



GAMYBINIO PASTATO SU ADMINISTRACINIŲ KORPUSŲ ENERGIJOS BALANSO TYRIMAS

Juozas BIELSKUS¹, Giedrius ŠIUPŠINSKAS², Dovydas RIMDŽIUS³,
Kęstutis KUZMINSKAS⁴, Šarūnas GRUZDA⁵

^{1, 2, 3}Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

^{4, 5}UAB „SALDA“, Šiauliai, Lietuva

El. paštas: ¹juozas.bielskus@vgtu.lt; ²giedrius.siupsinskas@vgtu.lt; ³dovydas.rimdzius@vgtu.lt;

⁴kestutis.kuzminskas@salda.lt; ⁵sarunas.gruzda@salda.lt

Santrauka. Siekiant įvertinti energijos taupymo potencialą skirtingos paskirties pastatuose susiduriama su esamos padėties energijos balanso įvertinimo problema. Dažniausiai duomenys apie energijos srautų kiekius ir jų kitimo pobūdį yra suminiai ir netspindi komforto rodiklių. Todėl šiame straipsnyje kaip pavyzdį pateikiant vienos įmonės pastatų komplekse atliktą vienu metų duomenų kaupimo tyrimą analizuojamas detalesnio energijos balanso sudarymas. Vertinimas atliktas sisteminės analizės požiūriu, tai yra objekto sistema buvo skaidoma į atskiras posistemas, kurios buvo atskirai modeliuojamos energyPRO kompiuterine programa, atsižvelgiant į šių posistemių tarpusavio ryšį. Šio darbo metu taikyti atskirų posistemių šilumos ir masės balansų bei statistinės analizės metodai. Statistinė analizė buvo taikoma vertinant metus trukusių matavimų sukauptų rodmenų (temperatūros, santykinės drėgmės ir kt.) statistinį patikimumą.

Reikšminiai žodžiai: pastatų energijos balansas, patalpų mikroklimatas, statistinė analizė, modeliavimas, energyPRO.

Įvadas

Daugelyje Europos Sąjungos šalių pastatai yra didžiausi energijos vartotojai (De Rosa *et al.* 2014; Yan *et al.* 2012). Lietuvoje šio sektoriaus poreikis viršija 40 % galutinės energijos ribas ir čia matomas didžiausias energijos taupymo potencialas (Lietuvos statistikos departamentas 2013). Mažinti energijos ir medžiagų vartojimą, didinti šio vartojimo efektyvumą ekonomiškai patikimu būdu galima įgyvendinant energijos vadybą vartotojo organizaciniais, techniniais ir elgsenos veiksmais. Šie veiksmai formuojami visų pirma pagal vadinamąjį energijos vartojimo auditą. Energijos vartojimo, arba tiesiog energinis, auditas – tai pagal paskirtį veikiančio objekto energijos vartojimo sistema, nepriklausoma, racionali ir dokumentuota analizė, leidžianti parinkti ekonomiškai ir technologiškai priimtinas priemones išlaidoms už energiją mažinti (Martinaitis *et al.* 2012). Energinio audito rezultatas – energijos taupymo priemonės (jų rinkinys), kurios leistų sumažinti energijos poreikį. Tuo atveju, kai pastatas ne vienos paskirties ir turi keletą energijos požiūriu imlių techninių sistemų, ypatingą svarbą įgauna tinkamas ir tikslus analizuojamo objekto energijos poreikio įvertinimas arba kitaip – viso energijos poreikio balanso nustatymas.

Literatūroje išskiriami trys energijos poreikio balansą esamame pastate įvertinantys metodai: skaičiavimu pagrįstas vertinimas (pvz., modeliavimas), matavimais pagrįstas vertinimas (remiantis skaitiklių sukauptais duomenimis) ir mišrus vertinimas sujungiant abu vertinimo būdus (Yan *et al.* 2015). Daugiabučių pastatų energijos balansą padeda nustatyti gana detali energijos srautų sąnaudų apskaitos sistema. Pastatus, kurie turi sudėtingesnes energijos vartojimo ir generavimo sistemas, įvertinti yra žymiai sudėtingiau. Dažniausiai duomenys apie energijos srautų sąnaudas kaupiami nepakankamu intervalu ir yra agreguoti. Siekiant identifikuoti energijos taupymo potencialą reikia įvertinti ne tik suminį energijos balansą, bet ir būtina atsižvelgti į atskirų srautų kitimą. Formuluojuama problema, kad kompleksiniuose pastatuose, kuriuos sudaro administracinis ir gamybiniai pastatai, esama duomenų kaupimo įranga yra nepakankama siekiant tinkamai įvertinti energijos poreikių balansą ir identifikuoti galimas energijos taupymo priemones bei jų sukuriamą efektą, todėl būtinas trūkstumų duomenų matavimas bei jų kaupimas.

Šio darbo pagrindinis tikslas yra modeliuojant įvertinti metinį pastato energijos balansą remiantis detalesne vieno

sezono (šaltojo ir šiltojo) UAB „Salda“ pastatų komplekso esamų sistemų apkrovos ir sukuriama patalpų mikroklimato matavimų analizė.

Objektas

Staipsnyje nagrinėjami Šiauliuose esančio 26,5 tūkst. m² gamybinės paskirties pastatų komplekso inžinerinių sistemų veikimo režimai bei mikroklimato sąlygos. Objekte yra įrengti du dujų įvadai, iš kurių dujos tiekiamos į skirtingas hidrauliškai atskirtas katilines ir skirtingas dujas vartojančius įrenginius. Kiekviename įvade numatyta dujų apskaita (1 pav., a).

Per pirmąjį dujų įvadą dujos tiekiamos kogeneraciniam įrenginiui „MWB“ (šildymo galia yra 200 kW; elektros galia – 124 kW; bendra kuro poreikio galia yra 361 kW) bei Viessmann „Vitoplex 100“ (nominali šiluminė galia 400 kW; bendra kuro poreikio galia – 440 kW) dujiniam katilui. Kogeneracinis įrenginys pagamintas 2004 metų pabaigoje, analizuojamame pastate veikia tik nominaliu režimu, t. y. tuo atveju, kai yra didesnis kaip 200 kW šilumos poreikis sistemoje (t. y. tik šaltuoju metų laiku). Pagaminta elektra suvartojama pastatų komplekse savo reikmėms. Dujinio katilo ir kogeneracinio įrenginio pagaminta šiluma vartojama patalpoms šildyti, karštam vandeniui ruošti ir technologiniam procesui užtikrinti.

Antrasis dujų įvadas dujas tiekia į du dujinius katilus (Viadrus „G300“ nominali galia 103 kW, bendra kuro poreikio galia – 110 kW; Viadrus „G300 18“ nominali galia yra 172 kW, bendra kuro poreikio galia – 182 kW), dujinius orinius šildytuvus (10 vnt.) ir technologinį įrenginį (įrengtas dažymo patalpoje: du dujiniai degikliai, kurie šildo orą gaminiams džiovinti). Katiluose pagaminta šiluma vartojama

patalpoms šildyti ir karšto vandentiekio sistemai, o dujinių orinių šildytuvų pagaminta šiluma vartojama tik patalpoms šildyti.

Metodika

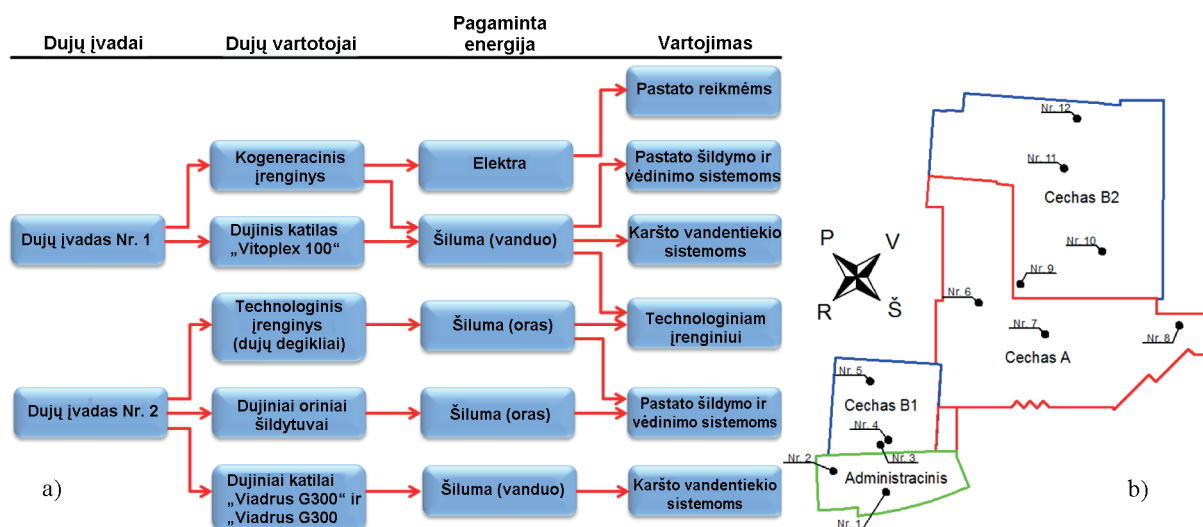
Pastato energinis balansas svarbus siekiant nustatyti energijos suvartojimą atskiruose procesuose (karšto vandens ruošimo, šildymo, vėdinimo ir technologiniuose procesuose). Straipsnyje vadovaujama sisteminiu požiūriu, t. y. į analizuojamą pastatų kompleksą žvelgiama kaip į tarpusavy susijusią sistemą, kurią sudaro atskiri elementai. Siekiant įvertinti viso pastatų komplekso energinį balansą, būtina detalai įvertinti kiekvieno atskiro elemento (posistemės) balansą. Nuo 2013 04 05 iki 2014 04 02 buvo atliekami atskirų inžinerinių sistemų energijos srautų ir mikroklimato sąlygų faktiniai matavimai. Atskirų posistemų faktiniai balansai perskaiciuoti atsižvelgiant į normines sąlygas. Taip gauti rezultatai atspindi galimus analizuojamo objekto energijos poreikius, kai užtikrinami norminiai reikalavimai.

Siekiant didesnio patikimumo dideli duomenų kiekiai buvo apdorojami statistinės analizės metodais. Statistinė analizė taikoma siekiant pašalinti netinkamus matavimus, kurie nepatenka į 95 % pasikliautinumo ribą. Šis metodas plačiau aptariamas leidiniuose (Čekanavičius 2011; Čekanavičius, Murauskas 2000; Čekanavičius, Murauskas 2002).

Visos sistemos energinis balansas sudaromas šiuo principu:

$$Q_d = \frac{Q_{kat}}{\eta_{kat}} + Q_{tech} + Q_{v.sild} + Q_{kog}, \text{ kWh}, \quad (1)$$

čia Q_d – visas suvartotas dujų kiekis, kWh; Q_{kat} – pagamintas šilumos kiekis katiluose, kWh; η_{kat} – katilų naudingum-



1 pav. Gamybinių pastatų komplekso energetinio ūkio schema (a) ir matavimo prietaisų išdėstymas plane (b)
Fig. 1. The scheme of energy systems of the industrial building complex (a) and the location of measuring equipment (b)

mo koeficientas; $Q_{v.sild}$ – suvartotas dujų kiekis vietiniuose šildytuvuose, kWh; Q_{tech} – suvartotas dujų kiekis technologiniame įrenginyje, kWh; Q_{kog} – suvartotas dujų kiekis kogeneraciniame įrenginyje, kWh.

Skaičiavimai atliekami suvienodinus matavimo vienetus, pvz., dujų kiekis (m^3) konvertuojamas į suvartotos energijos kiekį nusakančius matavimo vienetus (kWh).

Suvartotas dujų kiekis pateiktas normaliniais m^3 , todėl įvertinus kuro šilumingumą jis perskaičiuojamas į kWh. Perskaičiuoti minėtus dydžius, kai žinomas kuro šilumingumas, galima taip:

$$Q_d = \frac{4,187 \cdot (V_b - V_{b-1}) \cdot q}{3600}, \text{ kWh}, \quad (2)$$

čia V_b – gamtinių dujų kiekis, m^3 ; V_{b-1} – gamtinių dujų kiekis prieš vieną valandą, m^3 ; q – žemutinė gamtinių dujų šilumingumo vertė, kcal.

Iš 1 pav., a, matyti, kad dujinių katilų šiluma vartojama karšto vandens, šildymo sistemose bei technologiniame įrenginyje. Todėl tai galime užrašyti bendrąja formule:

$$Q_{kat} = Q_{kv} + Q_{sild} + Q_{sil.tech}, \text{ kWh}, \quad (3)$$

čia Q_{kv} – katiluose pagamintas karšto vandens kiekis, kWh; Q_{sild} – katile pagamintas šilumos kiekis pastatui šildyti, kWh; $Q_{sil.tech}$ – katile pagamintas šilumos kiekis technologiniam procesui, kWh;

Suvarotas dujų kiekis, įvertinus pagamintą šilumos kiekį katile, skaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_{kat} = \frac{L \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_{ist} - t_{it}) \cdot \eta}{3600}, \text{ kWh}, \quad (4)$$

čia L – šilumnešio debitas, m^3/h ; c_p – šilumnešio (vandens) savitoji specifinė šiluma, $kJ/(kg \cdot K)$; ρ – šilumnešio tankis, kg/m^3 ; t_{ist} – ištekančio iš katilo šilumnešio temperatūra, $^{\circ}C$; t_{it} – įtekančio į katilą šilumnešio temperatūra, $^{\circ}C$; η – katilo efektyvumas.

Pirma nustatoma, kiek energijos reikia karštam vandeniui ruošti bei jo temperatūrai palaikyti, todėl analizei pasirenkamas šiltojo laikotarpio mėnuo (liepa). Jis pasirenkamas todėl, kad yra šilčiausias metuose (RSN 156-94) ir šiuo laikotarpiu neveikia patalpų šildymo sistema ir kogeneracinis įrenginys. Tai leidžia lengviau iš įvado Nr. 1 dujų suvartojimo ir atliktų matavimų nustatyti vidutinės karšto vandentiekio sistemos šilumos sąnaudas. Modeliuojant pirmąjį etapą, daromos šios prielaidos:

- pastato karšto vandens temperatūros palaikymas bei nuostoliai šilumos tiekimo vamzdyne (dėl karšto vandens temperatūros palaikymo) šiltuoju laiku priskiriami prie nuostolių, o šaltuoju laikotarpiu vertinama, kaip naudingai suvartota šiluma šildyti;
- didžiausias karšto vandens poreikis fiksuojamas kiekvieną darbo dieną nuo 7⁰⁰ iki 17⁰⁰ valandos.

Šilumos kiekiai, vartojami patalpoms šildyti, turi būti normalizuoti (Martinaitis *et al.* 2010), t. y. faktinės šildymo sąnaudos perskaičiuojamos į normines. Kiekvienai faktiniai metai rodo skirtingas šilumos sąnaudas, tai matyti ir atlikus analizuoto 2013–2014 metų žiemos laikotarpio vertinimą. Šiuo periodu buvo šilta, t. y. norminių metų Šiaulių miesto šildymo sezono vidutinė lauko oro temperatūra $0,6^{\circ}C$ (šildymo sezono trukmė 222 dienos) (RSN 156-94), o išmatuota faktinė tesiekė $2,7^{\circ}C$ (nuo 2013 09 26 iki 2014 04 02, t. y. 189 d.).

Faktinės šildymo sąnaudos perskaičiuojamos į normines pagal formulę:

$$Q_{f.s.n.} = Q_{f.s.} \cdot \frac{(t_{i.n.} - t_{e.n.}) \cdot Z_n}{(t_{i.f.} - t_{e.f.}) \cdot Z_f}, \quad (5)$$

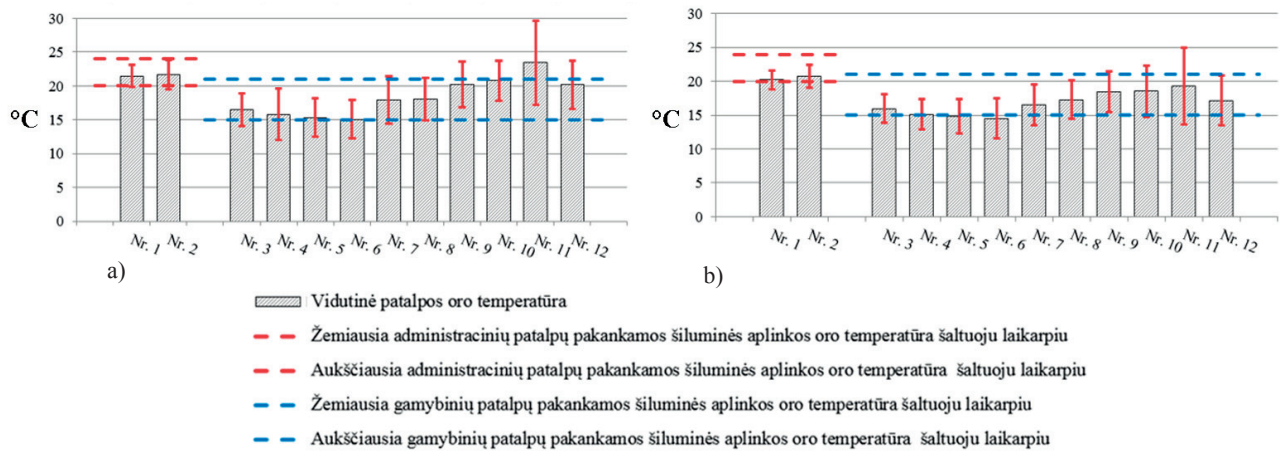
čia $Q_{f.s.n.}$ – pastato faktinės šilumos energijos sąnaudos patalpoms šildyti, perskaičiuotos norminiam šildymo sezonui, MWh; $Q_{f.s.}$ – paskutinių kalendorinių metų šildymo sezono faktinės šilumos energijos sąnaudos patalpoms šildyti ir vėdinti, MWh; $t_{i.n.}$ – pastato patalpų norminė oro temperatūra, $^{\circ}C$; Z_n – šildymo sezono trukmė norminiais metais (dienomis); $t_{e.n.}$ – šildymo sezono vidutinė oro temperatūra norminiais metais, $^{\circ}C$; $t_{i.f.}$ – pastato patalpų faktinė oro temperatūra, $^{\circ}C$; $t_{e.f.}$ – šildymo sezono vidutinė oro temperatūra faktiniais metais, $^{\circ}C$.

Rezultatai

Pastato šildymo ir vėdinimo inžinerinių sistemų pagrindinė paskirtis užtikrinti komfortišką aplinką patalpose. Šioje dalyje pateikiama pastato temperatūros ir santykinės drėgmės vertintu laikotarpiu rezultatų analizė. Jos tikslas – nustatyti patalpose palaikomą šiluminio komforto lygį. Tai svarbu, nes šis veiksnys tiesiogiai siejamas su energijos poreikiu ir netiesiogiai su darbuotojų darbo efektyvumu (esant netinkamai aplinkai darbuotojų darbo efektyvumas mažėja).

Objekto administraciniame ir gamybiniuose pastatuose buvo įrengta 12 temperatūros ir santykinės drėgmės matavimo prietaisų. Pastatų principinė schema ir vieta, kurioje fiksuotos temperatūros ir santykinės drėgmės reikšmės, pateikta 1 pav., b. Temperatūros jutikliai Nr. 1 ir Nr. 2 buvo įrengti administracinės paskirties pastate. Pirmasis jutiklis pirmame aukšte, o antrasis trečiame aukšte. Jutikliai Nr. 8 ir Nr. 7 statomi naujos statybos gamybinio pastato antrajame aukšte. Likusieji jutikliai statomi gamybinių patalpų pirmajame aukšte. Jutikliai Nr. 3 ir Nr. 4 buvo pastatyti skirtingose pastato zonose. Pastatas suskaidomas į zonas: administracinis, cechas A, cechas B1, cechas B2. Skaidant įvertinami skirtingi statybos etapai ir skirtinga patalpų paskirtis.

Matavimai buvo atliekami visus metus 30 minučių intervalu. Sukauptų duomenų kiekis yra didelis, o norint juos



2 pav. Šildymo sezono darbo dienų (a) ir nedarbo dienų (b) patalpų oro temperatūros statistinė analizė
 Fig. 2. The statistical indoor temperature of heating season analysis of working (a) and non-working (b) days

objektyviai vertinti jie turi būti apdoroti pritaikant statistinę analizę. Ši analizė leidžia įvertinti, kokios vertintų rodiklių reikšmės atitinka 95 % patikimumą. Faktinių reikšmių statistinė analizė leidžia įvertinti atskirų zonų mikroklimato rodiklius ir jų nuokrypius nuo statistinio (aritetinio) vidurkio. Taip identifikuojamas inžinerinių sistemų darbas esant skirtingoms išorės oro temperatūroms. Toliau apžvelgiama visų jutiklių temperatūros ir santykinės drėgmės matavimo duomenų statistinė analizė darbo ir nedarbo dienomis bei šildymo ir nešildymo sezono laikotarpiais.

2 pav. stulpeline diagrama pateiktos vidutinės šildymo sezono patalpų oro temperatūros (statistinės vidutinės analizuoto laikotarpio reikšmės) darbo (2 pav., a) ir nedarbo (2 pav., b) dienomis. Raudonos vertikalios linijos rodo neapibrėžties dydžius, t. y. nurodo galimus temperatūros reikšmių svyravimus esant 95 % patikimumui. Paveiksle pateiktos darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos oro temperatūros, norminės vertės administraciniam ir gamybiniam pastatams šaltuoju laikotarpiu. Pakankami rodikliai pasirinkti todėl, kad pastatų kompleksas jau yra eksploatuojamas. Raudonos horizontalios punktyrinės linijos nurodo administracinių patalpų (mėlynos linijos – gamybinių patalpų) pakankamos oro temperatūros ribas šaltuoju laikotarpiu (HN 69:2003).

Iš 2 pav. matyti, kad visos vidutinės statistinės temperatūros darbo dienomis buvo aukštesnės už pakankamos oro temperatūros žemutinę ribą. Bet patalpų zonų Nr. 3, Nr. 4, Nr. 5 ir Nr. 6 (žr. 1 pav., b) vidutinės oro temperatūros buvo arčiausiai šios ribos. Galima pastebėti, kad šiose zonose vyko oro temperatūros svyravimai, kurių metu temperatūra nukrisdavo iki 12 °C~13 °C. Kitų zonų oro temperatūros nenukrisdavo žemiau pakankamos oro temperatūros ribos. Zonos Nr. 11 vidutinė oro temperatūra

šildymo sezonu darbo dienomis buvo aukštesnė už viršutinę pakankamos oro temperatūros ribą.

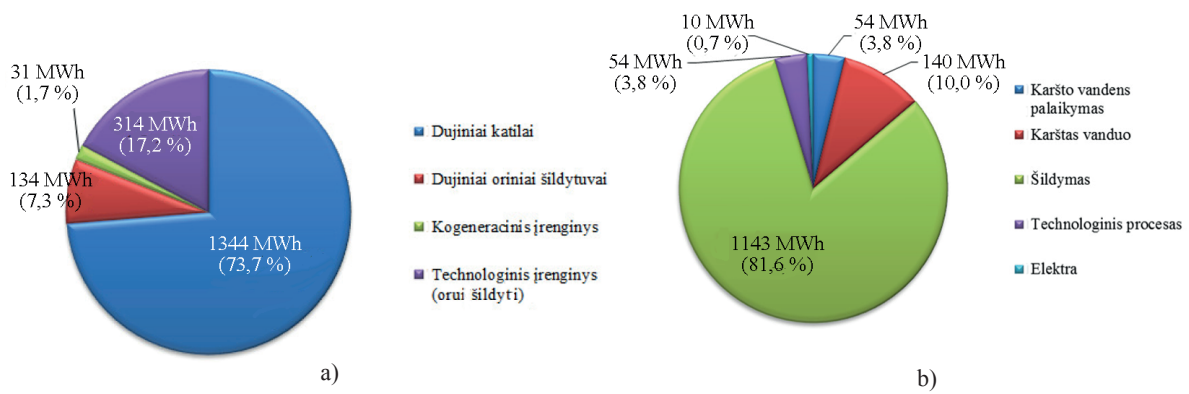
Palyginus darbo ir nedarbo dienų temperatūras matyti, kad visų patalpų vidutinės statistinės oro temperatūros nedarbo metu yra žemesnės nei darbo dienomis. Patalpų Nr. 4, Nr. 5 ir Nr. 6 vidutinės oro temperatūros yra žemesnės už pakankamą oro temperatūros apatinę ribą. Taip pat matoma, kad nedarbo dienomis visose zonose (išskyrus Nr. 9) oro temperatūra gana dažnai nukrisdavo žemiau pakankamos oro temperatūros ribos.

Iš 2 pav. matyti, kad mažiausi temperatūrų svyravimai buvo administracinėse patalpose, todėl ten buvo užtikrintas aukštesnis komforto lygis nei gamybinėse patalpose.

Atlikta nešildymo sezono oro temperatūrų analizė darbo ir nedarbo dienomis parodė, kad oro temperatūra buvo pakankama. Darbo dienomis jutikliai Nr. 7, Nr. 8, Nr. 9, Nr. 10, Nr. 11 ir Nr. 12 fiksuodavo ir aukštesnę nei pakankama oro temperatūra reikšmę.

To paties laikotarpio apdorotų sukauptų santykinės drėgmės reikšmių statistinė analizė parodė, kad darbo dienomis bei nedarbo dienomis santykinė oro drėgmė neviršija pakankamos aplinkos santykinio drėgnumo norminės vertės (išskyrus nedarbo dienomis jutiklis Nr. 4). O šaltuoju ir šaltuoju metų laiku vidutinė santykinė oro drėgmė nežymiai skiriasi. Šaltuoju laikotarpiu jutiklių Nr. 1, Nr. 2, Nr. 9, Nr. 10, Nr. 11 ir Nr. 12 (žr. 1 pav., b) patalpų santykinis drėgnis mažiausias, o kitų jutiklių vidutinės vertės patenka į komforto sąlygų ribas. Šaltuoju laikotarpiu mažiausios santykinės oro drėgmės reikšmės buvo fiksuotos jutikliais Nr. 1 ir Nr. 2.

Darbo ir nedarbo dienomis šaltuoju laikotarpiu administracinio pastato (Nr. 1 ir Nr. 2) santykinės oro drėgmės vertės kartais viršija leistinas ribas, o gamybinėse patalpose



3 pav. Pastato komplekso atskirų įrenginių suvartoti kuro energijos kiekiai (a) ir energijos vartojimo dedamosios (b)
 Fig. 3. The brake down of fuel (a) and energy consumption (b) of separate equipment in building complex

(jutikliai nuo Nr. 1 iki Nr. 2) darbo dienomis nebuvo viršytos leistinos ribos. Tačiau nedarbo dienomis jutiklių Nr. 4, Nr. 5, Nr. 8, Nr. 11 ir Nr. 12 fiksuotos reikšmės kartais viršija aukščiausią leistiną ribą.

Pastate sukuriama šiluminė aplinka priklauso nuo suvartotos energijos kiekio. Remiantis pateiktais faktiniais duomenimis sudarytas pastato energinis balansas nagrinėjamoju (nuo 2013 04 05 iki 2014 04 02) laikotarpiu. Pastato energinis balansas įvertintas atsižvelgiant į atliktus faktinius energinius matavimus bei nagrinėjamo objekto suvartotus dujų kiekius, kurie pateikiami 1 valandos intervalu. Toliau esančiame 3 pav., a, pateikiami atskirų įrenginių suvartoti kuro energijos kiekiai.

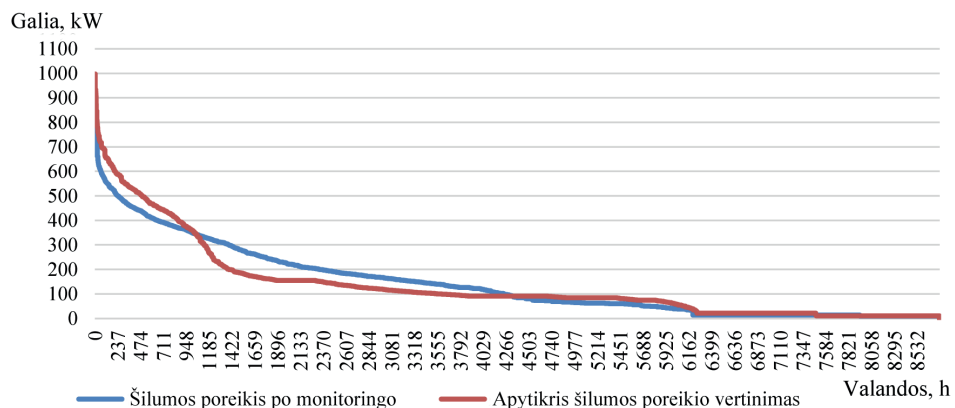
Iš 3 pav., a, matyti, kad iš pirmojo ir antrojo dujų įvado daugiausiai energijos su gautu kuru suvartoja dujiniai katilai, t. y. 73,7 % (1344 MWh). Šie katilai įrengti pirmojoje ir antrojoje katilinėje. Kitas didelis vartotojas yra technologinis įrenginys, kuris suvartoja su kuru gautos energijos 17,2 % (314 MWh), mažesnė dalis tenka dujiniams oriniams šildytuvams – 7,3 % (134 MWh) ir kogeneraciniam įrenginiui – 1,7 % (31 MWh). Kitoje paveikslo dalyje (žr. 3 pav., b) pateikiama, kur ir kiek suvartojama

energijos, kuri pagaminta dujiniuose katiluose, kogeneraciniame įrenginyje bei dujiniuose oriniuose šildytuvuose.

Iš 3 pav., b, matyti, kad dujiniuose katiluose bei kogeneraciniame įrenginyje pagamintos šilumos daugiausiai suvartojama pastatų kompleksui šildyti (1143 MWh), karštam vandeniui ruošti tenka 140 MWh, o karšto vandens šilumai palaikyti bei technologiniam procesui tenkantys šilumos kiekiai yra vienodi (po 54 MWh). Kogeneracinis įrenginys nagrinėjamo laikotarpiu pagamino 10 MWh elektros, kuri buvo suvartota pastatų komplekse.

Pagal atliktus atskirų sistemų režimų matavimus, patalpų mikroklimato rodiklių analizę taikant imitavimo programą energyPRO buvo atliktas detalus energijos poreikių (1 valandos žingsniu) modeliavimas. Gauti rezultatai palyginti su ankstesniu apytikriu (remiantis tik dujų skaitiklių agreguotais rodmenimis) šilumos poreikių vertinimu (4 pav.).

Kaip matome iš 4 pav. pateiktos šilumos poreikių trukmės kreivės, patikslinta šilumos poreikio trukmės kreivė rodo mažesnę (apie 15 %) didžiausiosios galios poreikį, tačiau tolygesnę galios pasisikirstymą per visą metų laikotarpį. Tokį nesutapimą lėmė patikslinta atskirų sistemų darbo režimo apkrova ir energijos poreikių kitimas. Įvertintas



4 pav. Šilumos poreikių trukmės kreivės pagal agreguotus suminius ir detalizuotus (monitoringo metu nustatytus) rodmenis
 Fig. 4. The heat duration curves according to the aggregated summarized and detalized (during the monitoring investigation) data

energijos balansas ir tikslesnis energijos poreikių pateikimas energyPRO modelyje leido patikimiau vertinti galimas energijos gamybos alternatyvas.

Išvados

1. Atlikta matuotų (temperatūros ir santykinės drėgmės) rodiklių statistinė analizė rodo, kad didžiausi nuokrypiai nuo pakankamos šiluminės aplinkos norminių verčių yra susiję su patalpų oro temperatūromis. Ypač verčių nuokrypiai pastebimi jutikliais nuo Nr. 3 iki Nr. 6. Esant žemai lauko oro temperatūrai šias patalpas reikėtų daugiau šildyti, kad būtų užtikrinti norminiai patalpų mikroklimato parametrai.
2. Šaltuoju laikotarpiu visų jutiklių išmatuotos vertės (išskyrus Nr. 4) neviršija leistinos norminės santykinės drėgmės viršutinės ribos (iki 75 %). Kai kada šiltuoju laikotarpiu darbo dienomis santykinės drėgmės viršutinė riba buvo viršyta administracinėse patalpose, o nedarbo dienomis – gamybinėse patalpose.
3. Iš pirmojo ir antrojo dujų įvado daugiausiai kuro energijos suvartoja dujiniai katilai, t. y. 73,7 % (1344 MWh). Kitas didelis vartotojas yra technologinis įrenginys – 17,2 % (314 MWh), mažesnės dalys tenka dujiniam oriniam šildytuvams – 7,3 % (134 MWh) ir kogeneraciniam įrenginiui – 1,7 % (31 MWh).
4. Pritaikius aptartą metodiką buvo nustatyta, kad dujiniuose katiluose bei kogeneraciniame įrenginyje pagaminta šiluma daugiausiai suvartojama pastatų kompleksui šildyti (1143 MWh), karštam vandeniui ruošti tenka 140 MWh, o karšto vandens šilumai palaikyti bei technologiniam procesui tenkantys šilumos kiekiai yra vienodi (po 54 MWh).
5. Pagal patikslintus analizuojamuoju laikotarpiu sukauptus duomenis atlikus detalių šilumos poreikių modeliavimą, taikant energyPRO programą, šilumos poreikio trukmės kreivė rodė mažesnę (apie 15 %) didžiausiosios galios poreikį, tačiau tolygesnę galios pasiskirstymą per visą metų laikotarpį. Tai gali lemti mažesnę pikinio šilumos generavimo įrenginio galią, tačiau tolygesnę bazinio apkrovimo įrenginio darbą.

Literatūra

- Čekanavičius, V. 2011. *Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose*. Kaunas. 307 p.
- Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2000. *Statistika ir jos taikymai. I*. Vilnius: TEV. 240 p.
- Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2002. *Statistika ir jos taikymai. II*. Vilnius: TEV. 270 p.

De Rosa, M.; Bianco, V.; Scarpa, F.; Tagliafico, L. 2014. Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach, *Applied energy* 128: 217–229.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.067>

HN 69:2003. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai, *Valstybės žinios*, 2004 m. kovo 26 d., Nr. 45-1485.

Yan, C.; Wang, S.; Xiao, F. 2012. Simplified energy performance assessment method for existing buildings based on energy bill disaggregation, *Energy and buildings* 55: 563–574.

Yan, C.; Wang, S.; Xiao, F.; Gao, D. 2015. A multi-level energy performance diagnosis method for energy information poor buildings, *Energy and buildings* 83: 189–203.

Lietuvos statistikos departamentas. 2013. *Kuro ir energijos balansas* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. birželio 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://osp.stat.gov.lt/services-portlet/pub-edition-file?id=2990>

Martinaitis, V.; Bieksa, D.; Miseviciute, V. 2010. Degree-days for the exergy analysis of buildings, *Energy and buildings* 42: 1063–1069.

Martinaitis, V.; Rogoža, A.; Šiupšinskas, G. 2012. *Energijos vartojimo pastatuose auditas*. Vilnius: Technika. 123 p. <http://dx.doi.org/10.3846/1299-S>

RSN 156-94. *Statybinė klimatologija. Respublikinės statybos normos*. 1995.

ENERGY BALANCE EVALUATION OF INDUSTRIAL BUILDINGS WITH AN OFFICE COMPLEX

J. Bielskus, G. Šiupšinskas, D. Rimdžius,
K. Kuzminskas, Š. Gruzda

Abstract

While evaluating the energy savings potential in buildings of different function we face the energy balance of current situation evaluation problem. Generally the data of energy flows quantities and the nature of their dynamics are aggregated and do not reflect the indicators of the achieved microclimate. Therefore this article analyses the energy balance following the example of one-year data collection analysis in a company's building complex. The investigated problem is evaluated by the system analysis approach, i.e. the analysed object system is divided into separate subsystems which have been simulated individually but considering the subsystems joint relations in the system. The methods applied in this work are heat and mass balance of separate subsystems and statistical analysis method. The statistical analysis was used for the evaluation of the statistical reliability of the accumulated indicators (temperature, relative humidity, etc.).

Keywords: buildings' energy balance, microclimate of premises, statistical analysis, modelling, energyPRO.