

Optimalizace jednotrubkové otopné soustavy měřením

Optimisation of one-pipe heating system by measuring

Ing. Jiří BAŠTA, Ph.D.,
Ing. Jan EISNER
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav
techniky prostředí

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek seznamuje s poznatky měření na jednotrubkové otopné soustavě s jezdeckým napojením otopných těles. Na základě experimentu doporučuje optimální rychlost vody v kmenové trubce a seznamuje s dynamickým chováním soustavy vlivem regulačních zásahů.

Klíčová slova: vytápění, jednotrubková otopná soustava, jezdecké napojení, otopné těleso

The article informs about knowledge based on measuring one-pipe heating system with connections with radiators by-passes. On basis of experiments the author recommends the optimum water velocity in basic pipe and informs about dynamic behaviour of the system due to regulation interventions.

Key words: heating, one-pipe heating system, connection with radiator bypass, radiator

V dnešní době mají význam především moderní jednotrubkové horizontální otopné soustavy s obtokem či směšovací armaturou a to s dvoubodovým, nebo jednobodovým napojením. Jednotrubková horizontální otopná soustava (dále jen JHOS) má svá specifika, která vyžadují složitější způsob navrhování. Nejsou zde uměle zvyšovány hydraulické odpory pro zabezpečení teplotní a hydraulické stability a tak je žádoucí co nejpřesnější návrh. JHOS se čtyřcestnými armaturami mají menší přenosovou schopnost než soustavy s tělesy v obtoku s nízkoodporovou armaturou.

JHOS lze rozdělit dle připojení otopných těles (dále jen OT) na soustavy s obtokem a soustavy s čtyřcestnými armaturami. Posledně jmenované jsou prováděny dle druhu armatury s jednobodovým či dvoubodovým napojením. Optimální pro větší soustavy je napojení jezdeckým způsobem, kdy OT je připojeno přípojkami do různých oboustranně zdola dolů nebo shora dolů přes nízkoodporovou armaturu. Nelze zde použít běžných termostatických ventilů pro otopná tělesa (TRV), neboť jejich velký hydraulický odpor by neumožnil správné zatékání do OT. Proto se volí nízkoodporové armatury (TRV pro soustavy s přirozeným oběhem), které dovolují jak osazení termopohony či termostatickými hlaviciemi, tak ruční ovládání.

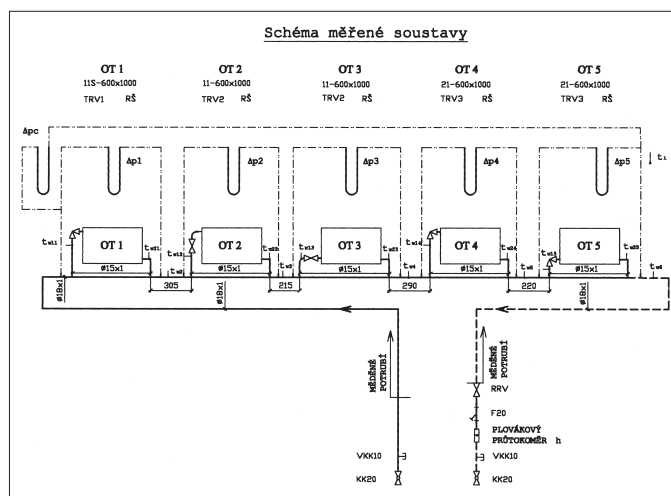
1. MĚŘENÁ SOUSTAVA

Oprávněným a osvědčeným postupem při zjišťování dynamického tepelného chování otopných soustav je využití experimentu. V experimentu jsme se zaměřili na dynamické chování jednotrubkové horizontální otopné soustavy s jezdeckým způsobem napojení OT shora dolů a zdola dolů (obr. 1) včetně chování soustavy vzhledem k navrhované rychlosti vody v kmenové trubce. Otopná soustava má pět OT, kde první, druhé a čtvrté OT je napojeno oboustranně shora dolů a třetí a páté OT je napojeno oboustranně zdola dolů. Vliv napojení na zatékání do OT a jeho teplotní pole byl popsán v [1]. Celá soustava byla opatřena odběry tlaků a teplot v referenčních místech spolu s měřením průtoku cejchovaným plovákovým průtokoměrem. Soustava byla napojena na centrální zdroj tepla pro zkušební tratě laboratoří U 216. Veškeré odběry teplot byly staženy na ústřednu a počítačově zpracovány. Rozdíly tlaků spolu s průtokem byly odečítány vizuálně ve stanovených časových intervalech. Celé měření bylo pro daný stav opakováno vždy pětkrát za účelem prokázání reprodukovatelnosti získaných hodnot.

Funkční princip JHOS s jezdeckým napojením otopných těles lze popsat takto. Každé otopné těleso je v hydraulickém paralelním zapojení s kmenovou horizontální rozvodnou trubkou tak, že mezi přívodním a vratným potrubím k OT protéká v kmenové trubce pod OT část vody a zbytek protéká OT. V místě spo-

Tab. 1 Upřesňující údaje měřené otopné soustavy

TRV-OT1	TRV-OT2	TRV-OT3	TRV-OT4	TRV-OT5
Rohový ventil Danfoss RA-G15	Přímý ventil Heimeier 2242	Přímý ventil Heimeier 2242	Rohový ventil Honeywell NF-2.240059	Rohový ventil Honeywell NF-2.242059
$k_{VS} = 1,02 \text{ m}^3/\text{h}$	$k_{VS} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$	$k_{VS} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$	$k_{VS} = 1,9 \text{ m}^3/\text{h}$	$k_{VS} = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$
Naměřené tlakové ztráty uzlů [Pa] pro $w_K = 0,4 \text{ m/s}$				
177	186	186	167	186
Naměřené tlakové ztráty uzlů [Pa] pro $w_K = 0,7 \text{ m/s}$				
451	510	540	481	510
Naměřené tlakové ztráty uzlů [Pa] pro $w_K = 0,9 \text{ m/s}$				
745	853	873	785	844



Obr. 1 Schéma měřené jednotrubkové horizontální otopné soustavy s jezdeckým napojením OT

jení zpětného potrubí od OT a kmenové trubky dochází ke směšování dvou proudů vody o různé teplotě a tak k poklesu teploty. Následující OT pracuje za hydraulicky stejných podmínek, ale tepelně pracuje oproti předchozímu OT s nižší vstupní teplotou. Vstupní teplota do OT se tedy postupně těleso od tělesa v hydraulické řadě snižuje, takže předepsaný teplotní spád se musí těleso od tělesa zohlednit velikostí přestupní plochy OT.

Pro zjištění průtoků u jednotlivých OT lze u místa odbočení z kmenové trubky k OT a místa napojení trubky z OT na kmenovou trubku využít směšovací rovnic. Využijeme – li tak pro uzel OT1 (obr. 2) následujících rovnic, můžeme dopočítat hmotnostní průtok OT a hmotnostní průtok v úseku kmenové trubky pod OT. To jsou důležité parametry pro budoucí určení součinitele zatékání do OT, přičemž do výpočtu se dosazují naměřené teploty a celkový průtok kmenovou trubkou.

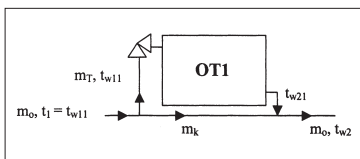
$$t_{w11} \cdot m_0 = t_{w11} \cdot m_T + t_{w11} \cdot m_K$$

$$t_{w2} \cdot m_0 = t_{w21} \cdot m_T + t_{w11} \cdot m_K$$

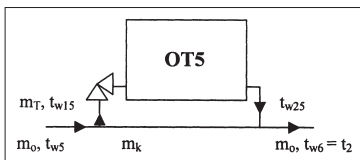
Stejným způsobem můžeme popsat uzel např. OT5, které je napojeno zdola dolů (obr. 3). Zde musí platit:

$$t_{w5} \cdot m_0 = t_{w15} \cdot m_T + t_{w5} \cdot m_K$$

$$t_{w6} \cdot m_0 = t_{w25} \cdot m_T + t_{w5} \cdot m_K$$



Obr. 2 Napojení prvního OT v okruhu

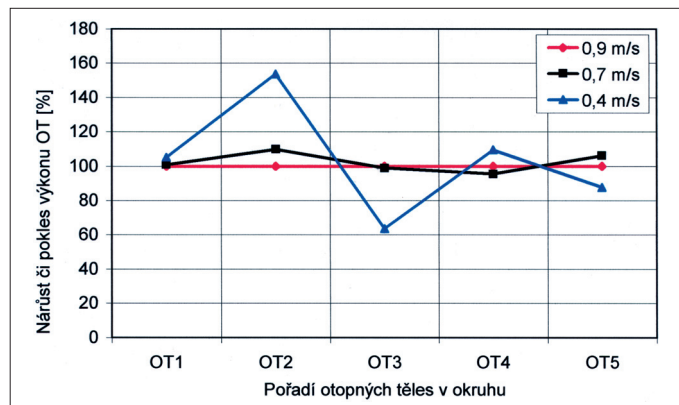


Obr. 3 Napojení pátého OT v okruhu

2. VLIV RYCHLOSTI PROUDĚNÍ VODY V KMENOVÉ TRUBCE

Hodnocení vlivu rychlosti proudění otopné vody v kmenové trubce na zatékání teplosnosné látky do jednotlivých OT jsme provedli při rychlosti 0,9, 0,7 a 0,4 m/s.

Obr. 4 znázorňuje v grafické podobě procentuální nárůst či pokles tepelného výkonu OT pro rychlosti 0,9, 0,7 a 0,4 m/s. Vše je vztaženo k základní, tj. předpokládané optimální rychlosti 0,9 m/s.

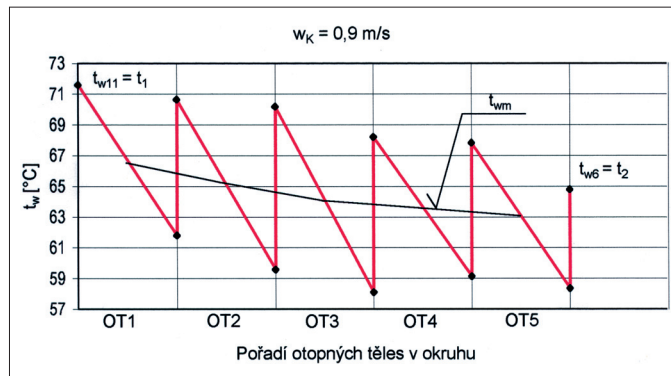


Obr. 4 Procentuální nárůst či pokles tepelných výkonů OT v okruhu pro různé rychlosti proudění otopné vody v kmenové trubce (vztaženo k rychlosti 0,9 m/s)

Jako optimální rychlost proudění vody v kmenové trubce se ze sledovaných rychlostí 0,4, 0,7 a 0,9 m/s ukázala rychlost 0,9 m/s. Celá otopná soustava se při této rychlosti chová stabilně a tepelné výkony otopných těles jsou rozloženy rovnoměrně dle projekčního předpokladu. U soustav s měděnými trubkami, se spojí zhotovenými kapilárním pájením, je však pro rychlost 0,9 m/s podmínkou použití kolien z mosazi, neboť u měděných kolien by došlo k výraznému snížení životnosti. Při rychlosti proudění vody v kmenové trubce 0,4 m/s se soustava chová nestabilně, zatékání do jednotlivých otopných těles není v souladu s požadovanými hodnotami a tudíž i rozložení tepelných výkonů neodpovídá projekčnímu požadavku. Dynamika soustavy tak dále byla ověřována již jen s optimální rychlostí v kmenové trubce 0,9 m/s.

Vzhledem k návrhu velikosti otopné plochy je důležitým parametrem střední teplota OT. Obr. 5 zjednodušeně znázorňuje průběh teplot na OT při rychlosti

otopné vody v kmenové trubce 0,9 m/s. V grafu je zakreslena spojnice středních teplot OT, která určuje i směrnici průběhu středních teplot.

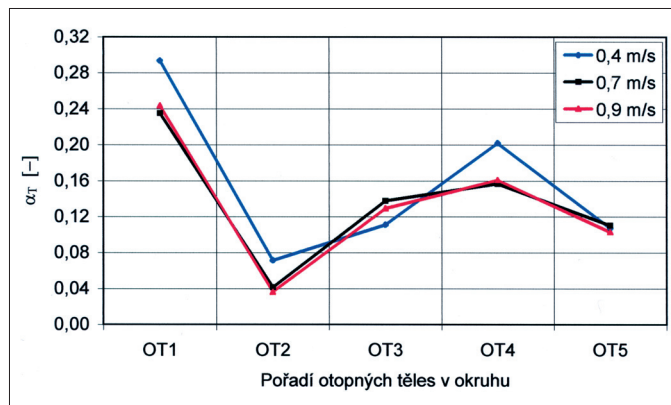


Obr. 5 Průběh teplot u OT pro rychlost otopné vody v kmenové trubce 0,9 m/s

Pokud stejným grafickým způsobem vyhodnotíme střední teploty i pro rychlosti v kmenové trubce 0,7 a 0,4 m/s zjistíme, že při rychlosti 0,9 m/s je pokles spojnice středních teplot pozvolnější než u rychlosti 0,7 či 0,4 m/s. Jinými slovy je zřejmé, že teoretický předpoklad o větším teplotním spádu na soustavě při nižších průtocích se experimentálně potvrdil. Značný pokles středních teplot u OT při rychlosti proudění v kmenové trubce 0,4 m/s a s ním související i pokles přirozeného vztlaku na OT způsobuje nerovnoměrné rozložení tepelných výkonů jednotlivých OT v hydraulické řadě.

Zatékání do OT rozhoduje nejen o teplotním spádu na OT ale i o střední teplotě a tudíž i velikosti dalšího OT v hydraulické řadě. Zatékání můžeme vyjádřit poměrem průtoků tělesem a okruhem, kterému se říká součinitel zatékání do OT. Tento poměr je závislý na návrhu průměru přípojného potrubí a volbě regulační armatury. Neméně důležité je však i připojení OT. U připojení zdola dolů nám při zatékání do OT významně pomáhá přirozený vztlak, který je tím významnější čím je vyšší vstupní teplota vody do tělesa.

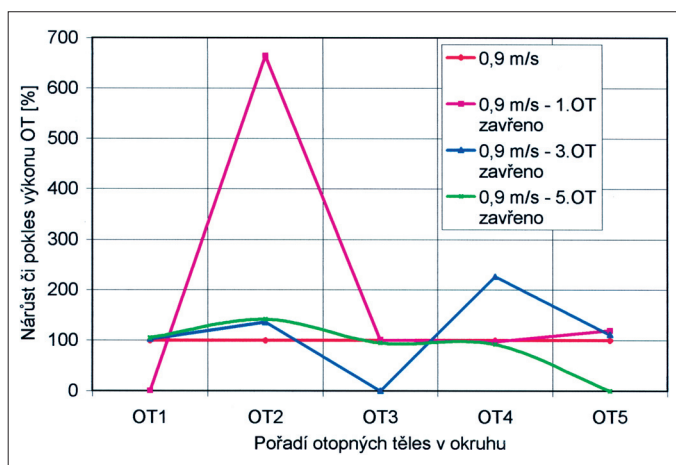
Obr. 6 graficky prezentuje závislost součinitelů zatékání do jednotlivých OT v okruhu na rychlosti proudění otopné vody v kmenové trubce. Z grafu je zřejmé, že při rychlosti 0,4 m/s se soustava chová zcela odlišně od předpokladu daného projektem. Rovněž můžeme konstatovat, že vzhledem k opakovaným měřením se soustava s takto nízkou rychlostí chová proměnlivě.



Obr. 6 Součinitele zatékání do OT v okruhu JHOS pro různé rychlosti proudění vody v kmenové trubce

3. CHOVÁNÍ SOUSTAVY PŘI REGULAČNÍCH ZÁSAZÍCH

Chování TRV v soustavě jsme zjednodušili na případ, kdy dojde k úplnému uzavření OT. Dynamiku soustavy pak postihují stavy, kdy dochází k uzavírání



Obr. 7 Nárůst či pokles tepelného výkonu OT v závislosti na uzavírání OT v okruhu (pro rychlost proudění vody v kmenové trubce 0,9 m/s)

jednotlivých OT v hydraulické řadě. Měření vlivu uzavírání jednotlivých OT v okruhu na tepelný výkon ostatních OT v okruhu jsme sledovali při optimální rychlosti proudění vody v kmenové trubce 0,9 m/s.

Uzavírání jsme provedli postupně na prvním, třetím a pátém, tj. posledním OT. Nejprve jsme ventilem na OT uzavřeli první OT, přičemž zbývající OT byla plně otevřena. Určili jsme vliv uzavření prvního tělesa na zbývající OT a na celou otopnou soustavu. Stejný postup byl opakován pro třetí, tj. prostřední a páté, tj. poslední OT v okruhu. Byl tak simulován stav, kdy jednotlivá otopná tělesa v soustavě opatřená místní regulací (TRV) jsou uzavírána.

Uzavřením prvního OT v hydraulické řadě dojde ke značnému nárůstu tepelného výkonu druhého tělesa (o 564 %), ale výkon dalších OT v hydraulické řadě zůstává zachován na původních hodnotách (obr. 7). Uzavřením prostředního tělesa v hydraulické řadě dojde k nárůstu tepelného výkonu u předchozího (o 36 %) a u následujícího (o 127 %) OT v hydraulické řadě. Při uzavření posledního OT v hydraulické řadě nedochází prakticky k žádnému ovlivnění výkonů předchozích OT v soustavě.

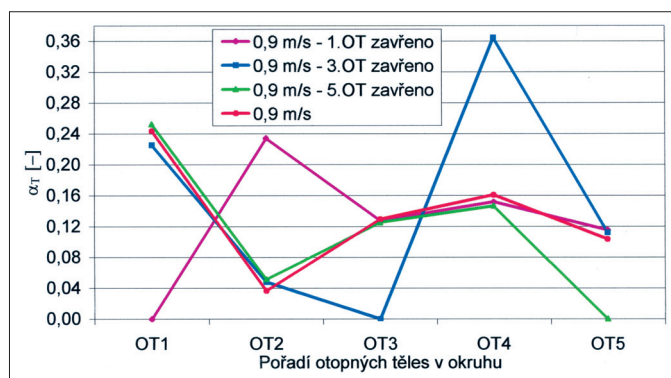
Markantní nárůst výkonu druhého OT při uzavření prvního tělesa je způsoben nejen změnou vstupní teploty do tělesa, ale i změnou zatékání. Ke změně zatékání dojde díky zvýšenému působení přirozeného vztaku v tělese a vyšší teplotě vstupní vody (zde vstupní teplota do okruhu). K podstatnému zvýšení výkonu druhého OT tak dojde vzhledem k zvýšenému průtoku a zvýšení střední teploty v tělese.

Neméně zajímavé je, jak se zavírání jednotlivých OT projeví na změně součinitele zatékání.

Obr. 8 ukazuje závislost součinitelů zatékání OT na uzavírání jednotlivých OT v okruhu při rychlosti otopné vody v kmenové trubce 0,9 m/s. Je zde patrné, že uzavřením kteréhokoliv OT v okruhu dojde k nárůstu součinitele zatékání (i průtoku tělesem) následujícího OT. Uzavřením posledního OT v okruhu nedochází prakticky k žádnému ovlivnění součinitele zatékání předchozích těles a tudíž ani k ovlivnění jejich tepelného výkonu.

4. ZÁVĚR

Pro optimální rychlost proudění vody v kmenové trubce se ze sledovaných rychlostí ukázalo rozmezí od 0,7 do 1,0 m/s. Celá otopná soustava se při takovémto rozmezí rychlostí chová stabilně a tepelné výkony otopných těles jsou rozloženy rovnoměrně dle projekčního předpokladu. U soustav prováděných v mědi se spoji zhotovenými kapilárními pájením je však podmínkou po-



Obr. 8 Závislost součinitele zatékání na uzavírání OT v okruhu (pro rychlost proudění vody v kmenové trubce 0,9 m/s)

užití kolen z mosazi, neboť u měděných kolen by došlo k výraznému snížení jejich životnosti.

Uzavřením prvního otopného tělesa v hydraulické řadě dojde ke značnému nárůstu tepelného výkonu druhého tělesa. Při uzavření posledního otopného tělesa v hydraulické řadě nedochází prakticky k žádnému ovlivnění výkonů otopných těles na soustavě. Je tak rozumné při návrhu soustavy začínat s okruhem v místnosti, kde se předpokládá minimální manipulace s TVR tělesa. Zároveň nám první těleso v okruhu poskytuje největší výkon při nejmenší teplosměnné ploše OT díky nejvyšší střední teplotě tělesa v okruhu. Tam, kde předpokládáme časté uzavírání OT bychom měly s okruhem končit.

Měření termovizní kamerou pro jednotlivá jezdecká napojení otopných těles a časovou analýzou se potvrdil předpokládaný pomalejší náběh u těles napojených oboustranně shora dolů, než tomu je u těles napojených oboustranně zdola dolů. Příčinou výrazně rychlejší dynamiky otopných těles napojených oboustranně zdola dolů je podpurné působení přirozeného vztaku na tělese.

U soustavy, která nebude navržena s různými TRV a různým napojením OT pro účel experimentu, ale bude navržena pro praxi se stejným TRV (k_{VS}) a napojením OT zhola – dolů, nebude docházet při uzavírání jednotlivých OT k výrazným změnám výkonů ani součinitelů zatékání.

Použité zdroje:

- [1] BAŠTA, J., ŠOUREK, B.: *Nabíhání otopných těles v obtoku*. In: VVI, 2002, roč. 11, č. 5, s. 212-214.
- [2] BAŠTA, J.: *Jednotrubkové otopné soustavy*. In: Vytápění, větrání, instalace. 6, č. 1 (1997), s. 5-11. ISSN 1210-1389
- [3] BAŠTA, J., KABELLE, K.: *Otopné soustavy teplovodní – sešit projektanta. Druhé přepracované vydání*. STP 2001, ISBN 80-02-01426-X, 77 s.
- [4] BAŠTA, J.: *Regulace vytápění*. Vydavatelství ČVUT. Praha 2002. s. 99, ISBN 80-01-02582-9
- [5] EISNER, J.: *Experimentální ověření chování JHOS*. DP – ČVUT – FSI – U216. Praha 2002. ■

* Spolková vláda zvyšuje podporu využívání sluneční energie

K 1. 2. 2003 byly zvýšeny podpory pro zařízení se solární energií z 92 na 125 Euro za m² plochy slunečních kolektorů. Tímto reaguje ministerstvo pro životní prostředí na pokles poptávky na tato zařízení o 40 % v roce 2002. K žádosti o podporu, která musí být předložena do 15. října 2003, je třeba kromě řádného vyplnění příslušného formuláře přiložit i nabídku odborné firmy.