

BEVEIK NULINIO ENERGIJOS BALANSO VISUOMENINIŲ PASTATŲ APRŪPINIMO  
ENERGIJA SPRENDIMAI, DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖGiedrius Šiupšinskas<sup>1</sup>, Solveiga Adomėnaitė<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>giedrius.siupsinskas@vgtu.lt; <sup>2</sup>soluxa@gmail.com

**Santrauka.** Siekiant beveik nulinio energijos balanso modernizuotame viešosios paskirties pastate, nagrinėjamos aprūpinimo energija alternatyvos. Tiriamos šios alternatyvios aprūpinimo energija sistemos: šilumos siurbliai (*gruntas–vanduo* ir *oras–vanduo*), saulės kolektoriai, adsorbcinė vėsinimo mašina, biokuro katilas, saulės elementai, vėjo jėgainė – ir šių sistemų deriniai. Skirtingų aprūpinimo energija variantų energijos poreikiai modeliuojami *TRNSYS (The Transient System Simulation Program)* modeliavimo programa. Siekiant nustatyti optimalų aprūpinimo energija variantą, gauti energinio, ekologinio ir ekonominio vertinimų rezultatai daugiakriterės analizės būdu perskaičiuojami į nedimensinius rodiklius (3E).

**Reikšminiai žodžiai:** viešosios paskirties pastatas, šilumos siurblys, saulės kolektoriai, saulės elementai, adsorbcinė vėsinimo mašina, daugiakriterė analizė.

## Įvadas

Pagrindinės Europos Sąjungoje keliamos energetinės problemos yra saugumas, klimato kaita, energijos tiekimo patikimumas, energetinė nepriklausomybė. Europos Sąjunga numatė tikslą iki 2020 m. energijos suvartojimą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti 20 %, daugiausia didinant energinių sistemų efektyvumą. Kadangi Europos Sąjungoje pastatai suvartoja 40 % galutinės energijos, ir jų išskiriamo CO<sub>2</sub> dalis 36 % (Buildings Performance... 2011), optimalus pastatų aprūpinimo energija sprendimas būtų svarus indėlis siekiant šių tikslų. Beje, šie tikslai būtų pasiekiami tik tuomet, jei naujai statomi ir modernizuojami pastatai būtų atnaujinami grindžiant darnios energetikos principais.

Viešajam sektoriui turėtų tekti lyderio vaidmuo. Iš tiesų Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje (2012/27/ES) dėl energijos vartojimo efektyvumo numatyta, kad nuo 2014 m. būtų atnaujinama 3 % viešųjų pastatų, priklausančių valstybei, ploto kasmet. Tokia priemonė padėtų plėtotis statybos rinkai ir sumažintų privačių bei verslo subjektų sąnaudas modernizavimo projektams. Lietuvoje viešųjų pastatų sektoriuje būtų galima sutaupyti per metus 73–110 ktne, t. y. 10–15 % galutinės energijos, palyginti su 2004 m. lygiu (Data Base... 2013). Negyvenamieji pastatai Europos Sąjungoje vidutiniškai suvartoja 280 kWh/m<sup>2</sup> per metus, o tai yra 40 % daugiau nei gyvenamieji pastatai. Vien per pastaruosius 20 metų juose elektros suvartojimas padidėjo 74 % (Buildings

Performance... 2011). O tai lemia, kad reikia ieškoti efektyvių būdų, kaip juos modernizuoti, taip pat naujai statomų pastatų aprūpinimo energija sprendimų, orientuojantis į mažai energijos vartojančius pastatus.

Lietuvoje iš viso yra daugiau kaip 2,3 mln. pastatų. Maždaug 20 % pagal bendrą visų pastatų užimamą plotą – visuomeninės paskirties pastatai. Iš jų 63 % pastatyta 1961–1990 metais (Valstybės įmonė... 2011), dauguma jų nemodernizuoti, energijos sąnaudų požiūriu neefektyvūs, pastatų atitvaros neatitinka dabartinių reikalavimų. Atsižvelgiant į tai, pasirenkamas nagrinėti nerenovuotas 1978 m. statytas 8 aukštų visuomeninės paskirties pastatas, kuris dėl savo išorinių atitvarų šiluminių charakteristikų, langų ploto ir išsidėstymo atspindi daugelį Lietuvos visuomeninės paskirties pastatų.

Atliekant tyrimą siekta išsiaiškinti, kokios galimybės, kad Lietuvoje pastatytas visuomeninės paskirties pastatas turėtų nulinės ar beveik nulinės energijos pastato statusą. Tyrimas buvo paskatintas Europos Parlamento direktyvos (2010/31/ES) dėl pastatų energinio naudingumo, kurioje nurodomi reikalavimai, kad visi nauji visuomeniniai pastatai nuo 2019 m., o nuo 2021 m. – ir kitų paskirčių pastatai turi būti nulinės energijos.

Iki šiol Lietuvoje nėra nė vieno mažaenergio, beveik ar visai energijos nevartojančio visuomeninės paskirties pastato. Pagrindinės priežastys – santykinai didelės investicijos, įsitikinimas, kad energijos efektyvumo didinimo

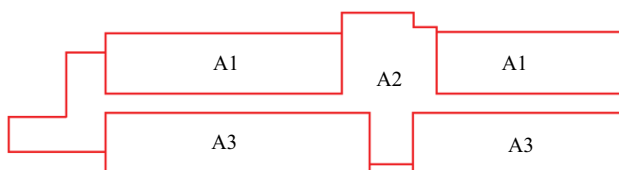
didelės apimties projektai negali duoti ekonominės naudos, nepakanka tyrimų, apibrėžiančių kuo įvairesnes pastato beveik nulinio energijos balanso pasiekimo galimybes, kompleksiskai vertinant pastato šilumos, vėsos ir elektros energijos poreikių sumažinimo priemones, taip pat per mažas visuomenės domėjimasis energinėmis ir aplinkosauginėmis problemomis.

Tyrimo tikslas – siekiant visuomeninės paskirties pastato beveik nulinio energijos balanso, parinkti energiniu, ekonominiu ir ekologiniu požiūriais optimalų aprūpinimo energija technologijų derinį.

### Tyrimo objektas ir pradiniai duomenys

Tyrimo objektas pasirinkta Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto pastatas. Šis pastatas pagal statybos metus (1978 m.), išorinių atitvarų šiluminės charakteristikas, langų plotą ir išsidėstymą panašus į daugelį Lietuvoje senos statybos visuomeninės paskirties daugiaaukščių pastatų.

Pagrindiniai pastato fasadai orientuoti į šiaurę ir pietus, įėjimas – į rytus. Didžiausi įstiklinti plotai šiauriniame ir pietiniame fasaduose. Pastatas aštuonių aukštų, bendras šildomas plotas 6574 m<sup>2</sup>, tūris – 19 585 m<sup>3</sup>. Pastatui nagrinėti pasirinktas tipinis aukštas suskirstytas zonomis pagal mikroklimato ir naudojimo režimo parametrus. Tipinio aukšto skirstymas zonomis pateikiamas 1 paveiksle.



1 pav. Tipinio aukšto skirstymas zonomis  
Fig. 1. Zoning of a typical storey

Įvertinama, jog zona A1 – auditorijos, A2 – koridorius, pagalbinės patalpos, A3 – darbo kabinetai. Modeliuojant pastatą suvedami kiekvienos zonos grindų, išorinių sienų, langų ploto duomenys. Jei zona ribojasi su kita zona, kitu aukštu ar pan., nurodomas ribojimosi plotas.

Nagrinėjamo pastato metiniai šilumos ir vėsos poreikiai nustatomi modeliuojant TRNSYS programa. Faktiniai šilumos perdavimo koeficientai pateikti remiantis atliktų faktinių matavimų duomenimis (Valančius *et al.* 2011). Įvertinama, kad pastate mechaninė vėdinimo sistema neįrengta.

Siekiant modernizuoti tokio tipo pastatus svarbu parinkti tinkamus atitvarų šilumos perdavimo koeficientus,

1 lentelė. Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai (prieš ir po modernizavimo)

Table 1. Heat transfer coefficients of the building (before and after modernisation)

Atitvara	Esamo pastato $U$ , W/(m <sup>2</sup> K)	Renovuoto pastato $U$ , W/(m <sup>2</sup> K)
Sienos	1,26	0,10
Grindys ant grunto	0,24	0,10
Stogas	0,53	0,09
Langai	1,4	0,86

kad energijos poreikis būtų kuo mažesnis. Modernizuoto pastato šilumos perdavimo koeficientai parinkti atsižvelgiant į rekomendacijas, kokie jie turėtų būti šaltojo klimato zonos mažaenergių pastatų (Nieminen *et al.* 2008).

Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai  $U$  prieš ir po modernizavimo pateikiami 1 lentelėje.

Infiltracija esamame pastate įvertinama 0,2 h<sup>-1</sup>, o renovuotame – 0,025 h<sup>-1</sup>, t. y. pagal rekomendacijas 0,6 h<sup>-1</sup>, esant pastate 50 Pa pertekliniam slėgiui (Feist *et al.* 2005). Po modernizavimo pastate numatoma rekuperacinė mechaninio vėdinimo sistema. Šilumos atgavimo įrenginio sezoninis efektyvumas pagal rekomendacijas įvertinamas 0,75 (Feist *et al.* 2005).

Metinis pastato šilumos poreikis patalpoms šildyti po modernizavimo 209,53 MWh, t. y. 31,87 kWh/m<sup>2</sup> (nemodernizuoto pastato šilumos poreikis – 645 MWh, t. y. 98,09 kWh/m<sup>2</sup>). Metinis vėsos poreikis patalpoms vėsinti 111,8 MWh, t. y. 17,01 kWh/m<sup>2</sup> (nemodernizuoto – 43,08 MWh, t. y. 6,55 kWh/m<sup>2</sup>). Nors modernizuojant pastatą numatoma įrengti vėdinimo sistemą, tačiau šilumos patalpoms šildyti poreikis vis tiek sumažėja 3 kartus. Vėsos poreikis padidėja 2,7 karto. Didžiausią įtaką šildymo sąnaudų sumažėjimui ir vėsinimo sąnaudų padidėjimui turi maži atitvarų šilumos perdavimo koeficientai ir pastato sandarumas. Aiškintina tuo, jog izoliuotame pastate šiluma šildymo sezonu išlieka sumažėjus pastato šilumos poreikiui, tačiau vėsinimo sezonu padidėja vėsos poreikis (neleidžiama iš pastato išeiti perteklinei šilumai).

Šildymo sezonas trunka nuo spalio 7 d. iki balandžio 24 d. (RSN 156-94... 1995), vėsinimo sezonas – nuo gegužės 14 d. iki rugsėjo 2 d.

Toliau nagrinėjamas modernizuotas pastatas.

### Tyrimo metodika

Siekiant beveik nulinės energijos vartojimo rodiklių būtina įvertinti geriausią atsinaujinančių išteklių transformavimo sistemų derinį. Be to, visuomeniniuose pastatuose paprastai tenka padengti tiek šilumos (pastatui šildyti, vėdinti ir karš-

tam vandeniui ruošti), tiek vėsos poreikius, todėl analizuojami įvairūs aprūpinimo energija variantai. Nagrinėjamųjų sistemų elektros poreikiams užtikrinti numatomi saulės elementai ir vėjo jėgainės įrengimo galimybės. Tyrimas atliekamas šiais etapais:

- esamo pastato energijos poreikių nustatymas;
- pastato energijos poreikių nustatymas pastatą modernizavus;
- aprūpinimo energija sistemų dydžio parinkimas;
- galimybės padengti pastato energijos poreikius su modeliutomis sistemomis numatymas.

Visi etapai modeliuojami programa *TRNSYS (The Transient System Simulation Program)*.

Modeliuojant nustatomas pastato energijos poreikis ir analizuojamųjų sistemų pagaminamos energijos kiekis per metus valandos intervalu. Toks intervalas pasirenkama todėl, kad integruojant atsinaujinančių energijos šaltinių sistemas labai svarbu įvertinti energijos poreikio ir pagaminamos energijos kiekio sutaptį laiko atžvilgiu. Įvertinus visą energijos transformavimo grandinę, energijos poreikis perskaičiuojamas į pirminės energijos poreikį.

**Ekonominis sistemų vertinimas** atliekamas taikant paprastojo atsipirkimo laikotarpio ir grynosios dabartinės vertės (GDV) vertinimo metodus.

**Ekologinis vertinimas.** Nustačius pastato energijos balansą, pagaminamos atsinaujinančiosios energijos išteklių (AEI) kiekius, įvertinami pastate išsiskiriantys anglies dvideginio emisijų kiekiai, susidarantys dėl pastato šildymo, vėdinimo, vėsinimo, apšvietimo ir karšto vandens ruošimo. Atliekant aplinkosauginį vertinimą taikomi CO<sub>2</sub> emisijų faktoriai, t. y. koeficientai, įvertinantys CO<sub>2</sub> emisijų išsiskyrimą pagal energijos gamybos technologiją bei tenkantis tam tikros energijos vienetui, pvz., šilumos, elektros ar pan.

Siekiant nagrinėjamo objekto modernizavimo variantų įvairiapusio ir objektyvesnio įvertinimo taikoma **daugiakriterė analizė**. Nagrinėjant pasirinktus sprendimus, rezultatai lyginami remiantis trimis kriterijais: pirminės energijos poreikiu, pinigineis išlaidomis ir aplinkos tarša. Dydis, kuris leidžia spręsti apie sistemos patrauklumą visais trimis požūriais, vadinamas 3E faktoriumi (energija, ekonomika, ekologija) (Rogoža *et al.* 2006). Šis dydis dažniausiai naudojamas analizuojant, lyginant ar optimizuojant sistemą trimis minėtais požūriais, prieš tai jiems suteikiant pasirinktus svorio koeficientus. Gautas rezultatas yra nedimensinis dydis (nuo 0 iki 1), o jo didžiausioji reikšmė rodo energiniu, ekonominiu ir ekologiniu požūriu geriausią sprendimo variantą.

## **Aprūpinimo energija sistemų variantų aprašai**

Atsinaujinančių išteklių technologijos parinktos įvertinus dažniausiai pasitaikančius sprendimus. Numatomos tokios technologijos: gruntinis ir orinis šilumos siurbliai (šilumai ir vėšai gaminti), adsorbcinis vėsinimo įrenginys (vėšai gaminti), saulės kolektoriai (šilumai gaminti), biokuro katilas (šilumai gaminti), saulės elementai (elektrai gaminti) ir vėjo jėgainė (elektrai gaminti).

Nagrinėjamos sistemų kombinacijos parenkamos atsižvelgiant į tai, kad energijos poreikis būtų užtikrinamas kompleksiskai. Pavyzdžiui, numatant sistemoje šilumos siurblių, svarbu įvertinti papildomą elektros poreikį, kad pastate šis siurblys veiktų. Taip pat, įrengiant reversinį šilumos siurblių, svarbu įvertinti, kad vasaros sezonu, kai siurblys veikia vėsinimo režimu, karštam vandeniui ruošti gali būti naudojami saulės kolektoriai. Numatant pastatui biokuro katilą, kuris gamina tik šilumą, svarbu parinkti AEI technologijas, kurios užtikrintų vėsos poreikį ir pan. Pagal visus toliau nurodytus sistemų veikimo kartu variantus, atsinaujinančių išteklių technologijų nepadengta šiluma bus užtikrinama iš centralizuotųjų šilumos tiekimo tinklų, elektra ir vėsa – iš elektros tinklų, nes numatoma, kad vėsa ruošama patalpose įrengtais kompresoriniais vėsinimo įrenginiais, kurių efektyvumas lygus 3. Pastate įrengta tokia sistema, jog yra galimybė elektrą tiek pirkti iš tinklo, tiek parduoti į tinklą. Galimi įvairūs techninių sistemų integravimo parinkimo variantai. Numatoma, kad pastatui šilumą, vėšą ir elektrą gamina:

**I** – 100 kW gruntinis šilumos siurblys, 1150 m<sup>2</sup> ploto (142 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**Ia** – 100 kW gruntinis šilumos siurblys, 20 m<sup>2</sup> ploto saulės kolektoriai, 800 m<sup>2</sup> ploto (99 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**Ib** – 200 kW gruntinis šilumos siurblys, 1150 m<sup>2</sup> ploto (142 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**Ic** – 200 kW gruntinis šilumos siurblys, 20 m<sup>2</sup> ploto saulės kolektoriai, 800 m<sup>2</sup> ploto (99 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**II** – 100 kW orinis šilumos siurblys, 1150 m<sup>2</sup> ploto (142 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**IIa** – 100 kW orinis šilumos siurblys, 20 m<sup>2</sup> ploto saulės kolektoriai, 800 m<sup>2</sup> ploto (99 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**IIb** – 200 kW orinis šilumos siurblys, 1150 m<sup>2</sup> ploto (142 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**IIc** – 200 kW orinis šilumos siurblys, 20 m<sup>2</sup> ploto saulės kolektoriai, 800 m<sup>2</sup> ploto (99 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**III** – saulės kolektoriai, absorbcinis vėsinimo įrenginys, 800 m<sup>2</sup> ploto (99 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė;

**IV** – pastatui šilumą ir elektrą gamina biokuro katilas, 1150 m<sup>2</sup> ploto (142 kW) saulės elementai ir 9 kW galios vėjo jėgainė.

### Tyrimų rezultatų analizė

Atliekant energinį vertinimą buvo skaičiuojamas pirminės energijos poreikis. Pirminė energija suprantama kaip gamtinių išteklių sukaupta energija: organiniame kure susikaupusi cheminė energija, branduolinių reakcijų išskiriama energija, vandens potencinė energija, saulės, vėjo energija ir kt., – kuri nebuvo transformuota jokia forma. Terminas *pirminė energija* nusako energijos kiekį, būtiną galutiniam vartotojams pateikiamos energijos, kaip šilumos, vėsos ar elektros energijos, kiekiui pagaminti.

Laikomasi prielaidos, kad elektra pastatui tiekama iš miesto elektros tinklų, šiluma – iš centralizuotųjų šilumos tiekimo tinklų. Energijos konversijos faktoriai įvertinti vadovaujantis STR 2.01.09:2012 pateiktais pirminės energijos faktoriais. Konversijos faktoriai rodo, kiek vienetų reikia pirminės energijos vienam vienetui galutinės energijos pagaminti. Elektros konversijos faktorius įvertintas kaip įvairiais būdais gaminamos elektros kiekio vidurkis ir lygus 2,8, šilumos iš centralizuotųjų šilumos tiekimo tinklų – kaip Lietuvos vidurkis ir lygus 1,3.

Įvertinus pastato šilumos, vėsos ir elektros energijos poreikius, pastato metinis pirminės energijos poreikis yra 116,74 kWh/m<sup>2</sup> (39,19 kWh/m<sup>3</sup>). Gauti pastato metiniai energijos poreikiai pagal nagrinėjamus variantus pateikiami 2 paveiksle.

Iš pirminės energijos poreikio modeliavimo rezultatų akivaizdu, kad geriausias yra IV variantas, t. y. biokuro ka-

tilas su 142 kW galios saulės elementais ir 9 kW galios vėjo jėgainė. Aiškintina tuo, kad beveik visa pastatui reikalinga energija pagaminama iš atsinaujinančių šaltinių.

Direktyvoje dėl pastatų energetinio naudingumo numatyta, kad beveik nulinio energijos balanso pastate didžiąją dalį suvartojamos energijos turi sudaryti atsinaujinančių išteklių energija. Atsižvelgiant į Europos Sąjungos energetinius ir aplinkosauginius tikslus, minimali atsinaujinančių energijos išteklių dalis pastato energijos balanse turėtų sudaryti 50–90 % (Buildings Performance... 2011).

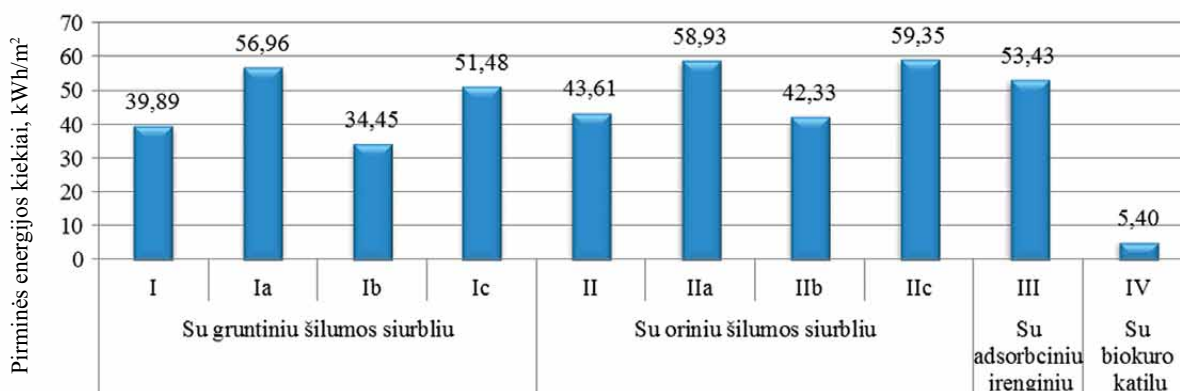
Įvertinus ilgalaikius Europos Sąjungos aplinkosauginius tikslus, pastatų sektoriuje metiniai CO<sub>2</sub> emisijų kiekiai turėtų būti sumažinti iki 3 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (Buildings Performance... 2011).

Anglies dioksido emisijos, centralizuotai gaminant šilumos energiją, numatomos kaip Europos Sąjungos vidurkis, t. y. 0,107 kg CO<sub>2</sub>/kWh (Buildings Performance... 2011), elektros gamybos anglies dioksido emisijos – kaip Lietuvos vidurkis, t. y. 0,153 kg CO<sub>2</sub>/kWh (Covenant of Mayors 2010). Dėl pastato energijos poreikių per metus išsiskiria 7,82 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, arba 2,62 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Gauti pastato metiniai CO<sub>2</sub> emisijų kiekiai bei AEI dalis bendrame energijos kiekyje pavaizduota 3 paveiksle.

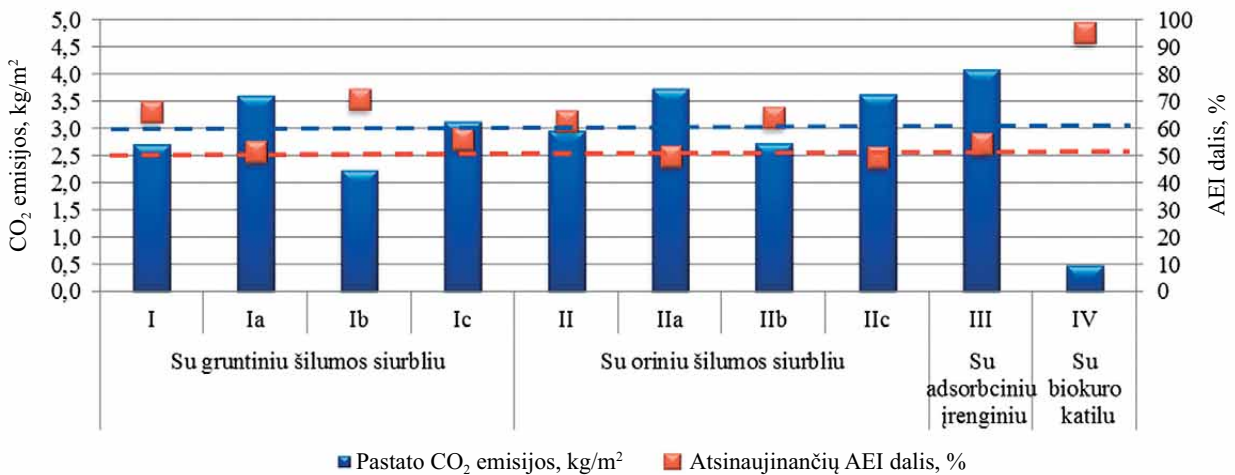
Atsižvelgiant į visus rodiklius, geriausi rezultatai gaunami įrengiant biokuro katilą su saulės elementais ir vėjo jėgainė (IV var.): pirminės energijos poreikis – 5,40 kWh/m<sup>2</sup>, iš kurių atsinaujinančių išteklių dalis – 95,38 %, CO<sub>2</sub> emisijų kiekis – 0,49 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Tokie geri rodikliai gauti todėl, kad pastate iš AEI pagaminamas elektros kiekis viršija pastatui būtiną. Įvertinant pastato metinį elektros balansą gaunama teigiamoji reikšmė, kuri rodo tai, kad pirminės energijos poreikis tokiu būdu sumažinamas.

Iš 3 pav. atrenkamos sistemos (jos bus nagrinėjamos toliau), neviršijančios numatytų CO<sub>2</sub> emisijų kiekių, kurių



2 pav. Įvairūs sistemų integravimo variantai ir pastato pirminės energijos poreikiai, kWh/m<sup>2</sup>

Fig. 2. Primary energy demand for the analysed building



3 pav. Analizuotų variantų pastato CO<sub>2</sub> emisijų kiekiai ir atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) dalis  
Fig. 3. CO<sub>2</sub> emission and a share of renewables for energy production in the analysed building

AEI dalis energijos balanse didesnė nei 50 % – I, Ib, II, IIb, IV. Kaip jau minėta, nagrinėti pasirinkti I, Ib, II, IIb, IV variantai, atitinkantys energinius, aplinkosauginius bei AEI dalies pastato energijos balanse rodiklius, t. y. sistemos su 100 kW ir 200 kW šiluminės galios gruntiniais ir oriniais šilumos siurbliais bei biokuro katiline.

Taip pat atkreiptina dėmesys, kad sistemos su saulės kolektoriais ir adsorbciniu vėsinimo įrenginiu (III var.) pirminės energijos ir atsinaujinančių išteklių dalies rodikliai, palyginti su kitų sistemų, geri, tačiau CO<sub>2</sub> emisijos siekia 4,08 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Didelis emisijų kiekis susidaro dėl, palyginti su kitomis sistemomis, didelio šilumos kiekio iš centralizuotųjų šilumos tiekimo tinklų vartojimo bei mažesnio saulės elementų ploto, nes pastate įrengiami saulės kolektoriai.

Atliekant ekonominę nagrinėjamų sistemų vertinimą nustatomos investicijos, pinigų srautai, grynoji dabartinė vertė. Investicijos pastatui modernizuoti, t. y. atitvarų šiluminėms savybėms pagerinti, vėdinimo sistemai įrengti, nevertinamos. Atliekant sistemų ekonominę vertinimą laikomasi tokių sąlygų ir prielaidų:

- įvertinus įvairių AEI technologijų gyvavimo laikotarpius (Būsto ir urbanistinės... 2010.), vertinimo laikotarpis numatomas 20 metų;
- bazinis variantas, su kuriuo lyginamos nagrinėjamos sistemos – šiluma tiekama iš centralizuotųjų šilumos tiekimo tinklų, elektra – iš elektros tinklų, vėsa ruošiama naudojant elektros energiją;
- pagal nagrinėjamus variantus pastate iš AEI pagaminama šiluma ir vėsa naudojama pastato reikmėms, elektra pirmuosius 12 metų parduodama į

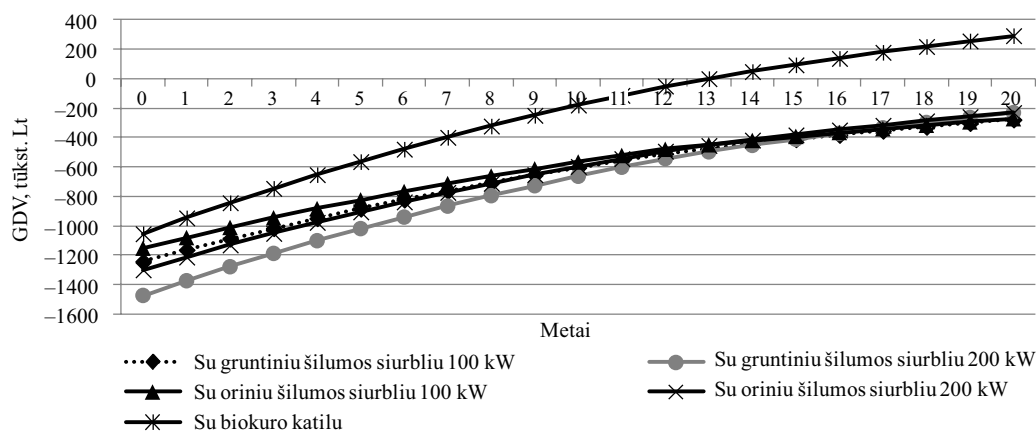
tinklą, o vėlesniais metais pagaminta elektra naudojama savo reikmėms, perteklius perduodamas į tinklą. Trūkstanti šilumos, vėsos, elektros poreikiai dengiami iš centralizuotųjų šilumos ir elektros tinklų. Kainos nustatytos remiantis Valstybine kainų ir energetikos kontrolės komisija (2013);

- laikoma, kad elektros kaina visą vertinimo laikotarpį nekinta ir lygi 0,50 Lt/kWh, šilumos – 0,28 Lt/kWh;
- elektrai gaminti iš AEI skatinimo tarifai galioja 12 metų, saulės elektrinės – lygūs 0,64 Lt/kWh, vėjo – 0,37 Lt/kWh;
- biokuro katilas kūrenamas medienos granulėmis, kurių vidutinė kaina Lietuvoje 550 Lt/t;
- diskonto norma laikoma 5 %;
- investicijos į nagrinėjamas sistemas vertintos atsižvelgiant į tokiomis sistemomis prekiaujančių ir jas montuojančių įmonių siūlymus.

Visos išvardytos sistemos įrengiamos kartu su 1150 m<sup>2</sup> saulės elementais bei 9 kW galios vėjo elektrine.

Nagrinėtų sistemų GDV kitimas laikui bėgant pateikiamas 4 paveiksle.

Daugiakriterės analizės tikslas – sujungti tarpusavyje kelis vertinamus rodiklius ir nustatyti optimalų visų rodiklių atžvilgiu sprendimą. Kaip minėta, pasirenkami trys vertinamieji rodikliai – energinis, ekonominis ir ekologinis. Skaičiuojant 3E faktorių laikyta, kad energinio, ekonominio ir ekologinio rodiklių svarbos koeficientų vertės tarpusavyje lygios. Apskaičiuoti energiniai, ekonominiai ir ekologiniai rodikliai ir 3E kriterijai pateikiami 2 lentelėje.



4 pav. Nagrinėtų sistemų grynosios dabartinės vertės kitimas laikui bėgant

Fig. 4. Net present value of the analysed energy production systems

2 lentelė. Daugiakriterio sistemų vertinimo rodikliai

Table 2. The results of the multi-criteria evaluation of the systems

Sistema	Rodikliai			
	Energinis	Ekonominis	Ekologinis	3E
I su 100 kW gruntiniu ŠS	0,90	0,96	0,90	0,92
Ib su 200 kW gruntiniu ŠS	0,76	0,75	0,71	0,74
II su 100 kW oriniu ŠS	1,0	1,0	1,0	1,0
Iib su 200 kW oriniu ŠS	0,97	0,8	0,91	0,89
IV su biokuro katilu	0	0	0	0

Atsižvelgiant į daugiakriterio vertinimo rezultatus patraukliausia sistema su biokuro katilu, tada – sistemos su 200 kW gruntiniu bei oriniu šilumos siurbliais. Didžiausią kriterijų turi, t. y. pati nepatraukliausia sistema yra su 100 kW oriniu šilumos siurbliu.

## Išvados

1. Sumažinus nagrinėto pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientus ir infiltruojamo oro kiekį iki mažaenergiams pastatams keliamų reikalavimų bei įrengus rekuperacinę vėdinimo sistemą su metinis šilumos poreikis šildymui sumažėjo 3 kartus – iki 31,87 kWh/m<sup>2</sup>, vėsinimui – padidėjo 2,7 karto – iki 17,01 kWh/m<sup>2</sup>.
2. Pagal pirminės energijos poreikį geriausi rezultatai gauti įrengiant biokuro katilą su saulės elementais ir vėjo jėgaine: pirminės energijos poreikis – 5,40 kWh/m<sup>2</sup>, CO<sub>2</sub> emisijų kiekis – 0,49 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, atsinaujinančių išteklių dalis – 95,38 %.
3. Atlikus ekonominius skaičiavimus nustatyta, kad tik sistemos su biokuro katilu, saulės ir vėjo elektrinėmis (IV var.) GDV yra teigiamoji (291,32 tūkst. Lt). Nors kitos sistemos nėra

ekonomiškai efektyvios, tačiau, lyginant jas su 100 kW ir 200 kW galios šilumos siurbliais, didesnė GDV gaunama įrengiant didesnės galios šilumos siurbli.

4. Atsižvelgiant į daugiakriterio vertinimo rezultatus, patraukliausia sistema yra su biokuro katilu, tada – sistemos su 200 kW gruntiniu bei oriniu šilumos siurbliais. Didžiausia kriterijaus reikšmė (nepatraukliausia sistema) yra sistemos su 100 kW oriniu šilumos siurbliu.

## Literatūra

- 2010/31/ES Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl pastatų energinio naudingumo, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 153: 13–35.
- 2012/27/ES Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl energijos vartojimo efektyvumo, *Europos Sąjungos oficialusis leidinys* L 315: 1–55.
- Buildings Performance Institute Europe. 2011. *Europe's buildings under the microscope*. Brussels, 2011. 132 p.
- Būsto ir urbanistinės plėtros agentūra. 2010. *Alternatyvių energijos šaltinių, taip pat ir rekuperacinės sistemos panaudojimo, įgyvendinant daugiabučių namų (atnaujinimo) modernizavimo programą, galimybių studija*. UAB COWI, 2010. 264 p.
- Covenant of Mayors. 2010. *How to develop a sustainable energy action plan (SEAP) – Guidebook*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 120 p.
- Data Base on Energy Saving Potentials* [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.eepotential.eu/results\\_cty\\_pot.php](http://www.eepotential.eu/results_cty_pot.php)
- Feist, W.; Schnieders, J.; Dorer, V.; Haas, A. 2005. Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the PassiveHouse concept, *Energy and Buildings* 37: 1186–1203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.020>
- Nieminen, J.; Holopainen, R.; Lylykangas, K. 2008. *Passive House for a cold climate* [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://web.byv.kth.se/bphys/copenhagen/pdf/171-1.pdf>
- Rogoža, A.; Čiuprinskas, K.; Šiupšinskas, G. 2006. The optimisation of energy systems by using 3E factor: The case studies, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(1): 63–68.

RSN 156-94 Statybinė klimatologija. Vilnius, 1995.

STR 2.01.09:2012 Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas. Vilnius, 2012.

Valančius, K., *et al.* 2011. Universiteto pastatų detaliųjų energinių auditų ir energijos taupymo priemonių analizė, *Mokslas – Lietuvos ateitis. Aplinkos apsaugos inžinerija* 3(5): 77–82.

Valstybės įmonė Registrų centras. 2011. *Lietuvos Respublikos nekilnojamojo turto registre įregistruotų statinių apskaitos duomenys 2011 m. sausio 1 d.* Vilnius. 281 p.

Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. balandžio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/>

## **MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF ALTERNATIVE ENERGY SUPPLY SOLUTIONS TO PUBLIC NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS**

**G. Šiupšinskas, S. Adomėnaitė**

### **Abstract**

The article analyzes energy supply alternatives for modernised public nearly zero energy buildings. The paper examines alternative energy production systems such as heat pumps (air-water and ground-water), solar collectors, adsorption cooling, biomass boiler, solar photovoltaic, wind turbines and combinations of these systems. The simulation of the analysed building energy demand for different energy production alternatives has been performed using TRNSYS modelling software. In order to determine an optimal energy supply variant, the estimated results of energy, environmental, and economic evaluation have been converted into non-dimensional variables (3E) using multi-criteria analysis.

**Keywords:** public building, heat pump, solar collectors, photovoltaic, adsorption cooling, multi-criteria analysis.