

Povrchová teplota deskových otopných těles

Roman Vavříčka

Článek popisuje rozložení povrchových teplot deskových otopných těles v závislosti na průtoku otopné vody. Vyhodnocení je zaměřeno na sledování polohy střední povrchové teploty otopného tělesa. Výsledky byly stanoveny experimentálně.

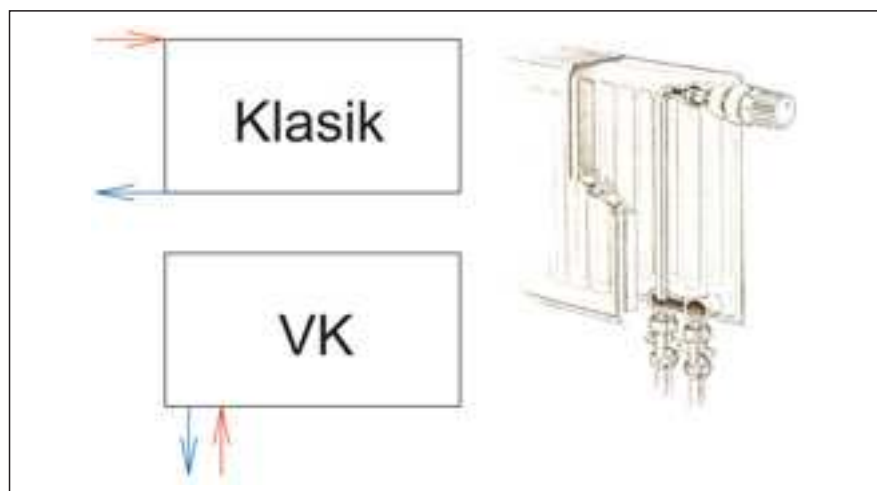
Doporučuji čtenářům pozorné čtení, jelikož výsledky měření na vzorcích otopných ploch znovu oživují fyzikální podstatu sdílení tepla při vytápění a mají zcela zásadní význam pro hledání fyzikálně správných parametrů otopné vody, zejména pro využití těles a armatur po zateplení a pro regulaci jejich výkonu.

Recenzent: Vladimír Galád

Teplný výkon otopného tělesa je při návrhu otopné soustavy pro projektanta většinou pouze jediný hodnotící parametr. Nicméně teprve komplexní znalost teplotních a provozních vlastností navrhované otopné plochy vede ke správnému návrhu a zároveň i provozu otopné soustavy jako celku. Příspěvek se věnuje závislosti tepelného výkonu otopného tělesa a rozložení povrchových teplot na hmotnostním průtoku teplotonosné látky otopným tělesem.

Experiment

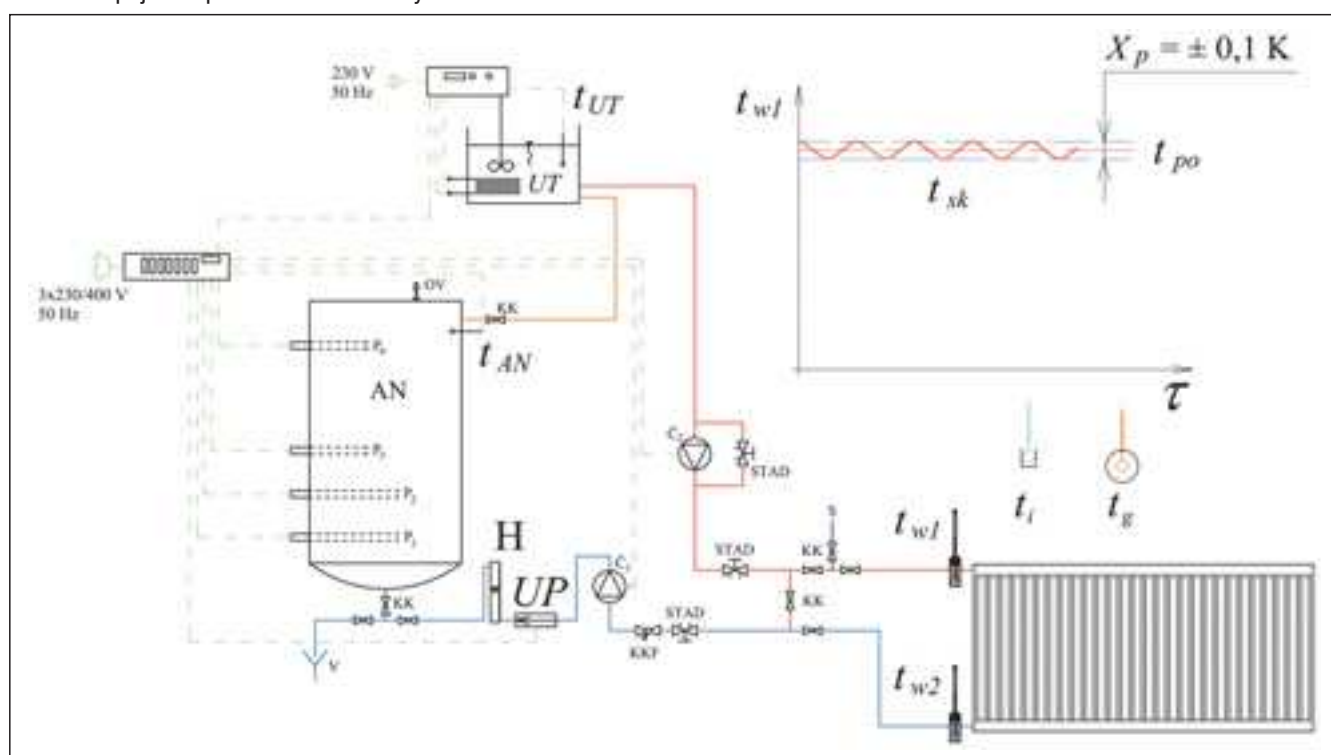
V rámci experimentu v laboratořích ČVUT, Fakulty strojní, Ústavu techniky prostředí byla měřena dvě základní desková otopná tělesa typu Klasik. Jednalo se o typ 10 – 500 × 1000 a typ 21 – 600 × 1000. Otopná tělesa byla měřena při jednostranném napojení shora-dolů. Tento způsob napojení byl zvolen proto, že se dnes jedná o nejběžnější způsob napojení u otopných těles v provedení „Klasik“ a provedení „Ventil kompak“ (tj. VK – spodní pravé připojení nebo VKL – spodní levé připojení). Jak je vidět z obr. 1 jedná se i v případě připojení VK (či VKL) pouhou úpravou konstrukce tělesa o napojení jednostranné shora-dolů.

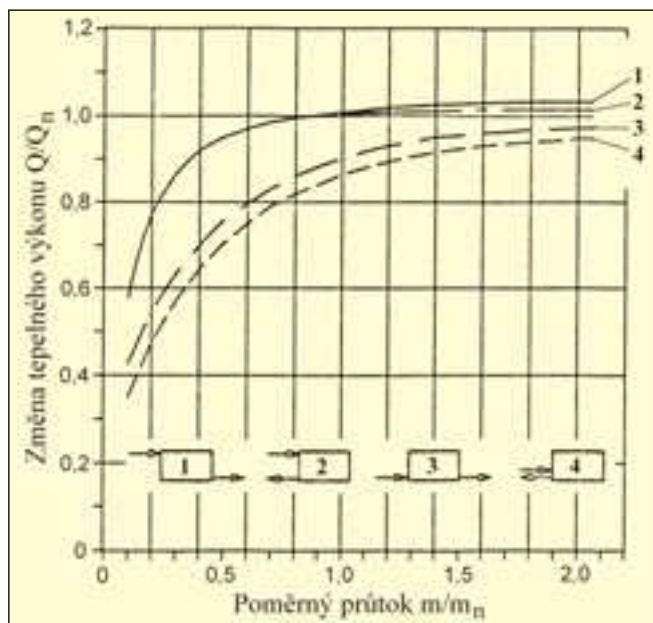


▼ Obr. 2 ●

Schéma zapojení experimentální soustavy

▲ Obr. 1 ● Provedení napojení „Ventil kompak“ u deskových otopných těles





◀ **Obr. 3** ●
Závislost tepelného výkonu na hmotnostním průtoku a způsobu napojení otopného tělesa na otopnou soustavu [L2]

dosažený tepelný výkon. Tento fakt postihuje tzv. opravný součinitel na připojení otopného tělesa. Na obr. 3 můžeme vidět, že u připojení se vstupem přívodní vody v dolní části otopného tělesa, je charakteristika otopného tělesa více zakřivena, oproti jmenovitému napojení. Tzn., že závislost dosaženého tepelného výkonu na průtoku je v těchto případech výraznější.

Pro experimentálně měřená otopná tělesa se jmenovitým napojením (tj. jednostranné shora-dolů), jsou zjištěné charakteristiky vyneseny na obr. 4. Například zvýšíme-li průtok měřených deskových otopných těles na dvojnásobek jmenovitého průtoku, zvýšíme tepelný výkon tělesa jen cca o 5 až 7 %, ale pokud průtok snížíme na 50 % jmenovitého, snížíme tím tepelný výkon cca o 15 až 20 %. Pokud porovnáme teoreticky stanovený průběh charakteristiky (čárkovaná čára na obr. 4) s experimentálně získanými závislostmi, pak lze říci, že experimenty prokázali velmi dobrou shodu s teoretickými předpoklady popsanými výše.

Další otázkou při sledování chování otopných těles je, jak se změní rozložení povrchových teplot s měnícím se průtokem teploty látky. V experimentu proto byla využita termovizní technika ve spojení s vyhodnocovacím softwarem FLIR R&D. Tento software umožňuje nejen vyhodnocení získaných termografických snímků grafickou metodou (paleta barev, rozsah teplot, izotermy apod.), ale zároveň má možnost pracovat i s možností

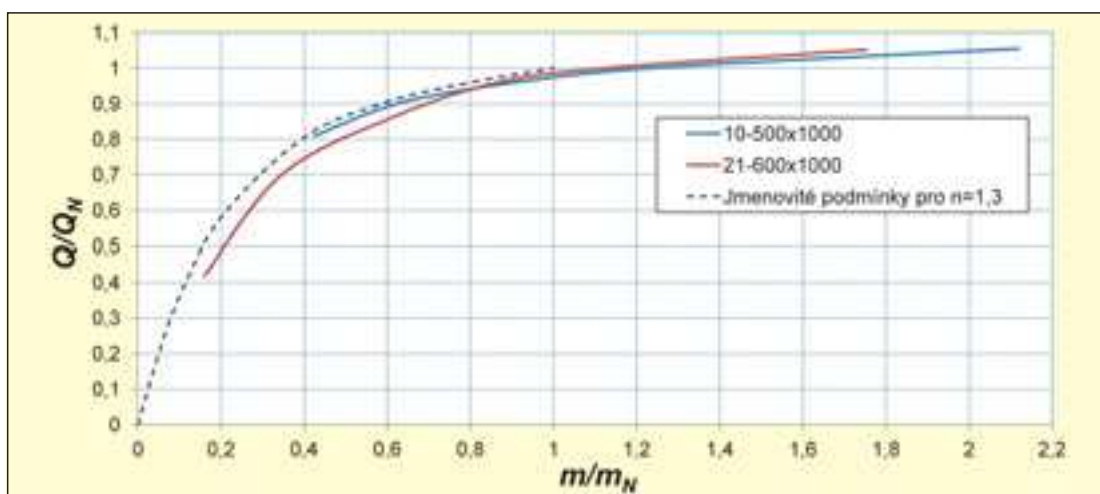
Experimentální zařízení bylo složeno z mobilního zdroje tepla, který umožňuje udržovat konstantní vstupní teplotu vody do otopného tělesa a předem definovaný hmotnostní průtok teploty látky (obr. 2). Vyhodnocení tepelného výkonu pro jednotlivé provozní stavy bylo provedeno na základě kalorimetrické metody. Pro doplnění okrajových podmínek, s ohledem na snímání rozložení povrchových teplot tělesa, byla dále měřena i střední radiační teplota.

Vyhodnocení

Závislost tepelného výkonu otopného tělesa na hmotnostním průtoku je obecná křivka, která je závislá na teplotě přívodní a vratné vody (teplotním spádu) a geometrii otopné plochy (teplotním exponentu otopného tělesa). Z pohledu regulace platí, že pokud má být tato závislost co nejvíce lineární je

výhodnější co nejnižší teplota přívodní vody do tělesa. Neboli, čím více se teplota přívodní vody do tělesa blíží teplotě vnitřního vzduchu tím je závislost mezi průtokem a tepelným výkonem lineárnější [podrobnější poznatky publikoval prof. J. Bašta např. v L1, nebo L2].

Geometrie otopného tělesa má přímý vliv na teplotní exponent otopného tělesa. Čím více bude poměr délky otopného tělesa k výšce nižší, tím bude i charakteristika tepelného výkonu v závislosti na průtoku plošší. To má velký význam vzhledem k regulačním zásahům TRV. Znamená to, že je změna výkonu s rostoucím průtokem menší a s klesajícím větší. Dalším faktem, který ovlivňuje charakteristiku tepelného výkonu je způsob napojení otopného tělesa na otopnou soustavu (obr. 3 [L2]). Natékání teploty látky v závislosti na geometrii otopné plochy má přímý vliv na



▶ **Obr. 4** ●
Provozní diagram měřených deskových otopných těles vztahený k jmenovitém podmínkám podle ČSN EN 442

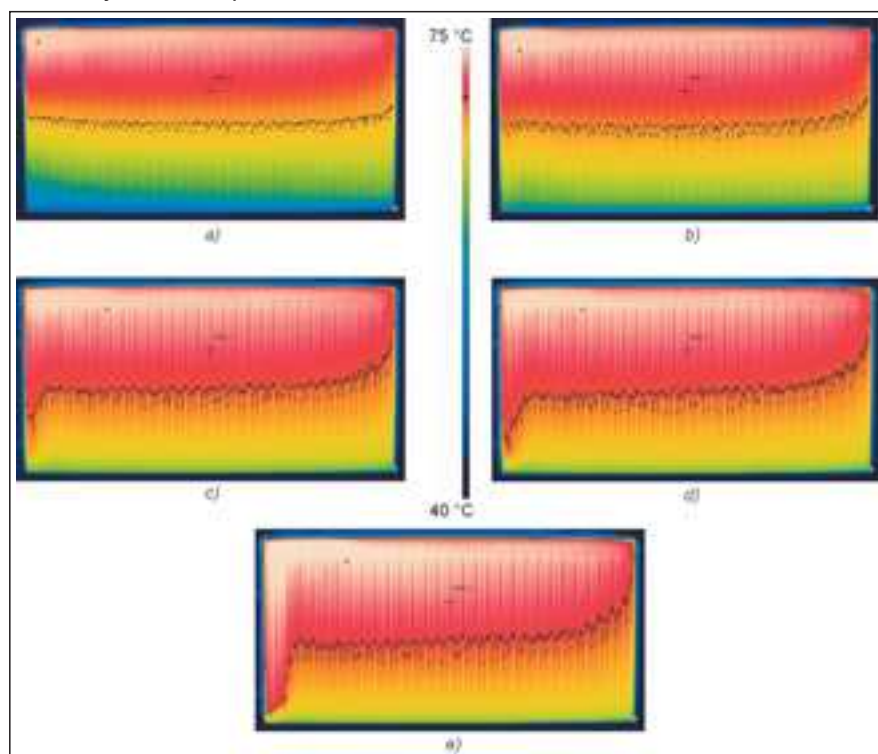
vytyčení oblastí, u kterých můžeme definovat speciální požadavky. Každý základní termovizní software pracuje s funkcemi izoterm. Problém je ale v tom, že většinou se pracuje formou křivky nikoli plochy. Pokud chcete definovat plochu s velmi malým rozdílem teplot tak, aby byla implementována do posuzovaného termogramu, lze říci, že čím je menší požadavek na rozdíl teplot, tím horší rozlišení termogramu poté získáte. V případě softwaru FLIR R&D je možné vytyčit přesně definovanou oblast teplot a tu následně implementovat do termogramu.

V případě střední povrchové teploty otopného tělesa byly hledané oblasti voleny s pásmem proportionalit $\pm 0,1$ K. Na následujících termogramech černé plochy reprezentují polohu střední povrchové teploty s přesností $\pm 0,1$ K. S ohledem na rozlišení termogramu 320×240 pixelů se místy může jednat o plochu velikosti 1 pixelu.

Obr. 5 zobrazuje provozní stavy deskového otopného tělesa typ 10 – 500×1000 . Minimální měřený

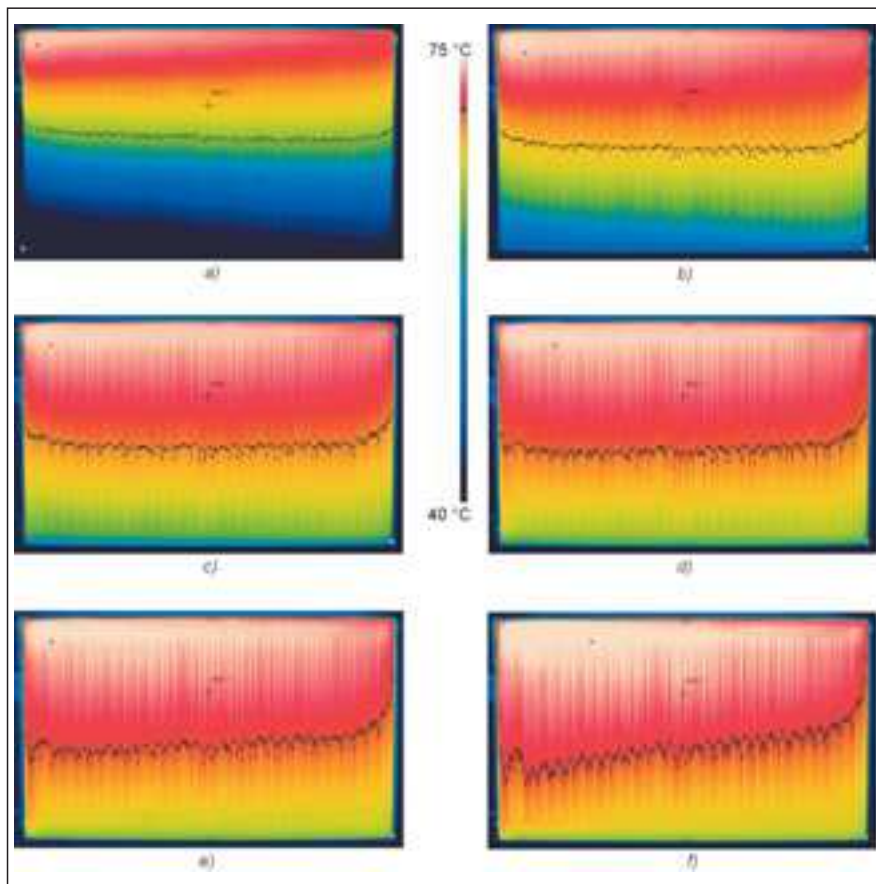
▼ **Obr. 5** ● Provozní stavy deskového otopného tělesa 10 – 500×1000 napojeného jednostranně shora-dolů

- a) 40 % jmenovitého průtoku – $t_s = 64,1$ °C, b) 65 % jmenovitého průtoku – $t_s = 67,4$ °C, c) 100 % jmenovitého průtoku – $t_s = 70,2$ °C, d) 125 % jmenovitého průtoku – $t_s = 71,0$ °C, e) 210 % jmenovitého průtoku – $t_s = 71,7$ °C



▲ **Obr. 6** ● Provozní stavy deskového otopného tělesa typ 21 – 600×1000 napojeného jednostranně shora-dolů

- a) 20 % jmenovitého průtoku – $t_s = 53,0$ °C, b) 40 % jmenovitého průtoku – $t_s = 63,7$ °C, c) 60 % jmenovitého průtoku – $t_s = 68,1$ °C, d) 100 % jmenovitého průtoku – $t_s = 69,8$ °C, e) 125 % jmenovitého průtoku – $t_s = 70,9$ °C, f) 180 % jmenovitého průtoku – $t_s = 71,8$ °C



průtok (tj. obr. 5a – 40 % jmenovitého průtoku) byl volen s ohledem na přesnost měření, protože při menších průtocích otopné vody než 40 % jmenovitého průtoku je výsledek zatížen významnou nejistotou. Např. pro hodnotu 20 % jmenovitého průtoku by se jednalo o hmotnostní průtok otopné vody tělesem cca $0,0025 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Opačný problém nastal při měření deskového otopného tělesa typ 21 – 600×1000 , resp. provozním stavům reprezentující výrazný nadprůtok otopné vody. V tomto případě bylo měření omezeno ze strany maximálních provozních parametrů oběhových čerpadel. Červený bod v horní rozvodné komoře otopného tělesa (obr. 5 a 6) ukazuje polohu maximální dosažené povrchové teploty na vytyčené ploše otopného tělesa. BOD 1 na obr. 5 a 6 je umístěn v 50 % délky otopného tělesa a 70 % výšky OT.

Pokud porovnáme obr. 5 a 6, můžeme vysledovat jistou podobnost.

Z obrázků je patrné, že při jednostranném napojení shora-dolů je rozložení středních povrchových teplot tělesa situováno do poloviny výšky otopného tělesa. V případech nižších průtoků teplotnosné látky je pozice střední povrchové teploty zhruba v polovině výšky otopného tělesa a její průběh po délce tělesa je poměrně vyrovnaný (téměř lineární s výjimkou krajů OT). Oproti tomu v případech rostoucího průtoku teplotnosné látky je již pozice střední povrchové teploty tělesa výrazněji posunuta směrem k dolní sběrné komoře tělesa a její průběh po délce otopného tělesa je výrazně nelineární. Pro jmenovitý hmotnostní průtok otopné vody je u deskového otopného tělesa typ 10 – 500 × 1000 při jednostranném napojení shora-dolů, poloha střední povrchové teploty z pohledu geometrie poloviny délky otopného tělesa v rozsahu od 42 do 52 % výšky OT. U deskového otopného tělesa typ 21 – 600 × 1000 to je pouze v rozsahu od 41 do 46 % výšky. Další polohy středních povrchových teplot s ohledem na průtok teplotnosné látky může čtenář z obr. 5 a 6 vysledovat sám.

Dalším hlediskem je otázka, jak je to tedy s umístováním s tzv. „indikátorů vytápění“. Obvyklou praxí je umístění v polovině délky otopného tělesa a 70 % jeho výšky. Přičemž zejména výškové umístění indikátoru se obvykle vyžaduje dodržet velmi přesně s tolerancí $\pm 10\%$. Pokud si představíme otopné těleso s osazenou termostatickou hlavici, pak při jmenovitém průtoku otopné vody (= správně hydraulicky vyvážená otopná soustava) je skutečná poloha střední povrchové teploty zhruba v polovině výšky otopného tělesa a nikoli tam, kde se doporučuje. V případech, kdy termostatická hlavice reaguje na zvyšování vnitřní teploty vytápěné místnosti (vnější nebo vnitřní tepelné zisky) a dochází ke škrcení průtoku vody otopným tělesem, se poloha střední povrchové teploty otopného tělesa výrazněji nemění. O to dramatičtější rozdíl ale nastává v případě, kdy otopná soustava není hydraulicky vyvážená a do otopného tělesa proudí výrazně více vody než jak je dle projektu navrženo. V takovém

případě je poloha střední povrchové teploty posunuta výrazněji do dolní poloviny otopného tělesa.

Pro praxi je pak zřejmé co znamená rozptyl ve výškovém rozmístění indikátorů na jednotlivých otopných tělesech. Dle údajů Ing. J. Cikharta [L3], byl u jednoho bytového domu zaznamenán rozptyl umístění indikátorů od cca 45 % až do více než 90 % výšky otopných těles. Měření pak prokázala, že uživatelé s nejvýše umístěnými indikátory zaplatili při stejném provozu otopných těles i více než dvojnásobek částky než uživatelé s indikátory umístěnými nejnižší [podrobněji viz. L3]. Důvody byly výše popsány a jsou zřejmé z obr. 5 a 6.

Závěr

Úkolem projektanta vytápění by mělo být co nejefektivnější návrh jednotlivých částí otopné soustavy. Bez znalosti provozního chování navržené otopné plochy je tento úkol velmi obtížně řešitelný. Nutno dodat, že měření byla prováděna pro stacionární (tj. ustálené) provozní stavy a nezanedbatelný vliv na dosažené výsledky v reálném provozu během otopného období bude mít také regulace. Na druhou stranu, ale experiment prokázal základní požadavek na otopnou soustavu, a to je nutnost jejího správného hydraulického vyvážení, a to nejen z pohledu dosažení požadovaného tepelného výkonu otopné plochy, ale také právě z pohledu regulace.

S ohledem na dosažené výsledky lze předjímat otázky spojené s umístováním indikátorů na otopná tělesa. Experiment jednoznačně prokázal, že poloha střední povrchové teploty otopného tělesa je závislá na hmotnostním průtoku teplotnosné látky. Dále je zřejmé, že nejenom geometrie otopného tělesa a množství protékané teplotnosné látky, ale také způsob napojení otopného tělesa, úprava okolí otopného tělesa, umístění otopného tělesa ve vytápěném prostoru atd. jsou aspekty, které výrazně ovlivňují rozložení povrchových teplot otopného tělesa, a tím i polohu střední povrchové teploty pro jednotlivé provozní stavy.

Autor v žádném případě nechce polemizovat nad problematikou rozúčtování nákladů na vytápění, a to ať již podle platné legislativy (zákon č. 318/2012 Sb.), nebo podle připravované novelizace, která je v době vzniku příspěvku ve schvalovacím řízení. Článek měl za cíl informovat čtenáře o problematice provozních charakteristik otopných těles a s tím spojených problémů, které je nutné řešit nejen ve fázi projektu, ale i dále při reálném provozu otopné soustavy.

Literatura

- [1] BAŠTA, J.: Otopné plochy – úvod do problematiky. Teplotnické chování otopné plochy a pohoda prostředí. Praha 2006. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>.
- [2] BAŠTA, J.: *Otopné plochy*. Vydavatelství ČVUT, 2001. 328 s. ISBN 80-01-02365-6.
- [3] CIKHART, J.: Měření a indikace tepla pro vytápění a příslušné přístroje (III). Praha 2006. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3421-mereni-a-indikace-tepla-pro-vytapieni-a-prislusne-pristroje-iii>

Komentář recenzenta

Výsledky měření na vzorcích otopných ploch znovu oživují fyzikální podstatu sdílení tepla při vytápění a také dokumentují, že tzv. kvantitativní regulace (hydronické postupy), tedy škrcením a nadprůtoky je z hlediska regulace výkonu tělesa tak málo účinná, že i při průtoku 20 % jmenovitého je těleso schopno snížit výkon pouze na 40 % a při průtoku 40 % se výkon sníží na 80 %. Naopak zvýšením průtoku na 200 % přináší zvýšení výkonu ani ne o 10 %!!!

Z tohoto důvodu nemohou hydronické metody splňovat požadavky na citlivou regulaci výkonu těles po zateplení. Snížení průtoku na 20 % sníží hydraulické ztráty na cca 4 %!!! Za těchto okolností ani nelze pro hydronické vyvažování použít stávající instalované seřizovací a regulační armatury. Pokles tepelných ztrát po zateplení snižuje zatížení ponechaných otopných ploch běžně na 40 % jejich instalovaných výkonů ve výpočtovém stavu. S rostoucí teplotou

venkovního vzduchu klesá i potřebný výkon těles limitně k nule.

Prostě nelze používat takové triviální rady, že na patě domu nastavíme tlakovou diferenci prostým sečtením tlakových ztrát. Například součet 30 kPa = 9 kPa na tělese + 1 kPa na stoupačce + 5 kPa na armatuře paty stoupačky + 15 kPa na ležatém rozvodu, a je to! Při poklesu hydraulických ztrát na 4 % by bylo třeba (hydraulicky) seškrtnit všechny armatury tak, aby bylo na patě pouze $0,04 \times 30 = 1,2$ kPa namísto 30 kPa.

Již mnoho let propaguji ne alternativní, ale jediné správné řešení a tím je Sofistikovaná Optimalizace Otopných Soustav a na jejím základě vypočítané správné fyzikální parametry otopné vody, tedy teploty, které zajišťují požadovaný výkon tělesa a přiměřené průtoky, které umožní

ponechat stávající osazené seřizovací armatury a takovou M+R, která „umí“ dynamicky reagovat na všechny vnitřní i vnější vlivy (tlakové výkyvy, tepelné zisky, manipulace uživatelů, atd.).

Výsledky měření také přinášejí vážné varování všem, kteří se domnívají, že umějí odměřit dodávky tepla do vytápěného prostoru pro rozdělování nákladů za spotřebované teplo naměřené fakturačním kalorimetrem na patě objektu. Článek ukazuje, kam se instalují indikátory, tj. mimo místa střední teploty a jak střední teplota „putuje“ po ploše tělesa na rozdíl od indikátorů, které jsou zafixovány. Navíc indikátor nereflektuje všechny možné tepelné zisky.

Doporučuji také literaturu v článku autora označenou jako [L2] od prof. Bašty „Otopné plochy“.

Autor: **Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.,**
Ústav techniky prostředí,
Fakulta strojní, ČVUT v Praze;
člen redakční rady Topenářství instalace

Recenzent: **Ing. Vladimír Galád,**
samostatný projektant, Praha;
člen redakční rady Topenářství instalace

Surface temperature panel radiators

Article describes the the layout of surface temperatures panel radiators, depending on the flow of hot water. The evaluation is focused on location tracking average surface temperature of the radiator. The results were determined experimentally using infrared technology.

Keywords: Radiator, panel radiator, surface temperature, thermovision, experiment

Hranice $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$ pro zemní vrt

Každý, kdo se zabývá tepelnými čerpadly země-voda slyšel o čísle $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$, aneb o možnosti získávat z 1 m zemního vrtu tepelný výkon 50 W. Nejčastěji tuto hodnotu používají obchodní zástupci pro odhad nákladů na vrt ke zvážení investice do tepelného čerpadla země-voda. U tak sofistikované investice by však tento zjednodušený postup neměl být vůbec používán, doporučil Milan Trs ze společnosti GEROTop na předjarních seminářích organizovaných STP.



Důvodů lze nalézt více:

- 1) Hodnota $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$ na běžný metr vrtu je jen jakousi střední hodnotou z vlastností zemního masivu. Skutečné vlastnosti povrchové vrstvy naší planety na území České republiky se však mohou lišit i v malých vzdálenostech. Není výjimkou, když je nutné uvažovat s hodnotou i dvakrát menší i ve vzdálenosti do 100 metrů od již využívaného vrtu. Skutečnost, že se vrt zákazníka může nacházet v energeticky výhodnější lokalitě, nemá žádný význam do té doby, dokud to odborná firma nezaručí.
- 2) Hodnota $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$ byla odvozena z množství energie získatelné z vrtu za rok za podmínky, že se ve vrtu rok od roku nesnižuje teplota, tedy že se každoročně tepelně regeneruje. Při tom se počítá

s roční provozní dobou 2400 hodin. Je evidentní, že pokud by za rok bylo z takového vrtu odebráno více tepla, než odpovídá uvažovanému tepelnému toku a hloubce vrtu, vrt se podchladí a příští rok bude tepelné čerpadlo pracovat v teplotně méně příznivých podmínkách s nižším sezónním topným faktorem, méně efektivně.

- 3) Pokud by návrh počítal například s jímáním $60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$ tepelné energie místo $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$, pak je nutné roční provozní dobu přiměřeně zkrátit. Přitom je nutné zvážit, zda daný zemní masiv zvýšený tok tepla umožní.
- 4) Zásadní problém zemního vrtu je v tom, že pokud je zhotoven, může být odzkoušen, proměřen, ale již jej nelze prodloužit. Proto by mělo být zásadně dodržováno pravidlo sledování vrtání vrtu odborníkem se znalostmi a zkušenostmi jak z vrtání, tak z navazující tepelné technické problematiky. Jedině takový odborník může kvalifikovaně doporučit eventuální prodloužení vrtu, pokud z vlastností odvrtávané zemní hmoty rozpozná, že prodloužení je nutné pro zabezpečení dlouhodobé efektivity práce tepelného čerpadla.
- 5) Skutečnost, že zhotovený vrt nelze prodloužit, ani opravit, hovoří ve prospěch odborných firem používajících systémově řešenou výstroj vrtu. Protože za tepelné vlastnosti vrtu a jeho dlouhodobou využitelnost neručí firma, která vrt vyvrtala, ale ta, která jej vystrojila. Ve spolupráci s dodavatelem tepelných čerpadel lze dát zákazníkům nejvyšší záruky.

□ JH