POROVNANIE HYDRAULICKÝCH POMEROV V PRIMÁRNYCH ROZVODOCH TEPLA

COMPARISON OF HYDRAULIC CONDITIONS IN PRIMARY HEATING NETWORKS

Martina Mudrá^{*1}, Ján Takács

^{*}martina.mudra@stuba.sk

¹Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra technických zariadení budov, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Abstrakt

Príspevok sa venuje porovnaniu hydraulických pomerov v primárnych rozvodoch tepla vybraného úseku sústavy centralizovaného zásobovania teplom. Porovnával sa výpočtový stav so skutočným stavom pred obnovou stavebných objektov a výpočtový stav s predpokladaným stavom po obnove stavebných objektov pripojených na sústavu centralizovaného zásobovania teplom. Cieľom príspevku je prostredníctvom tlakových diagramov poukázať na disproporcie, ktoré sú na reálnych tepelných sieťach sústav centralizovaného zásobovania teplom, nakoľko sa hydraulike vonkajšej časti vykurovacej sústavy nevenuje dostatočná pozornosť. Rekonštrukciou pôvodných primárnych rozvodov tepla a výmenou obehového čerpadla na vybranom úseku možno dosiahnuť hydraulickú stabilitu sústavy a úsporu prevádzkových nákladov.

Kľúčové slová

Hydraulika, primárny rozvod tepla, centralizované zásobovanie teplom, obehové čerpadlo, tlakový diagram

Abstract

The paper deals with the comparison of hydraulic conditions in the primary heating network of a selected section of the district heating system. The calculated state was compared with the actual state before the renovation of buildings and the calculated state with the expected state after the renovation of buildings connected to the district heating system. The aim of the paper is to point out the disproportions that exist in the real heating networks of district heating systems through pressure diagrams, as the hydraulics of the outer part of the heating system are not given sufficient attention. By reconstructing the original primary heat distribution and replacing the circulation pump on a selected section, hydraulic stability of the system and savings in operating costs can be achieved.

Key words

Hydraulics, primary heating network, district heating system, circulating pump, pressure diagram

1 ÚVOD

Najväčší rozvoj sústav centralizovaného zásobovania teplom (SCZT) a ich uvádzanie do prevádzky na Slovensku prebiehalo v závislosti od regiónu v období rokov 1948 až 1989 [1]. Od tohto obdobia prešla väčšina objektov pripojených na SCZT stavebnými úpravami - výmenou transparentných konštrukcií a zateplením ich obvodového plášťa. Tieto opatrenia síce zlepšujú tepelnotechnické vlastnosti budov, čo vedie k zníženiu potreby tepla na vykurovanie, ale zdroje tepla a tepelné siete zostávajú pôvodné, a tým dochádza k nerovnomernej dodávke tepla. Zníženú potrebu tepla na vykurovanie je potrebné prispôsobiť a v ďalšom kroku vyregulovať celú vykurovaciu sústavu, čím sa zabezpečí jej hydraulická stabilita [2].

2 OPIS SÚČASNÉHO STAVU

Porovnávanie hydraulických pomerov v primárnej tepelnej sieti pred a po uskutočnení stavebných úprav - zateplení obvodového plášťa a výmene transparentných konštrukcií stavebných objektov (SO) prebehlo na úseku od zdroja tepla (ZT) k odovzdávacej stanici tepla číslo 1 (OST1) okruhu SCZT. Schéma zapojenia tepelnej siete

SCZT a riešený úsek sú zobrazené na Obr. 1. Skúmaný okruh bol uvedený do prevádzky v roku 1982. Potrubné rozvody primárnej tepelnej siete sa od uvedenia SCZT do prevádzky nemenili - sú pôvodné. Primárna tepelná sieť je dvojrúrovňová, vedená v teplovodných kanáloch. Potrubia sú izolované minerálnou vlnou [3]. Zaujímavosťou tejto tepelnej siete je, že vratné potrubia sú oproti prírodným o dimenzii väčšie.

Obr. 1 Schéma zapojenia tepelnej siete sledovanej SCZT a riešený úsek (spracované autorkou podľa zdroja [3]).

3 METODIKA POROVNÁVANIA

Sledovaná SCZT sa porovnávala v dvoch alternatívach:

1. alternatíva - porovnanie výpočtového stavu so skutočným stavom pred obnovou SO pripojených k SCZT.
2. alternatíva - porovnanie výpočtového stavu s predpokladaným stavom po obnove SO pripojených k SCZT.

Prvá alternatíva

V tejto 1. alternatíve sa z hľadiska hydraulických pomerov skúmal stav pred stavebnými úpravami na SO. Porovnával sa výpočtový stav so skutočným stavom. Tepelné bilancie (Q) riešeného okruhu pochádzajú z obdobia pred zateplením SO (rok 2002) a boli poskytnuté prevádzkovateľom zdroja tepla [3]. Výpočtový teplotný spád v primárnych potrubných rozvodoch sa pred zateplením SO pohyboval na úrovni 100/60 °C. Veľkosti dimenzií (DN) potrubí sú pôvodné.

Výpočtový stav

Na základe daných tepelných bilancií (potrieb tepla), hmotnostných prietokov a DN primárnych potrubných rozvodov v riešených úsekoch sa z Výpočtových tabuliek pre vykurovanie [4] odčítali prislúchajúce hodnoty merných tlakových strát (R) a rýchlosti prúdenia teplotnej látky (w). Na tepelnej sieti sa vzťahujú rovnaké výpočtové vzťahy ako na teplovodné vykurovacie systémy, pričom sa rozlišujú tlakové straty trením ($R \cdot l$) a vradenými odporami (Z) [5], [6]. Tlakové straty vradenými odporami boli pre každý úsek samostatne prepočítané.

V Tab. 1 sú spracované prepočty tlakových pomerov pre výpočtový stav. Obehové čerpadlo, musí okrem tlakových strát trením a vradenými odporami ($R \cdot l + Z$) prekonať tlakovú stratu OST1 (Δp_{OST1}) a tlakovú stratu v zdroji tepla (Δp_{ZT}). Tlaková strata $\Delta p_{OST1} = 83$ kPa zahŕňa samotnú tlakovú stratu OST a tlakovú stratu armatúr pred a za OST. Pri stanovení potrebného pracovného tlaku čerpadla (Δp_c) v ZT sa vychádzalo zo vzťahu (1).

$$\Delta p_c = 1,1 \cdot (\Sigma (R \cdot l) + \Sigma (Z) + \Delta p_{OST}) \quad (Pa), \quad (1)$$

kde l, l - predstavuje zvýšenie tlaku čerpadla na prekonanie tlakovej straty v ZT, $\Sigma (R \cdot l)$ - tlaková strata trením v primárnych potrubných rozvodoch (Pa), $\Sigma (Z)$ - tlaková strata vradenými odporami (Pa), Δp_{OST} - tlaková strata OST (Pa) [5].

Tab. 1 Tlakové pomery v primárnom potrubí pre výpočtový stav 1. alternatívy [autorka].

Úsek	Q (kW)	M (kg/h)	d (mm)	l (m)	w (m/s)	R (Pa/m)	R . l (Pa)	Z (Pa)	R . l + Z (Pa)
1	12 845	276 105	250	39	1,5	68,7	2 679	656	3 335
2	4 120	88 560	150	31	1,5	121,4	3 769	13 838	17 601
3	2 274	48 880	125	248	1,2	101,3	25 122	2 239	27 361
3'	2 274	48 880	150	248	0,78	38,54	9 558	935	10 493
2'	4 120	88 560	200	31	0,74	23,78	737	1 998	2 735
1'	12 845	276 105	300	39	1,0	28,23	1 101	306	1 407
Tlakové straty trením a vradenými odpormi									62 933
Tlaková strata OST									83 000
Tlaková strata v zdroji tepla									14 593
Výsledný požadovaný pracovný tlak obehového čerpadla									160 526

Z Tab. 1 je zrejmé, že na optimálnu prevádzku existujúcej časti SCZT by pri hmotnostnom prietoku $M = 276\,105\text{ kg/h}$ postačovalo obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_1 = 16,1\text{ m}$.

Skutočný stav

V projektovej dokumentácii z obdobia pred stavebnými úpravami SO sa uvádza, že dopravná výška obehového čerpadla činí $H_2 = 33,3\text{ m}$. Výrobca požaduje pre OST $\Delta p_{OST1} = 90\text{ kPa}$. Na základe vzťahu pre výpočet potrebného pracovného tlaku čerpadla (1) je možné odvodiť približné tlakové straty trením a miestnymi odpormi ($R \cdot l + Z$) v potrubí a následne sa rozdielom pracovného tlaku čerpadla (Δp_c) a predbežných tlakových strát trením a miestnymi odpormi dopracovať k predbežnej tlakovej strate v zdroji tepla (Δp_{ZT}). Prostredníctvom výpočtového vzťahu mernej tlakovej straty (R) v potrubí (2), sa stanovila veľkosť skutočnej mernej tlakovej straty (R).

$$R = \frac{(\Delta p_c - \Delta p_{ZT}) \cdot (1 - a)}{L} \quad (\text{Pa/m}), \quad (2)$$

kde Δp_c - pracovný tlak čerpadla (Pa), Δp_{ZT} - tlaková strata zdroja tepla (Pa), a - podiel vradených odporov pre tepelné siete SCZT - v závislosti od zložitosti siete $a = 0,1$ až $0,2$, L - celková dĺžka primárnych potrubných rozvodov tepla (m) [5].

Veľkosti merných tlakových strát (R) v jednotlivých úsekoch boli odhadované s tým, aby sa priblížili vypočítanej skutočnej mernej tlakovej strate $R = 380\text{ Pa/m}$. Na základe skutočných DN potrubí a odhadovanej mernej tlakovej straty (R) v prívodnom potrubí sa z Výpočtových tabuliek pre vykurovanie [4] odčítali príslušajúce hodnoty rýchlosti prúdenia teplotnosnej látky (w). Následne došlo k prepočtu tlakových strát trením ($R \cdot l$) a miestnymi odpormi (Z). V Tab. 2 sú spracované prepočty tlakových pomerov pre skutočný stav s nevhodným obehovým čerpadlom.

Tab. 2 Tlakové pomery v primárnom potrubí pre skutočný stav 1. alternatívy [autorka].

Úsek	Q (kW)	M (kg/h)	d (mm)	l (m)	w (m/s)	R (Pa/m)	R . l (Pa)	Z (Pa)	R . l + Z (Pa)
1	12 845	276 105	250	39	3,4	350	13 650	3 370	17 020
2	4 120	88 560	150	31	2,5	380	11 780	38 439	50 219
3	2 274	48 880	125	248	2,1	350	86 800	6 857	93 657
3'	2 274	48 880	150	248	1,5	130	32 240	3 459	35 699
2'	4 120	88 560	200	31	1,3	70	2 170	6 167	8 337
1'	12 845	276 105	300	39	2,4	145	5 655	1 763	7 418
Tlakové straty trením a vradenými odpormi									212 350
Tlaková strata OST									90 000
Tlaková strata v zdroji tepla									30 235
Skutočný pracovný tlak obehového čerpadla									332 585

Na Obr. 2 sú prostredníctvom tlakových diagramov zobrazené tlakové pomery v primárnej tepelnej sieti vybraného okrsku SCZT pri výpočtovom stave a pri skutočnom stave pred stavebnými úpravami na SO.

Obr. 2 Priebeh tlakových diagramov pred obnovou SO [autorka]

a) výpočtový stav, b) skutočný stav.

Porovnaním týchto tlakových diagramov možno konštatovať, že zvolené obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_2 = 33,3$ m bolo pre danú SCZT nevhodne (nesprávne) navrhnuté – predimenzované. Týmto predimenzovaním obehového čerpadla dochádza k nadmernému zvýšeniu rýchlostí prúdenia teplotnej látky (w) – takmer na dvojnásobok, a tým aj k nárastu tlakových strát v rozvodoch tepla, čo vedie k celkovému rozladeniu a nestabilite hydraulických pomerov v časti SCZT. Pri rešpektovaní potrieb tepla a existujúcich DN potrubí, by na pokrytie tlakových strát v tomto prípade postačovalo obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_1 = 16,1$ m.

Druhá alternatíva

V tejto 2. alternatíve sa z hľadiska hydraulických pomerov skúma stav po stavebných úpravách na SO. Porovnával sa výpočtový stav s predpokladaným stavom. Tepelné bilancie (Q) riešeného okruhu pochádzajú z obdobia po zateplení SO (rok 2019) a boli poskytnuté prevádzkovateľom zdroja tepla [3]. Výpočtový teplotný spád v primárnych potrubných rozvodoch sa po zateplení SO znížil na úroveň 85/60 °C. Veľkosti DN potrubí sú pôvodné.

Výpočtový stav

Metodika stanovenia tlakových pomerov je totožná s 1. alternatívou, pričom sa vplyvom obnovy SO tepelné bilancie zmenšili o tretinu. Na optimálnu prevádzku existujúcej časti SCZT by pri hmotnostnom prietoku $M = 167\,627$ kg/h postačovalo obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_3 = 11,6$ m.

Predpokladaný stav

V tomto prípade predpokladáme, že po stavebných úpravách na SO nedošlo k výmene obehového čerpadla a v ZT bolo ponechané pôvodné s dopravnou výškou $H_2 = 33,3$ m. Postup úvahy a výpočtu tlakových pomerov je teda rovnaký ako pri predpokladanom stave pri 1. alternatíve.

Na Obr. 3 sú prostredníctvom tlakových diagramov zobrazené tlakové pomery v primárnej tepelnej sieti vybraného okrsku SCZT pri výpočtovom stave a pri predpokladanom stave po stavebných úpravách na SO.

Porovnaním týchto tlakových diagramov možno konštatovať, že zvolené obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_2 = 33,3$ m by bolo pre danú SCZT nevhodne navrhnuté – predimenzované. Týmto predimenzovaním dochádza k nadmernému zvýšeniu rýchlostí prúdenia teplotnej látky – takmer na trojnásobok, a tým aj k nárastu tlakových strát v rozvodoch tepla, čo vedie k celkovému rozladeniu a nestabilite hydraulických pomerov v časti SCZT. Pri rešpektovaní potrieb tepla a existujúcich DN potrubí, by na pokrytie tlakových strát v tomto prípade postačovalo obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_3 = 11,6$ m.

Obr. 3 Priebeh tlakových diagramov po obnove SO [autorka]
a) výpočtový stav, b) predpokladaný stav.

4 VYHODNOTENIE

Vzhľadom k tomu, že sa priebeh tlakových pomerov pri predpokladanom stave po obnove SO oproti skutočnému stavu pred obnovou SO nezmenil – nedošlo k výmene čerpadla, daný okruh možno považovať za hydraulicky nestabilný. Nakoľko obnova SO spôsobila znížený dopyt po dodávke tepla, došlo aj k zníženiu samotných hmotnostných prietokov. Odporúčaným – ideálnym riešením pre takúto sústavu je výmena pôvodných obehových čerpadiel za nové progresívne (s frekvenčnou zmenou otáčok), ktoré sú energeticky hospodárnejšie.

Ideálny - výpočtový stav

Z hľadiska hydraulických pomerov sa skúmal stav po stavebných úpravách na SO a zmene DN potrubí. Tepelné bilancie (Q) riešeného okruhu pochádzajú z obdobia po zateplení SO (rok 2019) a boli poskytnuté prevádzkovateľom zdroja tepla [3]. Výpočtový teplotný spád v primárnych potrubných rozvodoch sa po zateplení SO pohybuje na úrovni 85/60 °C. Veľkosti DN potrubí sú nové.

V Tab. 3 sú spracované prepočty tlakových pomerov pre ideálny stav. Na základe daných tepelných bilancií (Q) a hmotnostných prietokov teplotnej látky (M) došlo k novému návrhu DN primárnych rozvodov tepla.

Tab. 3 Tlakové pomery v primárnom potrubí po obnove SO a výmene rozvodov tepla [autorka].

Úsek	Q (kW)	M (kg/h)	d (mm)	l (m)	w (m/s)	R (Pa/m)	R · l (Pa)	Z (Pa)	R · l + Z (Pa)
1	4 874	167 627	200	39	1,45	84	3 276	613	3 889
2	1 430	49 181	150	31	0,8	39	1 209	4 684	5 893
3	842	28 958	125	248	0,7	37	9 176	674	9 850
3'	842	28 958	125	248	0,7	37	9 176	674	9 850
2'	1 430	49 181	150	31	0,8	39	1 209	3 723	4 932
1'	4 874	167 627	200	39	1,45	84	3 276	613	3 889
Tlakové straty trením a vradenými odpormi									38 303
Tlaková strata OST									82 000
Tlaková strata v zdroji tepla									12 030
Výsledný požadovaný pracovný tlak obehového čerpadla									132 333

Z Tab. 3 je zrejmé, že na ideálnu prevádzku časti SCZT by pri hmotnostnom prietoku $M = 167\,627\text{ kg/h}$ postačovalo obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_4 = 13,3\text{ m}$.

Na Obr. 4 sú prostredníctvom tlakového diagramu zobrazené tlakové pomery v primárnej tepelnej sieti vybraného úseku SCZT pri ideálnom stave po obnove SO a výmene pôvodných DN potrubí za nové.

Obr. 4 Tlakový diagram po obnove SO a výmene rozvodov tepla [autorka].

5 DISKUSIA

Návrhom obehového čerpadla s dopravnou výškou $H_4 = 13,3$ m s podstatne nižšou spotrebou elektrickej energie a výmenou pôvodných DN primárnych rozvodov tepla SCZT je možné dosiahnuť značné úspory čerpacej práce, ktorá prispeje k zvýšeniu hospodárnosti a hydraulickej stability rekonštruovanej SCZT. Takéto riešenie je jednou z ciest, ako zefektívňovať prevádzky SCZT v budúcnosti.

6 ZÁVER

Cieľom príspevku bolo poukázať na disproporcie, ktoré sú na reálnych primárnych tepelných sieťach SCZT. V prvej časti tejto analýzy je výsledok v podobe tlakového diagramu pre výpočtový a reálny stav s pôvodným čerpadlom a pôvodným potrubným rozvodom pred obnovou SO. Z Obr. 2 je jasné, že pôvodné čerpadlo s dopravnou výškou $H_2 = 33,3$ m bolo nesprávne volené, pričom aj hydraulická stabilita potrubnej siete je otázná. Paradoxom je, že aj po zateplení SO a výmene okien sa problematike obehových čerpadiel nevenovala patričná pozornosť. Výmena obehového čerpadla za nové s nižšou dopravnou výškou by bola vhodná alternatíva. Ak by sa uskutočnila rekonštrukcia pôvodných tepelných sietí, tak by mohla sledovaná SCZT pracovať tak, ako je to naznačené na tlakovom diagrame na Obr. 4 a postačovalo by obehové čerpadlo s dopravnou výškou $H_4 = 13,3$ m. Hlavnou výhodou navrhovaného riešenia by bola úspora prevádzkových nákladov na ďalšie prevádzkové obdobie.

PodĎakovanie

Príspevok bol podporovaný Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR prostredníctvom grantov VEGA 1/0304/21, VEGA 1/0303/21 a KEGA 005/STU-4/2021.

Použité zdroje

- [1] Systavy centrálneho zásobovania teplom – prehľad súčasného stavu. [online]. Slovenská inovačná a energetická agentúra: SIEA. Bratislava. 2014. Dostupné na internete: <https://www.siea.sk/wp-content/uploads/poradenstvo/analzy/Systemy_CZT_SIEA_2014_.pdf>
- [2] TAKÁCS, J. – DERZSI, I.: Hydraulické pomery v bytových domoch po zateplení. Správa budov. 2017, roč. 11, č. 4, s. 43-45. ISSN 1337-6233.
- [3] Firemné podklady energetickej spoločnosti.
- [4] LABOUTKA, K. – SUCHÁNEK, T.: Výpočtové tabuľky pro vytápění, vztahy a pomůcky. Praha 1: Společnost pro techniku prostředí, 2001. 208 s. ISBN 80-02-01466-9.
- [5] PEKAROVIČ, J. K. a kol.: Vykurovanie I. a II. Bratislava: Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1994. 493 s. ISBN 80-227-0648-5.
- [6] PETRÁŠ, D. a kol.: Vykurovanie rodinných a bytových domov. Bratislava: Vydavateľstvo Jaga group, 2005. 246 s. ISBN 80-807-6012-8.