

## KRBOVÁ KAMNA

Otakar Štelcl, Jiří Moskalík, Jan Škvařil

*Práce se věnuje konstrukci spalovací komory z hlediska použití a rozmístění jednotlivých komponent (klenba, oplach skla, tryska terciárního vzduchu), vlivu těchto komponent na účinnost spalování a praktické zkoušky zhotoveného prototypu krbových kamen.*

Klíčová slova: účinnost, krbová kamna, terciární tryska

### ÚVOD

Biomasa – neustále opakované heslo, které má v dnešní době zvyšujících se emisí oxidu uhličitého velký význam. Tato energetická surovina je z ekologického hlediska velmi důležitá, neboť jejím spalováním vzniká pouze takové množství  $\text{CO}_2$ , které bylo spotřebováno k jejímu růstu. Mluvíme tedy o nulovém procesu z hlediska bilance  $\text{CO}_2$ .

Mezi jeden ze způsobů energetického využití biomasy patří spalování dřeva v lokálních topeništích. Využívání krbových kamen a vložek jako doplňkového zdroje vytápění je v dnešní době rychlého růstu cen energií velmi prozíravou alternativou. V porovnání s jinými variantami vytápění patří krbová kamna mezi levnější zdroje z hlediska pořizovacích i provozních nákladů. [1]

Spalování tuhé biomasy oproti spalování pevných fosilních paliv probíhá odlišně. Palivo pro krbová kamna- dřevo popřípadě dřevní brikety má vysoký obsah prchavé hořlaviny (okolo 70-80%) oproti uhlí (okolo 20-45%). Dřevo hoří dlouhým plamenem z čehož plyne odlišná konstrukce spalovací komory. Tuto skutečnost je nutno zohlednit již při návrhu spalovacího zařízení volbou dostatečně velkého dohořivacího prostoru, zajištění dostatečné teploty v celé spalovací komoře a přivedením dostatečného množství vzduchu ve více úrovních (primární, sekundární, popřípadě terciární).

### KONSTRUKCE A ÚČINNOST SPALOVACÍ KOMORY

Mezi nejsledovanější parametry krbových vložek a kamen patří účinnost. Tato veličina je úzce spjata s geometrií ohniště a s dokonalostí promíchání okysličovadla s hořlavinou. Efektivita záleží na:

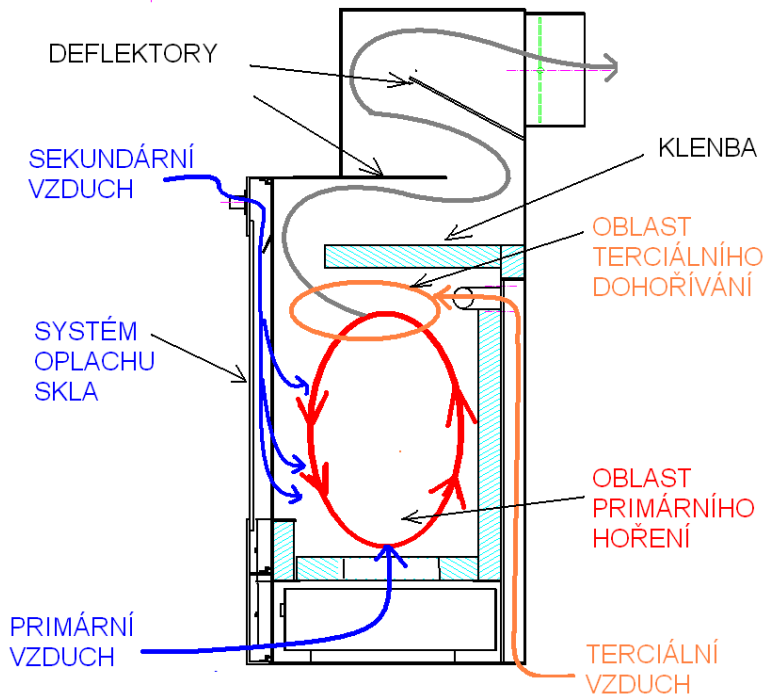
- teplotě a množství spalin opouštějící kamna
- koncentraci CO
- součiniteli přebytku vzduchu
- teplotě spalování
- rychlosti proudění spalin kolem výhřevných ploch
- geometrii ohniště a spalinovodu

Účinnost se u krbových kamen určuje nepřímou metodou. Ze sta procent se odečítají jednotlivé ztráty:

- ztráta citelným teplem spalin
- ztráta chemickým nedopalem
- ztráta mechanickým nedopalem

Největší podíl na snížení účinnosti má ztráta citelným teplem spalin. Přebytečné množství nasávaného kyslíku rozředí spaliny, sníží teplotu plamene, která má majoritní vliv na hodnotu přestupu tepla radiací. Komínem unikne velký objem spalin o vysoké teplotě Na tento fakt je třeba myslet při návrhu kamen. Ve spalovací komoře je třeba zajistit co nejnižší koeficient přebytku vzduchu  $\alpha$ , aby teplota plamene dosáhla co nejvyšších hodnot. Avšak na druhou stranu s malým přebytkem vzduchu stoupá koncentrace oxidu uhelnatého CO. K vyřešení tohoto problému lze využít přivedení dalšího vzduchu pro hoření v oblasti těsně pod klenbou pro spalování hořlavých plynů, které nestačí shořet pomocí primárního a sekundárního vzduchu. Vzhledem k poloze trysky terciárního vzduchu je nutné, aby vzduch oblast pod klenbou neochlazoval. Přivedení přehřátého vzduchu tuto podmínku

splňuje. V zadní části spalovací komory je umístěn kanál ve kterém se vzduch předehřívá a poté proudí do trysky terciárního vzduchu, jak znázorňuje obrázek 1.



Obr.1 Schéma proudění vzduchu a spalin

Ztráta citelným teplem spalin je také zmenšena díky umístění klenby a dvou deflektorů které prodlužují trajektorii spalin.

### Dlouhý provoz bez přikládání

Vhodné umístění klenby a trysky terciárního předehřátého vzduchu by mělo mít příznivý vliv na udržení spalování a příznivé účinnosti při sníženém výkonu, kdy je požadavek dlouhé doby hoření. Po maximálním naložení ohniště palivem se dřevo nechá rozhořet a poté se uzavře přísun primárního vzduchu, přičemž šoupátko sekundárního vzduchu zůstane mírně pootvorené, aby nedošlo k přílišnému zakouření skla a aby se do prostoru nasával vzduch pro primární hoření. Tryskou terciárního vzduchu se bude do prostoru pod klenbou nasávat předehřátý vzduch, který spolu s vysokou koncentrací CO tvoří zápalnou směs. Při dodržení podmínek pro hoření tato směs vzplane. Část vzniklého tepla se odrazí od klenby zpět do paliva které bude pyrolyzovat a doutnat a tvořit další podmínky pro hoření. [1]

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### Měřicí trať

Měřicí úsek spalin se skládá z trubky kouřovodu, kde se nachází otvory pro nasunutí trubiček jednotlivých odběrů. Tyto trubičky se pro utěsnění spalinovodu mohou navařit nebo pouze nasunout do přesných děr. Nutností je pokud možno co nejdokonalejší utěsnění odběrů, protože netěsností by si komín mohl přisávat falešný vzduch a byly by ovlivňovány výsledky měření.

Z důvodu zkoušení kamen na provizorním pracovišti bylo zvoleno provedení děr odběrů pro analyzátor spalin a teploměr do stejné horizontální pozice, aby nedošlo k ovlivňování výsledků nejdůležitějších parametrů měření. Tahoměr snímal podtlak v komíně těsně nad těmito odběry. Sonda teploměru a odběrová trubice analyzátoru se vsunula zhruba do 1/3 průřezu komínu, tak aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků. Spaliny nasávané

analyzátozem byly ochlazeny a zbaveny vlhkosti v kondenzační smyčce, jenž se realizovala pomocí nádoby se studenou vodou, do které se vložily téměř dva metry hadičky spojující odběr ve spalínovodu s měřícím přístrojem. Následné odloučení pevných částí bylo provedeno speciálním prachovým filtrem. Čas zkoušení podle normy ČSN EN 13229 trvá přesně jednu hodinu (i když dovoluje zkrácení doby na 45 minut).

### Metoda stanovení účinnosti

Výpočty účinnosti provedeny dle [2]

Pro stanovení účinnosti byla zvolena nepřímá metoda. Maximální účinnost 100 % se zmenší o poměrné ztráty:

- mechanickým nedopalem
- chemickým nedopalem
- citelným teplem spalin

Ztráta mechanickým nedopalem se určuje z hořlaviny obsažené v palivu. U spalovaného dřeva musí být znám poměr popeloviny, poté se váží veškeré palivo, které shoří ve spalovacím zařízení, a po dohoření se zváží hmotnost vzniklého popela. Ta se poté porovná s vypočtenou teoretickou hmotností popela a vypočítá se výsledná ztráta mechanickým nedopalem. Úlet popílku se zpravidla zanedbává.

Ztráta chemickým nedopalem se určuje ze složení spalin, lépe řečeno z koncentrace oxidu uhelnatého CO, ve spalinách. Množství spalin, které opustí spalovací zařízení se určí pomocí naměřené koncentrace CO<sub>2</sub> (popřípadě O<sub>2</sub>) a porovnáním s poměrnou hodnotou daného prvku v atmosférickém vzduchu. Vypočtené množství se potom vynásobí poměrem CO a vznikne objem CO, jenž má v sobě skrytou určitou energii, která se rovná dané ztrátě.

Ztráta citelným teplem spalin se vypočítá z objemu spalin vynásobeného entalpií, která je závislá na složení a teplotě spalin.

Pro naměření koncentrací, teplot, hmotností a podtlaku byly použity následující přístroje:

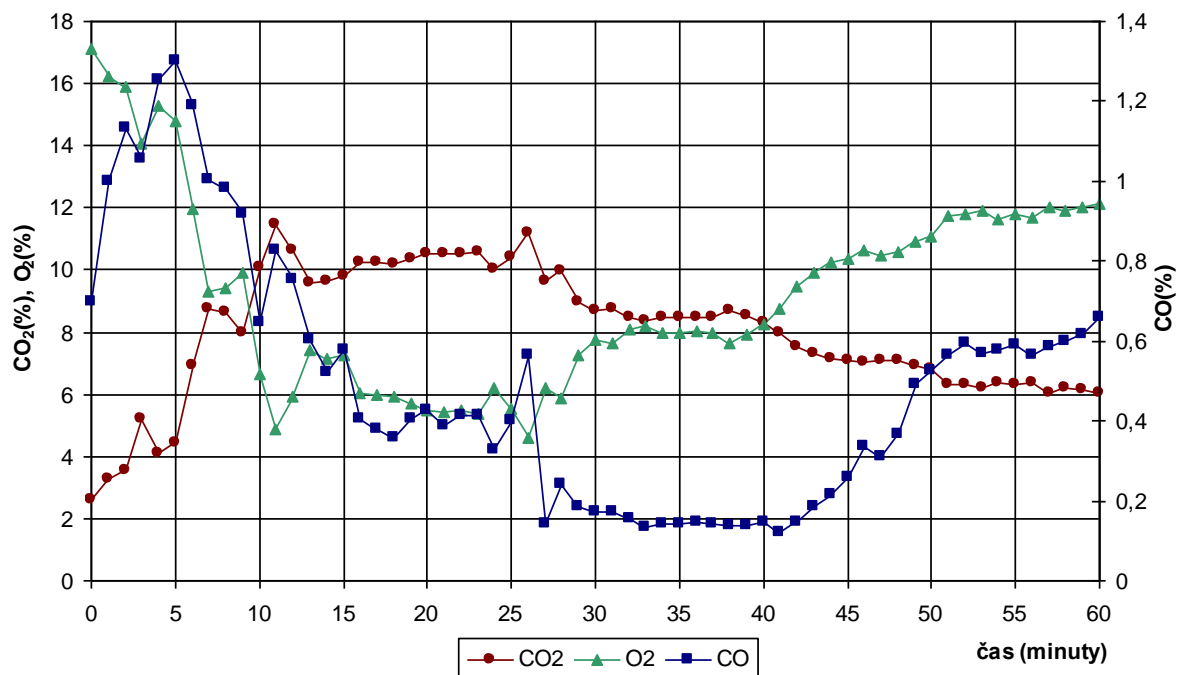
- analyzátor spalin
- teploměr (termočlánek)
- tahoměr
- přesná váha

### Měření

Nastavení krbové vložky mělo následující parametry:

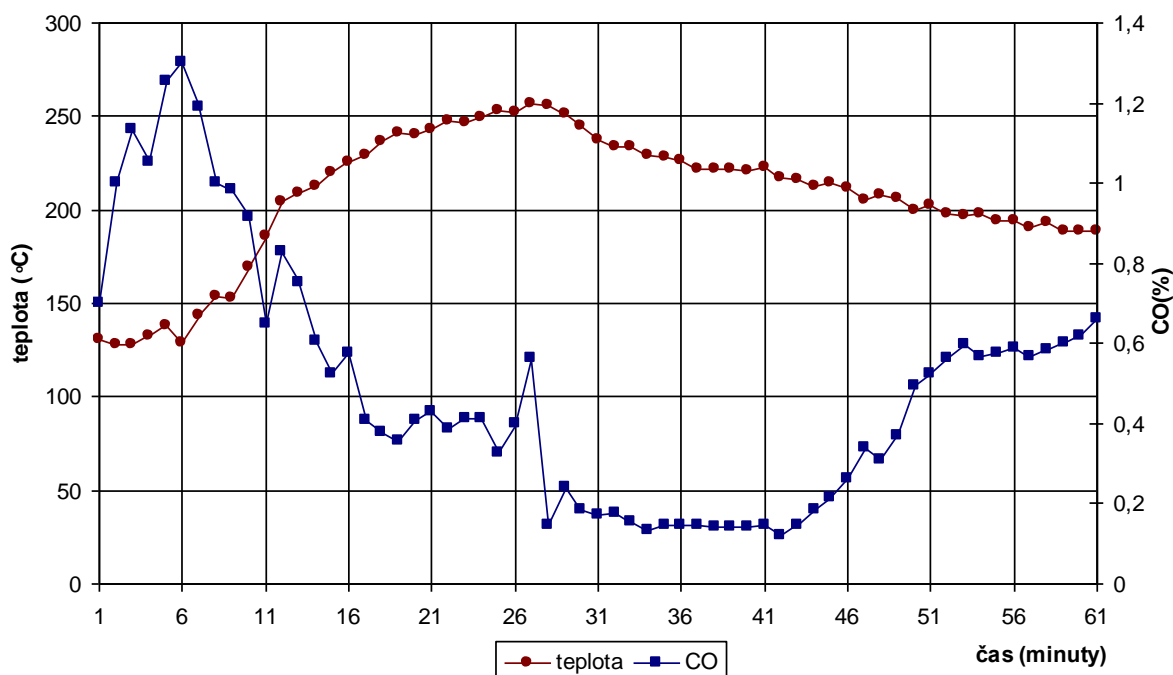
Tab. 1 Nastavení a vstupní parametry krbových kamen

primární vzduch	1/8
sekundární vzduch	1/2
terciální vzduch	1
počáteční teplota spalin	131°C
tah komína	7Pa
předpokládaná výhřevnost paliva	16MJ/kg
hmotnost paliva	2,9kg
počet kusů paliva (polen)	5 kusů
druh paliva	tvrdé dřevo
doba sušení paliva	2 roky
doba zkoušky	60 minut
interval měření online	10s



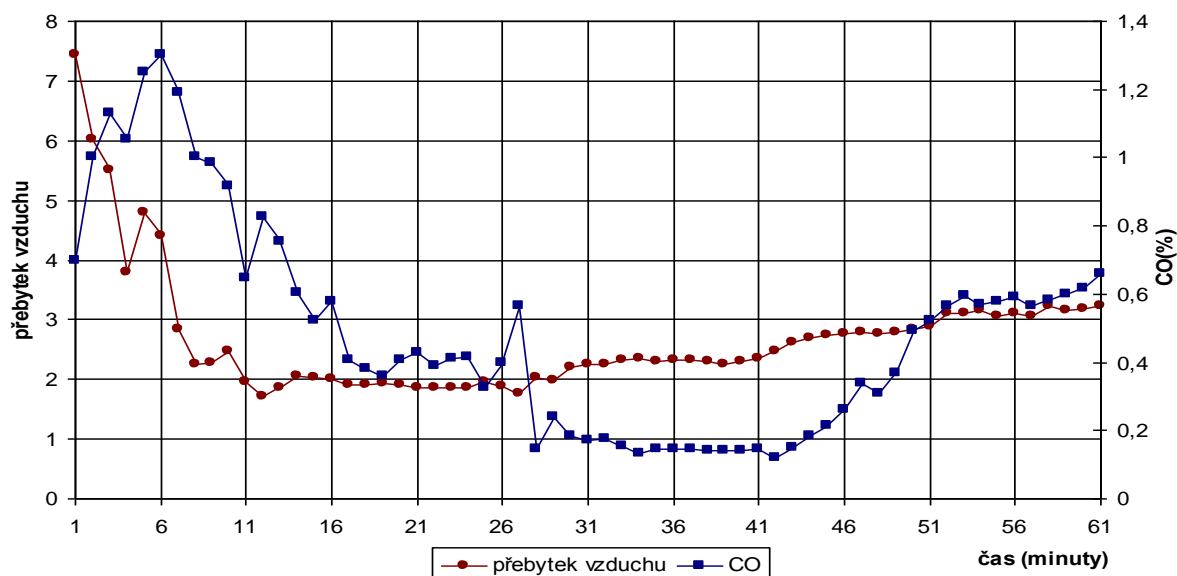
Obr. 2 Průběh koncentrací CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>

Po předchozích zkušenostech s dobou zahoření, bylo rozhodnuto otevřít zhruba do 1/8 klapku přívodního primárního vzduchu pod rošt. Toto nastavení se výrazně projevilo na zkrácení doby vzplanutí. Prvotní zahoření nastalo zhruba už po třech minutách (viz obr. 2). Až na malé odchylky lze říct že všechny křivky týkající se průběhu koncentrací a teplot byly v průběhu celého měření nejplošší.



Obr. 3 Průběh koncentrace CO a teploty

Teplota dosáhla svého maxima těsně před púlkou zkoušky a poté pozvolně klesala až do konce. Její průměrná hodnota sice nepatřila k nejmenším v průběhu měření, nicméně vzhledem k malému součiniteli přebytku vzduchu  $\alpha=2,44$ , nízké průměrné koncentraci  $O_2=9,17\%$ , vysoké průměrné koncentraci  $CO_2=8,02\%$  a tedy i předpokládané vysoké teploty plamene v ohništi byla průměrná teplota spalin  $t_a=207^\circ C$  velice příznivá. Z tohoto také vyplívá nejvyšší hodnota vypočtené průměrné účinnosti 79%.



Obr. 4 Průběh koncentrace CO a přebytku vzduchu

Koncentrace CO byla relativně vysoká, nicméně po přepočtení na 13%  $O_2$  ve spalinách se její hodnota razantně snížila a to díky malé koncentraci kyslíku ve spalinách. Bohužel to však nestačilo na zařazení do první třídy z hlediska emisí CO. Podle předpokladů by se tato hodnota měla snížit zvýší-li se podtlak v komíně čili komínový tah na předepsanou hodnotu 10Pa. V tomto případě by totiž tryskou terciálního přehřátého vzduchu proudilo do spalovací komory více vzduchu, čímž by se nastavily vhodnější podmínky pro dohořívání hořlavých plynů. Avšak účinnost by se neměla příliš změnit, neboť naředění spalin vzduchem by nastalo až těsně pod klenbou ohniště, tedy teplota plamene v žárovišti by neměla být změněna. Naopak by měla o něco povyrůst účinnost kvůli spálení hořlavých plynů, které bez užití vyšly komínem ven a tedy snížení ztráty plynným nedopalem. Tyto předpoklady byly v praxi ověřeny. [1]

Tab. 2 Naměřené a vypočtené hodnoty

	průměrné hodnoty
t-okolí	26,6°C
$t_a$ -teplota spalin	207°C
koncentrace $O_2$ ve spalinách	9,17 %
koncentrace $CO_2$ ve spalinách	8,02 %
koncentrace CO při 13 % $O_2$ ve spalinách	0,33 %
součinitel přebytku vzduchu	2,44
tah komína na konci zkoušky	7Pa
poměrná komínová ztráta	16,6 %
poměrná ztráta plynným nedopalem	3,74 %
poměrná ztráta mechanickým nedopalem	0,6 %
účinnost	79 %
příkon	13,5 kW
výkon	10,8 kW
třída účinnost	1



Obr. 5 Krbová kamna při provozu

### ZÁVĚR

Vysoké účinnost bylo dosaženo díky velké teplotě plamene, který byl nejméně ochlazován vstupujícím studeným přebytečným vzduchem. Proto teplo předané radiací bylo největší. Sice se zmenšil poměr tepla předaného konvekci, jelikož se zmenšila rychlost spalin, avšak ve výpočtu radiace figurují teploty ve čtvrté mocnině, čili vliv zvýšení teploty plamene má majoritní význam.

### POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠTELCL, O. Návrh krbové vložky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 83s.
- [2] ČSN EN 13229, Vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva, Český normalizační institut