

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní

Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

Doc. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

**Praktická aplikace sdílení tepla u otopných těles
na reálné podmínky instalace**

**Practical application of radiators heat transfer
on the real conditions of installation**

Summary

The heating surface task rests in supplying the heated space with enough heat in a way which will create thermal comfort. Variables with the primary impact on thermal comfort could be influenced by the type and size of the heating surface, including the way it is installed.

The way of sharing heat generated by the heating surface on the air side is also very significant for the heated room. The mutual ratio between convection and heat radiation is primarily affected by the type of the heating surface since it affects air flow around the heating surface, and therefore, a component of its natural convection.

If it is necessary on the architect's advice or from any other reasons to change the installation conditions and radiator running than under what conditions its rated heat output is set, the radiator's real heat output is going to be influenced too.

When using radiator enclosures or low parapets from any reasons, we must be aware of the fact that we decrease not only the radiator accessibility and service but we also influence the heat output within the heated space. A significant impediment to bypass is integrated to the convection flow's way, at the same time we shade a part of heat flux shared by heat emission.

With regard to the changed conditions of installation it is possible to take into account factors included in corrective heat output coefficients of the radiators. The aim of the experiments carried out in Department of Environmental Engineering was to complete knowledge in particular about parapet side influence of panel radiators, radiator distance from the cladding, installation high above flooring, front-end desks, expiratory hole in the radiator enclosure and textile drying on panel radiators.

Souhrn

Úkolem otopné plochy je dodat do vytápěného prostoru takové množství tepla a takovým způsobem, aby v něm byla vytvořena tepelná pohoda. Veličiny, které mají hlavní vliv na tepelnou pohodu lze ovlivnit druhem, velikostí a způsobem instalace otopné plochy.

Pro vytápěnou místnost je rovněž podstatný způsob sdílení tepla u otopné plochy na straně vzduchu. Vzájemný poměr mezi konvekcí a sáláním ovlivňují především druh a typ otopné plochy, neboť ovlivňují způsob proudění vzduchu okolo otopné plochy a tak složku přirozené konvekce.

Pokud je třeba vyhovět architektovi či z jakýchkoliv jiných důvodů je nutno změnit podmínky instalace a provozování tělesa, než za jakých je udáván jeho jmenovitý tepelný výkon, ovlivní se i skutečný tepelný výkon otopného tělesa.

Použijeme-li z jakýchkoli důvodů zákryty či nízké parapety, musíme si uvědomit, že nesnížíme pouze přístupnost a čistitelnost otopných těles, ale že ovlivníme i tepelný výkon tělesa sdílený do vytápěného prostoru. Konvekčním proudům vřadíme do cesty významnou překážku k obtékání a zároveň odstíníme část tepelného toku sdíleného sáláním.

Vzhledem ke změněným podmínkám instalace se nabízejí k zohlednění faktory obsažené v opravných součinitelích tepelného výkonu otopných těles. Cílem experimentů provedených na Ústavu techniky prostředí tak bylo doplnit poznatky především o deskových otopných tělesech stran vlivu parapetu, vzdálenosti tělesa od obvodové konstrukce, výšky instalace nad podlahou, předřazených desek, výdechového otvoru v zákrytu tělesa a sušení textilií na otopných tělesech.

Klíčová slova:

vytápění, otopná plocha, otopná tělesa, opravné součinitele

Keywords:

heating, heating surface, radiators, correction factors

Obsah

1. Úvod	.....	6
2. Změna tepelného výkonu	.....	6
3. Opravné součinitele tepelného výkonu otopných těles	.....	9
4. Opravný součinitel na teplotní rozdíl	.....	9
5. Opravný součinitel na úpravu okolí	.....	11
5.1 Vliv parapetu na tepelný výkon otopných těles	.....	11
5.2 Vliv předřazené desky na tepelný výkon otopného tělesa		12
5.3 Vliv velikosti výdechového otvoru v zákrytu na tepelný výkon otopného tělesa	.....	19
5.4 Vliv textilie zakrývající otopné těleso na jeho tepelný výkon	.....	24
6. Závěr	.....	29
Literatura	.....	30
Životopis	.....	31

1. Úvod

Pokud je třeba vyhovět architektovi či z jakýchkoliv jiných důvodů je nutno změnit podmínky instalace a provozování tělesa, než za jakých je udáván jeho jmenovitý tepelný výkon, ovlivní se i skutečný tepelný výkon otopného tělesa.

Použijeme-li z jakýchkoli důvodů zákryty či nízké parapety, musíme si uvědomit, že nesnížíme pouze přístupnost a čistitelnost otopných těles, ale že ovlivníme i tepelný výkon tělesa sdílený do vytápěného prostoru. Konvekčním proudům vřadíme do cesty významnou překážku k obtékání a zároveň odstíníme část tepelného toku sdíleného sáláním [5].

Vzhledem ke změněným podmínkám instalace se nabízejí k zohlednění faktory obsažené v opravných součinitelích tepelného výkonu otopných těles. Cílem experimentů provedených na Ústavu techniky prostředí tak bylo doplnit poznatky především o deskových otopných tělesech stran vlivu parapetu, vzdálenosti tělesa od obvodové konstrukce, výšky instalace nad podlahou, předřazených desek, výdechového otvoru v zákrytu tělesa a sušení textilií na otopných tělesech [6].

2. Změna tepelného výkonu

Změny výkonu otopného tělesa způsobené výše uvedenými podmínkami nelze spojovat se změnou tepelných ztrát. Snížení dodávky tepla do vytápěného prostoru zde souvisí se sníženým přestupem tepla u otopných těles na straně vzduchu a tak se zvýšením teploty vratné vody (zmenšením teplotního rozdílu – ochlazení vody) [1].

Poměrně vyčerpávajícím způsobem postihuje odborná literatura problematiku zákrytů a parapetů u článkových otopných těles. Zcela však chyběly údaje pro tělesa desková. V dnešních stavbách se tento problém vyskytuje poměrně často a projektanti vzhledem k tomu, že výsledky platily pouze pro článková otopná tělesa, plošně předimenzovávali výkon otopných těles až o 25 % [8]. Toto plošné předimenzování vede k nerovnoměrnosti při distribuci tepla, k hydraulické nevyváženosti otopné soustavy a k omezení regulační schopnosti termostatických regulačních ventilů [2].

Tepelný výkon musí být zjišťován zkušebním postupem a v rámci zkušebního programu podle EN 442-2: 1996 ve zkušební laboratoři (kalorimetrické komoře), která vyhovuje EN 45001 a splňuje rovněž zvláštní požadavky a postupy, týkající se vzájemné harmonizace laboratoří podle EN 442-2: 1996.

Evropská norma vychází z poznatku, že tepelný výkon je v obchodním styku podkladem pro hodnocení otopných těles.

Při hodnocení a porovnání různých otopných těles je proto nutné používat jedinou zjištěnou hodnotu, dále nazývanou jmenovitý tepelný výkon, který je udáván při jmenovitých teplotních parametrech $t_{w1}/t_{w2}/t_o = 75/65/20$ °C.

Zjištěný jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa odpovídá jeho umístění v kalorimetrické komoře:

- a) otopné těleso musí být umístěno rovnoběžně se zadní stěnou a souměrně k její svislé středové ose
- b) mezera mezi zadní stěnou komory a nejbližší umístěnou částí povrchu přestupní plochy otopného tělesa musí být $(0,05 \pm 0,002)$ m
- c) mezera mezi podlahou a dolním obrysem otopného tělesa musí být $(0,11 \pm 0,005)$ m
- d) vstup teplonosné látky do zkušebního vzorku musí být nahoře a výstup na stejné straně dole.

Tepelný výkon je možné zjišťovat dvěma způsoby:

- měřením průtoku teplonosné látky otopným tělesem a určením rozdílu entalpií teplonosné látky na vstupu a na výstupu (váhová metoda)
- měřením příkonu energie dodávané do okruhu teplonosné látky (elektrická metoda).

Jednoznačně se pro měření tepelných výkonů otopných těles upřednostňuje váhová metoda, kdy tepelný výkon zkušebního vzorku otopného tělesa je zjišťován měřením hmotnostního průtoku teplonosné látky tělesem (vážením) a z rozdílu entalpie teplonosné látky na vstupu a výstupu.

Průtok vody je přípustné měřit i jinými měřidly, jestliže je možné je kontrolovat vážením a vykazují-li alespoň stejnou přesnost.

Tepelný výkon otopného tělesa

$$Q = k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_i) \quad (1)$$

je obecně dán jeho teplosměnnou plochou S_L , součinitelem prostupu tepla k a rozdílem střední teploty vody t_{wm} a okolního vzduchu t_i . Jmenovité (normované – index N) podmínky představují:

$$t_{w1N} = 75 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad t_{w2N} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad t_i = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Jestliže se výkon změní, bude velikost jeho změny dána poměrem skutečného a jmenovitého výkonu [3, 7]

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{k \cdot S_L \cdot (t_{wm} - t_i)}{k_N \cdot S_{LN} \cdot (t_{wmN} - t_{iN})} \quad (2).$$

U tělesa, které bylo navrženo, zůstává přestupní plocha stále stejná $S_L = S_{LN}$ a změnu součinitele prostupu tepla způsobenou změnou teplotních parametrů můžeme postihnout exponenciální funkcí

$$\frac{Q}{Q_N} \approx \left[\frac{t_{wm} - t_i}{t_{wmN} - t_{iN}} \right]^n = \left[\frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right]^n \quad (3).$$

Tepelný tok přivedený do tělesa teplotonosnou látkou, tj. tepelný výkon otopného tělesa, lze rovněž popsat jako

$$Q = m_w \cdot c_w \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad (4).$$

Zde je rozhodující hmotnostní průtok vody tělesem m_w a rozdíl teplot vstupní t_{w1} a výstupní t_{w2} vody. Měrnou tepelnou kapacitu můžeme považovat za konstantní ($c_w = 4,19 \text{ kJ/kg.K}$) pro rozsah teplot 50 až 80 $^{\circ}\text{C}$. Jestliže se výkon změní, bude velikost jeho změny dána poměrem

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{m_w}{m_{wN}} \cdot \frac{t_{w1} - t_{w2}}{t_{w1N} - t_{w2N}} \quad (5).$$

Dosadíme-li do této rovnice vztah pro změnu výkonu při konstantní velikosti teplosměnné plochy $S_L = S_{LN}$, získáme vztah pro určení rozdílu teplot vstupní t_{w1} a výstupní t_{w2} vody v závislosti na jmenovitých teplotních podmínkách a změně průtoku otopným tělesem.

$$t_{w1} - t_{w2} = (t_{w1N} - t_{w2N}) \cdot \left(\frac{m}{m_N} \right)^{-1} \cdot \left[\frac{t_{wm} - t_i}{t_{wmN} - t_{iN}} \right]^n \quad (6)$$

3. Opravné součinitele tepelného výkonu otopných těles

Zahrneme-li všechny vlivy působící na změnu tepelného výkonu otopného tělesa, získáme skutečný tepelný výkon. Přepočet tepelného výkonu na odlišné okrajové podmínky tak vychází z obecného vztahu [3]:

$$Q = Q_N \cdot f_{\Delta t} \cdot f_m(f_{\delta t}) \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \quad (7),$$

- kde Q skutečný tepelný výkon otopného tělesa, tj. ten, který potřebuji předat do vytápěného prostoru [W]
 Q_N jmenovitý tepelný výkon otopného tělesa, tj. výkon za známých podmínek (většinou je to výkon udávaný výrobcem na základě výsledků měření získaných od zkušebny při teplotních parametrech 75/65/20 °C) [W]
 $f_{\Delta t}$ opravný součinitel na teplotní rozdíl [-]
 $f_m(f_{\delta t})$ opravný součinitel na odlišný hmotnostní průtok teplotnosné látky, případně odlišné ochlazení [-]
 f_x opravný součinitel na připojení tělesa [-]
 f_o opravný součinitel na úpravu okolí [-]
 f_n opravný součinitel na počet článků [-]
 f_p opravný součinitel na umístění tělesa v prostoru [-].

4. Opravný součinitel na teplotní rozdíl

Opravný součinitel na teplotní rozdíl $f_{\Delta t}$ zahrnuje přepočet tepelného výkonu na jiné teplotní podmínky, tj. na teplotní podmínky lišící se od jmenovitých, tedy takových, při kterých je znám či udáván tepelný výkon otopného tělesa [3]. Je nejvýznamnějším opravným součinitelem, se kterým je třeba vždy počítat.

Přepočet výkonu Q_N na tepelný výkon Q při změnách teplot závisí na teplotním podílovém součiniteli c

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad (8),$$

- kde c teplotní podílový součinitel [-]
 t_{w1} teplota vstupní vody [°C]
 t_{w2} teplota výstupní vody [°C]
 t_i teplota okolního vzduchu (resp. vnitřní výpočtová teplota) [°C].

a) Pro $c \geq 0,7$ platí aritmeticky určený rozdíl teplot

$$Q = Q_N \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right)^n \quad (9),$$

kde $\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i$ je aritmeticky určený rozdíl teplot a
 n teplotní exponent tělesa [-].

Opravný součinitel na teplotní rozdíl je určen

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right)^n \quad (10).$$

b) Pro $c < 0,7$ platí logaritmicky určený rozdíl teplot

$$Q = Q_N \cdot \left(\frac{\Delta t_{ln}}{\Delta t_{N,ln}} \right)^n = Q_N \cdot f_{\Delta t,ln} \quad (11),$$

kde $\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}}$ je logaritmicky určený rozdíl teplot.

Teplotní exponent n je určen experimentálně, tj. je vypočten z naměřených hodnot v měřicí komoře pro příslušné otopné těleso. Jestliže např. čtyři výkony téhož tělesa dosadíme do závislosti na Δt a proložíme jimi v logaritmických souřadnicích přímku, bude její směrnice představovat hodnotu teplotního exponentu n . Je tedy zřejmé, že n závisí jak na druhu či typu tělesa, tak na průtoku, ale bohužel i na teplotách. Pro výpočty se však pro příslušný druh a typ tělesa uvažuje jako konstantní [9]. Teplotní exponent se pro jednotlivé otopné plochy pohybuje zhruba v následujících hodnotách:

podlahová otopná plocha	$n = 1,10$
desková otopná tělesa	$n = 1,26$ až $1,36$
trubková koupelňová otopná tělesa	$n = 1,20$ až $1,30$
článeková otopná tělesa	$n = 1,22$ až $1,30$
konvektory bez ventilátoru	$n = 1,30$ až $1,50$
konvektory s ventilátorem	$n = 1,05$ až $1,20$

5. Opravný součinitel na úpravu okolí

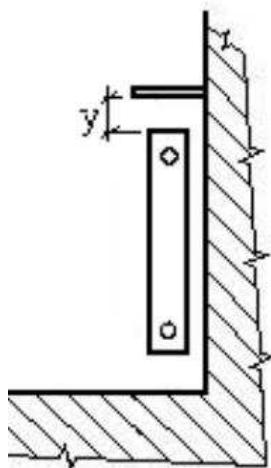
Vzhledem ke změně podmínek instalace se nabízejí k zohlednění tyto faktory:

- používání zákrytů otopných těles, ať už plných, s prolisy, s výřezy pro vstup a výstup vzduchu apod. [6, 10, 11]
- umístění otopného tělesa pod parapetní deskou nepříznivě ovlivňující tepelný výkon [2, 12]
- osazení otopného tělesa v nestandardní poloze, jako je nízko nad podlahou, blízko instalační stěny či zahloubené ve stěně v nise [6, 10].

Zakrytím otopného tělesa se snadno dostaneme na snížený výkonu o 15 % a více. Zákryty musí být tedy provedeny tak, aby se jejich nevýhody projevíly v co nejmenší možné míře.

5.1 Vliv parapetu na tepelný výkon otopných těles

Vzdálenost přesahujícího parapetu od horního okraje deskového otopného tělesa a především jeho samotné uplatnění výrazným způsobem mění podmínky instalace otopného tělesa oproti podmínkám vyžadovaným na zkušebně (EN 442). Potvrzují to i nová zjištění vyplývající z měření na otevřeném měřicím místě v laboratořích Ústavu techniky prostředí.



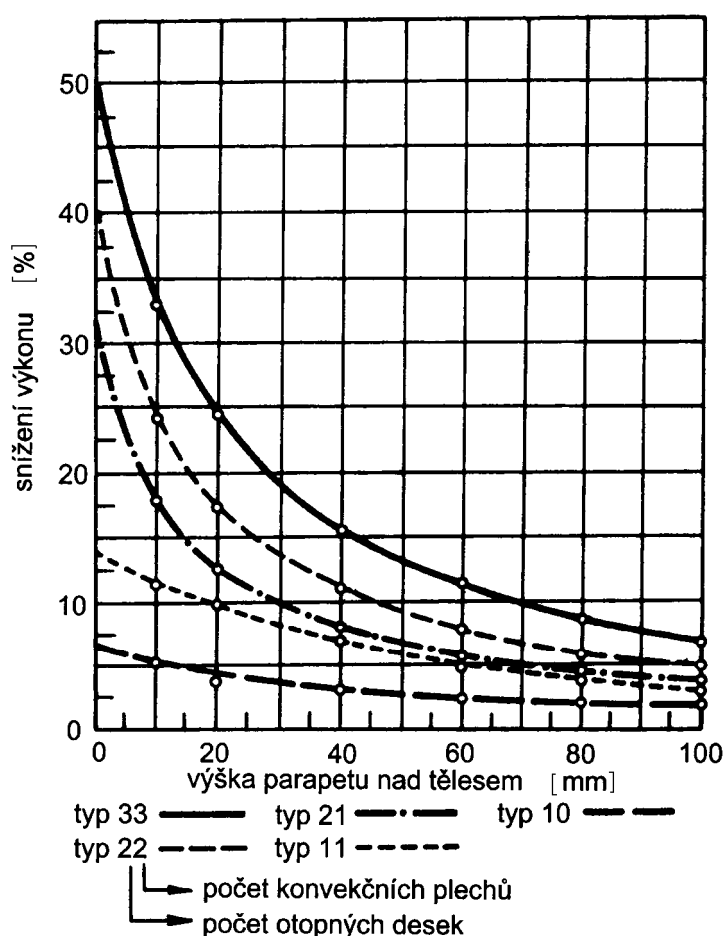
Vzdálenost horního okraje tělesa od spodního okraje parapetu y (obr. 1) má u deskových otopných těles nezanedbatelný vliv na jeho výkon. To se ukazuje především u vícedeskových otopných těles, u kterých má menší vzdálenost než 100 mm značný význam na snížení výkonu [1]. Vzhledem k této skutečnosti je vhodné vícedesková tělesa neinstalovat pod přesahující parapet, nebo je instalovat alespoň se vzdáleností horního okraje od parapetu větší jak 150 mm.

Obr. 1 Vzdálenost horního okraje tělesa od spodního okraje parapetu y

Vzdálenost od bočních stěn niky nemá vzhledem ke změně výkonu deskového otopného tělesa význam. Rozhodujícím hlediskem je tedy snadná montáž a dostatečný prostor pro ventil.

Snížení výkonu díky zákrytu otopného tělesa oproti jmenovité hodnotě závisí především na podílu sdílení tepla do vytápěného prostoru konvekční a sálavím [13].

Průběhy na obr. 2 ukazují, že čím je u tělesa intenzivnější konvekční složka (např. typ 33 sdílí 82 % svého výkonu konvekcí), tím větší vliv má snižující se parapet na jeho výkon. Sálavá složka se snižuje vlivem snižujícího se parapetu pouze nepatrně. Můžeme hovořit tedy o tom, že parapet působí jako výrazná překážka volným konvekčním proudům a tím se snižuje i součinitel přestupu tepla konvekční na straně vzduchu u otopného tělesa. Tyto závěry nám potvrzuje



např. průběh pro jednoduché deskové otopné těleso s jedním konvekčním plechem, kde se změna výkonu při snižování parapetu projeví velmi málo [1]. U jednoduchých deskových těles bez konvekčního plechu, kde bylo upuštěno od jakékoli intenzifikace konvekční složky a kde sálavá složka tepelného výkonu činí více jak 50 %, se snížení výkonu téměř neprojeví.

Obr. 2 Změna tepelného výkonu otopného tělesa s výškou parapetu typ 10, 11, 21, 22 a 33

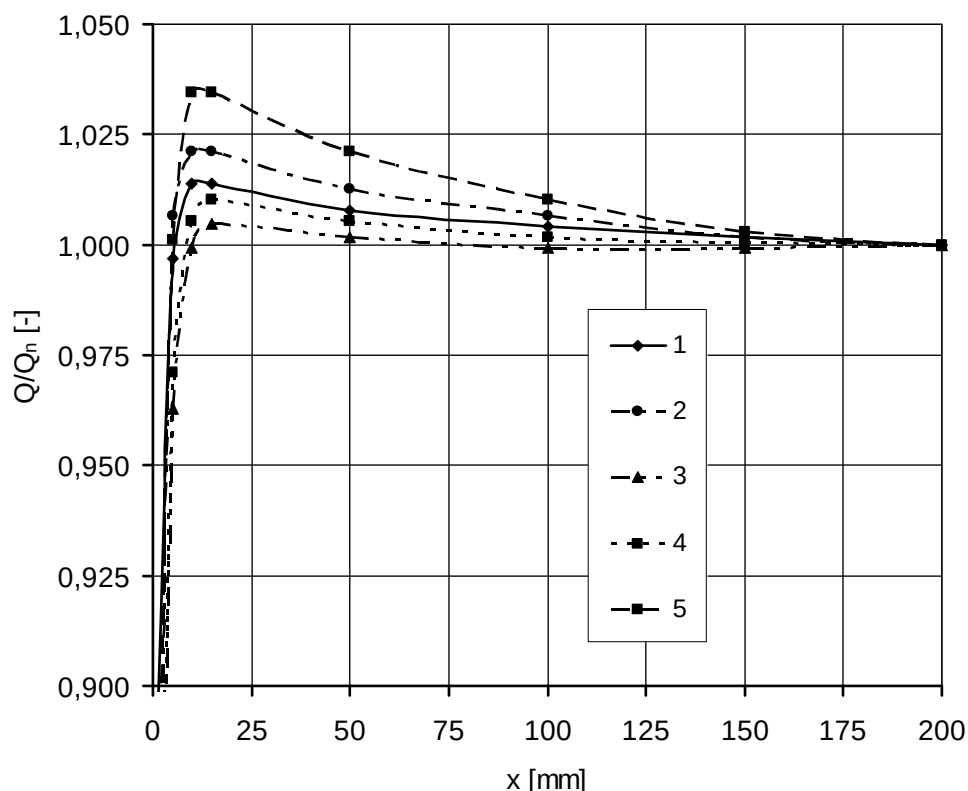
5.2 Vliv předřazené desky na tepelný výkon otopného tělesa

Předřazená deska reprezentuje v praxi např. psací stůl s plnou čelní deskou či kuchyňskou lavici s plným opěradlem nebo kuchyňskou linku přisunutou před těleso.

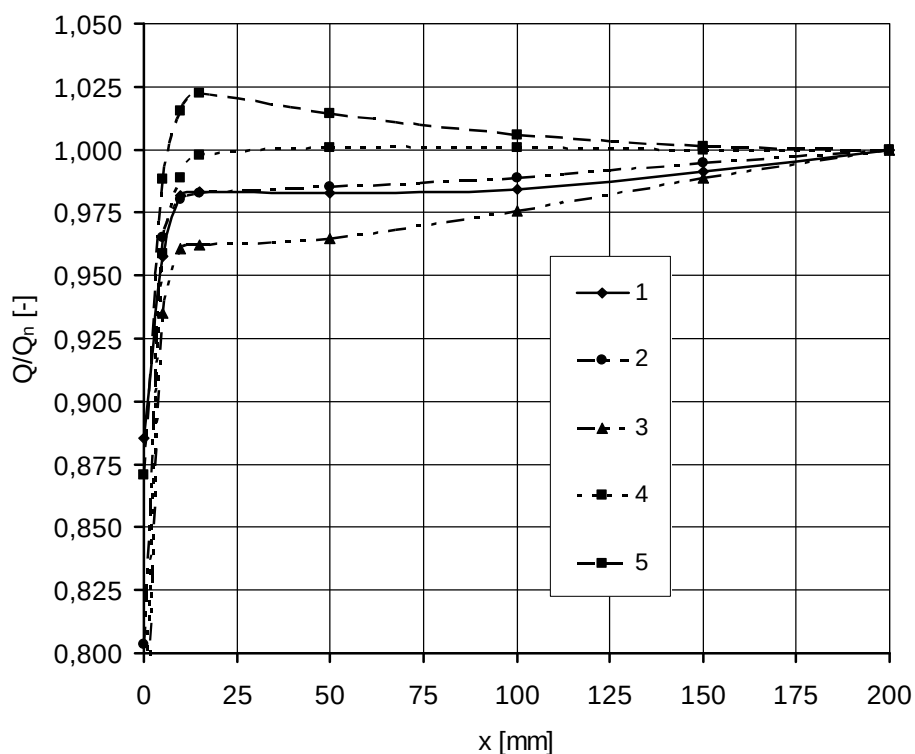
Při výběru předřazených desek byla snaha o co největší přiblížení k praxi. Pro vyvození konkrétních praktických závěrů bylo potřebné zvolit desek více. Jejich počet se ustálil na čísle pět, což je dostatečné množství pro zjištění hledaných závislostí a zároveň ještě nedochází k neúčelnému zahuštění výsledků [6]. Předřazené desky před otopné těleso byly vzhledem k porovnatelnosti výsledků opatřeny bílým nátěrem (s emisivitou $\varepsilon = 0,94$) a rozměry měly totožné s průměrnými rozměry tělesa, tj. 1000 x 600 mm. Byly zvoleny desky:

1. sololit 3 mm ($R = 0,03 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)
2. sololit 3 mm s nalepeným polystyrénem 20 mm ($R = 0,53 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)
3. polystyrén 50 mm ($R = 1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)
4. polystyrén 100 mm ($R = 2,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)
5. dřevotříska 18 mm ($R = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).

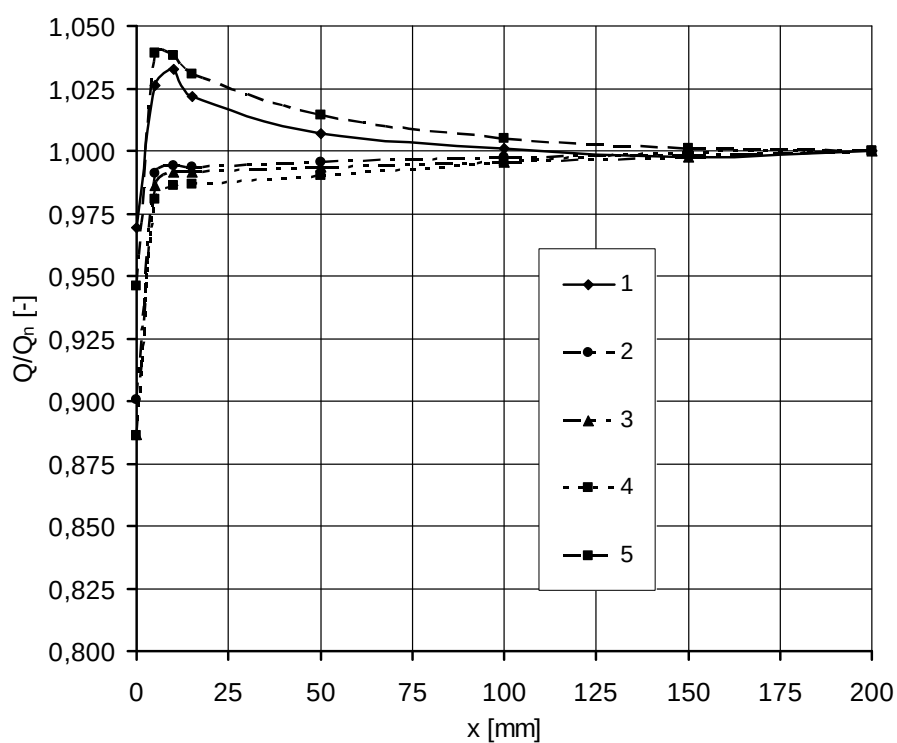
Na obr. 3 až 5 je vynášena poměrná hodnota tepelného výkonu Q / Q_n v závislosti na vzdálenosti desky od otopného tělesa x pro různé typy otopných těles. Q značí celkový tepelný výkon otopného deskového tělesa s předřazenou deskou ve vzdálenosti x a Q_n celkový jmenovitý tepelný výkon tělesa bez předřazené desky. Vzhledem k počtu a materiálu desek, resp. k jejich tepelnému odporu dostáváme pět průběhů.



Obr. 3 Poměrná změna celkového tepelného výkonu deskového otopného tělesa Radik Klasik typ 11 v závislosti na vzdálenosti předřazené desky před otopným tělesem x a jejím materiálu



Obr. 4 Poměrná změna celkového tepelného výkonu deskového otopného tělesa Radik Klasik typ 21 v závislosti na vzdálenosti předřazené desky před otopným tělesem x a jejím materiálu.



Obr. 5 Poměrná změna celkového tepelného výkonu deskového otopného tělesa Radik Klasik typ 33 v závislosti na vzdálenosti předřazené desky před otopným tělesem x a jejím materiálu.

Protože musí platit, že celkový výkon, resp. tepelný tok sdílený do vytápěného prostoru je dán součtem tepelného toku sdíleného konvekcí a sáláním, lze určit složku výkonu tělesa konvekcí Q_k z rozdílu obou měřených hodnot Q a Q_s .

$$\dot{Q} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_k \quad (12)$$

Na změnu celkového tepelného výkonu otopného tělesa s přibližující se předřazenou deskou mají vliv především dva parametry. Ten významný je typ tělesa, neboť typ tělesa (např. 11, 21 a 33) určuje rozdělení složky konvekční a sálavé v určitém poměru. Poměrné snížení tepelného výkonu pro případ desky instalované přímo před otopné těleso ($x = 0$ mm), v závislosti na typu otopného tělesa a tepelně-technických vlastnostech desky, ukazuje obr. 6. Jak se ukazuje, méně významným parametrem je tepelný odpor předřazené desky. Vliv obou parametrů na poměrný pokles celkového výkonu otopných těles $\Delta Q = (Q_n - Q)/Q_n$ prezentuje obr. 7. Povšimněme si, že křivky mají téměř shodný tvar a liší se pro daný typ otopného tělesa pouze absolutní velikostí poměrného poklesu tepelného výkonu. Za jakousi mezní hodnotu tepelného odporu předřazené desky, od které již nedochází k poklesu výkonu tělesa, resp. od které již změna výkonu tělesa není závislá na materiálu desky, je $R \geq 1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Vzájemný posun křivek rovněž potvrzuje teoretické předpoklady, že nejméně bude ovlivněno těleso s největším podílem konvekční složky, což v našem případě je typ 33. Tím, že předřadíme před těleso desku snížíme možnost, aby se plně uplatnila sálavá složka výkonu tělesa. Sálavá část výkonu se tak bude s přibližující se deskou zmenšovat podle vztahu:

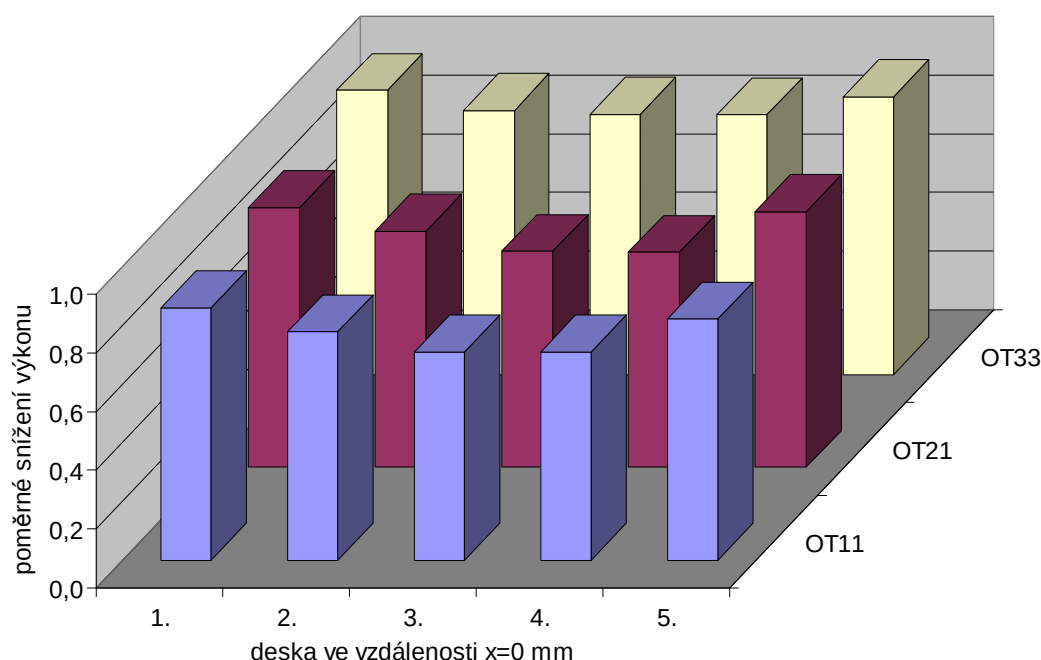
$$\dot{Q}_s = \varepsilon \cdot C_0 \cdot S_{e\varphi} \cdot \left[\left(\frac{T_{wm}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi \quad (13),$$

kde ε součinitel vzájemné pohltivosti (emisivita) = 0,95
 C_0 součinitel sálání absolutně černého tělesa = $5,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
 $S_{e\varphi}$ sálající povrch [m^2]
 T_{wm} střední teplota otopného tělesa [K]
 T_r střední radiační teplota [K]
 φ poměr osálání [-].

Ve vztahu je rozhodující veličinou pro snižování tepelného toku sdíleného sáláním měnící se střední radiační teplota a měnící se poměr osálání. Jak se mění poměr osálání se změnou vzdálenosti předřazené desky popisuje vztah:

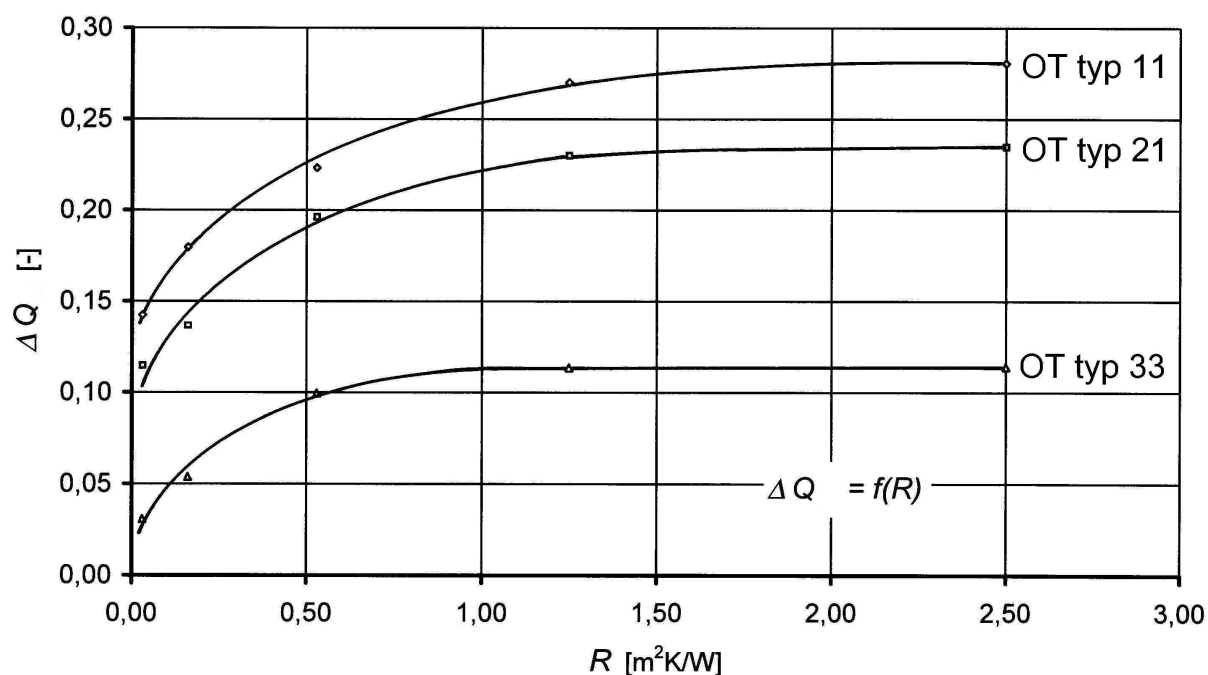
$$\varphi = \frac{2}{\pi} \left[\frac{1}{L} \sqrt{L^2 + x^2} \operatorname{arctg} \frac{H}{\sqrt{L^2 + x^2}} + \frac{1}{H} \sqrt{H^2 + x^2} \operatorname{arctg} \frac{L}{\sqrt{H^2 + x^2}} - \right. \\ \left. - \frac{x}{L} \operatorname{arctg} \left(\frac{H}{x} \right) - \frac{H}{x} \operatorname{arctg} \left(\frac{L}{x} \right) + \frac{x^2}{2H \cdot L} \ln \frac{(L^2 + x^2) \cdot (H^2 + x^2)}{x^2 \cdot (L^2 + H^2 + x^2)} \right] \quad (14),$$

kde x vzdálenost předřazené desky od tělesa [m]
 L délka desky [m]
 H výška desky [m].



Obr. 6 Poměrné snížení tepelného výkonu Q/Q_n v závislosti na typu otopného tělesa a tepelně-technických vlastnostech předřazené desky ve vzdálenosti desky od tělesa $x = 0$ mm (číslování desek viz str. 13)

U deskového otopného tělesa typ 33 je pokles výkonu nejmenší, neboť sdílí teplo především konvekcí (cca 82 %) a na sálavou složku do místnosti připadá podíl pouze 0,14 a na zadní stěnu 0,04. Naopak u tělesa typu 11 je největší, neboť konvekční složka výkonu se pohybuje okolo 64 % a do místnosti je podíl tepla sdílený sáláním 0,25.

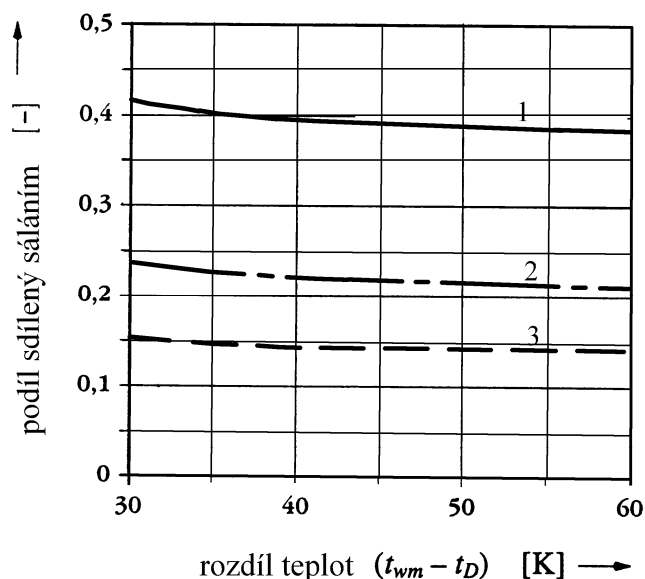


Obr. 7 Poměrný pokles celkového tepelného výkonu deskových otopných těles $\Delta Q = (Q_n - Q)/Q_n$ v závislosti na tepelném odporu předřazené desky R a typu otopného tělesa.

Tab. 1 Relativní podíl tepla sdíleného sáláním pro některá tělesa

Otopné těleso		Podíl tepla sdílený sáláním		
		Do místnosti	Na zadní stěnu	Celkový
Deskové otopné těleso – typ První číslo – počet desek Druhé číslo – počet konvekčních plechů	10	0,38	0,18	0,56
	11	0,25	0,11	0,36
	20	0,23	0,10	0,33
	21	0,20	0,08	0,28
	22	0,17	0,07	0,24
	33	0,14	0,04	0,18
Ocelové trubkové otopné těleso = vlastně článkové se 3 sloupky	2 sloupkové	0,27	0,12	0,39
	3 sloupkové	0,20	0,07	0,27
	4 sloupkové	0,17	0,05	0,22
Ocelové článkové těleso DIN 4703		0,28	0,10	0,38
Článkové těleso s úzkými sloupky		0,26	0,11	0,37
Litinové článkové těleso DIN 4703		0,26	0,10	0,36
Litinové článkové těleso s uzavřenou čelní plochou		0,21	0,08	0,29

Tab. 1 a obr. 8 ukazují podíl tepla sdíleného u těles sáláním. Z obr. 8 je rovněž patrné, že procentuální podíl tepelného výkonu tělesa sdíleného sáláním zůstává od určitého rozdílu teplot téměř konstantní.



Obr. 8 Podíl tepla sdíleného sáláním Q_s / Q v závislosti na rozdílu střední teploty vody a teploty vzduchu v definičním bodě ($t_{wm} - t_D$); 1 – deskové otopné těleso typ 10, 2 – článkové otopné těleso, 3 – deskové otopné těleso typ 33

Přesto, že ve vztahu pro sdílení tepla sáláním mezi dvěma plochami (13) vystupují teploty ve čtvrtých mocninách, podíl tepla sdíleného u otopných těles sáláním klesá s rostoucí střední teplotou vody rychleji, než podíl tepelného výkonu sdílený konvekcí (obr. 8).

Nelze se však domnívat, že při umístění desky až u tělesa dojde k plnému potlačení sálání. Těleso sálá dále nezakrytými povrchy a deska zvýší svou povrchovou teplotu tak, že rovněž sálá do vytápěného prostoru.

Výsledky měření ukazují, že se zmenšující se vzdáleností předřazené desky od tělesa roste tepelný tok sdílený konvekcí až do vzdálenosti cca 50 mm. V této vzdálenosti dochází ke zlomu křivky a dalšímu markantnímu poklesu i konvekční složky. Průběh lze zdůvodnit vytvořením jakési neuzavřené „šachty“, ve které se díky zvětšujícímu se teplotnímu gradientu zvětšuje i vztahová síla a tak i součinitel přestupu tepla konvekcí na čelní desce tělesa. Dalším přibližováním desky k tělesu se však zúží „šachta“ natolik, že se tlakové ztráty při proudění vzduchu v „šachtě“ projeví tak významně, že naopak potlačují proudění vzduchu a dochází k poklesu přestupu tepla konvekcí. Nejvýrazněji podporuje vytvoření jakési „šachty“ zvětšení přestupu tepla konvekcí při vzdálenosti předřazené desky před deskovým otopným tělesem 50 až 100 mm.

Lze konstatovat, že pokles celkového tepelného výkonu deskového otopného tělesa bude tím větší, čím větší bude tepelný odpor předřazené desky až do hodnoty $R = 1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Pokles výkonu bude rovněž vždy markantnější u těch typů těles, u kterých je větší sálavá složka výkonu. Od hodnoty tepelného odporu předřazené desky (stůl s čelní deskou, opěradla lavice, zadní desky kuchyňské linky apod.) $R \geq 1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ je pokles tepelného výkonu deskových otopných těles nezávislý na tepelně-technických vlastnostech desky.

Díky předřazené desce je v určité oblasti možné sledovat nárůst celkového tepelného výkonu deskových otopných těles, který je však vzhledem k velikosti chyby měření a velikosti nárůstu výkonu neprůkazný.

Vliv předřazené desky se promítá do opravného součinitele na úpravu okolí f_o . Hodnoty opravného součinitele na úpravu okolí předřazenou deskou jsou pro nejméně příznivé případy uvedeny v tab. 2.

S ohledem na chybu měření lze konstatovat, že ke snížení celkového tepelného výkonu deskových otopných těles vlivem předřazené desky dochází od vzdálenosti $x = 80 \text{ mm}$ od otopného tělesa. Dokonalou jistotu, že nedojde k ovlivnění tepelného výkonu, máme od vzdálenosti 200 mm.

Tab. 2 Opravný součinitel na úpravu okolí předřazenou deskou před deskovými otopnými tělesy.

Vzdálenost předřazené desky x [mm]	OT typ 11	OT typ 21	OT typ 33
0	0,70	0,75	0,90
50	1	0,97	0,99
> 200	1	1	1

5.3 Vliv velikosti výdechového otvoru v zákrytu na tepelný výkon otopného tělesa

Desková otopná tělesa typu 11, 21 a 33 reprezentují nejčastěji používané typy otopných těles v praxi. Zvolíme-li délku těles 1 m, pak experimenty umožňují vztažení výsledků měření na tepelný modul tělesa.

Jako zákryt byl použit stůl kuchyňské linky s otevřenými boky mezi zadní vertikální deskou sahající až k podlaze, stěnou a pracovní horní krycí deskou. Pracovní deska sahala až k obvodové stěně a byl v ní vyříznut výdechový otvor o stejných půdorysných rozměrech, jako má příslušný typ tělesa (obr. 9). Vzdálenost otopného tělesa od obvodové stěny a rovněž i od zadní vertikální desky stolu byla pro každý typ otopného tělesa zvolena 50 mm. Pracovní stůl

The diagram illustrates the experimental setup for measuring the thermal conductivity of a phase change material (PCM). It includes a heat source (1), a heat-conducting medium (8), a PCM sample (7), a cooling medium (9), a temperature sensor (10), and a computer (11) for data acquisition and control. The system is designed to measure the thermal conductivity of the PCM during its phase transition.

1 – zdroj tepla vybaven ultratermostatem, 2 – oběhové čerpadlo, 3 – obtok s armaturou Stad, 4 – rotační plovákový průtokoměr, 5 – magnetický filtr, 6 – uzavírací armatura, 7 – otopné těleso, 8 – stíněný teploměr, 9 – zákryt – kuchyňská linka, 10 – Assmannův aspirační psychrometr, 11 – kulový teploměr

20

$\frac{S_i}{S_z} = 1$ pro výřez desky zcela odkryt (maximální průtočný průřez výdechového otvoru);

$\frac{S_i}{S_z} = 0$ pro výřez desky zcela zakryt (průtočný průřez výdechového otvoru zcela zaslepen).

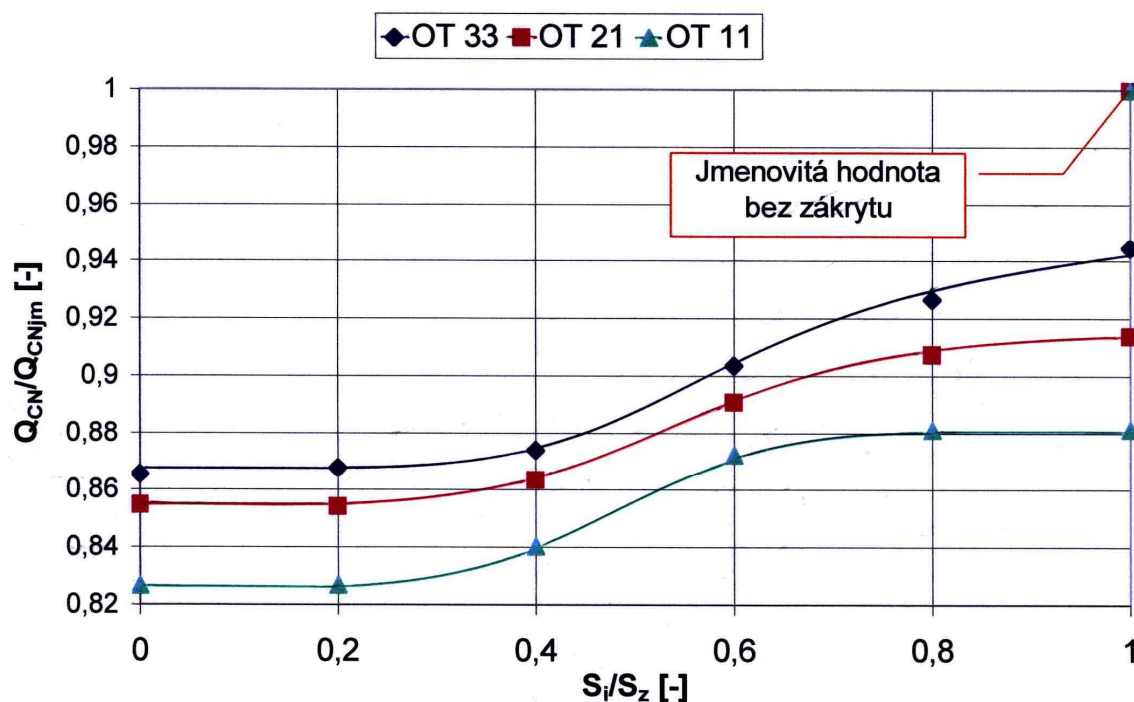
Pro snazší porovnání jsou vyneseny sledované veličiny pro všechna tři měřená otopná tělesa do jednoho grafu (obr. 10). Křivky mají téměř shodný průběh, liší se však svými absolutními hodnotami, tj. posunem. Vertikální posun křivky respektuje absolutní velikost poměrného poklesu celkového výkonu tělesa. Příčinou posunu průběhů křivek je rozdílný podíl tepla sdíleného do vytápěného prostoru konvekcí a sáláním. Je zřejmé, že otopné těleso typu 33 má oproti typu 21 dřívější stagnaci poklesu celkového tepelného výkonu, tj. již při 60% zakrytí. To je dáno velkým podílem konvekční složky, kterou těleso typu 33 disponuje. Mřížka je pro mohutné konvekční proudy překážkou a pokud není boční strana zákrytu zcela uzavřená, snaží se konvekční proudy mřížku obtékat postranním otvorem (obr. 11). Nutno poukázat i na sklon křivky již při odkrytých maximálních výdechových průřezech. Z toho vyplývá, že výřez v pracovní desce o stejných půdorysných rozměrech jako má těleso je pro tělesa s převažující konvekční složkou sdílení tepla nedostačující.

Obecně lze vyjádřit vliv typu otopného tělesa a zákrytu s proměnným průtočným průřezem výdechového otvoru následovně [6]:

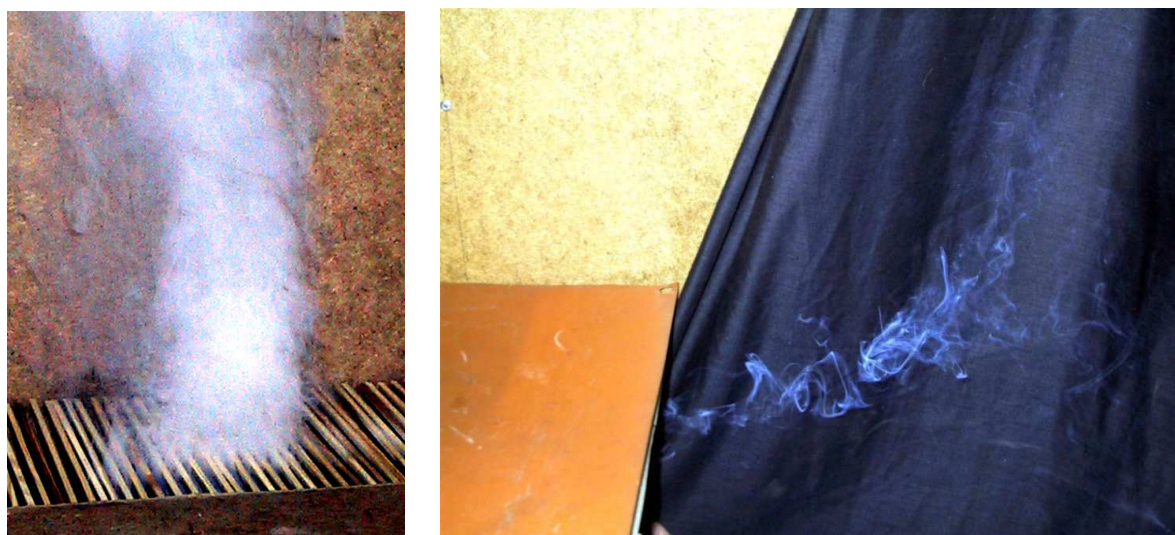
- pokles celkového tepelného výkonu otopného tělesa je jednak (přistavení zákrytu) tím větší, čím větší bude podíl sálavé složky vzhledem k celkovému tepelnému výkonu tělesa
- pokles celkového tepelného výkonu otopného tělesa je dále (změna průtočného průřezu výdechového otvoru) tím větší, čím větší bude podíl konvekční složky vzhledem k celkovému tepelnému výkonu tělesa.

Pokles celkového tepelného výkonu v závislosti na průtočném průřezu krycí mřížky nikoli na zákrytu jako takovém (přistavení kuchyňské linky) je:

- u těles typu 11 do poměrného průtočného průřezu $S_i/S_z = 0,3$ neprůkazný a následným zmenšováním průtočného průřezu min. 5 %
- u těles typu 21 do poměrného průtočného průřezu $S_i/S_z = 0,2$ neprůkazný a následným zmenšováním průtočného průřezu min. 6 %
- u těles typu 33 do poměrného průtočného průřezu $S_i/S_z = 0,2$ již patrný a následným zmenšováním průtočného průřezu min. 8 %.



Obr. 10 Poměrný pokles celkového tepelného výkonu v závislosti na průtočném průřezu výdechového otvoru pro desková otopná tělesa typ 11, 21 a 33 zakrytá přisazenou kuchyňskou linkou s přesahující pracovní deskou až k parapetu okna a opatřenou výdechovým otvorem o stejných půdorysných rozměrech jaké má otopné těleso s krycí mřížkou.



Obr. 11 Zviditelnění konvekčních proudů proudících krycí mřížkou a otevřenou boční staranou zákrytu u deskového otopného tělesa 33-1000 x 600 mm při teplotních parametrech 75/65/20 °C.

Doporučením pro běžnou projekční praxi je zohlednění výsledků výzkumu v opravném součiniteli na úpravu okolí otopného tělesa. Doporučení je zjednodušeně interpretováno v tab. 3 a 4. Opravný součinitel v sobě zahrnuje jak vliv přistaveného zákrytu (kuchyňské linky), tak vliv průtočného průřezu krycí mřížky. Oba faktory, resp. omezující vlivy se tak sčítají do výsledného působení respektovaného opravného součinitelem.

Celková změna tepelného výkonu deskových otopných těles je způsobena:

- potlačením sálavé složky sdílení tepla do vytápěného prostoru zákrytem (změna je tím výraznější, čím má otopné těleso méně konvekčních plechů případně otopných desek, resp. čím více se na celkovém výkonu otopného tělesa podílí sálavá složka)
- potlačením konvekční složky sdílení tepla do vytápěného prostoru vlivem průtočného průřezu výdechové mřížky (změna je tím výraznější, čím má otopné těleso více konvekčních plechů případně otopných desek, resp. čím více se na celkovém výkonu otopného tělesa podílí konvekční složka).

V praxi nejčastěji používané krycí mřížky mají průtočný průřez okolo 50 % celkového průřezu výdechového otvoru. Pro poměr $\frac{S_i}{S_z} = 0,5$ jsou příslušné

hodnoty přepočtového součinitele uvedeny v tab. 4. Tab. 4 tak udává opravné součinitele využitelné v každodenní projekční praxi.

Tab. 3 Zohlednění zákrytu a velikosti průtočného průřezu výdechové mřížky opravným součinitelem na úpravu okolí deskových otopných těles f_o při instalaci tělesa za kuchyňskou linku

Rozmezí poklesu celkového tepelného výkonu pro desková otopná tělesa typ 11, 21 a 33	Průtočný průřez ku půdorysnému výřezu výdechového otvoru					
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	13 až 18 %	13 až 18 %	13 až 16 %	10 až 13 %	8 až 12 %	6 až 12 %
f_o [-]	0,87 až 0,82	0,87 až 0,82	0,87 až 0,84	0,90 až 0,87	0,92 až 0,88	0,94 až 0,88

Tab. 4 Zohlednění zákrytu a velikosti průtočného průřezu výdechové mřížky opravným součinitelem na úpravu okolí deskových otopných těles f_o při instalaci tělesa za kuchyňskou linku při poměru $S_i/S_z = 0,5$

Typ deskového otopného tělesa	(OT 10) kvalifikovaný odhad	OT 11	OT 21	OT 33
f_o [-]	0,81	0,86	0,88	0,89

Získané výsledky se vztahují na průtočný průřez výdechové mřížky ve tvaru obdélníka, jehož delší strana je shodná s hloubkou tělesa. U výdechových mřížek s průtočným průřezem v jiném tvaru (kruhový, eliptický, hvězdy, kříže apod.), který se v praxi rovněž vyskytuje, dojde k odchylkám od stanovených opravných součinitelů. Důvodem je jiná kontrakce protékajícího proudu vzduchu a tak i změněný součinitel místního odporu. Odchylka je však nevýznamná, a jak bylo experimentálně zjištěno ne vždy ověřitelná vzhledem k chybě měření tepelného výkonu na otevřeném měřicím místě [3].

5.4 Vliv textilie zakrývající otopné těleso na jeho tepelný výkon

Koupelnová trubková otopná tělesa jsou v poslední době hojně užívána a jejich obliba neustále roste. Naleznou se převážně v koupelnách (odtud také název), ale i v síních, halách či na toaletách. Tento druh těles je zajímavý svou malou stavební hloubkou a množstvím doplňků, jako jsou zrcadla, věšáky, odkládací nástavce atd., což poskytuje jak uživatelům, tak projektantům celou škálu možností uplatnění. Svou konstrukcí přímo vybízí k odkládání či přímo sušení textilií na své teplosměnné ploše.

Tělesa bývají často opatřena elektrickou topnou tyčí, jejíž užití je nezávislé na provozu centrálního zdroje tepla pro otopnou soustavu. Na začátku či na konci přechodného období, kdy ještě či už není otopná soustava provozována, umožňuje toto řešení zajistit požadovanou tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru.

Jak již bylo uvedeno, jsou koupelnová trubková otopná tělesa užívána k sušení či odkládání textilií, převážně pak ručníků [14]. Úkolem experimentu bylo zjistit, jaký vliv má zakrývání trubkových koupelnových otopných těles suchou či vlhkou textilií na jejich tepelný výkon. Konkrétně pak šlo o zakrývání tělesa suchým a mokrým ručníkem s definovaným množstvím vlhkosti v ručníku.

V rámci měření vlivu zakrytí otopného tělesa na jeho tepelný výkon bylo vždy přesně definováno procento zakrytí teplosměnné plochy tělesa a důsledně se dodržovalo odečítání relevantních hodnot při ustáleném stavu. Při měření otopného tělesa zakrytého vlhkou textilií bylo třeba respektovat dynamiku tepelného chování otopného tělesa. Pro měření tělesa zakrytého vlhkou textilií tak byly určující změny teploty výstupní vody z tělesa. Teplota zpětné vody prakticky ihned po zakrytí tělesa klesla, ustálila se na nejnižší hodnotě a po časové prodlevě, kdy se vlhkost obsažená v textilii začala již výrazně odpařovat do okolí, opět začala stoupat. Pro grafické vyhodnocení je tak uvažována nejnižší teplota výstupní vody, která byla stabilní po dobu příslušné časové prodlevy.

U zakrývání trubkových koupelnových otopných těles vlhkými textiliemi bylo potřebné vzhledem k reprodukovatelnosti měření a jednoznačnosti výsledků definovat vlhkost textilie. Určujícím parametrem se tak stává měrná vlhkost textilie X_T . Tato veličina je definována jako poměr hmotnosti vlhké textilie k hmotnosti textilie suché.

$$X_T = \frac{m_T + m_W}{m_T} \quad [\text{kg/kg}_{\text{s.t.}}]$$

kde m_T hmotnost suché textilie $[\text{kg}_{\text{s.t.}}]$
 m_W hmotnost vody obsažené v textilii $[\text{kg}_w]$

Zakrýváme-li suchou textilií trubková otopná tělesa, jejich tepelný výkon klesá se zvětšující se plochou zakrytí (obr. 12 a 14). Pokles je znatelný do 60 % zakrytí jejich teplosměnné plochy. Od hodnoty 60 % zakrytí teplosměnné plochy tepelný výkon stagnuje. Pro menší z obou reprezentativních vzorků (KR-1200x600) znamená 70% zakrytí suchou textilií pokles tepelného výkonu o 12 %. Pro větší vzorek (KLC-1675x600) představuje 50% zakrytí teplosměnné plochy tělesa pokles tepelného výkonu o 13 %. Rozhodujícím parametrem pro vliv zakrytí trubkového otopného tělesa suchou textilií je uspořádání, resp. konstrukční řešení přestupní plochy tělesa.

Zakrýváme-li trubková otopná tělesa vlhkou textilií, nastane zcela odlišný stav. Tepelný výkon otopného tělesa vzroste. Z experimentu vyplývá, že tepelný výkon zakrytého otopného tělesa roste s rostoucí vlhkostí textilie a plochou zakrytí teplosměnné plochy. Dochází tak k rozšíření teplosměnné plochy tepelně vodivou částí a uplatnění i výparného tepla až do okamžiku vyschnutí textilie. Pro menší vzorek znamená 70% zakrytí teplosměnné plochy textilií o měrné vlhkosti 3,23 $\text{kg/kg}_{\text{s.t.}}$ (froté ručník po utření sprchovaného těla) růst tepelného výkonu o 8 %. Pro větší vzorek znamená 50% zakrytí textilií o měrné vlhkosti

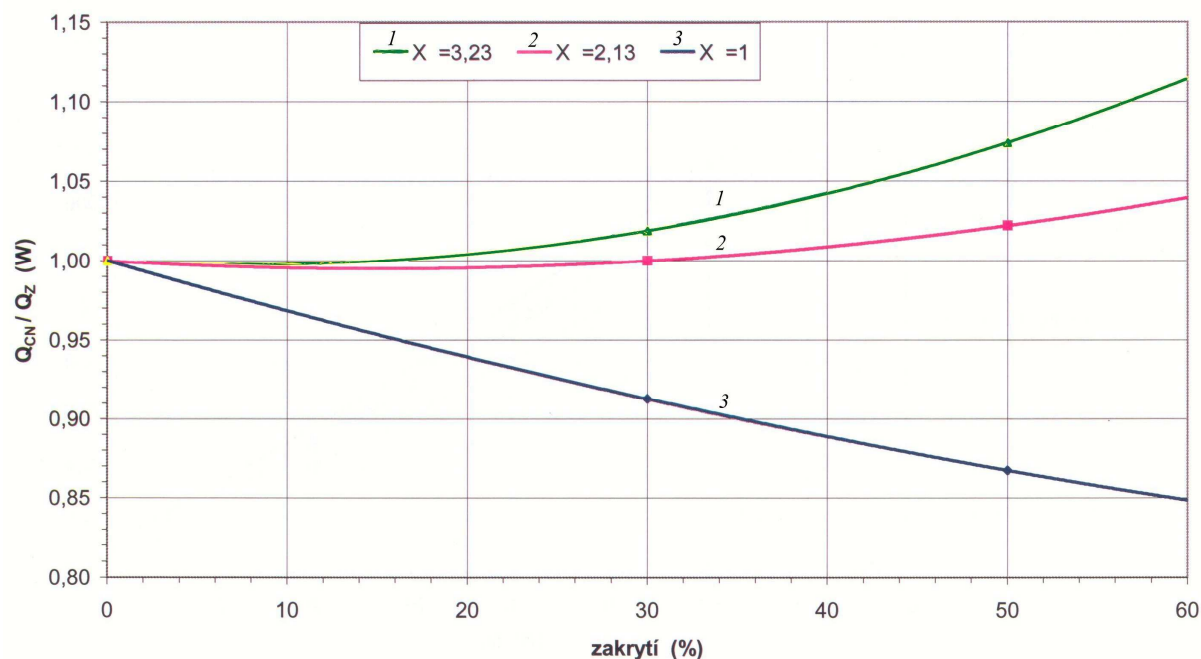
3,23 kg/kg_{s.t.} růst tepelného výkonu o 7 %. Rozhodujícím parametrem pro vliv zakrytí trubkového otopného tělesa vlhkou textilií je měrná vlhkost textilie.

Při zakrytí koupelnového trubkového otopného tělesa KLC-1675x600 suchou textilií z 30 % klesne tepelný výkon tělesa předávaný do prostoru o 9 %. Při zakrytí z 50 % klesne o 13 %. Při zakrytí koupelnového trubkového otopného tělesa KLC-1675x600 textilií o měrné vlhkosti 2,13 kg/kg_{s.t.} a zakrytí teplosměnné plochy z 50 % vzroste tepelný výkon o 2 % a při zakrytí textilií z 50 % o měrné vlhkosti 3,23 kg/kg_{s.t.} vzroste tepelný výkon o 7 % (viz obr. 12 a 13).

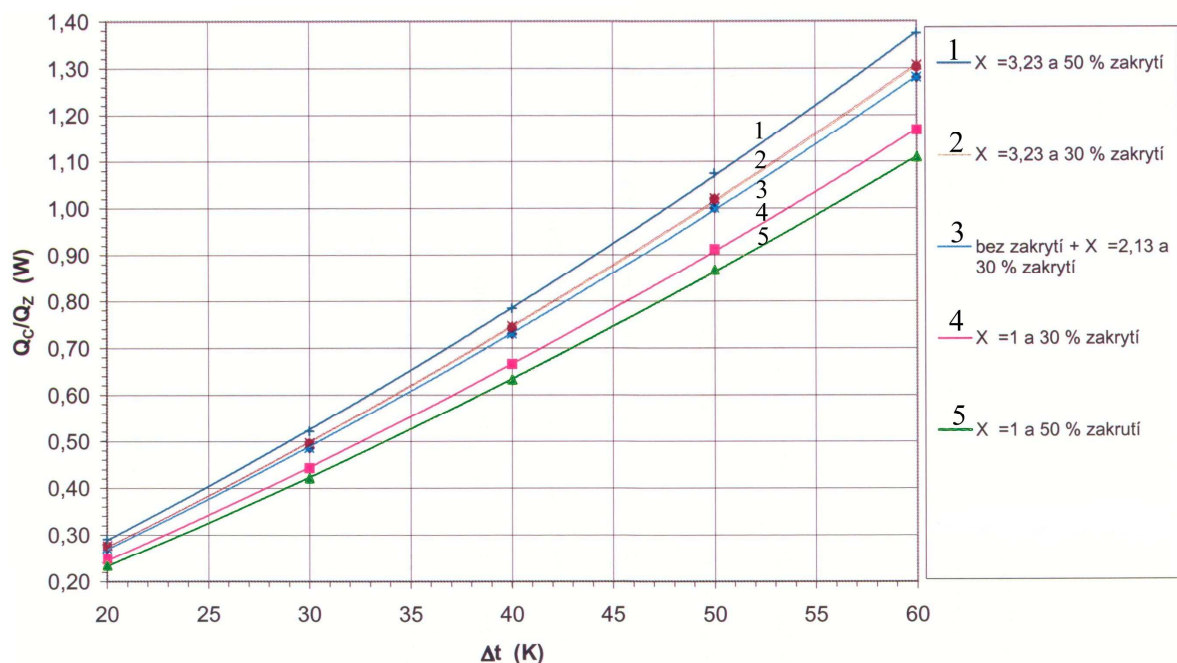
Při zakrytí koupelnového trubkového otopného tělesa KR-1200x600 suchou textilií ze 40 % klesne tepelný výkon tělesa předávaný do prostoru o 10 %. Při zakrytí ze 70 % klesne o 12 %. Při zakrytí koupelnového trubkového otopného tělesa KR-1200x600 textilií o měrné vlhkosti 2,13 kg/kg_{s.t.} a zakrytí teplosměnné plochy ze 70 % vzroste tepelný výkon o 3 % a při zakrytí textilií ze 70 % o měrné vlhkosti 3,23 kg/kg_{s.t.} vzroste tepelný výkon o 8 % (viz obr. 14 a 15).

Zakrývají-li se koupelnová trubková otopná tělesa vlhkou textilií, tepelný výkon otopného tělesa nejdříve vzroste a postupným odpařováním vody z textilie opět klesá až na hodnotu tepelného výkonu příslušející zakrytí suchým ručníkem. Z toho tedy pro projekční praxi vyplývá, že nelze uvažovat v návrhu tělesa stav, kdy je těleso zakryto vlhkou textilií. Podstatné pro návrh koupelnového trubkového otopného tělesa je snížení tepelného výkonu při zakrytí suchou textilií.

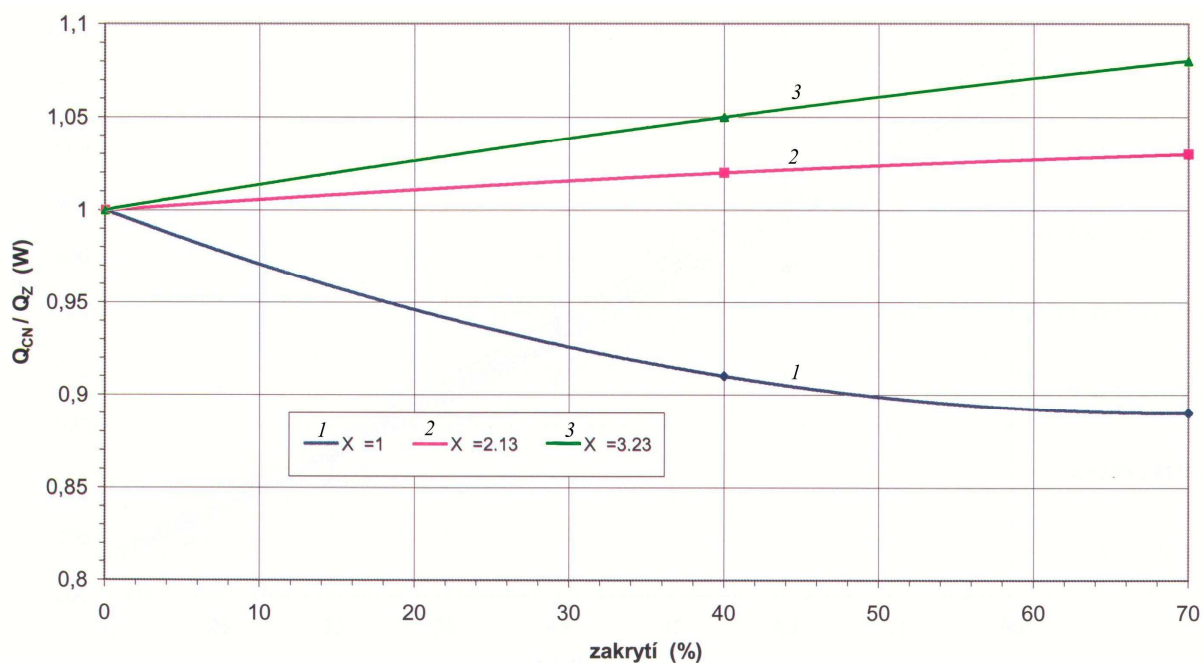
Při uvažování běžné velikosti osušek přehozených přes těleso obvyklým způsobem a uvažování nejčastěji projektovaných teplotních spádů u otopné soustavy, resp. u otopného tělesa, se dospěje k opravnému součiniteli 1,12. O 12 % je tak třeba předdimenzovat výkon navrhovaného otopného tělesa oproti tepelné ztrátě v případě, že se uvažuje používání těles pro odkládání či vysoušení textilií. Pokud se však těleso bude provozovat v nízkoteplotní otopné soustavě, a tudíž i s nižší střední teplotou tělesa než je obvyklé, bude opravný součinitel na zákryt koupelnového trubkového otopného tělesa nabývat hodnoty až 1,35. A pak je třeba předdimenzovat výkon navrhovaného otopného tělesa oproti tepelné ztrátě až o 35 %.



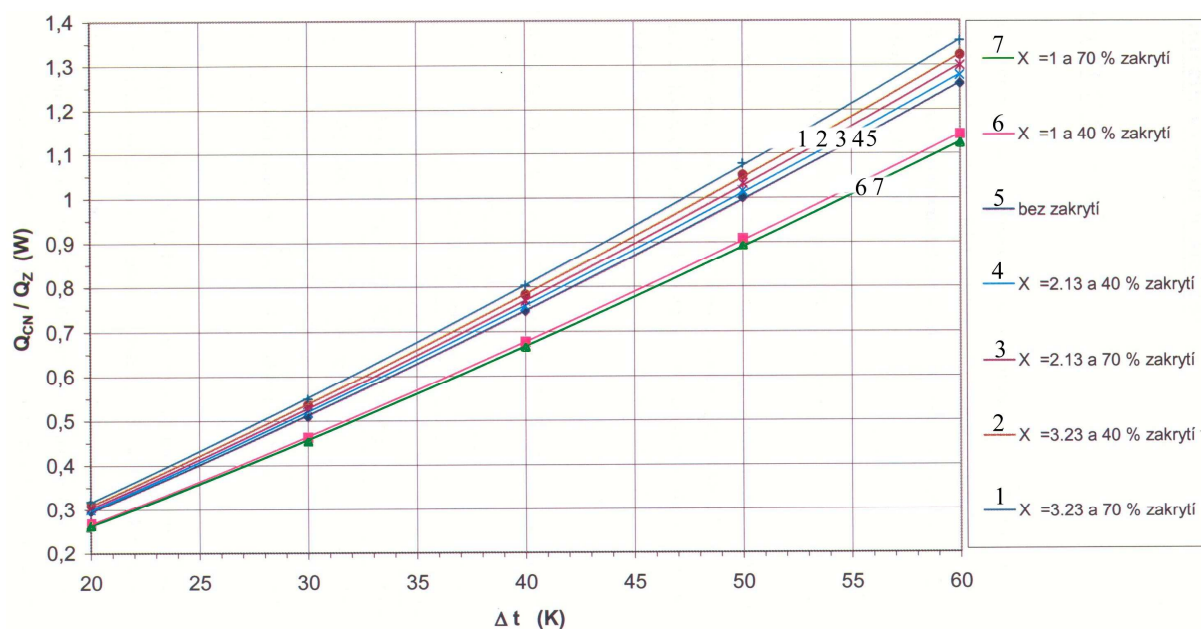
Obr. 12 Závislost poměrného tepelného výkonu trubkového koupelnového otopného tělesa KLC-1675x600 na procentu zakrytí teplosměnné plochy a měrné vlhkosti textilie



Obr. 13 Závislost poměrného tepelného výkonu trubkového koupelnového otopného tělesa KLC-1675x600 při různém procentu zakrytí teplosměnné plochy textilií o různé měrné vlhkosti na teplotním rozdílu ($\Delta t = t_{wm} - t_i$)



Obr. 14 Závislost poměrného tepelného výkonu trubkového koupelnového otopného tělesa KR-1200x600 na procentu zakrytí teplosměnné plochy a měrné vlhkosti textilie



Obr. 15 Závislost poměrného tepelného výkonu trubkového koupelnového otopného tělesa KR-1200x600 při různém procentu zakrytí teplosměnné plochy textilií o různé měrné vlhkosti na teplotním rozdílu ($\Delta t = t_{wm} - t_i$)

6. Závěr

Sdílení tepla má v technické praxi značný význam. Z fyzikálního hlediska charakterizuje zařízení, jako jsou otopná tělesa, speciální průmyslové výměníky tepla apod. K řešení otázky sdílení tepla u otopných těles pro vytápění nás nutí zvýšené požadavky na hospodárnost a hygienu. V dnešní době je to dáno především zvyšováním cen energie. Otopné těleso je vlastně výměníkem tepla, jehož úkolem je z teplonosné látky převést do vytápěného prostoru takové množství tepla a takovým způsobem, aby v něm byla zajištěna tepelná pohoda. Teplo z teplonosné látky se sdílí jednak na vnitřním povrchu tělesa (na straně vody či páry) přestupem (konvekcí), dále vedením stěnou tělesa a na vnějším povrchu tělesa je sdíleno přestupem (konvekcí) do vzduchu a sáláním na okolní plochy.

Při výpočtu přestupu tepla konvekcí využíváme součinitele přestupu tepla stanovené z kritériálních rovnic. Přesto, že jsou kritériální rovnice sestaveny pro přestup tepla u jednotlivých druhů otopných těles a pro specifické okrajové podmínky sdílení tepla u otopných těles [3], je následný výpočet tepelných toků zatížen velkou chybou. Technická praxe tak jednoznačně spoléhá na experimentální stanovení jak jmenovitých tepelných výkonů, tak opravných součinitelů tepelného výkonu, zohledňujících reálné podmínky instalace otopných těles. Této problematice se na Ústavu techniky prostředí dlouhodobě věnujeme a v halových laboratořích ústavu byla, kromě výše uvedených, experimentálně stanovena celá řada dalších opravných součinitelů.

Literatura

- [1] Bašta, J.: Zákryty otopných těles a jejich vliv na tepelný výkon. In: Vytápění, větrání, instalace. 8, č.3 (1999), s. 114 – 118
- [2] Bašta, J.: Umisťování otopných těles ve vytápěném prostoru. In: VVI, 2006, roč. 15, č. 5, s. 237-241. ISSN 1210-1389.
- [3] Bašta, J.: Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. – 328 s. – ISBN 80-01-02365-6.
- [4] Abel, H., Bott, H., Schlapmann, D.: Raumheizkörper. Heizungstechnik, 1990, č. 13, s. 928 – 935.
- [5] Bach, H.: Mit der Dämmung der Gebäude steigt die Anforderung an die Nutzenübergabe. HLH, 1997, č. 2, s.32 – 37.
- [6] Bašta, J., Huml, J.: Nové poznatky o zákrytech deskových otopných těles. In: VVI, 2001, roč.10, č.3, s. 110 – 113.
- [7] Glück, B.: Wärmeübertragung (Wärmeabgabe von Raumheizflächen und Rohren). Berlin 1991.
- [8] Bašta, J.: Návrh otopných těles a tepelná pohoda. In: Vytápění rodinných domů. STP Praha 2001. s. 41 – 50. ISBN 80-02-01457-X
- [9] Bašta, J.: Messung der Wärmeleistung von Unterflurkonvektoren. In: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Bd. 56, 1/2005. s. 25-28. ISSN 1436-5103.
- [10] Bašta, J.: Einfluss von Abdeckungen auf die Wärmeleistung des Heizkörpers. In: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Bd. 54, 7/2003. s. 43-46. ISSN 1436-5103
- [11] Bašta, J., Dvořák, P.: Vliv velikosti výdechového otvoru zákrytu na tepelný výkon deskových otopných těles. In: VVI, 2002, roč. 11, č. 3, s. 90-92.
- [12] Bašta, J.: CFD und neue Auffassung des Heizkörperentwurfs. In: Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Bd. 54, 3/2003. s. 36-41. ISSN 1436-5103.
- [13] Griffiths, E., Davis, A. H.: The Transmission of Heat by Radiation and Convection. Bord Spezial Report 9, 1931 London.
- [14] Krischer, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Springer Verlag, Berlin 1963.

ŽIVOTOPIS

Doc. Ing. Jiří BAŠTA, Ph.D. narozen 5. 2. 1965 v Jindřichově Hradci

Profesní zaměření:

Technika prostředí, specializace: vytápění – otopné plochy, otopné soustavy, hydraulika a řízení otopných soustav, fyziologická akustika

Studium a profesní růst:

1987 - 1992 ČVUT v Praze, FS, obor Technika prostředí.

1990 - 1992 ČVUT v Praze, Masarykův ústav vyšších studií - pedagogické vzdělání.

1996 ČVUT v Praze, FS, státní doktorská zkouška

2000 ČVUT v Praze, FS, disertační práce na téma „Intenzifikace konvekční složky tepelného výkonu deskových otopných těles“ – akademický titul doktor (Ph.D.) v oboru Technika prostředí.

2004 ČVUT v Praze, FS, habilitace v oboru Konstrukční a procesní inženýrství, podobor Technika prostředí – akademický titul docent (doc.). Habilitační práce na téma: „Omezující vlivy výkonu otopných těles“ a habilitační přednáška na téma: „Tepelná pohoda prostředí ve vztahu k návrhu otopných ploch“.

Státní závěrečné zkoušky:

Mechanika tekutin, Sdílení tepla, Technika prostředí, Psychologie, Pedagogika, Didaktika

Státní doktorské zkoušky:

Mechanika tekutin, Sdílení tepla, Technika prostředí

Praxe :

1985 - 1987 CALOFRIG a.s. Borovany, technický útvar konstrukce, samostatný konstruktér

od r. 1992 ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, odborný asistent

od r. 2000 tajemník a tutor Ústavu techniky prostředí

od r. 2004 ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, docent

od r. 2007 ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí – vedoucí ústavu

přednášky předmětů: Technika prostředí, Vytápění, Vytápění a zásobování teplem, Otopné plochy, Sálavé a průmyslové vytápění, Regulace vytápění, Hydraulika a řízení otopných soustav

cvičení předmětů: Projekt III a IV, Závěrečný projekt, Technika prostředí, Vytápění, Regulace, Otopné plochy, Experimentální metody, vedení diplomových prací, školitel PGS

Ostatní aktivity v oboru:

- člen redakční rady časopisu “Vytápění větrání instalace”
- člen Technické normalizační komise č. 93 pro ústřední vytápění při ČNI
- člen zkušební komise ČKAIT
- člen Energetické sekce HK ČR
- předseda odborné sekce Vytápění – Společnosti pro techniku prostředí (STP- ČS VTS)
- předseda mezinárodní hodnotící poroty veletrhu SHK Brno
- soudní znalec v oboru vytápění