

REALIAI VEIKIANČIO ŠILUMOS SIURBLIO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Vygantas Žėkas¹, Vytautas Martinaitis²

¹magistrantas, ²profesorius,

Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

el. p. ¹vgz@ramboll.lt; ²vsmart@ap.vgtu.lt

Anotacija. Nagrinėjamas tipinis šilumos siurblys, sumontuotas renovuotame name, esančiame Vilniaus priemiestyje (175 m² gyvenamojo ploto). Pastate įrengta grindinė šildymo sistema, įdiegta vėdinimo sistema su šilumogrąžos įrenginiu. Pagrindinis šilumos generatorius yra šilumos siurblys, o jo generuojama šiluma paskirstoma trimis atšakomis – grindinio šildymo, vėdinimo kameros ir karšto vandens ruošimo. Šilumos siurblio šilumos energijos gamybos efektyvumą galima apibūdinti naudingumo koeficientu (COP – *coefficient of performance*) ir sezoniniu naudingumo faktoriumi (SPF – *season performance factor*). Preliminariais skaičiavimais, turint galvoje sistemos ribas ir skaičiavimų prielaidas, šilumos siurblio vidutinis naudingumo koeficientas kinta nuo 3,7 iki 3,9.

Reikšminiai žodžiai: šilumos siurblys, darbo efektyvumas, tyrimo metodika, matavimo prietaisai, naudingumo koeficientas.

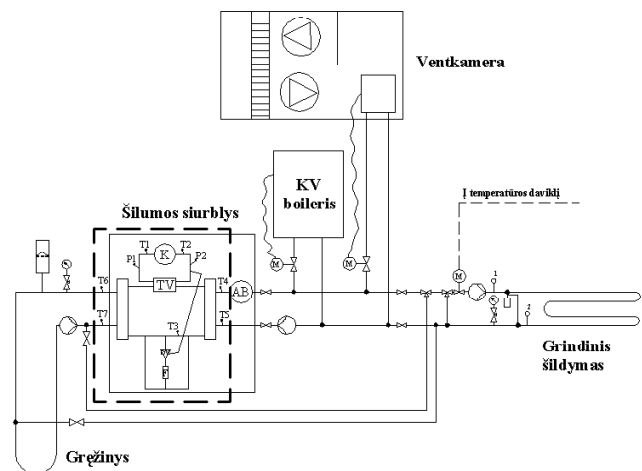
Įvadas

Šiame darbe nagrinėjamas realiomis sąlygomis veikiantis, tipiniame name sumontuotas šilumos siurblys ir nustatomas jo veikimo efektyvumas įvairiais šildymo sezono laikotarpiais. Įprastai šilumos siurblys, kaip tipinis energijos generatorius, apibūdinamas momentiniu naudingumo koeficientu (COP). Šios COP reikšmės dažniausiai pateikiamos reklaminiuose lankstinukuose ir šiuolaikinių siurblių siekia 3,5–4. Toks šilumos siurblio efektyvumas pasiekiamas tik griežtai laikantis laboratorinių, dažniausiai standartizuotų šilumos siurblio darbo ir aplinkos sąlygų. Priklausomai nuo šilumos siurblio komplektavimo (su karšto vandens ruošimo ir akumuliacine talpyklove ar be jų), nuo to, kaip šilumos siurblys prijungtas prie bendrų namo inžinerinių sistemų, kokiomis sąlygomis jis veikia ir kokiais režimais, minėtas naudingumo koeficientas gali svyruoti ir daugiau ar mažiau nukrypti nuo standartinio naudingumo koeficiento.

Tyrimo objektas

Nagrinėjamas tipinis šilumos siurblys, sumontuotas renovuotame name, esančiame Vilniaus priemiestyje (175 m² gyvenamojo ploto). Pastate sumontuota grindinė šildymo sistema, įdiegta vėdinimo sistema su šilumogrąžos įrenginiu. Į vėdinimo ortakių sistemą šiluma tiekama ir iš pirmajame aukšte esančio židinio, todėl avariniu atveju (dingus elektrai) namą galima būtų šildyti židinio kapsulėje sukurta šiluma. Pagrindinis šilumos generato-

rius yra šilumos siurblys, o jo generuojama šiluma nukreipiama trimis atšakomis – grindinio šildymo, vėdinimo kameros ir karšto vandens ruošimo. Šis paskirstymas pavaizduotas 1 pav. schemoje.



1 pav. Nagrinėjamojo namo šilumos generavimo, paskirstymo ir atidavimo sistema

Šios karšto vandens, grindinio šildymo ir vėdinimo sistemos turi savus inertiškumo ir šilumos poreikio rodiklius, tačiau šilumos siurblys reaguoja tik į bendrą grįžtamojo šilumnešio temperatūrą. Kai ši temperatūra atitinka šilumos siurblio veikimo ciklo nustatytas temperatūros ribas, gaminama šiluma. Pasiekus reikiamą temperatūrą, siurblys išsijungia. Lieka veikti tik cirkuliaciniai siurbliai, šilumnešiu tiekiantys akumuliacinėje talpykloje sukauptą

šilumą. Tirti pasirinktas tipinis kompresorinis šilumos siurblys (1 pav. – tiriamoji sistema apibrėžta brūkšnine linija) su akumuliacine talpykla (100 l), veikiantis tiek šildymo (15,9 kW), tiek šaldymo (13,3 kW) režimu.

Tyrimo tikslas – nustatyti šilumos siurblio veikimo ypatybes įvairiais šildymo sezono laikotarpiais ir naudingumo koeficiento reikšmes būdingais šildymo sezono laikotarpiais.

Tyrimų metodika

Kaip jau buvo minėta, šilumos siurblio šilumos energijos gamybos efektyvumą galima apibūdinti naudingumo koeficientu (*COP* – *coefficient of performance*) ir sezoniniu naudingumo faktoriumi (*SPF* – *season performance factor*).

Šilumos siurblio naudingumo koeficientas (*COP*)

Naudingumo koeficientas (*COP*) yra atiduodamo į patalpą arba priimamo iš patalpos šilumos srauto ir suteikiamos energijos galios santykis. Jį galima išreikšti lygtimi (1):

$$COP = \frac{\text{suteikiamas šilumos srautas}}{\text{sunaudojama energijos galia}} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}} \quad (1)$$

Siekiant nustatyti šį rodiklį ne standartinėmis, o realiomis sąlygomis, būtina atlikti pagrindinių komponentų (kompresoriaus, cirkuliacinio siurblio) sunaudojamos elektros ir atiduotos į patalpą šilumos energijos matavimus. Kadangi tyrimo sąlygomis tiesiogiai atiduodamos šilumos ir sunaudotos elektros energijos apskaičiuoti beveik nėra galimybių, šiame darbe yra tiriamas šilumos siurblys analizuojant įvairiuose siurblio sistemos taškuose temperatūras ir slėgius (1 pav. – brūkšninės linijos apibrėžtoje sistemoje *T* – temperatūros ir *P* – slėgio matavimo taškai). Taikant (Martinaitis 2007) termodinaminės analizės metodus nustatomas šilumos siurblio (bet kuriuo darbo momentu) *COP*.

Šilumos siurblių sezoninis efektyvumas

Šilumos siurblys šildymo ar šaldymo režimu veikia ne visą laiką, t. y. ne visus metus, o tik tam tikrais periodais – šildymo, vėsinimo.

Be to, gali būti tarpiniai sezonai, kada ir vienas, ir kitas energijos poreikis yra aktualus. Norint apibūdinti įrenginio efektyvumą pageidaujama laikotarpiu, naudojamas sezoninis naudingumo faktorius.

Bendruoju atveju sezoninis naudingumo koeficientas per nagrinėjamąjį laikotarpį gali būti nustatomas pa-

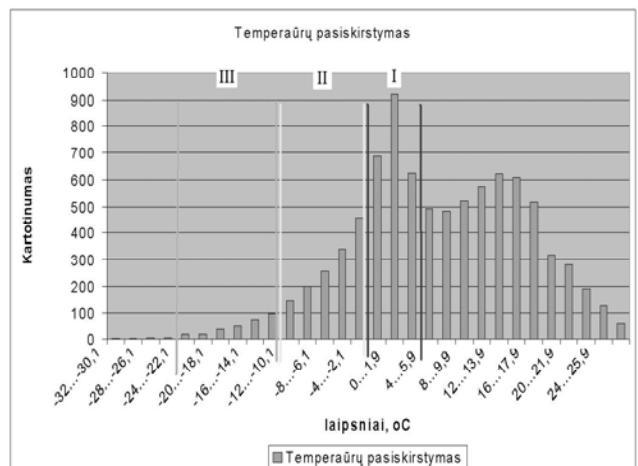
teiktos šilumos ir bendrai įrenginiui veikti sunaudotos elektros energijos santykiu, išreiškiant lygtimi (2):

$$SPF = \frac{\text{suteiktas šilumos kiekis}}{\text{suteiktas energijos kiekis}} = \frac{Q_{\text{laik.1}}}{W_{\text{laik.1}}} \quad (2)$$

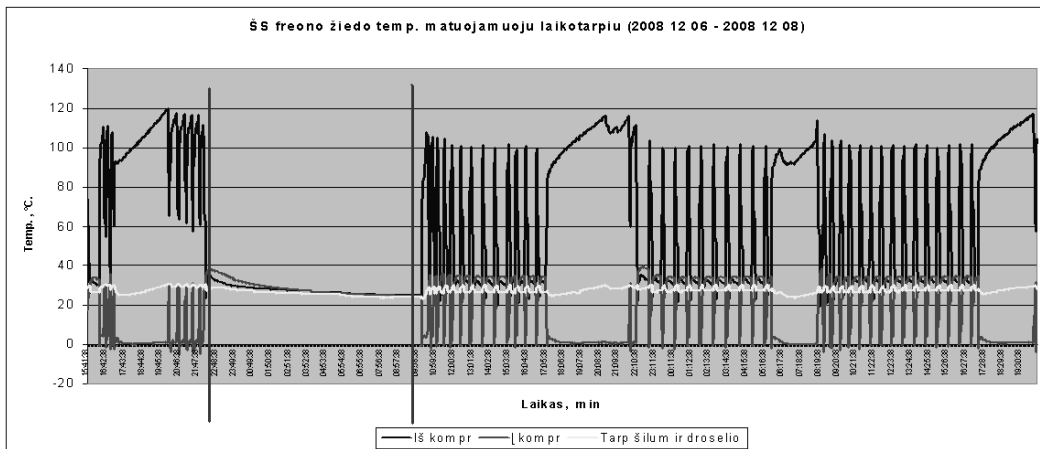
Detali metodika, kaip gali būti nustatomas *SPF* (neatliekant tyrimų, tačiau įvertinant įvairius įtakos faktorius), pateikta (LST EN 15316-4-2:2008). Konkrečiai šiame tyrime į minėtąją *SPF* nustatymo metodiką atsižvelgiama. Tačiau dėl ribotų tyrimo galimybių (ribotų matuojamųjų parametrų skaičiaus) sezoninis naudingumo koeficientas nustatomas pagal statistinius momentinių *COP* rodiklių įvertinimus, pasiskirstymo kreives..

Atliekant numatytus tyrimus, naudojami duomenų kaupikliai, renkantys informaciją iš septynių įvairiuose šilumos siurblio sistemos taškuose pritvirtintų termoporų (1 pav. *T1... T7*), du slėgio manometrai (1 pav. *P1, P2*), matuojantys slėgio pokyčius vidiniame šilumos siurblio freono žiede, ir elektros srovės stiprumo matuoklis, rodantis momentinį elektros srovės į kompresorių stiprumą. Slėgio ir elektros srovės stiprumo momentinės reikšmės skaitiniu formatu gaunamos analizuojant vaizdo įrašą, kuriame nepertraukiamai filmuojamos momentinės prietaisų reikšmės.

Tyrimas atliekamas renkant ir analizuojant vienos ar dviejų būdingo laikotarpio dienų prietaisų rodmenis. Nagrinėjami laikotarpiai pasirinkti laisvai, kaip geriausiai nusakantys šildymo sezono būdingus laikotarpius (2 pav.).



2 pav. Temperatūrų pasiskirstymas Lietuvoje (RSN 156-941995)



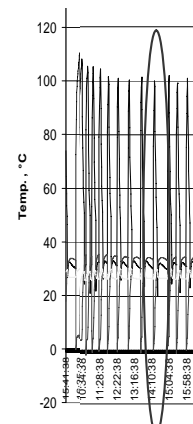
3 pav. Kelių pagrindinių šilumos siurblio matuojamųjų dydžių kitimo grafikas I laikotarpio apsupties sąlygomis

Tyrimo rezultatai

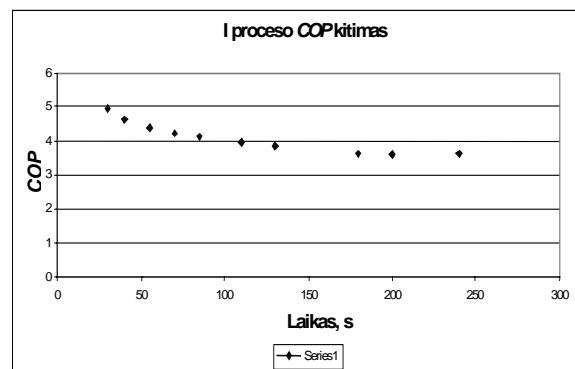
Matavimai buvo atlikti visais būdingais šildymo sezono laikotarpiais. Gauti pagrindinių šilumos siurblio darbo parametrų rezultatai (3 pav. – I laikotarpio duomenys).

Pirmasis didesnis be pakitimų laiko tarpas grafike (kreivės tarp raudonų vertikalių linijų) vaizduoja šilumos siurblio sustojimą dėl valdymo įrangoje užfiksuoto klaidingo signalo, kai siurblių vartotojas turėjo paleisti rankiniu būdu. Ilgesni kreivės kilimai į viršų vaizduoja staiga atsiradusį didesnį šilumos poreikį (pvz., šilumos poreikį karštam vandeniui ruošti). Smulkesni pakilimai ir nusileidimai vaizduoja nuolatos pasikartojančią šilumos siurblio darbo pradžią ir pabaigą įjungimo/išjungimo procesas). Šilumos siurblys pirmuoju laikotarpiu per valandą įsijungia iki 3–4 kartų ir veikia po 4–6 min. Tai sąlygiškai didelis įsijungimų skaičius. Kuo jis didesnis, tuo daugiau turi įtakos viso įrenginio ilgaamžiškumui ir efektyvumui. Remiantis kitų dviejų laikotarpių tyrimo rezultatais, akivaizdžiai matyti, kad šis įjungimo/išjungimo režimas kinta pagal išorės temperatūros kitimą, pvz., jei apsupties temperatūra staiga ima kilti, siurblys ima dažniau įsijunginėti, taip bandydamas išvengti perteklinės šilumos sukūrimo ir laiku reaguoti į apsupties pokyčius. Apsupties temperatūroms tik šiek tiek svyruojant, matyti, kad šilumos siurblio darbo režimas beveik nekinta ir temperatūros, darbo trukmės procesų reikšmių ribos yra panašios. Karšto vandens ruošimo atveju, atsiradus didesniai ir staigiai šilumos poreikiui, matyti, kad siekiant šį poreikį kompensuoti, vidiniame freono žiede palaikomos aukštesnės temperatūros.

Šilumos siurblio darbo efektyvumą rodo atlikti *COP* skaičiavimai. Preliminarūs vieno iš tipinių įjungimo/išjungimo proceso skaičiavimų rezultatai pateikiami grafike (4 pav. – I laikotarpis).



a

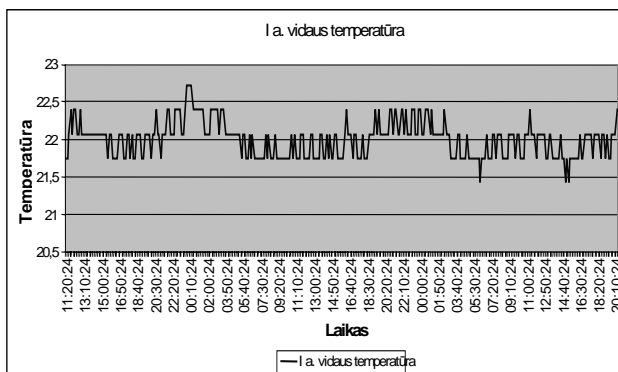


b

4 pav. *COP* reikšmių analizė: a – I laikotarpio iškarpa – „14 val. 10 min.“ analizuojamasis procesas; b – „14 val. 10 min.“ proceso *COP* reikšmių pasiskirstymas

Pagal preliminarius skaičiavimus vyraujančios skaitinės COP reikšmės svyruoja nuo 3,7 iki 3,9. Gautam gana dideliame naudingumo koeficiento vidurkiui turi įtakos numatytos sistemos ribos ir padarytos prielaidos: neįvertinta energija šilumos siurblio cirkuliaciniam siurbliui, valdymo įrangai reikalinga elektros galia, atliekant skaičiavimus neanalizuojami šilumos nuostoliai ir akumuliacinė talpykla, taip pat nevertinamas karšto vandens ruošimo režimas (aukštesnių temperatūrų režimas).

Vertinant patalpų komfortą, energijos generatoriaus pagrindinį tikslą – palaikyti pageidaujamą temperatūrą, buvo analizuojama patalpų temperatūra. Tyrimo rezultatams (I a. patalpų) pateikti grafike (5 pav.).



5 pav. Temperatūros kitimas patalpose (I laikotarpis)

Kaip matyti iš grafiko (5 pav.), turimas energijos generatorius ir energijos paskirstymo sistemos patalpose palaiko pakankamai stabilią vidaus patalpų temperatūrą, tai leidžia teigti, kad šilumos siurblys yra ir patogi daug priežiūros nereikalaujanti energijos generavimo priemonė bei pagrindinę funkciją – šildyti patalpas (ruošti karštą vandenį) tinkamai atliekanti techninė įranga.

Išvados

Atlikus preliminarią tiriamųjų šildymo sezono laikotarpių analizę, pagal išankstinius skaičiavimus galima daryti keletą išvadų:

1. Šilumos siurblys nusistovėjusiu darbo režimu veikia iki 15–20 minučių per valandą (I laikotarpiu – 3–4 įjungimo/išjungimo procesai per valandą, II laikotarpiu – 2–3; III laikotarpiu – 2);
2. Esant sąlygiškai staigiam apsupties temperatūrų pasikeitimui, šilumos siurblys reaguoja skirtingai – palaikomos skirtingos vidinių procesų temperatūros,

keičiasi nuolatinio veikimo trukmė, išjungimų dažnumas;

3. Karštas vanduo ruošiamas pagal poreikį, kai grindinei patalpų šildymo sistemai šiluma nėra tiekiamas;
4. Šilumos siurblys nusistovėjusiu režimu ruošdamas karštą vandenį vidiniame freono žiede palaiko aukštesnes temperatūras: šildymui iki 100 °C, karštam vandeniui ruošti iki 110–115 °C;
5. Preliminariais skaičiavimais, atsižvelgiant į numatytas sistemos ribas ir skaičiavimų prielaidas, šilumos siurblio vidutinis naudingumo koeficientas kinta nuo 3,7 iki 3,9.

Literatūra

- Biekša D. 2008. *Pastato inžinerinių sistemų procesų integravimo vertinimas taikant eksperimentinius kriterijus*. Vilnius. 88 p.
- Jones, James R.; Schubert, R.; Randolph, J. 2008. *Energy Performance and Economic Evaluations of Geothermal Heat Pump System used in the Knowledge Works I and II Buildings*. Blacksburg, Virginia. Kongrun charoenvisal. 132 p.
- LST EN 15316-4-2:2008 Pastatų šildymo sistemos. Sistemos energijos poreikio ir sistemos našumo skaičiavimo metodas. 4–2 dalis. Patalpoms šildyti skirtos šilumos gamybos sistemos, šilumos siurblių sistemos.
- Martinaitis, V. 2007. *Techninė termodinamika: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 208 p.
- Polizu, R.; Gavriliuc, R. 2008. *About heat pump and its H/C regulations*. 8 p.
- RSN 156-94. 1995. Statybinė klimatologija. Vilnius. 1995. 33 p.

ANALYSIS OF EFFICIENCY FOR CURRENT HEAT PUMP

V. Žėkas, V. Martinaitis

Summary

The heat pump is the technology which enables to use renewable energy resources. We can judge about the usage of this technology from the coefficient of performance (COP). It is usually defined according to standard conditions. In this research the actual COP is calculated using thermodynamic analysis method, also performing physical measures of temperatures and pressures of realistically operating thermal pump. This coefficient is analyzed during various characteristic periods of the heating season. The prevailing COP meaning is 3.7-3.9.