



ČESKÉ
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



ÚSTAV
TECHNIKY
PROSTŘEDÍ

PŘEDMĚT

EXPERIMENTÁLNÍ METODY V TECHNICE PROSTŘEDÍ

NÁZEV

NÁVOD K ÚLOZE

ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY

VYPRACOVAL

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

ROZSAH

6 stran

PŘÍLOHY

1 stran

DATUM

prosinec 2016

utp.fs.cvut.cz

1 Zpětné získávání tepla z odpadní vody

1.1 Cíl měření

Stanovte teplotní účinnost a poměrnou úsporu tepla nasazením deskového rekuperačního sprchového výměníku se zapojením pro okamžitou spotřebu. Výsledky prezentujte v potřebné grafické podobě.

1.2 Metodika měření zpětného získávání tepla

Metodika měření vychází z kritéria pro hodnocení zpětného získávání tepla obecného výměníku tepla. Účinnost výměníku η se obecně stanoví jako

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\dot{C}_{SV} \cdot (t_P - t_{SV})}{\dot{C}_{\min} \cdot \Delta t_{\max}} \quad (1),$$

kde je

- \dot{Q} skutečně přenesený tepelný výkon výměníku na straně předehřevu studené vody [W],
- \dot{Q}_{\max} maximálně možný přenášený tepelný výkon výměníku [W],
- \dot{C}_{\min} menší z obou tepelných kapacit průtoku [W/K],
- t_P teplota předehřáté studené vody [°C],
- t_{SV} teplota studené vody přivedené do výměníku [°C],
- Δt_{\max} rozdíl teplot obou kapalin na vstupu do výměníku [K].

Z dosazení do vztahu (1) vyplývá, že účinnost sdílení tepla v tomto případě bude záviset pouze na poměru rozdílů teplot podle vztahu

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_P - t_{SV})}{\dot{V}_{SV} \cdot \rho_{SV} \cdot c_{SV} \cdot (t_{MIX} - t_{SV})} = \frac{(t_P - t_{SV})}{(t_{MIX} - t_{SV})} \quad (2),$$

kde je

- \dot{V}_{SV} objemový průtok studené vody (na primární straně výměníku) [m³/s],
- ρ_{SV} hustota studené vody [kg/m³],
- c_{SV} měrná tepelná kapacita studené vody [J/kg·K],
- t_{MIX} teplota odpadní vody (vystupující ze sprchové baterie = přiváděná z odpadu do výměníku) [°C].

Při známé účinnosti rekuperačního výměníku lze dále stanovit teplotu předehřáté vody na vstupu do termostatické baterie pro sprchu (dle zapojení na obr. 1). Zvýšená teplota studené vody přímo ovlivňuje přítok teplé vody \dot{V}_{TV} o teplotě t_{TV} ze zdroje teplé vody (zásobník, kotel, výměníková stanice, rozvod teplé vody) pro dosažení požadované teploty t_{MIX} za termostatickou baterií a to podle vztahu

$$\dot{V}_{TV} = \dot{V}_{MIX} \cdot \frac{[t_{MIX} - t_{SV} - \eta \cdot (t_{MIX} - t_{SV})]}{[t_{TV} - t_{SV} - \eta \cdot (t_{MIX} - t_{SV})]} \quad (3),$$

kde je

- \dot{V}_{MIX} požadovaný objemový průtok teplé vody vystupující z baterie [m³/s].

Z rovnice (3) je zřejmé, že v nedosažitelném případě se 100 % účinnosti výměníku by nebylo zapotřebí žádného přítoku teplé vody, jakmile by jednou odpadním potrubím odtekla voda o požadované teplotě.

Vyhodnocení poměrné úspory tepla nasazením rekuperačního výměníku lze vyjádřit na základě kalorimetrické rovnice. Stanoví se množství tepla dodaného v teplé vodě pro dosažení požadované teploty t_{MIX} s instalovaným rekuperačním výměníkem Q_S (při účinnosti η) a bez rekuperačního výměníku Q_{Bez} (při účinnosti $\eta = 0$) pro případ zapojení dle obr. 1 s použitím příslušných průtoků teplé vody \dot{V}_{TV} stanovených podle vztahu (3)

$$Q_S = \dot{V}_{TV(\eta)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot \Delta\tau \quad (4),$$

$$Q_{Bez} = \dot{V}_{TV(\eta=0)} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \cdot \Delta\tau \quad (5),$$

kde je

$\Delta\tau$ doba přítoku teplé vody (doba sprchování) [s].

Úspora tepla ΔQ je rozdíl mezi množstvím tepla dodaného pro sprchu bez instalovaného rekuperačního výměníku a s instalovaným výměníkem. Vzažením úspory tepla k množství tepla dodaného bez použití výměníku lze vyjádřit poměrnou (bezrozměrnou) úsporou tepla

$$\Theta_{ZZT} = \frac{\Delta Q}{Q_{Bez}} = \frac{Q_{Bez} - Q_S}{Q_{Bez}} = 1 - \frac{Q_S}{Q_{Bez}} = 1 - \frac{\dot{V}_{TV(\eta)}}{\dot{V}_{TV(\eta=0)}} \quad (6),$$

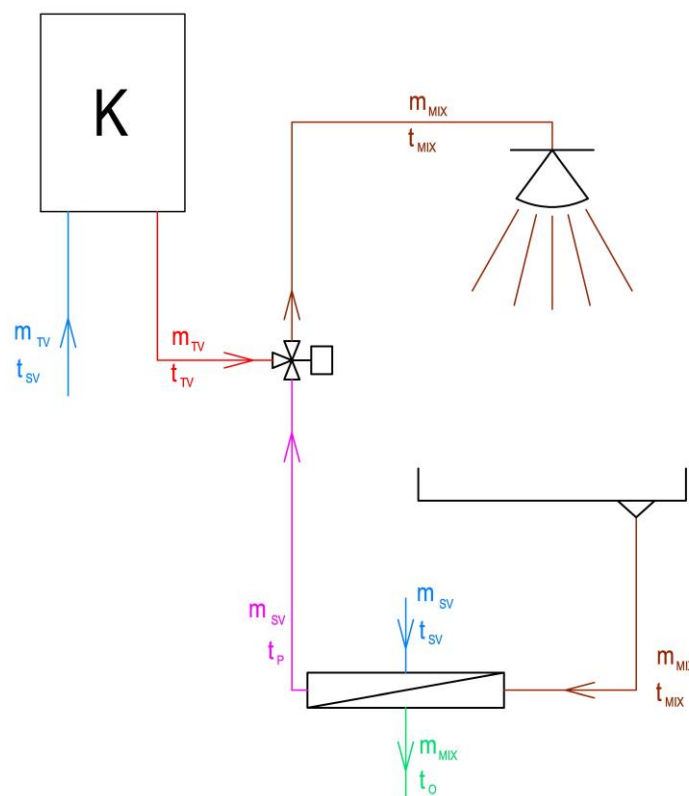
kteřá je závislá pouze na průtocích teplé vody přitékajících do sprchové termostatické baterie.

Dosažením rovnice (3) do rovnice (6) pak lze poměrnou úsporou tepla vyjádřit přímo v závislosti na účinnosti sdílení tepla výměníku a okrajových teplotních podmínkách jako

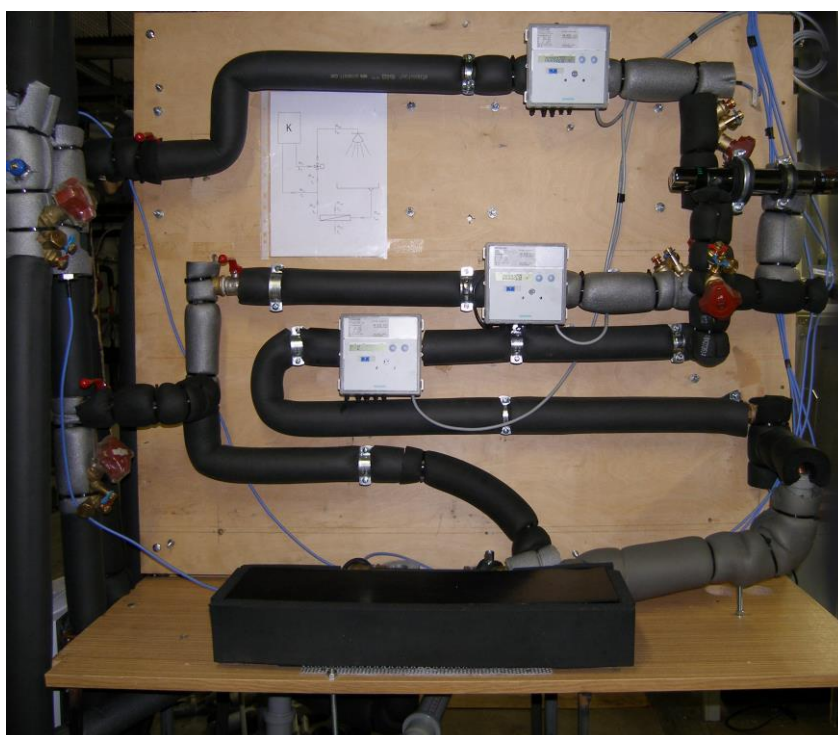
$$\Theta_{ZZT} = 1 - \frac{(1 - \eta)}{\left[1 - \eta \cdot \frac{(t_{MIX} - t_{SV})}{(t_{TV} - t_{SV})} \right]} \quad (7).$$

1.3 Měřicí trať

Měřicí trať je napojena přímo na centrální rozvod studené a teplé vody. Pro stabilizaci teploty teplé vody je na vstupu do měřicího zařízení osazen elektrický průtokový ohříváč Stiebel Eltron DHE 27 SLi. Ten je trvale nastaven na plynulou regulaci s požadovanou teplotou $t_{TV} = 55$ °C. Pro regulaci průtoku jsou jak na straně studené, tak i teplé vody osazeny vyvažovací ventily STAD DN 20. Měření množství spotřebované vody zajišťují ultrazvukové průtokoměry Siemens Ultraheat DN 15. Nastavení směšovacího cyklu je zajištěno termostatickou sprchovou baterií. Celkový pohled na měřicí pult včetně testovaného rekuperačního výměníku ukazuje obr. 2. Měření teploty je zajištěno teplotními čidly KSTz PT 100 (rozmístěnými dle textu na obr. 1). Teplotní čidla jsou napojena přes měřicí ústřednu Ahlborn 3290 na PC. Zpracování naměřených dat probíhá v softwaru AMR Control a následně v prostředí MS Excel.



Obr. 1 Schéma zapojení rekuperačního výměníku – zapojení pro lokální rekuperaci tepla s předehřevem pro okamžitou spotřebu



Obr. 2 Měřicí pult se zapojeným rekuperačním výměníkem

1.4 Postup a vyhodnocení měření

Po ustálení teplot teplé a studené vody z napojeného vodovodního řadu je nutné nastavit požadovanou teplotu a průtok odpadní vody, tj. teplotu vody a průtok vystupující ze sprchové baterie = resp.

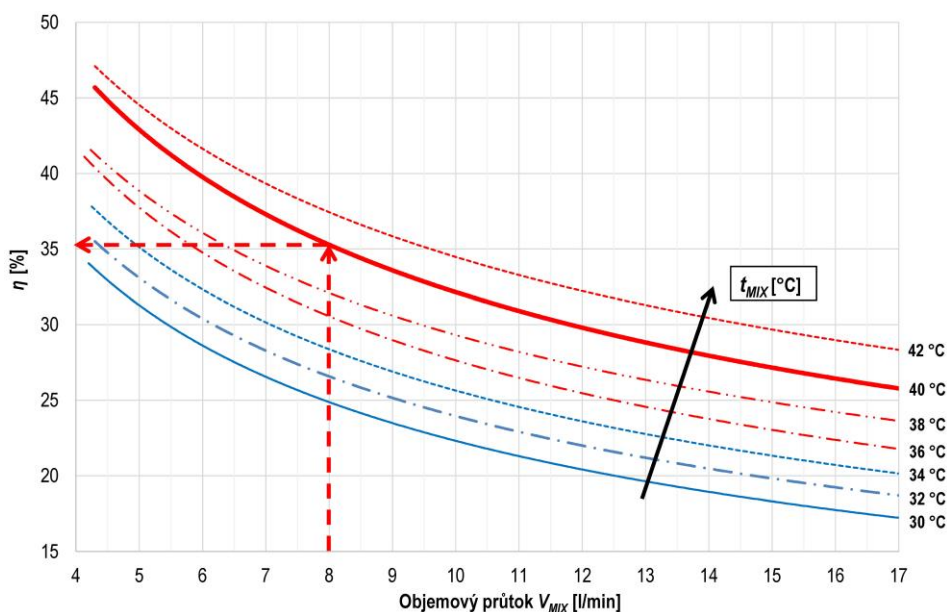
přiváděná z odpadu do rekuperačního výměníku. Poté jsou odečítány 5 minut jednotlivé teploty a průtoky vody v intervalu 30 sekund. Jsou to teplota studené vody t_{SV} , teplota teplé vody t_{TV} , teplota míchané vody t_{MIX} a teplota přehřáté vody t_P . Ve stejném časovém úseku jsou snímány průtoky na straně teplé V_{TV} , studené vody V_{SV} a průtok míchané vody V_{MIX} . Z každého měřeného stavu jsou následně naměřené hodnoty zprůměrovány pro další výpočty dle kapitoly 1.2. Měření se poté opakuje pro další nejméně 4 jiné průtoky odpadní vody a konstantní teplotu odpadní vody. Poté je nutné nastavit jinou teplotu odpadní vody a pro shodné průtoky vody (jako v předchozím kroku) měření opakovat. Měření by tak měla být nejméně 3 různé teploty odpadní vody ve stejném rozsahu průtoků odpadní vody.

Použité přístroje:

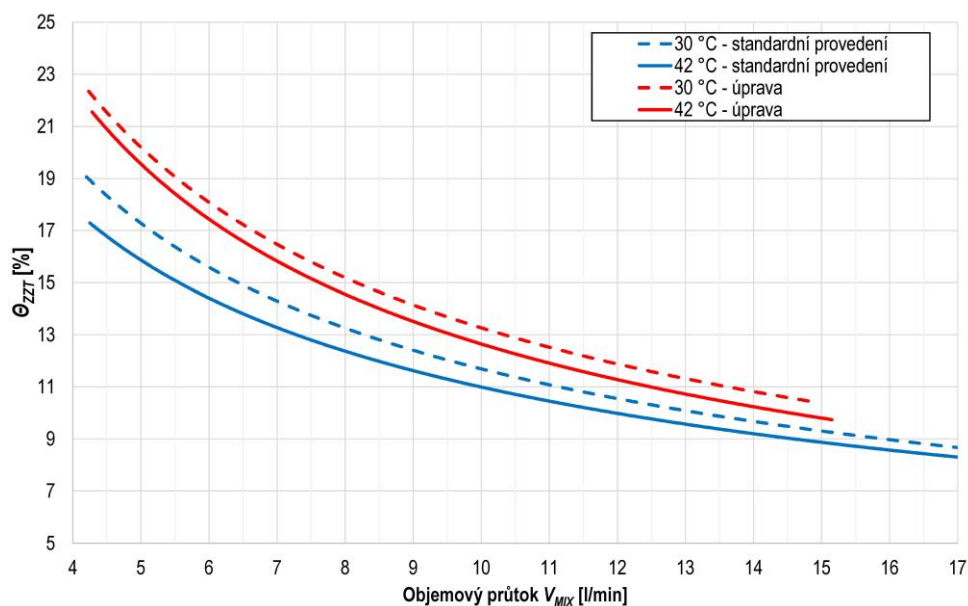
Ústředna Ahlborn Almemo	1 ks
Jímková čidlo KSTz Pt100 teploty vody	7 ks
Průtokoměr Siemens Ultraheat DN 15	3 ks

1.5 Rozsah výsledných prací

Výsledkem úlohy je zpráva o měření, která má náležitosti uvedené v literatuře [1]. Hlavním výstupem zprávy je závislost teplotní účinnosti zpětného získávání tepla na průtoku a teplotě odpadní vody (viz. obr. 3). a dále závislost poměrné úspory tepla na průtoku a teplotě (viz. obr. 4).



Obr. 3 Příklad výsledku měření – účinnost zpětného získávání tepla na průtoku a teplotě odpadní vody



Obr. 4 Příklad výsledku měření – závislost poměrné úspory tepla na průtoku a teplotě odpadní vody

1.6 Seznam označení

\dot{C}_{min}	minimální tepelná kapacita průtoku [W/K],
c_{SV}	měrná tepelná kapacita studené vody [J/kg·K],
\dot{Q}	skutečně přenesený tepelný výkon výměníku na straně předehřevu studené vody [W],
\dot{Q}_{max}	maximálně možný přenášený tepelný výkon výměníku [W],
t_{MIX}	teplota odpadní vody (vystupující ze sprchové baterie) [°C],
t_P	teplota předehřáté studené vody [°C],
t_{SV}	teplota studené vody přivedené do výměníku a směšovací baterie [°C],
t_V	teplota teplé vody přivedené do směšovací baterie [°C],
\dot{V}_{SV}	objemový průtok studené vody (na primární straně výměníku) [m ³ /s],
\dot{V}_{MIX}	požadovaný objemový průtok teplé vody vystupující z baterie [m ³ /s],
ρ_{SV}	hustota studené vody [kg/m ³],
Δt_{max}	rozdíl teplot obou kapalin na vstupu do výměníku [K],
$\Delta \tau$	doba přítoku teplé vody (doba sprchování) [s],
Θ_{zzt}	poměrná úspora tepla [-],
η	účinnost zpětného získávání tepla [-].

1.7 Literatura

- [1] MATUŠKA, T.: *Experimentální metody v technice prostředí*. 2005, Česká technika – nakladatelství ČVUT. ISBN 80-01-03291-4.
- [2] VAVŘIČKA, R., MATUŠKA, T.: Zpětné získávání tepla v oblasti přípravy teplé vody. In. Vytápění, větrání, instalace. 2016, roč. 25, č. 3, s. 126–131. ISSN 1210-1389.
- [3] MATUŠKA, T., VAVŘIČKA, R.: Účinnost rekuperačního výměníku odpadní vody není rovna úspoře tepla. *TZB-Info*. [online] 25.4.2016 [cit. 2016-12-4]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/14105-ucinnost-rekuperacniho-vymeniku-odpadni-vody-neni-rovna-uspore-tepla>

Příloha: Protokol z měření

Schéma zapojení					Poznámky			
Číslo měření	V_{MIX} [m ³ /h]	Δt [s]	V_{SV} [m ³ /h]	V_{TV} [m ³ /h]	t_{SV} [°C]	t_{TV} [°C]	t_P [°C]	t_{MIX} [°C]
1		0						
		30						
		60						
		90						
		120						
		150						
		180						
		210						
		240						
		270						
		300						
2		0						
		30						
		60						
		90						
		120						
		150						
		180						
		210						
		240						
		270						
		300						
3		0						
		30						
		60						
		90						
		120						
		150						
		180						
		210						
		240						
		270						
		300						
4		0						
		30						
		60						
		90						
		120						
		150						
		180						
		210						
		240						
		270						
		300						