

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

DAUGIABUČIO MODERNIZAVIMO ĮTAKA PASTATO ŠILDYMO SISTEMOS TEMPERATŪROMS

Giedrius ŠIUPŠINSKAS , Juozas BIELSKUS*, Artur ROGOŽA 

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2021 m. liepos 9 d.; priimta 2021 m. rugsėjo 3 d.

Santrauka. Modernizuojant daugiabučius pastatus, keičiant šildymo prietaisus ar paliekant senus, dažniausiai išlaikomos aukštos šilumnešio temperatūros, kurios apriboja centralizuotos šilumos tiekimo sistemos efektyvumą didinimą. Straipsnyje, siekiant įvertinti pastate sumažėjusios šilumnešio temperatūros įtaką patalpų šildymui, kai radiatorių plotas išlieka pastovus, buvo analizuojamos 3 alternatyvos: kai modernizavus pastatą paliekami seni šildymo prietaisai, bet žeminama šilumnešio temperatūra vienu atveju iki 60/40/20 arba kitu net iki 45/25/20. Išnagrinėta galimybė žeminti šildymo sistemos šilumnešio temperatūrą be pastato modernizavimo. Atlikta dviejų būdingų šildymo sezono mėnesių šildymo sistemos modelio valandinė duomenų analizė parodė, kad po modernizavimo pastate paliekant esamą šildymo prietaisų plotą, temperatūrą galima žeminti iki 60/40/20.

Reikšminiai žodžiai: centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT), pastato modernizavimas, šildymo sistemos temperatūros žeminimas.

Įvadas

Šilumos tiekėjų asociacijos duomenimis, 2018 metais 53 % visų pastatų buvo aprūpinti šiluma centralizuotai. Pagal Nacionalinę energinės nepriklausomybės strategiją (toliau – Strategija) numatyta, kad 2050 metais iš atsinaujinančių ir vietinių energijos išteklių numatoma pagaminti 100 % šilumos ir ne mažiau kaip 90 % miestuose esančių pastatų aprūpinti šiluma iš centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) sistemų (Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija, 2019). Tokiu būdu planuojama CŠT sistemų plėtra. Senų pastatų modernizavimas ir labai griežti energiniai reikalavimai naujos statybos pastatams lemia mažėjančius šilumos poreikius šildymui. Esama CŠT sistema, kur vyrauja aukštos (Vilniuje 115–60 °C) projektinės šilumnešio temperatūros, susiduria su problema, kai santykiniai šilumos nuostoliai tinkle didėja. Dėl aukštos temperatūros atliekinės žemos temperatūros šaltinių šilumos panaudojimas išlieka sudėtingas. Lietuvoje šiuo metu daugiau kaip 70 % šilumos pagaminama iš atsinaujinančių energijos išteklių. Artėjama prie esamos CŠT sistemos didžiausios efektyvumo ribos. Tolesnis esamos sistemos modernizavimas ir efektyvumo didinimas be kardinalių techninių pokyčių gali būti labai sudėtingas. ES šalyse nuo 2014 metų vis dažniau ir

daugiau kalbama apie vadinamąsias 4 kartos arba 5 kartos ultražemos temperatūros CŠT sistemas (Buffa et al., 2019; Lund et al., 2018, 2021). 4 kartos tinklui būdinga žema tiekiamo vartotojams šilumnešio temperatūra (60 °C ir žemesnė), didesnis atsinaujinančių išteklių ir atliekinės šilumos panaudojimas modernizuotuose ir mažai energijos naudojančiuose pastatuose (Arabkoohsar ir Sulaiman, 2020; Büchele et al., 2019; Abokersh et al., 2020; Mateu-Royo et al., 2020; Vivian et al., 2018). Tokiu būdu net ir tuomet, kai dėl tinklo plėtros prijungiami nauji pastatai (mažai energijos vartojantys vartotojai) bei modernizavus senus pastatus galima sumažinti šilumos nuostolius tinkle. Dėl žemesnės grįžtamo šilumnešio temperatūros pasiekiamas efektyvesnis atsinaujinančių išteklių (saulės kolektorių, biokuro katilinių), atliekinės šilumos ir kogeneracinių jėgainių integravimas (Mäki et al., 2021; Sameti ir Haghighat, 2019).

Mokslinių straipsnių šia 4 kartos CŠT sistemos tema augimas nuo 2014 metų rodo, kad tai svarbi tinklų vystymosi kryptis. Skandinavijos šalyse egzistuoja jau veikiančios bandomieji tokių sistemų projektai (Lund et al., 2018). Manoma, kad tai yra CŠT sistemos ateitis, kuri neišvengiamai turės būti įgyvendinta ir Lietuvoje.

*Autorius susirašinėti. El. paštas juozas.bielskus@vilniustech.lt

Vilniaus miestas yra didžiausias centralizuotai tiekiamos šilumos vartotojas (30 % viso Lietuvos CŠT poreikio), o AB Vilniaus šilumos tinklai siekia įvertinti perėjimo prie 4 kartos CŠT sistemos galimybes. Pagrindinė problema siejama su modernizuojamų pastatų šildymo sistemomis. Esamos sistemos transformavimas yra sudėtingas techniniu požiūriu, nes didžioji dalis pastatų vidinių sistemų yra projektuota esant aukštiesiems temperatūros režimams, vasaros metu būtina ruošti karštą buitinį vandenį, kurio ištekancio iš čiaupo temperatūra (55 °C) griežtai apibrėžiama higienos normomis. Tai automatiškai reikalauja aukštų šilumnešio temperatūrų ir iš CŠT tinklų sistemos.

Tiesiog sumažinus pastato šildymo sistemos šilumnešio temperatūras gali nepavykti užtikrinti reikiamų mikroklimato sąlygų esant žemoms lauko temperatūroms, nes paliekamų senų ar naujai suprojektuotų šildymo sistemų prietaisų dydžio gali nepakakti. Detalesnė mokslinės literatūros analizė rodo, kad esamuose pastatuose šildymo sistemos temperatūros yra galimos ir tokios patirties jau yra (Jangsten, 2016; Østergaard ir Svendsen, 2016; Svendsen et al., 2017).

Šio straipsnio tikslas yra išnagrinėti temperatūros žeminimo galimybes Vilniaus mieste modernizuojamo daugiabučio šildymo sistemoje. Darbe analizuojami keli šildymo sistemos modernizavimo variantai.

1. Tyrimo objektas

Tyrimo objektu pasirinktas tipinis stambiaplokštis 5 aukštų gyvenamasis namas, pastatytas 1969 metais. Daugiabutis, kurio bendras šildomas pastato plotas – 1714 m², yra 2 laiptinių, su rūsiu ir sutapdintu stogu. Pastatas yra E energinės klasės. Pagrindinis šilumos šaltinis yra Vilniaus CŠT, pastatas prie jų prijungtas pagal nepriklausomą schemą. Daugiabutyje šviežias oras patenka į patalpas natūraliu būdu, o ištraukimas organizuojamas per oro ištraukimo šachtas iš tualetų, vonios, dušo ir virtuvės patalpų. Karštas vanduo ruošiamas pastato šilumos punkte užtikrinant reikiamą cirkuliaciją.

2020 metais bendros šilumos sąnaudos sudarė apie 206 MWh, iš kurių 46,6 MWh teko karšto vandens paruošimui, o 33 MWh vasarą cirkuliacijai užtikrinti. Šilumos sąnaudos šildymui analizuotais metais sudarė 125,8 MWh (47,7 kWh/m²). Pastatas yra klimato zonoje, kur šildymo sezono trukmė pagal norminius reikalavimus yra 218 parų (nuo 09 26 iki 05 02), vidutinė šildymo sezono temperatūra 0,1 °C, o dienolaipsnių skaičius 3902. Perskaičiavus faktines šilumos sąnaudas šildymui norminėmis sąlygomis, jos padidėja iki 160 MWh (60,6 kWh/m²).

Projektinė pastato šiluminė galia šildymui 143 kW (83,43 W/m²). Atlikta faktinių duomenų analizė parodė, kad galia šildymui projektinėje –23 °C temperatūroje siekė tik 102 kW (59,5 W/m²). Projektinės šildymo sistemos temperatūros 95/70/18 °C (tiekiamo šilumnešio temperatūra / grįžtamo šilumnešio temperatūra / patalpos oro temperatūra °C), o faktinis temperatūrinis grafikas 70/50/20 °C.

Siekiant įvertinti pastate sumažėjusios šilumnešio temperatūros įtaką patalpų šildymui, kai radiatorių plotas išlieka pastovus, buvo analizuojamos 3 alternatyvos:

- alternatyva A: vertinama esama pastato galia (nustatyta iš 2 formulės). Šildymo prietaisų plotas ir skaičius paliekamas toks, koks yra dabar. Žeminama šildymo sistemos temperatūra iki 60/40/20 °C;
- alternatyva B: pastatas modernizuojamas, pastato galia šildymui sumažėja iki 40 W/m² (Rogoža et al., 2017). Šildymo prietaisų plotas / skaičius paliekamas toks, koks buvo prieš modernizavimą. Žeminama šildymo sistemos temperatūra iki 60/40/20 °C;
- alternatyva C: pastatas modernizuojamas, pastato galia šildymui sumažėja iki 40 W/m². Šildymo prietaisų plotas / skaičius paliekamas toks, koks buvo prieš modernizavimą. Žeminama šildymo sistemos temperatūra iki 45/25/20 °C.

2. Tyrimų metodika

Šioje dalyje pateikiama skaičiavimo metodika, kurios tikslas įvertinti pastate sumažėjusios šilumnešio temperatūros įtaką patalpų šildymui, kai radiatorių plotas išlieka pastovus. Šis skaičiavimas atliekamas pasitelkiant radiatoriaus galios perskaičiavimo metodiką. Daromos šios prielaidos:

- Vertinama, kad senos statybos pastatuose yra įrengti MC-140-AO ketiniai radiatoriai, kurių vienos sekcijos galia yra 178 W, kai $\Delta t = 70$ K (Δt – logaritminis temperatūrų skirtumas pagal 2 formulę).
- Pastate radiatorių skaičius atitinka langų skaičių (nevertinami laiptinės langai). Analizuojamame pastate langų skaičius yra 110 vnt.
- Ketiniai radiatoriai pastate parinkti, kai pastato šilumos nuostoliai 100 W/m², o temperatūrinis grafikas 95/70/18 °C. Parenkant radiatorius pridedamas 10 % atsargos koeficientas. Todėl tipinių radiatorių sudaro 11 sekcijų.

Tipinio radiatoriaus galia pastate:

$$Q_{rad} = \frac{Q_{past}}{N}, \quad (1)$$

čia Q_{rad} – tipinio radiatoriaus galia esant skirtingai lauko oro temperatūrai, W, t. y. radiatoriaus dydis nesikeičia, bet keičiasi jo galia esant skirtingai lauko oro temperatūrai; N – pastate esančių šildomų patalpų skaičius, vnt.; Q_{past} – pastato šildymo galia, W. Pastato šildymo sistemos galia nustatoma iš analitinės lygties pagal faktinę šildymo galios priklausomybę nuo lauko temperatūros:

$$y = -2,4394x + 45,647, \quad (2)$$

čia x – kintamasis, šiuo atveju lauko oro temperatūra; y – ieškomas dydis, t. y. pastato šildymo galia.

Radiatoriaus atiduodama šiluminė galia yra apskaičiuojama:

$$\phi = \phi_n \cdot \left[\frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right]^n, \quad (3)$$

čia ϕ_n – radiatoriaus šiluminė galia, esant nurodytam logaritminiam temperatūrų skirtumui, W; Δt_n – logaritminis temperatūrų skirtumas, apskaičiuotas pagal santykinį

atskaitos tašką, K ; Δt – logaritminis temperatūrų skirtumas, K ; n – laipsnio rodiklis, būdingas tam tikram radiatorių tipui (ketiniams radiatoriams imamas 1,3).

Logaritminis temperatūrų skirtumas skaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{tiek}} - t_{\text{grįžt}}}{\ln\left(\frac{t_{\text{tiek}} - t_{\text{pat}}}{t_{\text{grįžt}} - t_{\text{pat}}}\right)}, \quad (4)$$

čia t_{tiek} – tiekiamo į radiatorių šilumnešio temperatūra, °C; $t_{\text{grįžt}}$ – ištekancio iš radiatoriaus šilumnešio temperatūra, °C; t_{pat} – patalpos oro temperatūra, °C.

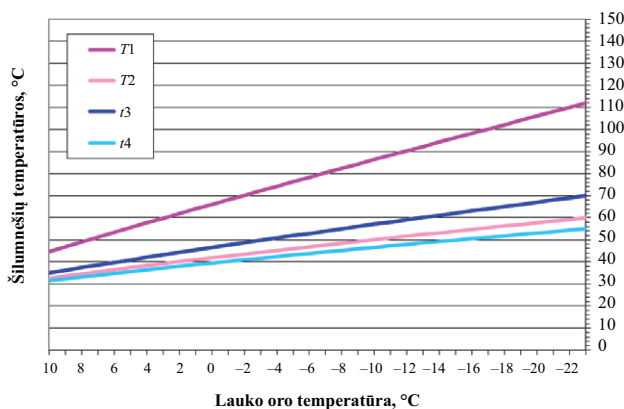
Siekiant atlikti tinkamą šildymo sezono analizę labai svarbu apsibrėžti šilumnešio į šildymo sistemą temperatūrinio reguliavimo grafiką. Esamas temperatūrinis grafikas pateiktas 1 paveiksle, čia temperatūrinis režimas yra 70/55/20 °C.

1 paveiksle T_1 – tiekiamo iš CŠT šilumnešio temperatūra; T_2 – grįžtamo į CŠT šilumnešio temperatūra; t_3 – tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio temperatūra (t_{tiek}) ir t_4 – grįžtamo iš pastato šildymo sistemos šilumnešio temperatūra ($t_{\text{grįžt}}$). Paveiksle pateiktas šilumnešių temperatūrų grafikas, kai patalpos oro temperatūra 20 °C, projektinė lauko oro temperatūra –23 °C. Tuomet Vilniaus miesto tiekiamo šilumnešio temperatūra iš CŠT – 115 °C, grįžtama į CŠT – 60 °C, tiekama į pastato šildymo sistemą 70 °C, o grįžtama iš jos 55 °C. Matoma, kad tiekiamo ir grįžtamo šilumnešių į šildymo sistemą temperatūrų kitimas atitinka tiesines priklausomybes:

$$y = -1,0552x + 46,282, \quad (5)$$

čia x – kintamasis (lauko oro temperatūra), °C; y – ieškomas dydis (tiekiamo į šildymo sistemą šilumnešio temperatūra).

Penktoje formulėje pateikta tiesinė priklausomybė, kuri sugeneruota 1 paveikslo pagrindu. Apskaičiuota regresinė priklausomybė (R^2) lygi 0,9991, o tai nurodo, kad lygtis praktiškai identiška 1 paveiksle t_3 linijai.



1 paveikslas. Šilumnešių temperatūrų priklausomybė nuo lauko oro temperatūros
Figure 1. Dependence of heat carrier temperatures on outdoor air temperature

Modernizuoto pastato šildymo galia:

$$Q_{\text{mod.past.}} = 40 \cdot A_{\text{past}} \cdot \frac{(t_{\text{pat}} - t_{\text{lauko}})}{(t_{\text{past}} - t_{\text{proj.lauko}})}, \quad (6)$$

čia A_{past} – pastato šildomas plotas, m²; $t_{\text{proj.lauko}}$ – lauko projektinė oro temperatūra, –23 °C; t_{lauko} – lauko oro temperatūra, °C.

Toliau pateikiama lentelė, kurioje nurodomos tiekiamo šilumnešio temperatūros priklausomybės nuo lauko oro ir esant skirtingiems temperatūriniais režimams: 60/40/20 °C; 45/25/20 °C.

1 lentelė. Šildymo sistemos tiekiamo į šildymo prietaisus šilumnešio priklausomybės nuo lauko oro temperatūros analitinės lygtys ir tiesės regresinė priklausomybė
Table 1. Analytical equations of the dependence of the heat carrier supplied to the heating system on the outdoor air temperature and the regression dependence

Eil. Nr.	Temperatūrinis grafikas	Lygtis	R^2
1	60/40/20	$y = -0,8543x + 40,741$	0,9993
2	45/25/20	$y = -0,5434x + 32,696$	0,9996

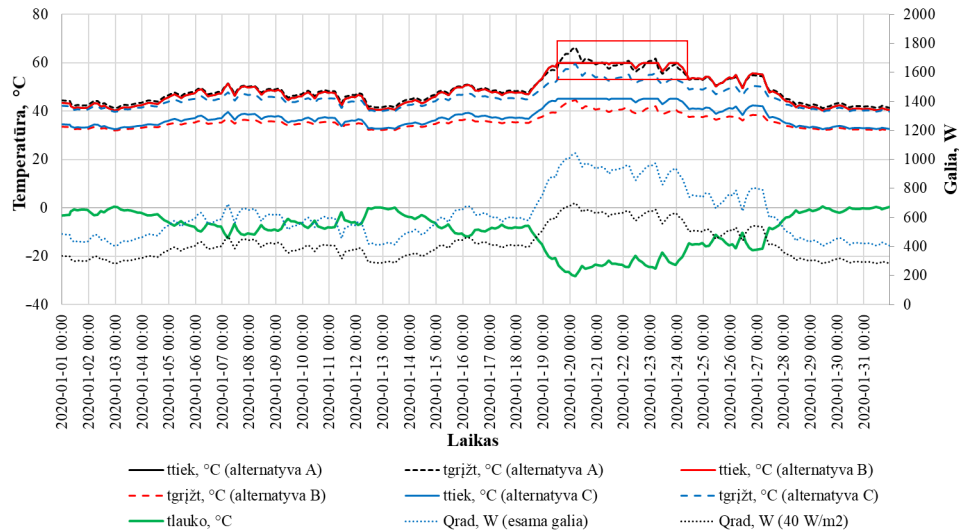
1 lentelėje x yra kintamasis, šiuo atveju lauko oro temperatūra, y ieškomas dydis, t. y. tiekiamo šilumnešio temperatūra. Lentelėje pateiktų analitinių lygčių regresinė priklausomybė (R^2) visais atvejais yra artima 1.

Pagrindinė sąlyga, kurią turi užtikrinti radiatorius, padengti šilumos nuostolius, t. y. apskaičiuoti šilumos nuostoliai turi būti lygūs ($Q_{\text{nuost}} = Q_{\text{rad}}$) radiatoriaus nuostoliams. Skaičiavimai atliekami naudojantis 3 ir 4 formule. Tiekiamo šilumnešio temperatūra skaičiuojama pagal 1 lentelės lygtis, o grįžtamo šilumnešio temperatūra nėra žinoma. Skaičiavimuose grįžtama temperatūra keičiama tol, kol ši lygybė ($Q_{\text{nuost}} = Q_{\text{rad}}$) įgyvendinama, t. y. atliekamas iteravimas (skaičiavimas priartėjimų būdu).

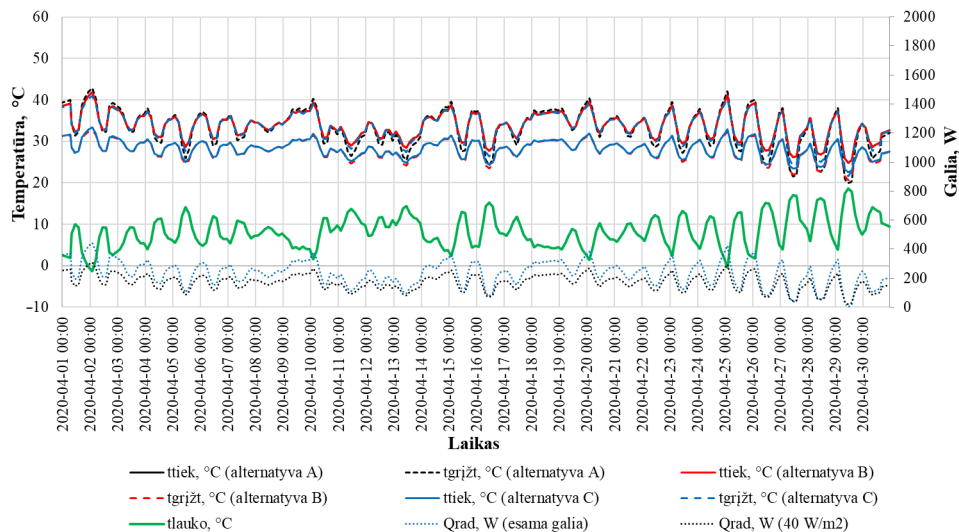
3. Rezultatai

Šioje dalyje aptariami skaičiavimų rezultatai skirtingoms alternatyvoms, kai lauko oro temperatūros yra norminės klimato sąlygomis, o patalpos temperatūra 20 °C. Šildymo sistemų darbas modeliuojamas „Microsoft Excel“ valandos žingsniu per pasirinktus šalčiausią (sausis) ir pereinamąjį (balandis) mėnesius. Pasirenkami tik du būdingi mėnesiai, nes visų metų modeliavimas apima labai didelį kiekį duomenų ir trunka kelias valandas.

2 paveiksle pateikiama sausio mėnesio alternatyvų A, B ir C analizė. Šiame paveiksle vientisa juoda, mėlyna ir raudona linijos atspindi tiekiamo šilumnešio temperatūras, o atitinkamai punktyrinės linijos grįžtamo šilumnešio temperatūras. Šio paveikslo rezultatus galima išskirti į dvi dalis, t. y. kai radiatorių skaičius išlieka esamas (iki modernizavimo), vertinama esama pastato galia (mėlyna taškinė linija), kitas atvejis, kai vertinama pastato galia, kai šilumos nuostoliai 40 W/m² (juoda taškinė linija). Alternatyvoje A vertinta, ar galima nuo esamo temperatūrinio



2 paveikslas. Sausio mėnesio alternatyvų A, B ir C rezultatai
Figure 2. Results for alternatives A, B, and C in January



3 paveikslas. Balandžio mėnesio alternatyvų A, B ir C rezultatai
Figure 3. Results for alternatives A, B, and C in April

grafiko pereiti prie žemesnio 60/40/20 °C, o pastato galia išlieka esama. Matoma, kad tiekiamas šilumnešis (juoda linija identišškai sutampa su raudona linija ir yra po ja) ir yra žemesnės temperatūros nei grįžtamas (juoda punktyrinė linija). Ši tendencija pastebima, kai šilumos poreikis pastate negali būti užtikrintas esamu šildymo prietaisų plotu. Skaičiavimuose tiekiamo šilumnešio temperatūra vertinama pagal 1 lentelę, todėl iteracijų metu keičiama tik grįžtamo šilumnešio temperatūra. Norint, kad radiatorius atiduotų didesnę kiekį šilumos, logaritminis temperatūrų skirtumas turi didėti, bet grįžtamo šilumnešio temperatūra negali nukristi žemiau patalpos temperatūros. Todėl ieškant didesnio temperatūrų skirtumo modelis pradeda didinti grįžtamo šilumnešio temperatūrą tiek, kad ji tampa didesnė nei tiekiamo šilumnešio. Taip pat galima pa-

stebėti, kad kai lauko oro temperatūra nukrinta iki žemų temperatūrų (apie -20 °C ir žemiau), tiekiamo šilumnešio temperatūra šiuo atveju yra aukštesnė nei grįžtamo (2 pav. raudonu stačiakampiu apibrėžtas plotas), bet temperatūrų skirtumas tarp jų yra tik keli laipsniai, o tai indikuoja, kad šilumnešis, pratekęs per radiatorių, turi atvėsti nedaug (praktiškai per visą radiatoriaus paviršiaus plotą bus vienoda temperatūra). 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 į CŠT temperatūra bus per aukšta. Galima daryti išvadą, kad alternatyva A, kai paliekama esama galia ir nekeičiami radiatoriai bei sumažinami šilumnešio parametrai, negali būti įgyvendinta.

Kitos alternatyvos (B ir C) pateiktos, kai paliekami esami radiatoriai, o pastatas modernizuojamas ir jo galia nukrinta iki 40 W/m^2 . Matoma, kad alternatyva B (raudona linija), kai tiekiamo šilumnešio temperatūra atitinka 60/40/20 °C temperatūrinius grafikus per nagrinėjamąjį laikotarpį, užtikrina reikalingą šilumos kiekį patalpoms (tiekiamo šilumnešio temperatūra visuomet aukštesnė nei grįžtamo). Alternatyva C yra siekiama įvertinti, kai pastatas modernizuotas, ar galima tiekiamo šilumnešio temperatūrą pažeminti iki 45 °C esant projektinei temperatūrai, t. y. palaikyti 45/25/20 °C temperatūrinį režimą. Iš 2 paveikslo matyti, kad tiekiamo šilumnešio visą sausio mėnesį temperatūra žemesnė nei grįžtamo, o tai reiškia, kad toks temperatūrinis režimas nėra galimas.

3 paveiksle pateikiama balandžio mėnesio alternatyvų A, B ir C analizė. Šio paveikslo žymėjimai yra identiški 2 paveiksliui. Šiame paveiksle atsispindi tos pačios nagrinėjamų alternatyvų tendencijos kaip ir 2 paveiksle. Alternatyva B gali padengti šilumos nuostolius ir pereinamuoju periodu, o alternatyvos A ir C gali būti atmetos dėl neužtikrinamų parametrų (atmetimo argumentai tapatūs 2 paveikslo argumentacijai).

Atlikus alternatyvų analizę galima pastebėti, kad kai paliekama esama galia temperatūrinio režimo žeminimas iki 60/40/20 °C temperatūrinio grafiko nėra įmanomas, bet jeigu pastatas būtų modernizuotas, tuomet galimas. Naudoti ultra žemų parametrų temperatūrinį grafiką (45/25/20 °C) pastato šildymo sistemoje nėra galimybės, net kai jis modernizuojamas. Todėl iš nagrinėtų atvejų galima įgyvendinti nagrinėtame objekte tik alternatyvą B.

Išvados

- Literatūros apžvalga parodė, kad esamų pastatų modernizavimas ir šildymo prietaisų tinkamas dydis leidžia pažeminti šildymo sistemos temperatūrą.
- Atlikus faktinių duomenų analizę buvo nustatyta, kad dabartinis nagrinėjamo pastato temperatūrinis grafikas yra 70/50/20 °C ir žeminti temperatūrinio režimo iki 60/40/20 °C galimybės nėra, nes tuomet yra neužtikrinamas reikiamas šilumos kiekis patalpai.
- Skaiciavimai parodė, kad kai po modernizavimo pastato galia sumažėja iki 40 W/m^2 (radiatorių skaičius paliekamas toks pats, koks yra dabar), galima pritaikyti žemesnį 60/40/20 °C temperatūrinį režimą.
- Nustatyta, kad paliekant esamą radiatorių skaičių ir modernizavus pastatą, šilumnešio temperatūrinį režimą sumažinti iki itin žemų parametrų (45/25/20 °C) nėra galimybės, t. y. radiatoriai negalės užtikrinti reikiamo šilumos kiekio patalpoms.

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>

- Arabkoohsar, A., & Sulaiman, A. (2020). A new generation of district heating system with neighborhood-scale heat pumps and advanced pipes, a solution for future renewable-based energy systems. *Energy*, 193, 116781. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116781>
- Büchle, R., Popovski, E., Aydemir, A., Fleiter, T., Bellst, D., & Steinbach, J. (2019). The role and costs of large-scale heat pumps in decarbonising existing district heating networks – A case study for the city of Herten in Germany. *Energy*, 180, 918–933. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.122>
- Buffa, S., Cozzini, M., Antoni, M. D., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 504–522. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059>
- Jangsten, M. (2016). *Survey of radiator temperatures in buildings supplied by district heating* (Publication No. BOMX02-16-83) [Master's thesis in the Sustainable Energy Systems Program, Chalmers University of Technology]. Gothenburg, Sweden.
- Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. (2019). *Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus 2018 metų apžvalga*. Vilnius.
- 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>
- Lund, H., Østergaard, P. A., Nielsen, T. B., Werner, S., Thorsen, J. E., Gudmundsson, O., Arabkoohsar, A., & Mathiesen, B. V. (2021). Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*, 227, 120520. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120520>
- Mäki, E., Kannari, L., Hannula, I., & Shemeikka, J. (2021). Decarbonization of a district heating system with a combination of solar heat and bioenergy: A techno-economic case study in the Northern European context. *Renewable Energy*, 175, 1174–1199. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.116>
- Mateu-Royo, C., Sawalha, S., Mota-Babiloni, A., & Navarro-Esbrí, J. (2020). High temperature heat pump integration into district heating network. *Energy Conversion and Management*, 210, 112719. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112719>
- Østergaard, D. S., & Svendsen, S. (2016). Theoretical overview of heating power and necessary heating supply temperatures in typical Danish single-family houses from the 1900s. *Energy and Buildings*, 126, 375–383. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.034>
- Rogoža, A., Šiupšinskas, G., Valančius, K. ir Mikučionienė, R. (2017). Modernizuotų daugiabučių namų monitoringo rezultatų analizė. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 9(4), 482–487. <https://doi.org/10.3846/mla.2017.1071>
- Sameti, M., & Haghighat, F. (2019). Optimization of 4th generation distributed district heating system: Design and planning of combined heat and power. *Renewable Energy*, 130, 371–387. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.068>
- Svendsen, S., Østergaard, D. S., & Yang, X. (2017). Solutions for low temperature heating of rooms and domestic hot water in existing buildings. In *3rd International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating* (pp. 1–24), Copenhagen, Denmark.
- Vivian, J., Emmi, G., Zarrella, A., Jobard, X., Pietruschka, D., & De Carli, M. (2018). Evaluating the cost of heat for end users in ultra low temperature district heating networks with booster heat pumps. *Energy*, 153, 788–800. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.081>

INFLUENCE OF APARTMENTS' MODERNIZATION ON THE TEMPERATURES OF HEATING SYSTEM IN THE BUILDING

G. Šiupšinskas, J. Bielskus, A. Rogoža

Abstract

When modernizing apartment buildings, heating appliances are replaced or old ones are left, high thermal temperatures are usually maintained, thus limiting the increase in the DH system's efficiency. In the article, in order to evaluate the impact of the reduced thermal temperature of the building on space heating when the radiator area remains constant, 3 alternatives have been analyzed. They include cases when after the building modernization old heating appliances are left, but the temperature of the heat carrier is reduced up to 60/40/20 °C in one case or even up to 45/25/20 in another alternative. There has also been examined the possibility of reducing the heat carrier temperature of the heating system without modernization of the building. An hourly data analysis of the heating system model for two typical months of the heating season has been performed. The analysis shows that after the modernization of the building, when heating device areas are left the same, the existing heating temperature can be reduced to 60/40/20 °C.

Keywords: district heating, modernization of building, reducing of temperature of building heating.