



Oběhové čerpadlo Wilo Stratos 40 v továrním nastavení s $H_s = 7,0$ m



Dvojcestný regulační ventil s motorickým pohonem

Obrázek: Schéma podlahového vytápění s dodatečnou regulací

Vydeme-li z předpokladu, že tepelný výkon dodaný tepelným čerpadlem je roven tepelnému výkonu potřebnému na vytápění domu, můžeme napsat následující rovnici:

$$Q_{13} \cdot (T_1 - T_3) = Q_{23} \cdot (T_3 - T_2) = P \cdot 0,86,$$

Q jsou hodnoty průtoku v $\text{m}^3/\text{hod.}$, T jsou teploty v K resp. $^{\circ}\text{C}$, P je tepelný výkon v kW, koeficient $0,86 = 3600\text{s}/\text{hod} / 4180\text{J}/(\text{kg K}) \cdot 1000\text{kg}/\text{m}^3 / 1000\text{W}/\text{kW}$. Dále $4180\text{J}/(\text{kg K})$ je měrná tepelná kapacita vody, $1000\text{kg}/\text{m}^3$ je objemová hustota vody).

Orientační hodnoty pro leden jsou v našem případě:

$$6 \cdot (45 - 35) = 10 \cdot (35 - 29) = 70 \cdot 0,86$$

Diferencováním rovnice výše dostaneme:

$$dQ_{13} \cdot (T_1 - T_3) + Q_{13} \cdot d(T_1 - T_3) = dQ_{23} \cdot (T_3 - T_2) + Q_{23} \cdot d(T_3 - T_2) = dP \cdot 0,86$$

Předpokládejme nejprve, že tepelný výkon P se nemění. V tomto případě je:

$$dP = 0$$

$$Q_{13} = P \cdot 0,86 / (T_1 - T_3)$$

$$Q_{23} = P \cdot 0,86 / (T_3 - T_2)$$

Původní regulace (T3 je konstantní)

V tomto případě platí:

$$dQ_{13} \cdot (T_1 - T_3) + Q_{13} \cdot dT_1 = dQ_{23} \cdot (T_3 - T_2) - Q_{23} \cdot dT_2 = 0$$

Při zvýšení/snížení teploty T1 se sníží/zvýší průtok Q13 dle vztahu:

$$dQ_{13} = Q_{13}/(T_1 - T_3) \cdot dT_1$$

S poklesem teploty T1 se zvyšuje průtok Q13. Čím nižší je T1, tím vyšší je nárůst Q13. Blízko minima T1 tak je v okruhu tepelného čerpadla velký průtok Q13 o nízké teplotě T1. Protože vytápění a ohřev vody mají společnou vratnou, ochlazuje se vratná tepelného čerpadla a klesá teplota horkého plynu. Následně klesá teplota teplé vody. Teprve až se rozdíly srovnají, začne se voda pomalu ohřívat. Právě tento jev byl pozorován. Z tohoto důvodu se tato regulace jeví jako nevhodná i přesto, že je výhodná pro okruh s oběhovým čerpadlem, neboť ten je v tomto případě stabilní a nevyžaduje žádnou regulaci.

Současný stav (bez regulace, fixní poloha směšovacího ventilu)

Analyzujeme dva případy v okruhu tepelného čerpadla.

Nechť je nejprve průtok Q13 konstantní a mění se teplota T1. Pak platí:

$$dQ_{13} = 0$$

$$Q_{13} \cdot d(T_1 - T_3) = 0, \text{ z čehož plyne, že}$$

$$dT_3 = dT_1$$

Nechť je naopak T1 konstantní a Q13 se mění (moje domněnka je, že průtok se zvyšuje s rostoucím počtem kompresorů, které se podílejí na vytápění; v našem případě 0 až 4).

Pak platí:

$$dT_1 = 0$$

$$dQ_{13} \cdot (T_1 - T_3) + Q_{13} \cdot dT_3 = 0, \text{ z čehož plyne}$$

$$dT_3 = dQ_{13} \cdot (T_1 - T_3) / Q_{13}$$

Zapojením dalšího kompresoru podílejícího se na vytápění se tak zvýší teplota T3, což odpovídá pozorováním.

Dále analyzujeme dva případy v okruhu oběhového čerpadla.

Nechť je nejprve průtok Q23 konstantní a mění se teplota T2. Pak platí:

$$dQ_{23} = 0$$

$$Q_{23} \cdot d(T_3 - T_2) = 0, \text{ z čehož plyne, že}$$

$$dT_2 = dT_3$$

Nechť je naopak T2 konstantní a mění se Q23. Pak platí:

$$dT_2 = 0$$

$$dQ_{23} \cdot (T_3 - T_2) + Q_{23} \cdot dT_3 = 0, \text{ z čehož plyne}$$

$$dQ_{23} = -dT_3 / (T_3 - T_2) \cdot Q_{23}$$

V prvním případě nedochází k regulaci oběhovým čerpadlem. Ve druhém případě budou s rostoucí teplotou T3 termostaty zavírat častěji, čímž se zvýší tlak a oběhové čerpadlo sníží průtok Q23. Dochází tak k regulaci oběhovým čerpadlem.

Alternativní regulace 1 (T1 - T3 je konstantní)

V tomto případě pro okruh tepelného čerpadla platí:

$$d(T1 - T3) = 0, \text{ z čehož plyne}$$

$$dT3 = dT1$$

$$dQ13 = 0.$$

Jde tedy o analogii výše analyzovaného případu bez regulace, kdy se průtok Q13 nemění a mění se teplota T1. Tento případ je pro okruh tepelného čerpadla výhodný.

V okruhu oběhového čerpadla je situace stejná jako v případě bez regulace.

Alternativní regulace 2 (T1 - T3 je konstantní a T3 - T2 je konstantní)

V tomto případě navíc pro okruh oběhového čerpadla platí:

$$d(T3 - T2) = 0, \text{ z čehož plyne}$$

$$dT2 = dT3$$

$$dQ23 = 0.$$

Jde tedy o analogii výše analyzovaného případu bez regulace resp. s alternativní regulací 1, kdy se průtok Q23 nemění a mění se teplota T2. Tento případ je pro okruh oběhového čerpadla výhodný.

Shrnutí

Alternativní regulace 2 se jeví jako nejvýhodnější. Při konstantním tepelném výkonu jsou průtoky Q13 a Q23 konstantní. Mění se pouze teploty T1, T3 a T2 tak, že rozdíly teplot T1-T3 a T3-T2 zůstávají konstantní.

V případě změny tepelného výkonu by docházelo pouze ke změnám v průtocích Q13 a Q23. Úloha by byla najít optimální hodnoty T1-T3 a T3-T2.

Alternativní vyvážení soustavy

Vyvažovací ventily na zpátečce každého vchodu by se nahradily dvoucestnými regulačními ventily s motorickým pohonem (minule jsem chybně uvedl, že vyvažovací ventily jsou na přívodním potrubí). Ty by pro každý vchod zajišťovaly stejný teplotní rozdíl mezi přívodní a vratnou teplotou.