

Doc. Ing. Jiří BAŠTA, Ph.D.,
Ing. Roman VAVŘIČKA,
Ing. Bořivoj ŠOUREK
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Vizualizace teplotních polí deskových otopných těles

Visual Representation of Temperature Fields by Panel Radiators

Recenzent

Doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek přibližuje problematiku napojování otopných těles. Autori mapovali termovizní kamerou teplotní pole na několika typech deskových otopných těles v závislosti na jejich napojení na otopnou soustavu. Na základě získaných výsledků doporučují optimální způsob napojení deskových otopných těles.

Klíčová slova: vytápění, otopná tělesa, napojení otopných těles, termovizní kamera

The article brings to light the problems of interconnected radiator systems. Authors mapped the temperature fields, of several types of panel radiators based on their locations within the heating system by thermographic camera. Results allowed them to recommend the optimal connection pattern of the individual panel radiators.

Key words: heating, radiators, connecting of radiators, thermo graphic camera

Při současném trendu snižování nákladů na vytápění je důležité, aby návrh otopného tělesa odpovídalo požadavkům na vytápěný prostor. Hospodárnost provozu otopného tělesa je tak nedílnou součástí návrhu otopné soustavy. Na provoz otopného tělesa má přímý vliv způsob jeho návrhu, jehož nedílnou součástí je také návrh způsobu napojení otopného tělesa na otopnou soustavu.

Hydraulické napojení otopných těles určuje způsob protékání otopného tělesa teplonosnou látkou. Ovlivňuje tak součinitel přestupu tepla z vody na stěnu otopného tělesa α_w [W/m²·K], který je podstatnou veličinou ve vztahu pro určení součinitele prospisu tepla k [W/m²·K]. Součinitel prospisu tepla charakterizuje kvalitu přenosu tepla na obou přestupních plochách otopného tělesa (na straně vody/vzduchu) a vedení tepla stěnou. Vlastně nám udává výkon otopného tělesa vztázený na velikost teplosměnné plochy 1 m² při rozdílu teplot 1 K (rozdíl mezi střední teplotou vody a střední teplotou okolního vzduchu). Způsob hydraulického napojení otopného tělesa tak předurčuje především závislost $k = f(\alpha_w)$.

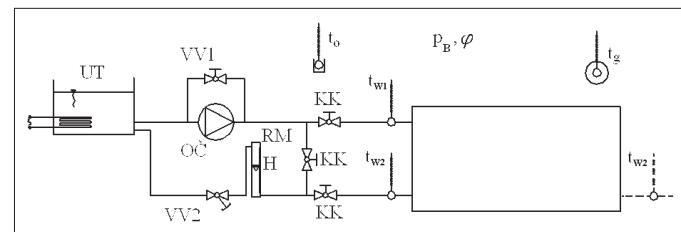
Vizualizace proudění vody v otopném tělesu je poměrně obtížný úkol. Je zde problém čím, respektive jakými částicemi vizualizovat. Tak, aby nebyly nasákané, jejich hustota byla přibližně stejná, jako je hustota vody a do všech směrů a pro každý směr jejich natočení poskytovaly stejný vizuální vjem. Otopné těleso samotné by muselo být zhotoveno z průhledného materiálu, opticky nezkreslujícího, který odolává provozním teplotám s přibližně stejnou teplotní délkovou roztažností jako má původní materiál otopného tělesa. Vizualizace na studené vodě by neměla smysl, neboť velmi podstatnou úlohu při zatékání do jednotlivých kanálů otopného tělesa hraje přirozený vztah. Uchýlili jsme se proto k vizualizaci nabíhajícího teplotního pole termovizní kamerou. Z takto určovaného náběhu rozložení teplot po ploše otopného tělesa se dá usuzovat i na hydraulické poměry v otopném tělesu, resp. na proudové pole.

Pro lepší porovnatelnost výsledků měření pracujeme s tzv. tepelným modulom otopného tělesa, což je tepelný výkon otopného tělesa vztázený na geometrický rozměr otopného tělesa. Tepelný modul je v tomto případě tepelný výkon deskového otopného tělesa o délce jednoho metru v základním provozním stavu.

Měřená soustava

V experimentu jsme se zaměřili na chování deskových otopných těles při jednostranném a oboustranném napojení shora-dolů. Experimentální zařízení se stávalo z mobilního zdroje tepla (obr. 1). Byla měřena čtyři desková otopná tělesa typ 10–500 x 500, 10–500 x 1000, 10–500 x 2000 a 10–300 x 2000, vždy pro teplotní spád 75/65 °C. Otopné těleso bylo podle potřeby napojeno na zdroj tepla buď jednostranně nebo oboustranně shora-dolů. Pro oba způsoby napojení (jednostranné i oboustranné) byl nastaven jmenovitý průtok. V průběhu měření byly odecítány veličiny uvedené v legendě obr. 1. Po zprovoznění měřicí tratě se uzavřou armatury před a za otopným tělesem. Otopná voda cirkuluje přes zkrat pouze v okruhu zdroje tepla (ultratermostatu), kde se ohřívá. Po oh-

řáti vody na teplotu 75 °C se uzavře zkrat a otevřou armatury u otopného tělesa. Termovizní kamerou ThermaCAM PM695 se v jednotlivých časových intervalech snímají povrchové teploty otopného tělesa. Počáteční stav – čas nula je určen vniknutím otopné vody o teplotě 75 °C do otopného tělesa.



Obr. 1 Schéma měřicího zařízení

UT – elektrický zdroj tepla – ultratermostat

VV1, VV2 – vyvažovací (regulační) ventil

KK – kulový kohout

OČ – oběhové čerpadlo s proměnnými otáčkami

RM – plovákový průtokoměr – rotametr

H [díly] – výška plováku rotametru

t_o [°C] – výsledná teplota pro určení střední radiační teploty t_r , měřená kulovým teploměrem

t_o [°C] – teplota vzduchu

t_{w1} , t_{w2} [°C] – teplota vstupní a výstupní vody měřená v teploměrných jímkách

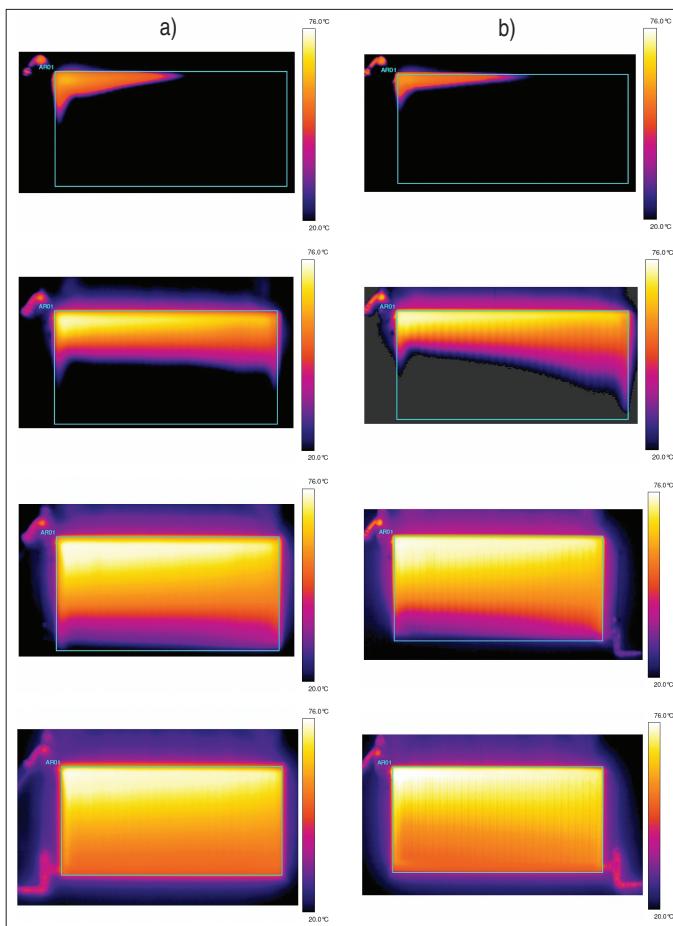
p_B [kPa] – barometrický tlak

ϕ [%] – relativní vlhkost určovaná aspiračním psychrometrem

Grafické znázornění výsledků

Na obr. 2 uvádíme teplotní pole snímané v čase pro deskové otopné těleso 10–500 x 1000. Tento obrázek nám může poskytnout informaci i o hydraulickém chování různě napojených otopných těles. U jednostranného napojení shora-dolů, které ukazuje obr. 2a, je na počátku patrné výrazně prohřát levého horního přívodního rohu otopného tělesa. Díky utlumenému proudění v horní rozvodné komoře, resp. výraznému poklesu dynamického tlaku po délce horní rozvodné komory, se teplá voda tláčí hněd prvními kanálky zpět k odvodu na stejně straně otopného tělesa. Lepší hydraulické napojení, tj. oboustranné (obr. 2b), poskytuje jiné, příznivější rozložení tlaků v tělesu. Teplá voda se rozlévá po délce otopného tělesa, tj. proudí nejdříve hlavně po délce horní rozvodné komory. Poté proudí kanálky proti směru gravitace s přispěním relativního podtlaku způsobeného vratnou větví, která je připojena na druhé spodní straně. Prohřívá se tak i teplosměnná plocha nejvíce vzdálená přívodu teplé vody.

Ve 4 minutách po otevření vstupní armatury je u jednostranného napojení (obr. 2a) patrný ostrý trojúhelník vysokých teplot zasahující horní rozvodnou komoru po její téměř celé délce a pouze horní část kanálků v prvních 2/3 délky otopného tělesa. U oboustranného napojení (obr. 2b) se však již jedná o lichoběžník, tj. vysoké teploty nepokrývají pouze horní rozvodnou komoru, ale v celé délce



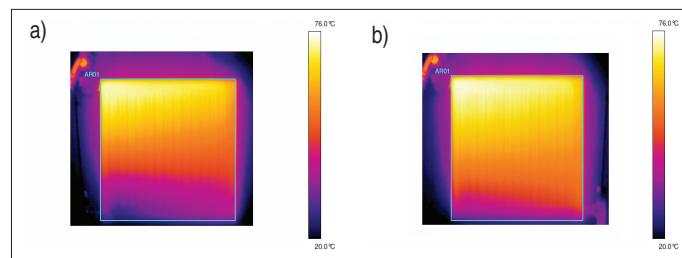
Obr. 2 Teplotní pole u deskového otopného tělesa 10–500 x 1000 v čase uváděném směrem shora 30 s, 2 min, 4 min, 25 min po otevření ventilu tělesa napojeného
a) jednostranně shora-dolů, b) oboustranně shora-dolů

otopného tělesa již zasahují i kanálky. Setrvalý, ustálený stav ukazuje čtvrtá, tj. spodní část obr. 2. Nenechme se mylit časovým údajem na obrázku. Porovnání v čase 25 minut je zde použito proto, abychom měli úplnou jistotu dosažení ustáleného (jmenovitého) stavu u obou variant napojení. Doba náběhu deskových otopných těles je samozřejmě výrazně nižší.

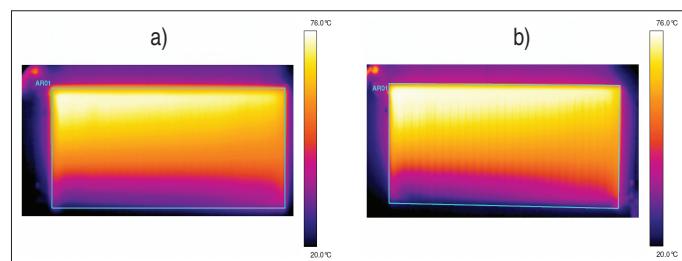
Z rozložení intenzit barev je patrné rovnoměrnější rozložení teplot po otopném tělesu v oboustranného napojení. Rovněž střední povrchová teplota (určená váženým průměrem z hodnot povrchových teplot pro každý pixel) je vyšší, a tudíž podle definičního vztahu pro tepelný výkon otopného tělesa je i jeho výkon vyšší. To ostatně dokazují i výsledky měření tepelných výkonů (tab. 1). Marhanatý je rozdíl tepelných výkonů u tzv. dlouhých otopných těles napojených jednostranně a oboustranně.

Podle snímků z termovizní kamery lze tedy konstatovat, že u otopných těles napojených oboustranně shora-dolů je celkové protékání všech kanálků otopného tělesa rovnoměrnější. Z toho plyne i dosažení vyšší střední povrchové teploty. Z posouzení vlivu dynamiky náběhu otopného tělesa na provozní parametry vychází u oboustranného napojení dlouhých těles i nižší hodnota setrvačnosti náběhu T_{90} [min]. To již nelze zcela říci o krátkých otopných tělesích. U krátkých otopných těles napojených oboustranně se při setrvačnosti náběhu T_{63} dá hovořit ve většině případů o přibližně shodě s jednostranným napojením otopného tělesa. Jiné nestandardní setrvačnosti náběhu (např. T_{30}) pak vycházejí lépe pro jednostranné napojení. Ty však nejsou pro regulační zásah, resp. odezvu na regulační zásah určující.

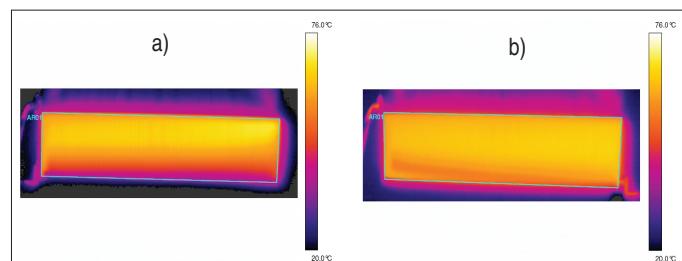
U typu 10–500 x 1000 není rozdíl teplotního profilu mezi jednostranným a oboustranným napojením po ustálení tak výrazný, jako např. u typu 10–500 x 2000 (obr. 5). Nicméně dosažená střední povrchová teplota



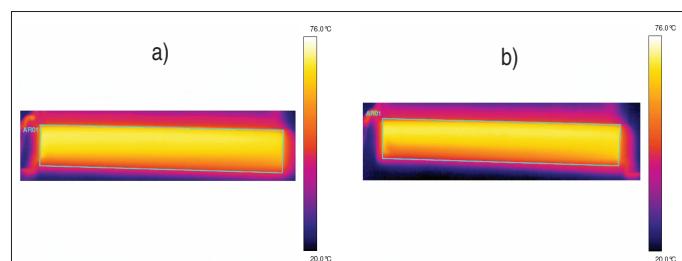
Obr. 3 Teplotní profil deskového otopného tělesa typ 10–500 x 500 po 4 min. od otevření ventilu tělesa napojeného
a) jednostranně shora-dolů, b) oboustranně shora-dolů



Obr. 4 Teplotní profil deskového otopného tělesa typ 10–500 x 1000 po 4 min. od otevření ventilu tělesa napojeného
a) jednostranně shora-dolů, b) oboustranně shora-dolů



Obr. 5 Teplotní profil deskového otopného tělesa typ 10–500 x 2000 po 4 min. od otevření ventilu tělesa napojeného
a) jednostranně shora-dolů, b) oboustranně shora-dolů



Obr. 6 Teplotní profil deskového otopného tělesa typ 10–300 x 2000 po 4 min. od otevření ventilu tělesa napojeného
a) jednostranně shora-dolů, b) oboustranně shora-dolů

v ustáleném stavu za jmenovitého průtoku je u oboustranného napojení 70,5 °C a u jednostranného napojení 69 °C, což má za následek mírně vyšší tepelný výkon při oboustranném napojení otopného tělesa (viz tab.1).

V následujícím sledu obrázků jsou znázorněny stavы deskových otopných těles, při jednostranném a oboustranném napojení, vždy po 4 minutách od otevření ventilu.

Tab. 1 Porovnání tepelných výkonů deskových otopných těles při teplotním spádu 75/65 °C

Typ ot. t./ napojení	10 – 500 x 500		10 – 500 x 1000		10 – 500 x 2000		10 – 300 x 2000	
	J	O	J	O	J	O	J	O
Tepelný výkon [W]	293	286	543	560	1015	1148	635	645
Změna tepelného výkonu [%]	100	98	100	103	100	113	100	102
Změna tepelného modulu [%]	104	103	100	103	93	107	96	98

Obr. 3 reprezentuje typ 10–500 x 500. Při porovnání obou způsobů napojení (obr. 3a a 3b) je patrná mírná výhoda oboustranného napojení i u krátkého otopného tělesa, kdy za stejnou dobu (4 min) dojde k o něco rychlejšímu prohřátí otopného tělesa. Po ustálení teplot je rozdíl mezi rozložením povrchových teplot u tohoto krátkého otopného tělesa minimální. Tak i rozdíl v tepelném výkonu pro oba způsoby napojení je minimální (tab. 1).

Obr. 4 ukazuje deskové otopné těleso typ 10–500 x 1000 jež bylo popsáno výše. Další obrázek (obr. 5) znázorňuje tzv. „dlouhé“ otopné těleso ($L/H \geq 4$), jedná se o typ 10–500 x 2000. U těchto otopných těles je již na první pohled patrný rozdíl mezi jednostranným a oboustranným napojením. Při pohledu na obr. 5a (jednostranné napojení shora-dolů) je patrná chladnější oblast vytvořená v dolní části otopného tělesa a zasahující téměř celou jeho délku. Příčinou jsou hydraulické poměry v otopném tělese. Snižení rychlosti proudění vody v této oblasti způsobí markantnější ochlazení otopné vody. Po ustálení teploty byla bezdynamickým teploměrem v pravém dolním rohu tělesa naměřena minimální teplota 55,3 °C, což je při teplotě přívodu 75 °C rozdíl 20 K. Obr. 5b ukazuje oboustranné napojení shora-dolů. Při porovnání obr. 5a a 5b je jasné, že u oboustranného napojení je rozdíl ve střední povrchové teplotě otopného tělesa 5 K (u jednostranného je $t_{st} = 53,1$ °C, oproti tomu u oboustranného $t_{st} = 58,3$ °C). Tento rozdíl je zachován i po ustálení teploty přibližně 5 K (u jednostranného napojení $t_{st} = 64,7$ °C, u oboustranného $t_{st} = 70,2$ °C), z čehož vyplývá nižší tepelný výkon při jednostranném napojení dlouhého otopného tělesa (tab. 1).

Pro porovnání bylo také měřeno deskové otopné těleso typ 10–300 x 2000 (obr. 6). Toto otopné těleso považujeme za dlouhé neboť splňuje podmínu $L/H \geq 4$, ale svou nižší konstrukční výškou poskytuje zajímavé výsledky. Při měření se ukázalo, že rozdíl mezi střední povrchovou teplotou při jednostranném a oboustranném napojení je u tohoto otopného tělesa téměř nulový (u jednostranného napojení $t_{st} = 69,8$ °C, u oboustranného $t_{st} = 70,1$ °C). U jednostranného napojení shora-dolů (obr. 6a), stejně jako u typu 10–500 x 2000, se sice vytváří chladnější oblast v dolní části otopného tělesa, ale protože je otopné těleso nižší, otopná voda nezaznamená takové výrazné ochlazení jako u předchozího typu otopného tělesa. Tuto podobnost lze také vysledovat u oboustranného napojení (obr. 6b). Z hlediska tepelného výkonu jde o rozdíl

v rámci chyby měření. Poslední měření nás tedy upozorňuje na skutečnost, že podmínka pro napojování otopních těles jednostranně či oboustranně podle $L/H \geq 4$ je nedostatečná. Podmínka by tak měla být rozšířena i na vliv přirozeného vztaku v podobě zohlednění samotné výšky otopného tělesa, jako určujícího parametru působení přirozeného vztaku.

Závěr

Položíme-li si otázku, zda je nutné rozlišovat napojení u otopních těles, zní odpověď jednoznačně ano. U „dlouhých“ otopních těles dochází totiž při nesprávném způsobu napojení k nežádoucímu snížení tepelného výkonu otopného tělesa. U jednoduchých deskových otopních těles se tepelný výkon sníží v závislosti na napojení o 10 až 20 %. Oboustranné napojení shora-dolů skýtá možnost dosažení vyšších povrchových teplot otopného tělesa a tím i lepšího využití teplosměnné plochy. V praxi je zažito, že u delších otopních těles je potřebné uplatnit právě napojení oboustranné shora-dolů. Podmínka která má definovat pojmen „dlouhá“ otopná tělesa je prozatím vyjádřena poměrem $L/H \geq 4$. Měření prokázala nedostatečnost této podmínky a potřebu zpřesnit podmínu na $L/H \geq 3$ a zároveň zohlednit výšku otopného tělesa. To znamená, že oboustranně bychom měli napojovat desková otopná tělesa, která splňují zpřesňující podmínu $L/H \geq 3$. Zároveň toto doporučení platí pro otopná tělesa s výškou $H \geq 300$ mm.

Autoři děkují firmě ENKI o.p.s. Třeboň za laskavé zapůjčení termovizní kamery. Tento výzkum byl podpořen VZ MSM 6840770011.

Použité zdroje:

- [1] Bašta, J.: Otopné plochy. *Vydavatelství ČVUT*, 2001. 328 s. ISBN 80-01-02365-6.
- [2] Bašta, J.: Hydraulika a řízení otopních soustav. *Vydavatelství ČVUT*, 2003. 252 s. ISBN 80-01-02808-9
- [3] Vavřička, R., Bašta, J.: Počitačová simulace deskových otopních těles. In: *Simulace budov a techniky prostředí 2004*, str. 107–111. Praha: ČVUT v Praze, 2004. ISBN 80-02-01678-5.
- [4] Vavřička, R.: Termovizní zobrazovací systémy. In: *VVI, 2004*, roč. 13, č.3, s. 120-124. ISBN 1210-1389.
- [5] Bašta, J.: Otopná tělesa. In: *Stavebná ročenka 2002*. Vydavatelstvo Jaga group, v.o.s., Bratislava 2001. s. 244–252. ISBN 80-88905-59-1.