

Environmental engineering Aplinkos inžinerija

ENERGIJOS ŠALTINIŲ PARINKIMO ĮTAKA PASTATO ENERGINIAM NAUDINGUMUI

Rūta MIKUČIONIENĖ*, Vyantas ŽĖKAS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. birželio 25 d.; priimta 2018 m. birželio 26 d.

Santrauka. Vis griežtėjantys Europos Sąjungos reikalavimai pastatų sektoriuje reikalauja efektyvesnių ir ekologiškesnių sprendimų aprūpinant pastatus energija, todėl būtina ieškoti geriausių aprūpinimo energija variantų juos įvertinant keliais kriterijais. Tiriamos administracinio beveik nulinės energijos pastato šios aprūpinimo energija technologijos: biokuro katilas, kondensacinis dujų katilas, šilumos siurbliai (gruntas–vanduo ir oras–vanduo), šalčio mašina, centralizuoti šilumos tinklai, saulės elementai ir saulės kolektoriai. Pastato poreikiai modeliuojami *DesignBuilder*, o aprūpinimo energija technologijų deriniai modeliuojami *energyPRO* modeliavimo programa. Siekiant nustatyti optimalų aprūpinimo energija variantą, technologijų deriniai yra lyginami pagal energinį ir ekologinį rodiklius ir įvertinama kiekvieno derinio įtaka pastato energinio naudingumo klasei.

Reikšminiai žodžiai: beveik nulinės energijos pastatas, energijos poreikių modeliavimas, energijos šaltinių modeliavimas, *DesignBuilder*, *energyPRO*, energinio naudingumo klasė.

Įvadas

Žmonės didžiąją savo gyvenimo dalį praleidžia pastatuose, todėl yra labai svarbu palaikyti saugias ir komfortiškas sąlygas namuose bei darbo aplinkoje. Didelė dalis pasaulyje suvartojamos energijos skirta šioms sąlygoms užtikrinti. Europos Sąjungoje pastatai suvartoja apie 40 % energijos ir išskiria 36 % viso CO₂ kiekio (D'Agostino, Cuniberti ir Bertoldi, 2017).

Siekiant sumažinti suvartojamos energijos ir išmetamų teršalų kiekį Europos Sąjunga atsinaujinančių išteklių energijos naudojimo skatinimo direktyvoje (2009/28/EB) nustatė tikslus iki 2020 m., t. y. 20 % sumažinti išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, 20 % padidinti atsinaujinančiosios energijos dalį atsižvelgiant į galutinę energijos suvartojimą ir 20 % sumažinti suvartojamos pirminės energijos kiekį. Direktyvoje (2010/31/ES) iškeltas reikalavimas, kad visi visuomeninės paskirties pastatai nuo 2019 m., o nuo 2021 m. ir visų kitų paskirčių pastatai, privalės būti beveik nulinės energijos (angl. *net/nearly zero energy building*).

Beveik nulinės energijos pastatai buvo dažnai aptarinėjami pastarąjį dešimtmetį kaip priemonė pasiekti efektyvų energijos vartojimą pastatuose ir kaip skatinimo priemonė

vartoti vietoje gaminamą atsinaujinančiąją energiją (Ak-samija, 2016). Lu, Wang ir Shan (2015) straipsnyje išskyrė tris pagrindinius etapus sėkmingam beveik nulinės energijos pastato įgyvendinimui: pasyvių priemonių taikymas pastato atitvaroms, aktyvių pastatų aprūpinančių energija priemonių taikymas ir energijos gamyba iš atsinaujinančiosios energijos išteklių.

Energijos vartojimas nulinės energijos pastatuose yra paprastai padengiamas atsinaujinančiosios energijos gamyba. Pagrindiniai atsinaujinančiosios energijos šaltiniai pastatuose yra saulės energija, geoterminė energija ir bio-energija. Veiksmingas ir pagrįstas šių atsinaujinančiosios energijos šaltinių vartojimas yra galutinis nulinės energijos pastatų projektavimo etapas (Wu, Skye ir Domanski, 2018). Taikant modeliavimo ir optimizavimo priemones, įvertinamos skirtingos pastato aprūpinimo energija alternatyvos bei nustatoma optimali alternatyva atsižvelgiant į pasirinktus vertinimo rodiklius (Džiugaitė-Tumėnienė, 2015).

Šiame straipsnyje pateikiami beveik nulinės energijos administracinio pastato dinaminio energijos poreikio modeliavimo rezultatai, pagal kuriuos parinkti energijos aprūpinimo technologijų deriniai ir įvertinta šių derinių įtaka pastato energinio naudingumo klasei.

*Autorius susirašinėti. El. paštas ruta.mikucioniene@vgtu.lt

1. Pastato energijos poreikių ir aprūpinimo energija modeliavimas

Pastato šilumos, karšto vandens, vėsos ir elektros poreikiams nustatyti pasirinkta *DesignBuilder* dinaminio modeliavimo programa. Pasirenkant programą buvo atsižvelgta į programos galimybes, prieinamumą ir jos rezultatų patikimumą. Modeliuojant *DesignBuilder* programa, kuri pagrįsta *EnergyPlus* skaičiavimo metodika, nustatytos paklaidos ribos yra $\pm 10\%$ (Paujajis ir Motuzienė, 2017).

Atlikus aprūpinimo energija modeliavimo programų apžvalgą ir įvertinus technines galimybes, technologijų analizei atlikti pasirinkta *energyPRO* programinė įranga. Tai pažangi modeliavimo, analizavimo ir optimizavimo programa. Šiuo įrankiu galima modeliuoti įvairias technologijas – nuo gerai žinomų iškastinio kuro technologijų iki moderniausių atsinaujinančių išteklių šaltinių technologijų (EMD International A/S, n.d.).

Norint nustatyti ir palyginti naujų bei esamų pastatų energinį naudingumą, yra taikomos specializuotos pastatų energinio naudingumo vertinimo ir sertifikavimo sistemos. Lietuvoje pastato energinis naudingumas yra nustatomas pagal (STR 2.01.02:2016) pateiktą skaičiavimo metodiką, kurios pagrindu yra sukurtos programinės aplinkos.

Pastato energinio naudingumo klasė (STR 2.01.02:2016) priklauso nuo pastato šiluminių savybių (apdaro šilumos perdavimo koeficientų, sandarumo, įrangos efektyvumo). Rodikliai, lemiantys klasę, yra:

- pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklis C1, kuris įvertina pirminės neatsinaujinančiosios energijos vartojimo efektyvumą šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui;
- pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklis C2, apibūdinantis pirminės neatsinaujinančiosios energijos vartojimo efektyvumą karštam buitiniam vandeniui ruošti;
- šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti.

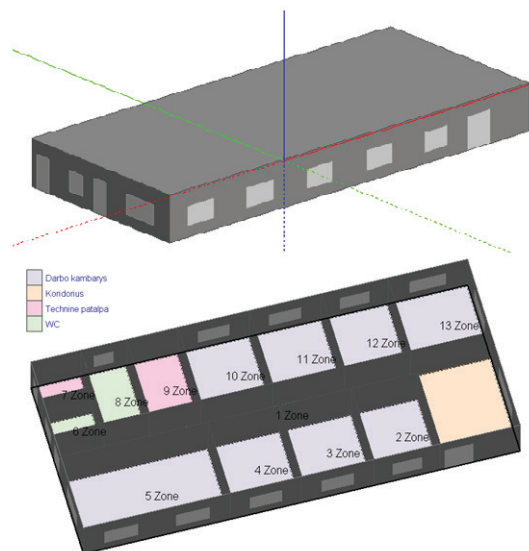
Pastatų energinio naudingumo klasei Lietuvoje nustatyti taikoma *NRG-sert* programa, o projektuoti – *NRGpro*. *NRG-sert* programa gali naudotis ir energinio naudingumo sertifikatui reikalingus skaičiavimus atlikti tik atestuoti ekspertai, o *NRGpro* programa skirta pastatų projektotojams.

2. Administracinio pastato energinio naudingumo analizė

2.1. Objektas

Nagrinėjamu objektu pasirinktas administracinės paskirties vieno aukšto pastatas, stovintis Kaune, jis modeliuojamas kaip beveik nulinės energijos pastatas. Modeliuojant naudojami Kauno miesto klimatologiniai duomenys. Pastato modelio vizualizacija pateikta 1 paveiksle.

Pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientų vertės pasirinktos tokios, kurios atitinka A++ energinio naudingumo klasei taikomus reikalavimus (STR 2.01.02:2016).



1 paveikslas. Modeliuojamo pastato vizualizacija taikant *DesignBuilder* programą
Figure 1. Visualization of simulated building in *DesignBuilder* software

A++ energinio naudingumo klasės norminės atitvarų šiluminės reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

Modeliuojamo pastato bendras plotas 380 m², tūris – 1330 m³. Pastato pagrindinis fasadas orientuotas į rytus, ištiklinto paviršiaus plotas sudaro 20 % pastato išorinių sienų ploto. Pastatą sudaro 13 patalpų – darbo kambariai, koridorius, tualetai ir techninės patalpos. Administracinio pastato stogas yra sutapdintas, visose pastato patalpose įdiegta mechaninio vėdinimo sistema su 90 % šilumogrąža. Pastato sandarumui įvertinti pasirinkta $n_{50A++} = 0,6$ l/h, esant pastate 50 Pa pertekliniam slėgiui.

Modeliuojant pastato energijos poreikius buvo įvertintas nuo biuro įrangos išsiskyres šilumos kiekis 11 W/m². Apšvietimui pastate numatytos LED tipo lempos, kurios išskiria 2 W/m² energijos (apšvietimas su reguliavimo mechanizmu priklausomai nuo natūralaus apšvietimo). Laikoma, kad pastate dirba 40 žmonių, karšto vandens suvartojama 0,2 l/m² per dieną. Vėdinimo įrenginių ventiliatorių elektros suvartojimas – 3,6 kWh/m².

Sukurtame pastato modelyje patalpos buvo suskirstytos į zonas pagal jų paskirtį ir darbo laiką (1 paveikslas).

1 lentelė. Modeliuojamo pastato atitvarų šiluminės charakteristikos
Table 1. Thermal characteristics of simulated building

Atitvaros apibūdinimas	A++ klasės atitvaros šilumos perdavimo koeficientas U_{A++} , W/m ² K
Stogas	0,09
Grindys ant grunto	0,12
Išorinė siena	0,11
Langai	0,85
Durys	0,85

Remiantis higienos norma „HN 42:2009 Visuomeninių ir gyvenamųjų pastatų mikroklimatas“ (Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2009), buvo pasirinktos komfortinės patalpų temperatūros. Šildymo sezono metu patalpose yra palaikoma ne mažesnė kaip 20 °C temperatūra, o šiltuoju sezono metu patalpose ne didesnė kaip 24 °C temperatūra.

2.2. Energijos poreikių nustatymas

DesignBuilder programa atliktas pastato energijos poreikių modeliavimas. Gauti pastato metiniai šilumos, vėsos ir elektros energijos poreikiai:

- šilumos poreikis šildymui – 3,62 MWh/metus (9,54 kWh/m²/metus);
- šilumos poreikis karšto vandens ruošimui – 0,966 MWh/metus (2,54 kWh/m²/metus);
- vėsos poreikis – 5,08 MWh/metus (15,62 kWh/m²/metus);
- elektros poreikis apšvietimui ir įrenginiams – 10,58 MWh/metus (27,84 kWh/m²/metus).

2 paveiksle pateikiama kiekvieno mėnesio energijos poreikių dinamika.

Daugiausia energijos pastate suvartojama elektrai, poreikis sudaro net 52 % (10,58 MWh/metus) ir yra pastovus visus metus. Vėsinimas sudaro 25 % (5,08 MWh/metus), o šildymas ir karštas vanduo atitinkamai 18 % (3,62 MWh/metus) ir 5 % (0,966 MWh/metus).

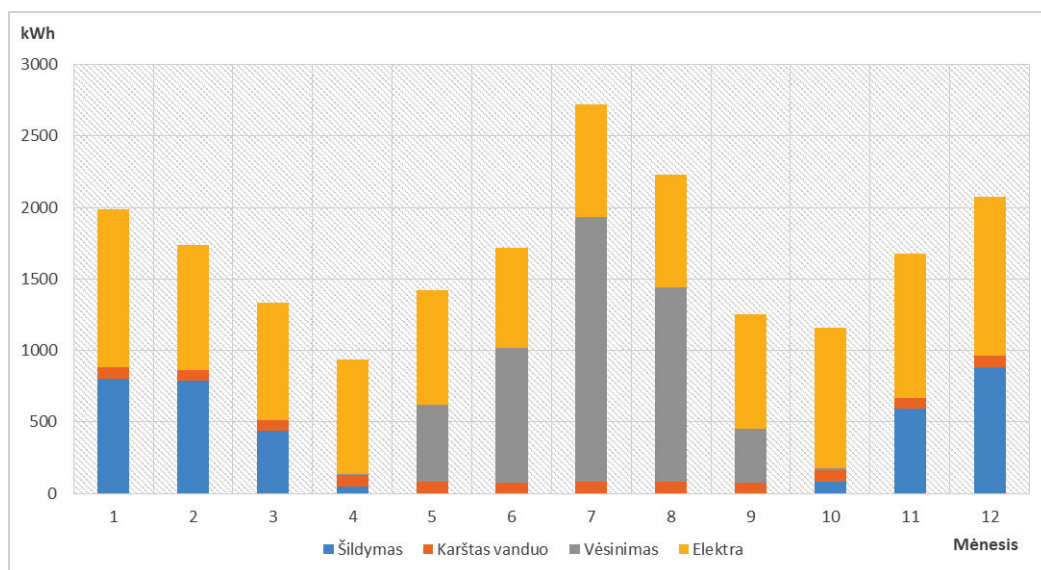
2.3. Aprūpinimo energija technologijų derinių analizė

Pastato aprūpinimo energija technologijų deriniai atrinkti įvertinus dažniausiai praktikoje taikomus sprendinius ir kuo įvairesnes atsinaujinančiosios energijos išteklių technologijas. Analizuojamos šios technologijos: granulini biokuro katilas (BK) šilumai gaminti, kondensacinis duji-

nis katilas KDK šilumai gaminti, šalčio mašina (ŠM) vėasai gaminti, saulės elementai (SE) elektrai gaminti, plokštieji saulės kolektoriai (SK) šilumai gaminti, gruntinis šilumos siurblys (GŠS) šilumai ir vėasai gaminti, orinis šilumos siurblys (OŠS) šilumai ir vėasai gaminti, centralizuoti šilumos tinklai (CŠT) šilumai gaminti. Modeliuojant minėtus technologijų derinius buvo daromos šios prielaidos:

- granulini biokuro katilo (BK) naudingumo koeficientas – 0,92, o spygliuočių medienos granuliu kaloringumas – 5,31 kWh/kg;
- kondensacinio dujinio katilo (KDK) naudingumo koeficientas – 0,98, o gamtinių dujų viršutinė šiluminė vertė – 10,36 kWh/m³;
- sezoninis šalčio mašinos (ŠM) naudingumo koeficientas (SEER) – 3,5;
- saulės elementų (SE) pasvirimo kampas – 35°, vieno modulio galia – 270 W;
- plokščiųjų saulės kolektorių (SK) pasvirimo kampas – 60°;
- sezoninis orinio šilumos siurblio (OŠS) naudingumo koeficientas šildymui (SCOP) – 3,0, o sezoninis naudingumo koeficientas vėsinimui (SEER) – 3,0. Orinis šilumos siurblys žiemos metu veikia iki –5 °C temperatūros;
- sezoninis gruntinio šilumos siurblio (GŠS) naudingumo koeficientas šildymui (SCOP) – 3,5; sezoninis gruntinio šilumos siurblio naudingumo koeficientas vėsinimui (SEER) – 3,5.

Visuose nagrinėjamų technologijų deriniuose yra naudojami saulės elementai (SE) taikant dvipusę elektros apskaitą. Esant elektros pertekliui, elektra yra tiekama į tinklą, o esant trūkumui – iš jo paimama. Pateikiamos ir paimamos elektros energijos santykis per metus yra lygus arba didesnis už 1 (elektros į tinklą per metus yra pateikta daugiau, nei paimta). Daroma prielaida, kad visus pastato elektros poreikius (apšvietimui, biuro įrangai ir vėdinimo



2 paveikslas. Sumodeliuoti pastato mėnesiniai energijos poreikiai
Figure 2. Simulated monthly energy demand of building

įrenginių ventiliatoriams) užtikrina saulės elementai (SE), taigi visas elektros poreikis yra padengiamas iš atsinaujinančiosios energijos išteklių.

EnergyPRO programa buvo sumodeliuoti visi nagrinėti technologijų deriniai, kurie užtikrina sumodeliuotus pastato energijos poreikius. Gauti skirtingų energijos šaltinių technologijų pagaminti energijos kiekiai, kurie buvo perskaiciuoti į energinius ir ekologinius rodiklius, t. y. į pirminės neatsinaujinančiosios energijos kiekio ir į aplinką išskirtų CO₂ emisijų kiekio rodiklius (2 lentelė).

Deriniams vertinti buvo taikomi šie rodikliai, kurių vertės pateiktos 2 lentelėje:

- pirminė neatsinaujinančioji energija (NAE), kWh/m²;
- pirminė atsinaujinančioji energija (AE), kWh/m²;
- pirminės energijos dalis energijos balanse, bedimensis dydis;
- į aplinką išskiriamas CO₂ emisijų kiekis, kgCO₂/m².

Kadangi nulinės energijos pastate minimali atsinaujinančių išteklių energijos dalis, kuri atitiktų pastato energijos poreikį, turėtų būti 50–90 %, o CO₂ emisijų rodiklis turėtų būti mažesnis negu 3 kgCO₂/m² per metus (Džiugaitė-Tumėnienė, 2015), tai iš gautų rezultatų (2 lentelė) matyti, kad visi nagrinėti variantai atitinka šią sąlygą.

2.4. Aprūpinimo energija derinių įtaka pastato energinio naudingumo klasei

Buvo nustatyta pastato energinio naudingumo (PEN) klasė esant skirtingoms alternatyvoms, kaip pastatas aprūpinamas energija. 3 lentelėje pateikiami pagrindiniai skaičiavimo rezultatai.

Atlikus skaičiavimus *NRGpro* programa nustatyta, kad nei su vienu nagrinėtu technologijų deriniu nepavyko pasiekti A++ energinio naudingumo klasės. Alternatyvoms su šilumos siurbliais gautos aukščiausios klasės – A+. Šių alternatyvų C1 ir C2 vertės, taip pat ir metinės šiluminės energijos sąnaudos šildymui atitiko A++ reikalavimus. Šie technologijų deriniai dėl suvartojamos atsinaujinančiosios energijos išteklių dalies pastate (gautas koeficientas <1) neatitiko aukščiausiai energinio naudingumo klasei keliamų reikalavimų.

Alternatyvoms su biokuro katilu gauta A klasė. Šių variantų C1 ir C2 vertės ir pastate suvartojama atsinaujinančiosios energijos išteklių dalis atitiko A++ klasės reikalavimus (gautas koeficientas >1). Tačiau metinės šiluminės energijos sąnaudos šildymui atitiko tik A klasei keliamus reikalavimus.

Alternatyvoms su dujiniu kondensaciniu katilu taip pat gauta A klasė. Šių variantų tik C1 ir C2 vertės atitiko

2 lentelė. Technologijų deriniai ir gauti modeliavimo rezultatai
Table 2. Combinations of technologies and results of simulation

Eil. nr.	Aprūpinimo energija deriniai	Pirminė NAE, kWh/m ²	Pirminė AE, kWh/m ²	Pirminės energijos dalis energijos balanse, -	M _{CO₂} , kgCO ₂ /m ²
1	BK, ŠM, SE	1,52	43,67	0,97	0,00
2	BK, ŠM, SE, SK	1,31	43,68	0,97	0,00
3	KDK, ŠM, SE, SK	11,29	33,70	0,75	1,99
4	KDK, ŠM, SE	13,60	31,60	0,70	2,42
5	GŠS, SE, SK	0,35	37,03	0,99	0,00
6	GŠS, SE	0,36	35,62	0,99	0,00
7	OŠS, CŠT, SE, SK	1,70	38,22	0,96	0,25
8	OŠS, CŠT, SE	1,75	36,55	0,95	0,26

3 lentelė. *NRGpro* programa gautos energinio naudingumo rodiklių vertės
Table 3. Energy performance values indicators performed by *NRGpro* software

Eil. nr.	Technologijų deriniai	PEN klasė	C1 ir C2 vertė	Metinės šiluminės energijos sąnaudos šildymui, kWh/m ² (atitiktis energinio naudingumo klasei)	Suvartojama energijos dalis iš AE, -
1	BK, ŠM, SE	A	A++	30,25 (A)	6,32
2	BK, ŠM, SE, SK	A	A++	24,89 (A)	6,40
3	KDK, ŠM, SE, SK	A	A++	24,31 (A)	0,36
4	KDK, ŠM, SE	A	A++	29,61 (A)	0,08
5	GŠS, SE, SK	A+	A++	5,66 (A++)	0,54
6	GŠS, SE	A+	A++	8,41 (A++)	0,13
7	OŠS, CŠT, SE, SK	A+	A++	6,77 (A++)	0,46
8	OŠS, CŠT, SE	A+	A++	9,81 (A++)	0,11

A++ klasės reikalavimus. Metinės šiluminės energijos sąnaudos šildymui atitiko A klasei keliamus reikalavimus, o pastate suvartojama atsinaujinančiosios energijos išteklių dalis buvo mažesnė, nei reikalaujama A++ klasei.

A++ klasei keliamus reikalavimus dėl pastate suvartojamo energijos kiekio iš atsinaujinančių išteklių atitinka tik variantai, kur biokuro katilas numatomas kaip šilumos šaltinis.

Pagal STR 2.01.02:2016, norminės šiluminės energijos sąnaudos šildymui A++ administracinės paskirties pastate yra 13,22 kWh/m². *DesignBuilder* programa sumodeliuotos pastato šiluminės sąnaudos yra 9,54 kWh/m². Taigi akivaizdu, kad pastato šiluminės savybės atitinka A++ klasei keliamus reikalavimus, tačiau tik derinių su šilumos siurbliais atvejais šios sąnaudos, įvertintos *NRGpro* programa, užtikrino aukštesnę klasę. Kadangi pastatų sertifikavimo metodikoje (STR 2.01.02:2016) pastato šiluminės sąnaudos yra dalinamos iš šilumos šaltinio efektyvumo, o šilumos siurblio sezoninis naudingumo koeficientas vertinamas kaip šilumos šaltinio efektyvumo koeficientas, tai pastato šiluminės sąnaudos tiesiogiai priklauso nuo pasirinkto šilumos šaltinio ir (ar) technologijas apibūdinančių efektyvumo koeficientų.

Siekiant įvertinti energija pastatą aprūpinančias alternatyvas *NRGpro* programoje turėtų būti galimybė pasirinkti, kad šilumos ar vėsos šaltinio (šilumos siurbliai ir šalčio mašina) suvartojama elektros energija yra pagaminama iš atsinaujinančiosios energijos išteklių technologijų (saulės elementų). Atsiradus šiai galimybei, nagrinėtų alternatyvų metinių atsinaujinančiosios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančiosios pirminės energijos sąnaudomis vertė pasikeistų į didesnę pusę ir turėtų atitikti A++ klasei keliamus reikalavimus. Didžioji energijos dalis būtų pagaminta iš atsinaujinančiosios energijos išteklių technologijų.

Išvados

Beveik nulinės energijos administracinių pastatų energijos balanse pagrindinis energijos poreikis yra elektra (52 proc.), vartojama apšvietimui ir įrenginiams. 25 proc. nuo bendro energijos kiekio pastate suvartojama pastatams vėsinti. Likusi dalis tenka pastatams šildyti ir karštam vandeniui ruošti.

Vertinant atsinaujinančiosios pirminės energijos dalį energijos balanse ir išskiriamų CO₂ emisijų kiekį, aprūpinimo energija technologijų derinių vertinimas *energyPRO* programa parodė, kad visi technologiniai deriniai atitinka beveik energijos nevartojančio pastato reikalavimus.

NRGpro programa atlikus energijos aprūpinimo derinių vertinimą nustatyta, kad nei su vienu iš nagrinėtų technologijų derinių nėra įgyvendinami pastatui keliami A++ energinio naudingumo klasės reikalavimai.

Tokie prieštaringi rezultatai gauti, nes *NRGpro* programoje atitiktis energinio naudingumo klasei pasirenkama vadovaujantis atskirai trijų rodiklių skaičiavimų rezultatais. Esant sąlygai, kad nors vienas rodiklis netenkina jam

keliamo reikalavimo atitinkamai klasei, visas vertinimo rezultatas būna sulyginamas su prasčiausio rodiklio rezultatu. Tyrimo metu atliktų skaičiavimo atvejų visų alternatyvų C1 ir C2 rodikliai (kuriuos taikant vertinamas suvartojamos pirminės energijos kiekis pastate) atitiko A++ klasei keliamus reikalavimus, tačiau vienas pagrindinių rodiklių, trukdančių pasiekti aukščiausią energinio naudingumo klasę, yra šiluminės energijos sąnaudos šildymui.

Dar vienas rodiklis, trukdantis beveik nulinės energijos pastatui pasiekti A++ energinio naudingumo klasę, yra atsinaujinančiosios energijos šaltinių pagaminamos energijos dalies pastate vertinimas. Šis rodiklis įvertinamas netinkamai, nes reglamente ir kompiuterinėje programoje nėra numatytas dvipusės elektros, pagaminamos iš saulės elementų, apskaitos įvertinimas.

Nacionalinė pastatų energinio naudingumo sertifikavimo sistema yra kompleksinė, tačiau joje trūksta aiškesnės energijos vartojimo efektyvumo priemonių taikymo skatinimo strategijos. Vertinamųjų rodiklių vertės prieštarauja viena kitai, todėl nei projektuotojams, nei nekilnojamojo turto vystytojams nėra aišku, kokiais techniniais sprendimais turi ir gali būti kuriami beveik nulinės energijos pastatai Lietuvoje.

Literatūra

- 2009/28/EB. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys*, 158, 1-78.
- 2010/31/ES. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl pastatų energinio naudingumo. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys*, 153, 13-35.
- Aksamija, A. (2016). Regenerative design and adaptive reuse of existing commercial buildings for net-zero energy use. *Sustainable Cities and Society*, 27, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.026>
- D'Agostino, D., Cuniberti, B., & Bertoldi, P. (2017). Data on European non-residential buildings. *Data in Brief*, 14, 759-762. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.08.043>
- Džiugaitė-Tumėnienė, R. (2015). *Mažąenergio vienbučio namo aprūpinimo energija integruotas vertinimas* (daktaro disertacija). Vilnius: Technika.
- EMD International A/S. (n.d.). *EnergyPRO*. Retrieved from <https://www.emd.dk/energypro/>
- Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministerija. (2009). *Lietuvos higienos norma HN 42: 2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“*. Vilnius.
- Lu, Y., Wang, S., & Shan, K. (2015). Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings. *Applied Energy*, 155, 463-477. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.06.007>
- Paujajis, V. ir Motuzienė, V. (2017). Pastato dinaminio energinio modeliavimo įrankių lyginamoji analizė. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 9(4), 442-450. <https://doi.org/10.3846/mla.2017.1051>
- STR 2.01.02:2016. *Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas*. Vilnius.
- Wu, W., Skye, H. M., & Domanski, P. A. (2018). Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net-zero energy buildings. *Applied Energy*, 212, 577-591. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.046>

IMPACT OF ENERGY SOURCES SELECTION FOR ENERGY PERFORMANCE OF BUILDING

R. Mikučionienė, V. Žėkas

Abstract

The article analyzes energy supply alternatives for administrative nearly zero energy building in Kaunas. Alternative energy production systems such as biofuel boiler, condensing boiler, heat pumps (air-water and groundwater), solar photovoltaic, solar collectors and combinations of these systems are analysed. The simulation of analysed building energy demands has been made using *DesignBuilder* modelling software and modelling of energy production alternatives has been performed using *energyPRO* software. In order to determine the optimal energy production alternative, the combinations of technologies are compared by energetic and ecological indicators and influence of each combination on the energy performance class is assessed.

Keywords: nearly zero energy building, modelling of energy demand, modelling of energy sources, *DesignBuilder*, *energyPRO*, class of energy performance.