



## Environmental engineering Aplinkos inžinerija

# ŽEMOS TEMPERATŪROS CENTRALIZUOTO ŠILUMOS TIEKIMO TINKLO PRITAIKIMO GALIMYBĖS DAUGIABUČIŲ NAMŲ KVARTALE


Edita RUGIENIŪTĖ, Juozas BIELSKUS  

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

- gauta 2024 m. balandžio 12 d.
- priimta 2024 m. balandžio 18 d.

**Santrauka.** Lietuvos centralizuotose šilumos tiekimo tinkluose dažniausiai išlaikomos aukštos šilumnešio temperatūros, kurios apriboja sistemos efektyvumo didinimą. Straipsnyje siekiama įvertinti centralizuoto šilumos tiekimo tinklo (CŠT) ir pastate sumažėjusios šilumnešio temperatūros įtaką patalpų šildymui bei šilumnešio temperatūros žeminimo galimybes (iki 60 °C) CŠT tinkle apžvelgiant skirtingus scenarijus bei siekiant užtikrinti pastatų šilumos poreikius. Buvo analizuojamos 2 alternatyvos: temperatūros žeminančio modulio (pamaisymo mazgo) šiluminėje kameroje įrengimas bei esamų vamzdinių ir šildymo prietaisų modernizacija, kai žeminama CŠT šilumnešio temperatūra iki 60 °C, o radiatorių temperatūrinis grafikas – 60/40/20. Išnagrinėta galimybė žeminti CŠT šilumnešio temperatūrą be pastato šildymo sistemos modernizavimo įrengiant šilumos siurblius (ŠS) individualiai pastatuose. Atlikta tipinio pastato 2 metų šildymo sistemos modelio valandinė duomenų analizė parodė, kad žeminant CŠT temperatūrą iki 60 °C bei pastate paliekant esamą šildymo prietaisų plotą pastatų šilumos poreikis bus nepatenkintas.

**Reikšminiai žodžiai:** centralizuotas šilumos tiekimas, 4 kartos centralizuotas šilumos tiekimas, šildymo sistemos temperatūros žeminimas, šilumos siurblys.

 Corresponding author. E-mail: [juozas.bielskus@vilniustech.lt](mailto:juozas.bielskus@vilniustech.lt)

## 1. Įvadas

Būtinybė keisti centralizuoto šilumos tiekimo sistemos eksploatavimo sąlygas kyla dėl sparčiai mažėjančio gyvenamųjų namų šilumos poreikio, dėl pastatų renovacijos proceso, taip pat dėl energijos vartojimo efektyvumo priemonių taikymo, griežtėjančių Europos Sąjungos ir Lietuvos Respublikos naujai keliamų aplinkos apsaugos, energijos vartojimo efektyvumo didinimo reikalavimų (Köfinger et al., 2016). Naujai pastatyti pastatai turi didesnę energijos vartojimo efektyvumą, todėl šilumos poreikis naujai pastatytuose pastatuose mažėja. Ši situacija lemia būtinybę keisti CŠT sistemos eksploatavimo sąlygas ir taip mažinti šilumos energijos kiekius. Šiomis dienomis didžiausias dėmesys krypta į atsinaujinančių energijos šaltinių diegimą ir naudojimą, siekiant mažinti bendrą poveikį aplinkai bei užtikrinti šilumos gamybą.

Vienas iš pastaruoju metu aptariamų sprendimų, kaip CŠT įmonėms prisitaikyti prie naujų sąlygų, yra orientuotas į tiekiamo termofikacinio vandens (šilumnešio) temperatūros žeminimą (Lund et al., 2018). Žemos temperatūros CŠT sistemos (angl. *Low Temperature District Heating*) koncepcija siūlo inovatyvius sprendimus visuose trijuose CŠT sistemos komponentuose – šilumos šaltinyje, šilumos

tinkle ir šilumos vartotojo sistemoje (Schmidt et al., 2017). Nėra vieno sprendimo, kaip sumažinti šilumnešio temperatūrą ir padidinti bendrą sistemos efektyvumą, kuris tiktų visoms esamoms ir būsimoms CŠT sistemoms. Todėl reikia kruopštaus strateginio planavimo proceso siekiant tvaraus naujos kartos tipo CŠT sistemos vystymo. Kitaip tariant, pertvarkymo procesas turėtų būti atviras ir lankstus.

Šilumos skirstymo tinklai turi didelę įtaką bendram šilumos tiekimo sistemos veikimui, todėl svarbu įvertinti įvairius šilumos tinklų parametrus. Šilumos tinklą sudaro magistraliniai, skirstomieji tinklai ir šilumos punktas (toliau ŠP), kuriame šiluma perduodama patalpoms šildyti, karštam vandeniui gaminti, vėdinti ir kt. Yra šilumos tiekimo sistemų, kuriose šildymo tinklas tiesiogiai prijungtas prie vartotojų vamzdinių sistemų (Tol & Svendsen, 2012).

Atliekant pirminį vertinimą, svarbu įvertinti šilumos tinklų planus, šilumos paskirstymo ir centralizuoto šilumos perdavimo stotis. Kitas svarbus parametras yra kvartalų ar rajonų prijungimo prie atitinkamo tiekimo tinklo rodikliai. Vienas iš svarbiausių veiksnių – šilumos vartotojai, jie lemia svarbius CŠT sistemos eksploatavimo sąlygų parametrus. Todėl svarbu išsamiai apžvelgti esamą ir galimą šilumos poreikį. Analizuojant regiono ar miesto gyvenviečių struktūrą, svarbu pažymėti skirtingus pastatų tipus

(daugiabučiai namai, pramoniniai rajonai ir t. t.), nes jie pasižymi skirtingais šildymo režimais ir šilumos poreikio reikalavimais. Tai leidžia nustatyti teritorijas, kuriose yra didžiausias šilumos poreikis, o tai svarbu planuojant CŠT sistemos plėtrą. Norint gauti išsamią esamo ir (ar) būsimo CŠT tinklo apžvalgą, taip pat naudinga surinkti duomenis apie pastatų amžių, nusidėvėjimo laikotarpius ir būsimas investicijas į techninę infrastruktūrą ir pastatus.

Vertinant Lietuvoje esančią dabartinę situaciją CŠT dar taikoma 3 kartos sistema. Tiesiog sumažinus CŠT ir (ar) pastato šildymo sistemos šilumnešio temperatūras gali nepavykti užtikrinti reikiamų mikroklimato sąlygų pastatuose esant žemoms lauko temperatūroms, nes esamų suprojektuotų šildymo sistemų gali nepakakti, taip pat vadovaujantis Lietuvos Respublikos įstatymais karšto vandens temperatūra šilumos vartotojų čiaupuose turi būti ne žemesnė kaip 50 °C, sudarant technines prielaidas – ne žemesnė nei 65 °C (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003).

Vieni iš pirmųjų, kurie išbandė žemos temperatūros tinklą, – AB „Vilniaus šilumos tinklai“ (VŠT). 2021 m. vasarą VŠT vykdė bandomąjį projektą, kuris vyko visose Vilniaus ir Naujosios Vilnios centrinio šildymo trasose. Pirmojo projekto etapo metu termofikacinis vanduo yra palaipsniui žeminamas iki 65 °C. Projektas buvo vykdomas nuo birželio pabaigos iki naujo šildymo sezono pradžios. Rezultatai parodė, kad pažeminus termofikacinio vandens temperatūrą perpus, vien per rugpjūčio mėnesį (palyginti su ankstesniais laikotarpiais) buvo sutaupyta apie 1518 MWh šilumos energijos – daugiau nei 42 tūkst. Eur. Anglies dioksido išmetimas į aplinką sumažėjo 321 tona. Eksperimento metu buvo apskaičiuota, kad žemesnę šilumnešio temperatūrą palaikant visus metus būtų sutaupyta apie 3 mln. Eur per metus (AB „Vilniaus šilumos tinklai“, 2021). Būtina akcentuoti, kad esamas Lietuvos klimatas ir priimti reglamentai sudaro daug keblumų siekiant ne tik vasarą, bet ir šildymo sezono metu išlaikyti žemas šilumnešio temperatūras.

Šio tyrimo tikslas yra išnagrinėti CŠT temperatūros žeminimo galimybes gyvenamųjų daugiabučių kvartalui. Tyrime analizuojami keli žemos temperatūros tinklo variantai. Pirmoji alternatyva – temperatūras žeminančio modulio (pamaisymo mazgo) šiluminėje kameroje įrengimas bei esamų vamzdinių ir šildymo prietaisų rekonstrukcija. Antrąją alternatyvoje analizuotas ŠS įdiegimas į ŠP, įrenginį prijungiant prie CŠT tiekiamos ir grįžtamos linijos. ŠS paskirtis CŠT tiekiamą šilumnešio temperatūrą (60 °C) pakelti iki pastato temperatūrinio grafiko. Tokiu atveju pažemintume CŠT šilumnešio temperatūras ir pastato šildymo sistema liktų nerekonstruojama.

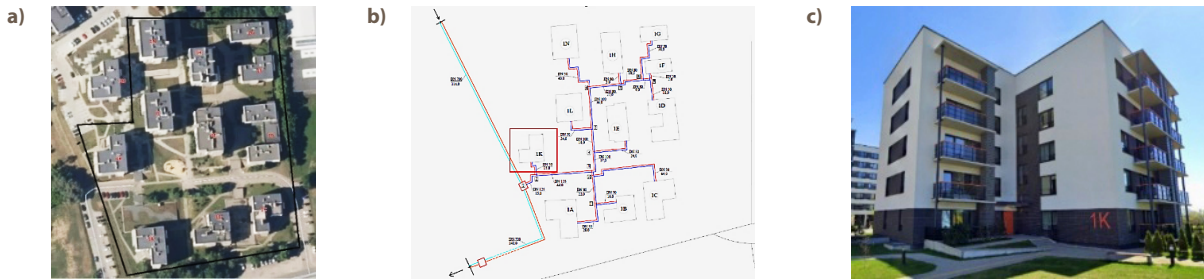
## 2. Tyrimų objektas

Tiriamuoju objektu pasirinktas naujos statybos daugiabučių namų kvartalas Kauno mieste. Daugiabučių pastatų kvartale yra įdiegta trečios kartos CŠT sistema. Tyrime modeliuojama žemos temperatūros CŠT sistema. Kvartalą sudaro 11 gyvenamosios paskirties pastatų (1 pav.). Visi pastatai yra 2011–2019 m. (imtinai) statybos, B energinio naudingumo klasės, bendras visų pastatų šildomas plotas yra 24979,35 m<sup>2</sup> (1 lentelė). Patalpoms šildyti ir karštam vandeniui paruošti pastatai naudoja Kauno miesto CŠT sistemą.

Kiekviename pastate įrengti individualūs, nepriklausomos sistemos ŠP. Šildymo bei karšto vandens (KV) sistema kiekviename pastate reguliuojama „ECL“ Danfoss valdikliu. Maksimali šilumos temperatūra į šildymo prietaisus – 70 °C, minimali – 25 °C (dėl grindinio šildymo), nustatytoji – 50 °C. Pastate įrengta dvivamzdė kolektorinė grindinio šildymo bei radiatorinė sistema. KV ruošimas – pastovus ir nenutrūkstamas (vanduo šildomas iki 60 °C). Tiriama objekto CŠT tinklo vamzdinių ilgis – 473 m, vamzdinių skersmenys atšakose svyruoja nuo DN 50 iki DN 125 (1 pav.). Vamzdynas paklotas 2017 m. bekanaliu būdu. Gyvenamasis daugiabučių kvartalas turi tik 1 atšaką

1 lentelė. Kvartalo eksplikacija

Namas	Aukštų skaičius	Plotas	Statybos metai	Energinio naudingumo klasė	Instaliuota galia, [MW]	
					Šildymui	KV
1A	5	1587,4	2014	B	0,210	0,306
1B	4	1238,95	2011	B	0,110	0,119
1C	4	1411,1	2011	B	0,110	0,119
1D	4	1949	2012	B	0,292	0,302
1E	4	3345	2013	B	0,209	0,196
1F	4	1147,5	2015	B	0,152	0,206
1G	5	1405,2	2015	B	0,148	0,206
1H	8	5095,2	2015	B	0,400	0,360
1K	5	1902,9	2017	B	0,104	1,137
1L	6	3355,6	2017	B	0,274	0,350
1N	8	2541,5	2019	B	0,179	0,213
	Suma:	24979,35		Suma:	2,188	3,514
				Suma:	5,702	



**1 paveikslas.** Tiriamasis kvartalas: a) analizuojamasis kvartalas (šaltinis: Regionų geoinformacinės aplinkos sistema, n. d.); b) kvartalo montажinės schema; c) tiriamasis tipinis pastatas

iš magistralinio tinklo. Dėl šios priežasties analizuojamas visos atšakos (nuo šiluminės kameros Nr. 1 iki pastatų) temperatūrinio režimo sumažinimas.

Projektinė kvartalo galia – 5,701 MW: šildymui – 2,188 MW (87,59 W/m<sup>2</sup>), karštam vandeniui – 3,514 MW.

### 3. Tyrimų metodika

Detalesniam kvartalo įvertinimui kaip etalonas pasirenkamas pastatas 1K (1 pav.). Pastatas 1K yra 5 aukštų, 1902,90 m<sup>2</sup> ploto, 2017 m. statybos daugiabutis namas. Kadangi pastato ŠP turi 2 pakopų karšto vandens šilumokaitį, dėl to įrengti du įvadiniai šilumos apskaitos prietaisai (ŠAP). Pirmasis ŠAP matuoja bendrą į pastatą patenkančią šilumos kiekį ( $Q_s + Q_{kv}$ ); antrasis – šilumos kiekį, skirtą tik patalpoms šildyti ( $Q_s$ ). Vadovaujantis pastato 1K įvadinių ŠAP 2019–2020 m. nuotolinio nuskaitymo duomenimis nustatomas realus CŠT temperatūrinis grafikas, pastatų galios ir šilumos poreikiai.

Pastatų šilumos poreikių vertinimas atliktas MS Excel taikomąja programa. Pagrindiniai 2019–2020 m. pastatų rodikliai (faktinis suvartotos šilumos kiekis, termofikacinio vandens temperatūros, galios ir kt.) gauti iš Kauno miesto šilumos tiekėjo. Buvo pasirinkta, kad šilumos kiekis šaltam vandeniui pašildyti yra nekintantis, t. y. tolesniuose skaičiavimuose naudojamas faktinis 2020 m. šilumos kiekis karštam vandeniui paruošti. Taikant MS Excel pastatų suvartotas šilumos kiekis šildymui perskaičiuojamas į standartinius metrologinius metus taikant (1) formulę:

$$Q_{obj.}^{sk} = Q_{ivad}^{šAP} \cdot \frac{(20 - t_{is}^{šAP})}{(20 - t_{is}^{šMM})}, \text{ MWh}, \quad (1)$$

čia  $Q_{ivad}^{šAP}$  – ŠAP išmatuotas šilumos kiekis (atskaitomuoju laikotarpiu), MWh; 20 – norminė patalpos oro temperatūra, °C;  $t_{is}^{šAP}$  – faktinė vidutinė išorės oro temperatūra skaičiuojamuoju laikotarpiu, °C;  $t_{is}^{šMM}$  – standartinių metrologinių metų vidutinė išorės oro temperatūra skaičiuojamuoju laikotarpiu.

Kauno miesto standartinių metrologinių metų duomenys paimti iš Europos Komisijos tinklalapio (European Commission, 2024). Siekiant kuo tiksliau įvertinti modeliuojamą žemos temperatūros sistemą Excel programa perskaičiuotas 2019–2020 m. kvartalo faktinis metinis bei mėnesiniai ir valandiniai šilumos poreikiai (MWh).

Nustatyti CŠT sistemos bei vidinės šildymo sistemos temperatūriniai grafikai (šildymo sezono metu) tiriamajam kvartalui pagal gautą regresijos lygtį (2):

$$y = -1,2315x + 75,802, \quad (2)$$

čia  $y$  – galia, kW;  $x$  – išorės lauko temperatūra, °C.

Nustatyta pastato galia (kW) pagal gautą regresijos lygtį (3), kai projektinė lauko temperatūra –22 °C:

$$y = -0,8695x + 16,543. \quad (3)$$

Siekiami nustatyti šildymo sistemos šilumnešio žemiausių temperatūrų grafiką taikant šildymo prietaisų (radiatorių) galios perskaičiavimo metodiką (Šiupšinskas et al., 2021). Pagrindinė sąlyga, kurią turi užtikrinti radiatoriai – padengti pastato šilumos nuostolius, kurie turėtų būti lygūs radiatorių atiduodamam šilumos srautui.

Daromos prielaidos:

- pastate radiatorių skaičius atitinka langų skaičių – 95 vnt. (papildomai pagal techninį pastato projektą laikoma, kad laiptinės kiekviename aukšte yra po 1 radiatorių (iš viso 5);
- skaičiavimams taikoma projektinė radiatorių temperatūra (75/65/20), nes nėra galimybės nustatyti iš radiatorių grįžtančio šilumnešio temperatūros;
- kadangi nėra galimybės nustatyti tikslios grindinio šildymo galios, laikoma, kad visą šilumos poreikį patenkina pastate esantys radiatoriai;
- skaičiuojant radiatorius įvertinamas 10 % atsargos koeficientas;
- planuojama ŠTT temperatūrą žeminti iki 60 °C, plieninių radiatorių temperatūra žeminama iki 55/45/20 °C. Tiekiamo šilumnešio temperatūra nustatoma konstanta 55 °C, o grįžtamo šilumnešio temperatūra keičiama tol, kol radiatorių galia taps lygi pastato bendrajai šilumos galiai (nuostoliams).

Standartinio radiatoriaus preliminarai atiduodama šiluminė galia, esant skirtingai lauko oro temperatūrai, yra apskaičiuojama pagal (4) formulę:

$$P_{pr}^f = \frac{P_{past}}{N} \cdot 1,1, \text{ W}, \quad (4)$$

čia  $P_{past}$  – pastato šildymo galia, W. Pastato šildymo sistemos galia nustatoma iš analitinės lygties (3).  $N$  – pastate esančių radiatorių skaičius, vnt.; 1,1 – 10 % atsargos koeficientas.

Toliau atliekami nominalaus radiatoriaus galios skaičiavimai siekiant nustatyti radiatoriaus galią sumažinus

šilumnešio temperatūrą 55/45/20. Pagal išskeltą sąlygą nominalaus ir standartinio radiatoriaus galios ( $P_{pr}^f, W = P_{pr}^n, W$ ) turėtų sutapti (Šiupšinskas et al., 2021).

Radiatoriaus atiduodama nominali šiluminė galia yra apskaičiuojama pagal (5) formulę (Čiuprinskienė et al., 2018):

$$P_{pr}^n = P_{pr}^f \cdot F_n, W, \quad (5)$$

čia  $F_n$  – pataisos (perskaičiavimo) koeficientas dėl projektinių radiatoriaus temperatūrų neatitikimo nominalioms sąlygoms. Kai  $F_n$  koeficientas nežinomas, jis apskaičiuojamas pagal (6) formulę:

$$F_n = \left[ \frac{\Delta t_n}{\Delta t_f} \right]^n, \quad (6)$$

čia  $n$  – laipsnio rodiklis (eksponentė), kuris priklauso nuo radiatoriaus konstrukcijos (plieniniams radiatoriams pasirenkamas 1,28 (Purmo, 2021-10));  $\Delta t_n$  – temperatūrų skirtumas nominaliomis sąlygomis, °C;  $\Delta t_f$  – faktinis vidutinės šilumnešio temperatūros radiatoriuje ir patalpos oro temperatūrų skirtumas °C.

Logaritminis temperatūrų skirtumas skaičiuojamas:

$$\Delta t = \frac{t_t - t_g}{\ln \frac{t_t - t_i}{t_g - t_i}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

čia  $t_t$  – į šildymo prietaisą tiekiamo šilumnešio temperatūra, °C;  $t_g$  – iš šildymo prietaiso grįžtamo šilumnešio temperatūra, °C;  $t_i$  – patalpos, kurioje yra šildymo prietaisas, temperatūra, °C.

Esamiems šilumos tiekimo vamzdynams vertinti pasitelkta jautrumo analizė. Skaičiavimai atlikti *Logstor calculator* modeliavimo programa, kuri stengiasi išnaudoti medžiagų potencialą, neviršijant saugaus medžiagų naudojimo galimybių. Atliktas esamų vamzdynų vertinimas:

- esama padėtis: nekeičiant vamzdynų skersmens pažeminami temperatūriniai režimai (vietoj  $T1 - 109 \text{ } ^\circ\text{C}$  ir  $T2 - 45 \text{ } ^\circ\text{C}$  nustatome  $T1 - 60 \text{ } ^\circ\text{C}$  ir  $T2 - 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ );
- nekeičiant šilumos galios poreikio, pažeminami temperatūriniai šilumnešio parametrai. Programa parenka vamzdynų skersmenis. Nustatoma, kokio skersmens vamzdynas užtikrintų reikiamą šilumos kiekį;
- nekeičiant esamų vamzdynų skersmens, pažeminamos šilumnešio temperatūros, padidinamas leidžia-

masis termofikacinio vandens greitis vamzdyje iki 3 m/s.

Atlikus esamos pastato ir CŠT situacijos įvertinimą (pirmoji alternatyva), toliau buvo analizuojama dar viena temperatūrinio žeminimo galimybė į pastato ŠP įdiegti ŠS, dėl kurio pastato esama šildymo sistema liktų nerekonstruojama.

Antroji šilumos tiekimo alternatyva analizuojama *MS Excel* programa papildomai pasitelkiant *EnergyPRO* kompiuterinę programą ŠS modeliui parengti ir jo veikimo parametrus gauti. ŠS įdiegiamas į ŠP už įvadinių sklendžių prieš šildymo ir karšto vandens šilumokaičius (2 pav.).

ŠS paskirtis pakelti tiekiamojo šilumnešio temperatūrą (60 °C) iki pastato temperatūrinio grafiko. Tokiu atveju pastatų šildymo sistemos liktų nerekonstruotos.

ŠS gedimo atveju kiekviename ŠP numatoma apėjimo linijos (angl. *bypass line*) (tiekimo ir grįžtamo šilumnešio vamzdyne), visiškai atskiriančios ŠS nuo ŠP. Esant itin žemoms lauko oro temperatūroms ( $\geq -20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) ir joms tęsiantis ilgiau nei 1 parą, automatiniai reguliavimo vožtuvai sustabdytų tiekimą į ŠS ir tiesiogiai į pastato ŠP būtų tiekiamas 60 °C termofikacinis vanduo. Per parą nepavykus pašalinti ŠS gedimo šiluminėje kameroje esantis pamašymo mazgas automatiškai į kvartalo ŠTT tiekty aukštesnių parametru šilumnešį siekiant apsaugoti pastatus nuo „peršaldymo“. Kadangi aukštesnių parametru šilumnešis gali kenkti likusių pastatų ŠS, kurie nepritaikyti aukštos temperatūros režimams (kaip tiekama šilumnešio temperatūra  $>75 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), dėl šios priežasties visame kvartale trumpam laikui būtų atjungti visi ŠS ir pastatų ŠP gautų šilumą tiesiogiai iš ŠTT.

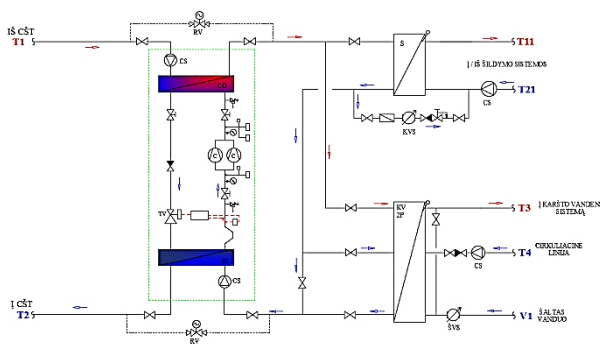
*EnergyPRO* programoje, pagal turimus ŠS techninius duomenis, kurie gauti iš ŠS gamintojo, nustatomi ŠS parametrai (3 pav., a), sudaroma šilumos siurblio schema (3 pav., b).

Modeliuojant ŠS laikoma:

- tiekama temperatūra iš CŠT yra pastovi tiek vasaros, tiek šildymo sezono metu, t. y. 60 °C (4 pav., a, *Heated from*);
- temperatūra už kondensatoriaus į šilumokaičius nustatoma pagal regresijos lygtį (4 pav., a):

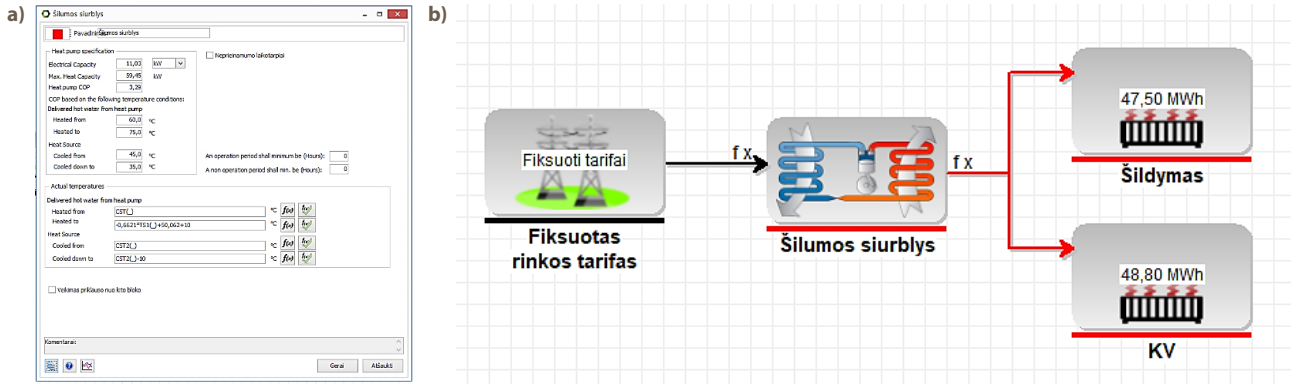
$$y = -0,6621x + 16,543 + 50,062 + 10, \quad (8)$$

numatant +10 °C atsargą, kuri atspindi galimus temperatūrinius nuostolius šilumokaičiuose (4 pav., a, *Heated to*);



2 paveikslas. Nagrinėjama ŠP schema

$T1, T2$  – CŠT šilumnešio temperatūra  
 RV – automatinis dviejų eigių srauto reguliavimo vožtuvas su pavara (apėjimo linijoje)  
 CS – cirkuliacinis siurblys  
 C – kompresorius  
 CN – kondensatorius  
 EV – garintuvai  
 TV – išsiplėtimo vožtuvas



3 paveikslas. EnergyPRO nustatymai: a) ŠS techniniai nustatymai; b) principinė ŠS schema

- temperatūra už šilumokaičių į garintuvą nustatoma pagal perskaičiuotas (normines) grįžtamo šilumnešio temperatūras (4 pav., a, Cooled from);
- temperatūrų skirtumas ( $\Delta T_{garintuvo}$ ) prieš garintuvą ir už garintuvo į CŠT numatomas 10 °C;
- pagal ŠS gamintojo duomenis COP – 3,29.

EnergyPRO analizuojamas tik ŠS veikimas, šilumos ir elektros galių, COP pokytis. Programoje ŠS nėra jungiamas prie CŠT.

Pagal modeliavimo programoje gautus ŠS rezultatus likusieji skaičiavimai atliekami MS Excel programa. Apskaičiuojamas CŠT panaudotas, ŠS sugeneruotas ir į pastatą atiduotas šilumos kiekis. Abi alternatyvos analizuojamos bei lyginamos iš techninės, energetinės perspektyvos.

#### 4. Rezultatai

Pagal atliktus skaičiavimus (2 lentelė) nustatyta, kad šildymo sezono metu didžiausioji pastato galia turėtų siekti 96,24 kW, o vasaros sezono metu didžiausioji galia gali siekti – 48,80 kW.

Iš ŠAP nuotolinio nuskaitymo duomenų nustatyta, kad 2020 m. pastato 1K suminis šilumos poreikis siekia – 91,07 MWh, iš kurių: 60,35 MWh (vidutinė 6,23 kWh/m<sup>2</sup>) skirta patalpoms šildyti ir 30,71 MWh karštam vandeniui paruošti bei cirkuliacijai palaikyti. Atlikus faktinių duomenų normalizavimą tipinio pastato metinis šilumos kiekis siektų 73 MWh (3 lentelė), o viso kvartalo šilumos poreikis – 1538,37 MWh, iš kurių patalpoms šildyti – 1085,07 MWh (6,20 kWh/m<sup>2</sup>).

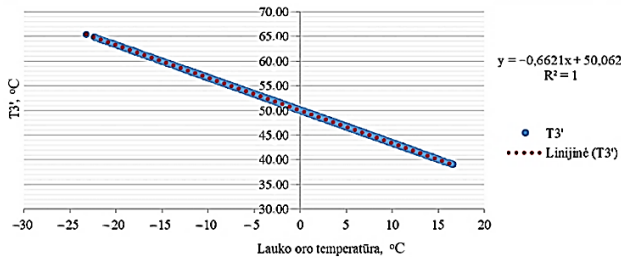
2 lentelė. Pastato šilumos faktinės (2020 m.) ir skaičiuojamosios galių (kW) suvestinė ŠAP

	Vnt.	Faktiniai 2020 m. duomenys	Standartiniai metrologiniai metai
Lauko oro temperatūra	°C	4,34	2,34
Patalpų temperatūra	°C	20	20
Šildymo sezono dienos	dienos	194,75	219,00
Dienolaipsnių sk.	DL	3049,79	3867,54
Šildymo galia, Ph	kW	37,41	47,44
Karšto vandens galia, Pkv	kW	48,80	48,80
Galios iš viso, P	kW	86,21	96,24

3 lentelė. Perskaičiuotas šilumos kiekis (MWh) pastatui šildyti

	Vnt.	Faktiniai 2020 m. duomenys	Standartiniai metrologiniai metai
Lauko oro temperatūra	°C	4,34	2,34
Patalpų temperatūra	°C	20	20
Šildymo sezono dienos	dienos	194,75	219
Dienolaipsnių sk.	DL	3139,96	3798
Šilumos kiekis šildymui	MWh/metai	60,35	73,00



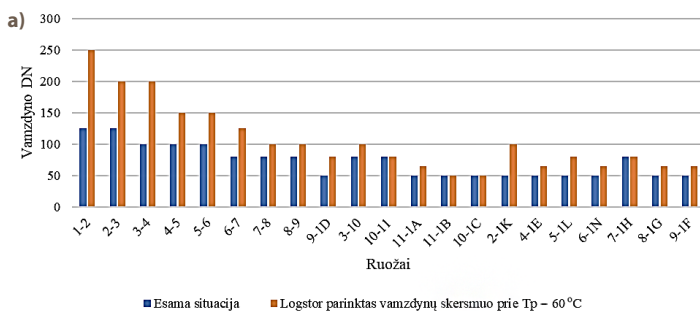


**4 paveikslas.** Norminės šildymo sistemos ( $T3'$ ) šilumnešio temperatūros j pastatų šilumos prietaisus priklausomybės nuo lauko oro temperatūros grafikas

Normalizavus ŠAP užfiksuotos  $T3'$  temperatūros ir nustatytas pastato temperatūrinis grafikas (4 pav.), pagal kurį buvo nustatomi ŠS parametrai.

Iš 4 pav. pavaizduoto grafiko matyti, kad maksimali, j šildymo prietaisus pratekanti šilumnešio temperatūra, kai lauko oro temperatūra  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , yra  $64,63\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vidutinė šilumnešio temperatūra  $-54,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Pagal metodikos (4–7) formules esamą radiatorinę sistemą (75/65/20) palyginus su sistema, kurią planuojama pritaikyti (55/45/20) pastate, nustatyta, kad standartinio ir nominalaus radiatoriaus galios nesutampa  $P_{pr}^f$  (433,18 W)  $\neq P_{pr}^n$  (223,54 W). Nors buvo keičiamos grįžtamo šilumnešio temperatūros, galių vienodumas nepasiekta. Pastebėta tendencija, kad galių panašumas atsiranda tik tada, kai grįžtamo šilumnešio temperatūra tampa aukštesnė nei tiekiamojo šilumnešio temperatūra, t. y. galios susivienodina, kai grįžtamo šilumnešio temperatūra pasiekia  $88,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ši tendencija taip pat yra užfiksuota kituose moksliniuose straipsniuose. Viename iš jų teigiama: „šilumnešis radiatoriuje atvės keliais laipsniais tik tokiu atveju, jeigu bus itin padidintas jo debitas, tačiau tai padidina hidraulinį pasipriešinimą, radiatoriuje gali atsirasti nepageidaujamas triukšmas ir grįžtamo šilumnešio j CŠT temperatūra bus per aukšta“ (Šiupšinskas et al., 2021). Kadangi esant žemesniam temperatūrų režimui (55/45/20) nebus užtikrinama reikalinga šilumos galia, dėl to darytinos 2 preliminarios išvados: 1) norint žeminti temperatūros režimus ir užtikrinti šilumos galios poreikį būtina keisti esamus radiatorius j didesnius; 2) jeigu nekeičiami radiatoriai, ŠP būtina numatyti techninę įrangą, kuri papildomai pakeltų ŠTT tiekiamą ( $\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) temperatūrą (Rogoža ir Misevičiūtė, 2022).



**5 paveikslas.** Vamzdinių vertinimas: a) vamzdinių skersmens pasikeitimas pažemintus tinklo temperatūrą; b) šilumnešio greičių (m/s) vamzdiniuose vizualizacija; c) įtempių (Pa/m) pasiskirstymo vamzdiniuose vizualizacija

Atlikus esamų CŠT vamzdinių vertinimą nustatyta, kad pirmu atveju 80,95 % atšakų reiktų keisti naujomis, didinant vamzdinių skersmenį (5 pav.).

5 paveiksle pateikta, kad jeigu pakeistume šilumnešio tiekiamą temperatūrą, šilumnešio srautas padidėtų  $\sim 2,5$  karto. Nedinginant vamzdinių skersmenų, 15 ruožų (iš 21) susidarytų per didelis srauto greitis. Taip pat skirstomuosiuose vamzdiniuose slėgio nuostoliai triniai [R, Pa/m] negali viršyti 300 Pa/m, o gautu atveju 17 ruožų iš 21 šie nuostoliai viršija normatyvą.

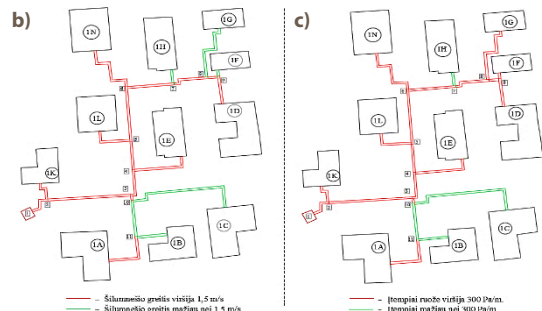
Paliekant esamus vamzdinius padidėtų avarijų rizika, pastatams nebūtų užtikrintas šilumos tiekimas. Netgi padidinus leidžiamuosius šilumnešio greičius, 6 atšakos viršytų leidžiamąjį greitį bei slėgio nuostolius triniai (5 pav.). Kadangi esama sistema nepajėgi dirbti pažemintais temperatūriniais režimais (vietoje  $T1 - 109,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  naudojant  $T1 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), vienintelė šio varianto išeitis rekonstruoti esamą sistemą ir didinti vamzdinių skersmenis (5 pav.).

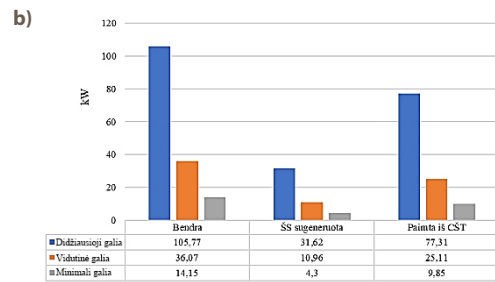
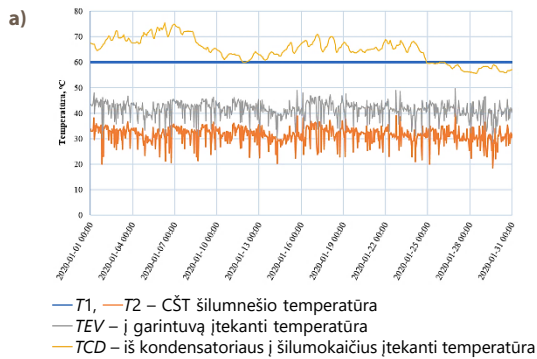
Atlikus antrosios alternatyvos skaičiavimus nustatyta, kad tiekiamą ( $T1$ ) CŠT tinklo temperatūra šildymo sezono metu buvo sumažinta vid.  $10,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; grįžtamo j CŠT tinklą šilumnešio temperatūra ( $T2$ ) sumažėjo vid.  $10,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o vasaros metu  $T1$  sumažėjo vid.  $5,54\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $T2 - 9,89\text{ }^{\circ}\text{C}$  lyginant su faktiniais 2020 m. duomenimis (6 pav., a).

Šilumnešio srautas iš ŠTT šildymo sezono metu svyravo  $0,4-2,5\text{ m}^3/\text{h}$ , o ne šildymo sezono metu  $-0,18-1,5\text{ m}^3/\text{h}$ . Lyginant su esama situacija su antrąja alternatyva CŠT srautas padidėjo 2,2 karto. ŠS sugeneruotas, CŠT pateiktas ir pastatui reikalingas šilumos kiekis pavaizduoti (6 pav., b). Įdiegus ŠS j esamą ŠP CŠT galios poreikį pavyko sumažinti iki 30,4 %. Vidutinė šildymo sezono metu pastato šiluminė galia buvo apie 36,07 kW, o didžiausioji – apie 105 kW.

ŠS vidutinė šiluminė galia buvo 10,96 kW, didžiausioji – 31,62 kW, o vidutinė COP vertė – 4,28. ŠS pagamintas šilumos kiekis per metus – 96,23 MWh, o suvartotas elektros kiekis – 24,94 MWh. Sezonų ŠS rezultatai pateikti 4 lentelėje.

Būtina pabrėžti, kad siekiant pritaikyti ŠS integravimo alternatyvą ji būtų derinama su pirmąja alternatyva, t. y. ne tik kiekvieno pastato ŠP įrengiami ŠS, bet ir rekonstruojamas esamas ŠTT, didinant vamzdinių skersmenis, bei įrengiamas pamašymo modulis šiluminėje kameroje. Techniniu atžvilgiu pirmoji alternatyva sunkiau įgyvendinama dėl esamos pastato šildymo sistemos rekonstrukcijos, kuriai reikės fiziškai





**6 paveikslas.** a) Ištrauka iš sausio mėnesio šilumnešio temperatūrų pasiskirstymo grafiko; b) šilumos tiekimo galių pasiskirstymas per tipinius metrologinius metus

**4 lentelė.** ŠS modeliavimo rezultatai

ŠS integravimas į ŠP, kai T1 = 60 °C	Mat. vnt.	Nagrinėjamas periodas	
		Šildymo sezonas	Vasaros sezonas
Didžiausioji galia	kW	105,77	71,12
Vidutinė galia	kW	54,07	21,58
Vidutinis COP	–	4,04	4,48
ŠS pagamintas šilumos kiekis	MWh	75,17	21,12
ŠS suvartotas elektros kiekis	MWh	19,88	5,06
ŠS pagaminta šilumos poreikio dalis	%	35,47	20,11
Sumažėjusi tiekiamo šilumnešio temperatūra CŠT tinkle	°C	10,16	5,54
Sumažėjusi grįžtamo šilumnešio temperatūra CŠT tinkle	°C	10,23	9,89

pakeisti esamus šildymo prietaisus ir susidurti su gyventojų priešišku. Antroji alternatyva šiuo atžvilgiu pranašesnė. Energinio požiūriu antroji alternatyva padėtų sumažinti CŠT tiekiamos energijos kiekį iki 30,4 %, tai padėtų optimaliau parinkti vamzdynų skersmenį ir sumažinti investicijas į ŠTT rekonstrukciją, kuri esant pirmajai alternatyvai vien be esamo vamzdyno demontavimo atsieitų mažiausiai 200 tūkst. Eur. Kuri alternatyva būtų naudingiausia, parodytų ekonominė analizė, kuri bus atlikta kitame tyrime.

**5. Išvados**

Iš atliktų teorinių skaičiavimų galima formuluoti šias išvadas:

1. Nustatyta, kad, žeminant šilumnešio temperatūrą CŠT tinkle, galima užtikrinti vartotojų šilumos poreikius rekonstruojant esamus ŠTT ir pastato šildymo sistemą bei integruvus ŠS. Dažniausiai ŠS įrengiami pastatų ŠP siekiant pakelti šilumnešio temperatūrą iki reikiamos vartotojams.
2. Pirmosios alternatyvos analizės metu nustatyta, kad pastato šildymo sistema neužtikrintų reikiamos šilumos galios pastatui šildyti, kai temperatūros pažeminamos iki 55/45/20. Norint pažeminti tiekiamą temperatūrą reikia keisti esamus radiatorius didesniais.

3. ŠTT vamzdynų analizė taip pat parodė, kad reikia atlikti vamzdynų rekonstrukcijos darbus, t. y. didinti vamzdynų skersmenį, nes dėl sumažintos šilumnešio temperatūros, siekiant vamzdynais tiekti tą patį šilumos kiekį, būtina didinti šilumnešio srautus, kurie pakenktų esamiems vamzdynams. Analizės metu nustatyta, kad 80,95 % atšakų reiktų keisti naujomis.
4. Antrosios alternatyvos analizės metu nustatyta, kad įdiegus ŠS į esamą ŠP CŠT galios poreikį pavyko sumažinti iki 30,4 %. Tiekama CŠT tinklo temperatūra per metus vidutiniškai sumažėtų 7,8 °C; grįžtamo į CŠT tinklą šilumnešio temperatūra vidutiniškai sumažėtų 10,1 °C.
5. Gauti tyrimo rezultatai rodo tik technologines ŠTT tiekiamos temperatūros žeminimo galimybes.
6. Siekiant įvertinti šių priemonių naudą bei tai, kuri iš jų tikslingiausia, turėtų būti atliekamas investicinis abiejų alternatyvų vertinimas.

**Literatūra**

AB „Vilniaus šilumos tinklai“. (2021, birželio 30). *Pirmąkart Lietuvoje: Vilniuje vyksta žemos temperatūros tinklo bandymai, klientai sutaupys, o aplinka bus švaresnė.* <https://chc.lt/lt/musu-veikla/naujienos/pranesimai-ziniasklaidai/13/pirmakart-lietuvoje-vilniuje-vyksta-zemos-temperaturos-tinklo-bandymai-klientai-sutaupys-o-aplinka-bus-svaresne:559>

Čiuprinskienė, J., Čiuprinskas, K. ir Motuzienė, V. (2018). *Šildymas, vėdinimas, oro kondicionavimas: teorija ir praktika.* Super namai.

European Commission. (2024). *Photovoltaic geographical information system.* [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#TMY](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY)

Köfinger, M., Basciotti, D., Schmidt, R. R., Meissner, E., Doczekal, C., & Giovannini, A. (2016). Low temperature district heating in Austria: Energetic, ecologic, and economic comparison of four case studies. *Energy, 110*, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.103>

Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. (2003). *Dėl Lietuvos higienos normos HN 24:2023 „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“ patvirtinimo* (Nr. V-455). <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.2099D15473C7/asr>

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, 164*, 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206>

Regionų geoinformacinės aplinkos sistema. (n. d.).

<https://regia.lt/>

Rogoža, A. ir Misevičiūtė, V. (2022). Šilumos siurblių taikymo centralizuotai aprūpinant daugiabučius pastatus šiluma technologinių galimybių tyrimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis* [Science – Future of Lithuania], 14, 1–7.

<https://doi.org/10.3846/mla.2022.17224>

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>

Tol, H. Ī., & Svendsen, S. (2012). A comparative study on substation types and network layouts in connection with low-energy district heating systems. *Energy Conversion and Management*, 64, 551–561. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.04.022>

## POSSIBILITIES OF APPLYING A LOW-TEMPERATURE CENTRALIZED HEAT SUPPLY NETWORK IN A MULTI-APARTMENT BUILDING DISTRICT

E. Rugieniūtė, J. Bielskus

Abstract

Lithuania's district heating (DH) network tends to maintain high heat transfer temperatures, which limit the efficiency of the system. The aim of this study is to assess the impact of DH and reduced heat transfer temperature in the building on space heating and the possibility of reducing the heat transfer temperature (down to 60 °C) in the DH network by looking at different scenarios and the heat demand of buildings. Three alternatives were analysed: the installation of a temperature-lowering module (mixing unit) in the thermal chamber and the retro-fitting of existing piping and heating appliances, where the temperature of the DH fluid is lowered up to 60 °C and the temperature of the radiators is lowered to 60/40/20. The possibility of lowering the DH heat transfer temperature without upgrading the network by installing heat pumps individually in the buildings or in the heat chamber is examined. An hourly data analysis of a 2-year heating system model for a typical building showed that lowering the DHW temperature to 60 °C and leaving the existing area of heating appliances in the building will not meet the heat demand of the buildings.

**Keywords:** district heating, 4th generation district heating, temperature of the heating system lowering, heat pump.