

# **Způsoby měření spotřeby tepla u výměníkových stanic pára-voda**

Ing. Jiří Rynda

## **ÚVOD**

V roce 2016 jsem zpracoval znalecký posudek posouzení množství dodaného (fakturovaného) tepla v páře mezi dodavatelem tepla a odběratelem tepla, když odběratel zjistil ve svých výměníkových stanicích nesoulad mezi vlastním kontrolním měřením množství dodaného tepla na sekundární (teplovodní) straně a množstvím dodaného tepla dodavatelem tepla změřeného fakturačním paroměrem na primární (parokondenzátní) straně.

Např. ve VS 14 zjistil odběratel na sekundární straně množství dodaného tepla ve výši 355 GJ. Dodavatel ale na primární straně změřil fakturačním paroměrem množství dodaného tepla ve výši 467 GJ. Na toto teplo také vystavil fakturu. Odběratel s fakturovanou částkou nesouhlasil a zaplatil nižší částku a objednal si ZP.

### **Měření tepla předaného vodní parou**

Na primární straně byl osazen fakturační paroměr dodavatele. Jedná se o **zařízení INMAT 57** (ZPA Nová Paka), které **umožňuje měření tepla** předaného vodní parou **nepřímou metodou**, tj. výpočtem z množství přehřáté vodní páry zjištěného měřením množství kondenzátu, teploty a tlaku přehřáté páry, **v kombinaci s náhradní metodou**. Měření probíhá ve dvou fázích. Při dodávce přehřáté páry se měří nepřímou metodou, při dodávce mokré páry se musí použít náhradní metoda. Při ní se teplo stanoví jako součin proteklého množství kondenzátu a sjednané hodnoty entalpie mokré páry.

### **Měření tepla na sekundární straně**

Na sekundární straně byl osazen metrologicky ověřený kontrolní teplovodní měřič tepla odběratele.

### **Závěr posudku**

Ve VS 14 v byl dodavatelem páry na primární straně stanice osazen **fakturační paroměr**, který podle smlouvy **provádí měření tepla nepřímou metodou**. Protože ve smlouvě nebyla uvedena hodnota smluvní entalpie páry pro případ, kdy se pára dostane do stavu mokré páry (náhradní metoda), není náhradní metoda používána. Potom se předpokládá, že je vždy dodávána pára přehřátá namísto páry mokré v náhradní fázi, a **náměr paroměru bude vykazovat vždy vyšší hodnoty oproti skutečnosti**.

Znamená to, že **dodavatel tepla v páře fakturuje odběrateli tepla vyšší částky**.

U VS 14 se jednalo o částku o 24,1 % vyšší než je skutečnost.

## PRINCIPY MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ TEPLA DODÁVANÉHO PÁROU

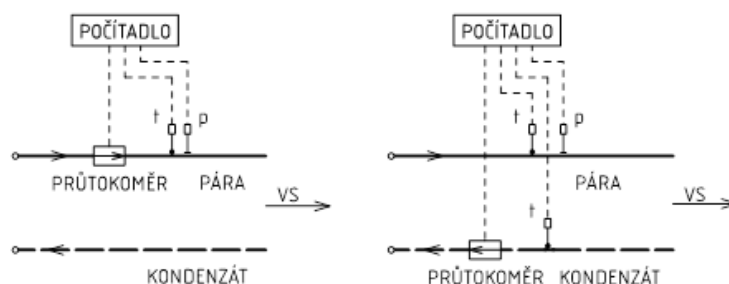
Při měření množství tepla dodávaného párou se používají **dvě metody**:

· **přímá** metoda měření

· **nepřímá** metoda měření

U obou metod se předpokládá úplná kondenzace vodní páry a veškerý návrat kondenzátu. Pro výpočty se využívá rovnost proteklé hmotnosti přehřáté páry a kondenzátu. Množství tepla dodávaného přehřátou párou se provádí výpočtem součinu změřených hodnot hmotnosti a entalpie přehřáté páry. Veličina entalpie představuje energetický obsah v 1 kg látky. Hmotnost přehřáté páry se stanovuje z proteklého množství páry zjištěné průtokoměrem na parním nebo kondenzátním potrubí mezi dvěma měřeními. Entalpie přehřáté páry se zjišťuje pomocí snímačů tlaku a teploty na parním potrubí. Entalpie přehřáté páry je jednoznačně určena její teplotou a tlakem a dána parními tabulkami. Hodnoty entalpie z tabulek jsou uloženy do kalorimetrického počítadla, kam se v krátkých intervalech ukládají i hodnoty entalpie.

V každém měřicím a výpočetním cyklu je kontrolován mezní stav nasycenosti páry. Pokud počítadlo měřiče zjistí, že teplota a tlak páry klesnou pod teplotu a tlak syté páry, znamená to, že se jedná o mokrou páru. Ke stanovení její entalpie je zapotřebí, kromě teploty a tlaku, znát navíc i suchost mokré páry, která se fakturačním měřením nedá zjistit.



**Obr.1** Přímá metoda měření    **Obr.2** Nepřímá metoda měření

Zařízení pro měření tepla jsou stanovenými měřidly pro měření tepla přímou nebo nepřímou metodou v parokondenzátních soustavách s přehřátou a mokrou vodní párou.

Jsou určena jako fakturační měřidla na primární straně vytápěných objektů nebo výměníkových stanic.

Z měřených parametrů je průběžně, nejčastěji každou 1s, počítán tepelný výkon a množství odebraného tepla měřeným objektem.

### **PŘÍMÁ METODA MĚŘENÍ**

Protékající množství páry se zjišťuje průtokoměrem na parním potrubí (obr. 1). Pokud počítadlo měřiče zjistí, že se jedná o mokrou páru, měření se přeruší a zaznamenává se pouze čas přerušení měření.

### **NEPŘÍMÁ METODA MĚŘENÍ**

Je téměř shodná s přímou metodou se dvěma rozdíly. Protékající množství páry se zjišťuje průtokoměrem na kondenzátním potrubí (obr. 2).

Při zjištění mokré páry se měření přeruší a měřič přechází do režimu náhradního výpočtu, kdy se jedná o součin mezi průtokem a dohodnutou smluvní hodnotou entalpie mokré páry

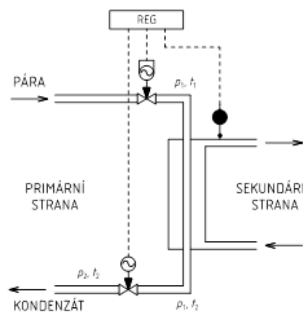
### **POZNÁMKA KE VHODNÉMU MĚŘENÍ**

Za nejvhodnější způsob měření lze u VS větších výkonů považovat měřicí zařízení s nepřímou metodou doplněné na sekundární teplovodní straně metrologicky ověřeným kontrolním teplovodním měřičem tepla odběratele. Protože tepelné ztráty moderní VS jsou zanedbatelné může tento měřič sloužit i pro stanovení dohodnuté smluvní entalpie při náhradním výpočtu u fakturačního měřiče tepla. Když se do měření zahrne i měření teploty kondenzátu, který odchází z uzavřené soustavy, a následně výpočet jeho entalpie, lze stanovit teplo, které skutečně zůstává ve VS.

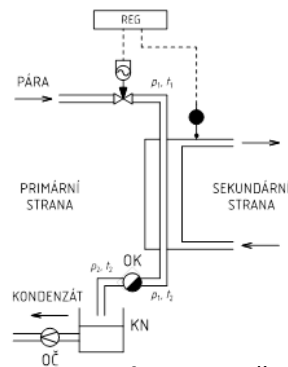
**U otevřené soustavy, kdy je kondenzát vrácen přes otevřenou kondenzátní nádrž kondenzátním čerpadlem, nelze stanovit teplo, které skutečně zůstává ve VS.** Z nádrže odtéká kondenzát případně ještě zbytková pára do volného prostoru (viz dále). Využití částí tepla obou složek je samozřejmě možné. Jinak se počítá s tím, že vrácený kondenzát má nulovou entalpii, což by byla pravda pouze v případě, když by byl vychlazen na teplotu 0°C.

### **POZNÁMKY K INSTALACI MĚŘIDEL TEPLA**

Aby nebylo měření zkresleno, je nutno ještě před hlavním uzavěrem páry zajistit odvodňování parní přípojky. Jinak by množství kondenzátu z přípojky bylo započítáno s plnou entalpií páry do tepla dodávaného odběrateli. Pak by náměr dodaného tepla byl vyšší a to ke škodě odběratele tepla. To platí zejména u nepřímé metody, kdy je průtokoměr na kondenzátním potrubí.



**Obr. 3** Uzavřená  
parokondenzátní soustava



**Obr. 4** Otevřená  
parokondenzátní soustava

Má-li mít měření tepla dodávaného párou dostatečnou přesnost, musí být na primární straně osazen filtr před průtokoměrem. Také musí být na potrubí provedeny uklidňující délky před a za průtokoměrem. Je-li průtokoměr na parním potrubí, musí být před ním ještě odlučovač (separátorem) vlhkosti.

## POPIS TYPICKÉ VÝMĚNÍKOVÉ STANICE

V současné době jsou parokondenzátní soustavy koncipovány jako uzavřené (obr. 3). Toto řešení umožňuje podstatné zjednodušení a zmenšení zařízení VS, snížení tepelných ztrát stanice a zlepšení regulovatelnosti tepelného výkonu. Pro předávání tepla bývají použity stojaté celonerezové výměníky tepla (VT) s trubkami, které jsou vinuty do šroubovice. Tepelný výkon je regulován spojitě, zaplavitím teplosměnné plochy pomocí kondenzátního ventilu s elektrickým pohonem. Na parní straně je osazen regulační ventil s elektropohonem s havarijní nástavbou. Kondenzát z výměníku je přetlačován přtlakem páry přes průtokoměr zpět do vnější sítě. Případný kondenzát v parní přípojce je odlučován ještě před hlavním uzavěrem dodavatele tepla.

Výměníkové stanice jsou vybaveny autonomním digitálním systémem řízení s měřením většiny parametrů vytápěcí soustavy.

Regulace tepelného výkonu VS je prováděna kvalitativně změnou teploty přívodní vody v závislosti na venkovní teplotě v rozsahu nejnižších venkovních teplot.

Při vyšších venkovních teplotách je teplota přívodní vody udržována na stálé hodnotě 65 °C s ohledem na ohřev vody.

### **O PŘEHŘÁTÉM KONDENZÁTU**

Pokud u otevřených parokondenzátních soustav z VT (obr. 4) vystupuje kondenzát o teplotě vyšší než 100 °C, dojde na odvaděči kondenzátu ke škrcení jeho průtoku z tlaku  $p_1$  na tlak  $p_2$ , což je atmosférický tlak. Za odvaděčem nastane odpaření části jeho hmotnosti. Odpařená pára se nazývá zbytková nebo brýdová. Z uvedeného plyne, že případně delší kondenzátní potrubí za odvaděčem musí být dimenzováno právě na zbytkovou páru, neboť ta má oproti kondenzátu mnohonásobně větší objem.

Hmotnostní podíl zbytkové páry ke kondenzátu, který vstupuje do odvaděče (–) je dán vztahem

$$\frac{m_p}{m_k} = \frac{h_{k1} - h_{k2}}{h_{p2} - h_{k2}}, \quad (1)$$

Kde	$m_p$	je	hmotnost vzniklé páry	[kg]
	$m_k$	–	hmotnost vstupního kondenzátu	[kg]
	$h_{k1}$	–	entalpie vstupního kondenzátu při teplotě $t_1$ na mezi sytosti	[kJ.kg <sup>-1</sup> ]
	$h_{k2}$	–	entalpie výstupního kondenzátu při atmosférickém tlaku $p_2$	
			a teplotě $t_2 = 100\text{ °C}$	[kJ.kg <sup>-1</sup> ]
	$h_{p2}$	–	entalpie vzniklé páry při atmosférickém tlaku $p_2$	[kJ.kg <sup>-1</sup> ].

### **Příklad**

**Zadání:** Máme stanovit hmotnostní podíl páry vzniklé z kondenzátu o přetlaku  $p_1 = 5\text{ bar}$  a o teplotě  $t_1 = 159\text{ °C}$ , který je škrcen odvaděčem a dále vystupuje do volného prostoru. Kondenzát těchto vysokých parametrů může vznikat u poddimenzovaných VT.

Hodnoty jednotlivých entalpií jsou odečteny z parních tabulek:  $h_{k1} = 670$ ,  $h_{k2} = 417$ ,  $h_{p2} = 2675\text{ kJ.kg}^{-1}$ .

**Řešení:** Dosazením uvedených hodnot do vztahu (1) získáme hmotnostní podíl páry

$$\frac{m_p}{m_k} = \frac{670 - 417}{2675 - 417} = 0,112.$$



*Poznámka:*

Je-li měrný objem syté páry při atmosférickém tlaku podle parních tabulek roven  $v_{p2} = 1,694 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ , vznikne z 1kg kondenzátu objem zbytkové páry  $V_{p2} = (m_p / m_k) \cdot v_{p2} = 0,112 \cdot 1,694 = 0,19 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ .

Znamená to, že z kondenzátu o objemu  $1 \text{ dm}^3$  vznikne velký objem  $190 \text{ dm}^3$  zbytkové páry a malý objem kondenzátu

$$\begin{aligned} v_{k2} &= \{1 - (m_p / m_k)\}. v_{k2} = \{1 - 0,112\} \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,888 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,888 \text{ dm}^3. \end{aligned}$$