



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

Kęstutis Bernotas

**TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ ĮTAKOS A
ENERGETINIO NAUDINGUMO KLASĖS PASTATUI
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Dainius Vaičiulis

PANEVĖŽYS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas
(parašas) Doc. dr. Arūnas Tautkus
(data)

**TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ ĮTAKOS A
ENERGETINIO NAUDINGUMO KLASĖS PASTATUI
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas 621J80001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Dainius Vaičiulis
(data)

Recenzentas

(parašas) Prof. dr. Žilvinas Bazaras
(data)

Projektą atliko

(parašas) Kęstutis Bernotas
(data)

PANEVĖŽYS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Kęstutis Bernotas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. Sausio 04 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano **Kęstučio Bernoto** baigiamasis projektas tema „Termoizoliacinių medžiagų įtakos A energetinio naudingumo klasės pastatui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: *Kęstučiui Bernotui*, grupė *PMS-4*

1. Darbo tema

Lietuvių kalba: *Termoizoliacinių medžiagų įtakos A energetinio naudingumo klasės pastatui tyrimas*

Anglų kalba: *Research of insulated material effect based on A class building energy performance*

Patvirtinta 2015 m. spalio mėn. 21 d. dekanų potvarkiu Nr. *ST17-F-13-41*

2. Darbo tikslas

ištirti A energetinio naudingumo klasės pastatuose naudojamų termoizoliacinių medžiagų efektyvumą (pagal ekonominius ir termoizoliacinius rodiklius).

3. Reikalavimai ir sąlygos

tyrimą atlikti vėdinamo karkaso ir tinko mūrio sienoms, panaudojant bent keturias skirtingas termoizoliacines medžiagas.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BBP pobūdį.

Įvadas

Literatūros apžvalga

Termoizoliacinių medžiagų efektyvumo tyrimas vėdinamo karkaso sienoje

Termoizoliacinių medžiagų efektyvumo tyrimas tinko mūro sienoje

Išvados

Literatūros sąrašas

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2016-01-04

(data)

Užduotį gavau: *Kęstutis Bernotas*
(studento vardas, pavardė, parašas)

2015-09-02

(data)

Vadovas: *doc. dr. Dainius Vaičiulis*
(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

2014 m. spalio mėn.

(data)

Bernotas K. Termoizoliacinių medžiagų įtakos A energetinio naudingumo klasės pastatui tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Dainius Vaičiulis; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra.

Panevėžys, 2016. 48 p.

SANTRAUKA

Šio projekto tikslas buvo ištirti energetinio naudingumo A klasės pastatuose naudojamų termoizoliacinių medžiagų efektyvumą. Baigiamąjį projektą sudaro 3 skyriai. Pirmajame skyriuje pateikta literatūros apžvalga. Apžvelgti teoriniai darbai, kuriuose nagrinėjamos termoizoliacinės, ekologinės termoizoliacinės medžiagos pastatams apšiltinti. Antrajame skyriuje nagrinėjamos termoizoliacinės medžiagos vėdinamo karkaso sienoje. Trečiajame skyriuje nagrinėjamos termoizoliacinės medžiagos tinko mūro sienoje. Skaičiavimams panaudoti Panevėžio miesto klimato duomenys. Pateikti praktikoje dažniausiai naudojami išorės sienų apšiltinimo medžiagų tipai. Nagrinėjamos nuo A iki A++ energetinio naudingumo klasės, kainų skirtumai įvertinus tik termoizoliacinę medžiagą ir įvertinus papildomas sistemas, kurios turi įtakos apšiltinant pastatus. Atliktas išorės sienų efektyvaus šiltinimo varianto daugiakriterinis vertinimo atrankos tyrimas taikant SAW metodą. Gauta, kad vėdinamo karkaso sienoje efektyviausia termoizoliacinė medžiaga yra Foam-LokTM 2 000, o ekonomiškiausios ROCKWOOL vatos: „superrock“ ir „venti max“. Tinkuojamo mūro sienoje efektyviausias ir ekonomiškiausias variantas išliko polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70.

Bernotas, K. Research of insulated material effect based on A class building energy performance *Master's thesis* / supervisor doc. dr. Dainius Vaičiulis; Kaunas University of Technology, Panevėžys faculty of technologies and business, Department of Technologies.

Panevėžys, 2016. 48 p.

SUMMARY

Objective of the project was to examine the energy performance on A class buildings using thermal insulation material performance. The final thesis consists of 3 sections. Literature review introduce in the first section, where was examine thermal insulation, ecological thermal insulation material to insulate buildings. In third section examines thermal insulation material in to the plaster brick wall. For calculations used Panevėžys city climate data. Present in practice most commonly used external wall insulation materials Types. Examined from A to A++ energy performance, the price differences between the assessments of additional systems, which affect the insulation of buildings. An external wall effective insulation multi variant assessment screening test using the SAW method. Ventilated wall of the shell is the most efficient thermal insulation material was Foam-Lok™ 2 000 and most economical wools of ROCKWOOL: „Superrock“ and „venti max“. Most effective and economical option in the plaster brick wall remained polystyrene „Šiloporas“ NEO EPS 70.

TURINYS

ĮVADAS	8
LITERATŪROS APŽVALGA	9
1. TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS VĒDINAMO KARKASO SIENOJE	13
1.1. Šilumos koeficientų skaičiavimas	13
1.2. Termoizoliacinių medžiagų tyrimas neįvertinus statramsčių	22
1.3. Termoizoliacinių medžiagų tyrimas įvertinus statramsčius	27
2. TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS TINKO MŪRO SIENOJE.....	32
2.1. Laikančiosios sienos medžiagos	32
2.2. Šilumos koeficientų skaičiavimas	35
2.3. Kainų priklausomybė nuo storio ir varžos, įvertinus ARKO M24 blokelių varžą	39
2.4. Kainų priklausomybė nuo storio ir varžos įvertinus YTONG ENERGO blokelių varžą.....	40
2.5. Termoizoliacinės medžiagų tyrimas įvertinus YTONG ENERGO blokelių varžą	41
IŠVADOS	45
LITERATŪRA	46

ĮVADAS

Pastato energinio naudingumo įvertinimo metodika STR 2.05.01:2013 [1] (toliau – metodika) skirta energijos suvartojimui pastate apskaičiuoti ir pastato energiniam naudingumui įvertinti. Didelis šilumos suvartojimas šildymui, dideli gyventojų mokėjimai už šildymą blogina gyvenimo kokybę. Todėl pastato šilumos laidumo skaičiavimas reikalingas įvertinant pastato energinio naudingumo klasę. Pastato įvertinimo metu apskaičiuojamas projektinis šilumos perdavimo koeficientas, atitvarinės konstrukcijos sluoksnių šiluminės varžos. Taikant diaugiakriterinio vertinimo metodą (SAW – angl. Simple Additive Weighting), išrenkamas efektyviausias šiltinimo medžiagos variantas [1].

Darbo tikslas: ištirti A energetinio naudingumo klasės pastatuose naudojamų termoizoliacinių medžiagų efektyvumą.

Projekto uždaviniai:

1. Nustatyti efektyviausią (šilumos laidumo požiūriu) termoizoliacinę medžiagą.
2. Taikant SAW metodą apskaičiuoti ekonomiškiausią termoizoliacinę medžiagą išorinėms sienoms.
3. Nustatyti, kokią įtaką naudingumo klasės turi termoizoliacinių medžiagų kainoms.

Aprobavimas: darbo tematika konferencijos *Proceedings of 10th International Conference ITELMS'2015* pranešimų medžiagoje paskelbtas straipsnis „External wall efficient insulation selection using a SAW method“ (65–68 p.).

Projekto struktūra: projektą sudaro 3 skyriai, kuriuose yra 23 paveikslai ir 24 lentelės. Literatūros sąrašė yra 31 šaltinis. Baigiamąjį projektą sudaro 48 lapai.

LITERATŪROS APŽVALGA

Norint pastatyti efektyvaus energetinio naudingumo pastatą, išorines sienas paprastai rekomenduojama apšiltinti su šilumos izoliacija taip sutaupant pastato šildymo išlaidas. Siūloma įvairiausių termoizoliacinių medžiagų, kiekvienas gamintojas rekomenduoja savo medžiagas kaip geriausią alternatyvą šiltinant pastatus.

M. Kijevičius, K. Valančius (2014) [2] aprašė skirtingas išorinių atitvarų termoizoliacines medžiagas, nustatė pirminės energijos kiekius ir CO₂ išmetalus apšiltinant nuo F iki B ir nuo B iki A++ klasės pastato atitvaras. Buvo vertinta pagal gyvavimo ciklo analizės metodiką. Pateiktos grafinės interpretacijos, rodančio sutaupyta pirminės energijos ir CO₂ kiekius per 60 metų laikotarpį, identifikuojant energetiškai ir ekologiškai priimtinausias termoizoliacines medžiagas pastatams apšiltinti. Pasirinktas tyrimo objektas – tipinis gyvenamasis pastatas. Nagrinėjami išvardyti elementai pateikti 1 lent.



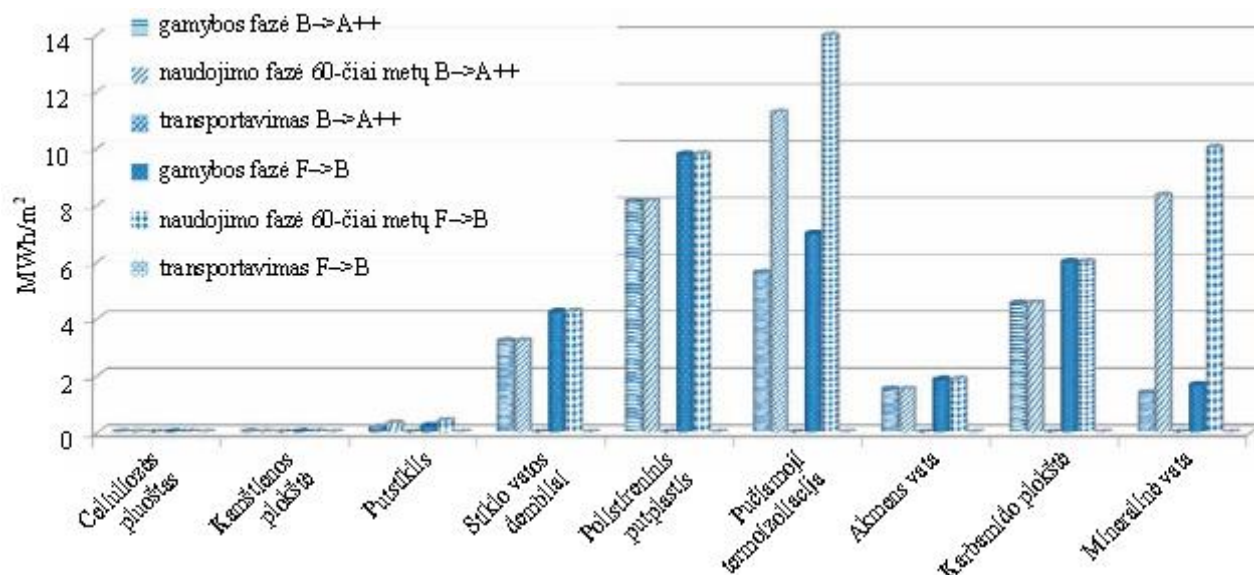
1 pav. Dalis nagrinėtų termoizoliacinių medžiagų: **1 – polistireninis putplastis; 2 – akmens vata; 3 – mineralinė vata; 4 – stiklo vata**

1 lentelė

Analizei naudotos medžiagos	Šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K)
Medžiaga	
Tinkas	0,4
Klijų skiedinys	0,8
Molinės plytos	0,4
Celiuliozės pluoštas	0,04
Kamštienos plokštė	0,043
Pustiklis	0,04
Stiklo vandens dembliai	0,04
Polistireninis putplastis	0,038
Akmens vata	0,036
Karbamido formaldehido plokštė	0,035
Mineralinė vata	0,038
Pučiamoji termoizoliacija	0,03

Nustatant termoizoliacinių medžiagų storį pasirinkta išorės konstrukcija iš vidaus į išorę: dažai, tinkas, molinės plytos, klijų skiedinys, termoizoliacinė medžiaga, tinkas [2].

Tyrimo eigoje gauti rezultatai pateikti 2 pav.



2 pav. Pirminės energijos pasiskirstymas tarp fazių

Pirminės energijos požiūriu iš pateiktų rezultatų matyti, kad apšiltinant pastatus nuo B iki A++ energinės klasės, trumpiausias gražos laikas yra ekologiškų medžiagų, tokių kaip celiuliozės pluoštas ar kamštienos plokštės, – vieneri metai, ilgiausias – polistireninio putplasčio ir pučiamosios termoizoliacijos, atitinkamai 16 ir 19 metų, ir 10 metų apšiltinant nuo F iki B energinės klasės. Polistireninis putplastis ir pučiamoji termoizoliacija gaminamos iš neatsinaujančiųjų energijos išteklių (didžioji dalis), todėl pirminės energijos gražos atžvilgiu yra nepalankiausias, nors jų šiluminės savybės yra geresnės nei ekologinių medžiagų [2].

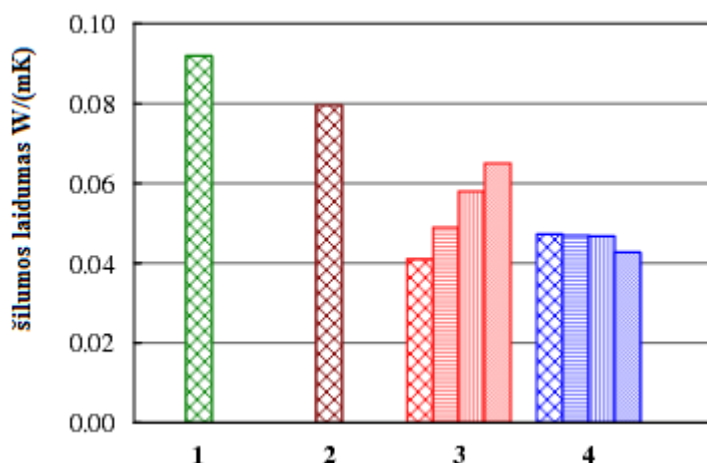
R. Dylewski, J. Adamczyk (2011) [3] aprašė šiltinimų pastatų sienų poveikį šiluminės energijos mažinimo suvartojimo pastatuose, kuri veda prie išmetamo CO₂ kiekio mažinimo. Pateikė, kad šiluminė izoliacija pastato išorinėse sienose gali ekonominiu aspektu būti vertinama kaip investicija. Investicinės išlaidos yra susijusios su pirkimu, transportu ir klojimu izoliacijos, o pelnas yra susijęs su šiluminės energijos mažinimo vartojimu, apšiltinant pastatą. Autoriai nustatė optimalų izoliacinio sluoksnio storį, kuris suteikia maksimalią grynąją vertę (pagrindinis ir svarbiausias investicijų vertinimo instrumentas), buvo atsižvelgta į šiuos kriterijus: energijos šaltinius, sienų statybinės medžiagas ir izoliacines medžiagas. Nustatant geriausią termoizoliacinę medžiagą buvo atsižvelgta dvejais aspektais: ekonomikos optimizavimo ir aplinkosaugos.

Šiluminės izoliacinės medžiagos rezultatai didele dalimi lemia poveikio aplinkai statybinių medžiagų gamybos procese. Vienintelė medžiaga, kuri turi „gerą“ poveikį yra celiuliozės vata. Kitos medžiagos turi mažesnę ar didesnę neigiamą poveikį aplinkai. Didžiausia reikšmė aplinkai atliktos analizės metu pastebėta pastato naudojimo etape rudens–žiemos sezono metu.

Vertinant SimaPro 7.1 programine įranga, kurioje yra 11 termoizoliacijos kategorijų ir trijų poveikių žalos vertinimo kriterijų (poveikis žmogui, aplinkai ir ištekliams) gauti geriausi rezultatai su polistirolo putomis ir medienos plaušu.

J. Vejelienės, A. Gailiaus, S. Vejelio, S. Vaitkaus, G. Balčiūno [4] darbo tikslas buvo ištirti veiksmingas iš šiaudų izoliacines medžiagas. Šiame darbe vertinama šiaudų struktūra ir technologinių veiksnių poveikis šilumos laidumui. Eksperimentams naudojami kvietrugių šiaudai. Šiluminis laidumas buvo matuojamas su skirtingomis šiaudų orientacijomis ir struktūromis. Nustatyta, kad iš laboratorinių paruoštų mėginių, kuriuose maždaug 1,5 karto mažesnis šiluminis laidumas, dauguma šiaudų buvo orientuoti statmenai šilumos srautui, nei augalų mėginiai, paruošti iš šiaudų ir ritinio, kuriame dauguma šiaudų orientuoti lygiagrečiai šilumos tekėjimui. Pastebėta, kad didinant palaidų šiaudų tankį šilumos laidumas taip pat didėja, kai smulkintų šiaudų šilumos laidumas išlieka stabilus arba šiek tiek mažėja.

Tyrimo eigoje gauti rezultatai pateikti 3 pav.



3 pav. Šiaudų matavimas šilumos laidumui: 1 – pagamintas iš šiaudų ryšulių, kurio tankis 100 kg/m^3 ; 2 – pagamintas iš šiaudų ritinio, kurio tankis 90 kg/m^3 ; 3 – palaidi šiaudai statmenai orientuoti į šilumos srautą, kurių tankis $50, 70, 90, 110 \text{ kg/m}^3$; 4 – smulkinti šiaudai, kurių tankis $57, 65, 76, 82 \text{ kg/m}^3$

Šilumos laidumas iš šiaudų paprastai priklauso nuo šiaudų stiebelių išdėstymo bandinyje. Norint išgauti minimalų šilumos laidumą stiebeliai turėjo išsidėstyti statmenai šilumos srautui, ir norint išgauti didžiausią šilumos laidumą šiaudų stiebeliai turėjo orientuotis lygiagrečiai su šilumos srautu.

Šiaudų suspaudimas bandiniuose sumažino šilumos perdavimą. Konkretus šilumos laidumas ištirtas smulkintuose šiauduose, kai jie chaotiškai išdėstyti pluoštuose. Šilumos laidumas tokiam bandinyje išliko beveik nepakitęs per išmatuotą nuotolio tankį. Didinant tankį tokiam bandinyje didėjo šilumos laidumas, bet sumažėjo konvekcinis šilumos perdavimas.

Termomedžiagos laidumas, statmenai orientuotas į šilumos srauto šiaudų stiebelius, buvo mažiausias iš visų šiaudų bandinių su žemesniais tankiais. Tačiau, kai tankis padidėjo nuo 50 kg/m^3 iki 100 kg/m^3 , šilumos laidumas padidėjo maždaug 1,5 karto. Oro tarpai tarp šiaudų stiebelių didinant tankį keitėsi labai mažai, bet ryšiai tarp šiaudų stiebelių gerėjo, ir šilumos perdavimo termolaidumas didėjo.



1

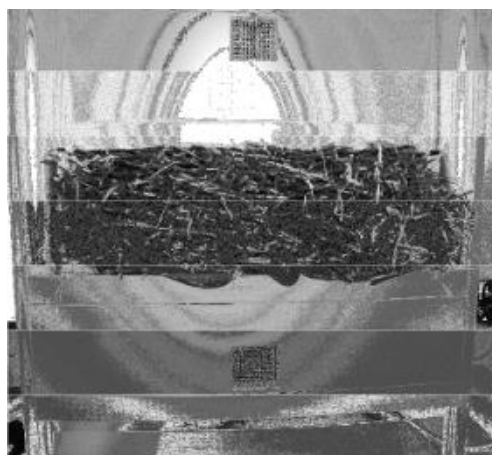
2

3

4

4 pav. Šiaudų bandiniai: 1 – pagamintas iš šiaudų ryšulių; 2 – pagamintas iš šiaudų ritinio; 3 – palaidi šiaudai statmenai orientuoti į šilumos srautą; 4 – smulkinti šiaudai

Visų bandinių dydis buvo $500 \times 500 \text{ mm}$., o storis priklausė nuo bandinio paruošimo būdo. Imituotas plokštės storis buvo apie 200 mm . Prieš tyrimą šiaudai buvo kondicionuojami. Šilumos laidumo bandiniai atlikti su „ λ -Meter EP-500“ testavimo aparatu su papildomais aušinimo ir šildymo žiedais (žr. 5 pav.).

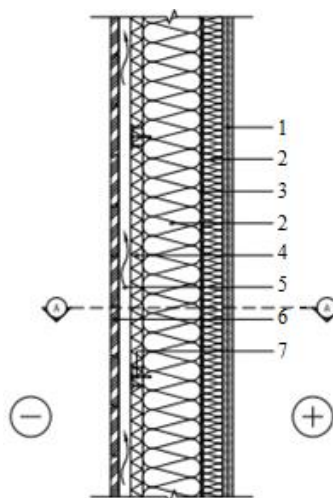


5 pav. Šilumos laidumo „ λ -Meter EP-500“ testavimo aparatas

1. TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS VĖDINAMO KARKASO SIENOJE

1.1. Šilumos koeficientų skaičiavimas

Dažniausiai naudojama medinio karkaso sienų konstrukcija yra su universalia akmens vata montuojama tarp medinių statramsčių, o apsaugai nuo vėjo plokštės įrengiamos ant viršaus, taip sumažinant šiluminių tiltelių poveikį. Vėdinamas oro tarpas, esantis tarp medinių dailylenčių ir apsaugos nuo vėjo sluoksnio, efektyviai užtikrina oro judėjimą sienos konstrukcijoje (žr. 6 pav.).



6 pav. Vėdinamo karkaso sienos mazgas: 1 – gipso plokštė; 2 – termoizoliacinė medžiaga; 3 – orą ir garsus izoliuojantis sluoksnis; 4 – apsaugai nuo vėjo termoizoliacinė medžiaga; 5 – vėdinamas oro tarpas; 6 – išorės apdaila (lentų apkala); 7 – tvirtinimo detalė

Nustatant išorinės sienos šiluminę varžą R ir šilumos perdavimo koeficientą U , reikalinga įvertinti skirtingas laikančiosios sienos sudėtines medžiagas (gipso plokštę, orą ir garsus izoliuojantį sluoksnį, termoizoliacinę medžiagą). Sluoksnių šiluminių varžų skaičiavimas pateiktas 2 ir 3 lent.

2 lentelė

Vėdinamo sienos karkaso konstrukcija

Šilumos dydžiai ir sienos dalys	Simbolis	d , m	λ_{ds} , W/(m·K)	R , m ² ·K/W
Vidinio paviršiaus šiluminė varža	R_{si}	–	–	0,13
Gipso plokštė (sausas tinkas)	$R1$	0,013	0,25	0,052
Paroc extra plus akmens vata (tašas, $d = 0,15$ m)	$R2$	0,150	-	3,186
Orą ir garsus izoliuojantis sluoksnis	$R3$	-	-	0,04
Paroc extra plus akmens vata (tašas, $d = 0,20$ m)	$R4$	0,200	-	4,248

Šilumos dydžiai ir sienos dalys	Simbolis	d , m	λ_{ds} , W/(m·K)	R , m ² ·K/W
Paroc was 35t akmens vata	R_5	0,050	0,034	1,471
Vėdinamas oro tarpas	R_6	0,04	-	-
Išorės apdaila (lentų apkala)	R_7	-	-	-
Išorinio paviršiaus šiluminė varža	R_{se}	-	-	0,13
Visuminė šiluminė varža	R	0,39	-	9,257

Kadangi siena yra su vėdinamu oro tarpu, išorinė šiluminė varža yra prilyginama vidinio paviršiaus šiluminei varžai STR 2.05.01:2013 [5]:

$$R_{Si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad R_{se} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Paroc extra plus užpildo visą erdvę ir yra su vėjo izoliaciniu sluoksniu, įrengtu pagal to paties reglamento pateiktus reikalavimus. Pataisa dėl šilumos konvekcijos [5]:

$$\Delta\lambda_{cv} \lambda_{dec} \cdot K_{cv} = 0,034 \cdot 0 = 0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Projektinė šilumos laidumo koeficiento vertė, pagal STR 2.01.03:2009 vėdinamai atitvarai $\Delta\lambda_{\omega} = 0,001$ [6]:

$$\lambda_{ds} \lambda_{dec} + \Delta\lambda_{\omega} + \Delta\lambda_{cv} = 0,034 + 0,001 + 0 = 0,035 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Antrojo sluoksnio mineralinės vatos šiluminė varža:

$$R_{ins} = d_2/\lambda_{ds, ins} = 0,15/0,035 = 4,286 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Antrajame sluoksnyje mineralinė vata yra sudėta tarp medinių tašų, kurių aukštis 50 mm., plotis 50 mm., tašai sudėti kas 600 mm., projektinė medinio tašo šilumos laidumo koeficiento λ_{ds} vertė 0,18 W/(m K). Tašų šiluminė varža:

$$R_m = d_2/\lambda_{ds, m} = 0,15/0,18 = 0,833 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Antro sluoksnio šiluminė varža apskaičiuojama atsižvelgiant į mineralinės vatos ir medinio tašo plotų santykį:

$$R_2 = \frac{A_{ins} + A_m}{\frac{A_{ins}}{R_{ins}} + \frac{A_m}{R_m}} = \frac{0,55 + 0,05}{\frac{0,55}{4,286} + \frac{0,05}{0,833}} = 3,186 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Ketvirtame sluoksnyje Paroc extra pataisa dėl šilumos konvekcijos:

$$\Delta\lambda_{cv} \lambda_{dec} \cdot K_{cv} = 0,034 \cdot 0 = 0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Projektinė šilumos laidumo koeficiento vertė, pagal STR 2.01.03:2009 vėdinamai atitvarai $\Delta\lambda_{\omega} = 0,001$ [5]:

$$\lambda_{ds} \lambda_{dec} + \Delta\lambda_{\omega} + \Delta\lambda_{cv} = 0,034 + 0,001 + 0 = 0,035 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Ketvirto sluoksnio mineralinės vatos šiluminė varža

$$R_{ins} = d_2/\lambda_{ds, ins} = 0,20/0,035 = 5,714 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Ketvirtame sluoksnyje mineralinė vata yra sudėta tarp medinių tašų, kurių aukštis 150 mm., plotis 50 mm., tašai sudėti kas 600 mm., projektinė medinio tašo šilumos laidumo koeficiento vertė $\lambda_{ds} = 0,18 \text{ W/(m K)}$. Tašų šiluminė varža

$$R_m = d_2/\lambda_{ds, m} = 0,20/0,18 = 1,111 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Ketvirto sluoksnio šiluminė varža apskaičiuojama atsižvelgiant į mineralinės vatos ir medinio tašo plotų santykį:

$$R_2 = \frac{A_{ins} + A_m}{\frac{A_{ins}}{R_{ins}} + \frac{A_m}{R_m}} = \frac{0,55 + 0,05}{\frac{0,55}{5,714} + \frac{0,05}{1,111}} = 4,248 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Kadangi siena yra su vėdinamu oro tarpu, tai oro tarpo ir sluoksnių, esančių į išorinę pusę nuo oro tarpo, šiluminės varžos yra nevertinamos. Apskaičiuotos suminės šiluminės varžos pateiktos 2-3 lent.

Pateikti septynių sienų apšiltinimo sistemos variantai (akmens vata, uždarytų ir atvirų porų puta, uždarytų ir atvirų EkoPutą, ekovata) dažniausiai naudojami karkaso išorės sienoms apšiltinti. Apskaičiuoti projektiniai ir norminiai sienų šilumos perdavimo koeficientai įvertinant papildomą termoizoliacinių medžiagų PAROC ir ROCKWOOL įdrėkinimą pagal STR 2.01.03:2009 $\Delta\lambda_\omega = 0,001$ [5], kitoms termoizoliacinėms medžiagoms nenaudojamas papildomas įdrėkinimas, nes purškiamas šlapiuoju būdu. Apskaičiuojama termoizoliacinei medžiagai varža R , R_{sum} ir šilumos perdavimo koeficientas U , kuris nusako šilumos perdavimo santykį per pastato konstrukcijos plotą esant standartinėms sąlygoms (24 °C, 50% drėgnumas). U yra atvirkščias R ir matuojamas SI sistemos vienetais $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

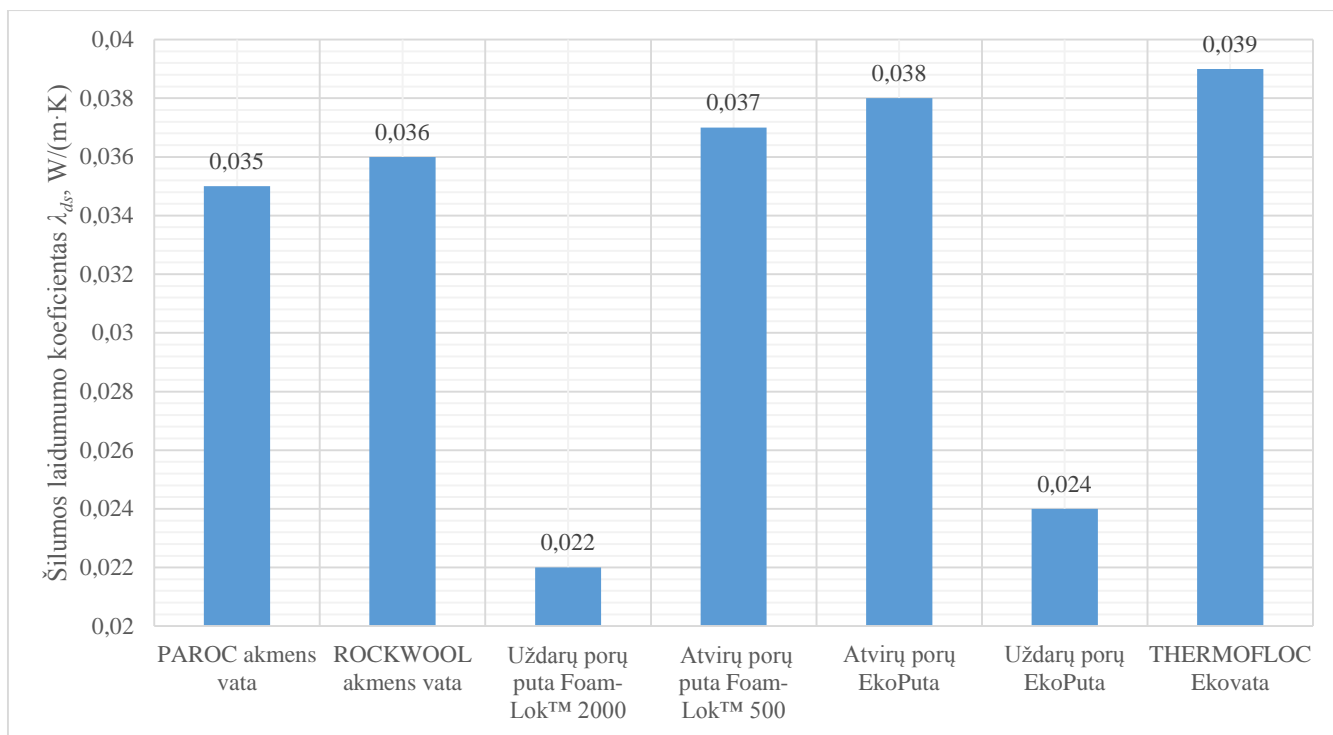
3 lentelė

Termoizoliacinės medžiagos

Medžiaga	d , m	λ_{ds} , W/(m·K)	R , m ² ·K/W	R_{sum} , m ² ·K/W	U , W/(m ² ·K)
PAROC akmens vata [9, 10]	0,400	0,035	8,905	9,257	0,108
ROCKWOOL akmens vata [11, 12]	0,400	0,036	8,725	9,077	0,110
Uždarytų porų puta Foam-Lok™ 2000 [13]	0,350	0,022	9,952	10,304	0,097
Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 [14]	0,450	0,037	9,2	9,552	0,105
Atvirų porų EkoPutą [15]	0,450	0,038	9,033	9,385	0,107
Uždarytų porų EkoPutą [15]	0,350	0,024	9,458	9,81	0,102
THERMOFLOC Ekovata [16]	0,450	0,039	8,867	9,219	0,108

R – šilumos varžos koeficientas įvertinus termoizoliacinę medžiagą su statramsčiais.
 R_{sum} – šilumos varžos koeficientas įvertinus visą vėdinamo karkaso sienos mazgą.

Rezultatai (žr. 7 pav.) atspindi termoizoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficientus. Mažiausiai laidu termoizoliacinė medžiaga Foam-Lok™ 2 000, daugiausia praleidžia šilumos THERMOFLOC ekovata.



7 pav. Skirtingų termoizoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficientų vertės

Termoizoliacinių medžiagų šiluminė varža žymima R_1 , R_2 (žr. 4 lent.). Analogiškai šilumos perdavimas vertinant tik termoizoliacinę medžiagą – U_1 , ir medinius statramsčius, tarp kurių yra termoizoliacinė medžiaga – U_2 .

4 lentelė

Termoizoliacinių medžiagų šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficientai

Medžiaga	d , m	R_1 , m ² ·K/W	R_2 , m ² ·K/W	U_1 , W/(m ² ·K)	U_2 , W/(m ² ·K)
PAROC akmens vata	0,400	11,869	8,905	0,084	0,108
ROCKWOOL akmens vata	0,400	11,527	8,725	0,087	0,110
Uždarų porų puta Foam-Lok™ 2000	0,350	15,909	9,952	0,063	0,097
Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500	0,450	12,162	9,2	0,082	0,105
Atvirų porų EkoPuta	0,450	11,842	9,033	0,084	0,107
Uždarų porų EkoPuta	0,350	14,583	9,458	0,069	0,102
THERMOFLOC Ekovata	0,450	11,538	8,867	0,087	0,108

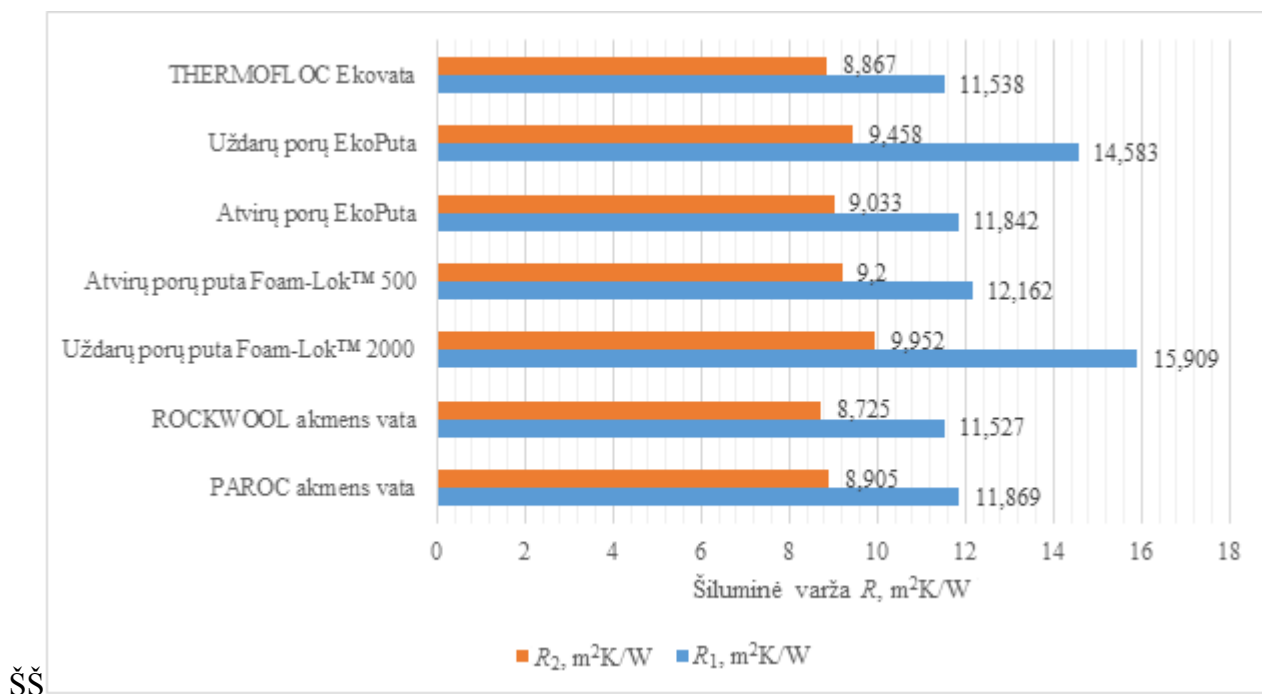
Apskaičiuojant duomenis, pateiktus 4 lent. buvo įvertintos atskiros termoizoliacinės medžiagos ir gautas rezultatas apibendrintas. PAROC buvo vertintos dvi vatos: „extra plus“ ir „was 35t“ [9, 10] taip pat ir ROCKWOOL dvi vatos: „superrock“ ir „venti max“ [11, 12].

Foam-Lok™ 2 000 ir uždarų porų puta EkoPuta užpurškama tarp medinių statramsčių. Mažas medžiagos šilumos laidumas turi privalumą, kadangi, nepaisant mažo sienų storio, pasiekiami pakankamai aukšti termoizoliaciniai rodikliai.

Sustingusi puta sutvirtina ir užtikrina medinio karkaso papildomą laikomąją galią. Ekoputos naudojimas „vietoje“ taip pat garantuoja ir struktūros hermetiškumą, kurios negali užtikrinti tradiciniai izoliavimo būdai. Naudojant šį šiltinimo būdą, tarp lauko sienos ir izoliuojamos karkasinės konstrukcijos paliekamas oro tarpas [7].

Uždarų porų putos tiesiogine prasme užrakina mikroskopines oro daleles, kurios yra apsaugomos (putos „putokšlio“). Taip gaunama labai unikalių ir veiksmingų izoliacinių savybių medžiaga. Be to, uždarų porų (closed-cell) putos sudaro ne tik veiksmingą oro barjerą ir žemą drėgmės garų pralaidumą, bei ir yra atsparios ir nepralaidžios vandeniui. Vidutinis uždarų ląstelių (closed-cell) poliuretano putų tankis apytiksliai yra 41 kg/m^3 . Uždarų ląstelių poliuretano putos skirstomos pagal šiluminę varžą, o tada pagal jų standumą ir tvirtumą. Uždarų porų putų gamintojo atlikti tyrimai parodė, kad užpurškus uždarų ląstelių poliuretano putų izoliaciją, sienos tvirtumas padvigubėja ar net patrigubėja [8].

Diagramoje, pateiktoje 8 pav., galima pamatyti šiluminės varžos nuostolius per sieną, įvertinus statramsčius karkaso sienoje. Kai kurios akmens vatos naudojamos, kaip apsaugos nuo vėjo t. y. „was 35t“ ir „venti max“. Šios termoizoliacinės medžiagos įrengiamos ant viršaus, taip sumažinant šiluminių tiltelių poveikį, o likusios termoizoliacinės medžiagos PAROC, ROCKWOOL, THERMOFLOC Ekovata ir uždarų, atvirų porų putos naudojamos tarp statramsčių.



8 pav. Termoizoliacinių medžiagų šiluminė varža: R_1 – šiluminė varža įvertinus tik termoizoliacinę medžiagą; R_2 – šiluminė varža įvertinus ir statramsčius

Šiluminės varžos koeficientas įvertinus statramsčių įtaką šiluminei varžai. 5–6 lent. pateikti duomenys atspindi kaip kinta varža didinant šilumos termoizoliacinę medžiagos storį šiluminės varžos reikšmei R_1 ir R_2 .

5 lentelė

Šiluminės varžos reikšmės įvertinus tik termoizoliacinę medžiagą R_1 , $m^2 \cdot W/K$

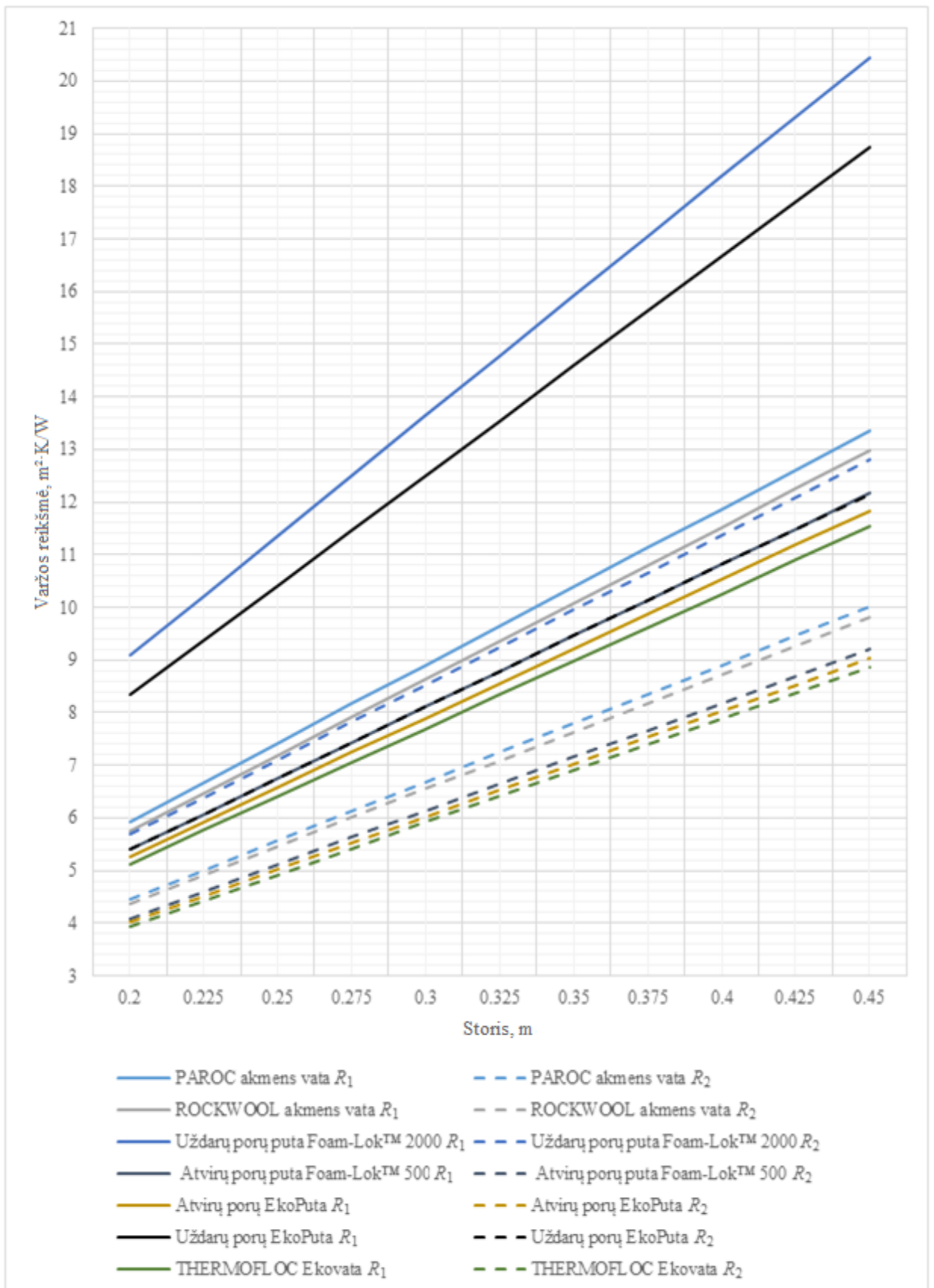
d , m	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400	0,425	0,450
PAROC akmens vata	5,935	6,677	7,418	8,160	8,902	9,644	10,386	11,128	11,869	12,611	13,353
ROCKWOOL akmens vata	5,764	6,484	7,205	7,925	8,646	9,366	10,086	10,807	11,527	12,248	12,968
Uždarytų porų putų Foam-Lok™ 2000	9,09	10,227	11,364	12,5	13,636	14,773	15,909	17,045	18,182	19,318	20,455
Atvirų porų putų Foam-Lok™ 500	5,405	6,081	6,757	7,432	8,108	8,784	9,459	10,135	10,811	11,487	12,162
Atvirų porų EkoPutą	5,263	5,921	6,579	7,237	7,895	8,553	9,211	9,868	10,526	11,184	11,842
Uždarytų porų EkoPutą	8,333	9,375	10,417	11,458	12,5	13,542	14,583	15,625	16,667	17,708	18,75
THERMOFLOC Ekovata	5,128	5,769	6,41	7,051	7,692	8,333	8,974	9,615	10,256	10,897	11,538

6 lentelė

Šiluminės varžos reikšmės įvertinus ir statramsčius R_2 , $m^2 \cdot W/K$

d , m	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400	0,425	0,450
PAROC akmens vata	4,453	5,009	5,567	6,122	6,679	7,235	7,792	8,348	8,905	9,462	10,018
ROCKWOOL akmens vata	4,363	4,908	5,453	5,998	6,544	7,089	7,634	8,180	8,725	9,270	9,816
Uždarytų porų putų Foam-Lok™ 2000	5,687	6,397	7,109	7,819	8,530	9,241	9,952	10,662	11,374	12,085	12,795
Atvirų porų putų Foam-Lok™ 500	4,089	4,600	5,111	5,622	6,133	6,644	7,156	7,667	8,178	8,689	9,200
Atvirų porų EkoPutą	4,015	4,517	5,018	5,520	6,022	6,524	7,026	7,528	8,029	8,531	9,033
Uždarytų porų EkoPutą	5,405	6,080	6,756	7,431	8,107	8,782	9,458	10,134	10,809	11,485	12,160
THERMOFLOC Ekovata	3,941	4,434	4,926	5,419	5,911	6,404	6,897	7,389	7,882	8,374	8,867

Taigi įdomiausia, kad įvertinus šiluminę varžą 5–6 lent., uždarytų porų putų Foam-Lok™ 2 000 ir EkoPutos šiluminės varžos reikšmė R_1 sparčiausiai kylanti, o R_2 šiluminės varžos reikšmė šitų medžiagų įvertinus ir medinius statramsčius kylanti priklausomybė nuo storio ženkliai nesiskiria nuo kitų termoizoliacinių medžiagų (žr. 9 pav.), nes šitų medžiagų yra didžiausi nuostoliai per sieną, kurie pateikti 8 pav. 9 pav. pateikta, kaip šiluminė varža priklauso nuo termoizoliacinių medžiagų storio.



9 pav. Šiluminės varžos reikšmė R_1 ir R_2 priklausomybė nuo storio: R_1 – šiluminės varžos reikšmė įvertinus tik termoizoliacinę medžiagą; R_2 – šiluminės varžos reikšmė įvertinus ir medinius statramsčius

Šilumos perdavimo koeficientas įvertinus statramsčių įtaką šilumos perdavimui. 7–8 lent. pateikti duomenys atspindi kaip kinta šilumos perdavimo koeficientas didinant šilumos termoizoliacinę medžiagos storį šilumos perdavimo koeficientui U_1 ir U_2 .

7 lentelė

Šilumos perdavimo koeficientai įvertinus tik termoizoliacinę medžiagą U_1 , $W/(m^2 \cdot K)$

d , m	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400	0,425	0,450
PAROC akmens vata	0,169	0,150	0,135	0,123	0,112	0,104	0,096	0,090	0,084	0,079	0,075
ROCKWOOL akmens vata	0,173	0,154	0,139	0,126	0,116	0,107	0,099	0,093	0,087	0,082	0,077
Uždarytų porų putų Foam-Lok™ 2000	0,110	0,098	0,088	0,080	0,073	0,068	0,063	0,059	0,055	0,052	0,049
Atvirų porų putų Foam-Lok™ 500	0,185	0,164	0,148	0,135	0,123	0,114	0,106	0,099	0,092	0,087	0,082
Atvirų porų EkoPutą	0,190	0,169	0,152	0,138	0,127	0,117	0,109	0,101	0,095	0,089	0,084
Uždarytų porų EkoPutą	0,120	0,107	0,096	0,087	0,08	0,074	0,069	0,064	0,060	0,056	0,053
THERMOFLOC Ekovata	0,195	0,173	0,156	0,142	0,130	0,120	0,111	0,104	0,098	0,092	0,087

8 lentelė

Šilumos perdavimo koeficientai įvertinus ir statramsčius U_2 , $W/(m^2 \cdot K)$

d , m	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400	0,425	0,450
PAROC akmens vata	0,225	0,200	0,180	0,163	0,150	0,138	0,128	0,120	0,112	0,106	0,100
ROCKWOOL akmens vata	0,229	0,204	0,183	0,167	0,153	0,141	0,131	0,122	0,115	0,108	0,102
Uždarytų porų putų Foam-Lok™ 2000	0,176	0,156	0,141	0,128	0,117	0,108	0,100	0,094	0,088	0,083	0,078
Atvirų porų putų Foam-Lok™ 500	0,245	0,217	0,196	0,178	0,163	0,151	0,140	0,130	0,122	0,115	0,109
Atvirų porų EkoPutą	0,249	0,221	0,199	0,181	0,166	0,153	0,142	0,133	0,125	0,117	0,111
Uždarytų porų EkoPutą	0,185	0,164	0,148	0,135	0,123	0,114	0,106	0,099	0,093	0,087	0,082
THERMOFLOC Ekovata	0,254	0,226	0,203	0,185	0,169	0,156	0,145	0,135	0,127	0,119	0,113

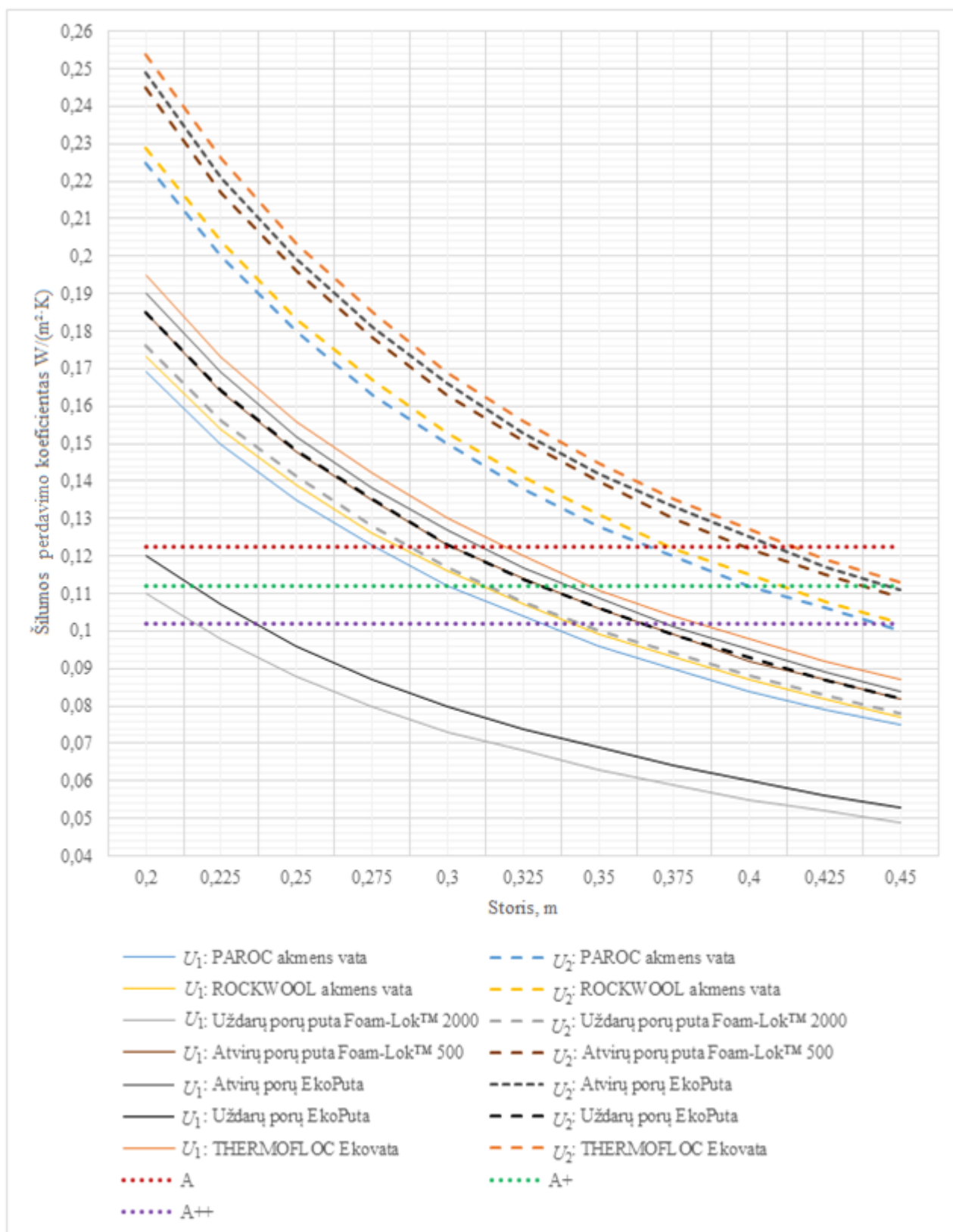
Diagrama, pateikta 10 pav., įvertinta (A, A+, A++) energetinio naudingumo klasėmis.

$$A - 0,12 \cdot K_2 = 0,1224 \quad A+ - 0,11 \cdot K_2 = 0,1122 \quad A++ - 0,10 \cdot K_2 = 0,102$$

K_2 - temperatūros pataisa Panevėžio raj. [5].

Apskaičiuojant akmens vatos šilumos perdavimo koeficientą ir šiluminę varžą buvo priimta kaip dvejų vatų junginiai PAROC: „extra plus“ ir „was 35t“ taip pat ir iš ROCKWOOL: „superrock“ ir „venti max F“. Iš jų išskaičiuotas vidurkis, kad būtų galima pateikti duomenis diagramoje.

Termoizoliacinės medžiagos šiluminė varža nuo storio kinta pagal tiesės dėsnį ir didėjant storiui didėja, o šilumos perdavimo koeficientas didėjant storiui mažėja ir kinta pagal dėsnį, artimą parabolėi.



10 pav. Šilumos perdavimo koeficientų U_1 ir U_2 priklausomybė nuo storio: tiesi linija U_1 – šilumos perdavimo koeficientas įvertinus tik termoizoliacinę medžiagą; punktyrinė linija U_2 – šilumos perdavimo koeficientas įvertinus ir statramsčius; taškinė linija – energetinio naudingumo klasės: A, A+, A++

1.2. Termoizoliacinių medžiagų tyrimas neįvertintus statramsčių

Gauti dideli šilumos varžos nuostoliai uždarų porų putas Foam-Lok™ 2 000 ir EkoPutos (žr. 8 pav.). Todėl nuspręsta vertinti kaip grynąją termoizoliacinę medžiagą ir sužinoti, kiek gali pabrangti šiltinimo medžiagos.

Kaina tiesiogiai priklauso nuo medžiagos storio – kuo plonesnės medžiagos reikia tokiai pačiai šilumos varžai gauti, tuo ta medžiaga yra brangesnė arba kuo mažesnis λ – tuo didesnė kaina.

Atsižvelgus į 9 lent. pateiktus duomenis, termoizoliacinės medžiagos suskirstytos pagal energetinio naudingumo klases, kurios atspindi jų storius neįvertintus medinių statramsčių ir sudarytas 11 pav.

9 lentelė

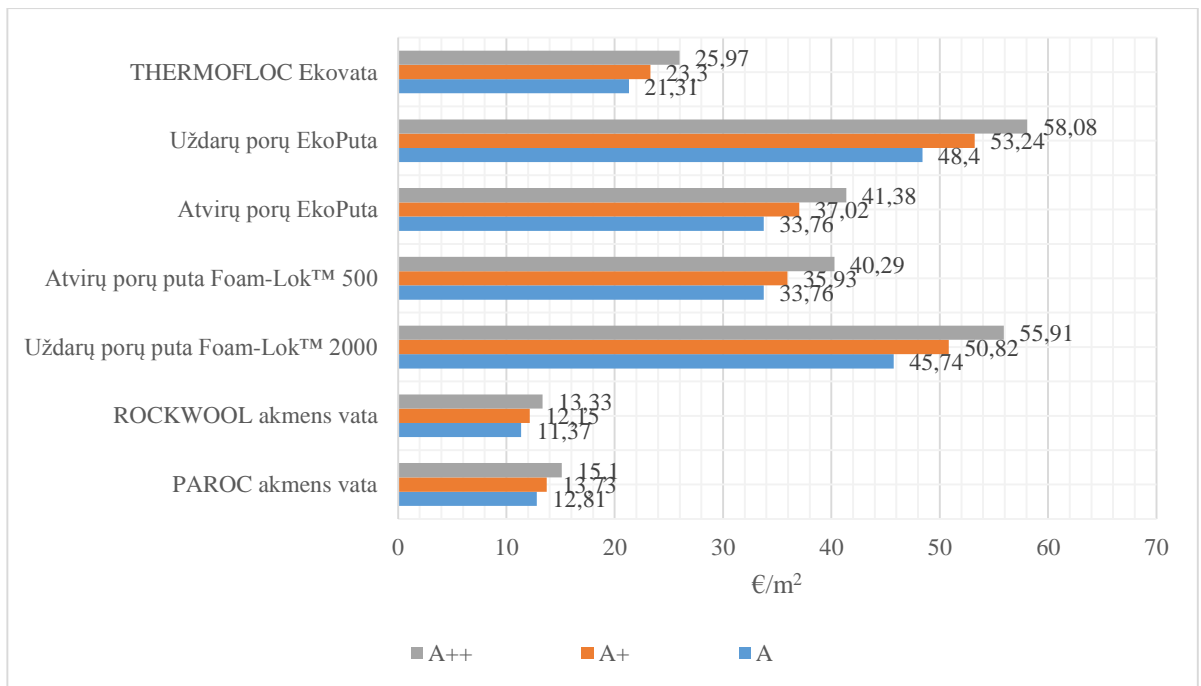
Termoizoliacinių medžiagų storis ir kainos esant skirtingoms energetinio naudingumo klasėms

Medžiaga		A $U \leq 0,1224 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 8,170 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A+ $U \leq 0,1122 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 8,913 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A++ $U \leq 0,102 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 9,803 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	
PAROC akmens vata	AP	0,275 m	12,58 €/m ²	0,300 m	13,73 €/m ²	0,330 m	15,10 €/m ²
	PR	0,280 m	12,81 €/m²	0,300 m	13,73 €/m²	0,330 m	15,10 €/m²
ROCKWOOL akmens vata	AP	0,284 m	11,13 €/m ²	0,309 m	12,11 €/m ²	0,340 m	13,33 €/m ²
	PR	0,290 m	11,37 €/m²	0,310 m	12,15 €/m²	0,340 m	13,33 €/m²
Uždarų porų puta Foam-Lok™ 2000	AP	0,180 m	45,74 €/m ²	0,196 m	49,81 €/m ²	0,216 m	54,89 €/m ²
	PR	0,180 m	45,74 €/m²	0,200 m	50,82 €/m²	0,220 m	55,91 €/m²
Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500	AP	0,302 m	32,88 €/m ²	0,330 m	35,93 €/m ²	0,363 m	39,53 €/m ²
	PR	0,310 m	33,76 €/m²	0,330 m	35,93 €/m²	0,370 m	40,29 €/m²
Atvirų porų EkoPutata	AP	0,310 m	33,76 €/m ²	0,339 m	36,91 €/m ²	0,373 m	40,62 €/m ²
	PR	0,310 m	33,76 €/m²	0,340 m	37,02 €/m²	0,380 m	41,38 €/m²
Uždarų porų EkoPutata	AP	0,196 m	47,43 €/m ²	0,214 m	51,79 €/m ²	0,235 m	56,87 €/m ²
	PR	0,200 m	48,40 €/m²	0,220 m	53,24 €/m²	0,240 m	58,08 €/m²
THERMOFLOC Ekovata	AP	0,319 m	21,24 €/m ²	0,348 m	23,17 €/m ²	0,382 m	25,43 €/m ²
	PR	0,320 m	21,31 €/m²	0,350 m	23,30 €/m²	0,390 m	25,97 €/m²
AP – apskaičiuota šiluminė varža, kad tenkintu energinio naudingumo klases							
PR – projektiniai termoizoliaciniai dydžiai, kuriuos deklaruoja gamintojai artimiausiai AP reikšmei.							

Visos kainos paimtos iš gamintojų nurodytų kainininkų [26–30].

Akmens vatos kainos apskaičiuotos iš dviejų termoizoliacinių medžiagų, kurias rekomenduoja gamintojas norint įrengti vėdinamą karkaso sieną:

- PAROC extra plus ir was 35t, kuri skirta vėdinamų atitvarų šilumos izoliacijai;
- ROCKWOOL superrock ir Venti MAX F, kuri skirta vėjo izoliacijos sluoksniui.



11 pav. Pagal energinio naudingumo klases suskirstytos kainos

Pasirenkant šiltinimo medžiagą tyrime buvo vertinti tokie medžiagų rodikliai: termoizoliacinės medžiagos storis, šiluminės varžos reikšmė R , trumpalaikis vandens įmirkys, vandens garų difuzijos varža MU μ , degumo klasifikacija pagal EURO klases, kaina €/m². Toliau apžvelgta termoizoliacinės sistemos atranka taikant SAW metodą.

Nagrinėjamos 7 alternatyvos atsižvelgiant į energetinio naudingumo klases, kurios vertinamos pagal 6 rodiklius.

10 lentelė

Termoizoliacinių medžiagų alternatyvos

Medžiaga	d , m	Šiluminės varžos reikšmė R_1 , m ² ·K/W	Trumpalaikis vandens įmirkys	Vandens garų difuzijos varža MU , μ	Degumo klasė	Kaina €/m ²
A1: PAROC akmenų vata [9, 10]	0,280	8,308	1	1	A1	12,81
A2: ROCKWOOL akmenų vata [11, 12]	0,290	8,357	1	1	A1	11,37
A3: Uždarų porų puta Foam-Lok™ 2000 [13]	0,180	8,182	0,13	72,5	E	45,74
A4: Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 [14]	0,310	8,378	0,97	3,2	E	33,76
A5: Atvirų porų EkoPuta [15]	0,310	8,170	1	5	E	33,76
A6: Uždarų porų EkoPuta [15]	0,200	8,334	0,2	80	E	48,40
A7: THERMOFLOC Ekovata [16]	0,320	8,205	2	2	B	21,31
A+1: PAROC akmenų vata [9, 10]	0,300	8,913	1	1	A1	13,73
A+2: ROCKWOOL akmenų vata [11, 12]	0,310	8,933	1	1	A1	12,15
A+3: Uždarų porų puta Foam-Lok™ 2000 [13]	0,200	9,09	0,13	72,5	E	50,82
A+4: Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 [14]	0,330	8,919	0,97	3,2	E	35,93
A+5: Atvirų porų EkoPuta [15]	0,340	8,947	1	5	E	37,02
A+6: Uždarų porų EkoPuta [15]	0,220	9,167	0,2	80	E	53,24
A+7: THERMOFLOC Ekovata [16]	0,350	8,974	2	2	B	23,30

10 lentelės tęsinys

Medžiaga	d, m	Šiluminės varžos reikšmė $R_1, m^2 \cdot K/W$	Trumpalaikis vandens įmirkys	Vandens garų difuzijos varža MU, μ	Degumo klasė	Kaina €/m ²
A++1: PAROC akmens vata [9, 10]	0,330	9,803	1	1	A1	15,10
A++2: ROCKWOOL akmens vata [11, 12]	0,340	9,803	1	1	A1	13,33
A++3: Uždarų porų puta Foam-Lok™ 2000 [13]	0,220	10,000	0,13	72,5	E	55,91
A++4: Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 [14]	0,370	10,000	0,97	3,2	E	40,29
A++5: Atvirų porų EkoPuta [15]	0,380	10,000	1	5	E	41,38
A++6: Uždarų porų EkoPuta [15]	0,240	10,000	0,2	80	E	58,08
A++7: THERMOFLOC Ekovata [16]	0,390	10,000	2	2	B	25,97

Gauta normalizuota sprendimų matrica tik įvertinus termoizoliacines medžiagas (žr. 11 lent.).

Pirmasis sprendimų matricos rodiklis (t. y. šiluminės varžos reikšmė) yra maksimizuojamas, tuomet normalizuojant matricą kiekvienas stulpelio narys dalijamas iš didžiausio stulpelio nario.

Jei rodiklis yra minimalizuojamas, tuomet mažiausias stulpelio narys dalijamas iš kiekvieno stulpelio nario.

11 lentelė

Normalizuota sprendimų matrica

Pavadinimas	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Alternatyva pagal patikimumo lygį (1)	Alternatyva pagal patikimumo lygį (2)
A1	0,643	0,831	0,130	0,013	1,000	0,888	0,585	0,690
A2	0,621	0,836	0,130	0,013	1,000	1,000	0,601	0,716
A3	1,000	0,818	1,000	0,906	0,167	0,249	0,688	0,632
A4	0,581	0,838	0,134	0,040	0,167	0,337	0,349	0,423
A5	0,581	0,816	0,130	0,063	0,167	0,337	0,349	0,420
A6	0,900	0,833	0,650	1,000	0,167	0,235	0,629	0,592
A7	0,563	0,821	0,065	0,025	0,333	0,534	0,391	0,482
A+1	0,600	0,890	0,130	0,013	1,000	0,828	0,578	0,684
A+2	0,581	0,893	0,130	0,013	1,000	0,936	0,593	0,709
A+3	0,900	0,909	1,000	0,906	0,167	0,224	0,682	0,634
A+4	0,545	0,892	0,134	0,040	0,167	0,316	0,349	0,426
A+5	0,529	0,895	0,130	0,063	0,167	0,307	0,348	0,424
A+6	0,818	0,917	0,650	1,000	0,167	0,214	0,626	0,595
A+7	0,514	0,897	0,065	0,025	0,333	0,488	0,388	0,482
A++1	0,545	0,979	0,130	0,013	1,000	0,753	0,571	0,679
A++2	0,529	0,980	0,130	0,013	1,000	0,853	0,585	0,702
A++3	0,818	1,000	1,000	0,906	0,167	0,203	0,680	0,639
A++4	0,486	1,000	0,134	0,040	0,167	0,282	0,351	0,436
A++5	0,474	1,000	0,130	0,063	0,167	0,275	0,351	0,434
A++6	0,750	1,000	0,650	1,000	0,167	0,196	0,625	0,601

11 lentelės tęsinys

Pavadinimas	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Alternatyva pagal patikimumo lygį (1)	Alternatyva pagal patikimumo lygį (2)
A++7	0,462	1,000	0,065	0,025	0,333	0,438	0,387	0,488
Patikimumo lygiai (1)	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,17		
Patikimumo lygiai (2)	0,15	0,25	0,1	0,1	0,15	0,25		

Patikimumo lygiai buvo sudaryti dvejopį: viename priėmiau, kad visi svoriniai koeficientai yra lygūs vienas su kitu, tik įvertinau R6 daugiau, dėl apvalinimo, kad rezultatas gautųsi 1, taip gaunant efektyviausią termoizoliacinę medžiagą.

Patikimumo 2 lygyje, kai patikimumo lygiai skirtingi, labiausiai buvo atsižvelgta į kainą ir šiluminės varžos koeficientą, taip gaunant ekonomiškiausią termoizoliacinę medžiagą. Kainos ir varžos koeficientai sudarė pusę visų koeficientų.

Lygindamas skirtingas termoizoliacines medžiagas įvertinau vandens garų varžas, lyginau vieningą parametą, vandens garų varžos faktorių μ . Šiltinimo medžiaga privalo „kvėpuoti“, t. y. praleisti vandens garus, kad apšiltintos drėgnos konstrukcijos nesupūtų, nesupelytų, nesikaupytų pelėsis, o lengvai išdžiūtų per šiltinimo medžiagos sluoksnį. Kuo sandaresnė šiltinimo medžiaga, tuo geriau saugo šilumą, nes neišleidžia iš patalpų šilto oro. Bet vandens garai, judantys iš didesnės koncentracijos (iš patalpų vidaus) į mažesnę (į lauką), turi kauptis ne atitvarose, o lengvai iš jų pasišalinti. Polistireninio putplasčio poros oro technologinio proceso metu sulimpa. Bet vandens garų molekulės turi savybę nuolat judėti nejudančiame ore iš didesnės koncentracijos į mažesnę (vandens garų difuzija). Pastatų konstrukcinės medžiagos džiūsta gana lėtai, todėl vandens garų molekulės visiškai spėja prasiskverbti per sudėtingą šiltinimo medžiagos porų labirintą, ir konstrukcijos lengvai išdžiūsta [32]. Pagal pateiktus 11 lent. duomenis buvo sudarytas 12 pav.

Tyrimo metu gauta alternatyvų atrankos prioritetų eilutė pagal patikimumo lygį (1) ir pagal energetinio naudingumo klasę A, kai visi patikimumo lygiai buvo įvertinti vienodai išskyrus paskutinį R6 (žr. 12pav.):

$$A3 > A6 > A2 > A1 > A7 > A5 > A4.$$

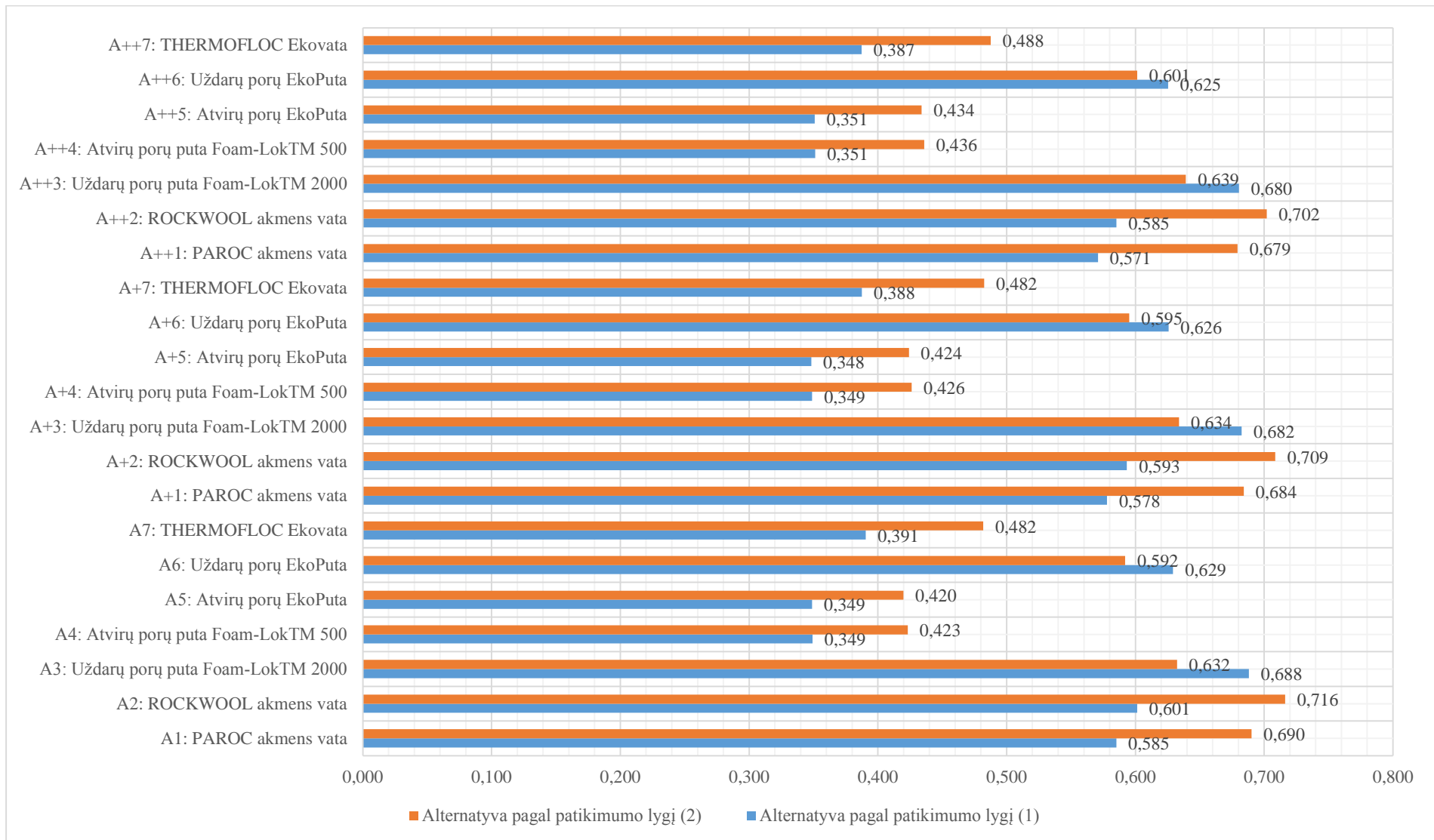
Pagal energetinio naudingumo klasę A+:

$$A+3 > A+6 > A+2 > A+1 > A+7 > A+4 > A+5.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A++:

$$A++3 > A++6 > A++2 > A++1 > A++7 > A++5 > A++4.$$

Racionaliausias variantas yra A3 (A, A+, A++) – uždarytų porų puta Foam-Lok™ 2 000, mažiausiai racionaliausias variantas yra A4 (A+, A++) – atvirų porų puta Foam-Lok™ 200 ir A+5 (A+) atvirų porų EkoPutą.



12 pav. Termoizoliacinės medžiagos efektyvaus šiltinimo atranka

Atrankos prioritetų eilutė pagal patikimumo lygį (2), kai patikimumo lygiai skirtingi, labiausiai buvo atsižvelgta į kainą ir šiluminės varžos koeficientą, pagal energetinio naudingumo klasę A:

A2 > A1 > A3 > A6 > A7 > A4 > A5.

Pagal energetinio naudingumo klasę A+:

A+2 > A+1 > A+3 > A+6 > A+7 > A+4 > A+5.

Pagal energetinio naudingumo klasę A++:

A++2 > A++1 > A++3 > A++6 > A++7 > A++4 > A++5.

Racionaliausias variantas A2 (A, A+, A++) – ROCKWOOL akmens vata, mažiausiai racionaliausias variantas A5 (A, A+, A++) Atvirų porų EkoPuta.

Galutinis rezultatas išliko labai panašus, tik pasikeitė uždarytų porų termoizoliacinės medžiagos su akmens vata. Abejais atrankos lygiais (1) ir (2) pastebėta, kad tos pačios termoizoliacinės medžiagos pagal naudingumo klases išliko visada geresnės. Lyginant patikimumo lygius (1) ir (2) išliko beveik visada prasčiausia termoizoliacinė medžiaga Foam-Lok™ 500. Pagal patikimumo lygį (1), ir pagal A+ energetinio naudingumo klasę pasikeitė prasčiausia medžiaga – atvirų porų Foam-Lok™ 500 su EkoPuta.

1.3. Termoizoliacinių medžiagų tyrimas įvertinus statramsčius

Pasirenkant šiltinimo medžiagą tyrime vertinti tokie medžiagų rodikliai: termoizoliacinės medžiagos storis, šiluminės varžos reikšmė, trumpalaikis vandens įmirkis, vandens garų difuzijos varža, degumo klasifikacija pagal EURO klases, kaina €/m². Toliau apžvelgta išorinės sienų sistemos atranka taikant SAW metodą (žr. 12 lent. ir 13 pav.).

12 lentelė

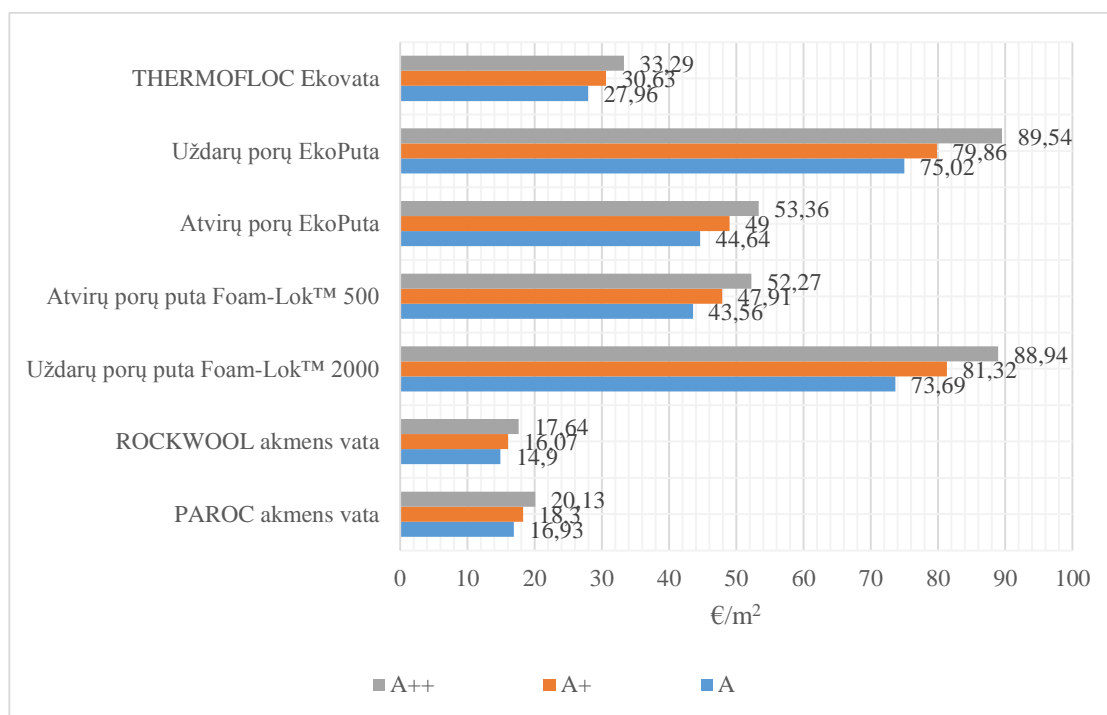
Termoizoliacinių medžiagų storis ir kainos esant skirtingoms energetinio naudingumo klasėms

Medžiaga		A $U \leq 0,1224 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 8,170 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A+ $U \leq 0,1122 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 8,913 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A++ $U \leq 0,102 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 9,803 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	
PAROC akmens vata	AP	0,367 m	16,79 €/m ²	0,400 m	18,30 €/m ²	0,440 m	20,13 €/m ²
	PR	0,370 m	16,93 €/m²	0,400 m	18,30 €/m²	0,440 m	20,13 €/m²
ROCKWOOL akmens vata	AP	0,375 m	14,70 €/m ²	0,409 m	16,03 €/m ²	0,450 m	17,64 €/m ²
	PR	0,380 m	14,90 €/m²	0,410 m	16,07 €/m²	0,450 m	17,64 €/m²
Uždarytų porų puta Foam-Lok™ 2000	AP	0,287 m	72,93 €/m ²	0,313 m	79,54 €/m ²	0,345 m	87,67 €/m ²
	PR	0,290 m	73,69 €/m²	0,320 m	81,32 €/m²	0,350 m	88,94 €/m²
Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500	AP	0,400 m	43,56 €/m ²	0,436 m	47,48 €/m ²	0,480 m	52,27 €/m ²
	PR	0,400 m	43,56 €/m²	0,440 m	47,91 €/m²	0,480 m	52,27 €/m²
Atvirų porų EkoPuta	AP	0,407 m	44,32 €/m ²	0,444 m	48,35 €/m ²	0,488 m	53,14 €/m ²
	PR	0,410 m	44,64 €/m²	0,450 m	49,00 €/m²	0,490 m	53,36 €/m²

12 lentelės tęsinys

Medžiaga		A $U \leq 0,1224 \text{ W/m}^2\text{K}$ $R \geq 8,170 \text{ m}^2\text{K/W}$		A+ $U \leq 0,1122 \text{ W/m}^2\text{K}$ $R \geq 8,913 \text{ m}^2\text{K/W}$		A++ $U \leq 0,102 \text{ W/m}^2\text{K}$ $R \geq 9,803 \text{ m}^2\text{K/W}$	
Uždarytų porų EkoPuta	AP	0,302 m	73,08 €/m ²	0,330 m	79,86 €/m ²	0,363 m	87,85 €/m ²
	PR	0,310 m	75,02 €/m²	0,330 m	79,86 €/m²	0,370 m	89,54 €/m²
THERMOFLOC Ekovata	AP	0,415 m	27,63 €/m ²	0,452 m	30,09 €/m ²	0,498 m	33,16 €/m ²
	PR	0,420 m	27,96 €/m²	0,460 m	30,63 €/m²	0,500 m	33,29 €/m²

AP – apskaičiuota šiluminė varža, kad tenkintu energinio naudingumo klases.
PR – projektiniai termoizoliaciniai dydžiai, kuriuos deklaruoja gamintojai artimiausiai AP reikšmei.



13 pav. Pagal energinio naudingumo klases suskirstytos kainos

Nagrinėjamos 7 alternatyvos atsižvelgiant į energetinio naudingumo klases, kurios vertinamos pagal 6 rodiklius.

13 lentelė

Termoizoliacinių medžiagų alternatyvos

Medžiaga	$d, \text{ m}$	Šiluminės varžos reikšmė $R_2, \text{ m}^2\text{K/W}$	Trumpalaikis vandens įmirkis	Vandens garų difuzijos varža MU, μ	Degumo klasė	Kaina. €/m ²
A1: PAROC akmens vata [9, 10]	0,370	8,238	1	1	A1	16,93
A2: ROCKWOOL akmens vata [11, 12]	0,380	8,290	1	1	A1	14,90
A3: Uždarytų porų puta Foam-Lok™ 2000 [13]	0,290	8,246	0,13	72,5	E	73,69
A4: Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 [14]	0,400	8,178	0,97	3,2	E	43,56
A5: Atvirų porų EkoPuta [15]	0,410	8,231	1	5	E	44,64
A6: Uždarytų porų EkoPuta [15]	0,310	8,378	0,2	80	E	75,02
A7: THERMOFLOC Ekovata [16]	0,420	8,276	2	2	B	27,96

13 lentelės tęsinys

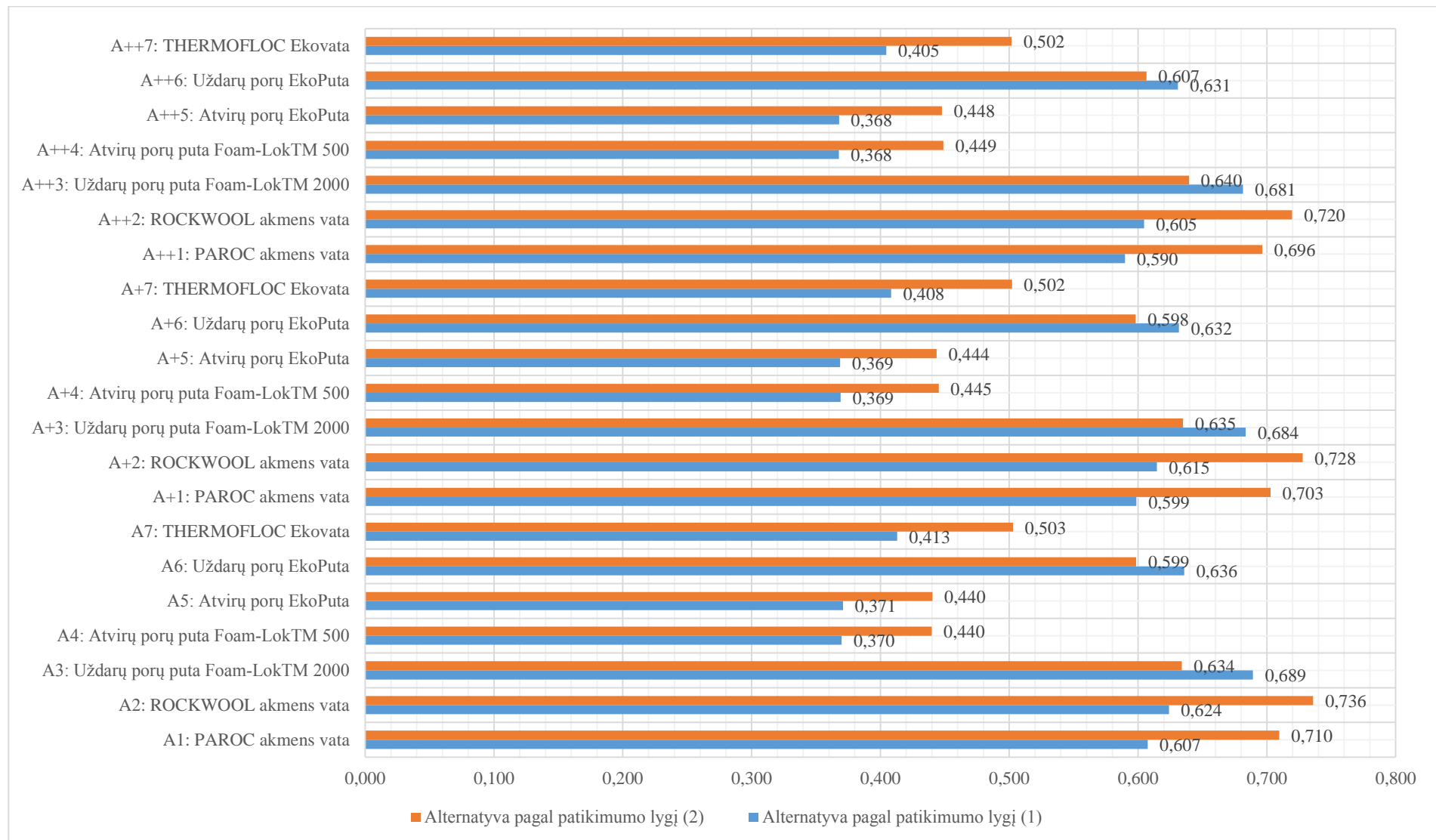
Medžiaga	d , m	Šiluminės varžos reikšmė R_2 , m ² K/W	Trumpalaikis vandens įmirkis	Vandens garų difuzijos varža MU , μ	Degumo klasė	Kaina. €/m ²
A+1: PAROC akmens vata [9, 10]	0,400	8,913	1	1	A1	18,30
A+2: ROCKWOOL akmens vata [11, 12]	0,410	8,944	1	1	A1	16,07
A+3: Uždarų porų puta Foam-Lok™ 2000 [13]	0,320	9,099	0,13	72,5	E	81,32
A+4: Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 [14]	0,440	8,996	0,97	3,2	E	47,91
A+5: Atvirų porų EkoPuta [15]	0,450	9,034	1	5	E	49,00
A+6: Uždarų porų EkoPuta [15]	0,330	8,918	0,2	80	E	79,86
A+7: THERMOFLOC Ekovata [16]	0,460	9,064	2	2	B	30,63
A++1: PAROC akmens vata [9, 10]	0,440	9,803	1	1	A1	20,13
A++2: ROCKWOOL akmens vata [11, 12]	0,450	9,817	1	1	A1	17,64
A++3: Uždarų porų puta Foam-Lok™ 2000 [13]	0,350	9,952	0,13	72,5	E	88,94
A++4: Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 [14]	0,480	9,814	0,97	3,2	E	52,27
A++5: Atvirų porų EkoPuta [15]	0,490	9,837	1	5	E	53,36
A++6: Uždarų porų EkoPuta [15]	0,370	10,000	0,2	80	E	89,54
A++7: THERMOFLOC Ekovata [16]	0,500	9,853	2	2	B	33,29

14 lentelė

Normalizuota sprendimų matrica

Pavadinimas	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Alternatyva pagal patikimumo lygi (1)	Alternatyva pagal patikimumo lygi (2)
A1	0,784	0,824	0,130	0,013	1,000	0,888	0,607	0,710
A2	0,763	0,829	0,130	0,013	1,000	1,000	0,624	0,736
A3	1,000	0,825	1,000	0,906	0,167	0,249	0,689	0,634
A4	0,725	0,818	0,134	0,040	0,167	0,337	0,370	0,440
A5	0,707	0,823	0,130	0,063	0,167	0,337	0,371	0,440
A6	0,935	0,838	0,650	1,000	0,167	0,235	0,636	0,599
A7	0,690	0,828	0,065	0,025	0,333	0,534	0,413	0,503
A+1	0,725	0,891	0,130	0,013	1,000	0,828	0,599	0,703
A+2	0,707	0,894	0,130	0,013	1,000	0,936	0,615	0,728
A+3	0,906	0,910	1,000	0,906	0,167	0,224	0,684	0,635
A+4	0,659	0,900	0,134	0,040	0,167	0,316	0,369	0,445
A+5	0,644	0,903	0,130	0,063	0,167	0,307	0,369	0,444
A+6	0,879	0,892	0,650	1,000	0,167	0,214	0,632	0,598
A+7	0,630	0,906	0,065	0,025	0,333	0,488	0,408	0,502
A++1	0,659	0,980	0,130	0,013	1,000	0,753	0,590	0,696
A++2	0,644	0,982	0,130	0,013	1,000	0,853	0,605	0,720
A++3	0,829	0,995	1,000	0,906	0,167	0,203	0,681	0,640
A++4	0,604	0,981	0,134	0,040	0,167	0,282	0,368	0,449
A++5	0,592	0,984	0,130	0,063	0,167	0,275	0,368	0,448
A++6	0,784	1,000	0,650	1,000	0,167	0,196	0,631	0,607
A++7	0,580	0,985	0,065	0,025	0,333	0,438	0,405	0,502
Patikimumo lygiai (1)	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,17		
Patikimumo lygiai (2)	0,15	0,25	0,1	0,1	0,15	0,25		

Turint normalizuotą matricą ir norint nustatyti varianto racionalumą, atitinkamai normalizuotos matricos nariai dauginami iš jų reikšmingumo ir sumuojami (11, 14 lent.).



14 pav. Termoizoliacinių medžiagų efektyvaus šiltinimo atranka

Tyrimo metu gauta alternatyvų atrankos prioritetų eilutė pagal patikimumo lygį (1), ir pagal A energetinio naudingumo klasę, kai visi patikimumo lygiai buvo įvertinti vienodai išskyrus paskutini R6:

$$A3 > A6 > A2 > A1 > A7 > A5 > A4.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A+:

$$A+3 > A+6 > A+2 > A+1 > A+7 > A+5 > A+4.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A++:

$$A++3 > A++6 > A++2 > A++1 > A++7 > A++5 > A++4.$$

Racionaliausias variantas yra A3 (A, A+, A++) – uždary porų puta Foam-Lok™ 200, mažiausiai racionaliausias variantas yra A4 (A, A+, A++) Atvirų porų puta Foam-Lok™ 500 ir A5 (A+, A++) Atvirų porų EkoPuta, kadangi galutiniai rezultatai sutapo.

Atrankos prioritetų eilutė pagal patikimumo lygį (2), ir pagal A energetinio naudingumo klasę, kai patikimumo lygiai skirtingi, labiausiai buvo atsižvelgta į kainą ir šiluminės varžos koeficientą:

$$A2 > A1 > A3 > A6 > A7 > A4 > A5$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A+:

$$A+2 > A+1 > A+3 > A+6 > A+7 > A+4 > A+5.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A++:

$$A++2 > A++1 > A++3 > A++6 > A++7 > A++4 > A++5.$$

Racionaliausias variantas A2 (A, A+, A++) – ROCKWOOL akmens vata, mažiausiai racionaliausias variantas A5 (A, A+, A++) Atvirų porų EkoPuta.

Taigi galutinis rezultatas išliko labai panašus, kad pasikeitė uždary porų termoizoliacinės medžiagos su akmens vata. Abejais variantais buvo pastebėta, kad tos pačios termoizoliacinės medžiagos pagal naudingumo klases buvo visada geresnės.

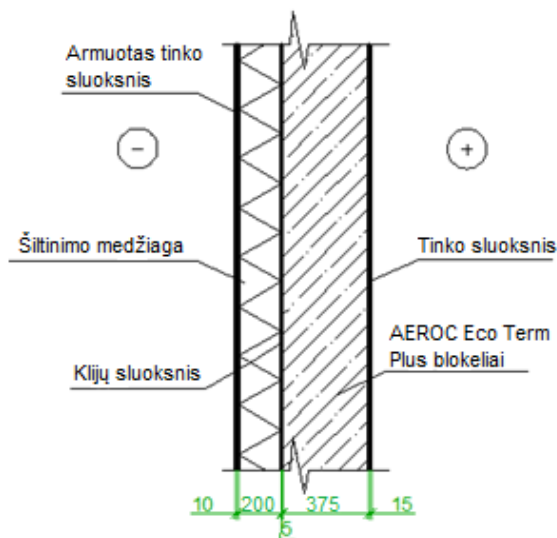
Skyriaus išvados:

1. Abiem variantais įvertinus tik termoizoliacinę medžiagą ir įvertinus tarp jų statramsčius galutinis atsakymas išliko vienodas, nors diagramoje 8 pav. buvo gauti dideli šiluminės varžos nuostoliai vertinant atskirai.
2. Gauti duomenys parodo, kad norinti įrengti ekonomiškiausią išorės sienos šiltinimą geriausias variantas – ROCKWOOL akmens vata, o efektyviausia termoizoliacinė medžiaga – uždary porų puta Foam-Lok™ 2 000. Šiltinant iš vidaus racionaliausias variantas taip pat – Foam-Lok™ 2 000, nes būtų labiau atsižvelgta į storį, kadangi kuo plonesnės medžiagos reikia tokiai pačiai šilumos varžai gauti, tuo ta medžiaga brangesnė.

2. TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS TINKO MŪRO SIENOJE

2.1. Laikančiosios sienos medžiagos

15 pav. pavaizduota konstrukcijos schema.



15 pav. Sienos mūro mazgas

Skaičiuojant ir norint įvertinti išorinės sienos šiluminę varžą R ir šilumos perdavimo koeficientą U , reikalinga įvertinti skirtingas laikančiosios sienos sudėtines medžiagas.

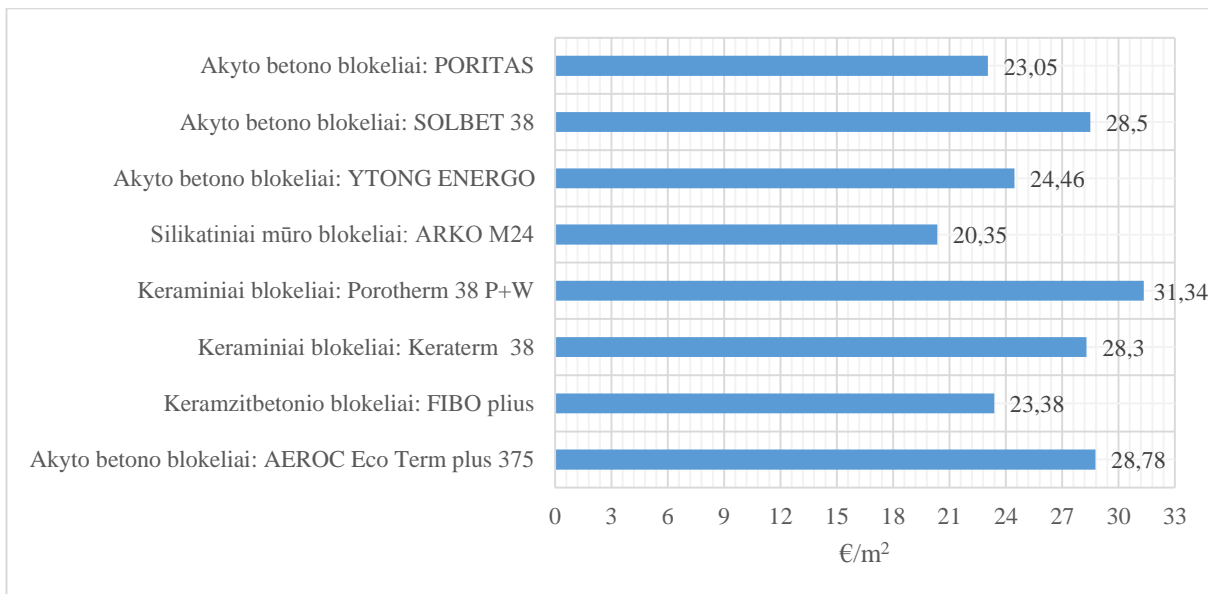
15 lentelė

Laikančiųjų blokelių alternatyvos

Medžiaga	d , m	Šilumos laidumo koeficientas λ_{ds} , W/(m·K)	Atspa- rumas šalčiui	Atspa- rumas ugniui	Kaina €/m ²	Kaina €/m ³
A1: Akyto betono blokeliai AEROC Eco Term plus 375 [17]	0,375	0,072	F25	A1	28,78	76,75
A2: Keramzitbetonio blokeliai FIBO plus [18]	0,300	0,180	F50	A1	23,38	77,91
A3: Keraminiai blokeliai Keraterm 38 [19]	0,380	0,150	F25	A1	28,30	74,47
A4: Keraminiai blokeliai Porotherm 38 P+W [20]	0,380	0,130	F25	A1	31,34	82,48
A5: Silikatiniai mūro blokeliai ARKO M24 [21]	0,240	0,680	F50	A1	20,35	84,79
A6: Akyto betono blokeliai YTONG ENERGO [22]	0,365	0,095	F35	A1	24,46	67,00
A7: Akyto betono blokeliai SOLBET 38 [23]	0,380	0,100	F25	A1	28,50	75,00
A8: Akyto betono blokeliai PORITAS [24]	0,365	0,110	F25	A1	23,05	63,14

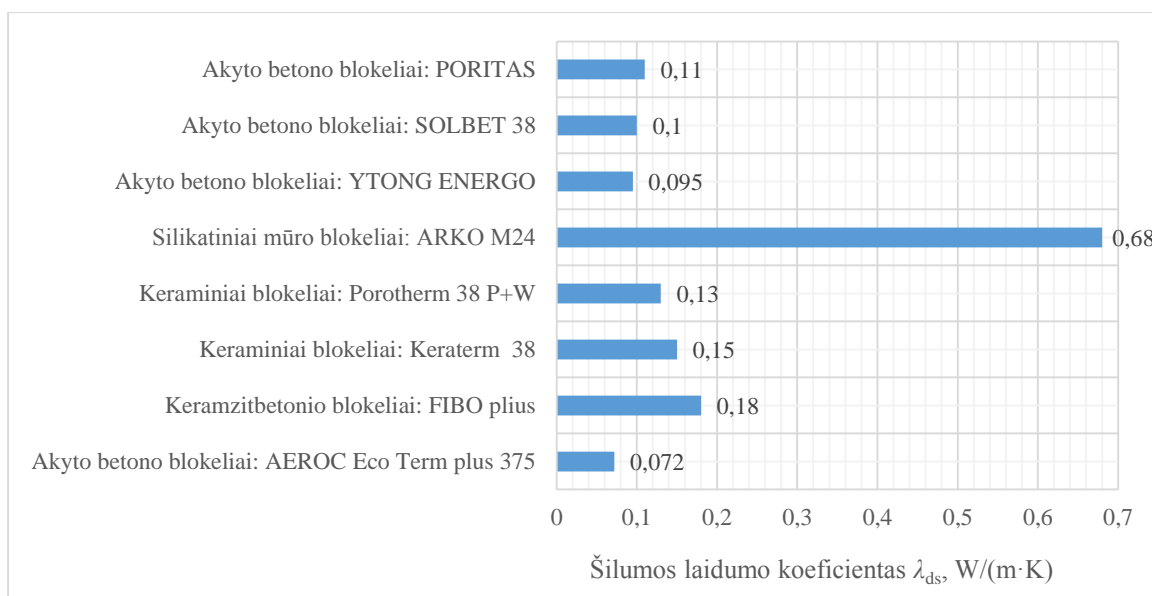
Lietuvos sąlygomis statybiniai blokeliai turėtų atlaikyti ne mažiau kaip 25 šalčio ciklus. Keraminių blokelių atsparumas šalčiui yra 25 ciklai, betoniniams mūro gaminiams minimalus ciklas pagal standartą taip pat yra 25 ciklai [25].

Visi blokelių gamintojai deklaruoja šaldymo-šildymo ciklų skaičius nuo 15 iki 200 ir daugiau. Lietuvos gamintojai dažnai nurodo 20–35 atsparumo šalčiui ciklus. Termoizoliacijos instituto mokslininkai sako, kad jeigu tiesioginio šalčio poveikio mūriui nėra, iš esmės didesnio ciklų skaičiaus ir nereikia, gamintojai juos dažnai naudoja reklamos tikslais [25].



16 pav. Blokelių kainos

Taigi, pigiausias variantas norint įsirengti sieną, yra silikatiniai mūro blokeliai ARKO M24, o brangiausias variantas – keraminiai blokeliai Porotherm 38 P+W.



17 pav. Blokelių šilumos laidumo koeficientai

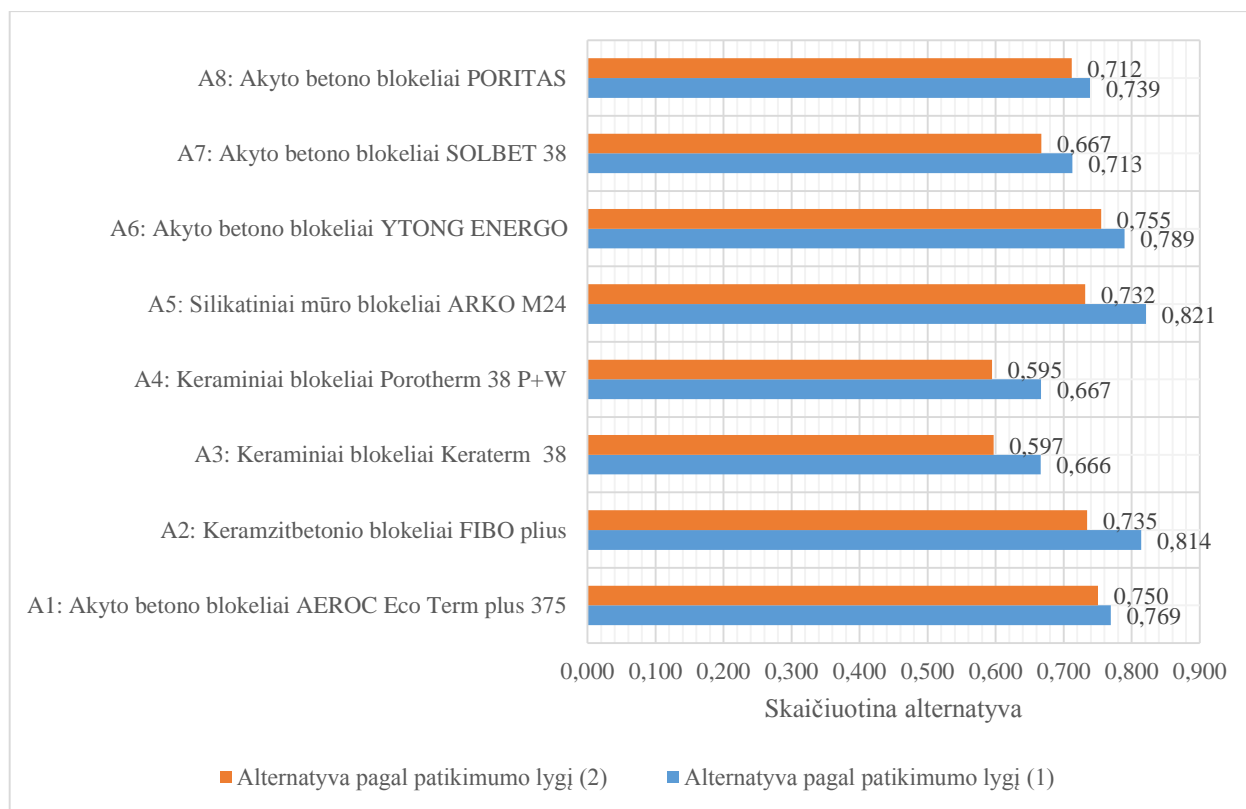
Geriausio šilumos laidumo lankančiosios sienos medžiaga – akyto betono blokeliai AEROC Eco Term plus 375.

Pasirenkant blokelių tyrimo buvo vertinti tokie medžiagų rodikliai: plotis, šilumos laidumo koeficientas, atsparumas šalčiui, atsparumas ugniai, kaina €/m². Nagrinėjamos 8 alternatyvos, kurios vertinamos pagal 5 rodiklius (žr. 16 lent.).

16 lentelė

Laikančiųjų blokelių normalizuota matrica

Pavadinimas	R1	R2	R3	R4	R5	Alternatyva pagal patikimumo lygį (1)	Alternatyva pagal patikimumo lygį (2)
A1	0,640	1,000	0,500	1,000	0,707	0,769	0,750
A2	0,800	0,400	1,000	1,000	0,870	0,814	0,735
A3	0,632	0,480	0,500	1,000	0,719	0,666	0,597
A4	0,632	0,554	0,500	1,000	0,649	0,667	0,595
A5	1,000	0,106	1,000	1,000	1,000	0,821	0,732
A6	0,658	0,758	0,700	1,000	0,832	0,789	0,755
A7	0,632	0,720	0,500	1,000	0,714	0,713	0,667
A8	0,658	0,655	0,500	1,000	0,883	0,739	0,712
Patikimumo lygiai (1)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
Patikimumo lygiai (2)	0,2	0,4	0,15	-	0,2		



18 pav. Blokelių alternatyvų palyginimas

Taigi racionaliausias variantas pagal patikimumo lygį (2) yra A6: akyto betono blokeliai YTONG ENERGO, pagal patikimumo lygį (1) yra A5: silikatiniai mūro blokeliai ARKO M24

Mažiausiai racionaliausias variantas pagal vidurkį (1) ir (2) patikimo lygio yra A4: keraminiai blokeliai Porotherm 38 P+W.

2.2. Šilumos koeficientų skaičiavimas

Aukštos kokybės, specialiai tinkuojamoms sienoms sukurtos ir patikrintos šiltinimo sistemos: polistireninis putplastis ir mineralinė vata. Abiejų šilumos laidumo koeficientas yra labai panašūs. Abi sistemos tinka naudoti tiek naujiems tiek renovuojamiems namams.

Konstrukcijos schema pavaizduota 15 pav. Sluoksnių šiluminės varžos skaičiavimas pateiktas 17–18 lent.

17 lentelė

Tinkuojamos sienos konstrukcija

Šilumos dydžiai ir sienos dalys	Simbolis	d , m	λ_{ds} , W/(m·K)	R , m ² ·K/W
Vidinio paviršiaus šiluminė varža	R_{si}	-	-	0,13
Tinkas (kalkės, smėlis)	R_1	0,015	0,800	0,019
Akyto betono blokeliai YTONG ENERGO	R_2	0,365	0,095	3,842
Klijų sluoksnis	R_3	-	-	0,04
Armuotas plonasluoksnis tinkas	R_5	-	-	0,02
Išorinio paviršiaus šiluminė varža	R_{se}	-	-	0,04
Visuminė šiluminė varža	R	0,39	-	4,091

Vidinio ir išorinio paviršiaus šiluminės varžos parenkamos iš STR 2.05.01:2013 [5].

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}; R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Polistireninio putplasčio EPS 100 $\lambda_{4,ds} = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ [5] projektinis šilumos laidumo koeficientas:

$$\lambda_{4,ds} = \lambda_{4,dec} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} = \lambda_{4,dec} + 0,002 + 0$$

čia: $\Delta\lambda_w$ – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo nevėdinamoje konstrukcijoje (STR 2.01.03:2009 2 lent.), $\Delta\lambda_w = 0,002 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ [6]; $\Delta\lambda_{cv}$ – šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl konvekcijos.

Kadangi EPS sienoje klijuojamas prie izoliuojamojo paviršiaus, tai:

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_{4,dec} \cdot K_{cv} = 0,04 \cdot 0 = 0$$

Šilumos perdavimo koeficientas (atitvaros be oro sluoksnių) [6]:

$$U = \frac{1}{R}$$

Pateikti šeši sienų apšiltinimo sistemos variantai, kurie atitinka A energinio naudingumo klasės gyvenamiesiems pastatams keliamus reikalavimus. Skaičiavimams panaudoti Panevėžio miesto klimato duomenys. Pateikti praktikoje dažniausiai naudojami tinkuojamų išorės sienų apšiltinimo medžiagų tipai (polistireninis putplastis, ekstruzinis polistireninis putplastis, mineralinė akmens vata). Apskaičiuoti projektiniai ir norminiai sienų šilumos perdavimo koeficientai.

18 lentelė

Termoizoliacinės medžiagos

Medžiaga	d, m	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, m^2 \cdot K/W$	$R_{sum}, m^2 \cdot K/W$	$U, W/(m^2 \cdot K)$
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70 [26]	0,200	0,041	4,878	8,969	0,112
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70 [27]	0,200	0,034	5,882	9,973	0,100
Akmens vata PAROC linio 80 [28]	0,200	0,042	4,762	8,853	0,113
Akmens vata PAROC FAS B [29]	0,200	0,038	5,263	9,354	0,107
Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL [30]	0,200	0,043	4,651	8,742	0,114
R – šilumos varžos koeficientas įvertinus termoizoliacinę medžiagą su statramsčiais.					
R_{sum} – šilumos varžos koeficientas įvertinus visą vėdinamo karkaso sienos mazgą.					

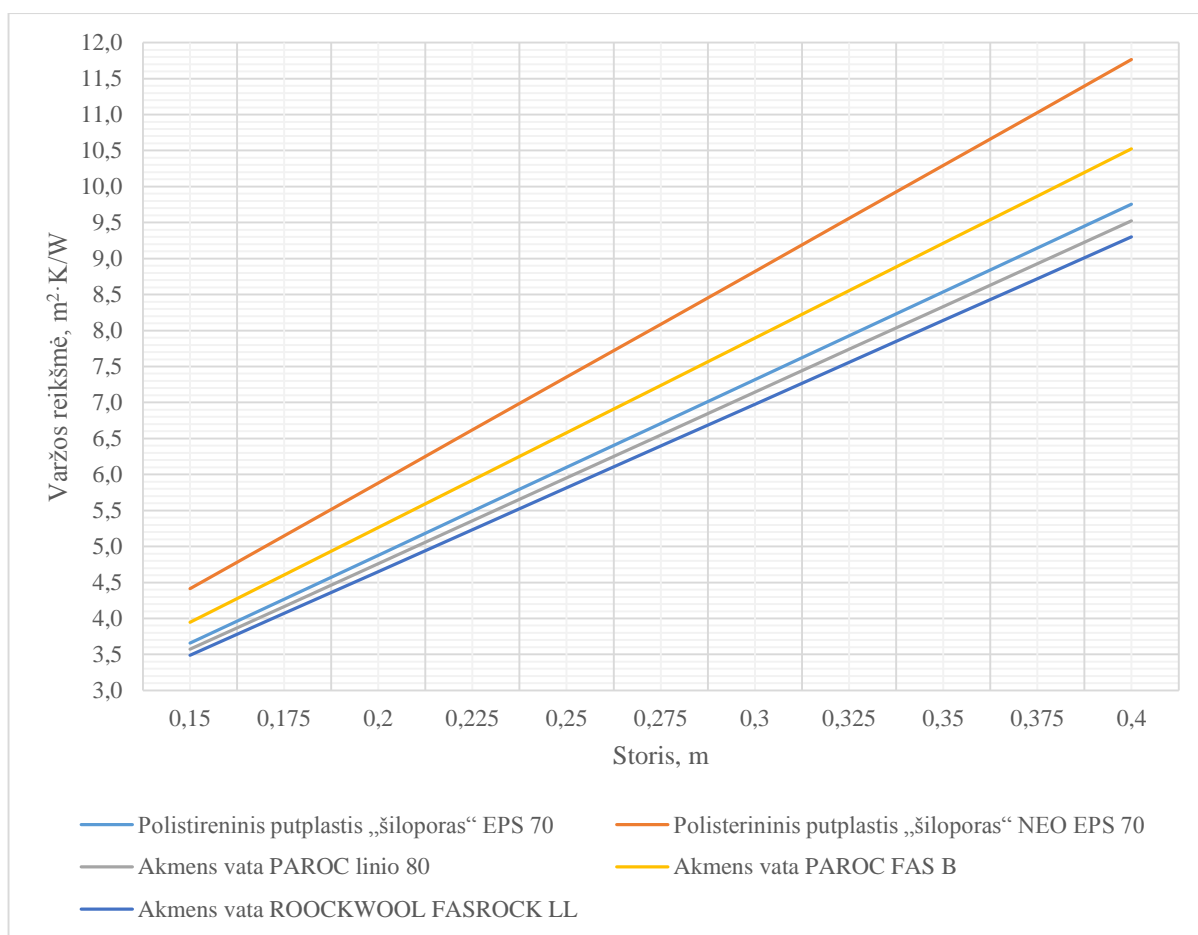
Šiloporas Neo nuo baltojo polistireninio putplasčio skiriasi mažesniu šilumos laidumu. Norint pasiekti tokias pačias šiluminės varžos R vertes pakanka 20–25% plonesnių Šiloporas Neo izoliacinių sluoksnių. Ypač efektyvus modernizuojant senus pastatus, statant pasyviuosius namus; taupo medžiagas ir mažina statybos kaštus naujose statybose [31].

Šiluminės varžos priklausomybė nuo storio. 19 lent. pateikti duomenys atspindi, kaip kinta varža didinant šilumos termoizoliacinę medžiagos storį.

19 lentelė

Šiluminės varžos koeficientai $R, m^2 \cdot K/W$

d, m	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70	3,659	4,268	4,878	5,488	6,098	6,707	7,317	7,927	8,537	9,146	9,756
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70	4,412	5,147	5,882	6,617	7,353	8,088	8,823	9,558	10,294	11,029	11,764
Akmens vata PAROC linio 80	3,572	4,167	4,762	5,357	5,953	6,548	7,143	7,738	8,334	8,929	9,524
Akmens vata PAROC FAS B	3,947	4,605	5,263	5,921	6,579	7,237	7,895	8,552	9,210	9,868	10,526
Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL	3,488	4,070	4,651	5,232	5,814	6,395	6,977	7,558	8,139	8,721	9,302



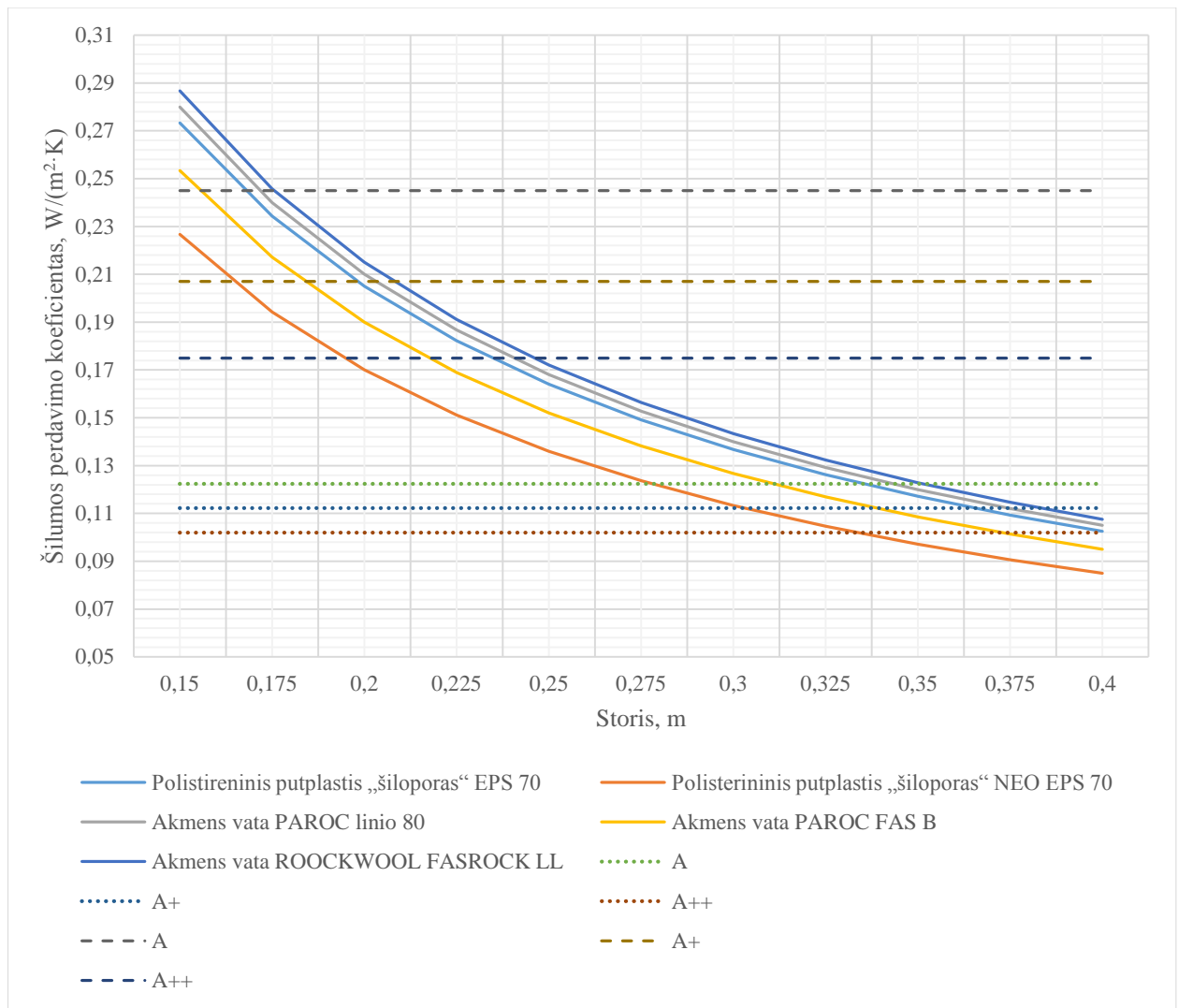
19 pav. Šiluminės varžos priklausomybė nuo storio diagrama

Šilumos perdavimo koeficientų priklausomybė nuo storio (žr. 20 lent.)

20 lentelė

Šilumos perdavimo koeficientai U , $W/(m^2 \cdot K)$

d , m	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70	0,273	0,234	0,205	0,182	0,164	0,149	0,137	0,126	0,117	0,109	0,103
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70	0,227	0,194	0,170	0,151	0,136	0,124	0,113	0,105	0,097	0,091	0,085
Akmens vata PAROC linio 80	0,280	0,240	0,210	0,187	0,168	0,153	0,140	0,129	0,120	0,112	0,105
Akmens vata PAROC FAS B	0,253	0,217	0,190	0,169	0,152	0,138	0,127	0,117	0,109	0,101	0,095
Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL	0,287	0,246	0,215	0,191	0,172	0,156	0,143	0,132	0,123	0,115	0,108



20 pav. Šilumos perdavimo koeficientų verčių priklausomybė nuo termoizoliacinių medžiagų storio: taškinė linija – nurodo kiek reikėtų termoizoliacinės medžiagos įvertinus blokelių šilumos perdavimo koeficientą; punktyrinė linija – nurodo kiek reikėtų termoizoliacinės medžiagos neįvertinus blokelių šilumos perdavimo koeficiento

Kadangi įvertinta viso mazgo varža su blokeliais, tai termoizoliacinės medžiagos reikėtų mažiau, nei pavaizduota 20 pav. punktyrinėje linijoje. Norint pasiekti A, A+, A++ energetinio naudingumo klases įvertinus kitas laikančiąsias medžiagas (žr. 15 pav.) reikėtų apytiksliai perpus mažiau termoizoliacinės medžiagos.

$$A = 8,170 - 4,091 = 4,079 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad U = 0,245 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A+ = 8,913 - 4,091 = 4,822 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad U = 0,207 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A++ = 9,803 - 4,091 = 5,712 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad U = 0,175 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.3. Kainų priklausomybė nuo storio ir varžos, įvertinus ARKO M24 blokelių varžą.

Kadangi pagal patikimumo lygį (1) efektyviausi – silikatiniai mūro blokėliai ARKO M24 (žiūr. 18 pav.), 21 lent. paskaičiuota, kiek kainuotų termoizoliacinės medžiagos norint pasiekti atskiras A, A+, A++ energetines naudingumo klases. Bene pats svarbiausias kriterijus renkantis šiltinimo medžiagas yra šilumos laidumo koeficientas, nuo kurio priklauso šiluminė varža, kaina.

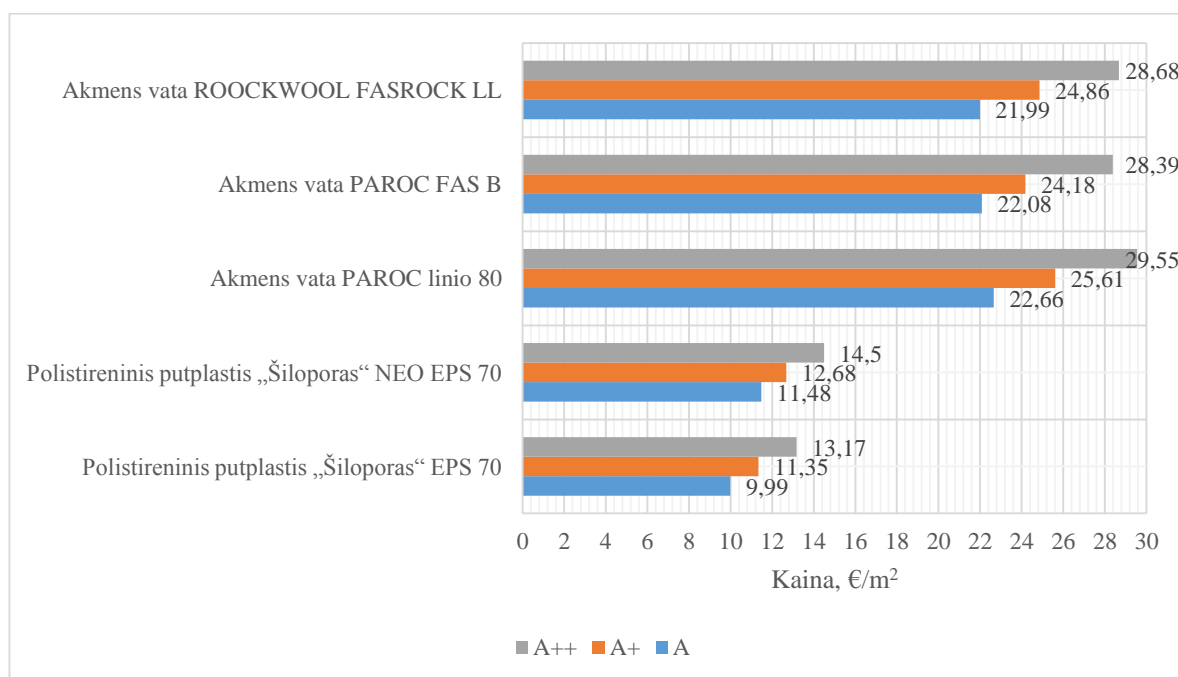
21 lentelė

Termoizoliacinių medžiagų storis ir kainos esant skirtingoms energetinio naudingumo klasėms

Medžiaga		A $U \leq 0,188 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 5,313 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A+ $U \leq 0,165 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 6,056 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A++ $U \leq 0,144 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 6,946 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70	AP	0,218 m	9,90 €/m ²	0,248 m	11,26 €/m ²	0,285 m	12,94 €/m ²
	PR	0,220 m	9,99 €/m²	0,250 m	11,35 €/m²	0,290 m	13,17 €/m²
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70	AP	0,181 m	10,93 €/m ²	0,206 m	12,44 €/m ²	0,236 m	14,25 €/m ²
	PR	0,190 m	11,48 €/m²	0,210 m	12,68 €/m²	0,240 m	14,50 €/m²
Akmens vata PAROC linio 80	AP	0,223 m	21,97 €/m ²	0,254 m	25,02 €/m ²	0,292 m	28,77 €/m ²
	PR	0,230 m	22,66 €/m²	0,260 m	25,61 €/m²	0,300 m	29,55 €/m²
Akmens vata PAROC FAS B	AP	0,202 m	21,24 €/m ²	0,230 m	24,18 €/m ²	0,264 m	27,76 €/m ²
	PR	0,210 m	22,08 €/m²	0,230 m	24,18 €/m²	0,270 m	28,39 €/m²
Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL	AP	0,228 m	21,80 €/m ²	0,260 m	24,86 €/m ²	0,299 m	28,59 €/m ²
	PR	0,230 m	21,99 €/m²	0,260 m	24,86 €/m²	0,300 m	28,68 €/m²

AP – apskaičiuota šiluminė varža, kad tenkintu energinio naudingumo klases.
PR – projektiniai termoizoliaciniai dydžiai, kuriuos deklaruoja gamintojai artimiausiai AP reikšmei.

Visos kainos buvo paimtos iš gamintojų nurodytų kainininkų [26–30].



21 pav. Pagal energinio naudingumo klases suskirstytos kainos

2.4. Kainų priklausomybė nuo storio ir varžos įvertinus YTONG ENERGO blokelių varžą

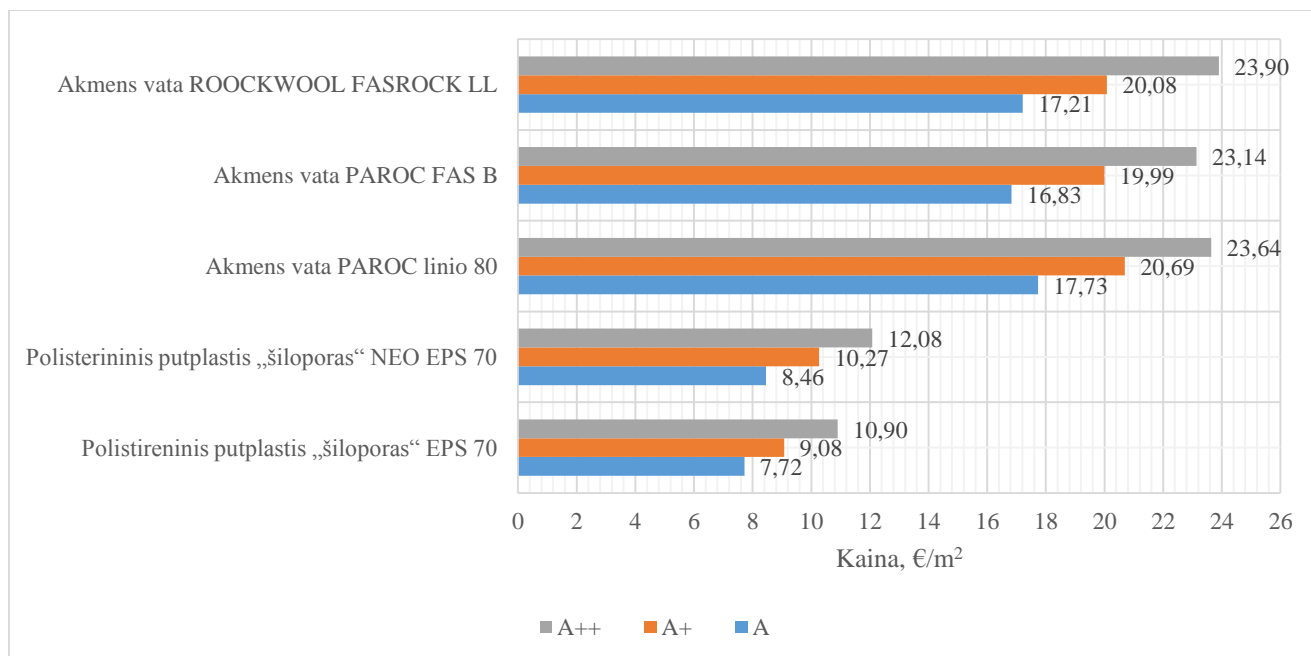
Pagal patikimumo lygį (2) ekonomiškiausi – akyto betono blokeliai YTONG ENERGO (žiūr. 18 pav.) buvo paskaičiuota 22 lent. kiek kainuotų įrengti termoizoliacinės medžiagos, pagal A, A+, A++ energetines naudingumo klases.

22 lentelė

Termoizoliacinių medžiagų storis ir kainos esant skirtingoms energetinio naudingumo klasėms

Medžiaga		A $U \leq 0,245 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 4,079 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A+ $U \leq 0,207 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 4,822 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		A++ $U \leq 0,175 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $R \geq 5,712 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	
		Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70	AP	0,167 m	7,58 €/m ²	0,197 m	8,95 €/m ²
	PR	0,170 m	7,72 €/m²	0,200 m	9,08 €/m²	0,240 m	10,90 €/m²
Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70	AP	0,139 m	8,40 €/m ²	0,164 m	9,91 €/m ²	0,194 m	11,72 €/m ²
	PR	0,140 m	8,46 €/m²	0,170 m	10,27 €/m²	0,200 m	12,08 €/m²
Akmens vata PAROC linio 80	AP	0,171 m	16,84 €/m ²	0,203 m	20,00 €/m ²	0,240 m	23,64 €/m ²
	PR	0,180 m	17,73 €/m²	0,210 m	20,69 €/m²	0,240 m	23,64 €/m²
Akmens vata PAROC FAS B	AP	0,155 m	16,30 €/m ²	0,183 m	19,25 €/m ²	0,217 m	22,82 €/m ²
	PR	0,160 m	16,83 €/m²	0,190 m	19,99 €/m²	0,220 m	23,14 €/m²
Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL	AP	0,175 m	16,73 €/m ²	0,207 m	19,79 €/m ²	0,246 m	23,52 €/m ²
	PR	0,180 m	17,21 €/m²	0,210 m	20,08 €/m²	0,250 m	23,90 €/m²

AP – apskaičiuota šiluminė varža, kad tenkintu energinio naudingumo klases.
PR – projektiniai termoizoliaciniai dydžiai, kuriuos deklaruoja gamintojai artimiausiai AP reikšmei.



22 pav. Pagal energinio naudingumo klases suskirstytos kainos

Pigiausias variantas išlieka toks pat kaip ir pateiktas 21 pav. polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70. Įvertinus YTONG ENERGO blokelių varžą termoizoliacinių kainų skirtumas sumažėjo.

2.5. Termoizoliacinės medžiagų tyrimas įvertinus YTONG ENERGO blokelių varžą

Pasirenkant šiltinimo medžiagą tyrime buvo vertinti tokie medžiagų rodikliai: storis, šiluminė varžos reikšmė, ilgalaikis vandens įmirkis $WL (P)$, gniuždymo įtempis esant 10 % deformacijai $CS(10)\sigma_{10}$, statmenas paviršiui stipris tempiant σ_{mt} , degumo klasifikacija pagal EURO klases, vandens garų difuzijos varža $MU \mu$, kaina €/m². Toliau apžvelgta šiltinimo sistemos atranka taikant SAW metodą.

Nagrinėjamos 5 alternatyvos atsižvelgiant į energetinio naudingumo klases, kurios vertinamos pagal 8 rodiklius (žr. 23 lent.).

23 lentelė

Termoizoliacinių medžiagų alternatyvos

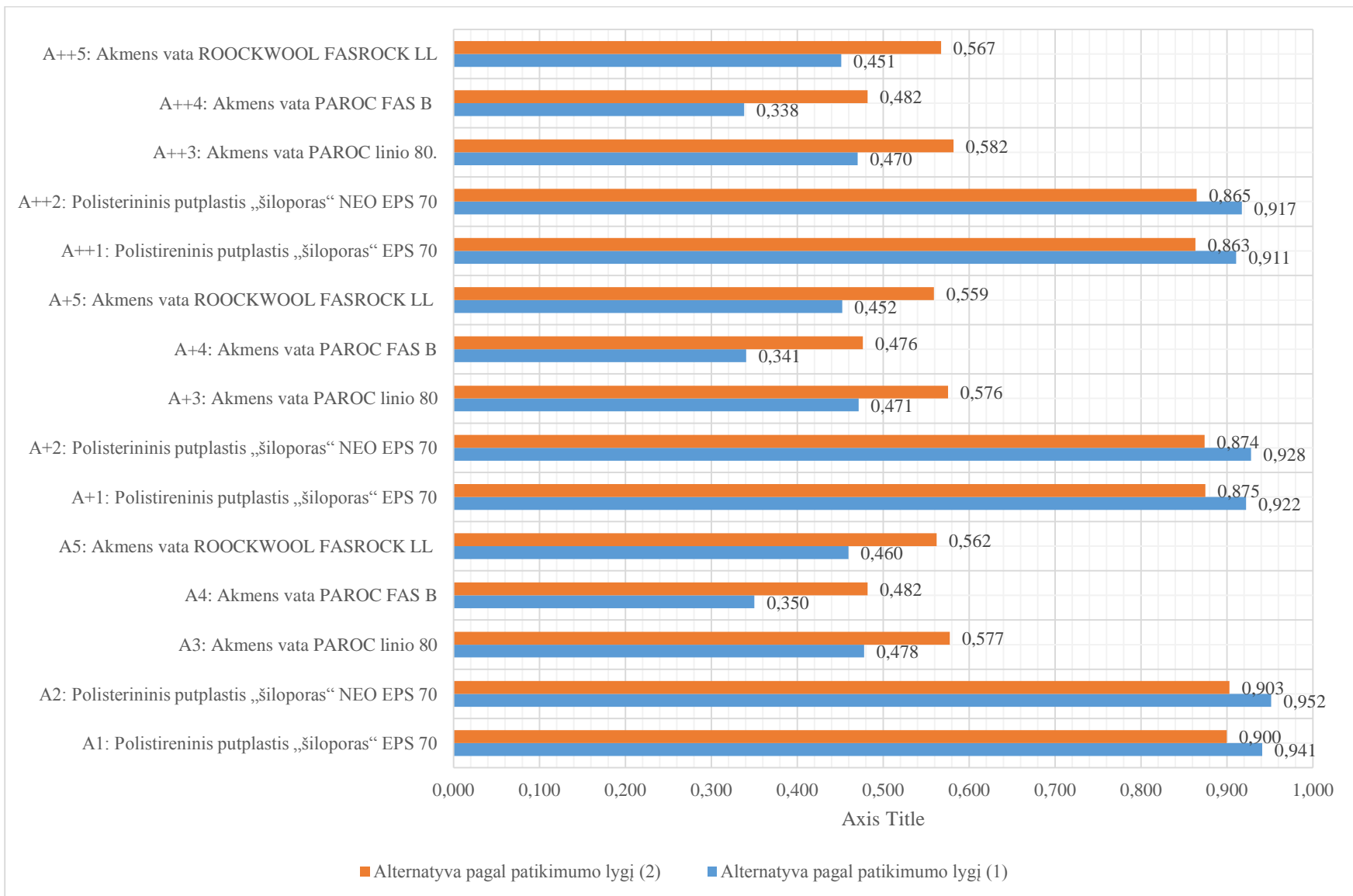
Medžiaga	d, m	Šiluminė varža, m ² K/W	Ilgalaikis vandens įmirkis $WL (P)$, kg/m ²	Gniuždymo įtempis esant 10% deformacijai $CS(10)\sigma_{10}$, kPa	Statmenas paviršiui stipris tempiant σ_{mt} , kPa	Degumo klasė	Vandens garų difuzijos varža MU, μ	Kaina, €/m ²
A1: Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70 [26]	0,17	4,146	≤ 0,5	70	100	E	30	7,72
A2: Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70 [27]	0,14	4,117	≤ 0,5	70	100	E	30	8,46
A3: Akmens vata PAROC linio 80 [28]	0,18	4,286	≤ 3	50	80	A1	1	17,73
A4: Akmens vata PAROC FAS B [29]	0,16	4,210	≤ 3	20	10	A1	1	16,83
A5: Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL [30]	0,18	4,186	≤ 3	40	80	A1	1	17,21
A+1: Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70 [26]	0,20	4,878	≤ 0,5	70	100	E	30	9,08
A+2: Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70 [27]	0,17	5,000	≤ 0,5	70	100	E	30	10,27
A+3: Akmens vata PAROC linio 80 [28]	0,21	5,000	≤ 3	50	80	A1	1	20,69
A+4: Akmens vata PAROC FAS B [29]	0,19	5,000	≤ 3	20	10	A1	1	19,99
A+5: Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL [30]	0,21	4,884	≤ 3	40	80	A1	1	20,08
A++1: Polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70 [26]	0,24	5,854	≤ 0,5	70	100	E	30	10,90
A++2: Polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70 [27]	0,20	5,882	≤ 0,5	70	100	E	30	12,08
A++3: Akmens vata PAROC linio 80 [28]	0,24	5,714	≤ 3	50	80	A1	1	23,64
A++4: Akmens vata PAROC FAS B [29]	0,22	5,789	≤ 3	20	10	A1	1	23,14
A++5: Akmens vata ROOCKWOOL FASROCK LL [30]	0,25	5,814	≤ 3	40	80	A1	1	23,90

Normalizuota sprendimų matrica

Pavadinimas	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	Alternatyva pagal patikimumo lygį (1)	Alternatyva pagal patikimumo lygį (2)
A1	0,824	0,705	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,941	0,900
A2	1,000	0,700	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,913	0,952	0,903
A3	0,778	0,729	0,167	0,714	0,800	0,167	0,033	0,435	0,478	0,577
A4	0,875	0,716	0,167	0,286	0,100	0,167	0,033	0,459	0,350	0,482
A5	0,778	0,712	0,167	0,571	0,800	0,167	0,033	0,449	0,460	0,562
A+1	0,700	0,829	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,850	0,922	0,875
A+2	0,824	0,850	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,752	0,928	0,874
A+3	0,667	0,850	0,167	0,714	0,800	0,167	0,033	0,373	0,471	0,576
A+4	0,737	0,850	0,167	0,286	0,100	0,167	0,033	0,386	0,341	0,476
A+5	0,667	0,830	0,167	0,571	0,800	0,167	0,033	0,384	0,452	0,559
A++1	0,583	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,708	0,911	0,863
A++2	0,700	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,639	0,917	0,865
A++3	0,583	0,971	0,167	0,714	0,800	0,167	0,033	0,327	0,470	0,582
A++4	0,636	0,984	0,167	0,286	0,100	0,167	0,033	0,334	0,338	0,482
A++5	0,560	0,988	0,167	0,571	0,800	0,167	0,033	0,323	0,451	0,567
Patikimumo lygiai (1)	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125		
Patikimumo lygiai (2)	0,15	0,25	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,25		

Patikimumo lygiai buvo sudaryti dvejopi: viename imta, kad visi svoriniai koeficientai yra lygūs, taip gaunant efektyviausią termoizoliacinę medžiagą, o antrame lygyje, kai patikimumo lygiai skirtingi, labiausiai buvo atsižvelgta į kainą ir šiluminės varžos koeficientą. Šie koeficientai sudarė pusę visų koeficientų, taip gaunant ekonomiškiausią medžiagą.

Pagal pateiktus 24 lent. duomenys buvo sudarytas 23 pav.



23 pav. Išorės sienų apšildymo medžiagų alternatyvų palyginimas

Tyrimo metu gauta alternatyvų atrankos prioritetų eilutė pagal patikimumo lygį (1) ir pagal A energetinio naudingumo klasę, kai visi patikimumo lygiai buvo įvertinti vienodai:

$$A2 > A1 > A3 > A5 > A4.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A+:

$$A+2 > A+1 > A+3 > A+4.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A++:

$$A++2 > A++1 > A++3 > A++4$$

Racionaliausias variantas yra A2 (A, A+, A++) – polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70, mažiausiai racionalus variantas yra A4 (A, A+, A++) – akmens vata PAROC FAS B.

Atrankos prioritetų eilutė pagal patikimumo lygį (2) ir pagal A energetinio naudingumo klasę, kai patikimumo lygiai skirtingi, labiausiai buvo atsižvelgta į kainą ir šiluminės varžos koeficientą:

$$A2 > A1 > A3 > A5 > A4.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A+:

$$A+1 > A+2 > A+3 > A+5 > A+4.$$

Pagal energetinio naudingumo klasę A++:

$$A++2 > A++1 > A++3 > A++5 > A++4$$

Racionaliausias variantas yra A2 (A, A++) – polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70 ir A1 (A+) polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70, mažiausiai racionalus variantas yra A4 (A, A+, A++) – akmens vata PAROC FAS B.

Skyriaus išvada:

1. Galutinis rezultatas išliko labai panašus, beveik abiejuose atrankose racionaliausias variantas yra A2 (A, A+, A++) NEO EPS 70 polistireninis putplastis. Patikimumo lygyje (2) A+1 (A+) – polistireninis putplastis „Šiloporas“ EPS 70. Mažiausiai racionaliausias variantas išliko toks pat abiejuose atrankose A4 (A, A+, A++) – akmens vata PAROC FAS B.

IŠVADOS

Šiame projekte ištirta dažniausiai naudojamų išorės medžiagų apšiltinimo tipai ir gautos tokios išvados:

1. Vėdinamo karkaso sienoje efektyviausia termoizoliacinė medžiaga – uždarytų porų putų Foam-Lok™ 2 000. Tinko mūro sienoje efektyviausia medžiaga – polistireninis putplastis „Šiloporas“ NEO EPS 70.
2. Vėdinamo karkaso sienoje ekonomiškiausia – ROCKWOOL vata, kuri susidėjo iš gamintojo rekomenduojamų vatų: „superrock“ ir „venti max“. Tinko mūro sienoje ekonomiškiausia termoizoliacinė medžiaga išliko NEO EPS 70.
3. Apšiltinimo kainų skirtumas tarp A ir A+, bei A+ ir A++ energetinio naudingumo klasių, vėdinamo karkaso sienai naudojant Foam-Lok™ 2 000 termoizoliacinę medžiagą atitinkamai yra 7,63 €/m² (arba 10,35 %) ir 7,62 €/m² (arba 9,37 %). Naudojant ROCKWOOL termoizoliacinę medžiagą tarp A ir A+, bei A+ ir A++ energetinio naudingumo klasių, vėdinamo karkaso sienai atitinkamai yra 1,17 €/m² (arba 7,85 %) ir 1,57 €/m² (arba 9,77 %).
4. Apšiltinimo kainų skirtumas tarp A ir A+, bei A+ ir A++ energetinio naudingumo klasių, tinko mūro sienoje, kai blokeliai – ARKO M24, naudojant NEO EPS 70 termoizoliacinę medžiagą atitinkamai yra 1,20 €/m² (arba 10,45 %) ir 1,81 €/m² (arba 14,35 %). Naudojant NEO EPS 70, kai blokeliai – YTONG ENERGO kainų skirtumas tarp A ir A+, bei A+ ir A++ atitinkamai yra 1,81 €/m² (arba 21,39 %) ir 1,81 €/m² (arba 17,62 %).

LITERATŪRA

1. K. Bernotas 2015. External wall efficient insulation selection using a SAW method. *Proceedings of 10th International Conference ITELMS'2015*. 65- 68 p.
2. M. Kijevičius, K. Valančius 2014. „Pastato išorinių atitvarų apšiltinimo tikslingumas 2E rodiklių požiūriu“ *Mokslas – Lietuvos Ateitis* 6 (4): 407 – 413. Prieiga per internetą: <<http://dx.doi.org/10.3846/mla.2014.56>> [žiūrėta 2015-11-22].
3. R. Dylewski, J. Adamczyk 2011. Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls. *Building and Environmental* 46 (12): 2615 – 2623. Prieiga per internetą: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.023>> [žiūrėta 2015-11-22].
4. J. Vejelienė, A. Gailius, S. Vejelis, S. Vaitkus, G. Balciunas 2011. Development of thermal insulation from local agricultural waste. *Environmental Engineering* 437 – 440. Prieiga per internetą: <<http://dspace.vgtu.lt/handle/1/1117>> [žiūrėta 2015-11-22].
5. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.01:2013 Pastatų energinio naudingumo projektavimas.
6. Statybos techninis reglamentas STR 2.01.03:2009 Statybinių medžiagų ir gaminių šiluminių techninių dydžių projektinės vertės.
7. EkoPutā. Prieiga per internetą: <<http://www.ekosiltinimas.lt/gama-puos-panaudojimas/sienusiltinimas-is-vidaus>> [žiūrėta 2015-11-22].
8. Foam-Lok™ 2 000. Prieiga per internetą: <<http://www.termmax.com/lt/produktai/foam-lok-2000/foam-lok-2000-aprasymas>> [žiūrėta 2015-11-22].
9. PAROC extra plus. Prieiga per internetą: <http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/gaminiai/pages/universalios-plokstes/paroc-extra-plus?sc_lang=lt-LT> [žiūrėta 2015-11-22].
10. PAROC was 35t. Prieiga per internetą: <http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/gaminiai/pages/vedinamu-atitvaru-plokstes/paroc-was-35t?sc_lang=lt-LT> [žiūrėta 2015-11-22].
11. ROCKWOOL superrock. Prieiga per internetą: <<http://www.rockwool.lt/gaminiai+ir+panaudojimas/u/2011.product/5994/statybines-izoliacijos-gaminiai/superrock>> [žiūrėta 2015-11-22].
12. ROCKWOOL venti max F. Prieiga per internetą: <<http://www.rockwool.lt/gaminiai+ir+panaudojimas/u/2011.product/6251/statybines-izoliacijos-gaminiai/venti-max-f>> [žiūrėta 2015-11-22].
13. Foam-Lok™ 2 000. Prieiga per internetą: <<http://www.termmax.com/lt/produktai/foam-lok-2000/foam-lok-2000-technine-informacija>> [žiūrėta 2015-11-22].
14. Foam-Lok™ 500. Prieiga per internetą: <<http://www.termmax.com/lt/produktai/foam-lok-500/foam-lok-500-technine-informacija>> [žiūrėta 2015-11-22].

15. Atvirų ir uždarų porų EkoPuta. Prieiga per internetą: <<http://ekoputos.lt/ekoputos>> [žiūrėta 2015-11-22].
16. Thermofloc ekovata. Prieiga per internetą: <<http://www.geravata.lt/tech-duomenys.htm>> [žiūrėta 2015-11-22].
17. AEROC Eco Term Plus 300. Prieiga per internetą: <http://www.aeroc.lt/index.php?page=939&lang=lit&cnt=AEROC_EcoTerm_Plus> [žiūrėta 2015-11-22].
18. FIBO plus. Prieiga per internetą: <<http://www.weber.lt/fibo-produkcija/produktai/fibo-blokeliai/fibo-plus-blokelis.html>> [žiūrėta 2015-11-22].
19. KERATERM 38. Prieiga per internetą: <<http://www.blokeliucentras.lt/blokeliai/ekologiski-blokeliai/keraminiai-blokeliai-keraterm-lode/>> [žiūrėta 2015-11-22].
20. POROTHERM 38 P+W. Prieiga per internetą: <<http://www.wienerberger.lt/keraminiai-blokeliai-porotherm/statybini%C5%B3-blokeli%C5%B3-katalogas/keraminiai-blokai-porotherm-38-pw-keraminis-blokas.html?lpi=1166023963396>> [žiūrėta 2015-11-22].
21. ARKO M24. Prieiga per internetą: <<http://www.arko.lt/lt/blokeliai/blokelis-arko-m24.htm>> [žiūrėta 2015-11-22].
22. YTONG ENERGO. Prieiga per internetą: <<http://www.ytongblokeliai.lt/ytong-energo-blokeliai>> [žiūrėta 2015-11-22].
23. SOLBET 38. Prieiga per internetą: <<http://taniemurowanie.pl/pl/solbet-38-cm-pw-klasa-400-gazobeton-beton-komorkowy-suporeks-siporex-pustak.html>> [žiūrėta 2015-11-22].
24. PORITAS. Prieiga per internetą: <http://www.vedrana.lt/blokeliai_poritas/> [žiūrėta 2015-11-22].
25. Statybinių blokelių parinkimas: <<http://www.namoprojektas.lt/lt/aktuali-informacija/naujienos/statybiniu-blokeliu-pasirinkimas/>> [žiūrėta 2015-11-22].
26. Šiloporos EPS 70. Prieiga per internetą: <<http://www.kaunosilas.lt/gaminiai/siloporos-eps-70/>> [žiūrėta 2015-11-22].
27. Šiloporos NEO EPS 70N. Prieiga per internetą: <<http://www.kaunosilas.lt/gaminiai/siloporos-neo/>> [žiūrėta 2015-11-22].
28. PAROC linio 80. Prieiga per internetą: <<http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/gaminiai/pages/tinkuojamu-fasadu-plokstes/paroc-linio-80>> [žiūrėta 2015-11-22].
29. PAROC FAS B. Prieiga per internetą: <<http://www.paroc.lt/~media/Files/Brochures/Lithuania/BI-Paroc-FAS-B-LT.ashx>> [žiūrėta 2015-11-22].
30. ROCKWOOL FASROCK LL. Prieiga per internetą: <<http://www.rockwool.lt/gaminiai+ir+panaudojimas/u/2011.product/4307/statybines-izoliacijos-gaminiai/fasrock-ll>> [žiūrėta 2015-11-22].
31. Šiloporos. Prieiga per internetą: <<http://www.betonoblokeliai.lt/kauno-silas-polistirolas/>> [žiūrėta 2015-11-22].

32. Vandens garų skvarba konstrukcijoje. Prieiga per internetą:
<<http://www.kaunosilas.lt/specialisto-komentaras/vandens-garu-skvarba-konstrukcijoje/>>
[žiūrėta 2015-11-22].