

ŽEMOS TEMPERATŪROS ŠILUMOS TIEKIMO TAIKYMAS INTEGRUOJANT ŠILUMOS SIURBLIUS PASTATUOSE

Lukas Buinovskis¹, Artur Rogoža²

¹magistrantas, ²docentas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

el. p. ¹lukas.buinovskis@stud.vilniustech.lt; ²artur.rogaza@vilniustech.lt

Anotacija. Šilumos siurblių diegimas yra viena perspektyviausių technologijų centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) sistemose, siekiant sumažinti šilumnešio temperatūrą, o tuo pačiu ir šilumos nuostolius, ir naudoti atsinaujinančios energijos šaltinius. Dažniausiai pagrindinis šilumos siurblių taikymo tikslas CŠT sistemose yra atskirų vartotojų ar jų grupių šilumos punktuose tiekiamo šilumnešio temperatūros didinimas, nors šios technologijos taikymo galimybės šilumos tiekimo sistemose yra labai plačios. Siekiant padidinti šilumnešio temperatūrą tiekiamojoje linijoje, buvo analizuojamos galimybės integruoti šilumos siurblių pastato šilumos punkte. Šio tyrimo rezultatai atskleidė tiekiamo šilumnešio temperatūros, pastato šilumos poreikio, gaunamo iš CŠT tinklo, mažėjimo, šilumos siurblio naudingumo koeficiento (COP) ir galios priklausomybes.

Reikšminiai žodžiai: centralizuoto šilumos tiekimo sistema, temperatūrinis režimas, daugiabutis namas, šilumos siurblys.

Įvadas

Šiuo metu Europos Sąjungos ir Lietuvos Respublikos Vyriausybės užbrėžti tikslai energijos gamybos ir tiekimo sektoriuje yra gana ambicingi ir griežti. Juos taip pat privalo pasiekti dabartiniai CŠT sistemų valdytojai. Esama daug neaiškumų dėl esamų ir planuojamų šilumos gamybos įrenginių (esamų taršių šilumos gamybos įrenginių panaudojimas ateityje, planuojamų šilumos gamybos įrenginių pajėgumai ir pan.). Dėl šios priežasties daugelis valdytojų susiduria su neapibrėžtumu. Nepriklausomi šilumos gamintojai prisideda prie šilumos rinkos nepastovumo didinimo, nes vis atsiranda nauji šilumos gamintojai ir centralizuoto šilumos tiekimo tinklas tuomet turi būti pritaikomas, kartais net iš naujo projektuojamas. Tik išsami esamos situacijos analizė gali padėti pasiekti tikslus, išdėstytus Europos Sąjungos direktyvose ir Lietuvos Respublikos strategijose (LR Energetikos ministerija, 2018).

Pripažįstama, kad kylant importuojamo organinio kuro kainoms, galima plačiau naudoti turimus ir vis dar nepakankamai naudojamus vietinius ir atsinaujinančius energijos išteklius. Darnaus vystymosi vizijoje siekiama tvarkyti aplinką pagal ES standartus. Darnaus vystymosi strategijoje Valstybė yra įpareigota visapusiškai remti kuo

platesnį vietinių atsinaujinančių išteklių naudojimą (LR Vyriausybė, 2011).

CŠT sistemos pagal savo technologinį lygį yra skirstomos į kartas. Beveik visos sistemos iki 1930 m. priskiriamos pirmajai kartai, kai garas buvo naudojamas kaip šilumnešis. Antrosios kartos CŠT sistemos buvo diegiamos nuo 1930 iki 1970 metų. Jose šilumnešis (vanduo) buvo aukštesnės nei 100 °C temperatūros. Trečiosios kartos CŠT sistemose kaip šilumnešis naudojamas žemesnės nei 100 °C temperatūros karštas vanduo. Plokšteliniai šilumokaičiai šilumos punktuose, gamykloje izoliuoti ir sumontuoti grunte vamzdžiai yra tipinės tokios sistemos sudedamosios dalys. Trečioji sistemų karta paplito nuo 1980 m. ir vėliau tapo populiariausia (Lund et al., 2014).

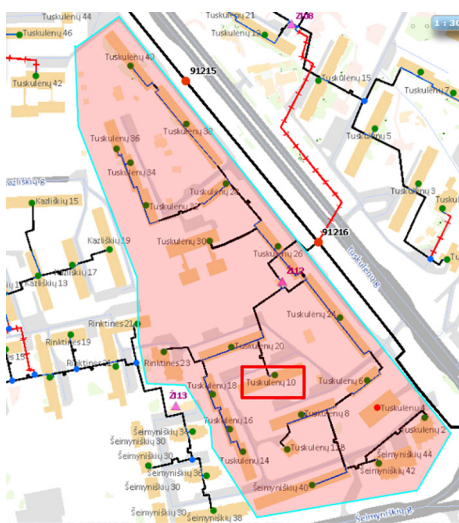
Naujos kartos šilumos tinklų koncepcija yra svarbi tinklų vystymo kryptis. Nuo 2014 metų ši tema dažnai aptariama moksliniuose straipsniuose. Naujos kartos šilumos tinklai – vamzdiniai, kuriuose tiekiamo šilumnešio temperatūra yra apie 50–55 °C, o grįžtamo apie 20–25 °C (Elmegaard et al., 2015). Nustatyta, kad tokia tiekimo temperatūra yra technologiškai efektyviausia ir ekonomiškiausia, nes, tiekiant tokios temperatūros šilumnešį, galima vartotojus aprūpinti šiluma ne tik patalpų šildymo, bet ir karšto vandens poreikiams tenkinti. Mokslų literatūroje išskiriami ne tik naujos kartos, bet ir

žemų temperatūrų tinklai. Šiuo atveju CŠT tinklai apibūdinami kaip naujos kartos tinklai, kuriuose tiekiamo šilumnešio temperatūra yra 70 °C, o grąžinamo šilumnešio temperatūra yra 35 °C. Žemos temperatūros tinklai vadinami ketvirtosios kartos tinklais, prijungiant prie jų energijos kaupimo ir atsinaujinančios energijos gamybos įrenginius (Ommen et al., 2015).

Tiekiamo šilumnešio temperatūra 50–70 °C ir didelis energijos vartojimo efektyvumas yra būdingas ketvirtos kartos CŠT tinklui. Ketvirtosios kartos CŠT tinklų sąvoka apima ne tik šilumos tiekimą galutiniam vartotojui, bet ir galutinių vartotojų aprūpinimą vėsa. Tai yra tinklai, jungiantys tiek tradicinius šilumos gamybos įrenginius (kogeneracines jėgaines, biomasės katilus), tiek atsinaujinančios energijos įrenginius. Ketvirtos kartos tinkluose būtina pasirūpinti energijos kaupimo stotimis, kurios leistų technologškai sujungti visus įrenginius į bendrą tinklą ir galutinį vartotoją tinkamai aprūpinti energija. Kitaip nei senesnės kartos tinkluose, ketvirtosios kartos tinklo plėtra apima energiją taupančius pastatus kaip vieną iš pažangiųjų tinklų sistemos dalių. Pagrindinės tokio tinklo atsiradimo prielaidos, kurios pabrėžiamos ir moksliniuose straipsniuose, yra žemos temperatūros šildymo sistemos, energiją taupantys pastatai ir dviejų kryptių tinklai (Lund et al., 2014). Nuo pirmosios kartos keitėsi sistemų efektyvumas, šilumnešio temperatūros lygiai ir atsinaujinančios šilumos šaltinių integracija. CŠT tinklo kartų numeracija rodo, kad sistema buvo plėtojama keliai etapais (Lund et al., 2018).

Tyrimo objektas

Šio tyrimo objektu buvo pasirinktas daugiabutis namas (1 pav. apibrėžtas raudonu stačiakampiu). Jis yra 5 aukštų, pastatytas 1969 m. Pastate yra rūšys, 4 laiptinės,



1 pav. Situacijos schema ir tiriamasis daugiabutis namas Vilniuje

stogas – sutapdintas. Daugiabučio bendras šildomas plotas – 3099 m². Objekto energinė klasė – E. Pastatas pagal nepriklausomą schemą prijungtas prie pagrindinio šilumos šaltinio – Vilniaus CŠT tinklų. Daugiabutyje šviežias oras į patalpas tiekiamas naudojant natūralaus vėdinimo sistemą, o iš vonios, virtuvės, dušo ir tualetų patalpų oro ištraukimo šachtomis organizuojamas ištraukimas. Pastato šilumos punkte ruošiamas karštas vanduo ir užtikrinama reikiama jo cirkuliacija stovuose.

Bendras pastato šilumos suvartojimas 2020 m. buvo apie 498 MWh, iš kurių 205 MWh – karšto vandens ruošimui ir cirkuliacijai. 293 MWh (94,53 kWh/m²) analizuojamais metais sudarė šilumos suvartojimas šildymui. Šilumos suvartojimas šildymui buvo nustatytas iš bendro pastato šilumos suvartojimo atėmus šilumos suvartojimą karšto vandens ruošimui ir cirkuliacijai. Šildymo sezono trukmė klimatinėje zonoje, kurioje yra pastatas, yra 225 paros (nuo 09 20 iki 05 03), vidutinė šildymo sezono temperatūra 0,2 °C, o dienolaispnių skaičius – 4005.

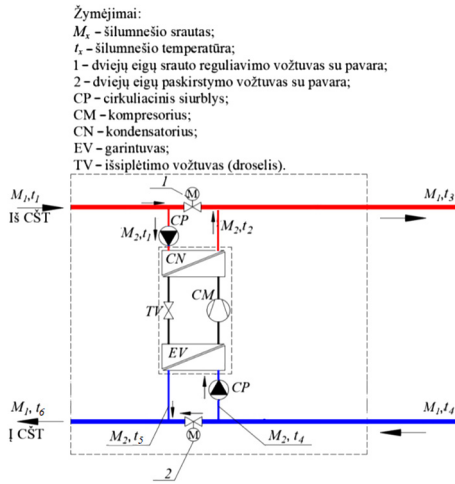
Faktinių duomenų analizė parodė, kad šildymo galia esant projektinei –23 °C temperatūrai yra apie 203 kW (65,6 W/m²). Faktinė temperatūros kreivė 80/60/20 °C (tiekiamo šilumnešio temperatūra / grąžinamo šilumnešio temperatūra / patalpos oro temperatūra °C). Ši kreivė nustatyta faktinių duomenų analizės metu. Projektinės temperatūros šildymo sistemoje yra 95/70/18 °C. Pastate didžioji dalis langų yra pakeisti naujais, sumažėjo šilumos nuostoliai, todėl projektinis temperatūros grafikas nėra būtinas.

Tyrimo metodika

Pagrindinis tyrimo tikslas: įvertinti esamame pastate galimybę integruoti šilumos siurblių, siekiant pritaikyti žemos temperatūros šilumos tiekimą. Tyrimo uždaviniai: randamas žemiausias galimas šildymo sistemos temperatūrinis grafikas, tuomet šilumos punkte integruojamas šilumos siurblys, norint įgyvendinti šilumnešio temperatūros mažinimą. Tyrimo metu įvertinama galimybė mažinti pastato šildymo sistemos temperatūras.

Tyrimo metodika, pagrįsta termodinaminės analizės principais, skirta įvertinti aukštos temperatūros šilumos siurblio galimybes padidinti tiekiamosios linijos šilumnešio temperatūrą ir įvertinti tokio sprendimo energinį efektyvumą, aprašoma toliau. Individualus šilumos siurblys tiekia aukštesnės temperatūros šilumnešį patalpoms šildyti ir karštam vandeniui ruošti, kaip šilumos šaltinį naudojant CŠT tinklo tiekimo liniją. 2 pav. pateikta nagrinėjama integruoto į šilumos punktą šilumos siurblio principinė schema su punktyrine linija pažymėtomis ribomis (Rogoža et al., 2021).

Iš karto po šilumos punkto įvado sklendžių montuojamas šilumos siurblys. Šilumos siurblio darbo agentas



2 pav. Nagrinėjamos termodinaminės sistemos schema: M_x – šilumnešio srautas, t_x – šilumnešio temperatūra, 1 – dviejų eigų srauto reguliavimo vožtuvas su pavara, 2 – dviejų eigų paskirstymo vožtuvas su pavara, CP – cirkuliacinis siurblys, CM – kompresorius, CN – kondensatorius, EV – garintuvas, TV – išsiplėtimo vožtuvas (droselis) (sudaryta autoriaus remiantis Rogoža et al., 2021)

(freonas) yra R1234ze (E). Šis freonas priskiriamas mažo globalinio atšilimo potencialo šaltnešiams, bet jo termodinaminiai parametrai yra panašūs į R134a.

Žemiau pateikiama skaičiavimo metodika pagal tyrimą (Rogoža et al., 2021). Freono plėtimosi ir suspaudimo metu susidaro šilumos nuostoliai (dėl judančių dalių trinties, šilumos izoliacijos ir kt.), kurie patenka į vėsesnę aplinką, todėl realiame šilumos siurblyje adiabatinis procesas nėra galimas. Pagal pirmąjį termodinamikos dėsnį (PTD) užrašoma šilumos siurblio energijos balanso lygtis:

$$Q_L + W - Q_H - Q_F = 0, \quad (1)$$

čia: Q_F – į vėsesnę aplinką patirti šilumos nuostoliai (dėl trinties ir pan.), J; Q_H – aukštesnės temperatūros šilumnešiu perduotas šilumos kiekis, J; Q_L – iš žemesnės temperatūros šilumnešio paimtas šilumos kiekis, J; W – darbas, sunaudotas ciklo metu, J.

Pagal PTD vertinamas šilumos siurblio efektyvumas:

$$\eta_I = Q_H / W. \quad (2)$$

Pagal formulę skaičiuojamas šilumnešio teikiamas arba gaunamas šilumos srautas (taikoma 2 pav. schemas srautų balansui):

$$Q = M \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T / 3600 = M \cdot \rho \cdot \Delta h / 3600, \quad (3)$$

čia: M – šilumnešio srautas, m^3/h ; c_p – savitoji šilumnešio šiluma, $kJ/(kg \cdot K)$; ρ – šilumnešio tankis, kg/m^3 ; ΔT – šilumnešio temperatūrų skirtumas prieš ir po proceso,

K ; Δh – skirtumas tarp šilumnešio entalpijos prieš ir po proceso, kJ/kg .

Šilumos srautas, kurį sunaudoja garintuvas (EV) idealiu ciklu, apskaičiuojamas:

$$Q_{EV} = M' \cdot (h_1' - h_4'), \quad (4)$$

čia: h_4' – šaltnešio (freono), patenkančio į garintuvą po plėtimosi vožtuvo, entalpija, kJ/kg ; h_1' – iš garintuvo ištekėjusio šaltnešio entalpija, kJ/kg ; M' – šaltnešio masės srautas, kg/s .

Šaltnešio srautas apskaičiuojamas:

$$M' = Q_L / (h_1' - h_4'). \quad (5)$$

Kondensatoriaus tiekiamas šilumos srautas idealaus ciklo metu apskaičiuojamas:

$$Q_{CN} = M' \cdot (h_2's - h_3'), \quad (6)$$

čia: $h_2's$ – įtekėjusio į kondensatorių po kompresoriaus šaltnešio (freono) entalpija, kJ/kg ; h_3' – ištekėjusio iš kondensatoriaus šaltnešio entalpija, kJ/kg .

Adiabatinis (izoentropinis) realaus ciklo kompresoriaus suspaudimas negalimas dėl trinties ir šilumos nuostolių, todėl energijos sąnaudos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$W_{CM,r} = M' \cdot (h_2'r - h_1'), \quad (7)$$

čia: $h_2'r$ – tikrojo ciklo šaltnešio (freono), patenkančio į kondensatorių po kompresoriaus, entalpija, kJ/kg .

Pagal formulę apskaičiuojama tikrojo ciklo entalpija po kompresoriaus:

$$h_2'r = h_1 + (h_2's - h_1') / \eta_{iso}, \quad (8)$$

čia: η_{iso} – izoentropinis kompresoriaus efektyvumas.

Aušinimo atveju šilumos siurblio naudingas veikimo koeficientas (COP):

$$COP = \eta_{all} \cdot (h_1' - h_4') / (h_2'r - h_1'), \quad (9)$$

čia: η_{all} – nuo kompresoriaus suspaudimo laipsnio priklausantis bendras efektyvumas.

Pagal lygtį apskaičiuojamas šilumos siurblio COP, o pagal siūlomą tyrimą nustatomas bendras efektyvumas:

$$COP = (h_2'r - h_3') / (h_2'r - h_1'). \quad (10)$$

Pagal lygtį nustatomas bendras sezoninis efektyvumas:

$$SCOP = Q / Q_{el}, \quad (11)$$

čia: Q – per metus šilumos siurblio pagaminamos šilumos kiekis, $MWh/metus$; Q_{el} – per metus šilumos siurblio sunaudotas elektros kiekis, $MWh/metus$.

Rezultatai

Šioje dalyje pateikiami pasirinkto daugiabučio namo šildymo sistemos ir šilumos punkto modeliavimo rezultatai, pastato santykiniai rodikliai, šilumos poreikis, lyginamieji rodikliai ir galimi vidaus šildymo sistemos temperatūros režimai.

Maksimalią leistiną gyvenamųjų pastatų šildymo sistemos šilumnešio temperatūrą reglamentuoja teisės aktai. Jos vertė yra 80 °C, kai šildymo prietaisai yra atvirai stovintys, o panelinio šildymo sistemų su šildomaisiais elementais, įmontuotais į statybines konstrukcijas, paviršių temperatūra neturi viršyti šildomos patalpos, kurioje žmonės būna nuolatos, grindų – 29 °C (LR Aplinkos ministerija, 2015).

Šioje tyrimo dalyje aptariami bazinio ir alternatyvaus skaičiavimo rezultatai, kai patalpos temperatūra yra 20 °C, o lauko oro temperatūra kinta pagal normines klimato sąlygas. Vertinant temperatūrinį grafiką buvo naudojama metodika pagal tyrimą (Šiupšinskas et al., 2021). Pasirinktu šalčiausiu (sausio) mėnesiu „Microsoft Excel“ programoje valandos žingsniu buvo modeliuojamas šildymo sistemos veikimas. Baziniu variantu pateikiama esama šilumnešio temperatūra šildymo sistemoje. Alternatyviu variantu įvertinama esama pastato galia. Šildymo prietaisų skaičius ir plotas paliekamas toks, koks yra dabar. Šildymo sistemos temperatūra sumažinama iki 70/50/20 °C. Bazinio ir alternatyvaus variantų analizė pateikta 3 pav.

Vertinama esama vieno radiatoriaus galia, kai radiatorių skaičius baziniu ir alternatyviais atvejais išlieka toks pat. Išsistinės raudona ir geltona linijos atspindi tiekiamo šilumnešio temperatūras, o punktyrinės linijos – grįžtamojo šilumnešio temperatūros. Išlaikant esamą pastato galią, alternatyvoje įvertinama, ar galima pereiti prie žemesnio 70/50/20 °C temperatūrinio grafiko nuo esamo. Kai tiekiamo srauto temperatūra atitinka 70/50/20°C

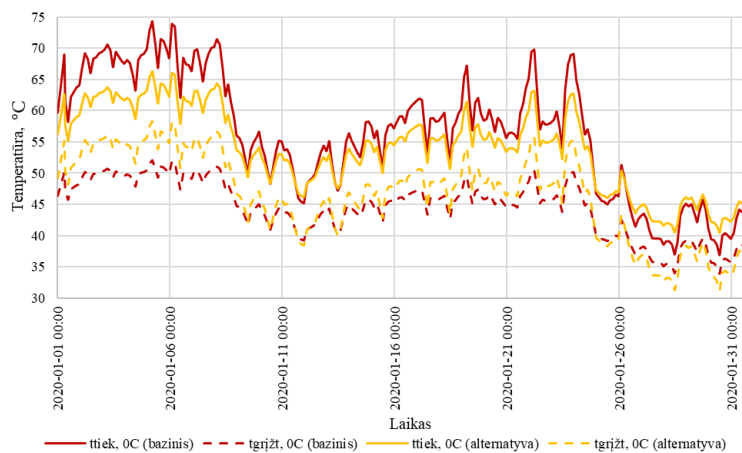
temperatūrinį grafiką per nagrinėjamą laikotarpį (alternatyva, geltona linija), matyti, kad ši alternatyva suteikia reikiamą šilumos kiekį patalpoms. Tiekimo temperatūra visada yra aukštesnė nei grąžinama temperatūra, tačiau sumažėja temperatūrų skirtumas, lyginant su baziniu variantu, dėl to reikėtų didinti šilumnešio srautą, norint užtikrinti pastato šiluminius poreikius. Padidėjus srautui, padidėja ir slėgis, triukšmas bei sąnaudos cirkuliacijai. Tai galėtų būti nebet minimalus tiekiamo šilumnešio temperatūros grafikas tyrimo objektui.

Kai paliekama esama galia yra galimybė sumažinti šildymo sistemos temperatūras iki 70/50/20 °C, rodo alternatyvos analizė. Norint mažinti CŠT tiekimo temperatūrą nagrinėjamame objekte, reikia atlikti šilumos punkto, integruojant šilumos siurblių, analizę.

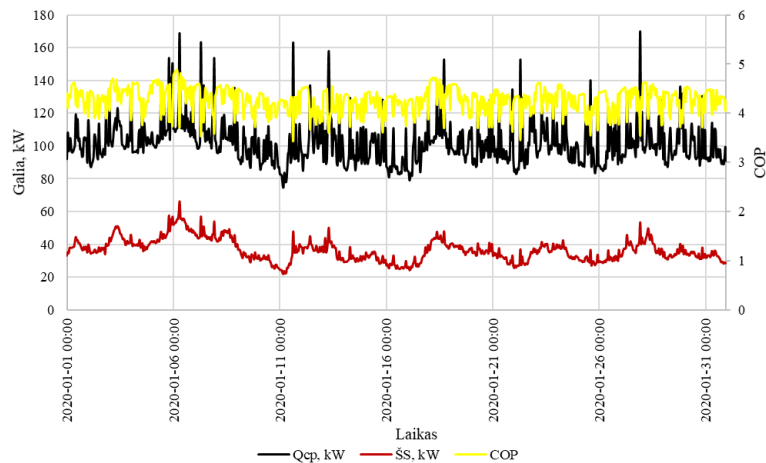
Naudojant faktinius duomenis, kurie apima 2020 metų sausio mėnesį Vilniuje, tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūras bei jo srautą iš CŠT tinklo į pastatą, atlikti skaičiavimai. Šilumos siurblys privalo užtikrinti reikiamą tiekiamo šilumnešio temperatūrą iš CŠT tinklo, nes modeliavimo metu ji mažinama iki pastovios 60 °C temperatūros, nepriklausomai nuo lauko oro temperatūros. Ši temperatūra yra pasirenkama dėl to, kad galima būtų užtikrinti karšto vandens ruošimą. Buvo įvertintas atvejis, kai temperatūros skirtumas grįžtamoje linijoje prieš šilumos siurblių ir po jo yra pastovus ($\Delta t = 10$ K), tačiau kinta grįžtama šilumnešio temperatūra CŠT tinklų pusėje.

Numatytas Δt turi būti užtikrintas su atitinkama šilumos siurblio galia, paskirstant šilumnešio srautus (į kondensatorių / garintuvą arba į dviejų eigų vožtuvus su pavaromis). Dalis pastato šilumos poreikių bus tenkinama šilumos siurblio pagalba.

Kai šilumnešio grįžtamoji temperatūra sumažinama nustatyta verte Δt , šilumos siurblio pagaminamos šilumos kiekis (ŠS) ir pastatui reikalingas šilumos kiekis (Q_{cp}) pavaizduoti 4 pav.



3 pav. Šildymo sistemos temperatūriniai grafikai



4 pav. Šilumos siurblio (ŠS) pagaminta ir analizuojamam pastatui reikalinga (Q_{cp}) galia

Vidutinė sausio mėnesio pastato šiluminė galia yra apie 102 kW, o maksimali galia – apie 170 kW. 76 MWh – sausio mėnesio pastato šilumos poreikis. Šilumos siurblio didžiausia galia 66,4 kW, vidutinė galia – 36,5 kW, vidutinė COP vertė – 4,3. Galia ir COP vertė svyruoja ne taip staigiai, lyginant su pastatui reikalingu šilumos kiekiu. Šilumos siurblio pagamintas šilumos kiekis per sausio mėnesį – 27 MWh. Šilumos siurblio suvartotas elektros kiekis per sausio mėnesį – 6 MWh, taigi SCOP už sausio mėnesį gaunamas 4,3.

Taip pat labai svarbu paminėti, kad šiuo atveju šilumos punkte integravus šilumos siurblių, tiekiamą šilumnešio temperatūra iš CŠT tinklo buvo sumažinta apie 11 K, lyginant su faktiniais duomenimis, kai šilumos siurblio nėra. Grįžtamo į CŠT tinklą šilumnešio temperatūra taip pat sumažėjo, apie 8 K. Integravus šilumos siurblių pastatui buvo tiekiamas tokios pat temperatūros šilumnešis, kaip ir be jo (pastato šildymo sistemos grafikas liko 80/60/20 °C), t. y. visi pastato šilumos poreikiai buvo užtikrinti (dalis iš CŠT tinklo, o likusi – iš šilumos siurblio pagamintos šilumos). Dar labiau mažinant CŠT temperatūras turėtų didėti šilumos siurblio galia, tačiau būtų didinamas šilumos perdavimo tinklo efektyvumas, mažėtų šilumos nuostoliai į aplinką, didėtų šilumos gamybos efektyvumas.

Išvados

1. Apžvelgus iki šiol atliktus tyrimus, paaiškėjo, kad yra labai plačios šilumos siurblių įrengimo galimybės CŠT sistemose. Dažniausiai šilumos siurbliai integruojami pastatų šilumos punktuose, kai, dėl žemų CŠT temperatūrų patiekiamas nepakankamas šilumos kiekis pastatams ir reikia pakelti tiekiamo šilumnešio temperatūrą.

2. Dabartinis analizuojamo pastato temperatūros grafikas yra 80/60/20 °C, tai parodė faktinių duomenų analizė. Kai radiatorių skaičius paliekamas toks, koks

yra dabar ir nekeičiama pastato galia, minimalus šildymo sistemos tiekiamo šilumnešio grafikas galėtų būti 70/50/20 °C, tačiau tuomet temperatūrų skirtumas sumažėja ir turėtų padidėti šilumnešio srautas, norint užtikrinti pastato šilumos nuostolius. Taigi, nustatyta, kad norint sumažinti CŠT tinklo tiekiamą temperatūrą iki 60 °C, pastato šilumos punkte reikia integruoti šilumos siurblių.

3. Aukštos temperatūros šilumos siurblio atvejo analizė parodė, kad šilumos siurblio galia analizuojamu laikotarpiu svyravo nuo 22 iki 66 kW, pagamintas šilumos kiekis buvo 27 MWh, o suvartotos elektros energijos kiekis – 6 MWh. Taigi, vidutinis šilumos siurblio efektyvumas analizuojamu laikotarpiu buvo apie 4,3. Nustatyta, kad pastato šilumos punkte integravus šilumos siurblių, gaunamą tiekiamą šilumnešio temperatūrą iš CŠT galima sumažinti apie 11 K ir visas pastato šilumos poreikis bus patenkintas. Norint dar labiau mažinti CŠT tinkle temperatūrą, reikėtų integruoti dar didesnės galios šilumos siurblių, kuris patenkintų visus pastato šilumos poreikius.

Literatūra

- Elmegaard, B., Ommen, T. S., Markussen, M., Iversen, J. (2015). Integration of space heating and hot water supply in low temperature district heating, *Energy and buildings*, T. 124, p. 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.003>
- LR Aplinkos ministerija. (2015). STR 2.09.02:2005: Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas. (75), 37. Gauta <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930/asr>
- LR Energetikos ministerija. Nacionalinė Energetinės Nepriklausomybės Strategija. (2018)
- LR Vyriausybės 2003 m. rugsėjo 11 d. nutarimas Nr. 1160 „Dėl nacionalinės darnaus vystymosi strategijos patvirtinimo ir įgyvendinimo“ (Žin., 2011, Nr. 41-1949)
- Lund, H., Østergaard, P. A., Chang, M., Werner, S., Svendsen, S., Sorknæs, P., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., Mortensen, B. O. G., Mathiesen, B. V., Bojesen, C., Duic, N.,

- Zhang, X., Möller, B. (2018). The status of 4th generation district heating: Research and results. *Energy*, T. 164, p. 147–159.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206>
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, *Energy*, 68, p. 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
- Ommen, T., Markussen, W., Elmeegraar, B. (2015). Lowering district heating temperatures – Impact to system performance in current and future Danish energy scenarios, *Energy*, 94, p. 273–291. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.063>
- Rogoža, A., Šiupšinskas, G., Bielskus, J. (2021). Šilumos siurblio integravimo centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje atvejo analizė / Case analysis of heat pump integration in district heating system. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 13, (1–6).
<https://doi.org/10.3846/mla.2021.15272>
- Šiupšinskas, G., Bielskus, J., Rogoža, A. (2021). Daugiabučio modernizavimo įtaka pastato šildymo sistemos temperatūroms / Influence of apartments' modernization on the temperatures of heating system in the building. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 13, (1–6).
<https://doi.org/10.3846/mla.2021.15272>

APPLICATION OF LOW TEMPERATURE HEAT SUPPLY BY INTEGRATING HEAT PUMPS IN BUILDINGS

L. Buinovskis, A. Rogoža

Summary

The installation of heat pumps is one of the most promising technologies in district heating (DH) systems to reduce the temperature of the heat carrier and at the same time heat loss, and to use renewable energy sources. Usually, the main purpose of heat pumps in DH systems is to increase the temperature of the heat carrier supplied to individual consumers or their groups at heat substations, although the application possibilities of this technology in heat supply systems are very wide. In order to increase the temperature of the heat carrier in the supply line, the possibilities of integrating the heat pump at the heat substation of the building were analysed. The results of this study revealed the dependences of the temperature of the supplied heat carrier, the decrease of the heat demand of the building from the DH network, the coefficient of performance of the heat pump (COP) and the power.