

Ing. Petr KUBESA ¹⁾
 Ing. Jiří HORÁK, Ph.D. ¹⁾
 Ing. Lubomír MARTINÍK ¹⁾
 Břetislav HOLEŠÍNSKÝ ²⁾
 Ing. Ivo BARTOŠ ²⁾

¹⁾ VŠB – TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum

²⁾ Cech kamnářů ČR

Recenzent

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Stanovení průběhu tepelného výkonu individuálně stavěných kamen

Determination of Heat Output Course for the Individually Built Stoves

Článek přináší výsledky unikátních zkoušek individuálně stavěných kamen v kalorimetrické komoře. Hlavním cílem zkoušek bylo stanovení průběhu tepelného výkonu kamen s prosklenými a plnými dvířky při periodickém přikládání paliva a ověření dimenzování kamen dle ČSN EN 15544:2013.

Klíčová slova: kamna, tepelný výkon, výkonové zkoušky

The article presents the results of the unique calorimetric tests for individually built stoves made in the calorimeter chamber. The main objective of the tests was to determine the course of the heat output of the stove with glass and solid fire door at a full periodic fuel loading. The next main objective of the tests was the verification of stove sizing according to EN 15544:2013.

Keywords: stoves, heat output, calorimetric tests

ÚVOD

V dnešní době stoupá zájem o vytápění domácností dřevem. Svou renesanci rovněž prožívá vytápění obytných prostor s využitím individuálně stavěných kamen, která nepatří pouze na chalupy, ale nacházejí své místo také v moderních novostavbách (obr. 1).

Stavba kamen představuje nemalou investici v řádech stovek tisíc korun. Jedná se však o investici podpořenou vysokou životností zařízení při profesionálně provedené stavbě a řadou dalších nesporných výhod, jako je velká tepelná setrvačnost, vysoká účinnost, estetičnost kamen a možnost volby různých designových provedení i šetrnost k životnímu prostředí při jejich správném provozování. Článek se zabývá jednou z hlavních výhod individuálně stavěných kamen, a tou je skutečnost, že představují z pohledu uživatelského pohodlí jedinečné zařízení v oblasti ručně obsluhovaných lokálních spotřebičů, protože perioda přikládání se často pohybuje v řádech desítek hodin (typická je perioda 12 nebo 24 hodin přikládání). Tepelný výkon je v tomto dlouhém časovém intervalu předáván do prostoru rovnoměrně a díky tomu je možné vytápět s vhodně dimenzovanými kamny i domy s nižší potřebou tepla bez zbytečného přetápění.

Provedení individuálně stavěných kamen se řídí dle normy ČSN 73 4231:2013 [2]. Tato norma popisuje způsob navrhování a provádě-

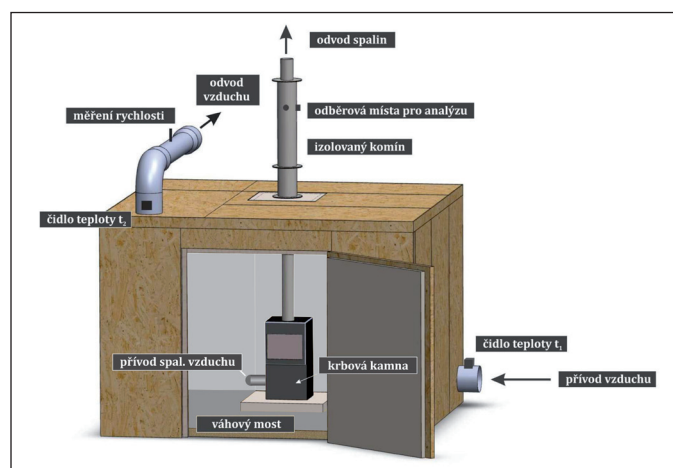
ní individuálně stavěných kamen zhotovovaných na místě s použitím průmyslově nebo individuálně vyráběných konstrukčních dílů a materiálů. Norma je určena pro kamna opláštěná keramickými glazovanými výrobky (kachlová), kamennými deskami, režným nebo omítnutým zdivem, popř. z jiného materiálu. Norma mimo jiné určuje, že podkladem pro návrh kamen musí být výpočet parametrů funkčních částí kamen podle tepelné ztráty vytápěných prostor a dimenzování podle ČSN EN 15544:2013 [3, 4]. Technická norma ČSN EN 15544 je založena na zkušenostech rakouských kamnářů [5] a určuje výpočty pro dimenzování kachlových nebo zděných kamen s intervalem přikládání 8 až 24 hodin a maximální dávkou dřeva v rozmezí od 10 do 40 kilogramů. Jeden z nejdůležitějších provozních parametrů kamen je tepelný výkon, avšak s ohledem na jeho obtížné realizovatelné přímé měření (a to nejen u kamen tohoto druhu) chybí dosud informace o jeho průběhu. To vedlo pracovníky Výzkumného energetického centra při VŠB-TUO a představitele Cechu kamnářů ČR k realizaci unikátních zkoušek individuálně stavěných kamen v kalorimetrické komoře s cílem stanovit průběh okamžitého tepelného výkonu a ověřit správnost dimenzování kamen dle [3].

PŘÍPRAVA MĚŘENÍ

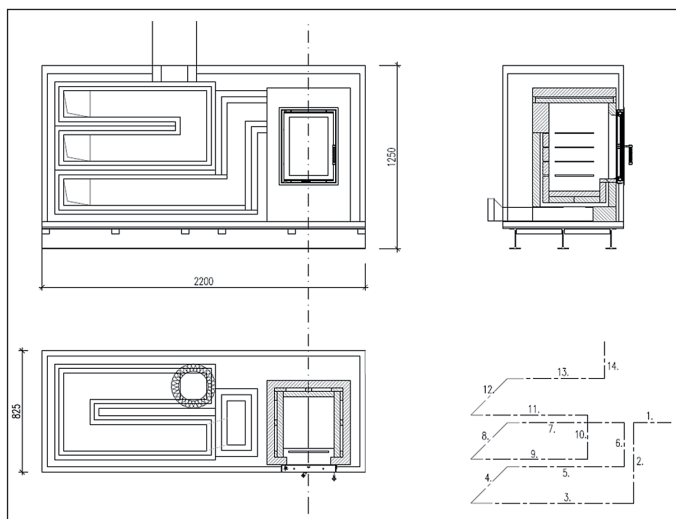
Pro zkoušky byla provedena individuálně stavěná kamna těžké konstrukce. Tato kamna byla následně umístěna do kalorimetrické komory,



Obr. 1 Individuálně stavěná kamna v novostavbě [1]



Obr. 2 Základní schéma kalorimetrické komory s krbovými kamny



Obr. 3 Schéma individuálně stavěných kamen pro zkoušky včetně nákresu tahu kamen [1]

která slouží ke stanovení provozních vlastností lokálních spotřebičů určených k vytápění, zejména ke kontinuálnímu měření tepelného výkonu.

Kalorimetrická komora

Kalorimetrická komora je tepelně izolovaný prostor, ve kterém jsou umístěna testovaná kamna. Princip měření spočívá v tom, že je do komory přiváděno potrubím známé množství vzduchu o známé teplotě a zároveň je z komory odváděn ohřátý vzduch o známé teplotě a na základě tepelné bilance je vypočten okamžitý tepelný výkon spotřebiče. Průtok vzduchu komorou je udržován konstantní pomocí PID regulátoru



Obr. 4 Zkoušená kamna v kalorimetrické komoře

a frekvenčně řízeného ventilátoru. Vnitřní povrch kalorimetrické komory je pokryt odrazivou fólií, která minimalizuje akumulaci tepelné energie do konstrukce komory. Základní schéma kalorimetrické komory, ve které jsou umístěna krbová kamna, je na obr. 2.

Testovaná kamna

Kamna jsou vybavena moderním bezroštovým ohništěm s označením UmweltPlus (EkoPlus), které je určeno k periodickému spalování kusového dřeva nebo dřevních briket. Vypočtený jmenovitý tepelný výkon kamen dle ČSN EN 15544 je 3 kW při dvanáctihodinovém intervalu přikládání, dávce paliva 11,1 kg a předpokládané účinnosti 78 %. Schéma kamen je zobrazeno na obr. 3 včetně nákresu tahu kamen, jehož celková délka je 7,7 metrů. Rozměry kamen jsou 2200 × 1250 × 825 mm (d × v × š) a orientační hmotnost kamen je 1500 kg.

Po zhotovení byla kamna umístěna do kalorimetrické komory, bylo napojeno potrubím externího přívodu vzduchu (EPV) s dálkově ovládanou klapkou a byl napojen izolovaný kouřovod. Kamna v kalorimetrické komoře před zahájením zkoušek jsou na obr. 4.

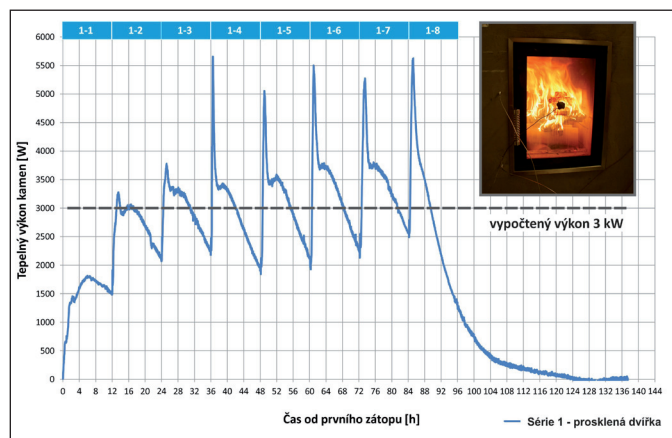
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Zkoušky série 1

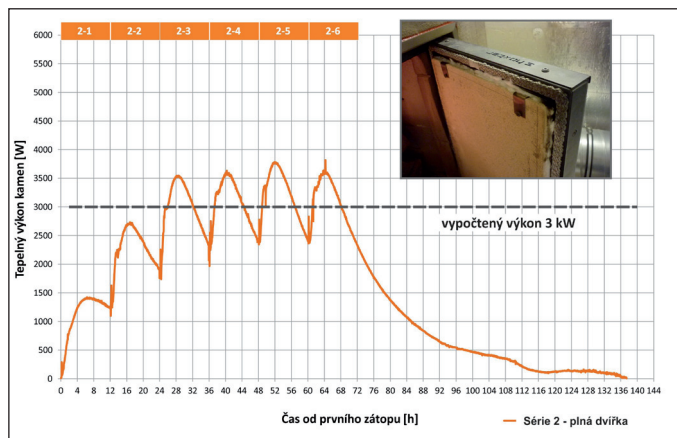
V prvním kroku byla provedena série osmi zkoušek s individuálně stavěnými kamny s prosklenými příkládacími dvířky (série 1). Zkoušky jsou označeny jako 1-1 až 1-8. Dávka paliva pro tyto zkoušky byla tvořena dřevěnými briketami (zkouška 1-1 až 1-3, 1-7) nebo bukovými poleny (1-4 až 1-6 a 1-8) v množství 11,1 kg. Perioda přikládání byla zvolena na 12 h, čemuž odpovídá předpokládaný vypočtený tepelný výkon 3 kW při účinnosti 78 %. Po uhasnutí paliva viditelným plamenem byla u všech zkoušek, kromě zkoušky 1-8, zcela uzavřena klapka EPV. Uzavírání klapky externího přívodu vzduchu by mělo být standardním návykem obsluhy kamen (popř. funkcí regulace), aby nedocházelo k vychlazení kamen zevnitř, tj. prouděním studeného vzduchu kamny do komína. Při poslední zkoušce 1-8 byla klapka EPV záměrně otevřena po celou dobu zkoušky, aby bylo možné určit vliv polohy klapky na průběh výkonu. Naměřený průběh tepelného výkonu pro všechny zkoušky série 1 je uveden na obr. 5.

Zkoušky série 2

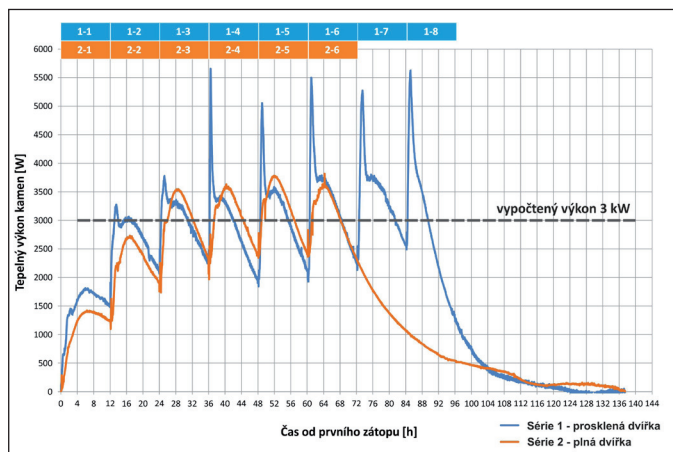
Pro objasnění naměřených vysokých výkonových špiček u zkoušek série 1 bylo ve druhé sérii zakryto sklo vermikulitovou deskou, čímž vznikla plná dvířka. Série šesti zkoušek s označením 2-1 až 2-6 byla provedena s bukovými poleny, hmotnost dávky a perioda přikládání byla totožná se zkouškami série 1 (11,1 kg a 12 h). Při všech zkouškách byla uzavřena klapka EPV po dohoření paliva viditelným plamenem. Naměřený průběh tepelného výkonu pro všechny zkoušky série 2 je uveden na obr. 6.



Obr. 5 Průběh tepelného výkonu kamen během zkoušek 1-1 až 1-8



Obr. 6 Průběh tepelného výkonu kamen během zkoušek 2-1 až 2-6



Obr. 7 Průběh tepelného výkonu kamen pro zkoušky série 1 a 2

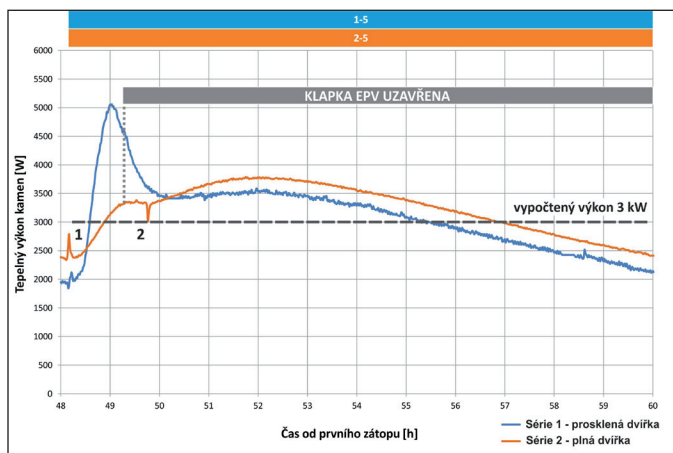
DISKUZE VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

Z provedených zkoušek série 1 a 2 byly získány nové zajímavé informace o průběhu výkonu kamen v dlouhodobějším časovém úseku při opakovaném přikládání dávky paliva. Pro lepší porovnatelnost jsou výsledné průběhy výkonu vloženy do jednoho grafu (obr. 7). Osa „x“ v tomto grafu představuje čas od začátku prvního přiložení dávky paliva a jejího zapálení v hodinách a osa „y“ okamžitý výkon ve wattech. Z grafu je zřejmý odlišný průběh tepelného výkonu u kamen s prosklenými a plnými dvířky.

U zkoušek série 1 s prosklenými dvířky se v první fázi objevily výkonové špičky, které nejsou příliš výrazné u zkoušek 1-1 až 1-3, avšak jak je vidět z obr. 5 a 7, po nahláti kamen na provozní teplotu se tyto špičky od zkoušky 1-4 významně liší a dosahují hodnot až 5,6 kW. U série 2 se zakrytými dvířky se tyto výkonové špičky neobjevují a je zřejmé, že vysoké výkonové špičky u série 1 jsou způsobeny tepelným výkonem předaným plamenem, nahláťm ohništěm a jeho okolím přes sklo dvířek do komory. Zjednodušeně lze říci, že tyto výkonové špičky se objevují v první šestině doby zkoušky. Při dohořívání paliva a uhašínání plamene v ohništi také klesá tepelný výkon vysálaný přes sklo dvířek. Uzavřením klapky EPV je omezen průtok vzduchu kamny, s tím souvisí snížení úniku tepelné energie do komína a po určitém čase nastává druhá fáze, kdy výkon mírně roste a dosahuje v případě zkoušek série 1 svého druhého, méně výrazného maxima. U zkoušek série 2 je díky omezení předávaného výkonu přes sklo dvířek patrné pouze maximum výkonu po uzavření klapky EPV v druhé fázi provozu kamen. Z naměřených průběhů výkonu je patrné, že průměrný výkon kamen během prvních dvou zkoušek série 1 a 2 má výrazně vzrůstající trend a má charakter náběhu. První dva zátopy tedy představují náběh kamen na provozní teplotu a až třetí zátop a zátopy následující představují z pohledu průměrného výkonu stabilní stav, kdy se průměrný měřený výkon kamen pohybuje okolo 3 kW a shoduje se s dimenzováním kamen dle [3]. Od zkoušek 1-3 a 2-3 se průměrný výkon zvyšuje jen mírně nebo roste v závislosti na provozu kamen. Na obrázku 8 jsou vybrány průběhy pro zkoušky 1-5 a 2-5, které představují typické průběhy tepelného výkonu kamen v ustáleném stavu.

Tab. 1 Naměřené tepelné výkony pro zkoušky 1-1 až 1-8 a 2-1 až 2-6

	Série 1								Série 2					
Zkouška	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
Průměrný výkon [kW]	1,50	2,72	2,99	2,94	3,09	3,30	3,43	2,83	1,15	2,29	3,00	3,07	3,21	3,07
Max. výkon [kW]	1,82	3,28	3,78	5,65	5,06	5,50	5,27	5,63	1,42	2,74	3,55	3,63	3,79	3,64
Výkon na konci zkoušky [kW]	1,49	2,08	2,22	1,95	1,94	2,16	2,56	1,22	1,23	1,79	2,25	2,34	2,39	2,30



Obr. 8 Průběh tepelného výkonu kamen pro zkoušky 1-5 a 2-5

Menší výkonové špičky označené jako 1 a 2 pro sérii 2 s plnými dvířky na obr. 8 poukazují na citlivost měření v kalorimetrické komoře. Špička 1 je dána otevřením dvířek u kamen za účelem přiložení nové dávky paliva na začátku zkoušky, které způsobilo vysálení tepelné energie z nahláťého topeniště do komory a okamžitý nárůst výkonu o přibližně 100 W (zkouška 1-5) až 400 W (zkouška 2-5). Po uzavření dvířek se výkon vrátil zpět na původní hodnotu. Pokles výkonu s označením 2 je způsoben otevřením dveří komory za účelem pořízení termovizních snímků kamen během provozu.

Při poslední zkoušce 1-8 byla klapka EPV otevřena na maximum po celou dobu zkoušky od přiložení paliva do ohniště až do úplného vychladnutí kamen. U poslední zkoušky 2-6 série 2 byla klapka EPV uzavřena v době dohoření dřeva viditelným plamenem. Průběh výkonových křivek dokládá vliv a důležitou funkci klapky EPV. Jak je patrné z obrázku 7 u zkoušky 1-8, vyskytla se v první fázi zkoušky charakteristická výkonová špička pro sérii zkoušek 1 daná přenosem tepelného výkonu přes sklo dvířek do prostoru komory, nicméně vlivem stále

otevřené klapky EPV se následně nevyskytla charakteristická méně výrazná výkonová špička v druhé fázi a tepelný výkon do prostoru již jen klesal až do úplného vychladnutí, které nastalo přibližně po 40 hodinách od přiložení poslední dávky paliva do ohniště.

V případě zkoušky 2-6 je na průběhu vidět charakteristická špička z akumulace po uzavření klapky EPV a doba od přiložení dávky po úplné vychladnutí kamen se zvýšila přibližně o dvojnásobek na 77 hodin. V tomto případě nebyla kamna vychlazována zevnitř proudem chladného vzduchu, který proudí přes ohniště dále do komína díky tahu kamen. Tepelná energie zůstala naakumulovaná uvnitř kamen a docházelo tak k výrazně pomalejšímu chladnutí kamen v porovnání se zkouškou 1-8. Dosažené výkony pro jednotlivé zkoušky jsou shrnuty v tab. 1.

ZÁVĚR

Ve spolupráci VŠB-TUO Výzkumného energetického centra a Cechu kamnářů ČR bylo provedeno ojedinělé měření individuálně stavěných kachlových kamen v rámci pilotního projektu, díky němuž byla zahájena spolupráce Cechu s akademickou sférou. V rámci projektu bylo provedeno rozsáhlé měření individuálně stavěných kamen během série zkoušek s prosklenými a plnými dvířky. Kamna byla pro zkoušky dimenzována a postavena podle ČSN EN 15544 [3] a byla zkoušena ve speciálně připraveném prostoru – kalorimetrické komoře. První zkoušky ukazují, že kalorimetrická komora je velmi vhodná pro testování tohoto druhu spalovacího zařízení (individuálně stavěná kachlová kamna těžké konstrukce). Na základě experimentálních zkoušek byly stanoveny průběhy tepelného výkonu individuálně stavěných kamen. Ze získaných průběhů tepelného výkonu lze dobře vyvodit vliv určitých parametrů (prosklená vs. plná příkladací dvířka, nastavení klapky EPV apod.) na průběh tepelného výkonu.

Ze zkoušek vyplývá, že kamna dosáhla ustálení průměrného tepelného výkonu až při třetím zátoku od zahájení zkoušek. Od třetího zátoku průměrný výkon kamen rostl jen mírně. Není tedy vhodné používat kamna těžké konstrukce s velkou akumulací v objektech, které jsou obývány a vytápěny jenom o víkendech. Zde je jejich malá dynamika spíše překážkou než výhodou. Dále byla nalezena shoda mezi experimentálně získanými daty a návrhem kamen, který odpovídá dimenzování podle [3]. V průběhu zkoušek byly měřeny i další provozní parametry kamen. Mezi ně patří průběhy povrchových teplot, teplot a tlaků uvnitř kamen, průběhy emisí znečišťujících látek, byla stanovena účinnost kamen na základě přímé a nepřímé metody. Výsledky těchto měření budou zveřejněny po jejich zpracování a vyhodnocení.

Kontakt na autora: petr.kubesa@vsb.cz

Tento článek vznikl v rámci řešení projektů „INEF“ (VaVpI), „INEF-G“ (NPUI) a SP2015/128 Stanovení provozních vlastností lokálních spotřebičů spalující tuhá paliva – metoda kalorimetrické komory.

Použité zdroje:

- [1] Kamnářství Tomáše Jíry. Firemní prezentace [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.tomasjira.cz>
- [2] ČSN 73 4231:2013. Kamna – Individuálně stavěná kamna. 2013.
- [3] ČSN EN 15544:2013. Individuálně stavěná kachlová kamna/omítnutá kamna – Dimenzování. 2013.
- [4] MARTINÍK, L., HORÁK, J., ŠIMÁČEK, A., KRPEC, K., KUBESA, P., HOPAN, F., DRASTICHOVÁ, V., KOLONIČNÝ, J., OCHODEK, T. Zásady návrhu akumulacních kamen. In: TZB-info [online]. 15. 1. 2015. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11203-zasady-navrhu-akumulacnich-kamen>
- [5] Rakouský kamnářský svaz. Österreichischen Kachelofenverbandes [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.kachelofenverband.at>