

BIURŲ PASTATO VANDENINĖS VĖSINIMO SISTEMOS BALANSAVIMO IR VALDYMO SPRENDIMŲ ANALIZĖ

Andrius Timofejevas¹, Kęstutis Čiuprinskas²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ²kestutis.ciuprinskas@vgtu.lt

Santrauka. Nagrinėjami trys labiausiai paplitę administracinių pastatų vandeninės vėsinimo sistemų balansavimo ir valdymo sprendimai: pastovaus srauto sistema, kintamo srauto sistema su rankiniais balansavimo ventiliais ir kintamo srauto sistema su automatiniais balansavimo ir valdymo vožtuvais. Atliekami vieno konkretaus pastato detalūs skaičiavimai: lyginamos sistemų pradinės investicijos, montavimo ir eksploatacijos išlaidos. Gauti rezultatai rodo, kad dažniausiai naudojama ir paprasčiau projektuojama pastovaus srauto sistema su triangiais vožtuvais yra prasčiausia pagal visus kriterijus. Energijos tausojimo prasme išsiskiria sistema su automatiniais vožtuvais. Susumavus eksploatacijos išlaidas per 10 metų ir pradines investicijas, gauta, kad pastovaus srauto sistema yra brangiausia. Kintamojo srauto sistema su rankiniais balansavimo ventiliais yra 20 % pigesnė, o su automatiniais – net 37 %.

Reikšminiai žodžiai: vėsinimas, hidraulinis balansavimas, efektyvumas, energijos taupymas, aprišimo schemas, srautas.

Įvadas

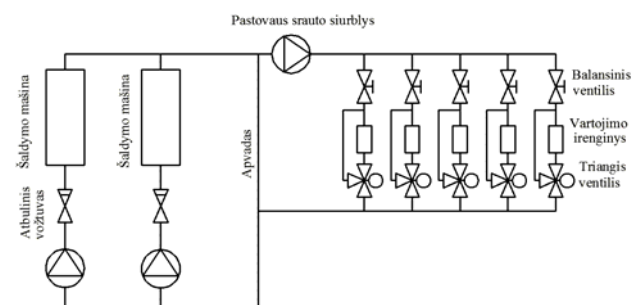
Šiuolaikiniams viešosios paskirties pastatams keliami aukšti patalpų mikroklimato reikalavimai. Patalpų oro kaita, nustatytosios vidaus temperatūros palaikymas pasitelkiant šildymo ir vėsinimo sistemas, taip pat sugebėjimas numatytus temperatūros parametrus palaikyti keičiantis oro sąlygoms metų ir paros laikotarpiu. Gana sudėtinga užduotis palaikyti tinkamą temperatūrą patalpoje paros laikotarpiu, kai keičiasi ne tik išorės lauko temperatūra, bet ir žmonių skaičius, saulės spinduliuotės intensyvumas, kitų patalpų užimtumas, biuro technikos naudojimas, noras, kad skirtingose patalpose būtų skirtingi parametrai. Seniau įrengtos sistemos dažniausiai neatitinka šiandienos technologinių ar higieninių reikalavimų, nes yra neefektyvios. Įrenginiuose neefektyviai ir nuostolingai sunaudojama daug energijos. Moderni klimato kontrolės sistema ne visada parenkama teisingai, dažnai vadovaujamosi seniai sukurtais stereotipais, atsiradusiais esant ribotoms techninėms galimybėms, todėl šiandien, siekiant efektyviai naudoti energiją, negali būti taikomi. Kita inžinerinių sistemų projektavimo problema yra nesugebėjimas įvertinti sistemos kaip nedalomos visumos. Prietaisai, regulatoriai, vamzdiniai ar šilumnešio ruošimo įranga parenkama tam tikromis projektinėmis sąlygomis ir retai analizuojama, kaip įranga veiks didžiumą eksploataavimo laiko, kai šilumos apkrova bus tik dalinė, ir kaip tuo atveju tarpusavyje sąveikaus sistemos elementai. O vėsinimo sistema beveik visą laiką veikia esant tik daliai apkrovai. Tipinės pasekmės gali būti šios: stiprūs temperatūros svyravimai reguliuojamoje patalpoje, didelis sistemos keliamas triukšmas, mažas šilumnešio temperatūros skirtumas, per didelių ši-

lumnešio srautų susidarymas sistemoje, didelės cirkuliacijos sąnaudos, trumpas valdymo vožtuvų naudojimo laikas (greitas pavarų susidėvėjimas), būtinybė dažnai kartoti sistemos balansavimą, nepakankamas šilumnešio srautas kritiniams kontūrams.

Vandeninė vėsinimo sistema susideda iš vėsos gamybos, tiekimo ir vartojimo įrenginių. Visi jie turi būti tarpusavyje suderinti. Šiame darbe lyginamos keletu skirtingų vėsinimo sistemų montavimo, investicijų ir eksploataavimo išlaidos. Lyginti pasirinktos trijų tipų sistemos. Tai pastovaus srauto, kintamojo srauto su rankiniais balansiniais ir kintamojo srauto su automatiniais balansiniais valdymo vožtuvais vėsinimo sistemos (Aho 2009; Eskin *et al.* 2008).

Pastovaus srauto sistema

Šiandien vis dar populiariausia yra pastovaus srauto vėsinimo sistema. Šiuo atveju, nepriklausomai nuo kontūro šiluminės apkrovos, sistemoje ar jos dalyje palaikomas pastovus projektinis šilumnešio srautas (Petitjean 2004). Tai pasiekama naudojant triangius valdymo vožtuvus (1 pav.).



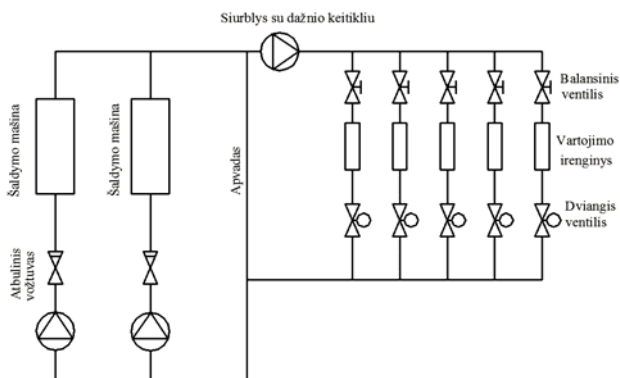
1 pav. Pastovaus srauto sistema

Fig. 1. Constant flow system

Parenkant pastovaus srauto sistemos įrangą reikalingas vožtuvų Kvs verčių, vožtuvų įtakos ir ventilių išankstinių nustatymų skaičiavimas. Šio tipo sistema naudoja daug energijos cirkuliacijai, nes siurblys nuolat veikia 100 % galia. Dėl nereikalingos cirkuliacijos didėja vėsos nuostoliai. Gera vožtuvų įtaka (angl. *authority* – vožtuvo minimalaus ir maksimalaus slėgio perkryčių santykis) šio tipo sistemose faktiškai neįmanoma. Svarbi tampa ir mažo temperatūrų skirtumo problema.

Kintamojo srauto sistema su rankiniais balansiniais ventiliais

Kintamojo srauto sistemoje šilumnešio srautai valdomi dviangiais valdymo vožtuvais. Ruože visiškai užsidarius vožtuvui srautas nebeteka, todėl padidėja šiam ruožui tenkantis diferencinis slėgis. Šio tipo sistemoje galima naudoti siurblių su dažnio keitikliu (šiuo atveju palaikomas pastovus cirkuliacinis slėgis), kuris tik iš dalies sumažina padidėjusį slėgį. Perteklinio slėgio atsiranda tuo daugiau, kuo daugiau užsidaro vožtuvų ir kuo daugiau srauto teka per kitus įrenginius (Variable ... 1999). Srauto didėjimas sukelia mažo temperatūrų skirtumo problemą ir triukšmą (2 pav.).



2 pav. Kintamo srauto sistema su rankiniais balansiniais ventiliais

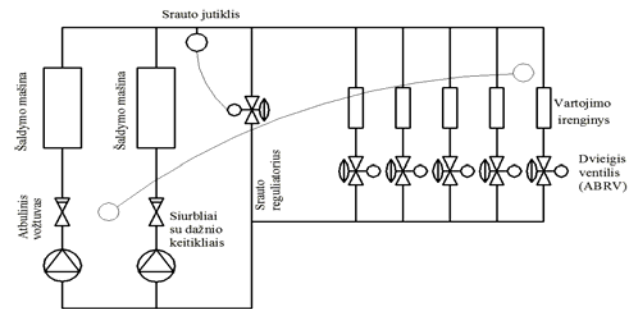
Fig. 2. Variable flow system with manual balancing valves

Kintamojo srauto sistemoje su rankiniais balansiniais ventiliais egzistuoja panašios problemos kaip ir pastovaus srauto sistemoje.

Kintamojo srauto sistema su automatiniais balansiniais valdymo vožtuvais

Kintamojo srauto sistemos su automatiniais balansavimo ir valdymo vožtuvais veikimo principas panašus kaip ir sistemos su rankiniais balansavimo vožtuvais. Tačiau joje naudojami vožtuvai, susidedantys iš dviejų dalių: dviangio ventilio ir slėgio perkryčio regulatoriaus, kuris pala-

ko reikiamą slėgio perkrytį per dviangį vožtuvą (Jedzjevski 2009). Tokioje sistemoje, mažėjant sistemos apkrovimui, cirkuliacinis siurblys gali būti reguliuojamas proporcingai mažinant ir srautą, ir slėgį (3 pav.).



3 pav. Kintamo srauto sistema su automatiniais balansiniais ventiliais

Fig. 3. Variable flow system with automatic balancing valves

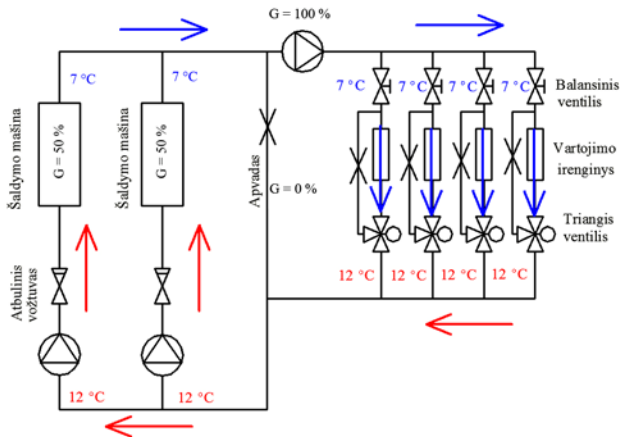
Ši sistema yra labai lanksti, gali gerai veikti esant ir maksimaliam, ir daliniam apkrovimui. Joje nėra perteklinių srautų, mažo temperatūrų skirtumo ir triukšmo problemų. Be to, paprasčiau parenkami ir montuojami vožtuvai, kadangi automatiniai balansavimo ir valdymo vožtuvai nuolat užtikrina reikiamą srautą per kiekvieną ventiliatorinį konvektorių. Šiuo atveju rankiniai balansavimo vožtuvai atšakose, stovuose ar magistralėse tampa nebereikalingi.

Mažas temperatūrų skirtumas

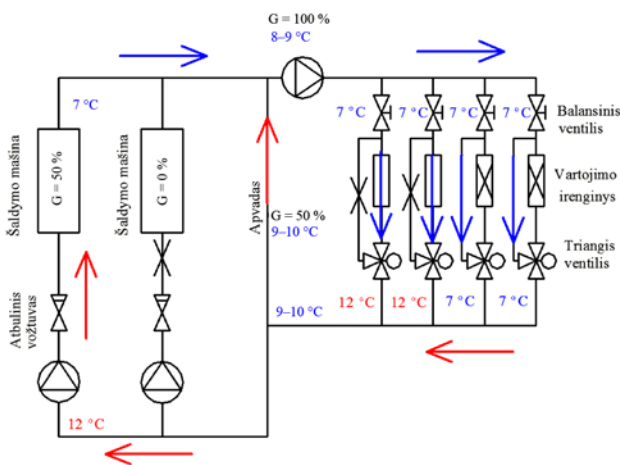
Vandeninės vėsinimo sistemos, lyginant su orinėmis, yra efektyvesnės ir lankstesnės. Įprastinėmis sąlygomis DN50 vamzdis gali tiekti tiek vėsos, kiek DN1000 apvalus ortakis (Chiller ... 2002). Vėsinimo agregatas gali būti įrengtas ir pastato rūsyje, ir ant stogo. Šilumnešio srautą galima reguliuoti tiksliau nei orinėse sistemose.

Vėsinimo agregatas projektuojamas veikti esant tam tikram tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūrų skirtumui. Jeigu veikiant sistemai nukrypstama nuo šių projektinių temperatūros verčių, mažėja vėsinimo agregato efektyvumas. Esant mažam šilumnešio temperatūrų skirtumui vėsinimo agregato efektyvumas gali sumažėti iki 40 % (Chang 2007; Chiller ... 2002; Dilliot 2008), o energijos sąnaudos ir sąskaita už elektrą tokiu pat santykiu padidėti. Panagrinėkime du variantus: kai sistema veikia pilnutiniu apkrovimu (4 pav.) ir esant 50 % galiai (5 pav.).

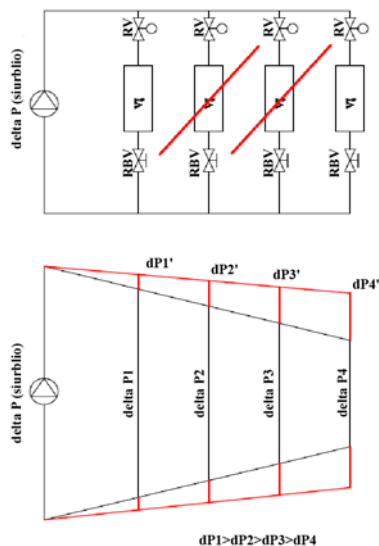
Sistemai veikiant pilnutine galia (4 pav.), pastovaus srauto sistema veikia puikiai. Visas šilumnešis yra tiekiamas vartojimo įrenginiams. Srautas apvažu neteka. Tačiau tokia apkrova vėsinimo sistemos Lietuvoje veikia tik 2–5 % viso savo darbo laiko.



4 pav. Sistema, veikianti pilnutiniu pajėgumu
Fig. 4. System operating at full power



5 pav. Sistema, veikianti pusiniu pajėgumu
Fig. 5. System operating at half power

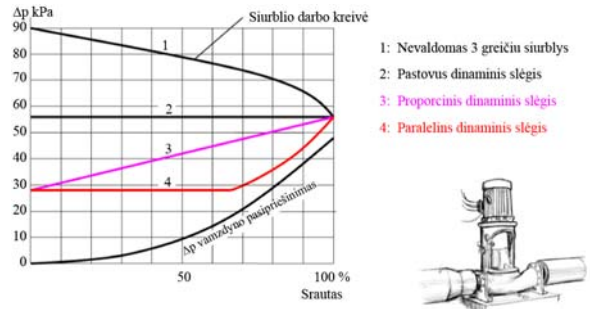


6 pav. Perteklinio slėgio susidarymas išjungus du vartotojus
Fig. 6. Generation of overpressure when two consumers are switched off

Dėl tokio slėgio padidėjimo susidaro per dideli srautai vartojimo įrenginiuose (6 pav.). Per dideli srautai sąlygoja žemo temperatūrų skirtumo problemą.

Cirkuliacinio siurblio valdymo būdai

Cirkuliacinis siurblys gali būti valdomas keliais būdais (Orberg 1999; Ma *et al.* 2009). Tačiau ne visi siurblio valdymo būdai gali būti naudojami skirtingose sistemose. Visai nėra tikslo pastovaus srauto sistemoje naudoti siurblių, valdomą dažnio keitikliu (7 pav.).



7 pav. Siurblio charakteristikos, naudojant skirtingus valdymo būdus

Fig. 7. Pump characteristics using different control methods

Siurblio valdymo 1 charakteristika gali būti naudojama visų tipų sistemose. Naudoti siurblio 2 charakteristiką tikslinga tik kintamojo srauto sistemoje. 3 ir 4 charakteristikas nerekomenduojama naudoti kintamojo srauto sistemose su rankiniais balansiniais ventiliais, nes gali neužtekti srauto arčiau siurblio esantiems įrenginiams. 3 ir 4 charakteristikas galima naudoti tik su automatiniais balansavimo valdymo vožtuvais.

Rezultatai

Apibendrinant rezultatus lyginamos visos sistemos: pastovaus srauto sistema su rankiniais balansavimo ventiliais ir trinagiais valdymo vožtuvais (1), kintamojo srauto sistema su rankiniais balansavimo ventiliais ir dvinagiais valdymo vožtuvais (2) ir kintamojo srauto sistema su automatinio balansavimo, valdymo vožtuvais (3).

Norint išsamiai palyginti sistemos analizuojamos esant daliniam apkrovimui. Modeliuojant laikoma, kad sistemos veikia 100 % galia 6 % laiko; 75 % galia 15 % laiko; 50 % galia 35 % laiko; 25 % galia 44 % laiko. Analizuojant skirtingas cirkuliacinio siurblio charakteristikas, apskaičiuojamos kiekvienos sistemos siurblio elektros energijos sąnaudos. Skaičiuoti naudojama Grundfos WEBCAPS programa. Siurblys visose sistemose yra tas pats, bet skiriasi jo valdymo charakteristikos.

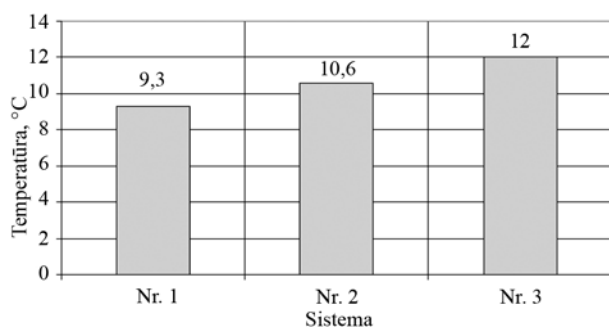
Sistemoms veikiant nevienoda galia srauto poreikis būna skirtingas. Analizuojant šilumnešio nuostolius per izoliaciją, matyti, kad šie nuostoliai priklauso nuo grąžinamo šilumnešio temperatūros. Grąžinamo šilumnešio temperatūra apskaičiuojama įvertinus nevienalaikiškumo koeficientus ir srauto padidėjimą.

Įrangos investicijos skaičiuojamos tik balansavimo ir valdymo vožtuvams, nes kita inžinerinių sistemų dalis (vamzdynai, izoliacija, įrenginiai ir kt.) yra vienoda. Remiamasi 2009 metų UAB „Danfoss“ katalogo kainomis.

Kadangi nagrinėjamų sistemų balansavimo ir valdymo vožtuvai yra skirtingi, todėl įvertinami skirtingi normatyvai jų montavimo ir balansavimo darbams atlikti, kita įrangos dalis neanalizuojama, nes yra vienoda.

Gražinamo šilumnešio temperatūra

Gražinamo šilumnešio temperatūra turi įtakos vėsos nuostoliams nuo vamzdyno į aplinką. Palyginimas pateikiamas (8 pav.).



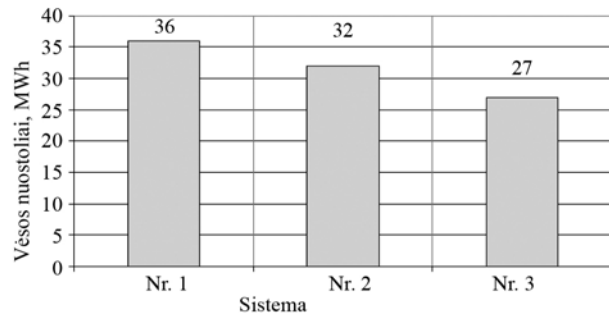
8 pav. Vidutinė grąžinamo šilumnešio temperatūra
Fig. 8. Average temperature of return flow

Įrangai veikiant projektine galia, visų sistemų grąžinamo šilumnešio temperatūra yra vienoda (projektinė) – 12 °C. Tačiau įvertinus periodinę apkrovą ir išanalizavus sistemos darbą per sezoną, bendra grąžinamo šilumnešio temperatūra skiriasi. Efektyviausiai dirba ta sistema, kurios grąžinamo šilumnešio temperatūra yra artima arba lygi projektinei, esant tiek projektiniam, tiek daliniam apkrovimui.

Energijos nuostoliai vamzdyne

Energijos nuostoliai tiesiogiai susiję su grąžinamo šilumnešio temperatūra (9 pav.).

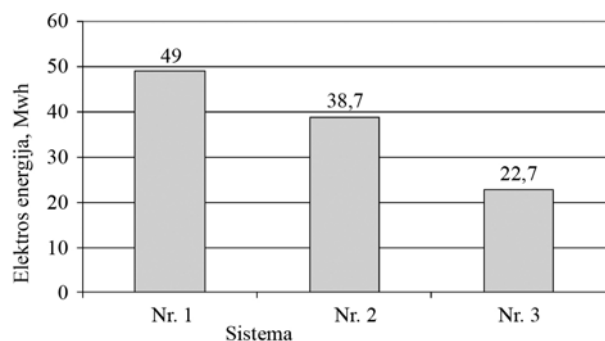
Lyginant vėsos nuostolius skirtingų tipų sistemose pastebėta, kad šiuo požiūriu kintamojo srauto sistemos yra pranašesnės. Kintamojo srauto sistemoje su rankiniais balansiniais ventiliais vėsos nuostoliai mažesni 11 %, sistemose su automatiniiais balansavimo ir valdymo vožtuvais – 25 %, lyginant su pastovaus srauto sistema.



9 pav. Vėsos nuostoliai vamzdyne per sezoną
Fig. 9. Cold loss in the pipework during the season

Cirkuliacinės sąnaudos

Cirkuliacinio siurblio sunaudojamas elektros energijos kiekis pavaizduotas 10 paveiksle.



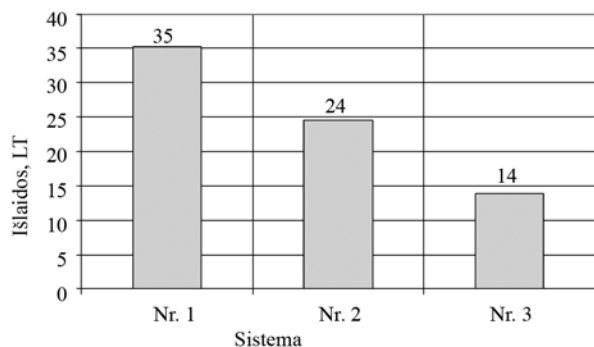
10 pav. Cirkuliacijos energijos sąnaudos per sezoną
Fig. 10. Energy consumption for circulation during the season

Siekiant optimaliai naudoti energiją reikalingas sistemos tiekimo ir vartojimo įrenginių suderinamumas. Tik sistemoje su automatiniu balansavimo vožtuvais galima pasiekti optimalų siurblio veikimą. Sistemoje su rankiniais balansiniais ventiliais įrengus siurblio valdymą esant pastovaus slėgio palaikymo charakteristikai sutaupoma 21 %, o su automatiniiais vožtuvais pagal proporcinę charakteristiką – 54 % cirkuliacijai tenkančios energijos, lyginant su pastovaus srauto sistema.

Montavimo, srauto balansavimo sąnaudos

Montavimo ir sistemų suderinimo, paruošimo eksploatacijai sąnaudos pateikiamos 11 paveiksle.

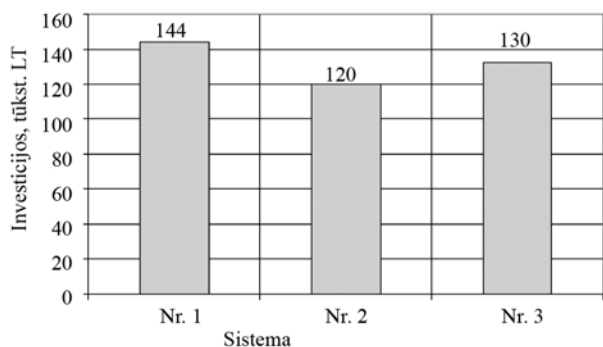
Montavimo sąnaudos priklauso nuo įrangos kiekio ir montavimo sudėtingumo. Triangius vožtuvus montuoti yra sudėtingiau, todėl reikia daugiau laiko. Automatiniai vožtuvai atlieka balansinio ir valdančiojo vožtuvo funkciją, todėl taupomos montavimo sąnaudos, o kadangi balansuoti jų nereikia, sutaupoma daugiau laiko. Antroji sistema montavimo, balansavimo atžvilgiu kainuoja 30 % pigiau, o trečioji – net 60 % pigiau, lyginant su pirmąja sistema.



11 pav. Montavimo ir balansavimo išlaidos
Fig. 11. Expenses for mounting and balancing

Investicijos

Lyginant sistemų investicijas, prie kintamojo srauto sistemų investicijų pridedama dažnio keitiklio kaina (12 pav.).



12 pav. Pirminės investicijos
Fig. 12. Initial costs

Pradinių investicijų požiūriu pigiausia yra kintamojo srauto sistema su rankinio balansavimo vožtuvais. Pastovaus srauto sistema yra brangesnė 17 %, o kintamojo srauto su automatiniiais vožtuvais – 10 %.

Visų sąnaudų palyginimas

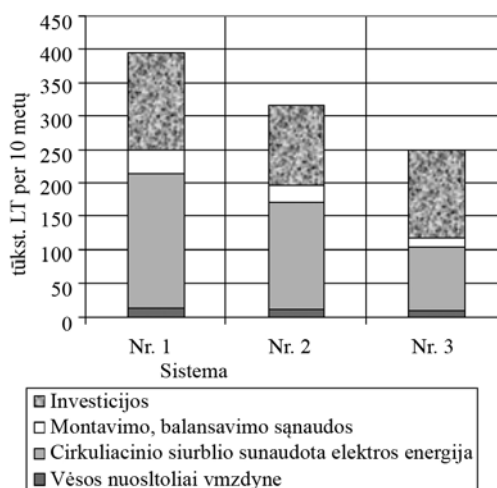
Atlikus skaičiavimus daroma prielaida, kad 50 % nuo vamzdinių paviršiaus perduodamos vėsos patenka į patalpas, o likusioji dalis – per vamzdinių šachtas ir pagalbinės patalpas pasklinda į pastato išorę.

Sąnaudos skaičiuojamos 10 metų laikotarpiu, tai laikas, per kurį sąlygiškai neturėtų sugesti nei vienas vožtuvas.

Vėsos nuostoliams įvertinti pinigine išraiška, laikoma, kad sezoninis vėsinimo mašinos naudingo veikimo koeficientas (angl. COP) yra 3 (13 pav.).

Susumavus eksploatacijos išlaidas per 10 metų, montavimo ir pradines investicijas, matyti, kad pastovaus srauto sistema yra brangiausia. Kintamojo srauto sistema su rankiniais balansiniais ventiliais yra 20 % pigesnė, o

su automatiniiais – 37 %. Brangstant elektros energijai skirtumas gali tik didėti. Galvojant apie energijos taupymą, efektyvų energijos naudojimą, CO₂ emisijos mažinimą ir globalų klimato atšilimą, pastovaus srauto sistemos, sukurtos prieš kelis dešimtmečius, turės būti užmirštos ir pereita prie daug efektyvesnių sprendimų. Tai automatiniai balansavimo valdymo vožtuvai, dažnio keitikliai siurbliams, moduluojamas temperatūros valdymas (šiam darbe neanalizuojamas) ir kita energiją tausojanti įranga, kuri pradinių investicijų požiūriu gali atrodyti brangesnė.



13 pav. Išlaidų palyginimas
Fig. 13. Comparison of costs

Išvados

1. Siekiant efektyviai naudoti energiją šildymo ir vėsinimo sistemose, jas projektuojant būtina įvertinti ne tik projektinį, bet ir dalinės apkrovos režimą bei įrenginių tarpusavio sąveiką.
2. Energijos sąnaudų požiūriu iš nagrinėtų sistemų geriausia yra kintamojo srauto sistema su automatiniiais balansavimo valdymo vožtuvais, prasčiausia – pastovaus srauto sistema su triangiais vožtuvais, o tarpinę padėtį užima kintamojo srauto sistema su rankiniais balansavimo ir dviangiais valdymo vožtuvais.
3. Pradinių investicijų požiūriu iš nagrinėtų sistemų geriausia yra kintamojo srauto sistema su rankiniais balansavimo ir dviangiais valdymo vožtuvais, kitų lyginamų sistemų pradinės investicijos yra apie 10–17 % didesnės.
4. Montavimo, balansavimo sąnaudų požiūriu iš nagrinėtų sistemų geriausia yra kintamojo srauto sistema su automatiniiais balansavimo valdymo vožtuvais, blogiausia – pastovaus srauto sistema, tarpinę padėtį užima

ma kintamojo srauto sistema su rankiniais balansavimo ir dviangiais valdymo vožtuvais.

5. Suminių išlaidų per pirmuosius 10 metų požiūriu iš nagrinėtųjų sistemų geriausia yra kintamojo srauto sistema su automatiniiais balansavimo valdymo vožtuvais. Lyginant su kitomis nagrinėtomis sistemomis ji kainuoja 20–40 % mažiau.

Literatūra

- Aho, I. 2009. Trends in heating and cooling, *Rehva Journal* 46(2): 55–58.
- Chang, Y. Ch. 2007. Optimal chiller loading by evolution strategy for saving energy, *Energy and Buildings* 39(4): 437–444. doi:10.1016/j.enbuild.2005.12.009
- Chiller Plant Design. 2002. Application Guide. McQuay International. 94 p.
- Dilliott, J. 2008. *Chilled water valve upgrades. Best practice case studies*. University of California, Berkeley.
- Eskin, N.; Turkmen, H. 2008. Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey, *Energy and Buildings* 40(5): 763–773. doi:10.1016/j.enbuild.2007.05.008
- Jedzjevski, M. 2009. *Efficient solutions in every scale. Regulation of water comfort system*. Manual. Danfoss A/S, Danfoss heating controls, Silkeborg, Denmark. 70 p.
- Ma, Z; Wang, S. 2009. Energy efficient control of variable speed pumps in complex building central air-conditioning systems, *Energy and Buildings* 41(2): 197–205. doi:10.1016/j.enbuild.2008.09.002
- Orberg, L. 1999. *Balancing of differential pressure in heating systems*. Danfoss A/S, Danfoss hydronic balancing, Nordborg, Denmark. 31 p.
- Petitjean, R. 2004. *Total hydronic balancing*. 3rd edition. Tour & Andersson AB. Responstryk, Boras. 536 p.
- Variable Primary Flow Systems. 1999. *TRANE Engineers Newsletter* 28(3).

THE ANALYSIS OF BALANCING WATER COOLING SYSTEMS AND MAKING MANAGEMENT DECISIONS REGARDING OFFICE BUILDINGS

A. Timofejevas, K. Čiuprinskas

Abstract

The paper analyses a cooling system installed using 268 fan coils and having an area of 7900 m² in a public building situated in Vilnius city. A comparison between a constant flow system having three way valves, a variable flow system having manually balanced valves and a variable flow system having automatically balanced control valves is made. The analysis has been performed to find out initial investments, installation costs and operating costs during 10 year period. Calculation has showed advantages of the variable flow. The overall cost of the system having manually balanced and two way control valves is 20% lower than that of the constant flow system. The overall cost of the system having automatically balanced control valves is 37% lower than that of the constant flow system. The marked differences may increase in case of growth in electricity price.

Keywords: cooling, hydraulic balancing, efficiency, energy saving, tie up schemes, flow.