

# Pastato inžinerinių sistemų tyrimas taikant ekserginį sistemų vertinimo metodą

**Darius Biekša,**

**Vytautas Martinaitis**

*Šildymo ir vėdinimo katedra, Vilniaus  
Gedimino technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11-2414,  
LT-10223 Vilnius  
El. paštas: darius.bieksa@ap.vgtu.lt,  
vsmart@ap.vgtu.lt*

Efektyvesnis energijos vartojimas pastatuose yra vienas svarbiausių klausimų šiandienos energetikoje. Pastato inžinerinių sistemų energijos poreikius būtina minimizuoti, tačiau šiam tikslui taikytini metodai, galintys identifikuoti tiek kiekybinius, tiek kokybinius vartojamos energijos parametrus. Šiame darbe, kaip pirminis pastato inžinerinių sistemų optimizavimo etapas, pateikiama pastato inžinerinių sistemų eksergijos srautų analizė. Nagrinėjami atskirų sistemų elementų ekserginį srautų balansai bei jų įtaka visos sistemos ar jų grupės darbui.

**Raktažodžiai:** pastato inžinerinės sistemos, termodinaminė analizė, ekserginis vertinimas

## 1. ĮVADAS

Darnaus pastato, kaip darnios jame veikiančių inžinerinių sistemų visumos, tyrimas yra sudėtingas uždavinys, aprėpiantis tiek architektūrinius, tiek inžinerinius, tiek pastato naudojimo organizacinius klausimus. Akivaizdu, kad kompleksinis visų problemų sprendimas vien projektavimo stadijoje yra be galo sudėtingas procesas, reikalaujantis bene visų su pastatų statyba bei priežiūra susijusių mokslo sričių glaudaus bendradarbiavimo.

Šiame straipsnyje pristatomas eksergine analize paremtas pastato inžinerinių sistemų vertinimo metodas, leidžiantis identifikuoti kokybinius energijos transformavimo pastate parametrus.

## 2. METODIKA

Darbe nagrinėjamos energijos suvartojimo pastate efektyvumo didinimo galimybės. Iš gausybės kitų, atkreipiamas dėmesys į pastato inžinerinių sistemų integravimo, kitaip tariant, jų bendro darnaus veikimo priemonę. Darbe nagrinėjamoju objektu pasirinkus inžinerines sistemas, kitų pastatą sudarančių elementų įtaka yra sąmoningai apribojama, t. y. priimama, kad pastato architektūrinės (konstrukcinės) dalies parametrai yra jau numatyti ir negali būti keičiami. Taigi tyrimo sritį aiškiausiai būtų galima įvardyti kaip jau esamo pastato (arba naujai statomo su jau numatyta atitvarų konstrukcine dalimi) inžinerinių sistemų modernizavimą (projektavimą), siekiant minimizuoti pirminės energijos (eksergijos) suvartojimą. Taigi lygiagrečiai yra formuluojamas teorinis uždavinys išoriniam energijos tiekėjui pagaminti ir pateikti iki „pastato sienos“ reikalingo kiekio ir kokybės energiją. Įvertinant energetikos sektoriaus liberalizacijos procesus, toks uždavinio formulavimas yra teisingas, nes būtent vartotojas yra sprendžiančioji posistemė aprūpinimo energija grandinėje, diktuojanti tiek kokybinius, tiek kiekybinius energijos poreikius.

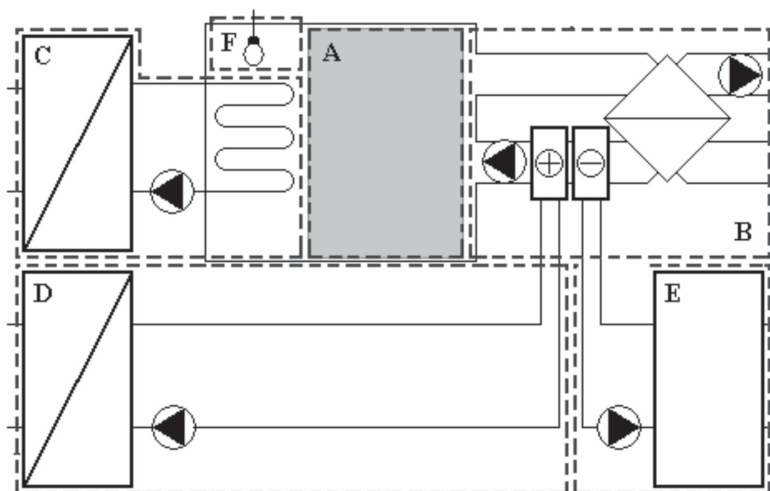
Darbe yra nagrinėjamos tipinės arba šiuo metu labiausiai paplitusios patalpų komfortines sąlygas užtikrinančios inžinerinės sistemų schemas. Jų tyrime testuota metodika leistų vėliau įvertinti pastatuose diegiamų inžinerinių sistemų įvairovę.

Pastato inžinerinių sistemų tyrimui taikomas termodinaminės analizės metodas. Termodinaminė analizė pasirinktam tyrimo objektui taikytina visų pirma dėl to, kad šiuolaikiniuose pastatuose aptinkamos įvairios technologijos bei įvairios energijos formas naudojančios sistemos. Iki šiol praktiškai visų energijos efektyvumo didinimo priemonių nauda, t. y. sutaupytos energijos kiekiai, buvo vertinama pasitelkiant tiktai pirmąjį termodinamikos dėsnį. Tai savo ruožtu neleidžia termodinamiškai teisingai palyginti skirtingų energijos rūšių srautus. Tam tikslui pasitelkiamos antro termodinamikos dėsnio nuostatos, deklaruojančios energijos nuvertėjimo arba degradacijos principus.

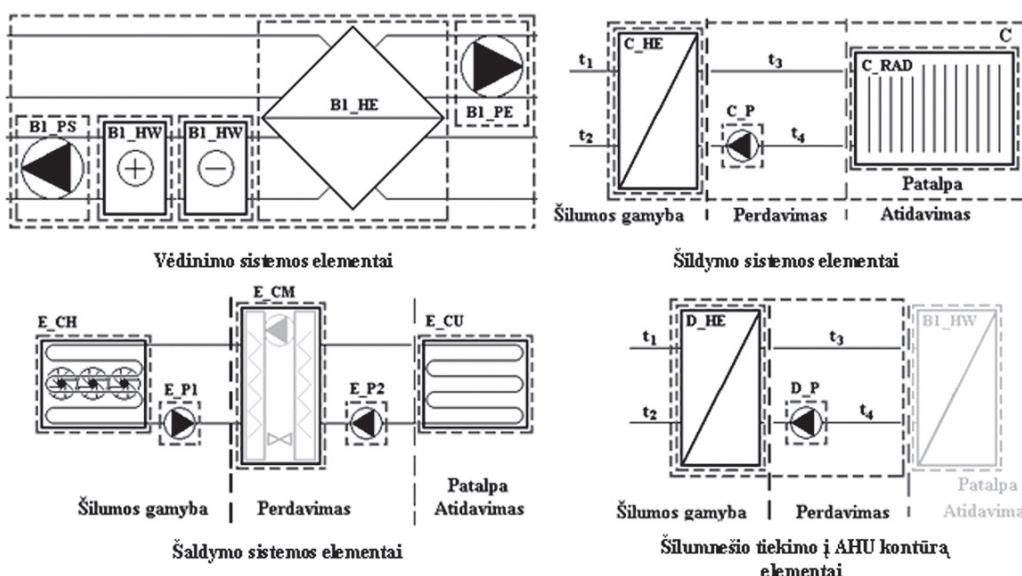
Pastato inžinerinių sistemų, kaip tyrimo objekto, aktualumą lėmė tai, kad, nuolatos kylant patalpų komfortinių sąlygų užtikrinimo reikalavimams (taip pat didėjant reikalavimams ir pačioms komfortinėms sąlygoms), sistemos sudėtingėja, atitinkamai komplikuojasi ir jų efektyvaus valdymo galimybė. Viena iš galimų išiečių, kuri pristatoma šiame darbe, yra ne atskirų pastato inžinerinių sistemų vertinimas, bet pastato inžinerinių sistemų kompleksinė analizė. Šiame darbe ir yra pristatomas pastato inžinerinių sistemų vertinimo modelis, kurio pagrindinė idėja yra pastato inžinerinių sistemų kaip visumos arba bendrosios pastato inžinerinės sistemos analizė.

Taikant termodinaminės analizės metodą kritinis momentas yra termodinaminės sistemos ribų nustatymas [1]. Principinė pastato inžinerinių sistemų schema su pažymėtomis sistemų ribomis pavaizduota 1 paveiksle.

Akivaizdu, kad 1 pav. pavaizduotos sistemos neapima visų pastate funkcionuojančių, tačiau energijos vartojimo intensyvumo atžvilgiu minėtosios yra vienos iš imliausių: A – patalpos, kurioje užtikrinamos komfortinės sąlygos, ribos; B – vėdinimo



1 pav. Pastato inžinerinių sistemų schema



2 pav. Pastato inžinerinės sistemos ir jos sudarantys elementai

sistemos ribos; C – šildymo sistemos ribos; D – šilumnešio tiekimo į vėdinimo kamerą sistemos ribos; E – šaldymo sistemos ribos; F – apšvietimo sistemos ribos. Suprantama, kad plačiau taikant šį modelį į jį bus įtrauktos ir kitos sistemos.

Schemoje pavaizduotos pagrindinės šaltuoju metų periodu energiją vartojančios inžinerinės sistemos. Atitinkamai išskirti pagrindiniai elementai, kuriuose vyksta energijos perdavimo ar transformavimo procesai. Atskirų sistemų schemas (1 pav. žr. pateiktą įvardijimą) pavaizduotos 2 pav.

Tyrimo pasirinkta vandeninė šildymo sistema. Karštas šilumnešis iš pastato šilumos punkto šilumokaičio (elementas C\_HE) tiekiamas į šilumos atidavimo patalpai prietaisus – radiatorius (elementas C\_RAD). Šilumnešio cirkuliaciją šildymo sistemos kontūre užtikrina cirkuliacinis siurblys (elementas C\_P), kuris dirba nuolatininiu režimu. Šilumos srautas, tiekiamas į patalpas, reguliuojamas keičiant tiekiamo šilumnešio temperatūrą, t. y. šildymo sistemos kontūre vykdomas kokybinis reguliavimas.

Numatoma vėdinimo sistemos schema – priverstinė mechaninė su tarpiniu šilumos atgavimu iš šalinamo oro. Oro srautams transportuoti naudojami išcentriniai ventiliatoriai (elementai B1\_PS ir B2\_PE). Šiluma iš šalinamo oro atgaunama plokšteliniame šilumokaičiuje be fizinio srautų maišymosi (elementas B1\_HE). Oras iki galutinės tiekimo temperatūros šildomas van-

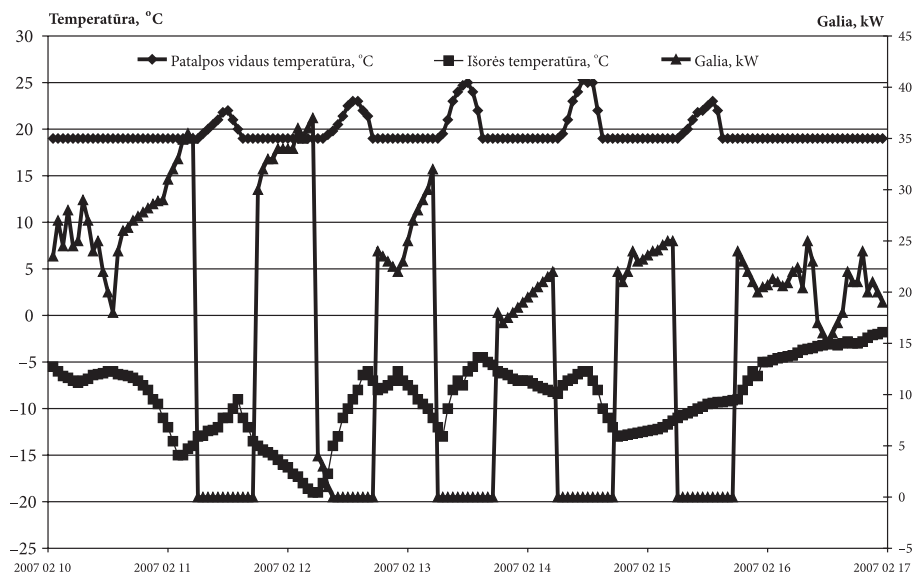
dens šilumokaičiuje (elementas B1\_HW), kuris šilumnešį, savo ruožtu, gauna iš pastato šilumos punkto. Šilumos srauto reguliavimo būdas analogiškas šildymo sistemos kontūrai, debitas pastovus, reguliuojama temperatūra.

Šilumos srautas į vėdinimo sistemos agregatą tiekiamas iš pastato šilumos punkto šilumokaičio (elementas D\_HE). Šilumnešio cirkuliaciją kontūru užtikrina cirkuliacinis siurblys (elementas D\_P).

Nagrinėjant technines sistemas aptinkamos šios energijos ir eksergijos formos: darbinė (mechaninė ar elektrinė), žymint tiek energiją, tiek eksergiją  $E$ ; šiluminė, žymint energiją  $Q$ , o eksergiją  $E_q$ ; viršminė (terminė ir cheminė), žymint energiją  $W$ , o eksergiją  $E_w$ . Siekiant identifikuoti energijos srautus kiekvienoje sistemoje bei kiekviename jos elemente, sprendžiamos energijos ir eksergijos balanso lygtys. Kiekvienam iš nagrinėjamų elementų galima užrašyti balanso lygtį:

$$\dot{E}_x^+ = \dot{E}_x^- + \dot{L}. \quad (1)$$

Šie eksergijos srautai nagrinėjamos inžinerinėse sistemose nustatomi tokiu būdu [2]: eksergijos srautas  $T$  temperatūros šilumą perduodant per sienelę  $T_a$  temperatūros aplinkai (atmosferai) apskaičiuojamas pasinaudojant Karno daugikliu:



3 pav. Tipinės žiemos savaitės įvesties paramet-  
rų modeliavimo rezultatas

$$\dot{E}_q = \dot{Q} \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T}\right). \quad (2)$$

Eksergijos srautai, kurie pernešami kartu su masės mainais, t. y. virsmo eksergijos srautai, apskaičiuojami pagal formulę:

$$\begin{aligned} \dot{E}_w &= \dot{M} \cdot \Delta k = \dot{M} \cdot (\Delta h - T_a \Delta s) = \\ &= \dot{M} \cdot c_p \left[ T'' - T' - T_a \left( \ln \frac{T''}{T'} + \frac{R}{c_p} \ln \frac{P'}{P''} \right) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Iš 3 formulėje pateiktos priklausomybės matyti, kad entropijos (eksergijos nuostolių) gamybai turi įtakos tiek temperatūros, tiek slėgio svyravimai energijos transformavimo procesuose. Absoliutaus slėgio pokyčiai (kaip ir koncentracijos) nagrinėjama tyrimų objekte yra nežymūs, todėl jų įtaka dėl menkavertiško darbe nevertinama.

Eksergijos srautų, tiekiamų į slėgiklius (ventiliatoriai, siurbiai), skaičiavimas atliekamas pagal formulę [3, 4]:

$$E_p = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P}{\eta_F \cdot \eta_P \cdot \eta_V \cdot \eta_K}. \quad (4)$$

Kaip bus matyti iš gautų rezultatų, toks eksergijos srautų skirstymas pagal sistemų elementus leidžia identifikuoti vietas, kuriose patiriami didžiausi eksergijos nuostoliai.

Aukščiau pateiktas pastato inžinerinių sistemų ir jų elementų termodinaminis aprašas leidžia identifikuoti ir apskaičiuoti eksergijos srautus esant statinėms sąlygoms, t. y. turint fiksuotas išorės temperatūrą, vidaus patalpų temperatūrą bei momentinę šildymo sistemoje pareikalaujamą šiluminę galią. Momentinė šiluminė galia vėdinimo sistemai nustatoma pagal išorės oro temperatūros kitimą ir reikiamo tiekti oro kiekį. Tam, kad būtų galima vykdyti sistemų tyrimus pasirinktais jų naudojimo periodais, būtina turėti įvesties parametų kitimo sekas pasirinktais periodais. Kitais žodžiais tariant, tam, kad ekserginio skaičiavimo modelis galėtų atlikti pasirinkto periodo dinaminę sistemų analizę, reikia išmatuoti arba sugeneruoti įvesties duomenis. Tai gali būti atlikta dvejopai: tiesioginių matavimų būdu arba pasitelkiant kompiuterines modeliavimo priemones. Šiame tyrime

dėl tiesioginių matavimų vykdymo sudėtingumo ir ribotų fizinių galimybių buvo pasirinktas antrasis įvesties duomenų generavimo būdas – kompiuterinis modeliavimas.

### 3. TYRIMŲ OBJEKTAS

Tyrimų objektu pastato inžinerinių sistemų skaičiavimo modeliui pritaikyti buvo pasirinktas teorinis administracinio pastato modelis, kuris sukurtas kompiuterinio modeliavimo programa "Designbuilder" [5]. Pasirinkta pastato plano forma – stačiakampis. Bendras vidaus plotas sudaro 750 m<sup>2</sup>. Pastatas dvi aukštis. Įstiklinimo lygis siekia 30% išorinio fasado ploto. Sienų šiluminė varža atitinka vidutinio lengvumo konstrukcijas, t. y. R = 3,0 (m<sup>2</sup>K) / W. Patalpų naudojimo režimas 10/5 (dešimt valandų per parą / penkias dienas per savaitę). Atliekamas lengvo fizinio krūvio darbas – spausdinimas. Žmonių tankumas pastate 0,2 žm. / m<sup>2</sup>. "Designbuilder" programa leidžia modeliuoti pastato elgseną įvairiais metų periodais, t. y. generuoja energijos poreikio grafikus, įvertina išorės bei vietinių šilumos šaltinių įtaką patalpų termodinaminiam balansui. Kaip fragmentas 3 paveiksle parodyti apdoroti tipinės žiemos savaitės periodo įvesties parametų modeliavimo rezultatai.

Pastato termodinaminė būklė modeliuojama kas 30 minučių, t. y. gaunamos įvesties parametų statinių reikšmių sekos.

Pagal gautus šiluminės energijos poreikius modeliuojami atskirų sistemų darbo režimai, nustatomi tiek šilumos, tiek elektros energijos poreikiai atskiriems jų elementams. Šiluminės energijos poreikis šildymui padidėja pastato nenaudojimo valandomis, nes tuo metu šilumos nuostolių nekompensuoja nei vidiniai, nei išoriniai šilumos pritekėjimai. Kai pastatas nenaudojamas, vėdinimo sistema išjungama. Tuo tarpu šildymo sistema išsijungia kompensuoja susidarantį šilumos nuostolius palaikydama numatytą pastovią patalpų vidaus temperatūrą, lygią +20°C. 3 paveiksle matyti, kad kai kuriais laikotarpiais patalpų vidaus temperatūra pakyla aukščiau kaip +25°C, tai atsitinka tuomet, kai vietiniai ir išoriniai šilumos pritekėjimai viršija pastato šilumos nuostolių srautą.

#### 4. REZULTATAI

Sugeneravus pastato inžinerinių sistemų termodinaminio modelio įvesties duomenis buvo atliktas sistemų veikimo modeliavimas viso šildymo sezono laikotarpiui. Vykdydamas gautų skaičiavimo rezultatų analizę išskiriami trys būdingi sistemų veikimo laikotarpiai: tipinės žiemos savaitė, pereinamojo laikotarpio savaitė ir agreguoti viso šildymo sezono skaičiavimo rezultatai.

Jame pateikti dydžiai atitinka tipinės žiemos savaitės sistemų darbo eksergijos poreikius. Žiemos savaitės sistemų eksergijos poreikių tyrimas iš esmės yra artimiausias iki šiol vykdytiems darbams šioje srityje, kuomet buvo vertinami sistemų eksergijos srautai esant statinėms projekcinėms sąlygoms [6–11]. Publikuotų tyrimų, kuriuose ekserginė analizė aprėptų ištisą šildymo sezono laikotarpį, kol kas nerasta.

4 paveiksle stulpeliai, pažymėti E<sup>+</sup>, rodo į elementą pateiktos eksergijos kiekį nagrinėjamoju laikotarpiu, o E<sup>-</sup> parodo iš elemento išeinančios eksergijos kiekį. Skirtumas tarp į elementą pateiktos ir jį palikusios eksergijos kiekių parodo, kiek tiektinos į elementą eksergijos buvo jame sunaikinta, t. y. eksergijos nuostolius elemente. Stulpeliai su taškuotu fonu atspindi eksergijos poreikį elektros forma, tuo tarpu be jų – eksergiją šilumos pavidalu.

Kaip matyti 4 paveiksle, didžiausi eksergijos nuostoliai patiriami šilumokaičiuose (C\_HE, C\_RAD, B1\_HW), kuriuose vyksta šiluminės energijos devalvacija, t. y. aukštesnio potencialo šiluminė energija transformuojama iki žemų temperatūrų (patalpos temperatūros) lygio. Pirmo termodinamikos dėsnio atžvilgiu tai nėra smerktinas procesas, tačiau pasitelkus termo-

dinaminį vertinimą tampa aiškus eksergijos švaistymo faktas. Vienintelis būdas sumažinti patiriamus nuostolius yra tiekiamo šilumnešio energijos potencialo (temperatūros) mažinimas, taip įgalinant panaudoti žemo potencialo šilumos šaltinius pastato viduje ir išorėje, pvz., atsinaujinančiuosius. Savo ruožtu, tai atsiemia į šilumnešio debitų didėjimą, turintį įtakos šilumokaitos įrenginių dydžiui.

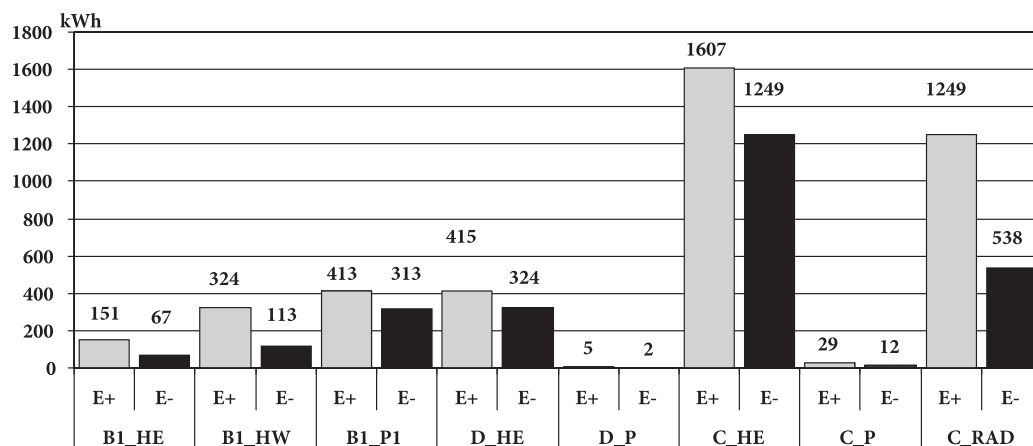
Įdomus indikatorius yra vėdinimo sistemos ventiliatoriuose sunaudojamos eksergijos kiekis. Ypač tai stebima palyginant tipinės žiemos savaitės ir pereinamojo laikotarpio eksergijos srautus. Skaičiavimo rezultatai pereinamojo laikotarpio savaitei parodyti 5 paveiksle.

Akivaizdu, kad šis elementas yra vienas intensyviausiai eksergiją naudojančių vėdinimo sistemos įrenginių, tačiau projektavimo stadijoje šiuo metu į tai nekreipiama dėmesio [3]. Papildomai reikia pažymėti, kad modeliuojant vėdinimo sistemą ventiliatorių savitoji galia (angl. *specific fan power*) buvo priimta lygi 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). Tai atitinka šiuolaikinius naujai diegiamų sistemų efektyvumo reikalavimus analizuojamam pastatų tipui.

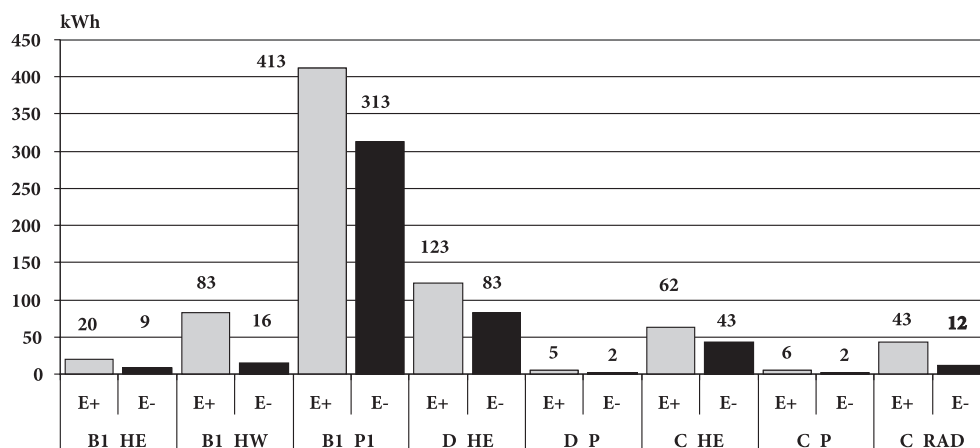
Matyti, kad 4 ir 5 paveiksluose pateikti eksergijos poreikių grafikai skiriasi ne tik pareikalaujamos eksergijos kiekiu, bet ir struktūra. Eksergijos poreikis šilumos forma yra sumažėjęs, tuo tarpu eksergijos poreikis elektros forma išlieka pastovus.

Agreguoti šildymo sezono eksergijos poreikiai parodyti 6 paveiksle.

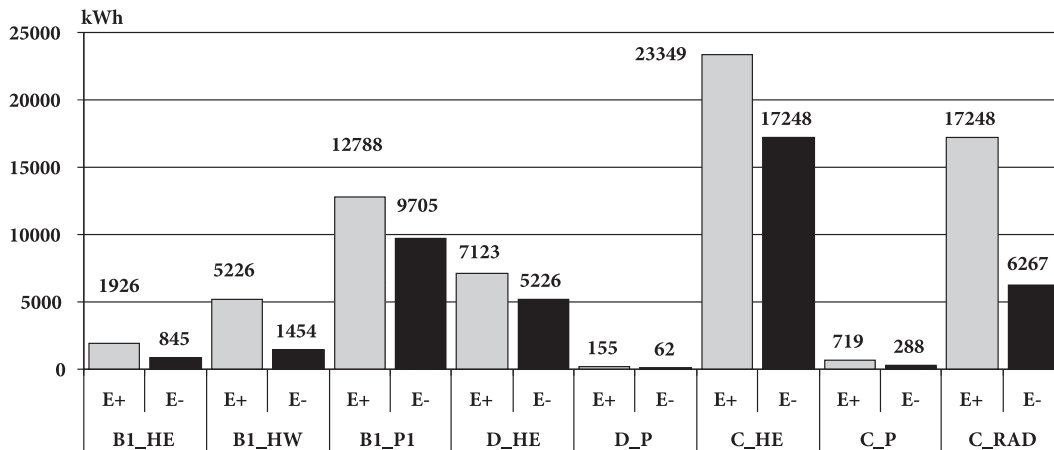
Gauti rezultatai rodo, kad per šildymo sezoną išorinis tiekėjas turėtų pastatui pateikti 47,7 kWh/m<sup>2</sup> eksergijos, kurios struktūrą sudaro 29,5 kWh/m<sup>2</sup> (arba 62%) eksergijos šilumos pavidalu ir 18,2 kWh/m<sup>2</sup> (arba 38%) – elektra.



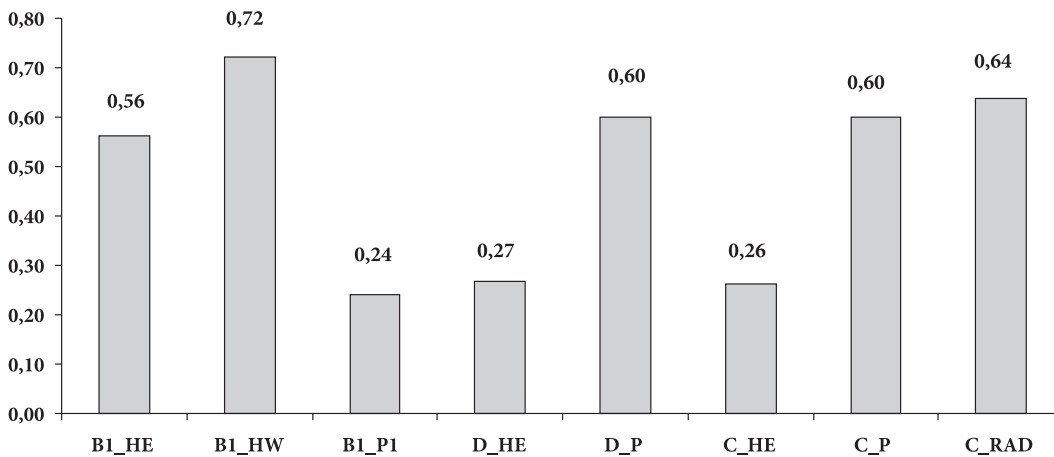
4 pav. Suminiai tipinės žiemos savaitės eksergijos poreikiai



5 pav. Suminiai tipinės pereinamojo laikotarpio savaitės eksergijos poreikiai



6 pav. Suminiai šildymo sezono eksergijos poreikiai



7 pav. Sąlyginis eksergijos nuostolių pasiskirstymas sistemų elementuose

Pagal 2 paveiksle parodytą pastato inžinerinių sistemų jungimo schemą, į šildymo ir vėdinimo sistemas nukreipiami panašūs eksergijos kiekiai: į vėdinimo sistemą tiekiami  $24,1 \text{ kWh/m}^2$  (tai sudaro 50,5% viso eksergijos srauto), kita dalis –  $23,6 \text{ kWh/m}^2$  – tenka šildymo sistemai. Detalizuojant galima paminėti, kad iš vėdinimo sistemai skiriamos eksergijos kiekio 71,6% sudaro eksergija elektros forma, atitinkamai šildymo sistemai elektros pavidalu tiekiami eksergija tesiekia 4%. Antra vertus, absoliutūs tiekiamos eksergijos kiekiai negali identifikuoti jos panaudojimo efektyvumo lygio, todėl 7 paveiksle pavaizduotas proporcinis eksergijos nuostolių pasiskirstymas sistemų elementuose. Diagramoje vaizduojamas atskirame elemente patiriamų nuostolių santykis su į tą elementą patiektos eksergijos kiekiu, t. y. parodoma, kuri dalis pirminiai patiektos eksergijos buvo sunaikinta (iššvaistyta) elemente.

7 paveiksle matyti, kad didžiausių eksergijos nuostolių patiriama šilumokaičiuose, kuriuose šiluma iš aukštesnį potencialą turinčios energijos transformuojama į žemų temperatūrų lygmenį (artimo patalpos temperatūrai), t. y. vėdinimo kameros šilumokaičiuose B1\_HW, šildymo sistemos radiatoriuose C\_RAD. Be to, gana didelių nuostolių patiriama kontūrų cirkuliaciniuose siurbliuose, tačiau tai siejasi su pačių siurblių efektyvumo klausimu, o ne su jais transportuojamų srautų kokybiniais parametrais.

## 5. IŠVADOS

1. Darbe atliktas charakteringų sistemų veikimo periodų momentinių galių tyrimas įgalina nustatyti atskirų sistemų ir jų

elementų veikimo režimus esant būdingoms išorės klimato sąlygoms, identifikuoti eksergijos vartojimo efektyvumo didinimo vietas, parinkti galimas optimizavimo ir integracijos priemones.

2. Darbe nagrinėjama administraciniam pastatui reikalingos tiekiamos eksergijos, kurios būtinais reikiama vien komfortinėms sąlygoms patalpoje palaikyti, kiekis yra  $29,5 \text{ kWh/m}^2$ , iš to skaičiaus 77% tenka šildymo sistemai, 23% – vėdinimo sistemai.

3. Perduodant patalpai reikalingą būtiną eksergijos srautą pastato inžinerinėmis sistemomis papildomai sunaudojama  $18,2 \text{ kWh/m}^2$  eksergijos, iš kurios 5% tenka šildymo sistemai, 95% – vėdinimo sistemai.

4. Visas eksergijos kiekis, kuris turi būti patiektas iki pastato inžinerinių sistemų (6 pav.) ribos, sudaro  $47,7 \text{ kWh/m}^2$ , iš to skaičiaus 49,5% tenka šildymo sistemai, 50,5% – vėdinimo sistemai. Tiekiamos eksergijos struktūrą sudaro 38% eksergijos elektros pavidalu ir 62% – šiluma.

## Žymėjimai

$\dot{E}_x^+$  – elementui suteiktos eksergijos srautas W

$\dot{E}_x^-$  – po proceso elemente išlikusios eksergijos srautas W

$\dot{L}$  – patirti eksergijos nuostoliai W

$\dot{V}$  – oro srautas  $\text{m}^3/\text{s}$

$T_a$  – pastato apsuptyties temperatūra K

$T$  – šilumos srautą sukianti temperatūra K

$\dot{M}$  – masės srautas (debitas) kg/s

$\Delta k$  – masės srauto koentalpijų skirtumas kJ/kg

$\Delta h$  – masės srauto entalpijų skirtumas kJ/kg



$\Delta s$  – masės srauto entropijų skirtumas kJ/(kgK)  
 $\eta_F$  – ventiliatoriaus (siurblio) darbo rato efektyvumas  
 $\eta_p$  – perdavimo sistemos efektyvumas  
 $\eta_V$  – variklio efektyvumas  
 $\eta_K$  – kontrolės efektyvumas

Gauta 2007 07 10

Priimta 2007 09 20

## Literatūra

1. Martinaitis V. Pastato gyvavimo ciklo termodinaminės analizės modelis. Vilnius: Technika, 2001. 171 p.
2. Borel L. Thermodynamique et energetique. Lausanne: Presses polytechniques romandes, 1991. 710 p.
3. Cory W. T. W. The Role of the Fan Industry in the Field of Energy Efficiency in Motor Driven Systems Reviews. 2005 July / August. No. 77.
4. Juodis E. Vėdinimas. Vilnius, 1998.
5. Kompiuterinės programos "Designbuilder". <http://www.designbuilder.co.uk>
6. Schmidt D. Design of Low Exergy Buildings – Methods and Pre-Design Tool // International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings. 2003. Vol. 3. P. 1–47.
7. Shukuya M., Hammache A. Introduction to the Concept of Exergy – for a Better Understanding of Low-Temperature-Heating and High-Temperature-Cooling Systems // VVT Research Notes 2158. Finland. 2002. P. 57.
8. Martinaitis V. Tipinių daugiabučių pastatų gyvavimo ciklo eksergijos poreikių įvertinimas // Statyba. 1999. T. V. Nr. 1. P. 53–58.
9. Martinaitis V. Šildymo katilo ekserginis įvertinimas // Energetika. 1999. Nr. 1. P. 70–75.
10. Biekša D., Martinaitis V. An estimation of exergy consumption patterns of energy-intensive building service systems // Journal of Civil Engineering and Management. 2006. Vol. XII. No. 1. P. 37–42.
11. Biekša D., Martinaitis V. An estimation of life cycle exergy consumption of energy-intensive microclimate conditioning systems // Proceedings of the 6th International Conference on Energy for Buildings. "Energy for buildings". Vilnius, 2004. P. 205–220.

Darius Biekša, Vytautas Martinaitis

## ANALYSIS OF BUILDING SERVICE SYSTEMS APPLYING EXERGETICAL SYSTEM EVALUATION

### Summary

Energy efficiency in buildings is one of the most important issues in energetics. The energy loads of building service systems consisting of different forms have to be reduced and the methods used should allow identifying quantitative as well as qualitative energy parameters. As the primary stage of building service system optimization, this paper presents energy flow analysis of building service systems. Unlike other researchers, building service systems in this paper are analysed not only under the static situation (designing conditions), but also by examining operational data. This enables a more explicit view on a system's quantitative and qualitative energy requirements.

**Key words:** building service systems, thermodynamical analysis, exergy evaluation

Дарюс Бекша, Витаутас Мартинайтис

## АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСЕРГИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ

### Резюме

Эффективное использование энергии в зданиях является одним из актуальных вопросов современной энергетики. Потребность энергии в инженерных системах здания должна быть минимизирована, при этом следует применять методы, способные определять как качественные, так и количественные параметры. В качестве начального этапа работы по оптимизации инженерных систем здания применен эксергический анализ потоков энергии. Анализируются баланс отдельных систем здания, а также влияние эксергических потоков на работу всей системы или на её отдельные группы.

**Ключевые слова:** системы обслуживания здания, термодинамический анализ, эксергический анализ