

doc. Ing. Jaroslav ŠÍPAL, Ph.D.

Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta výrobních technologií a managementu, Katedra energetiky a elektrotechniky

Recenzent

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Měření předané tepelné energie u maloodběratelů

Measurement of Heat Energy Supply to Small Consumers

Príspevok sa zaoberá na meraní predanej tepelnej energie pre malé odberateľe. Zaoberá sa porovnaním spotreby naměřené nepřímou a náhradní metodou. Měřeny byly denní spotřeby odebraného tepla po dobu dvou let. Měření bylo provedeno u výměňkové stanice o výkonu cca 20 kW a na výsledcích měření se vyhodnocuje, která z metod je k tomuto účelu vhodnější.

Klíčová slova: výměňková stanice, měření tepla, přímá metoda, náhradní metoda

The paper focuses on the measurement of the heat energy supply to small consumers. It deals with comparison of consumption measured by indirect and alternative method. Daily heat consumption was measured for two years. The measurement was performed at a heat exchange station with an output of approx. 20 kW. The results of the measurement are used to evaluate which of the methods is more suitable for the purpose.

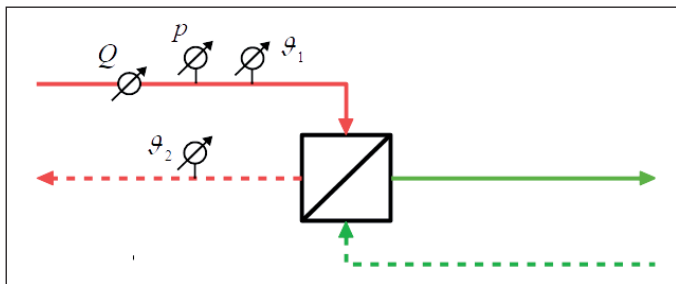
Keywords: junction heat exchange station, heat measurement, direct method, alternative method

METODY MĚŘENÍ PŘEDANÉ TEPELNÉ ENERGIE

Dodávka tepelné energie je typicky zajištěna prostřednictvím teplotního média. Pro vytápění a přípravu teplé vody se v centralizovaných soustavách používá jako primární teplotní látka pára nebo horká voda. Metody měření předané tepelné energie lze rozdělit do tří skupin.

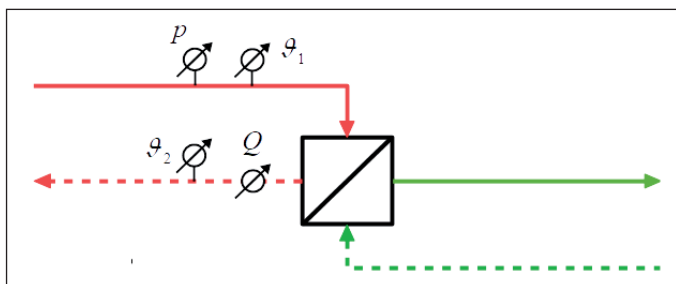
Přímá metoda

Přímá metoda měří parametry primární teplotní látky na vstupu a výstupu z objektu, který spotřebovává tepelnou energii (např. výměňková stanice). Na vstupu do objektu se měří objemový průtok, teplota a tlak (pouze v případě páry). Na výstupu z objektu potom teplota a popřípadě tlak (obr. 1). Tato metoda je vhodná pro měření velkého množství dodané energie a také pro případ rovnoměrné dodávky, například výstup z parního kotle, vstup a výstup z parní turbíny apod.



Obr. 1 Základní rozdělení elektrických motorů

Fig. 1 Basic classification of electric motors



Obr. 2 Nepřímá metoda měření

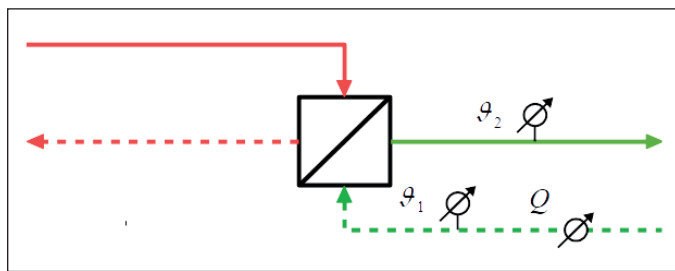
Fig. 2 Indirect measurement method

Nepřímá metoda

Nepřímá metoda rovněž měří parametry primární teplotní látky na vstupu a výstupu z objektu. Na rozdíl od přímé metody měří nepřímá metoda objemový průtok na vratném potrubí primárního okruhu (obr. 2). Hlavním předpokladem takového měření je skutečnost, že v objektu nedochází ke ztrátám teplotní látky. Tuto metodu je možné použít u menších odběrů, ale pokud možno rovnoměrných, například na výstupu z výměňkové stanice.

Náhradní metoda

Náhradní metoda měří parametry sekundární teplotní látky, tj. teplotní látky využívané v objektu (vytápění, příprava teplé vody, vzduchotechnika apod.). Tato metoda používá hodnoty objemového průtoku sekundární teplotní látky a teploty vstupní a výstupní z výměníku. Nevýhodou je, že neměří tepelné ztráty výměníku a ty je pak nutné zahrnout do smlouvy o odběru tepla jako konstantu.



Obr. 3 Náhradní metoda měření

Fig. 3 Alternative measurement method

Použití metod měření

Jak bylo výše řečeno, centralizované zásobování teplem se uskutečňuje pomocí páry (parokondenzátní soustavy) nebo horké vody (horkovodní soustavy). Pokud jde o horkovodní soustavu, lze bez problému použít ke zjišťování množství předaného tepla přímou metodu. Tato metoda zahrne jak tepelné ztráty, tak i ztráty teplotní látky v objektu. Velkou výhodou pro měření je skutečnost, že nedochází ke změně fáze teplotní látky a tím ke změnám entalpie.

U parokondenzátní soustavy je situace obtížnější. Při zásobování výměňkových stanic se projevuje kolísání odebírané energie (např.

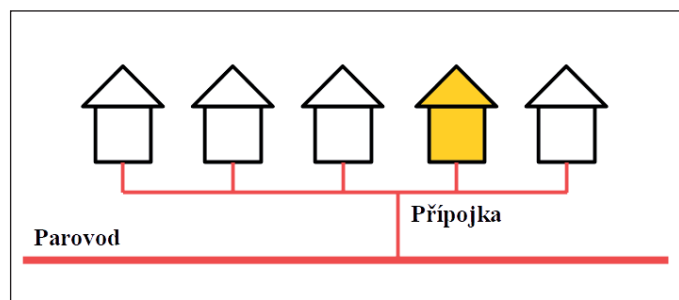
noční útlum). V některých okamžicích může docházet až k zastavení toku energie. Potom v parní přípojce postupně kondenzuje vodní pára. Délka přípojky od hlavního parovodu ovlivní množství zkondenzované páry. Při zásobování výměníkůvých stanic nelze přímou metodu použít vůbec. K měření předaného tepla se proto používají metody nepřímá a náhradní.

Porovnání spotřeb naměřených nepřímou a náhradní metodou

Měření bylo provedeno v letech 2017 a 2018 u výměníkové stanice o výkonu cca 20 kW. Zapojení do soustavy u měřeného objektu je zakresleno na obr. 4. Schéma zapojení výměníkové stanice k primárnímu a sekundárnímu rozvodu je na obr. 5. Na obr. 5 jsou označena místa měření průtoku teplotnosné látky na primární (Q_p) a sekundární straně (Q_s) výměníku.

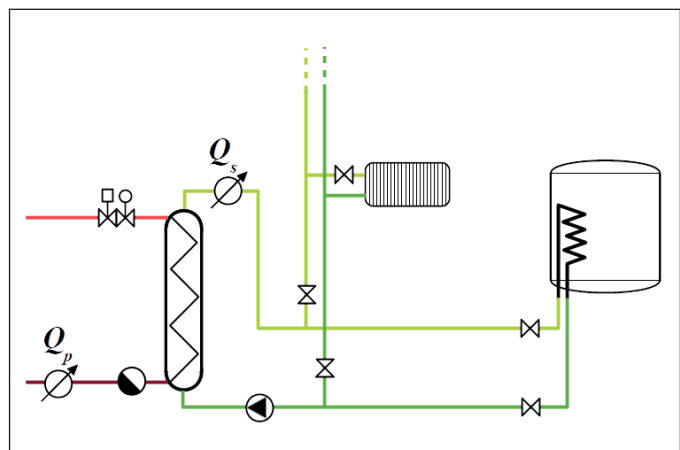
Q_p měří objemový průtok primární teplotnosné látky, Q_s měří objemový průtok teplé vody. Hodnoty stavů odebrané tepelné energie byly odečítány na obou měřidlech v jednodenním intervalu.

Za rok 2017 byly naměřeny následující spotřeby: nepřímou metodou 71,562 GJ a náhradní metodou 37,526 GJ. Za rok 2018 byly naměřeny následující spotřeby: nepřímou metodou 66,150 GJ a náhradní metodou 34,578 GJ. Z uvedených hodnot je patrný výrazný rozdíl. Tento rozdíl náměrů mezi oběma metodami je téměř dvojnásobný. Cílem následující analýzy bude zjistit, která metoda je vhodnější a proč.



Obr. 4 Zapojení do soustavy CZT sledovaného objektu

Fig. 4 Connection of the monitored object to the district heating system

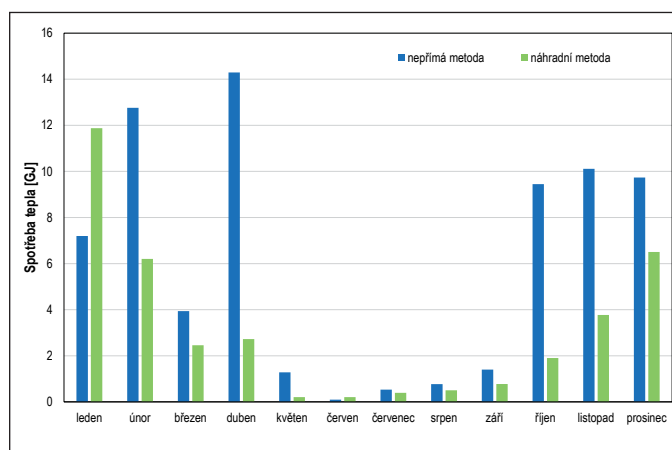


Obr. 5 Schéma zapojení výměníkové stanice

Fig. 5 Connection diagram of the junction heat exchange station

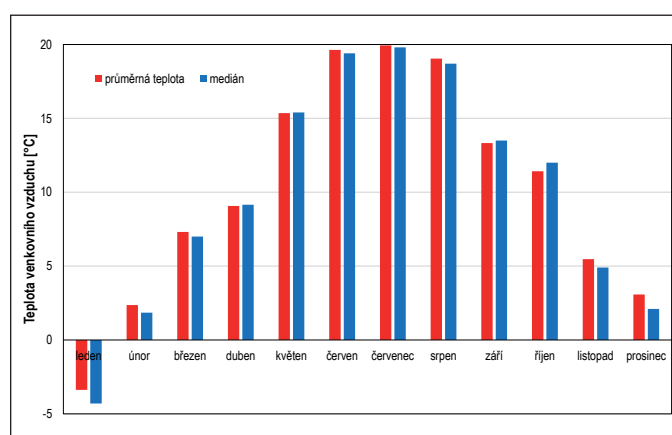
Rok 2017

Spotřeby naměřené oběma metodami v jednotlivých měsících roku 2017 byly zpracovány v grafu na obr. 6. Pro porovnání byly vypočítány do tab. 1 průměrné měsíční teploty a mediány teplot v daném roce a vyneseny do grafu na obr. 7.



Obr. 6 Porovnání naměřených hodnot spotřeb v roce 2017

Fig. 6 Comparison of measured consumption in 2017



Obr. 7 Průměrné měsíční teploty a mediány v roce 2017

Fig. 7 Average and median monthly temperatures in 2017

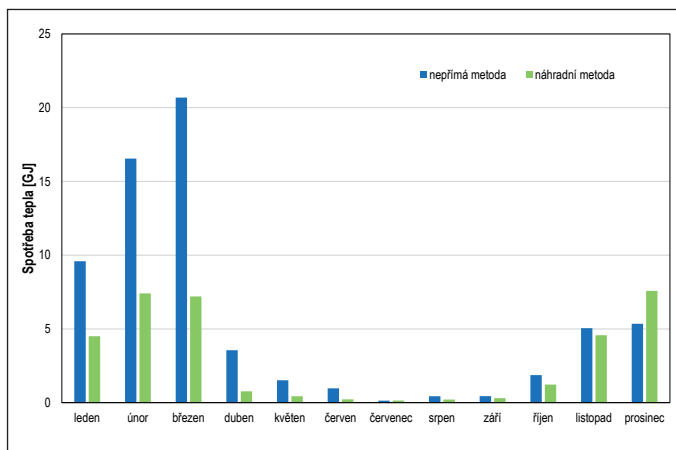
Tab. 1 Měsíční průměry teplot v roce 2017

Tab. 1 Average monthly temperatures in 2017

Rok 2017	Průměr	Medián
leden	-3,4	-4,3
únor	2,4	1,9
březen	7,3	7
duben	9,1	9,2
květen	15,4	15,4
červen	19,6	19,4
červenec	19,9	19,8
srpen	19	18,7
září	13,3	13,5
říjen	11,4	12
listopad	5,5	4,9
prosinec	3,1	2,1

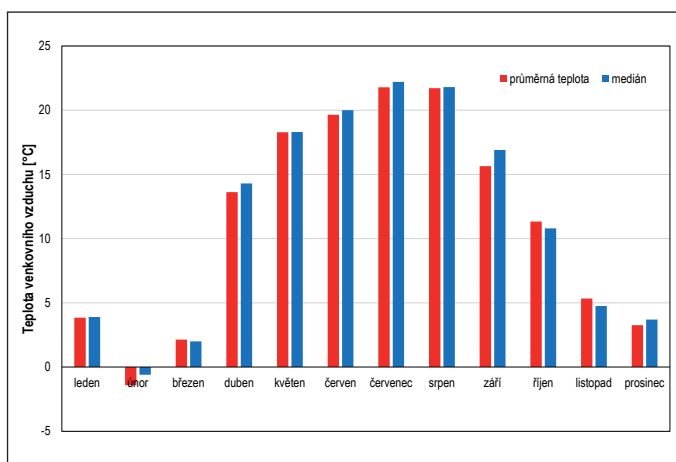
Rok 2018

Pro rok 2018 byly provedeny stejné výpočty, viz tab. 2 a grafy na obr. 8 a obr. 9.



Obr. 8 Porovnání naměřených hodnot spotřeb v roce 2018

Fig. 8 Comparison of measured consumption in 2018



Obr. 9 Průměrné měsíční teploty a mediány v roce 2018

Fig. 9 Average and median monthly temperatures in 2018

Tab. 2 Měsíční průměry teplot v roce 2018

Tab. 2 Average monthly temperatures in 2018

Rok 2018	Průměr	Medián
leden	3,8	3,9
únor	-1,4	-0,6
březen	2,1	2
duben	13,6	14,3
květen	18,3	18,3
červen	19,7	20
červenec	21,8	22,2
srpen	21,7	21,8
září	15,6	16,9
říjen	11,3	10,8
listopad	5,3	4,8
prosinec	3,3	3,7

Pozn.: Mediány byly vypočítány proto, aby bylo zřejmé, zda došlo nebo nedošlo k ovlivnění průměrů extrémními výchyly.

Vyhodnocení průběhů naměřených hodnot

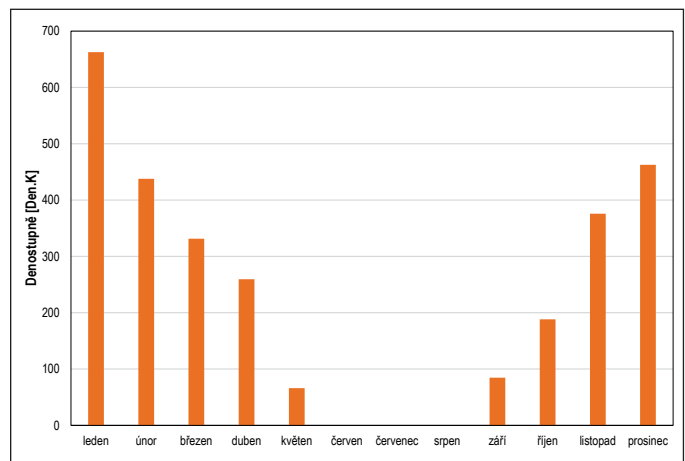
Z uvedených grafů spotřeb pro roky 2017 a 2018 je vidět, že největší rozdíly naměřených hodnot vznikají v otopném období. Protože hodnoty obou metod se lišily, je nutno určit, která metoda měření se více přibližuje k realitě. K tomu byla použita korelace mezi měsíčními spotřebami a počtem denostupňů. Denní teplotu lze zjistit dvojím způsobem.

- Denní teplota je změřena v 7.00 h, 14.00 h a 21.00 h zimního času. Součet těchto teplot (s tím, že teplota ve 21.00 h se počítá dvakrát) se vydělí čtyřmi.
- Denní teplota je měřena každou hodinu a je následně aritmeticky zprůměrována.

Vztažná teplota pro klimatické denostupně je 13 °C. Pro výpočet vytápěcích denostupňů si dodavatel tepla v Ústí nad Labem stanovil hodnotu 18 °C. Denostupně pro jeden den se vypočítají jako rozdíl vztažné teploty minus průměrná denní teplota. Příklad pro průměrnou denní teplotu (-5 °C) je $DNST = 18 - (-5) = 23$.

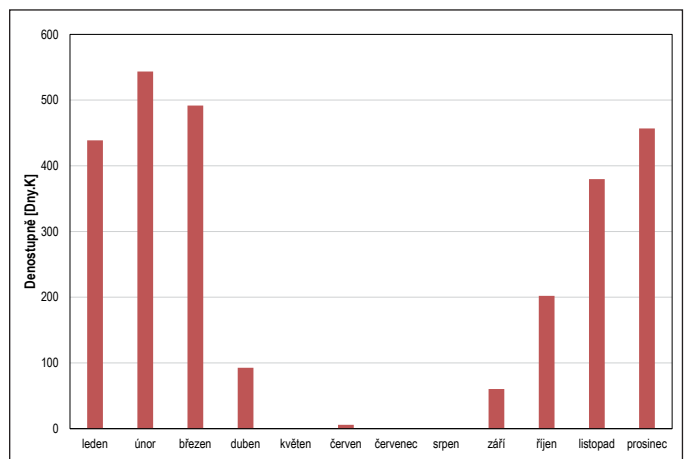
Počet denostupňů za měsíc je potom stanoven jako součet denostupňů za jednotlivé dny v měsíci (tento způsob je použit v příspěvku), nebo je možné použít průměrnou měsíční teplotu vynásobenou počtem dnů, kdy se vytápí. Vypočítané denostupně v otopných období jednotlivých let jsou v grafech na obr. 10 a obr. 11.

Vypočítané koeficienty korelací mezi měsíčními hodnotami počtu denostupňů a spotřebou naměřenou nepřímou a náhradní meto-



Obr. 10 Počet denostupňů po měsících v roce 2017

Fig. 10 Number of degree days within months of the year 2017



Obr. 11 Počet denostupňů po měsících v roce 2018

Fig. 11 Number of degree days within months of the year 2018

dou ukazují velikost shody mezi jednotlivými průběhy. Tato shoda je znázorněna v tab. 3. Koeficient korelace měří lineární závislost mezi dvěma řadami veličin (1). Výsledek se pohybuje v intervalu $<-1;1>$ nebo $<-100\%;100\%>$. Čím blíže je koeficient korelace k minus jedné nebo jedné, tím je shoda lepší. Mírou je potom vyjádření v procentech.

$$r_{(A,B)} = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_i - \mu_A}{\sigma_A} \right) \cdot \left(\frac{B_i - \mu_B}{\sigma_B} \right) \quad (1)$$

kde je:

N počet prvků v řadě [-],

μ aritmetický průměr [-],

σ standardní odchylka [-].

Tab. 3 Vypočítané koeficienty korelace

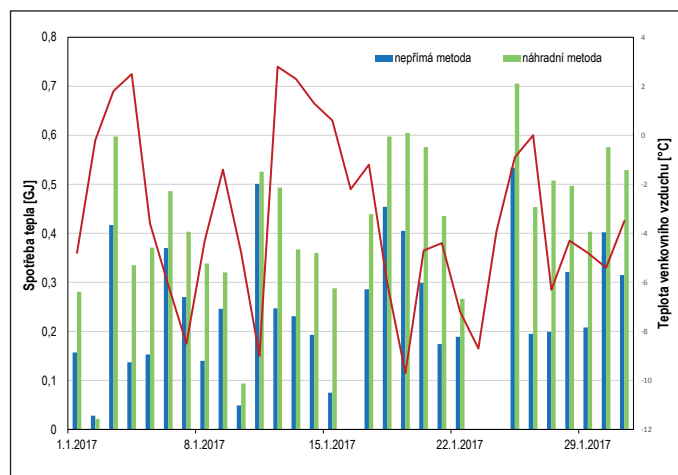
Tab. 3 Calculated correlation coefficients

	Rok 2017	Rok 2018
DNST – nepřímá metoda	68,33 %	83,34 %
DNST – náhradní metoda	94,44 %	96,49 %

Z vypočítaných hodnot koeficientů korelací je zřejmé, že pravdivější výsledky poskytuje náhradní metoda měření. Koeficienty shody v obou letech dosáhly hodnot 94,5, resp. 96,5 %.

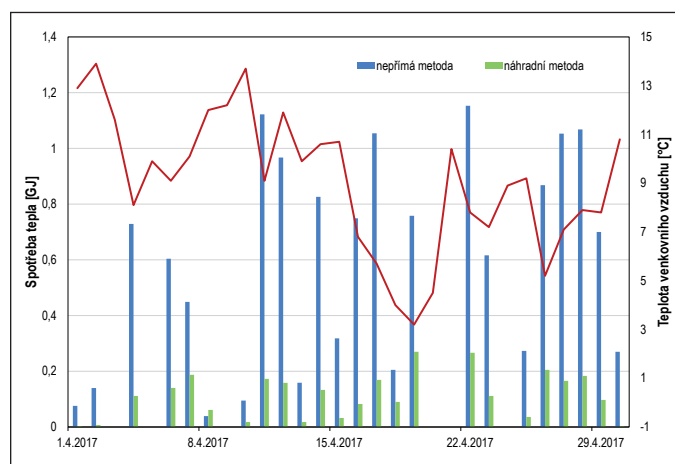
ZÁVĚR

Nepřímou metodu měření ovlivňuje skutečnost, že dodávanou teplosnosnou látkou u malých odběratelů je obvykle pára na mezi sytosti, popř. mokrá pára. Protože regulátor výměňkové stanice uzavírá přívod páry, tím dochází k chladnutí a kondenzaci páry v přípojce. Po opětovném spuštění prochází výměňkem nejprve větší množství kondenzátu. Výpočtem, kde je uvažováno s konstantní teplotou páry 150 °C (pára je na mezi sytosti), teplotou kondenzátu 25 °C a tlakem páry i kondenzátu na hodnotě 0,6 MPa, bylo zjištěno, že v dodávané primární látce se vyskytuje 20 až 50 % kondenzátu, tj. suchost páry je 0,5 až 0,8. Z této skutečnosti vyplývá značný rozptyl hodnot entalpií vstupní páry. Jako doklad jsou vybrány průběhy spotřeb a denních teplot v lednu 2017 (obr. 12) a dubnu 2017 (obr. 13).



Obr. 12 Spotřeba tepla – leden 2017

Fig. 12 Heat consumption – January 2017



Obr. 13 Spotřeba tepla – duben 2017

Fig. 13 Heat consumption – April 2017

Regulace výměňkové stanice řídí její výkon podle teploty venkovního vzduchu (ekvitermní regulace) a zároveň času. Během noci je nastaven tzv. „noční útlum“, který je nastaven cca o 15 °C nižší, než jsou hodnoty ekvitermní křivky přes den.

V lednu 2017, kdy průměrné denní teploty byly až na pár výjimek pod bodem mrazu, tok páry nebyl zastavován, nedocházelo tedy ke kondenzaci páry v přípojce. Dodávaná pára byla v oblasti přehřáté páry, tzn. s vysokou hodnotou entalpie. Naproti tomu v dubnu 2017 se teplota venkovního vzduchu pohybovala okolo 10 °C, a tudíž docházelo k častějšímu odstavování výměňkové stanice a dodávaná pára se pohybovala v oblasti mokré páry.

I když dodavatel tepla zajistí parametry přehřáté páry v parovodu, u malých odběrů tepelné energie je kvalita vstupující páry ovlivněna přerušovaným chodem vlastní výměňkové stanice. Dále je současně ovlivněna provozem ostatních výměňkových stanic na přípojce, viz obr. 4. Je rozdíl, zda budou v provozu všechny naráz nebo jenom jedna. Pokud budou v provozu současně všechny výměňkové stanice, pára bude mít lepší parametry a náměry při použití nepřímé metody budou lepší.

Z výše uvedených naměřených hodnot a výpočtů je tak možno konstatovat, že pro měření dodávky tepla pro malé odběratele s nevyrovnaným profilem odběru tepla se ukazuje jako nejvhodnější způsob měření předaného tepla použití náhradní metody.

Kontakt na autora: jaroislav.sipal@ujep.cz

Použité zdroje:

- [1] BARTCH, H. J. *Matematické vzorce*. Praha: Mladá fronta, 2000. 831 s. ISBN 80-204-0607-7.
- [2] MILLER, R. *Flow measurement engineering handbook*. McGrawHill 1996. 1168 s. ISBN 0-07-042366-0.
- [3] ŠÍPAL, J. *Moderní předávací stanice*. Ústí n. L.: UJEP, 2007. 102 s. ISBN 978-80-7044-924-0.
- [4] The MathWorks, Inc. *Documentation Matlab*.