

## Environmental engineering Aplinkos inžinerija

# ŠILUMOS SIURBLIŲ TAIKymo CENTRALIZUOTAI APRŪPINANT DAUGIABUČIUS PASTATUS ŠILUMA TECHNOLOGINIŲ GALIMYBIŲ TYRIMAS

Artur ROGOŽA , Violeta MISEVIČIŪTĖ \*

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2022 m. birželio 21 d.; priimta 2022 m. liepos 4 d.

**Santrauka.** Pagrindiniai centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) sistemų vartotojai yra daugiabučiai pastatai – 53 procentai šių pastatų Lietuvoje aprūpinama šiluma iš CŠT sistemų. Pastatų šildymo sistemos yra didžiausias galutinis energijos vartotojas, kuris sudaro beveik pusę viso energijos suvartojimo daugelyje Europos šalių. Viena iš planuojamų Lietuvos energetinės politikos priemonių atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) šilumos sektoriuje iki 2030 m. yra šilumos siurblių (ŠS) diegimas CŠT tinkluose. Tyrimo tikslas yra įvertinti technologines galimybes esamuose pastatuose integruoti ŠS, siekiant taikyti žemos temperatūros šilumos tiekimą. Siekiant įvertinti pastato šildymo sistemos temperatūrų žeminimo potencialą, nustatomas žemiausių galimų pastato šildymo sistemos temperatūrų grafikas, pagal kurį pastato šilumos punktu parenkamas ŠS, kuris pažemintą iš CŠT sistemų tiekiamą šilumnešio temperatūrą pakeltų iki reikiamos pastato šildymo ir karšto vandens sistemoms temperatūros. Taikant termodinaminę analizę sukurtas matematinis modelis, įvertinantis ŠS galimybes pakelti tiekiamo šilumnešio temperatūrą šilumos punkte ir nustatantis tokio sprendimo energinį efektyvumą. Modeliavimo metu nagrinėtos dvi tiekiamo iš CŠT tinklų pastovių (nepriklausomai nuo lauko oro temperatūros) šilumnešio temperatūrų alternatyvos – 60 °C (alternatyva A) ir 55 °C (alternatyva B). Siekiant pritaikyti tinkamiausią ŠS integravimo variantą, būtų tikslinga derinti abi alternatyvas, t. y. šaltuoju metų laikotarpiu iš CŠT tinklo tiekti 60 °C, o šiltuoju metų laikotarpiu – 55 °C šilumnešį.

**Reikšminiai žodžiai:** centralizuotas šilumos tiekimas, daugiabutis namas, šilumos siurblys, žemos temperatūros šilumos tiekimas, šilumos nuostoliai tinkle.

### Įvadas

Lietuvos tikslai šilumos ir vėsinimo sektoriuje glaudžiai susiję su energetiniu efektyvumu. Tiek decentralizuoto, tiek centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) srityje iki 2030 m. energijos poreikis mažės. Remiantis parengtu LR nacionaliniu energetikos ir klimato srities veiksmų planu (NEKSVP) 2021–2030 m. (Lietuvos energetikos agentūra, 2019) didžiausią įtaką energijos poreikio mažėjimui turės diegiamos naujos technologijos (šilumos siurbliai (ŠS), modernūs biokuro katilai ir kt.) bei daugiabučių namų renovacija. Viena iš esamos energetikos politikos priemonių – skatinti atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) panaudojimą CŠT šilumos energijai gaminti įvertinant saulės energiją naudojančių technologijų, ŠS ir šilumos saugyklų panaudojimo galimybes CŠT sistemose.

Griežtėjantys reikalavimai pastatų energiniam efektyvumui skatina modernizuoti daugelį CŠT tinklų, siekiant,

kad jie atitiktų patikimų 4G ir 5G kartos CŠT standartus, tai yra natūrali 3G kartos tinklo raida (Li & Wang, 2014; Ma et al., 2020; Lund et al., 2021). Žemos temperatūros CŠT vadinami ketvirtosios kartos (4G) tinklai, prijungiant prie jų energijos kaupimo ir AEI įrenginius (Ommen et al., 2016; Guzzini et al., 2020). Pagrindinė efektyvių 4G kartos CŠT ypatybė yra žemos temperatūros lygio paskirstymo tinklai, kai pasiekiamas didesnis efektyvumas tiek tiekiant, tiek paskirstant šilumą (Averfalk & Werner, 2017), o privalumai – padidėjęs šilumos gamybos iš ŠS efektyvumas ir padidėjęs šilumos kiekis iš AEI. CŠT yra perspektyvi, mažai CO<sub>2</sub> į aplinką išskirianti ateities technologija, jei šildymo sistemos temperatūrą galima sumažinti visose sistemos grandinės dalyse, pradedant šilumos gamyba ir baigiant šildymo sistemomis pastatuose (Østergaard et al., 2021). Šilumos tiekimas tampa efektyvesnis, jei taikoma kogeneracija (Lauka et al., 2015), kondensuojamos išmetamosios dujos (Zajacs et al., 2020), naudojami ŠS,

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [violeta.miseviciute@vilniustech.lt](mailto:violeta.miseviciute@vilniustech.lt)

geoterminė, žemos temperatūros perteklinė šiluma, vykdomas šilumos kaupimas. Šilumos paskirstymas tampa efektyvesnis dėl mažesnių paskirstymo nuostolių, mažesnio vamzdžių išsiplėtimo, nusiplikymo pavojaus bei plastikinių vamzdžių. Averfalk ir Werner (2017) įvardijo kliūtis žemesniam temperatūrų lygiui pasiekti ir aukštos gražinamos temperatūros kilmę 3G kartos sistemose bei pateikė esmines rekomendacijas 4G kartos sistemoms projektuoti ir įrengti. Arpagaus ir kt. (2018) tyrė kompresorinių ŠS temperatūrų lygius ir ŠS suderinamumą bei taikymą CŠT. Zajacs et al. (2020) nagrinėjo ŠS panaudojimo CŠT sistemose teorines galimybes išmetamųjų dūmų (atliekinės šilumos) kondensatoriaus efektyvumui gerinti, nustatė, kad toks sprendimas leidžia sumažinti šilumnešio temperatūrą grįžtamojoje linijoje. Marguerite et al. (2019) apžvelgė ŠS integravimo koncepciją ir sprendimus, pateikė ŠS CŠT tinkluose tyrimų apibendrinimą, aprašė jų integravimo būseną ir techninius sprendimus. Norint pasiekti optimalias eksploataavimo sąlygas, tiekiamos šilumos tinklas turi būti eksploatuojamas kuo žemesnėmis srauto temperatūromis. Abokersh et al. (2020) atliktame tyrime pabrėžiamas saulės šilumos energijos, sezoninio kaupimo ir ŠS kombinuotos konfigūracijos tinkamumas 4G kartos CŠT tinklams. Būsiami tyrimai turėtų būti sutelkti į šilumos paskirstymo tinklo optimizavimą ir galutinio vartotojo energijos vartojimo efektyvumo didinimą.

CŠVT (centralizuoto šilumos ir vėsumos tiekimo) sistema yra laikoma geriausia galimybe pastatus aprūpinti tiek šiluma, tiek vėsoma, nes gali užtikrinti geresnę teršalų išmetimo kontrolę ir didesnę efektyvumą nei atskiros sistemos (Guzzini et al., 2020). Lund et al. (2018) savo tyrime pateikė perspektyvas ateities CŠT sistemų ir technologijų plėtrai bei jų vaidmeniui ateities išmaniosiose energetikos sistemose, parodė svarbų naujos kartos CŠVT technologijų vaidmenį, kai transformacija į žemą temperatūrą tampa būtina, kad technologija atliktų savo vaidmenį ateityje. Be to, pabrėžiama, kad reikia tobulinti CŠT tinklų veikimą ir atskirų pastatų šildymo sistemas, o didelę naudą galima pasiekti mažinant tinklo nuostolius, naudojant daugiau perteklinės šilumos.

ŠS integravimas į CŠVT sistemas užtikrina reikšmingus aplinkosaugos ir našumo patobulinimus, novatorišką ir ekonomiškai naudingą sprendimą įvairiems reikiams dekarbonizuoti sektoriams (Fernández et al., 2016; Barco-Burgos et al., 2022). Barco-Burgos et al. (2022) atliktame tyrime apžvelgiami įvairūs CŠVT tinklai bei aukštos temperatūros komercinių ŠS integravimas, iš straipsnyje pateiktų lentelių aišku, kad tiekimo temperatūros pokytis turi reikšmingą įtaką energijos gamybai palyginti su grįžtamosios temperatūros pokyčiu. Ataskaitoje pateikti būdai, kaip ŠS gali būti integruoti į CŠT tinklus, kokios schemos gali būti ekonomiškai ir aplinkosaugos požiūriu naudingos. Buvo ištirta daugybė esamų schemų bei ŠS technologijos tinkamumas naujiems ir esamiems tinklams projektuoti. Rezultatai pateikti pagal kiekvienos schemos sąnaudas, palyginant su įprastu CŠT tinklu, CO<sub>2</sub>

išmetamųjų teršalų mažinimu ir sutaupytais išlaidomis CO<sub>2</sub> (Department of Energy & Climate Change, 2016).

Gaur et al. (2021) apžvelgę ankstesnius darbus, susijusius su keliais ŠS taikymo aspektais, įskaitant jų vaidmenį mažinant šilumos sektoriaus CO<sub>2</sub>, nustatė, kad ŠS potencialą sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį lemia ŠS technologijos tipas, vieta ir elektros energijos derinys. Ommen et al. (2014) aptarė ir palygino penkias ŠS konfigūracijas CŠT tinkle, konfigūracijų eksploatacinės savybės yra tiriamos tiek vietiniu, tiek sistemos lygiu, atsižvelgiant į skirtingas CŠT tinklo temperatūras, skirtingas kuro ir gamybos technologijas CŠT tinkle.

Buinovskis ir Rogoža (2022) nagrinėjo galimybes integruoti ŠS pastato šilumos punkte siekiant padidinti šilumnešio temperatūrą tiekiamojame linijoje, nustatė tiekiamo šilumnešio temperatūros, pastato šilumos poreikio, gaunamo iš CŠT tinklo, mažėjimo, ŠS naudingo veikimo koeficiento (angl. *coefficient of performance* – COP) ir galios priklausomybes. Analizuojant individualaus ŠS integravimo pastato šilumos punkte galimybes (Rogoža et al., 2021), siekiant sumažinti šilumnešio temperatūrą grįžtamojoje linijoje, nustatytos pastato šilumos poreikio sumažėjimo iš CŠT tinklo, ŠS galios, COP ir grįžtamosios temperatūros sumažėjimo priklausomybės. Dabartinės CŠT sistemos, kurioms būdinga aukšta temperatūra, susiduria su daugybe iššūkių, kurie gali sumažinti jų konkurencingumą, vienas iš jų – sumažėjęs šilumos poreikis dėl energiška efektyvių pastatų ir aukštų gražinamo šilumnešio temperatūrų, mažinančių AEI panaudojimo galimybes. Žemos temperatūros CŠT sistemos turi galimybę panaudoti atliekinę šilumą ir AEI bei patirti mažesnius paskirstymo nuostolius. Nord et al. (2018) tyrimui sukurtas CŠT tinklo modelis, įvertinantis ir šilumos, ir slėgio nuostolius, gauti rezultatai parodė, kad sumažinus tiekimo temperatūrą nuo 80 °C iki 55 °C galima sumažinti šilumos nuostolius. Gražinamo šilumnešio temperatūros analizė parodė, kad žemos temperatūros CŠT gali užtikrinti žemesnę grįžtamojo šilumnešio temperatūrą nei esama CŠT sistema.

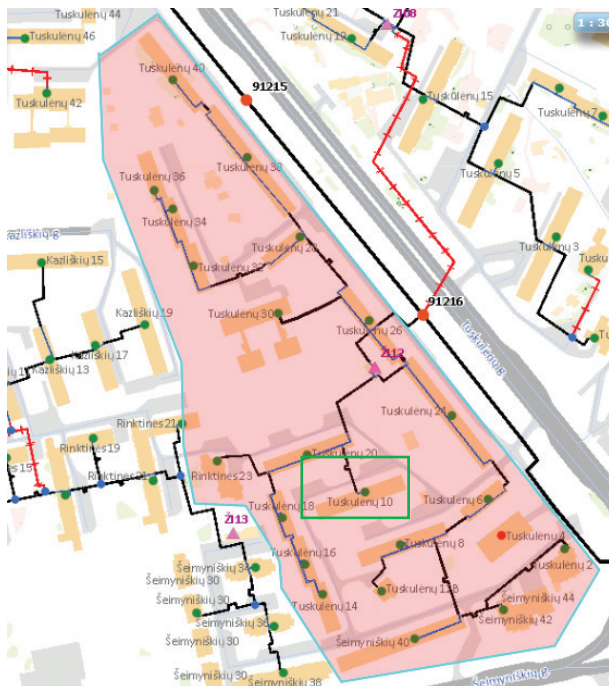
Šiupšinsko ir kt. (2021) atlikto tyrimo duomenimis, po modernizavimo pastate paliekant esamą šildymo prietaisų plotą, temperatūrą galima žeminti iki 60/40/20 °C. Schmidt et al. (2017) vertinto šilumos poreikio panaudojimo galimybes, kaip galima naudoti lauko temperatūros funkciją šilumos poreikiui nustatyti, siekiant suderinti energijos pasiūlos ir poreikio kokybės lygius. Naudojant žemesnę temperatūrą, sumažėja nuostoliai vamzdynuose ir gali padidėti bendras visų CŠT tinklo elementų efektyvumas.

Atlikta tyrimų apžvalga parodė, kad būtina nagrinėti galimybes pereiti prie 4G kartos – žemos temperatūros CŠT tinklų, kuriuose skatinama panaudoti AEI šilumai gaminti, įvertinant saulės energiją naudojančių technologijų, ŠS ir šilumos saugyklų panaudojimą. Šio tyrimo tikslas – įvertinti technologines galimybes esamuose pastatuose integruoti ŠS, siekiant taikyti žemos temperatūros šilumos tiekimą.

## 1. Tyrimo objektas

Tyrimo objektu pasirinktas 5 aukštų daugiabutis namas (1 pav. apibrėžtas žaliu stačiakampiu), pastatytas 1969 m. Vilniuje. Pastato stogas sutaptintas, yra rūšys, 4 laiptinės, šildomas plotas – 3099 m<sup>2</sup>, energinė klasė – E. Šiluma pastatui tiekama pagal nepriklausomą jungimo schemą iš Vilniaus CŠT tinklų. Daugiabutyje įrengta stovinė radiatorinė šildymo sistema ir numatytas natūralus vėdinimas. Karštas vanduo ruošiamas šilumos punkte, stovuose numatyta cirkuliacija. Šio pastato šilumos suvartojimas 2020 m. buvo apie 498 MWh, iš kurių 205 MWh – karšto vandens ruošimui ir cirkuliacijai, o 293 MWh (94,5 kWh/m<sup>2</sup>) – šildymui.

Faktinių duomenų analizė parodė, kad esama pastato šildymo galia esant projektinei lauko oro temperatūrai (–23 °C) yra apie 203 kW (65,6 W/m<sup>2</sup>). Taikomas pastato šildymo sistemos temperatūrinis grafikas yra 80/60/20 °C (tiekiamo šilumnešio temperatūra/grąžinamo šilumnešio temperatūra/patalpos oro temperatūra). Projektinis grafikas buvo 95/70/18 °C. Didžioji dalis pastato langų buvo pakeisti naujais, todėl, sumažėjus šilumos nuostoliams, projektinis grafikas nėra būtinas.



1 paveikslas. Vietovės plano ištrauka su CŠT tinklais ir pažymėtu pastatu  
Figure 1. Excerpt from the site plan with DH networks and a marked building

## 2. Tyrimo eiga ir metodika

Tyrimo metu nagrinėjama, kaip užtikrinti esamo pastato šilumos poreikius, tiekiant žemos temperatūros šilumnešį iš CŠT tinklo, bet nekeičiant pastato šiluminių charakteristikų ir šildymo prietaisų dydžio. Tuo tikslu įvertinamas pastato šildymo sistemos temperatūrų žeminimo potencialas ir nustatomas žemiausių galimų pastato šildy-

mo sistemos temperatūrų grafikas. Esant tokiam grafikui, pastato šilumos punktu parenkamas ŠS, kuris pažemintą iš CŠT tinklų tiekiamą šilumnešio temperatūrą pakeltų iki reikiamos pastato šildymo ir karšto vandens sistemoms.

Taikant šildymo prietaisų (radiatorių) galios perskaičiavimo metodiką (Šiupšinskas et al., 2021), buvo nustatomas šildymo sistemos šilumnešio žemiausių temperatūrų grafikas, kai išlieka esamas radiatorių plotas, o pastato šilumos poreikis yra užtikrinamas. Pagrindinė sąlyga, kurią turi užtikrinti radiatoriai, padengti pastato šilumos nuostolius, t. y. šilumos nuostoliai turi būti lygūs radiatorių atiduodamam šilumos srautui. Radiatorių atiduodama šiluminė galia yra apskaičiuojama pagal (1) lygtį:

$$\phi = \phi_n \left[ \frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right]^n, \quad (1)$$

čia  $\phi_n$  – radiatoriaus šiluminė galia, esant nurodytam gamintojo logaritminiam šilumnešio temperatūrų skirtumui, W;  $\Delta t_n$  – logaritminis šilumnešio temperatūrų skirtumas, apskaičiuotas pagal santykinį atskaitos tašką, K;  $\Delta t$  – logaritminis temperatūrų skirtumas, K;  $n$  – laipsnio rodiklis, būdingas tam tikram radiatorių tipui (ketiniams radiatoriams pasirenkamas 1,3).

Logaritminis temperatūrų skirtumas skaičiuojamas pagal (2) formulę:

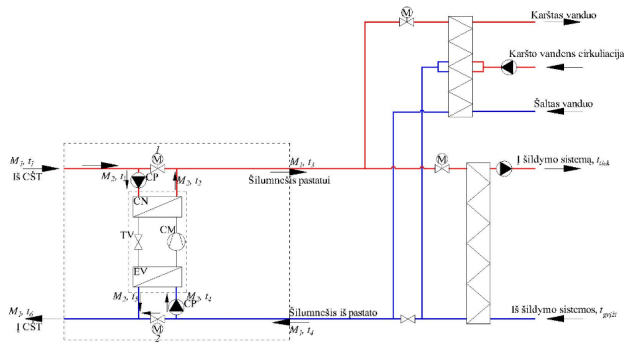
$$\Delta t = \frac{t_{\text{tiek.}} - t_{\text{grįzt.}}}{\ln \left( \frac{t_{\text{tiek.}} - t_p}{t_{\text{grįzt.}} - t_p} \right)}, \quad (2)$$

čia  $t_{\text{tiek.}}$  – tiekiamo į radiatorių šilumnešio temperatūra, °C;  $t_{\text{grįzt.}}$  – ištekancio iš radiatoriaus šilumnešio temperatūra, °C;  $t_p$  – patalpų oro vidutinė temperatūra, °C.

Pastato šildymo sistemos ir CŠT tinklų šilumnešio temperatūrinių kreivių priklausomybės nuo lauko oro temperatūros buvo sudaromos vadovaujantis detalioje metodikoje (Gedgaudas et al., 1992). Žemiausio šildymo sistemos temperatūrinio grafiko nustatymas buvo atliekamas priartėjimų būdu – tiekiamo šilumnešio temperatūra nustatoma pagal temperatūrinį grafiką, o grįžtamojo šilumnešio temperatūra buvo keičiama, kol radiatorių galia ir pastato šilumos nuostoliai tapo lygūs.

Termodinaminės analizės pagrindu buvo sukurtas matematinis modelis, kuris įvertina ŠS galimybes pakelti tiekiamo šilumnešio temperatūrą šilumos punkte ir nustato tokio sprendimo energinį efektyvumą. ŠS pakelia tiekiamą į pastatą šilumnešio temperatūrą, naudodamas kaip šilumos šaltinį grąžinamą iš pastato į CŠT tinklą šilumnešį. 2 pav. pateikta nagrinėjamo integruoto į šilumos punktą ŠS principinė schema su punktyrine linija pažymėtomis sistemos ribomis (Rogoža et al., 2021).

ŠS įrengiamas pastato šilumos punkte iš karto po įvadinųjų sklendžių. ŠS darbo agentas (freonas) yra R1234ze (E). ŠS termodinaminis modelis buvo kuriamas vadovaujantis anksčiau atlikto tyrimo (Rogoža et al., 2021) metodika, kurios pagrindu buvo sudaromas ŠS energijos balansas, skaičiuojamos atskirų procesų freono entalpijos



2 paveikslas. Nagrinėjamos termodinaminės sistemos schema:

$M_x$  – šilumnešio srautas,  $t_x$  – šilumnešio temperatūra,

1 – dviejų eigių srauto reguliavimo vožtuvas su pavara,

2 – dviejų eigių paskirstymo vožtuvas su pavara,

CP – cirkuliacinis siurblys, CM – kompresorius,

CN – kondensatorius, EV – garintuvas, TV – išsiplėtimo vožtuvas (droselis) (sudaryta remiantis Rogoža et al., 2021)

Figure 2. Scheme of the considered thermodynamic system:

$M_x$  – heat carrier flow,  $t_x$  – heat carrier temperature, 1 – two-way flow control valve with actuator, 2 – two-way distribution valve with actuator, CP – circulation pump, CM – compressor,

CN – condenser, EV – evaporator, TV – expansion valve

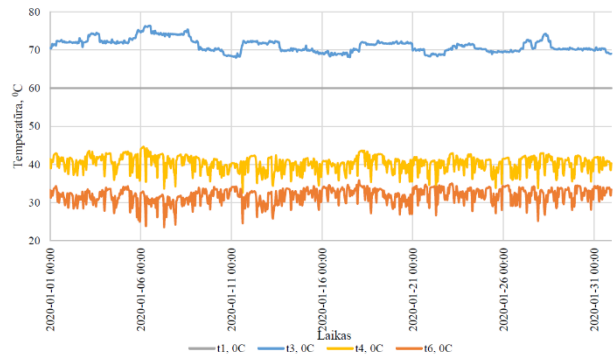
(throttle) (based on Rogoža et al., 2021)

ir ŠS COP. Atliekant skaičiavimus buvo laikoma, kad visas šilumnešio srautas iš CŠT tinklų prateka per ŠS kondensatorių ir garintuvą, t. y.  $M_1 = M_2$ , o CŠT sistemoje atliekamas kokybinis šilumos tiekimo reguliavimas – esant pastoviam šilumnešio debitui, priklausomai nuo lauko oro temperatūros, keičiama tiekiamo šilumnešio temperatūra.

### 3. Rezultatai

Keičiant pastato šildymo sistemos šilumnešio grįžtamąją temperatūrą, priartėjimo būdu buvo nustatytas žemiausių šilumnešio temperatūrų šildymo sistemos temperatūrinis grafikas. Pastato esamą šilumos galią atitiko grafikas 70/55/20 °C ( $t_{itek.}/t_{grįžt.}/t_p$ ). Siekiant mažinti CŠT tinklų šilumnešio, tiekiamo pastatui, temperatūrą, būtent šiam šildymo sistemos grafikui buvo toliau modeliuojamos ŠS alternatyvos šilumos punkte.

Modeliavimas buvo atliekamas naudojant faktinius duomenis, kurie apėmė 2020 metų sausio ir gegužės mėnesius Vilniuje – lauko oro, tiekiamo ir grąžinamo šilumnešio temperatūras bei jo srautą iš CŠT tinklo į pastatą. ŠS turi užtikrinti reikiamą tiekiamo šilumnešio temperatūrą į pastato šildymo ir karšto vandens šilumokačius. Modeliavimo metu nagrinėtos dvi tiekiamo iš CŠT tinklų pastovių (nepriklausomai nuo lauko oro temperatūros) šilumnešio temperatūrų alternatyvos – 60 °C (alternatyva A) ir 55 °C (alternatyva B). Tokios temperatūros buvo pasirinktos todėl, kad galima būtų užtikrinti karšto vandens ruošimą nešildymo sezono metu ar jei nebūtų galimybės naudoti ŠS (dėl profilaktinių darbų, gedimų ir pan.). Abiejose alternatyvose buvo vertinamas atvejis, kai nepakankamą šilumos kiekį dėl sumažintos iš CŠT tinklų tiekiamo šilumnešio temperatūros visiškai užtikrina įrengtas ŠS. 3 pav.



3 paveikslas. Šilumos tiekimo alternatyvos A šilumnešio temperatūrų vizualizacija sausio mėnesį

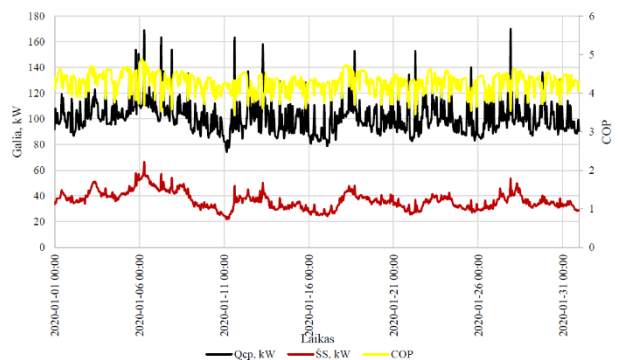
Figure 3. Heat supply alternative A heat carrier temperature visualization in January

pateikiama sausio mėnesio šilumos tiekimo alternatyvos A veikimo analizė (temperatūrų žymėjimai atitinka 2 pav.).

Šiuo atveju į ŠS tiekiamo šilumnešio temperatūra iš CŠT tinklo buvo sumažinta apie 11 K lyginant su faktiniais 2020 m. duomenimis. Grįžtamo į CŠT tinklą šilumnešio temperatūra sumažėjo apie 8 K. Šilumnešio srautas iš CŠT tinklų sausio mėnesį svyravo nuo 2,33 m<sup>3</sup>/h iki 3,87 m<sup>3</sup>/h. Alternatyvos A atveju ŠS pagaminamos šilumos kiekis (ŠS) ir pastatui reikalingas šilumos kiekis ( $Q_{cp}$ ) pavaizduoti 4 pav.

Vidutinė sausio mėnesio pastato šiluminė galia buvo apie 102 kW, o didžiausioji – apie 170 kW. Sausio mėnesio pastato šilumos poreikis sudarė 76 MWh. ŠS vidutinė šiluminė galia buvo 36,5 kW, didžiausioji – 66,4 kW, o vidutinė COP vertė – 4,3. ŠS pagamintas šilumos kiekis per sausio mėnesį sudarė 27 MWh, o suvartotas elektros kiekis – 6 MWh.

Tokiu pat principu buvo nagrinėjama alternatyva B, kai tiekiamo iš CŠT tinklo temperatūra sumažinama iki 55 °C. Alternatyvos B atveju tiekiamo šilumnešio temperatūra iš CŠT tinklo sausio mėnesį vidutiniškai sumažėjo apie 16 K lyginant su faktiniais 2020 m. duomenimis, o grįžtamo į CŠT tinklą šilumnešio temperatūra vidutiniškai sumažėjo apie 13 K. Šiuo atveju didžiausia ŠS galia buvo



4 paveikslas. Šilumos siurblio (ŠS) pagaminti ir pastatui reikalingi ( $Q_{cp}$ ) šilumos kiekiai sausio mėnesį (alternatyva A)

Figure 4. Heat pump production (ŠS) and building heat demand ( $Q_{cp}$ ) in January (alternative A)

1 lentelė. Šilumos tiekimo alternatyvų modeliavimo rezultatų palyginimas  
Table 1. Comparison of modelling results for heat supply alternatives

ŠS integravimo alternatyva	Alternatyva A (60 °C)		Alternatyva B (55 °C)	
	Sausis	Gegužė	Sausis	Gegužė
Nagrinėjamas mėnuo				
Didžiausioji galia, kW	66,4	21,7	87,2	34,3
Vidutinė galia, kW	36,50	6,13	52,93	12,10
Vidutinis COP	4,27	4,70	5,04	5,62
ŠS pagamintas šilumos kiekis per mėnesį, MWh	27,16	4,56	39,38	9,00
ŠS suvartotas elektros kiekis per mėnesį, MWh	6,37	1,01	7,84	1,67
ŠS pagaminta šilumos poreikio dalis, %	36 %	23 %	52 %	45 %
Sumažėjęs šilumos poreikis iš CŠT tinklo, %	8 %	5 %	10 %	8 %
Sumažėjusi tiekiamo šilumnešio temperatūra CŠT tinkle, °C	11,14	5,19	16,14	10,19
Sumažėjusi grįžtamo šilumnešio temperatūra CŠT tinkle, °C	8,41	4,00	12,77	8,23

87,2 kW, vidutinė – 52,9 kW, vidutinė COP vertė – 5,04. Minimali ŠS galia sudarė daugiau kaip 40 % didžiausiosios galios, o tai rodo, kad ŠS tokiomis sąlygomis veiktų tolygiau, be dažnų išsijunginėjimų. ŠS pagamintas šilumos kiekis per sausio mėnesį sudarė 39 MWh, o suvartotas elektros kiekis – 8 MWh.

Analogiškas modeliavimas buvo atliktas alternatyvoms A ir B gegužės mėnesiui, kai pastato šildymo sistema neveikia, o šiluma reikalinga tik karšto vandens ruošimui ir cirkuliacijai. Iš sukauptų faktinių duomenų buvo nustatyta, kad gegužės mėnesį vidutinė tiekama į pastatą šilumnešio temperatūra iš CŠT tinklų buvo 65,2 °C. Ši temperatūra svyravo  $\pm 5$  °C. Modeliuojant ši temperatūra nebuvo koreguojama į pastovią, todėl CŠT tinkluose alternatyvos A atveju tiekiamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūrą galima būtų sumažinti apie 4–5 K, o alternatyvos B atveju – apie 10 K tiekimo ir apie 8 K grįžtamoje linijoje.

Apibendrinant modeliavimo rezultatus ir siekiant palyginti nagrinėtas alternatyvas, rezultatai pateikiami 1 lentelėje.

Siekiant pritaikyti tinkamiausią ŠS integravimo alternatyvą, būtų tikslinga derinti abi alternatyvas, t. y. šaltuoju metų laikotarpiu iš CŠT tinklo tiekti 60 °C šilumnešį, o šiltuoju metų laikotarpiu – 55 °C. Tokiu atveju šilumos siurblio didžiausioji galia būtų apie 66 kW, jis veiktų gana tolygiai, be didelių galios šuolių ir dažnų išsijungimų.

Svarbu atkreipti dėmesį į sumažėjusias tiekiamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūras CŠT tinkle. Šiuo požiūriu alternatyva B yra pranašesnė už alternatyvą A. Siekiant apytikriai įvertinti gaunamą naudą sumažinus temperatūras galima remtis panašiais tyrimais. Norvegijos mokslininkų atliktas tyrimas (Nord et al., 2018) rodo, kad šilumos nuostoliai CŠT tinkle gali būti sumažinti 25 %, sumažinus CŠT tinkle tiekiamo šilumnešio temperatūrą nuo 8 °C iki 55 °C, nekeičiant vamzdžių skersmenų. Atkreiptinas dėmesys, kad moksliniame tyrime taip pat buvo nagrinėjama alternatyva, kai iš CŠT tinklo tiekiamas šilumnešis buvo pastovios 55 °C temperatūros.

## Išvados

1. Apžvelgus iki šiol atliktus tyrimus nustatyta, kad, žeminant šilumnešio temperatūrą CŠT tinkle, viena tinkamiausių priemonių užtikrinti vartotojų šilumos poreikius yra ŠS integravimas CŠT sistemose. Dažniausiai ŠS įrengiami pastatų šilumos punktuose ir naudojant juos šilumnešio temperatūra yra pakeliamą iki reikiamos vartotojams.
2. Faktinių duomenų analizės metu nustatyta, kad tiriamojo pastato šildymo sistemos temperatūrinis grafikas yra 80/60/20 °C, tačiau nustatytas minimalus šildymo sistemos temperatūrinis grafikas, nekeičiant šildymo sistemos prietaisų dydžio, galėtų būti 70/55/20 °C. Todėl, norint sumažinti CŠT tinklo tiekiamą temperatūrą bent iki 60 °C, pastato šilumos punkte reikia įrengti ŠS.
3. Pažeminus iš CŠT tinklo tiekiamo šilumnešio temperatūrą iki pastovios 60 °C (alternatyva A), sausio mėnesį ji vidutiniškai sumažėtų apie 11 K lyginant su faktiniais 2020 m. duomenimis. Grįžtamo į CŠT tinklą šilumnešio temperatūra atitinkamai sumažėtų apie 8 K. 66,4 kW didžiausiosios galios ŠS pagamintų apie 36 % pastato šilumos poreikio, o jo COP būtų 4,27. Pažeminus iš CŠT tinklo tiekiamo šilumnešio temperatūrą iki pastovios 55 °C (alternatyva B), sausio mėnesį ji vidutiniškai sumažėtų apie 16 K. Grįžtamo į CŠT tinklą šilumnešio temperatūra atitinkamai sumažėtų apie 13 K. 87,2 kW didžiausiosios galios ŠS pagamintų apie 52 % pastato šilumos poreikio, o jo COP būtų 5,04.
4. Modeliuojant gegužės mėnesio ŠS veikimą, alternatyvos A atveju tiekiamo ir grįžtamo šilumnešio temperatūrą galima būtų sumažinti apie 4–5 K, o alternatyvos B atveju – apie 10 K tiekimo ir apie 8 K grįžtamoje linijoje. Šiuo laikotarpiu didžiausia ŠS galia sudarytų 30–40 % nuo sausio mėnesio didžiausiosios galios, o COP nežymiai (apie 10 %) padidėtų.
5. Gauti tyrimo rezultatai parodo tik technologines ŠS integravimo CŠT tinkle galimybes, kurias taikant galima būtų žeminti CŠT tinklo šilumnešio temperatūrą.

Siekiant įvertinti šių priemonių naudą, turėtų būti tiriama visos CŠT sistemos arba bent atskirų kvartalų perėjimas prie žemų temperatūrų režimo.

## Padėka

Šis straipsnis buvo rengiamas Luko Buinovskio baigiamojo magistro darbo rezultatų pagrindu. Straipsnio autoriai dėkoja už pateiktą medžiagą ir bendradarbiavimą.

## Literatūra

- Abokersh, M. H., Saikia, K., Cabeza, L. F., Boer, D., & Vallès, M. (2020). Flexible heat pump integration to improve sustainable transition toward 4th generation district heating. *Energy Conversion and Management*, 225, 113379. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113379>
- Averfalk, H., & Werner, S. (2017). Essential improvements in future district heating systems. *Energy Procedia*, 116, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.069>
- Barco-Burgos, J., Bruno, J. C., Eicker, U., Saldaña-Robles, A. L., & Alcántar-Camarena, V. (2022). Review on the integration of high-temperature heat pumps in district heating and cooling networks. *Energy*, 239, 122378. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122378>
- Buinovskis, L. ir Rogoža, A. (2022). Žemos temperatūros šilumos tiekimo taikymas integruojant šilumos siurblius pastatuose. Iš 25-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ (p. 15–20), Vilnius, Lietuva. <https://doi.org/10.3846/pinzs.2022.03>
- Department of Energy & Climate Change. (2016). *Heat pumps in district heating: Final report case studies*. [www.national-archives.gov.uk/doc/open-government-licence/](http://www.national-archives.gov.uk/doc/open-government-licence/)
- Fernández, M. G., Roger-Lacan, C., Gährs, U., & Aumaitre, V. (2016). *Efficient district heating and cooling systems in the EU*. <https://doi.org/10.2760/371045>
- Gaur, A. S., Fitiwi, D. Z., & Curtis, J. (2021). Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review. *Energy Research & Social Science*, 71, 101764. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101764>
- Gedgaudas, M., Šležas, A., Švedarauškas, J. ir Tuomas, E. (1992). *Šilumos tiekimas*. Vilnius.
- Guzzini, A., Pellegrini, M., Pelliconi, E., & Sacconi, C. (2020). Low temperature district heating: An expert opinion survey. *Energies*, 13(4), 810. <https://doi.org/10.3390/en13040810>
- Lauka, D., Gusca, J., & Blumberga, D. (2015). Heat pumps integration trends in district heating networks of the Baltic States. *Procedia Computer Science*, 52(1), 835–842. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.140>
- Li, H., & Wang, S. J. (2014). Challenges in smart low-temperature district heating development. *Energy Procedia*, 61, 1472–1475. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.150>
- Lietuvos energetikos agentūra. (2019). *Lietuvos Respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021–2030 m*. <https://www.ena.lt/uploads/Failai-NEKS-VP/NEKS-VP-2021-2030.pdf>
- Lund, H., Duic, N., Østergaard, P. A., & Mathiesen, B. V. (2018). Future district heating systems and technologies: On the role of smart energy systems and 4th generation district heating. *Energy*, 165, 614–619. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.115>
- Lund, H., Østergaard, P. A., Nielsen, T. B., Werner, S., Thorsen, J. E., Gudmundsson, O., Arabkoohsar, A., & Mathies-

- en, B. V. (2021). Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*, 227, 120520. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120520>
- Ma, Z., Knotzer, A., Billanes, J. D., & Jørgensen, B. N. (2020). A literature review of energy flexibility in district heating with a survey of the stakeholders' participation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109750. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109750>
- Marguerite, C., Geyer, R., Hangartner, D., Lindahl, M., & Pedersen, S. V. (2019). IEA Heat Pumping Technologies Annex 47. In *Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems*. <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2019/03/task3-report.pdf>
- Nord, N., Løve Nielsen, E. K., Kauko, H., & Tereshchenko, T. (2018). Challenges and potentials for low-temperature district heating implementation in Norway. *Energy*, 151, 889–902. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.094>
- Ommen, T., Markussen, W. B., & Elmegaard, B. (2014). Heat pumps in combined heat and power systems. *Energy*, 76, 989–1000. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.016>
- Ommen, T., Markussen, W. B., & Elmegaard, B. (2016). Lowering district heating temperatures – Impact to system performance in current and future Danish energy scenarios. *Energy*, 94, 273–291. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.063>
- Østergaard, D. S., Tunzi, M., & Svendsen, S. (2021). What does a well-functioning heating system look like? Investigation of ten Danish buildings that utilize district heating efficiently. *Energy*, 227, 120250. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120250>
- Rogoža, A., Šiupšinskas, G. ir Bielskus, J. (2021). Šilumos siurblio integravimo centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje atvejo analizė. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania*, 13, 1–6. <https://doi.org/10.3846/mla.2021.15272>
- Schmidt, D., Kallert, A., Blesl, M., Svendsen, S., Li, H., Nord, N., & Sipilä, K. (2017). Low temperature district heating for future energy systems. *Energy Procedia*, 116, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.052>
- Šiupšinskas, G., Bielskus, J. ir Rogoža, A. (2021). Daugiabučio modernizavimo įtaka pastato šildymo sistemos temperatūroms. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania*, 13, 1–6. <https://doi.org/10.3846/mla.2021.15275>
- Zajacs, A., Bogdanovics, R., & Borodinecs, A. (2020). Analysis of low temperature lift heat pump application in a district heating system for flue gas condenser efficiency improvement. *Sustainable Cities and Society*, 57, 102130. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102130>

## RESEARCH OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF HEAT PUMPS' APPLICATION IN DISTRICT HEATING OF RESIDENTIAL BUILDINGS

A. Rogoža, V. Misevičiūtė

Abstract

The main users of district heating (DH) systems are multi-apartment buildings – 53% of these buildings in Lithuania are supplied with heat from DH systems. Heating systems in buildings are the largest final consumer of energy, accounting for almost half of total energy consumption in many European countries. One of the measures planned for the Lithuanian energy policy in the heat sector of renewable energy sources (RES) until 2030 is the installation of heat pumps (HP) in the DH networks. The purpose of the study is to evaluate the technological possibilities of integrating HP into existing buildings to evaluate the low

temperature heat supply. To evaluate the potential temperature lowering of the building heating system, a graph of the lowest possible building heating system temperatures is set, according to which the heat pump for the heating substation is selected, which would raise the temperature of the heat carrier supplied from DH networks to the required temperature for the heating and hot water systems of the building. Applying thermodynamic analysis, a mathematical model is developed that evaluates the ability of the HP to raise the temperature of the supplied heat carrier at the heat substation and determines the energy efficiency of such a solution. During the simulation, two alternatives of constant (regardless of outdoor air temperature) heat carrier temperatures supplied from DH networks were considered: 60 °C (alternative A) and 55 °C (alternative B). To adapt the most appropriate option for the integration of HP, it would be appropriate to combine both alternatives, i. y. to supply 60 °C from the DH network in the cold period of the year and 55 °C in the warm period of the year.

**Keywords:** district heating, apartment building, heat pump, low-temperature heat supply, heat loss in the network.