

KAI KURIŲ EKOLOGIŠKUMO IR ENERGINIO EFEKTYVUMO SANTYKIO TRADICINĖJE ARCHITEKTŪROJE ASPEKTŲ TYRIMAS

Andrius Keizikas¹, Aistė Andriušytė², Eglė Šiožinytė³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva
El. paštai: ¹andrius.keizikas@vgtu.lt; ²Aiste.Andriusyte@vgtu.lt; ³egle.siozinyte@dok.vgtu.lt

Įteikta 2012-04-03; priimta 2012-05-18

Anotacija. Pastaruoju metu vis svarbesniu reikalavimu pastato kokybei tampa ekologiškumo kriterijus, kuris tiesiogiai siejasi su jo energiniu efektyvumu. Tuo tarpu architektūros ir inžinerijos principai, kuriuos taikant statiniai taptų energiška efektyvūs, ne visada gali būti vadinami ekologiškais, nes jų taikymas dažnai prieštarauja tokioms sampratoms kaip vietinių žaliavų naudojimas, mažai gamybos bei transportavimo energijos reikalaujanti statyba, savaime suyrančios arba antram ciklui panaudojamos medžiagos. Tradicinėje, ypač kaimo statyboje, šie principai galiojo natūraliai, bet retas tradicinis pastatas dėl dažnai prastesnių jo atitvarų fizikinių savybių gali būti vadinamas energiška efektyviu. Europos sąjungos direktyva 2010/31/ES numato, jog po 2020 m. visi nauji pastatai turi atitikti beveik nulinį energijos poreikio reikalavimą. Šiame kontekste ir esant minėtajai priešpriešai, pristatomame tyrime sulyginama tradicinių pastatų energinį efektyvumą užtikrinančių priemonių nauda (išreiškiamą sutaupytos energijos kiekiu per pastato gyvavimo laikotarpį) ir energijos „išlaidos“, reikalingos šioms priemonėms įdiegti. Sulyginus keletą skirtingų tradicinių pastatų sprendimų, nustatoma, kokie istoriškai susiklostę „pasyvūs“ pastatų formavimo principai yra efektyviausi energijos taupymo aspektu.

Reikšminiai žodžiai: tradicinė architektūra, įkūnytoji energija, pastatų energinis efektyvumas, pastatų geometrinis efektyvumas, pastatų ekologiškumas.

1. Įvadas

Istorijos tėkmėje tradicinis gyvenamasis būstas nuolat ir nuosekliai kito, taikant jį prie besikeičiančių poreikių ir panaudojant kaskart naujas technologines galimybes. Tačiau tradicinėje terpėje naujomis formomis buvo įkūnijami vis tie patys darnaus bendrabūvio su aplinka dėsningumai (Andriušytė 2010), kurie šiais laikais asocijuojasi su pastatų ekologiškumu plačiąja prasme. Park (1998) manymu, istorinė architektūra, ypač liaudiška, yra natūraliai „žalia“, nes ji giliai susijusi su kraštovaizdžiu, o Zhai ir Previtali (2010) bei Kazimee (2008) pabrėžia, kad iš jos derėtų mokytis kurti draugiškus aplinkai pastatus, naudoti vietines medžiagas ir efektyviai naudoti energinius išteklius. Tradicinės architektūros sprendimai kinta lėtai, tačiau pokyčiai remiasi gyvenimiška logika ir poreikiais. Iki XX a. pradžios susiklostė skirtingi Lietuvai būdingų gyvenamųjų būstų tūrinių planinių sprendimų variantai pagal etnografinius regionus: žemaitiška troba, vakarų aukštaičių gryčia, rytų aukštaičių ir dzūkų pirkios, suvalkietiška ir Mažosios Lietuvos stubos. Jų ypatumai aptariami etnologinėje literatūroje (*Lietuvos regionų...* 2008–2009), o pagrindiniai skirtumai išryškėja lyginant Vakarų ir Rytų Lietuvos gyvenamuosius būstus.

Tradicinių pastatų vystymasis liudija apie tolydų maksimaliai išbaigtų ir lengvai prieinamų sprendimų įsisavinimą, besiremiantį praktinio panaudojimo racionalumu, spendžiant tiek konstrukcinius, tiek tūrinius planinius uždavinius. Tuo tarpu globalizacijos ir industrializacijos laikais, po ryškių istorinių pervartų, apie nuoseklią būstų raidą kalbėti netenka, mat naujovės dabar dažnai įsisavinamos neperėjus empirinio patyrimo filtro. Ši problematika yra aktuali būtent tradicinės architektūros būstams, kadangi ne vėliau kaip 2020 m. gruodžio 31 d. visi nauji pastatai turės atitikti beveik nulinio energijos poreikio lygį (*Europos Parlamento ir Tarybos direktyva...* 2010).

Palankių pastatų energijos poreikio rezultatų įmanoma pasiekti remiantis šiuolaikiniais architektūros formavimo principais, siejamais su laimėjimais technologijų bei medžiagotyros srityse, naudojant racionalias planines ir tūrines schemas, naujas statybines medžiagas ir kt., iš kurių paminėtini išorinių atitvarų šiluminių savybių gerinimas arba tokias vertes atitinkančių atitvarų naudojimas pastato tūriui formuoti, pastato sandarumo užtikrinimas, inžinerinių sistemų, leidžiančių įsisavinti papildomą energijos kiekį iš atsinaujinančių energijos šaltinių (saulės kolektoriai, baterijos, geoterminis šildymas ir kt.) bei sumažinančių energijos praradimus (mechaninė ventiliacija su rekuperacine sistema), taikymas. Iš išvardintųjų ne visos priemonės gali būti siejamos su ekologiško ir tradicinio būsto samprata bei atitikti Lietuvos Respublikos įstatymais apibrėžtus bei saugomoms teritorijoms taikytinus šių pastatų formavimo reikalavimus (*LR vyriausybės nutarimas...* 1992) ir tarptautines saugomų teritorijų puoselėjimo tendencijas (pagal jas naujovės nėra draudžiamos, tačiau jos neturi menkinti tradicinių konstrukcijų bruožų) (*Europos Parlamento rezoliucija...* 2006).

Iš paminėtos priešpriešos kildinamas šio darbo tyrimas, kurio tikslas yra lyginamosios analizės metu patikrinti kai kurių priemonių, lemiančių pastatų energinį efektyvumą, racionalumą pastato gyvavimo ciklo (apimančio pastato gyvavimo stadijas nuo statybų iki nugriovimo) kontekste. Viena iš nagrinėjamų priemonių yra išorinių atitvarų termoizoliacinių savybių gerinimas. Šiuo tyrimu siekiama patikrinti, kiek tradicinių pastatų šiluminių savybių gerinimo konstrukciniai sprendimai yra pateisinami vertinant jų naudą pastatų naudojimo laikotarpiu. Tuo tarpu racionalumas yra nustatomas suliginus sutaupytos energijos kiekį su šiai medžiagai pagaminti reikalingos energijos kiekiu. Įvertinus keletą medžiagų variantų, skirtų pastatų šiluminėms savybėms gerinti, išskiriamas šiuo požiūriu tinkamiausias sprendimas.

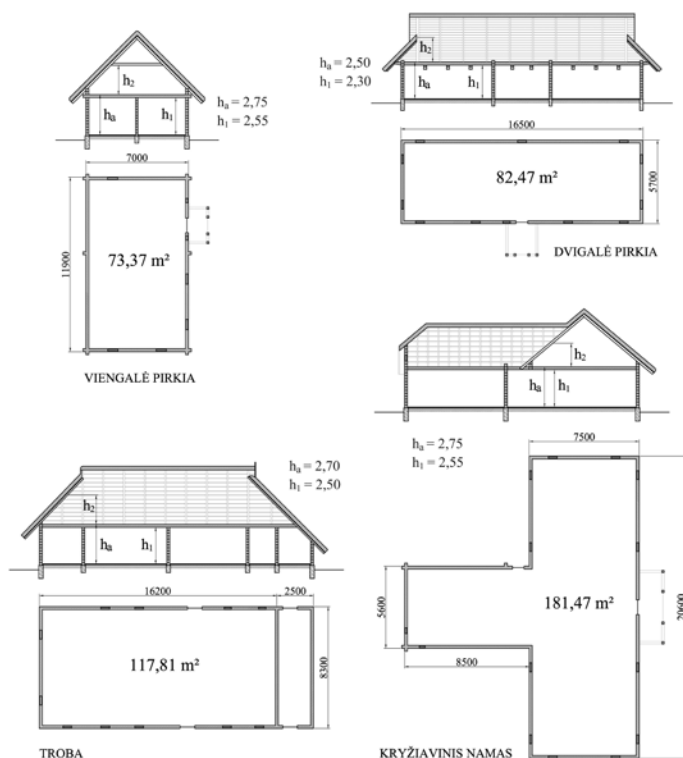
Kadangi tradicinė kaimo architektūra tokia, kokia ji buvo prieš šimtmetį, neatitinka daugumos šiuolaikiniam būstui keliamų norminių reikalavimų, šių dokumentų rodikliai yra pasirenkami už pagrindą vertinant taikomų priemonių efektą. Pastarieji yra statybos techniniai reglamentai STR 2.05.01: 2005; STR 2.01.09: 2005; STR 2.09.04: 2008, kuriuose išdėstyti techniniai reikalavimai tiek pastatų atitvarų savybėms, tiek pastato energijos poreikiui bei suvartojimui. Tuo tarpu namo ilgaamžiškumui (t. y. laikotarpiui, per kurį konstrukcijos elementai geba išsaugoti naudingąsias savybes) vertinti, per kurį patiriama energinio efektyvumo priemonių racionali nauda, pasitelkiamas STR 2.05.03: 2003.

Analizės metu tariama, kad tradicinių pastatų lyginamiesiems tūriams formuoti yra naudojamos vienodos šiluminės savybės užtikrinančios medžiagos: stogui – šiaudai;

išorinėms sienoms – mediena; pagrindui – medinės grindys ant grunto be šilumos izoliacijos. Minėtosioms atitvaroms, siekiant užtikrinti STR 2.05.01: 2005 reikalavimus, priskiriami papildomi izoliacijos sluoksniai: šiaudų izoliacija, akmens vatos bei EPS plokštės.

Gyvenamųjų namų energijos suvartojimas priklauso ne tik nuo jo statybai panaudotų medžiagų savybių. Tradicinėje architektūroje per šimtmečius vystėsi pastatų formavimo dėsniai, kuriuos dabartyje priimta vadinti „pasyvaus projektavimo“ metodais (Su 2011; Aksoy, Inalli 2006). Šių dėsnių įtaka pastatams, taikant tūrinius planinius sprendimus, taip pat gali būti įvertinta atsižvelgiant į skirtingus būstų tūrinių planinių sprendimų variantus įvairiuose Lietuvos etnografiniuose regionuose. Viena tokių vertinimo metodikų yra pateikta tyrimuose (Parasonis, Keizikas *et al.* 2012a; b), kuriais remiantis, atlikus Lietuvai būdingų tradicinių gyvenamųjų pastatų tūrių lyginamąją analizę, galima nustatyti tiek jų formos įtaką energiniam naudingumui, tiek efektyviausią tūrinį planinį sprendimą.

Tokiai analizei pateikiami keturių tradicinės architektūros, besiskiriančių dydžiu, planine konfigūracija, išorinių atitvarų plotu pastatų variantai: viengalė ir dvigalė dzūkios pirkios, žemaitiška troba ir kryžiatinis namas. 1 lentelėje ir brėžiniuose (1 pav.) pateikiami jų gabaritai.



1 pav. Tradicinių pastatų gabaritai (Milius 1989; Šešelgis 1965, 1974)

Fig.1. Dimensions of traditional buildings (Milius 1989; Šešelgis 1965, 1974)

1 lentelė. Pastatų paviršių plotų duomenys**Table 1.** Area values of buildings' surfaces

Paviršiai	Plotas, m ²			
	Viengalė pirkia	Dvigalė pirkia	Troba	Kryžiavinis namas
Išorinės sienos	129,08	110	132,94	224,78
Langai	3,04	4,12	4,82	6,08
Išorinės durys	1,44	1,28	3,6	3,24
Stogas	83,30	94,05	135,29	202,10
1a. grindys (naudingasis plotas)	73,37	82,47	117,81	181,47
Palėpė (kai $h \geq 2,4$)	27,56	12,17	32,25	45,13
Palėpė (kai $h \geq 1,6$)	50,32	37,39	62,76	104,54

2. Tyrimo metodikos pristatymas

2.1. Išorinių atitvarų sprendinių šiluminių savybių racionalumo vertinimo metodas

Išorinių atitvarų šiluminių savybių gerinimas įmanomas: a) didinant esamų išorinių atitvarų termoizoliacinio sluoksnio storį; b) įvedant papildomą efektyvesnės šilumos izoliacijos sluoksnį. Nagrinėjamuju atveju tradicinių pastatų termoizoliacinį sluoksnį sudaro laikančioji konstrukcija – medžio rąstai, kurių storį didinti iki normose keliamų šilumos izoliacijos savybių (t. y. apytiksliai 4 kartus, – tiek pat kartų padidėtų ir laikančioji geba) nėra tikslinga. Dėl to šiame tyrime yra priimtinesnis papildomo efektyvios termoizoliacinės medžiagos sluoksnio įvedimas. Tyrime išorinėms konstrukcijoms taikomų papildomų medžiagų storiai d parenkami atsižvelgiant į STR 2.05.01: 2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“ keliamus reikalavimus.

Papildomo šilumos izoliacijos sluoksnio racionalumo sąlyga gali būti patikrinta jo sutaupytos energijos E_S , kurią šis geba sulaikyti šildymo sezonais per visą pastato eksploataavimo laikotarpį, nustatymu ir sulyginimu su energijos kiekiu E_{EMB} , reikalingu šiai medžiagai pagaminti:

$$E_S \geq E_{EMB} \quad (1)$$

Per vienerius šildymo sezono metus sutaupytoji energija E_S yra lygi metinių šilumos nuostolių per išorines atitvaras skirtumui ΔQ_i , kuris nustatomas apskaičiavus tradicinio konstrukcinio sprendimo atitvaros metinius nuostolius Q ir apšiltinto medžiagos i sluoksniu varianto analogiškus nuostolius Q_i ($\Delta Q_i = Q - Q_i$). Šilumos nuostoliai per atitvaras nustatomi vadovaujantis STR 2.01.09: 2005 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“ pateikta metodika.

Kadangi STR 2.05.03: 2003 „Statinių konstrukcijų projektavimo pagrindai“ pastatų konstrukcijos priskiriamos 4 skaičiuotinio eksploatacijos laikotarpio kategorijai, kurios siūlomas eksploatacijos laikotarpis lygus 50 metų, apšiltinimo medžiagos i (3 lentelė) $E_{i,S}$ vertė yra nustatoma šiam laikotarpiui:

$$E_{i,S} = 50 \times \Delta Q_i \quad (2)$$

Energijos kiekis E_i (MJ arba kWh), suvartotas tam tikram lyginamajam vienetui (kg arba m^3) medžiagos i pagaminti, yra vadinamas „įkūnytąja energija“ arba „pilkąja energija“ (angl. *Embodied energy*, *Grey energy*) (Hegger *et al.* 2008). Įkūnytąsios energijos kiekis dažniausiai apima medžiagos iškastinių žaliavų gavybos, transportavimo ir apdirbimo suvartotą energiją, o idealiausiu atveju ji taip pat įskaitys kuro transportavimo, gamyklos apšvietimo, įrenginių priežiūros, sandėliavimo ir kitas pirminės energijos emisijas, susietas su šios medžiagos gamyba iki galutinio produkto išsiuntimo iš gamyklos (Hammond, Jones 2008).

Dėl skirtingų tam tikrų medžiagų gamybos technologijų ir jų galutinio produkto fizikinių savybių (pvz., tankio, stiprumo, šilumos laidumo ir kt.) skirtinguose šaltiniuose tų pačių medžiagų įkūnytąsios energijos kiekiai E_i gerokai skiriasi. Siekiant objektyvumo, šiame darbe iš šaltinių yra imami kiekvienos i medžiagos didžiausi ir mažiausi gamybos energijos kiekiai $E_{i,\min}$ ir $E_{i,\max}$, o bendrasis įkūnytąsios energijos kiekis kiekvienai medžiagai, reikalingas nagrinėjamiems tradiciniams pastatams papildomai apšiltinti, nustatomas pagal išraišką:

$$E_{i,EMB} = E_i \times V_i, \quad (3)$$

čia V_i – medžiagos tūris, reikalingas nagrinėjamųjų pastatų išorinėms atitvaroms apšiltinti iki norminiuose dokumentuose jiems keliamų reikalavimų ir yra nustatomas pagal pateiktus (1 pav.) pastatų gabaritų.

Šiame tyrime yra nevertinamos kitos medžiagos (tvirtinimo elementai, vėjo izoliacija, apdailos sluoksniai ir pan.), reikalingos apsaugoti įvedamam papildomam apšiltinimo sluoksniui, kadangi jų savybės (įskaitant eksploataciją bei priežiūrą) ir kiekiai priklauso nuo konkretaus konstrukcinio atitvarų mazgo sprendimo ir jo eksploatacinių sąlygų. Dėl tos pačios priežasties nėra vertinami išorės oro infiltracijos bei ilginių šilumos tiltelių nuostoliai. Tačiau pasiteisinus papildomo termoizoliacinio sluoksnio įvedimui, tokie skaičiavimai būtų prasmingi.

Šiame tyrime taip pat nėra vertinamos santykinai nedidelį išorės atitvarų plotą užimančios langų bei durų konstrukcijos, kurių plotai nagrinėjamuose pastatų sprendimuose neatitinka gyvenamųjų patalpų insoliacijos reikalavimų (STR 2.02.09:2005). Šių reikalavimų vykdymas reikštų tradicinių pastatų architektūros koregavimą, o toks veiksmas nėra kvestionuojamas šiame darbe. Tačiau pažymėtina, kad šos nevienalytės atitvaros yra konstruojamos iš daugybės medžiagų rūšių (medžio, stiklo, guminių tarpinių, plastiko, aliuminio, plieno, dujų užpildo ir kt.), kurių kiekiai gaminyje nėra proporcingi nei plotui, nei gabaritams. Taigi kiekvienu atveju šių atitvarų įkūnytąsios energijos skaičiavimas yra vertas atskiro tyrimo, analogiško atliktam Szalari ir Sowlati (2008).

2.2. Pastatų tūrinių planinių sprendimų racionalumo vertinimo metodas

Tradicinių pastatų tūrinių planinių sprendimų racionalumo vertinimo metodas remiasi Parasonio, Keiziko *et al.* (2012) darbe pateikta medžiaga. Ji siejama su pastato, kurio naudingojo ploto vertė yra S , o bendrasis išorinių atitvarų plotas lygus A , santykiu, kuris apibūdinamas sąvoka *geometrinis efektyvumas* GE :

$$GE = \frac{A}{S}. \quad (4)$$

Kai pastato naudingojo ploto S ir aukšto aukščio h vertės yra žinomos, galimas mažiausios jį gaubiančio išorinio paviršiaus vertės A_{ref} nustatymas, besiremiantis jo minimizavimo uždavinio sprendimu. Minėtajame šaltinyje šis kompaktiškiausias pastato tūris vadinamas etalonu ir atitinka artimiausią kubui formą. Tam tikro ploto S etalono geometrinis efektyvumas GE_{ref} yra lygus:

$$GE_{ref} = \frac{A_{ref}}{S}. \quad (5)$$

Kiekvienam tiriamajam tradicinės architektūros pastato variantui yra nustatomas tiek GE , tiek GE_{ref} . Turint šiuos rodiklius, galimas skirtingų pastatų sprendimų palyginimas tarpusavyje bei pastato sprendimo nutolimo nustatymas nuo jo etalono vertės. Pastarasis rodiklis yra įvardijamas santykiniu geometrinio efektyvumu (RGE) ir nustatomas naudojantis formule:

$$RGE = \frac{GE}{GE_{ref}}. \quad (6)$$

Remiantis GE ir RGE rodikliais, įmanomas ne tik skirtingų pastatų architektūrinių sprendimų palyginimas tarpusavyje. Jais naudojantis yra įvertinamas pastatų tūrių potencialas racionaliai naudoti medžiagų išteklius statybų stadijoje ir minimizuoti šiluminės energijos nuostolius pro išorinį pastato paviršių jo naudojimo stadijoje. Šių rodiklių nustatymo ir palyginimo bei 2.1 poskyryje pristatyto pastatų atitvarų vertinimo rezultatai yra pateikti kitame skyriuje.

3. Tyrimų rezultatai

3.1. Išorinių atitvarų sprendinių šiluminių savybių racionalumo vertinimas

Pagrindinė išorinių atitvarų šiluminė charakteristika yra šilumos perdavimo koeficientas U , kurio norminės vertės U_N , vadovaujantis STR 2.05.01: 2005 bei įvertinus vidutinę šildymo sezono metu vyraujančią išorės lauko temperatūrą, pagal STR 2.01.09: 2005 lygią $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, kaip ir tradicinių pastatų sprendimų skaičiuojamosios U vertės kiekvienai atitvarų rūšiai, yra pateikiamos 2 lentelėje.

2 lentelė. Išorinių atitvarų šiluminių charakteristikų vertės

(pagal STR 2.05.01: 2005; STR 2.01.09: 2005)

Table 2. Thermal performance values of external envelope elements
(according to STR 2.05.01: 2005; STR 2.01.09: 2005)

Atitvaros rūšis	Norminis atitvarų šilumos perdavimo koeficientas U_N^* , $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	Tradicinių atitvarų skaičiuojamosios U vertės, $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$
Stogas	0,165	0,34
Sienos	0,206	0,78
Grindys	0,258	0,71

* kai išorės vidutinė oro temperatūra yra $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pagal 2 lentelės U_N vertes yra nustatomi trijų rūšių šilumos izoliacijų, kurių gamyba išvystyta Lietuvos teritorijoje, storiai d , reikalingi atitvarų norminėms šiluminėms charakteristikoms pasiekti (pagal STR 2.05.01: 2005 metodiką). Skaičiavimams reikalingos medžiagų šilumos laidumo koeficiento λ reikšmės imamos iš STR 2.01.09: 2005 3 priedo. Apšiltinimo medžiagų λ ir pagal juos nustatyti storiai d parodyti 3 lentelėje. Kadangi šilumos izoliacinės medžiagos yra gaminamos standartizuotų storių, lentelėje įvardinti minimalūs, t. y. atitinkantys norminę konstrukcijos U_N vertę, storiai d ir projektiniai – artimiausi minimaliems pagal gaminamų medžiagų katalogus (pastarieji naudojami atliekant tolesnius skaičiavimus).

3 lentelė. Apšiltinimo medžiagų šilumos laidumo koeficiento vertės ir jų storiai d atitvarose (pagal STR 2.01.09: 2005)

Table 3. Thermal conductivity values of insulation materials and their thickness d (according to STR 2.01.09: 2005)

Nr.	Medžiagos pavadinimas	Šilumos laidumo koeficiento λ vertė, $W/m \cdot K$	d stogo konstrukcijoje, m		d sienos konstrukcijoje, m		d grindų konstrukcijoje, m	
			minimalus	projektinis	minimalus	projektinis	minimalus	projektinis
1	Akmens vata	0,042	0,13	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10
2	EPS plokštė	0,044	0,14	0,15	0,16	0,20	0,11	0,15
3	Šiaudai	0,09	0,29	0,29	0,33	0,33	0,22	0,22

Pagal 3 lentelėje parinktus projektinius išorinių atitvarų papildomos šilumos izoliacijos variantų storius yra nustatomi „modifikuotų“ atitvarų šilumos perdavimo koeficientai U_i ir atitinkami metiniai šilumos nuostoliai Q_p , tenkantys jų ploto vienetui. Taip pat nuostoliai Q yra nustatomi „nemodifikuotiems“ tradicinių atitvarų sprendimams, kurie reikalingi šilumos izoliacijos sluoksnio per metus potencialiai išsaugotai energijai ΔQ_i nustatyti. Skaičiavimai yra grindžiami STR 2.01.09: 2005 pateikta šilumos nuostolių pro pastato sienas, stogus ir grindis ant grunto nustatymo metodika.

Šilumos izoliacinių medžiagų įkūnytosi energijos E_i kiekiai, tenkantys jų lyginamajam vienetui pagaminti, yra išrenkami iš Berge (2001), Magwood *et al.* (2005), Harvey (2007), Hammond ir Jones (2008), Hegger *et al.* (2008), Offin (2010) šaltinių. Siekiant objektyvumo, skaičiavimams pasitelkiamos minimalios ir maksimalios E_i vertės. Įkūnytosi energijos kiekiai, tenkantys vienetiniam apšiltintų atitvarų plotui, yra pateikiami 4 lentelėje. Ten pat atvaizduojamos per 50 metų laikotarpį apšiltinimo medžiagų išsaugotasis energijos kiekis.

Iš 4 lentelės rezultatų matyti, kad izoliacinių medžiagų potencialas sutaupyti energiją pastato eksploatacijos laikotarpiu (vertinant šildymo sezono tarpsnius, atspindimas $E_{i,s}$ vertė), yra gerokai didesnis nei $E_{i,EMB}$ energijos kiekis, reikalingas šioms medžiagoms pagaminti. Remiantis maksimaliais medžiagų įkūnytosi energijos rodmenimis, E vertės susilygins vėliausiai po 10 metų (EPS plokštei, taikomai stogo konstrukcijai). Tuo tarpu iš tirtųjų medžiagų didžiausiu efektu pasižymi šiaudai, kurių gamybai suvarotos energijos kiekis „atsipirks“ jau pirmaisiais eksploatacijos metais visose šiltinamose konstrukcijose ($E_{3,EMB} > \Delta Q_3$).

4 lentelė. Išorinių atitvarų apšiltinimo medžiagų įkūnytosios ir eksploatacijos laikotarpiu sutaupytos energijos kiekiai

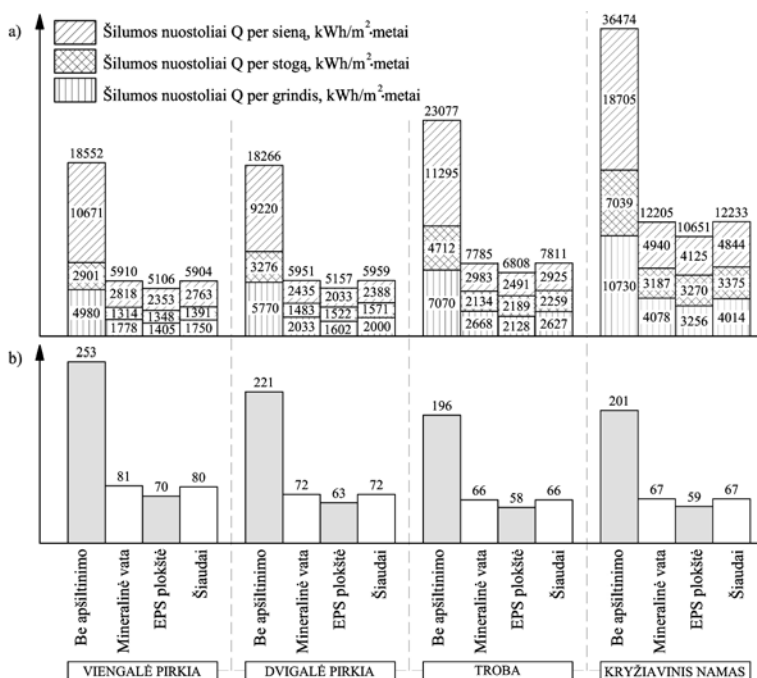
Table 4. Values of embodied energy and operation period energy savings of external envelope's thermal insulation

Nr.	Apšiltinimo medžiagos pavadinimas	Šiltinamosios atitvaros rūšis	U_p , W/ $m^2 \cdot K$	Q_i , kWh/ $m^2 A$	Q , kWh/ $m^2 A$	ΔQ_p , kWh/ $m^2 A$	Sutaupyta energija $E_{i,S} = \Delta Q \times 50$, kWh	E_p , kWh		$E_{i,EMB}$, kWh	
								min	max	min	max
1	Mineralinė vata	stogas	0,154	15,77	34,83	19,06	953	112	700	16,8	105
		sienos	0,206	21,10	79,90	58,80	2940			16,8	105
		grindys*	2,4–0,258	22,47–24,65	59,13–69,97	36,66–45,32	1833–2266			11,2	70
2	EPS plokštė	stogas	0,158	16,18	34,83	18,65	933	479	1183	71,9	177,5
		sienos	0,172	17,62	79,90	62,28	3114			95,8	236,6
		grindys*	0,193–0,204	17,94–19,43	59,13–69,97	41,19–50,54	2060–2527			47,9	118,3
3	Šiaudai	stogas	0,163	16,70	34,83	18,13	907	7	25	2,0	7,3
		sienos	0,202	20,69	79,90	59,21	2961			2,3	8,3
		grindys*	0,237–0,253	22,12–24,25	59,13–69,97	37,01–45,72	1851–2286			0,7	2,5

* Dėl skirtingo namų perimetro pastatų nuostoliai per 1 m² grindų yra skirtingi (pagal STR 2.01.09: 2005). Lentelėje pateiktos mažiausia ir didžiausia nuostolių vertės.

Nustatytas apšiltintų ir neapšiltintų atitvarų vienetines nuostolių vertes lieka pritaikyti tiriamųjų pastatų tūriams, kas identifikuoja lyginamųjų pastatų energinį efektyvumą ir jų architektūrinės formos racionalumą. Šiai analizei Q ir Q_i vertės yra dauginamos iš išorinių atitvarų plotų (1 lentelė) (namų stogų plotai imti pagal STR 2.01.09: 2005 stogų virš nešildomos palėpės reikalavimus), o bendrasis kiekvieno pastato nuostolių pro išorines atitvaras kiekis atvaizduojamas santykyje su naudinguoju pastato plotu (2 pav., a, b).

Iš 2 pav. diagramų matyti, kad bandomųjų pastatų vienodomis fizikinėmis savybėmis pasižyminčios to paties tipo išorinės pastatų atitvaros rodo skirtingas nuostolių vertes, ko priežastis yra skirtingas jų plotas. Dėl to skiriasi ir pastatų suminiai nuostoliai per jų atitvaras. Didžiausius jų rodo stambiausias (kryžiavinis) pastatas, tačiau pastarasis vaizduoja ne pačius didžiausius naudingojo ploto vienetai tenkančius nuostolius, kas byloja apie formos įtaką pastato energiniam efektyvumui. Kurie iš tiriamųjų pastatų geriau naudoja savo formos potencialą, parodoma kitame poskyryje.



2 pav. Metiniai atitvarų šilumos energijos nuostoliai: a) per atskirų rūšių atitvaras;
 b) į naudingojo ploto vienetą

Fig. 2. Annual heat losses through external envelope: a) through different envelope elements;
 b) per floor area unit

3.2. Pastatų tūrinių planinių sprendimų racionalumo vertinimas

Tradicinės architektūros pastatų geometriniam efektyvumui GE ir santykiniam geometriniam efektyvumui RGE vertinti pasitelkiami jų vidaus ir išorinių paviršių plotų duomenys (1 lentelė).

Kiekvieno pastato GE_{ref} ir RGE nustatyti pagal jų naudingojo ploto S vertes yra parenkamos etaloninio (t. y. artimiausio kubo formai) tūrio varianto išorinių atitvarų plotų A_{ref} vertės. Jų radimas gali būti atliktas rankiniu būdu (apskaičiavus paviršiaus plotus įvairaus aukštų skaičiaus stačiakampiams, artimiems kubui pastatų tūriams, talpinantiems plotą S , ir nustačius mažiausiąjį) arba pasitelkiant kompiuterinius programinius paketus, skirtus matematiniams uždaviniams spręsti. Parasonio, Keiziko *et al.* (2012a; b) tyrimuose A_{ref} ir GE_{ref} nustatyti taikyta *Microsoft Office Excel* paketo „kas jeigu“ analizės priemonė „Solver“, skirta optimalios reikšmės paieškai tikslo langelyje, kai parenkamos susietų su juo langelių vertės. Minėtasis paketas naudotas vykdant ir šį tyrimą.

Operuojant vidaus patalpų plotų duomenimis, atsižvelgta į tai, kad tradicinės architektūros pastatų palėpėse nebuvo gyvenamųjų erdvių. Dėl to pirmuoju skaičiavimų atveju pastatų gyvenamąjį plotą sudaro tik pirmojo aukšto patalpų plotų suma, kuri žymima raide S . Tuo tarpu dabartiniu laikotarpiu nėra kliūčių panaudoti palėpės plotą gyvenamajai funkcijai atlikti ir kartu yra galimybė maksimaliai panaudoti analizuojamųjų

namų erdves, nekeičiant jų struktūros. Dėl to antruoju skaičiavimų atveju į pastatų gyvenamojo ploto sumą įtraukiamas ir palėpės plotas, kai jos patalpų aukštis yra didesnis arba lygus pirmojo aukšto patalpų aukščio vertei ($h_2 \geq h_1$, žr. 1 pav.). Šiuo atveju bendrasis naudingasis pastatų plotas žymimas raide S_1 . Trečiuoju skaičiavimų atveju įvertinama, kad Lietuvos norminiuose dokumentuose (STR 2.02.01: 2004 „Gyvenamieji pastatai“) patalpų po šlaitiniais stogais plotai įtraukiami į naudingojo ploto sumą, jei jų aukštis viršija 1,6 m ribą. Dėl to S_3 plotų suma apima ir tą zoną, kai $h_2 \geq 1,6$ m.

Pastatų naudingųjų plotų variantai S_1, S_2, S_3 , atitinkami jų geometriniai efektyvumai GE , etaloniniai geometriniai efektyvumai GE_{ref} ir santykiniai geometriniai efektyvumai RGE yra pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Pastatų geometrinių parametrų lyginamieji rezultatai

Table 5. Comparative results of buildings' geometric parameters

Eil. nr.	Viengalė pirkia	Dvigalė pirkia	Troba	Kryžiatinis namas
Paviršių plotai				
1. Bendrasis išorinis paviršius, A	280,56	277,25	339,62	520,46
2. Naudingasis (1a. grindys), S	73,37	82,47	117,81	181,47
3. Maksimalusis grindų (1a. + palėpė ₁), S_1	97,58	97,77	146,67	221,68
4. Maksimalusis grindų (1a. + palėpė ₂), S_2	123,69	119,86	180,57	286,01
Geometrinis efektyvumas				
5. $GE = A/S$	3,8239	3,3618	2,8828	2,8680
6. $GE_1 = A/S_1$	2,8752	2,8357	2,3155	2,3478
7. $GE_2 = A/S_2$	2,2683	2,3131	1,8808	1,8197
Etaloninis geometrinis efektyvumas				
8. GE_{ref}	2,8161	2,5573	2,3901	2,081
9. GE_{ref1}	2,5748	2,4183	2,2113	1,9463
10. GE_{ref2}	2,3797	2,2487	2,0588	1,7933
Santykinis geometrinis efektyvumas				
11. $RGE = GE/GE_{ref}$	1,3579	1,3146	1,2061	1,3782
12. $RGE_1 = GE/GE_{ref1}$	1,1167	1,1726	1,0471	1,2063
13. $RGE_2 = GE/GE_{ref2}$	0,9532	1,0286	0,9136	1,0147

5 lentelės GE rezultatai rodo, kad iš išvaizdos nekompaktiškiausio – kryžiatinio pastato architektūrinė forma yra efektyviausia medžiagų poreikio (tenkančio jo naudingojo ploto vienetui), o kartu ir šilumos nuostolių pro atitvarų plotą jo eksploatacijos metu, prasme. Šio pastato nekompaktiškumą patvirtina RGE vertė, kuri nurodo jo „atsilikimą“ nuo etalono beveik 38 %. Tuo tarpu neefektyviausiu GE rodikliu pasižymi mažiausias (kartu antras pagal nutolinimą nuo etalono) namas – viengalė pirkia.

Nekompaktiško pastato galimybę įgyti geresnes geometrinio efektyvumo vertes paaiškina Parasonio, Keiziko *et al.* (2012b) tyrimas, kuriame atvaizduota geometrinio efektyvumo vertės priklausomybė nuo pastato naudingojo ploto skaitinės vertės: kuo

pastato S yra didesnis (kryžiavinio namo plotas yra didžiausias), tuo geresnį geometrinį efektyvumą jis gali pasiekti ir kartu kompensuoti tūrio nekompaktiškumą.

Kompaktiškiausiu iš tiramųjų pastatų yra troba, kurios išorinių atitvarų plotas didesnis už etaloną 21 % ($RGE = 1,2061$). Nors šis namas pagal plotą S yra trečdaliu mažesnis už kryžiavinį, dėl geriausio formos panaudojimo jų GE rodikliai yra beveik identiški.

Pasitelkus tradicinių namų struktūros teikiamas galimybes gyvenamajai paskirčiai panaudoti palėpės plotą, jų formos racionalumas gerokai pagėrėja. Laikantis matematinės lygybės pozicijos, t. y. kai naudingajam plotui priskirtina tik ta palėpės patalpų dalis, kuri atitinka identiškus pirmojo aukšto patalpoms keliamus aukščio reikalavimus, efektyviausiu namu yra troba (6 eilutė), kurios RGE vertė, palyginti su etalonu, parodo mažesnę nei 5 % išorinio paviršiaus ploto skirtumą. Neefektyviausiu namu šiomis sąlygomis išlieka viengalė pirkia. Tačiau, nustatant naudingąjį plotą remiantis norminių dokumentų reikalavimais (S_3 atveju), kryžiavinis namas rodo geriausią GE vertę, geriausiu išorinių atitvarų panaudojimu pasižymi troba (9 % efektyvesnė už etaloną), tuo tarpu prasčiausi rezultatai yra viengalės ir dvigalės pirkios.

Apibendrinant pastatų geometrinio efektyvumo tyrimą, prieinama prie išvados, kad efektyviausiais iš tirtųjų tradicinės architektūros namų yra turintys didžiausią naudingąjį plotą, t. y. troba ir kryžiavinis namas. Iš pastarųjų troba parodė geriausią išorinių atitvarų panaudojimo rezultatą.

4. Apibendrinimas

Tyrimas parodė, kad per 50 metų eksploatavimo laikotarpį apšiltintas pastatas sutalpys kelis kartus daugiau energijos nei jos pareikalaus taikytos medžiagos energinės sąnaudos (t. y. įkūnytoji energija) šiam taupymo rezultatui pasiekti. Todėl ekologiniu aspektu klausimas turėtų būti ne „ar šiltinti?“, o „kaip šiltinti?“, juo labiau, kad tirtųjų medžiagų efektyvumo rodmenys yra skirtingi.

Susumavus ir palyginus tirtųjų medžiagų įkūnytosios energijos kiekius bei jų energijos taupymo efektą apšiltintų pastatų eksploatavimo metu, racionaliausia medžiaga pasirodė šiaudų izoliacija. Tačiau tyrimui taikytas medžiagų vertinimo kriterijus, nors ir svarus, nėra vienintelis, lemiantis vienos ar kitos medžiagos pasirinkimą: kiekviena medžiaga reikalauja specifinių įrengimo technologijų (kartais skirtingų kiekvienai konstrukcijai rūšiai), konstrukcinių mazgų sprendimų bei, siekiant kuo ilgiau išlaikyti izoliacines savybes, reikiamos priežiūros eksploatavimo metu. Pavyzdžiui, šiaudų izoliacijos tankis yra didžiausias, be to, ji reikalauja didžiausio iš visų medžiagų izoliacijos sluoksnio d . Tai reikštų, kad pastato laikančiosios konstrukcijos turi būti apskaičiuotos didesnėms apkrovoms, o bendrasis išorinių atitvarų storis, įvertinus visus jas sudarančius sluoksnius, taip pat turėtų būti didžiausias. Remiantis šiuo aspektu, akmens vatos izoliacija būtų pranašesnė, kaip ir EPS plokštė, tačiau pastaroji pasižymi kai kuriomis savybėmis, nepageidaujamomis derinyje su natūraliomis medžiagomis: nelaidi orui, neatspari ir toksiška gaisro atveju, sintetinė, savaime nesuyranti ir kt. Šiuo atveju natūralumas yra vienas didžiausių šiaudų izoliacijos pranašumų, itin svarių tiek tradicinės architektūros,

tiesiog ekologiškiems pastatams. Šiuo aspektu kitos tirtosios medžiagos atsilieka, mat jų perdirbimas reikalauja papildomų energijos išteklių poeksploataciniu laikotarpiu.

Kaip parodė pastatų tūrinių planinių sprendimų tyrimas, bendrąjį pastatų energijos poreikį lemia ne tik jų atitvarų fizikinės savybės, bet ir šių atitvarų kiekis, talpinant tam tikrą naudingą plotą. Jis atskleidė, kad geriausiai pastato formą panaudoja troba, kurios geometrinių rodiklių vertės patvirtina geriausi energijos nuostolių per atitvaras rezultatai. Tačiau dėl nehomogeniškų atitvarų savybių pastatų geometriniai rodikliai nėra proporcingi nuostolių per atitvaras vertėms (Parasonis, Keizikas *et al.* 2012b). Dėl to identiškų geometrinių parametrų, tačiau skirtingo išorinių atitvarų (kurios pasižymi geresnėmis termoizoliacinėmis savybėmis) ploto pastatai rodytų skirtingus energijos nuostolius. Atliktų tyrimų atveju geriausius šiluminės varžos rodiklius atitinka stogo konstrukcijos, iš ko išplaukia, kad iš dviejų identiškų geometrinių parametrų pastatų efektyvesnis bus tas, kurio didžiausią išorinių atitvarų plotą užims stogo elementai.

Vertinant tradicinės architektūros būstų tūrinius planinius sprendimus šiuolaikinių sprendimų kontekste, verta išskirti visų jų aukštą formos panaudojimo potencialą, matomą palyginus juos su moderniosios architektūros sutapdintųjų stogų pastatais. Jie buvo bandyti abiejuose Parasonio, Keiziko *et al.* tyrimuose, dauguma jų gerokai atsilieka nuo visų tradicinių būstų RGE_2 rodiklių, kai maksimaliai panaudotas grindų plotas. Dėl to tiek saugomo istorinio kraštovaizdžio teritorijų, tiek moderniosios architektūros gyvenamiesiems namams, siekiant minimalaus medžiagų sunaudojimo statybų metu ir geresnio energinio efektyvumo eksploatacijos laikotarpiu, geriau rinktis ne sutapdintųjų, o tradicinių stogų sprendimus.

Išvados

1. Per eksploatacijos laikotarpį apšiltinti tradicinės architektūros pastatai sutaupys kelis kartus daugiau energijos, nei jos pareikalaus taikytos medžiagos energinės sąnaudos šiam taupymo rezultatui pasiekti.
2. Tirtųjų apšiltinimo medžiagų įkūnytą energijos ir jų taupymo efekto santykio požiūriu, racionaliausia medžiaga yra šiaudų izoliacija. Ji taip pat pasižymi natūralumu, kas leidžia išvengti papildomų energijos sąnaudų medžiagoms perdirbti poeksploataciniu laikotarpiu, tačiau reikalauja stambesnių ir didesnes apkrovas atlaikančių konstrukcijų.
3. Pastatų geometrinių parametrų tyrimas parodė, kad efektyviausiai išorinės atitvaros yra panaudojamos trobos ir kryžiavinio namo tradicinės architektūros sprendimams: trobos – dėl kompaktiškiausio tūrinio planinio sprendimo, kryžiavinio – dėl didžiausio ploto.
4. Pastatų kompaktiškumo lyginamieji rodikliai byloja, kad tradicinės architektūros būstų tūriniai planiniai sprendimai dėl šlaitinių stogų naudojimo pasižymi aukštesniu formos panaudojimo potencialu, palyginti su moderniosios architektūros sutapdintųjų stogų pastatais. Todėl, siekiant minimalaus medžiagų suvartojimo pastatų statybos metu ir geresnio energinio efektyvumo jų eksploatavimo laikotarpiu, geriau rinktis ne sutapdintųjų, o tradicinių stogų sprendimus.

Literatūra

- Aksoy, U. T.; Inalli, M. 2006. Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region, *Building and Environment* 41(12): 1742–1754. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.011>
- Andriušytė, A. 2010. Tradicijos perėmimo gairės: etninės architektūros kompozicija, *Tautosakos darbai* 39: 116–138.
- Berge, B. 2001. *The ecology of building materials*. Oxford: Architectural Press. 453 p.
- Bertašiūtė, R.; Andriušytė, A.; Aranauskas, R., et al. 2010. *Kaimo statyba: Rytų Aukštaitija*. Kaunas: Lututė. 124 p. ISBN 9789955371175.
- Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES, 2010 m. gegužės 19 d. dėl pastatų energinio naudingumo (nauja redakcija) [interaktyvus]. 2010. EUR-Lex prieiga prie Europos Sąjungos teisės [žiūrėta 2012 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?mode=dbl&lang=lt&ihl=lt&lng1=lt,en&lng2=bg,cs,da,de,el,en,es,et,fi,fr,hu,it,lt,lv,mt,nl,pl,pt,ro,sk,sl,sv&val=517732:cs&page=>
- Europos Parlamento rezoliucija dėl Europos gamtos architektūros ir kultūros paveldo apsaugos kaimo ir salų bendruomenėse (2006/2050(INI)) [interaktyvus]. 2006. EUR-Lex prieiga prie Europos Sąjungos teisės [žiūrėta 2012 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2006:305E:0254:0258:LT:PDF>
- Hammond, G.; Jones, C. 2008. *Inventory of carbon & energy (ICE)* [interaktyvus]. Bath [žiūrėta 2012 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf>.
- Harvey, L. D. D. 2007. Net climatic impact of solid foam insulation produced with halocarbon and non-halocarbon blowing agents, *Building and Environment* 42: 2860–2879. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.028>
- Hegger, M.; Fuchs, M. 2008. *Energy manual: sustainable architecture*. Basel: Birkhauser. 280 p.
- Kazimee, B. 2008. Learning from vernacular architecture: sustainability and cultural conformity, *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 113: Eco-Architecture II 3–13.
- Lietuvos regionų tradicinė kaimo architektūra [interaktyvus]. 2008–2009. Lietuvos Respublikos Seimas [žiūrėta 2012 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: http://www3.lrs.lt/pls/inter/w5_show?p_r=7011&p_d=92644&p_k=1
- Lietuvos Respublikos vyriausybės nutarimas „Dėl Specialiųjų žemės ir miško naudojimo sąlygų patvirtinimo: 1992 m. gegužės 12 d. Nr. 343 [interaktyvus]. 1992. Infolex [žiūrėta 2012 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.infolex.lt/ta/50882>
- Magwood, Ch.; Mack, P.; Therien, T. 2005. *More Straw Bale Building: A Complete Guide to Designing and Building with Straw*. Gabriola Island: New Society Publishers. 288 p.
- Milius, V., et al. 1989. *Dubičiai*. Vilnius: Mintis. 319 p. ISBN 5-417-00142-2.
- Offin, M. 2010. *Straw bale construction: assessing and minimizing embodied energy* [interaktyvus]. Kingston: Queen's University [žiūrėta 2012 m. kovo 15 d.]. Prieiga per internetą: http://qspace.library.queensu.ca/bitstream/1974/5409/1/Offin_Maria_201001_MES.pdf
- Parasonis, J.; Keizikas, A.; et al. 2012a. Architectural Solutions to Increase the Energy Efficiency of Buildings, *Journal of Civil Engineering and Management* 18(1): 71–80. <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2011.652983>
- Parasonis, J.; Keizikas, A., Kalibatiene, D. 2012b. The relationship between the shape of a building and its energy performance, *Architectural Engineering and Design Management* (in press). <http://dx.doi.org/10.1080/17452007.2012.675139>
- Park, S. C. 1998. *Sustainable Design and Historic Preservation* [interaktyvus]. CRM No 2 [žiūrėta 2012 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.smartplaces.com/general/21-2-4.pdf>
- Sazalar, J.; Sowlati, T. 2008. Life cycle assessment of windows for the North American residential

- market: Case study; *Scandinavian Journal of Forest Research* 23(2): 121–132. <http://dx.doi.org/10.1080/02827580801906981>
- STR 2.05.03:2003. *Statybinių konstrukcijų projektavimo pagrindai*. Vilnius, 2003.
- STR 2.02.01:2004. *Gyvenamieji pastatai*. Vilnius, 2004.
- STR 2.02.09:2005. *Vienbučiai ir dvibučiai gyvenamieji pastatai*. Vilnius, 2005.
- STR 2.01.09:2005. *Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas*. Vilnius, 2005.
- STR 2.05.01:2005. *Pastatų atitvarų šiluminė technika*. Vilnius, 2005.
- STR 2.09.04:2008. *Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui*. Vilnius, 2008.
- Su, B. 2011. The impact of passive design factors on house energy efficiency, *Architectural Science Review* 54(4): 270–276. <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2011.613638>
- Šešelgis, K. 1974. *Zervynų kaimas*. Vilnius: Periodika.
- Šešelgis, K.; et al. 1965. *Lietuvių liaudies architektūra. Kaimo gyvenvietės ir gyvenamieji namai*. Vilnius: Mintis.
- Zhai, Z.; Previtali, J. M. 2010. Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation, *Energy and Buildings* 42: 357–365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.002>

RESEARCH OF SOME ASPECTS OF RELATION BETWEEN ECOLOGY AND ENERGY EFFICIENCY IN TRADITIONAL ARCHITECTURE

Andrius Keizikas¹, Aistė Andriusytė², Eglė Šiožinytė³

Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania
E-mails: ¹andrius.keizikas@vgtu.lt; ²Aiste.Andriusyte@vgtu.lt; ³egle.siozinyte@dok.vgtu.lt

Summary. The evolution of traditional buildings reflects the uninterrupted development and the assimilation of the most worked out structural and architectural solutions. The new requirements of the EU regulations (from 2020 all new buildings must meet the requirement of almost zero-energy level) as well as applicable laws in Lithuania (the Lithuanian building regulations STR), however, set strict requirements which are difficult to apply to the traditional architecture.. On the other hand, not all measures aimed at building energy efficiency are compatible with the concept of ecology (usually attributable to the traditional architecture). Due to the aforementioned confrontation, the purpose of this research is to use the comparative analysis method to examine some of the measures determining energy efficiency of a building and the rationality of these measures in the context of building's lifecycle (which consists of construction, operation and demolition stages). One of the tested measures in this issue is the improvement of thermal properties of external envelope's elements to meet the requirements of existing building regulations (according STR2.05.01: 2005). The research examines the ability of the improved thermal resistance of traditional buildings' external envelope in assessing the benefits during the operation stage. The rationality is determined by comparing the energy savings during fifty-year-long lifespan (STR2.01.09: 2005) with the energy needed to produce the material (i.e. embodied energy). After comparing several different thermal insulation materials, e.g. mineral wool, EPS panels, straw insulation, the best solution is found.

Besides the aforementioned, this research examines some principles of "passive design" applied in traditional buildings of various Lithuanian ethnographic regions. Four buildings varying in size, plan configuration, external envelope area, etc. were analyzed: "Viengale Pirkia" and "Dvigale

Pirkia" from Dzūkija, "Troba" and "Kryžiavinis" houses from Žemaitija. The research is based on the methodology of evaluation of geometric efficiency by Parasonis, Keizikas *et al.* (2012a, b). The findings allow us to make the following conclusions:

1. The research has indicated that the energy savings of insulated buildings (per lifetime period) are several times bigger than the energy needed to produce the applied insulation materials.
2. Based on the ratio of embodied energy and saved energy of tested materials, the research shows that the straw is the most rational insulation. It is also characterized as being a natural material as well as eliminating the additional energy inputs for recycling. However, it requires larger structures capable to withstand higher loads.
3. The research of geometric parameters of traditional houses has shown that the usage envelopes of "Troba" and "Kryžiavinis" houses is most efficient: "Troba" because of the most compact volume and "Kryžiavinis" because of the largest hosted floor area.
4. The comparative indicators of buildings compactness show that energy is saved more effectively in the examples of traditional volumetric and plan solutions of buildings (usually with pitched roofs), when comparing them to modern houses with flat roofs. Therefore, seeking minimum usage of materials for construction and improving energy efficiency during operation period, the traditional pitched roof is the best solution.

Keywords: Traditional architecture, embodied energy, building energy efficiency, geometric efficiency of building, ecology of building.

Andrius KEIZIKAS. Vilniaus Gedimino technikos universiteto Architektūros inžinerijos katedros tyrėjas ir doktorantas. Jo domėjimosi sritį apima tarpdisciplininiai architektūros ir subalansuoto vystymosi tyrimai, o ypač architektūrinių sprendimų ir priemonių įtaka pastatų energiniam efektyvumui.

Andrius KEIZIKAS. A PhD student and researcher at the Department of Architectural Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. His research interests include interdisciplinary researches on architecture and sustainability, particularly the influence of architectural solutions and its measures on energy efficiency of buildings.

Aistė ANDRIUŠYTĖ. Humanitarinių mokslų daktarė (architektūros). VGTU Statybos fakulteto Inžinerinės architektūros katedros docentė. Dėsto architektūros kompozicijos ir architektūros istorijos dalykus. Mokslinio domėjimosi sritys: architektūros teorija, architektūros psichologija, semiotika, liaudies architektūra, etnologija.

Aistė ANDRIUŠYTĖ. Doctor of the Humanities (architecture). Assoc. Prof., VGTU Faculty of Civil Engineering, Department of Architectural Engineering. Teaching: architectural composition, architectural history. Research interests: the theory of architecture, the psychology of architecture, architectural semantics, folk architecture, ethnology.

Eglė ŠIOŽINYTĖ. Vilniaus Gedimino technikos universiteto Architektūros inžinerijos katedros doktorantė. Mokslinio domėjimosi sritys: etninės lietuvių architektūros (esamos bei naujai statomos) pritaikymas galiojančių statybos normų reikalavimams; gamtos vaidmuo kuriant architektūrą.

Eglė ŠIOŽINYTĖ. A PhD student at the Department of Architectural Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. Research interests: Lithuanian ethnic architecture's (both existing and newly constructed) adaptation to existing building regulations requirements; nature's role in creating architecture.