty mechanickým nedopalem ve vztahu k hmotnosti	[kJ/kg]
R	Hmotnostní podíl pevných zbytků spalování propadlých roštem ve vztahu k hmotnosti spáleného zkušebního paliva	[%]
S	Hmotnostní podíl síry v palivu	[%]
W	Hmotnostní podíl vody v palivu	[%]
f	Součinitel vlhkosti	[-]
c_{pmd}	Střední měrná kapacita suchých spalin při srovnávacích podmínkách v závislosti na teplotě a složení spalin	[kJ/Km ³]

c_{pmH_2O}	Střední měrná kapacita vodní páry při srovnávacích podmínkách v závislosti na teplotě	[kJ/Km ³]
m_{pv}	Celková hmotnost spáleného paliva	[kg]
m_{pvs}	Celková hmotnost spáleného paliva při jednotlivých zkouškách	[kg]
m_{zi}	Hmotnost tuhých zbytků spalování propadlých roštem	[kg]
$\dot{m}_{pvs}$	Hmotnostní tok paliva spáleného při jednotlivých zkouškách	[kg/h]
p	Tlak	[Pa]
t_{sp}	Teplota spalin	[°C]
t_{ok}	Teplota okolí	[°C]
α	Součinitel přebytku vzduchu	[-]
η_{kr}	Účinnost krbové vložky	[%]
q_a	Poměrná ztráta citelným teplem spalin ve vztahu k výhřevnosti zkušební paliva	[%]
q_b	Poměrná ztráta plynným nedopalem ve vztahu k výhřevnosti zkušební paliva	[%]
q_r	Poměrná ztráta mechanickým nedopalem ve vztahu k výhřevnosti zkušební paliva	[%]

Literatura

- [1] Budaj, F.: Parní kotle – podklady pro tepelný výpočet, nakladatelství VUT Brno, 1992
- [2] Rybín, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů, SNTL Praha, 1978
- [3] ČSN EN 13229 Vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva - Požadavky a zkušební metody, ČNI Praha, Březen 2002
- [4] Firemní literatura STEKO spol. s r.o. Blansko, 2008