



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

**Aurimas Tamoševičius**

**PASTATŲ ŠILTINIMO MEDŽIAGŲ DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Žilvinas Bazaras

**PANEVĖŽYS, 2016**

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

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas  
(parašas) Doc. Arūnas Tautkus  
(data)

**PASTATŲ ŠILTINIMO MEDŽIAGŲ DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS**  
Baigiamasis magistro projektas  
**Statyba (kodas 621J80001)**

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

**Recenzentas**  
(parašas) Doc. dr. Saulius Sušinskas  
(data)

**Projektą atliko**  
(parašas) Aurimas Tamoševičius  
(data)

**PANEVĖŽYS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO

(Fakultetas)

AURIMAS TAMOŠEVIČIUS

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „PASTATŲ ŠILTINIMO MEDŽIAGŲ DAUGIAKRITERINIS  
VERTINIMAS“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 15 m. Gruodžio 04 d.  
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano **Aurimo Tamoševičiaus** baigiamasis projektas tema „**Pastatų šiltinimo medžiagų daugiakriterinis vertinimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai, a 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:** Aurimui Tamoševičiui

**1. Darbo tema:**

Lietuvių kalba: Pastatų šiltinimo medžiagų daugiakriterinis vertinimas

Anglų kalba: Multicriterion evaluation of the buildings thermal insulation layer materials

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

**2. Darbo tikslas:**

*Daugiakriterinio sprendimo priėmimo metodu pasiūlyti efektyviausią šiltinimo medžiagą, kuri būtų įrengta kartu su mediniu karkasu.*

**3. Reikalavimai ir sąlygos:**

*Stambiaplokščių gyvenamųjų namų vienasluoksni 300 mm storio keramzobetono plokštė, kurios šilumos perdavimo koeficientas  $U 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Šiltinimo medžiaga turi būti įrengiama ant medinio karkaso. Apšiltinus, pastatas turi atitikti pastatų atitvarų šilumos energinio naudingumo A klasės pastatų (sienos) atitvaroms keliamus reikalavimus gyvenamiesiems pastatams.*

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

*Santrauka;*

*Įvadas;*

*Literatūros apžvalga;*

*Termoizoliacinių medžiagų klasifikavimas;*

*Termoizoliacinių medžiagų apžvalga;*

*Tyrimo metodologija;*

*Šiltinimo medžiagų daugiakriterinis vertinimas naudojant TOPSIS metodą;*

*Išvados;*

*Literatūros sąrašas.*

**5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.**

**6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas**

2016-01-04

(data)

Užduotį gavau: Aurimas Tamoševičius

2015-10-21

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: Prof. dr. Žilvinas Bazaras

2015-10-21

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

## TURINYS

SANTRAUKA .....	7
SUMMARY .....	8
SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS .....	9
ĮVADAS .....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	11
1.1. Šilumos perdavimo būdai .....	11
1.1.1. <i>Spinduliavimas</i> .....	11
1.1.2. <i>Konvekcija</i> .....	12
1.1.3. <i>Šiluminis laidumas</i> .....	13
1.2. Patalpų šilumos poreikiai .....	14
1.3. Atitvarų šilumos perdavimo rodiklis .....	14
1.4. Užsienio šalių pastatų modernizacijos patirtis .....	17
2. TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ KLASIFIKAVIMAS .....	18
3. TERMOIZOLIACINĖS MEDŽIAGOS .....	21
3.1. Polistireninis putplastis ( EPS ) .....	21
3.1.1. <i>Žaliavos</i> .....	21
3.1.2. <i>Gamyba</i> .....	21
3.1.3. <i>Savybės</i> .....	22
3.1.4. <i>Neoporas</i> .....	24
3.2. Ekstruzinis polistireninis putplastis .....	25
3.2.1. <i>Naudojimas</i> .....	25
3.2.2. <i>Gamyba</i> .....	25
3.2.3. <i>Savybės</i> .....	26
3.3. Mineralinė vata .....	26
3.3.1. <i>Klasifikavimas</i> .....	26
3.3.2. <i>Savybės</i> .....	29
3.3.3. <i>Mineralinės vatos gamybos būdai</i> .....	29
3.4. Celiuliozinė vata .....	29
3.4.1. <i>Gamyba</i> .....	30
3.4.2. <i>Savybės</i> .....	30
3.4.3. <i>Šiltinimo technologija, naudojant ekovata</i> .....	30
3.5. Poliuretano putas ( PPU ) .....	32
3.5.1. <i>Išorinės pastato sienos šiltinimas po dekoratyviniu tinku poliuretano putomis</i> ..	33
3.5.2. <i>Išorinis šiltinimas už pakabinamo fasado poliuretano putomis</i> .....	34
4. TYRIMO METODOLOGIJA .....	35
4.1. Daugiakriterinio vertinimo modeliai ir metodai .....	35
4.2. TOPSIS metodas .....	36

4.3. Daugiaaukščių pastatų išorės sienų šiltinimo medžiagų pasirinkimo variantų formavimas .....	38
4.4. Apšiltinimas naudojant medinį karkasą.....	39
5. ŠILTINIMO MEDŽIAGŲ DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS NAUDOJANT TOPSIS METODĄ.....	40
6. IŠVADOS .....	48
7. LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	49
PRIEDAI.....	51

Tamoševičius A., Pastatų šiltinimo medžiagų daugiakriterinis vertinimas / vadovas prof. dr. Ž. Bazaras; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Technologijų katedra.

Panevėžys, 2016. 50 psl., 17 paveikslėlių, 10 lentelių

## SANTRAUKA

**Tyrimo aktualumas.** Pastatų šiltinimas šiuo metu yra pats aktualiausias klausimas ir išsirinkti efektyviausią šiltinimo medžiagos variantą iš gausybės esančių yra gana sudėtinga. Todėl norint priimti racionaliausią sprendimą galime naudoti daugiakriterinio vertinimo galimybę. Daug sprendimų priėmimo sistemų teoretikų yra pasiūlę daugybę metodų, modelių, kuriuos taikydami galime spręsti problemas, kylančias priimant daugiakriterinius sprendimus, kai iš daugybės variantų, aprašomų įvairiomis rodiklių sistemomis, yra išrenkamas efektyviausias variantas.

**Tyrimo problema.** Sprendžiama skirtingais matavimo vienetais išreiškiamų šiltinimo medžiagų efektyvumo rodiklių apibendrinimo ir įvairiapusiško palyginimo problema.

**Tyrimo tikslas** – daugiakriterinio sprendimo priėmimo metodu pasiūlyti efektyviausią šiltinimo medžiagą, kuri būtų įrengta kartu su mediniu karkasu.

**Tyrimo uždaviniai:** 1) apibūdinti daugiakriterinio vertinimo metodą TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution); 2) sudaryti daugiakriterinį šiltinimo medžiagų efektyvumo įvertinimo modelį; 3) pasiūlyti efektyviausią šiltinimo medžiagą;

**Tyrimo objektas** – stambiaplokščių gyvenamųjų namų pastatytų iš vienasluoksnės 300 mm storio keramzitbetonio plokštės išorės sienos šiltinimas ant medinio karkaso.

**Tyrimo metodai:** literatūros analizė, daugiakriterinio įvertinimo metodas TOPSIS, kompiuterinė programa sąmatų sudarymui SISTELA.

**Raktiniai žodžiai:** daugiakriterinė analizė, TOPSIS metodas, išorės sienos, šilumos laidumas, šiltinimo medžiagos, kriterijų reikšmingumas.

Tamoševičius A., Multicriterion evaluation of the buildings thermal insulation layer materials / guide prof. dr. Ž. Bazaras; Kaunas University of Technology, Panevezys Faculty of Technology and Business, Department of Technologies.

Panevezys, 2016. 50 p., 17 pictures, 10 tables.

## SUMMARY

**Keywords:** multicriterial analysis, the TOPSIS method, exterior walls, thermal conductivity, thermal insulation materials, significance of criteria.

**The relevance of the research.** Thermal insulation of buildings is currently the most important issue, and it is rather difficult to select the most effective insulation material from the abundance available. Therefore, in order to take the most rational decision, we can use multiple criteria for assessment. A number of theorists in decision-making systems have offered a variety of methods and models, by applying which we can deal with problems arising from the adoption of multicriterial solutions when the most effective option is selected from a variety of options described by various indicators systems.

**The research problem.** The problem being investigated is how to summarise and compare comprehensively the performance indicators of insulation materials expressed by different measurement units.

**The aim of the research** is to apply multicriterial decision-making methods in order to offer the most efficient insulation material that would be fitted together with a wooden frame.

**The objectives of the research:** 1) to describe the multicriterial TOPSIS method (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution); 2) provide a multicriterial model for the assessment of performance of thermal insulation materials; 3) offer the most efficient insulation material.

**The object of research** – wooden-frame insulation of the external walls of large-plate houses constructed using 300 mm-thick single-layer plates of expanded clay concrete.

**The research methods:** analysis of literature, the multicriterial TOPSIS method, the SISTELA computer software for preparing estimates.



## SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

$S$  – paviršiaus plotas,  $m^2$ ;

$\Delta T$  – masės srauto ir paviršiaus temperatūrų skirtumas;

$T$  – masės srauto;

$T_s$  – paviršiaus vidutinės temperatūros;

$Q$  – šilumos kiekis;

$^{\circ}K$  – temperatūros matavimo vienetas;

$U$  – šilumos perdavimo koeficientas,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$R$  – šiluminė varža,  $(m^2 \cdot K)/W$ ;

$EPS$  – standi poringa medžiaga;

$P$  – sprendimų matrica;

–

$x_{ij}$  – normalizuotos matricos nariai;

$x_{ij}$  – sprendimų priėmimo matricos nariai

$i$  – alternatyva;

$m$  – alternatyvų skaičius;

$j$  – rodiklis;

$n$  – rodiklių skaičius;

$q$  – integruotasis reikšmingumas;

$a^+$  – idealiai geriausia alternatyva;

$a^-$  – idealiai blogiausia alternatyva;

$J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

$J'$  – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

$L_i^+$  – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai geriausios alternatyvos;

$L_i^-$  – atstumas tarp lyginamosios ir idealiai blogiausios alternatyvos;

$K_i$  – alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus;

$\Delta\lambda\omega$  – pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo vėdinamoje atitvaroje,  $W/(m \cdot K)$ ;

$\lambda$  – šilumos laidumas,  $W/(m \cdot K)$ .

## IVADAS

Pastaruojamu metu daug dėmesio skiriama vartojamai energijai taupyti. Daugiausia energijos reikia pastatams šildyti. Statybos techniniuose reglamentuose numatyti šilumos išsaugojimo būdai, o pagrindinis iš jų - didinti pastatų atitvarų šiluminę varžą, t. y. termoizoliacinį sluoksnį, arba naudoti efektyvesnes termoizoliacines medžiagas. Gaminant, projektuojant ir statant reikia žinių apie termoizoliacinių medžiagų charakteristikas. [1]

Pastatų apšiltinimas, renovacija nagrinėjama jau daug metų, itin svarbiais namo vertės kriterijais tapo jo šiluminės ypatybės ir ekonomiškumas. Europos Sąjungos (ES) parlamentas yra patvirtinęs Energinio namų efektyvumo direktyvą 2010/31/EU tai aktuali tema daugelyje šalių. [16] Renovuotuose pastatuose mažėja šilumos suvartojimas, didėja būsto kaina. Energijos išsaugojimas bus svarbus ir ateityje, juolab, kad energijos išsaugojimas, aplinkosauga tampa vis aktualesnės temos šiomis dienomis.

Dėl Lietuvos klimato sąlygų beveik septynis mėnesius per metus tenka šildyti pastatus, todėl mūsų šalyje daug dėmesio skiriama pastatų šilumos nuostoliams mažinti. Energetinių sąnaudų mažinimas svarbus ne tik ekonominiu, bet ir ekologiniu požiūriu, t. y. kuo mažiau kuro bus sunaudojama pastatams šildyti, tuo aplinka bus švaresnė. Dėl poreikio taupyti šilumos energiją labai pakito naujai statomų ir atnaujinamų pastatų išorinių atitvarų konstrukcija. Sienoms, stogams, pamatams ir kitoms konstrukcijoms naudojamos įvairios šiltinamosios medžiagos ir sistemos. Nuo 2000 metų Lietuvoje galioja naujo tipo pastatų šiluminės fizikos normos-reglamentas STR2.05.01:1999 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“ ir higienos normos HN 42:1999, pagal kurias projektuojami ir statomi nauji pastatai. Daugelis pastatų, statytų prieš penkiolika ir daugiau metų, buvo projektuojami neatsižvelgiant į energijos taupymo kriterijų, nes kuras buvo pigus ir nebuvo kreipiama dėmesio į ekologiją. Šiuo metu tokie pastatai atnaujinami juos šiltinant. Įvairios šiltinamosios ir izoliacinės medžiagos namus daro šiltus, sausus ir jaukius, taip pat atnaujinama fasadą ir net pakeičia architektūrą. [2]

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Šilumos perdavimo būdai

Yra trys būdai, kuriais šiluma gali būti perduodama - spinduliavimas, konvekcija ir laidumas. [18, 21, 22, 23] Jeigu izoliuotame kūne esantis temperatūrų skirtumas kaip nors nepalaikomas, tai jis per tam tikrą laiką išnyksta, ir visų kūno dalių temperatūra tampa ta pati. Tokia būseną vadinama šilumine pusiausvyra. Tai įvyksta todėl, kad kūnuose šiluma sklinda iš aukštesnės temperatūros sričių į žemesnės temperatūros vietas. Tik kūnui esant šiluminės pusiausvyros būsenos, prasminga analizuoti jo temperatūrą. Norint išmatuoti kūno temperatūrą termometru, būtina, kad nusistovėtų termometro ir matuojamojo kūno šiluminė pusiausvyra. Todėl šį dydį matuoti reikia ilgiau. [3]

Šilumos atidavimas yra labai sudėtingas fizikinis procesas, nes priklauso nuo hidrodinaminių ir šiluminių procesų. Tačiau jau pirmieji stebėjimai parodė, kad šilumos kiekis, kurį per laiko vienetą gauna ir atiduoda kūno paviršius, veikiamas masės srauto, yra proporcingas kūno paviršiaus ir masės srauto temperatūrų skirtumui, šį dėsnį Niutonas aprašė tokia lygtimi: [3]

$$Q = kSAT; \quad (1)$$

čia  $S$  - paviršiaus plotas,  $m^2$ ;  $\Delta T$  - masės srauto ir paviršiaus temperatūrų skirtumas. Jei masės srauto temperatūra aukštesnė negu paviršiu, tai  $\Delta T = T - T_s$ ; čia  $T$  ir  $T_s$  masės srauto ir paviršiaus vidutinės temperatūros.

Lygtyje esantis proporcingumo koeficientas  $k$  vadinamas šilumos perdavimo koeficientu. Jis apibūdina šilumos kiekį, atiduodama paviršiaus ploto vienetui arba gaunama iš to ploto vienetu per laiko vienetą, kai paviršiaus ir masės srauto temperatūrų skirtumas lygus vienam laipsniui. Jis matuojamas  $W/(m^2 \cdot K)$  [3].

### 1.1.1. Spinduliavimas

Vienas nuo kito nutolę kūnai šilumą vienas kitam perduoda spinduliuodami. Kitaip nei kiti šilumos perdavimo būdai spinduliavimas gali vykti ir vakuume. Bet koks kūnas, kurio temperatūra aukštesnė negu  $0^\circ K$ , skleidžia spinduliuotę. Šie spinduliai yra tokios pat prigimties, kaip ir regimoji šviesa, tik ilgesnio bangos ilgio, t. y. jų sritis yra už raudonųjų spindulių, todėl ir vadinami infraraudonaisiais spinduliais (lot. infra – po). Atsižvelgiant į kūno temperatūrą, keičiasi spinduliuotės intensyvumas ir spektrinė sudėtis, todėl mūsų akys dažnai jo nepriima kaip regimosios spinduliuotės [3].

Įvairūs paviršiai geba nevienodai spinduliuoti ir sugerti šiluminę energiją. Kūnas, kuris visiškai sugeria visų dažnių spinduliuotę, vadinamas absoliučiai juodu. Tokių kūnų gamtoje realiai nėra, ši sąvoka yra tik abstrakcija. Kūnai, kurių sugerties veiksnys mažesnis už vienetą ir

nepriklauso nuo šviesos bangos ilgio, vadinami pilkaisiais. Gamtoje pilkų kūnų taip pat nėra, tačiau, kai kurie kūnai tam tikrame bangos ilgių intervale spinduliuoja ir sugeria bangas kaip pilkieji kūnai, pavyzdžiui, kartais žmogaus kūnas laikomas pilku [3].

Geriausiai spinduliuotę sugeria matinis juodas paviršius, o blogiausiai – poliruotas metalinis paviršius. Taip pat galimas ir atvirkštinis variantas, kai šiluma iš kūno išspinduliuojama, poliruotas metalinis paviršius šilumą išspinduliuoja blogiausiai, o baltas paviršius – geriausiai. Šiuo principu grindžiami įvairūs šildymo įrenginiai. Prieš 20–30 metų energiniai šaltiniai buvo nebrangūs. Įvairūs šildymo įrenginiai dažniausiai buvo dažomi pigiausiais kaitrai atspariais dažais – aliuminio pudra. Energijai brangstant, dauguma šildymo įrenginių buvo perdažyti brangesniais, bet gerai šilumą išspinduliuojančiais dažais [3].

Kai spinduliuotė sugerama uždaroje erdvėje, pavyzdžiui šiltnamyje, kūnai sugeria Saulės spinduliuotę ir pakartotinai išspinduliuoja jau mažesnės energijos spinduliuotę, kuri negali prasiskverbti pro stiklą. Panašų kliuvinį atmosferoje suformuoja anglies dioksidas. Pastaruoju metu šis kliuvinys didėja, todėl oras pamažu šiltėja [3].

Vienas iš galingiausių šiluminio spinduliavimo šaltinių yra Saulė. Saulės radiacijos srautas, tenkantis vienam kvadratiniam metrui žemės atmosferos ribos ploto, yra 1350 W. Šis dydis vadinamas Saulės pastoviaja. Tačiau realiai šis dydis būna mažesnis, nes priklauso nuo Saulės aukščio virš horizonto ir radiacijos silpnėjimo dėl atmosferos, be to, kartu keičiasi ir spektrinė spinduliuotės sudėtis. [1]

### **1.1.2. Konvekcija**

Skysčiuose ir dujose šiluma perduodama konvekcijos būdu. Šildant skysčius ir dujas, jų tankis kinta. Šiltesnis skystis arba dujos yra lengvesni (mažesnio tankio) ir kyla aukštyn, o šaltesni, būdami sunkesni, slenka žemyn. Skysčiuose ir dujose susidaro konvekcinių srovių, kurios nešdamos šiltesnio (mažesnio tankio) skysčio arba dujų mases, perneša ir jų turimą šilumos kiekį.

Dėl šios priežasties vanduo ežero dugne yra šaltesnis nei paviršiuje. Milžinišką šilumos kiekį konvekcijos būdu gamtoje perneša vėjas ir jūrų srovės, todėl šis procesas lemia ir orus Žemėje: išilę prie Žemės paviršiaus oro sluoksniai kyla į viršų, maišosi su šaltesnėmis oro masėmis - taip susidaro ciklonai ir anticiklonai. Su šiuo šilumos perdavimo būdu susiduriama ir buityje. Dėl konvekcijos greičiau išsilygina temperatūra patalpose, greičiau sušyla vanduo virduolyje ir pan.

Yra dviejų tipų konvekcija: *laisvoji ir priverstinė* [3].

Esant laisvajai konvekcijai, šilumos perneša priklauso nuo oro cirkuliacijos aplink įkaitintą ar atšaldytą objektą ir virš jo. Ją lemia oro tankio skirtumas, atsirandantis dėl temperatūrų, vandens garų koncentracijos gradiento arba dėl abiejų efektų derinio.

Priverstinė konvekcija vyksta tada, kai pernaša per ribinį sluoksnį vyksta, pučiant oro srovei, ir nuo srovės greičio priklauso šilumos pernašos greitis [3].

Daugumoje gamtinių sistemų konvekcija yra labai sudėtingas procesas dėl nuolat kintančio vėjo greičio ir krypties, kartais dar ir dėl šilumą prarandančio paviršiaus judėjimo. Esant stipriems oro gūsiams, šilumos nuostoliai iš kūno iš esmės vyks dėl priverstinės konvekcijos, bet, vėjui laikinai apimus, svarbiausia bus laisvoji konvekcija. Todėl konvekcijos režimas gali būti apibūdintas kaip mišrusis ta prasme, kad abu konvekcijos būdai perneša šilumą, tačiau jų santykinis indėlis kinta laike. Kadangi, tai labai sunku nagrinėti teoriškai ir eksperimento tvarka, šilumos pernaša aplinkoje apskaičiuojama iš vidutinio vėjo greičio, kai laikoma, kad vyrauja priverstinė konvekcija, arba iš temperatūros skirtumo, jei vėjas labai silpnas ir oro judėjimas nedidelis [3].

Nagrinėjant šilumos pernašą technikoje, paprastai laikoma, kad kūno temperatūra yra vienoda visame kūno paviršiuje. Tačiau realiai tai padaryti galima tik didelio šilumos laidumo metaliniams paviršiams. Gamtoje objektai yra mažai laidūs šilumai, todėl šiuo atveju laikoma, kad bet kuris vienetinis kūno paviršius išspinduliuoja vienodą šilumos kiekį. Toks pavyzdys galėtų būti pastato stogas, esantis saulės apšviestoje vietoje. Esant vienodiems šilumos nuostoliams bet kuriame pastato stogo ploto vienetu, jo temperatūra stogo paviršiuje jau tampa nevienoda [3].

Laisvoji konvekcija taip pat svarbi ypač tada, kai paviršiaus temperatūra ir aplinkos temperatūra labai skiriasi.

### **1.1.3. Šiluminis laidumas**

Šiluma gali sklirti iš vieno kūno į kitą arba iš vienos kūno dalies į kita. tiesiogiai jiems liečiantis. Toks šilumos perdavimo būdas vadinamas šilumos laidumu, [vairių kietųjų kūnų šilumos laidumas nevienodas. Vieni iš jų, pavyzdžiui metalai ir įvairūs kristalai, yra geri šilumos laidininkai, o kiti, pavyzdžiui oras, medis, putplasčiai - blogi šilumos laidininkai (jie vadinami šilumos izoliatoriais). Vadinasi, šilumos laidumas priklauso nuo medžiagos sandaros [3].

Kristalų gardelėse atomai yra glaudžiai susieti tarpusavyje, ir šiluma čia pasireiškia kaip gardelės mazgų virpėjimas apie pusiausvyros padėtį: kuo didesnė kristalo temperatūra, tuo didesnė gardelės mazgų virpesių amplitudė, t. y. jų kinetinė energija. Kiekvieno kristalo gardelės sandara yra savita, būdinga tik šiam kristalui (atomų tarpusavio išsidėstymas, atstumas tarp gardelės mazgų, jų tarpusavio padėtis, gardelės mazgų ryšio energija). Bet koks vieno gardelės mazgo virpėjimas pusiausvyros padėties atžvilgiu priverčia virpėti ir kitus kristalinės gardelės mazgus - vieno iš atomų virpėjimo kinetinė energija (taigi ir šiluma) perduodama kitiems kristalinės gardelės mazgams. Metalų šilumos laidumo priežastis kita. Metaluose yra daug laisvųjų krūvininkų- elektronų. Kuo didesnė kūno temperatūra, tuo didesnė laisvųjų elektronų kinetinė energija. Susidurdami jie savo kinetinę energiją perduoda metalo atomams ir kitiems elektronams [3].

Medžiagų šilumos laidumas yra nevienodas. Kadangi dujos blogas šilumos laidininkas, visos medžiagos, turinčios didesnį oro kiekį (putplasčiai, šiaudai), vadinamos termoizoliacinėmis. Kai daugumą medžiagos užima oras, medžiagos sandaros įtaka šilumos laidumui yra minimali [3].

## 1.2. Patalpų šilumos poreikiai

Esant vėsiam orui reikiamą temperatūrą į patalpas reikia tiekti dėl dviejų priežasčių:

- kai temperatūra lauke šaltesnė nei patalpoje, šiluma per sienas, langus, grindis, duris, stogus perduodama į lauką;
- per natūralaus ar dirbtinio vėdinimo ortakius, taip pat per plyšius, angas šiltas oras iš patalpos skverbiasi lauk, o į patalpą tokiu pat būdu patenka šaltas oras, kuris turi būti sušildomas iki reikiamos temperatūros [4].

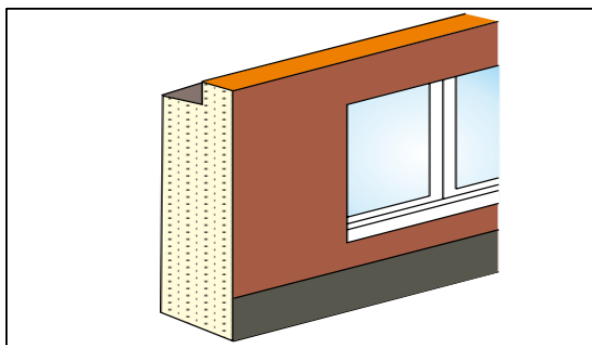
Šie šilumos poreikiai yra neišvengiami ir proporcingi minėtų temperatūrų skirtumui. Praktikoje jie vadinami šilumos nuostoliais. Vėjuotose ar aukštosiose, atvirose vietovėse pastato šilumos poreikiams įtakos turi ne tik temperatūra, bet ir vėjo greitis. Reikia pasakyti, kad ligšiolinės statybos pastatuose didesnę įtaką jis turi vėdinimo šilumos poreikiams, nei per atitvaras perduodamai šilumai. Tai susiję su bendru pastato nesandarumu – langų, durų, įvairių pastato elementų sandūrų. Vėjuotu metu šiuose pastatuose turime perteklinį, nekontroliuojamą vėdinimą ir papildomą šilumos poreikį tinkamai patalpų temperatūrai palaikyti. Šių nuostolių išvengti negalima, bet juos sumažinti – taip [4].

## 1.3. Atitvarų šilumos perdavimo rodiklis

Pastato sienos, stogas, langai, durys, grindys, lubos bendru vardu vadinamos atitvaromis. Jų kiekviena turi turėti tam tikras savybes, tarp jų ir šilumines. Būtent nuo atitvarų šiluminio rodiklio, vadinamo atitvaros šilumos perdavimo koeficientu ir žymimo raide  $U$ , priklauso pastatui ar atskirai patalpai reikalingas šilumos kiekis.  $U$  vertė paprastai matuojama  $W/(m^2 \cdot K)$  (vieno Kelvino (1K) ) laipsnių temperatūrų skirtumas yra toks pats kaip vieno Celsijaus ( $1^\circ C$ ) laipsnių temperatūrų skirtumas). Didesnė  $U$  reikšmė rodo didesnį vatais (W) matuojamą šilumos nuostolių srautą per atitvaros ploto vienetą. Praktikoje aptinkama atitvarų šiluminė varža  $R$ , kuri yra tik atvirkščias šilumos perdavimo koeficientui dydis. Jos matavimo vienetai  $(m^2 \cdot K)/W$ . Tad kuo didesnė atitvaros varža, tuo mažiau perduodama šilumos esant tam pačiam jos plotui ir temperatūrų skirtumui tarp patalpos vidaus ir išorės. Tiek  $U$ , tiek  $R$  reikšmė priklauso nuo atitvarų sudarančių medžiagų šiluminio laidumo ir tų medžiagų sluoksnio storio [4].

Tos pačios medžiagos storesnė atitvara turi mažesnę  $U$  reikšmę. Esamų pastatų šiluminės savybės daugeliu atvejų yra tokios, kokios buvo nustatytos privalomuose reikalavimuose jų statymo

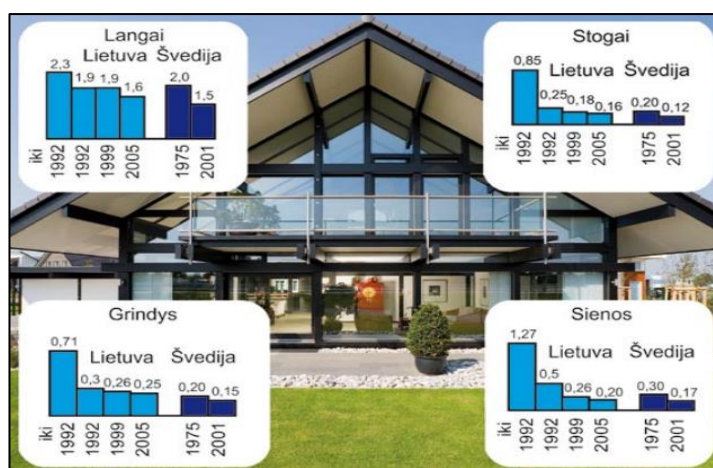
metu. Nuo 1959 m. iki 1992 m. statytų gyvenamųjų namų išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientai  $U$  buvo 0,9–1,3 W/(m<sup>2</sup>·K) [4].



**1.1. pav.** 1959–1992 m. statybos stambiaplokščio namo vienasluksnė 300 mm storio keramzitbetonio PLOKŠTĖ [4]

Štai 1.1. paveiksle parodytas tuo laikotarpiu stambiaplokščių namų statybose naudota vienasluksnė 300 mm storio keramzitbetonio plokštė su 25 mm išorės apdailos sluoksniu ir tinku iš vidaus turėjo šilumos perdavimo koeficientą  $U$  1,3 W/(m<sup>2</sup>·K).

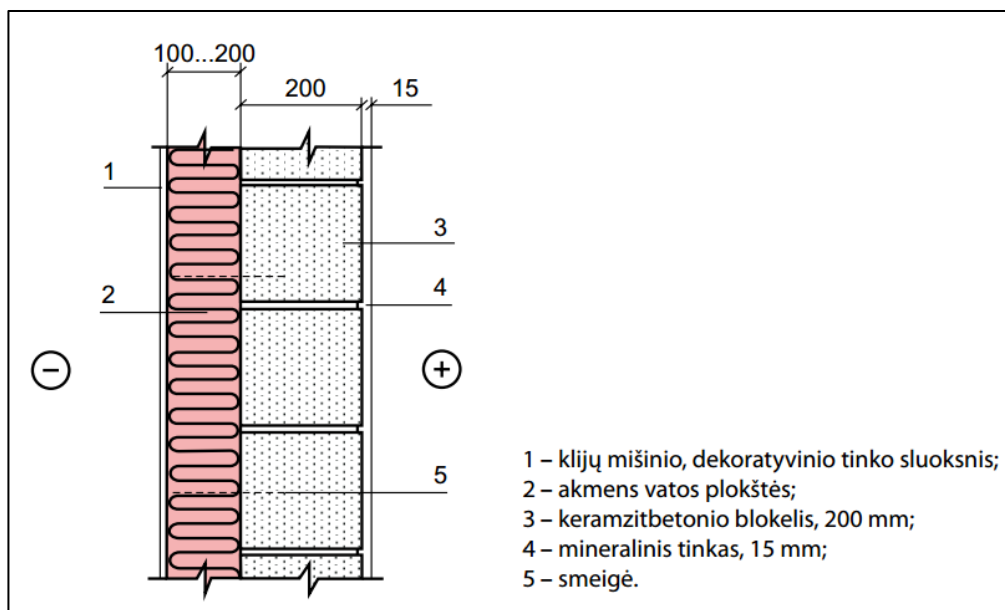
Savaime suprantama, kad tokių šiluminių savybių išorinės pastatų sienos galėjo būti naudojamos tik esant labai mažai kuro kainai arba kai ta kaina neatitiko laisvos rinkos kainų bei požiūrio į gamtos išteklių tausojimą. Jau pirmaisiais Lietuvos nepriklausomybės metais buvo imtasi peržiūrėti reikalavimus šiluminėms pastatų atitvaroms. Naujai statomi pastatai tuojau pat turėjo ženkliai pagerinti savo bendrąsias šilumines savybes. Vakarų šalys tokių permainų ėmėsi jau aštuntojo dešimtmečio pradžioje. 1.2 paveiksle galime palyginti Lietuvos ir Švedijos  $U$  reikšmių atitvaroms kitimą privalomuose reikalavimuose [4].



**1.2. pav.** Gyvenamųjų pastatų atitvarų privalomų šilumos perdavimo koeficientų kitimo raida Lietuvoje ir Švedijoje [4]

Matyti, kad gana greitai Lietuvos privalomieji reikalavimai naujai statomų pastatų atitvarų šiluminiams rodikliams taps panašūs į racionaliai gyvenančių kaimynų. Suprantama, tai tiesioginės įtakos turėjo tik naujoms statyboms. Atnaujinamiems prieš kelis dešimtmečius statytiems pastatams šie reikalavimai iš pradžių nebuvo griežtai privalomi, bet rodomi kaip sektinas pavyzdys. Dabar kompleksiskai atnaujinamiems pastatams šie reikalavimai jau galioja.

Esminis skirtumas tarp senosios statybos atitvaros, parodytos 1.1 paveiksle, ir šiuolaikinių sprendinių matomas 1.3 paveiksle. Čia parodyta 200 mm keramzitbetonio blokelių mūro siena, apšiltinta mineralinės vatos plokštėmis ir nutinkuota dekoratyviniu tinku [4].



**1.3. pav.** Šiuolaikinė išorinė keramzitbetonio blokelių mūro siena, apšiltinta mineralinės vatos plokštėmis

1 lentelėje matoma izoliacinio sluoksnio storio įtaka jos šilumos perdavimo koeficientui. Pavyzdys parodo, kad pasiekama beveik dešimt kartų mažesnė reikšmė, nei buvo praktikuojama prieš du dešimtmečius [4].

**1 lentelė**

Šilumos perdavimo koeficientas išorės sienas apšiltinus įvairaus storio šiltinimo medžiaga [4]

Izoliacinės plokštės storis (mm)	Šilumos perdavimo koeficientas $U$ $W/m^2K$		
	100	150	200
Klijų mišinio, dekoratyvinio tinko sluoksnis	0,24	0,18	0,14
Akmens vatos plokštės			
Keramzitbetonio blokelis, 300 mm			
Mineralinis tinkas, 15 mm			



#### 1.4. Užsienio šalių pastatų modernizacijos patirtis

Šiuo metu yra pakankamai įvairių alternatyvų pastatų modernizacijai. Lietuvoje dažniausiai šiltinant pastatus taikoma plonasluoksnio tinko sistema, o tam tikrais atvejais trisluoksnė vėdinamoji sistema, kai apdailos sluoksnis įrengiamas iš plytų mūro ar lakštinės apdailos. Vis dėlto, užsienio šalys yra sukaupusios didesnę pastatų renovacijos patirtį, o kai kurie jų renovacijos projektai yra išskirtiniai [5].

Suomijoje buvo įgyvendintas unikalus modernizacijos projektas, kuriame senas daugiabutis namas, po renovacijos tapo pasyviu, energiškai efektyviu gyvenamuoju namu. Projektui buvo pasirinktas tipinis keturių aukštų, 40 m. senumo daugiabutis Rihimaki miestelyje. Lyginant su Lietuvos stambiaplokščiai pastatais, Suomijoje tokiuose pastatuose jau buvo įrengta šilumos izoliacija, o langai buvo montuojami kuo arčiau šio sluoksnio siekiant sumažinti šilumos tiltelius.

Šio pastato sienų modernizacijai buvo naudojami specialūs skydai 1.4 paveikslėlyje. Tai – vertikalūs skydai per visą pastato aukštį su šilumos izoliaciniu sluoksniu iš Paroc akmens vatos, kurie buvo gaminami gamykloje pagal specialų užsakymą bei kuriuose buvo įrengti ortakiai per visą pastato aukštį kiekvienam butui atskirai. Taip buvo užtikrintas patikimas pastato patalpų vėdinimas [5].



1.4. pav. Fasadiniai skydai

Iš viso buvo pagaminti 69 tokie skydai, kurių kiekvieno ilgis buvo 12 m. Kiekvienas jų buvo unikalių matmenų. Skydų gamybai buvo naudojama daugiasluoksnė klijuota mediena. Tarp skydų karkaso tašų buvo įrengiama minkšta akmens vata. Ant vidinės skydų pusės buvo užkaltos medžio drožlių plokštės, o ant išorinės – cementinio plaušo plokštės, nes jos yra laidžios vandens garams. Skyduose buvo įrengta vėdinimo ortakių sistema bei įstatyti langai, kurių vieta sutapo su senų langų vietomis. Skydai iš išorės papildomai buvo apklijuoti vertikaliai orientuoto plaušo

akmens vatos plokštėmis ir įrengtas armavimo sluoksnis. Šie skydai buvo montuojami, tik nudaužius fasado apdailą, bei nuėmus seną termoizoliacinį sluoksnį (1.5 pav.) [5].



**1.5. pav.** Modernizacijos eigos vaizdas

Toks renovacijos būdas lemia spartesnę jos tempą. Taip pat dėl gamyklose iš anksto pagamintų skydų užtikrinama darbų kokybė, lengviau kontroliuojami vykstantys procesai, nes statybvietyje sumažėja technologinių operacijų. Tačiau turi būti skiriamas didelis dėmesys projektavimo stadijai. Net ir menkiausia klaida tokiaame projekte gali turėti didelės įtakos [6].

Vis dėlto Lietuvos statybos rinkoje inovacijoms skiriamas mažas dėmesys ir dažniausiai taikomi eilę metų naudojami, jau patikrinti sprendiniai.

## **2. TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ KLASIFIKAVIMAS**

Termoizoliacinių medžiagų klasifikacija yra labai įvairi, ir iki šiol nėra vienodo Europos standarto, kuris visa tai reglamentuotų. Lietuvoje šiuo metu galioja LST 1632 standartas, perimtas iš CR 245 (CEN ataskaitos). Pagal šio standarto reikalavimus sudaryta klasifikacija pateikta 2 lentelėje. Šis norminis dokumentas išskiria tris kriterijus: medžiagų formą t. y. kur ir kaip gaminys suformuotas, struktūrą ir cheminę sudėtį. Tačiau palyginti įvairioms termoizoliacinėms medžiagoms tokios klasifikacijos dažnai nepakanka, todėl medžiagos dažnai skirstomos ir pagal kitus joms būdingus kriterijus: tankį, šilumos laidumo koeficientą, standumą. Pagal tankį dažniausiai klasifikuojami įvairūs termoizoliaciniai blokėliai [1].

Paprastai medžiagos skirstomos į termoizoliacines (tankis  $<400 \text{ kg/m}^3$ ), termoizoliacines konstrukcines (tankis  $400\text{--}700 \text{ kg/m}^3$ ), ir konstrukcines (tankis  $>700 \text{ kg/m}^3$ ). Pagal šilumos laidumo koeficientą reikėtų išskirti efektyvias termoizoliacines medžiagas, kai šilumos laidumo koeficientas išmatuotas, esant vidutinei  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūrai, yra  $>0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Šią medžiagų grupę sudaro įvairūs putplasčiai, mineralinės vatos gaminiai, celiuliozinė vata, Lietuvoje žinoma kaip ekovata,

pustos kamštienos plokštės. Į kitą termoizoliacinių medžiagų, kurių šilumos laidumo koeficientas 0,05–0,20 W/(m·K), grupę patenka įvairūs medienos ir jos atliekų gaminiai, lengvieji aktytieji betonai, keramzitas ir jo gaminiai.

Trečiajai grupei priskiriami gaminiai, kurių šilumos laidumo koeficientas >0,20 W/(m·K). Ją sudaro konstrukciniai aktytieji betonai, keraminiai blokeliai, įvairūs tuštymėtieji gaminiai. Pagal medžiagos standumą skiriami: kietieji gaminiai, pusiau kieti ir minkštieji. Medžiagų kietumas priklauso nuo tankio. Medžiagų šiluminėms savybėms įvertinti svarbus jų suskirstymas pagal poringumą. Paprastai skiriamos atviraporės ir uždaporės medžiagos, o pastarosios dar skirstomos į smulkiapores ir stambiapores [1].

## 2 lentelė

Termoizoliacinių medžiagų klasifikavimas [1]

Žymėjimas	Forma	Žymėjimas	Struktūra	Žymėjimas	Cheminė sudėtis	Pavyzdžiai
A	Pagamintos gamykloje medžiagos, pvz.: blokai, plokštės lakštai, dembliai ir kt.	1	Akytosios medžiagos	1	organinės	Aktytieji plastikai ir kt.
				2	neorganinės	Putstiklis, autoklavinis aktytasis betonas ir kt.
				J	mišriosios	Aktytieji plastikai su putstiklio granulėmis
		2	Plaušinės medžiagos	1	organinės	Medžio plaušo gaminiai ir kt.
				2	neorganinės	Mineralinio plaušo gaminiai ir kt.
				J	mišriosios	Šiuo metu nežinomos
		J	Įvairios struktūros mišriosios medžiagos	1	organinės	Šiuo metu nežinomos
				2	neorganinės	Betonas su lengvaisiais užpildais ir kt.
				J	mišriosios	Betonas su polistireninio putplasčio granulėmis ir kt.

2 lentelės tęsinys kitame puslapyje

		4	Daugiasluoksnės medžiagos	1	organinės	Akytieji plastikai su organine danga ir kt.
				2	neorganinės	Mineralinė vata su tinku ir kt.
				J	mišriosios	Akytieji plastikai su betono danga ir kt.
		5	Naujų technologijų medžiagos	1	organinės	Celiuliozės plaušo koriai ir kt.
				2	neorganinės	Metalinės šilumą atspindinčios plėvelės ir kt.
				J	mišriosios	Daugiasluoksnės vakuumuotos panelės
B	Suformuojamos vietoje įpurškiant, liejant ar purškiant	1	Akytosios medžiagos, naudojamos skystos arba pastos pavidalo	1	organinės	Akytieji plastikai ir kt.
				2	neorganinės	Akytasis betonas ir kt.
				3	mišriosios	Šiuo metu nežinomos
		2	Plaušinės medžiagos, naudojamos skystos arba pastos pavidalo	1	organinės	Šiuo metu nežinomos
				2	neorganinės	Mineralinio plaušo užpildas ir kt.
				3	mišriosios	Šiuo metu nežinomos
		3	Įvairios struktūros mišriosios medžiagos	1	organinės	Šiuo metu nežinomos
				2	neorganinės	Šiuo metu nežinomos
				3	mišriosios	Betono su lengvaisiais užpildais mišinys ir kt.
		4	Naujų technologijų medžiagos, naudojamos skystos arba pastos pavidalo	1	organinės	Betono su polistireninio putplasčio granulėmis mišinys ir kt. *
				2	neorganinės	Betono su polistireninio putplasčio granulėmis mišinys ir kt.
				3	mišriosios	Šiuo metu nežinomos

	5	Biriosios medžiagos (visų struktūrų)	1	organinės	Šiuo metu nežinomos
			2	neorganinės	Šiuo metu nežinomos
			3	mišriosios	Celiuliozės vata ir kt.

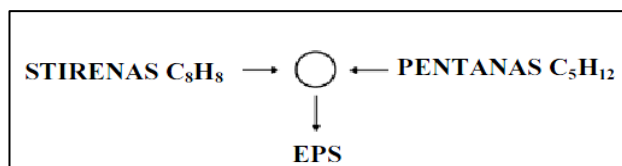
### 3. TERMOIZOLIACINĖS MEDŽIAGOS

#### 3.1. Polistireninis putplastis ( EPS )

Polistireninis putplastis – uždaporės aktyvo plastiko termoizoliacinė medžiaga, gaunama išputinant polistireninio putplasčio žaliavines granules, iš kitų medžiagų išsiskirianti kainos, gamybos ir efektyvumo santykiu. Palyginti su kitomis termoizoliacinėmis medžiagomis, jo gamyba labai paprasta, nedidelės gamybos sąnaudos ir puikios savybės. Polistireninis putplastis dažniausiai naudojamas kaip efektyvi šilumą izoliuojančioji medžiaga, o Lietuvoje plačiausiai naudojamas šios medžiagos produktas – polistireninio putplasčio plokštės. Šiuo metu Lietuvoje gaminamos įvairios paskirties plokštės, blokeliai, o kai kuriose pasaulio šalyse – ir blokai [1].

##### 3.1.1. Žaliavos

Polistireninis putplastis gaminamas iš plėriojo polistireno (EPS). Bazinė plėriojo polistireno medžiaga yra stirenas. Polimerizacijos metu stireno molekulės jungiasi viena su kita. Polimerizacijoje dalyvaujant pentanui, gaunama plėriojo polistireno medžiaga (3.1. pav.). Polistireniniam putplasčiui gaminti gali būti naudojami degumą slopinantys priedai. Degumui slopinti Europos gamintojai dažniausiai naudoja heksabromciklododekaną (HBCD). Lietuvoje draudžiama naudoti polistireninį putplastį be degumą slopinančių priedų [1].



3.1. pav. Polimerizacijos procesas

##### 3.1.2. Gamyba

Polistireninio putplasčio gamybos ciklą sudaro trys fazės: pradinis išpūtimas, tarpinis išlaikymas ir galutinis išpūtimas. Principinė polistireninio putplasčio gamybos schema pateikta 3.2. paveiksle.

### *Pradinis išpūtimas*

EPS granulės beriamos į išpūstuvą, kur jos karštu garu pučiamos aukštesnėje nei 90 °C temperatūroje. Veikiamos karšto garo, granulių sienelės suminkštėja, jose esantis pentanas užverda, ir dėl jo garų, taip pat ir iš dalies įsiskverbiančių vandens garų granulės 20-50 kartų išsiplėčia ir virsta tuščiavidurėmis uždromis dalelėmis [1].

### *Tarpinis išlaikymas*

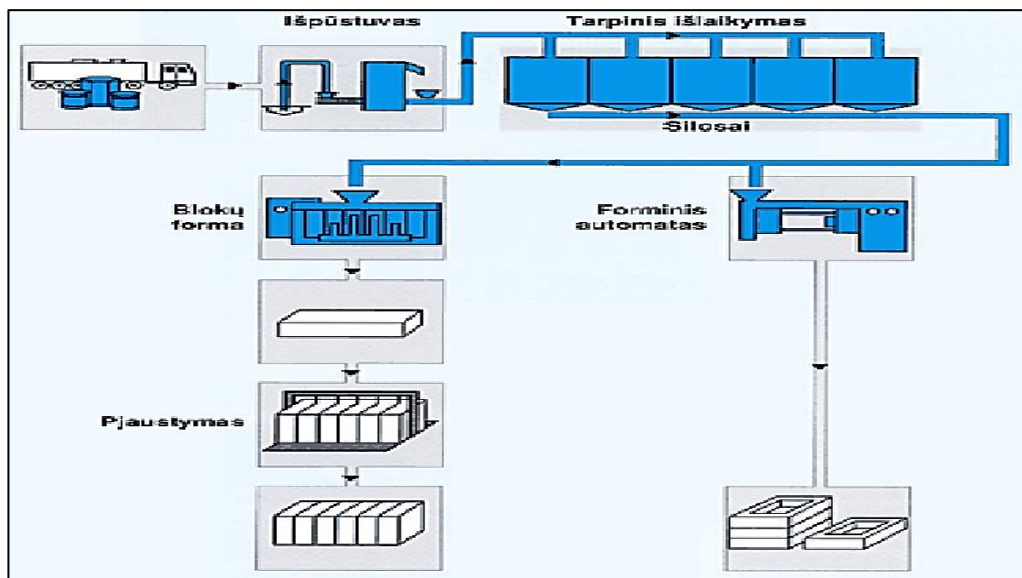
Pirmąkart išpūstos granulės transportuojamos tarpiniam išlaikymui į specialiai tam skirtas talpyklas silosus. Tarpinio išlaikymo metu iš granulių pasišalina dalis plėtiklio (pentano), kurį pakeičia oras. Tai daro granules mechaniškai stabilesnes. Iš granulių taip pat sklaidosi drėgmė, todėl jas lengviau transportuoti.

### *Galutinis išpūtimas*

Išlaikytos išpūstosios granulės beriamos į blokų formą. Čia veikiamos karšto garo, dar labiau išsiplėčia ir susilydo į didelio tūrio vienalytį polistireninio putplasčio bloką.

### *Išlaikymas*

Ką tik pagamintas polistireninis putplastis kurį laiką tebeišskiria pentano (plėtiklio) ir stireno likučius. Be to, per pirmąsias 24 valandas putplastis dar šiek tiek traukiasi: pokyčiai gali siekti iki 0,3-0,5 %. Vartotojus pasiekiantiems polistireninio putplasčio gaminiams beveik nebūdingas nei kokių nors medžiagų išsiskyrimas, nei matmenų kitimas [1].



**3.2. pav.** Principinė polistireninio putplasčio gamybos schema

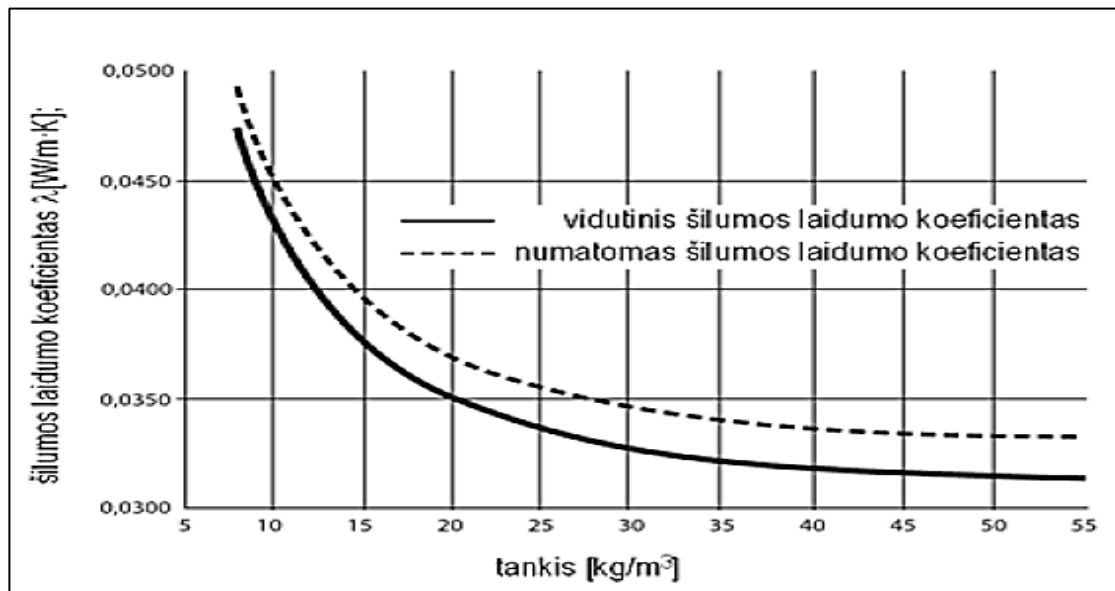
### **3.1.3. Savybės**

#### *Šilumos laidumas*

Polistireninį putplastį 99–97 % sudaro oras ir 1–3 % polistirenas. Oras uždarytas 0,2–0,5 mm skersmens akutėse, kurių sienelių storis siekia 0,001 mm. Oras yra blogas šilumos laidininkas, todėl jis užtikrina puikias polistireninio putplasčio termoizoliacines savybes. Kadangi oras iš akučių

nesisklaido, termoizoliacinis poveikis išlieka pastovus. Fizikine prasme tai reiškia, kad smulkiuose akutėse nevyksta masės pernaša, tai yra oras nejuda, ir šiluma neperduodama [1].

Medžiagos termoizoliacinės savybės nusako šilumos laidumo koeficientas. Kuo šilumos laidumas mažesnis, tuo geresnė termoizoliacinė medžiaga. Polistireninio putplasčio gaminiams paprastai būdingas 0,030–0,045 W/(m·K) deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas. Šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo polistireninio putplasčio tankio pateikta 3.3. paveiksle [1].



**3.3. pav.** Šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo polistireninio putplasčio tankio (LST EN 13163) [1]

#### *Stipris*

Svarbi polistireninio putplasčio savybė yra mechaninis stipris, veikiant apkrovai svarbiausias yra polistireninio putplasčio gniuždomasis įtempis, nes naudojant polistireninį putplastį, dažniau tenka susidurti su gniuždomąja apkrova, pavyzdžiui, grindyse, plokščiuose stoguose, pamatuose ir t. t. Gaminių kontrolės tikslais pasirinktas sutartinis rodiklis – gniuždomasis įtempis, esant 10 % deformacijai, nors praktiškai polistireninio putplasčio deformacija apkrovos sąlygomis būna daug mažesnė. Gniuždomasis įtempis dažniausiai priklauso nuo tankio, bet kartais įtakos gali turėti ir technologiniai veiksniai, bandymo temperatūra ir kt. [1].

Didelis polistireninio putplasčio privalumas – statmenas paviršiui tempiamasis stipris. Natūriniai fasadų tyrimai Vokietijoje parodė, kad kintant oro drėgmei ir temperatūrai, ši polistireninio putplasčio savybė nekinta [1].

#### *Degumas*

Polistireninis putplastis yra degus. Veikiamas didesnės negu 100 °C temperatūros, polistireninis putplastis ima minkštėti, trauktis ir pagaliau lydytis. Bandymai rodo, kad polistireninio putplasčio su degumą slopinančiais priedais degumo temperatūra yra 374 °C. Žemiau

šios temperatūros degiųjų dujų iš besilydančio polistireninio putplasčio nesusidaro. Terminio irimo produktai užsidega, tik tiesiogiai susilietę su paviršiais ar erdvėmis, kurių temperatūra 450–500 °C. Polistireninis putplastis savaime neužsidega, esant žemesnei negu 450 °C temperatūrai [1].

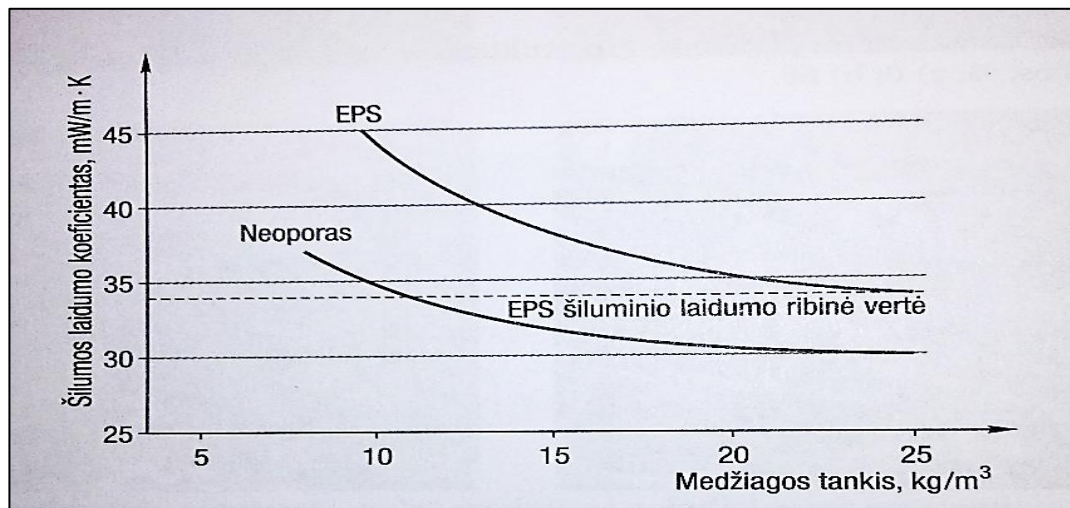
### 3.1.4. Neoporas

Neoporas yra naujos kartos polistireninis putplastis, skirtas pilkšvos spalvos izoliacinėms polistireninio putplasčio medžiagoms gaminti. Ši medžiaga buvo sukurta „BASF“ tyrimų laboratorijoje [17].

„BASF“ pagamintos plėtiklio prisotintos juodos spalvos granulės perdirbamos į pilkšvos spalvos polistireninio putplasčio medžiagą, kuriai pirmiausia žemesniųjų tankių zonoje būdingos iš esmės geresnės termoizoliacinės savybės negu iki šiol taikytų EPS izoliacinių medžiagų. Tai reiškia, kad tas pats izoliacinis efektas pasiekiamas sunaudojant aiškiai mažiau žaliavos ar esant mažesniai izoliacinės medžiagos storiui [17].

Putų medžiagos iš neoporo gaminamos įprastiniais EPS perdirbimo įrengimais. Atsižvelgdami į poreikį ir taikymo pobūdį, perdirbėjai iš neoporo gamina blokus, plokštes arba formines dalis. Privalumai, sąlygojami žemesnio tankio ir puikių medžiagos izoliacinių savybių, atveria naujas taikymo sritis bei ekonomiškės izoliacijos galimybę.

Lietuvoje tokiu putplasčiu daugiausia šiltinami fasadai ir grindys. Paprasto EPS ir neoporo šiluminio laidumo priklausomybė nuo žaliavos tankio pateikta 3.4 paveiksle [17].



3.4. pav. EPS ir „Neoporo“ šiluminio laidumo priklausomybė nuo žaliavos tankio [1]

Polistireninis putplastis iš neoporo pasiekia 0,030 šilumos laidumo koeficientą, jau esant 12 kg/m<sup>3</sup> tankiui. Tradicinio polistireninio putplasčio tam tikslui reikėtų dvigubai daugiau žaliavos. EPS 70 iš neoporo  $\lambda$  yra 0,032 W/(m·K), o EPS 70 iš klasikinio baltojo polistireninio putplasčio  $\lambda$  yra 0,039 W/(m·K). Ekonominio našumo analizė rodo, kad polistireninis putplastis iš neoporo



ekologiškesnis už tradicinį polistireninį putplastį. Polistireninio putplasčio iš neoporo savybės, išskyrus šilumos laidumą, panašios į tradiciniam polistireniniam putplasčiui būdingas savybes [1].

### 3.2. Ekstruzinis polistireninis putplastis

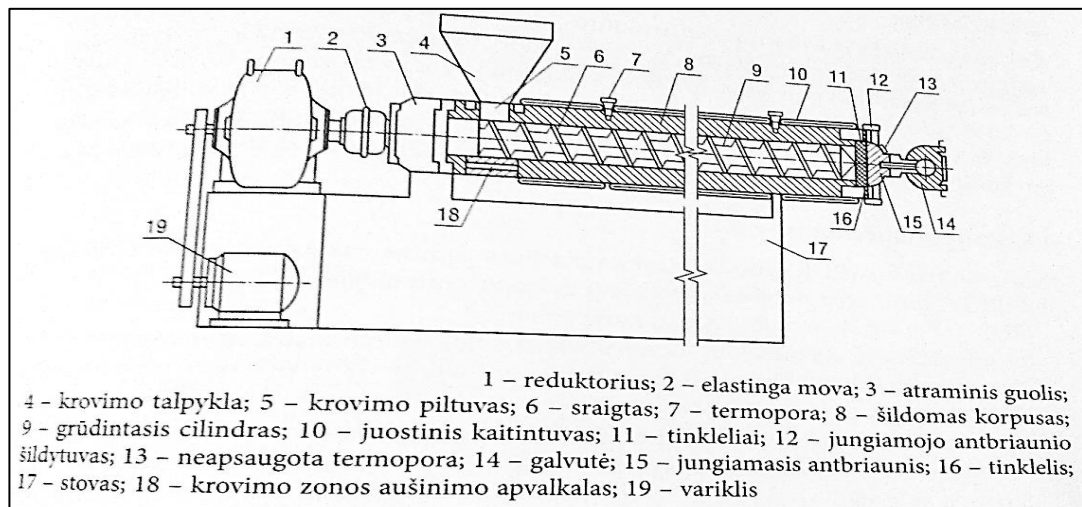
Ekstruzinis polistireninis putplastis – chemiškai ta pati medžiaga, kaip ir polistireninis putplastis, tik pagamintas kitokia technologija. Ekstruzinis putplastis gaunamas, aukštoje temperatūroje maišant polistireno granules su putodariu, ir su slėgiu išstumiamas iš ekstruderio.

#### 3.2.1. Naudojimas

Ekstruzinis polistireninis putplastis dažnai naudojamas, statant civilinius ir pramoninius objektus, žemės ūkyje, šaldymo įrangos pramonėje, tiesiant geležinkelius, automagistrales, rengiant oro uostus, izoliuojant vamzdžius [1].

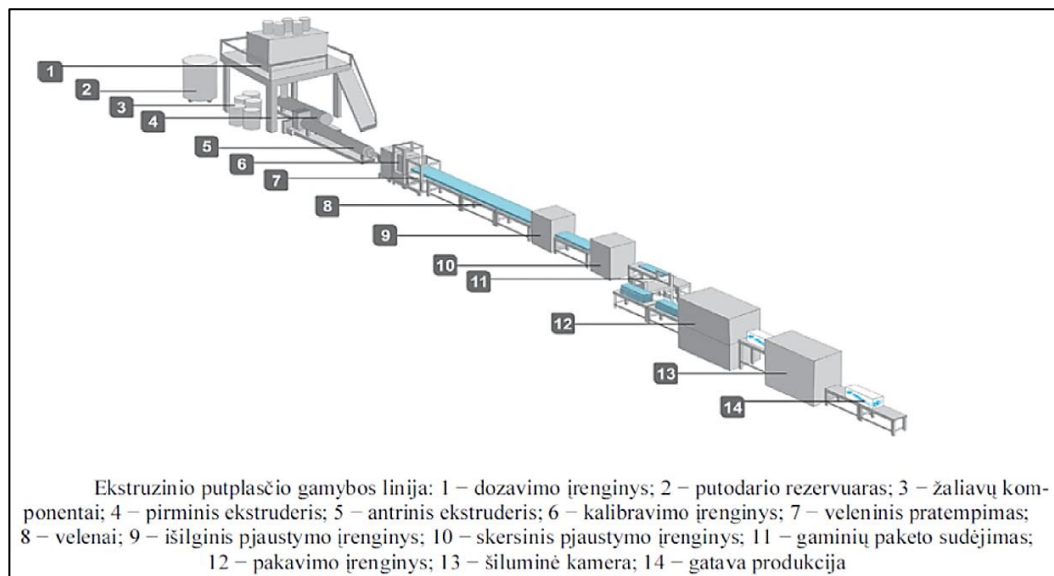
#### 3.2.2. Gamyba

Ekstruzinio polistireninio putplasčio gamybos procese bendros paskirties polistireninio putplasčio granulės maišomos su įvairiais priedais (su antipirenais, dažais), ir žaliavos lydamos, gerai išmaišant ekstruderyje 3.5. paveiksle [1].



3.5. pav. Principinė ekstruderio schema [1]

Į paruošta masę dideliu slėgiu įterpiamas putodaris. Gaunamas skystas vientisas lydalas. Jis išspaudžiamas per galvutę, tai yra vyksta ekstruzijos procesas. Gautas pusgaminis atvėsinamas ir supjaustomas į tam tikro dydžio plokštes. Ekstruzijos procesas leidžia gauti smulkiu vienodai pasiskirsčiusiu uždaraporių akučių struktūrą. Taip gaunami gaminiai pasižymi geromis fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis. Principinė Ekstruzinio putplasčio gamybos schema pateikta 3.6. paveiksle [1].



**3.6. pav.** Principinė ekstruzinio putplasčio gamybos schema [1]

### 3.2.3. *Savybės*

Dėl labai smulkių ir uždarytų porų struktūros ekstruzinis polistirenas turi mažą šilumos laidumo koeficientą, labai mažą įmirkį ir didelį stiprį. Gaminamas 25–45 kg/m<sup>3</sup> tankio ekstruzinis polistireninis putplastis. Jo šilumos laidumo koeficientas yra nuo 0,030 W/(m·K) iki 0,045 W/(m·K). Kadangi visų tankių putplasčio įmirkis vandenyje ne didesnis kaip 1 tūrio %, tai ir šilumos laidumo koeficiento padidėjimas dėl papildomo medžiagos įdrėkimo konstrukcijoje eksploatuojant labai mažas, arba šis koeficientas apskritai nesikeičia [1].

## 3.3. Mineralinė vata

### 3.3.1. *Klasifikavimas*

Neorganiniu mineraliniu pluoštu reikėtų vadinti kiekvieną stikliškos būsenos dirbtinį plaušą. Šio plaušo gamyba pagrįsta silikatinio lydalo geba išsitempti plonais plaušeliais. Jie būna cilindrinės formos, lygaus paviršiaus, stiprus ir nedegus. Plaušinės izoliacinės medžiagos turi savitą struktūrą, nes jų karkasą sudaro mineraliniu ar organiniu rišikliu sutvirtinti ir supinti įvairių ilgių ir orientacijos plaušeliai. Toks pluoštas vadinamas vata (3.7. paveiksle).



### 3.7. pav. Stikliškasis mineralinis pluoštas [1]

Neorganiniai stikliškieji plaušai savo chemine sudėtimi tapatus stiklui, todėl dažniausiai priskiriami stiklo pramonės šakai. Kadangi visų neorganinių plaušinių gaminių principinė gamybos technologija, struktūra ir panaudojimo sritis panaši, priimtas ir bendrinis termoizoliacijai naudojamų šių medžiagų pavadinimas „mineralinė vata“ – izoliacinė velta pluošto medžiaga, pagaminta iš lydytos uolienos, šlako arba stiklo. Tačiau bendrinio pavadinimo „mineralinė vata“ vartojimas nėra labai teisingas ir klaidina vartotoją, nes gaminiai skiriasi savo techninėmis ir eksploatacine savybėmis [1].

Neorganiniai gaminiai iš plaušo skirstomi pagal įvairius požymius, tačiau dažniausiai – pagal jiems gaminti naudojamą žaliavą. Tad skiriamos tokios pagrindinės grupės:

1. mineralinė vata;
  - 1.1. stiklo vata;
  - 1.2. akmens vata;
  - 1.3. šlako vata;
2. ugniai atsparūs keraminiai pluoštai:
  - 2.1. oksidiniai;
  - 2.2. kaolitiniai.

Skirstymas pagal naudojamą pagrindinę žaliavą medžiagą – stiklą (kvarcinis smėlis, stiklo duženos), gamtines uolienas (bazaltas ar diabazas), metalurginius šlakus ir moli – iš esmės sąlygiškas. Akmens vatos plaušeliai, palyginti su šlako vatos plaušeliais, yra ilgesni (~ 50 mm), lygesni, vienodesnio storio bei plonesni 3–6  $\mu\text{m}$ , mechaniškai stipresni ir chemiškai patvaresni. Taip pat jie atsparesni temperatūros ir drėgmės poveikiui ir yra ilgaamžiškesni. Todėl ir gaminiai iš akmens vatos pasižymi geresnėmis eksploatacinėmis, fizikinėmis – mechaninėmis ir termoizoliacinėmis savybėmis [1].

Plaušelio skersmuo ir nulemia, kad stiklo vatos gaminiu gniuždomasis stipris mažesnis nei akmens vatos. Kadangi plaušelis pakankamai plonas, tai ir rišiklio kiekis, reikalingas šiems plaušeliams sujungti tarpusavyje, maždaug 2 kartus didesnis, 6–8 %. Plonesnis plaušelio skersmuo pagerina šiluminės ir akustinės medžiagos charakteristikas. Stiklo vatos gaminiai šiuo metu plačiausiai naudojami ir kaip garsą sugerianti medžiaga [1].

Pagal fizikinius, mechaninius ir techninius požymius mineralinės vatos gaminiai dar gali būti skirstomi:

1. pagal formą ir išvaizdą į:
  - 1.1. vienetinius (plokštės, blokai, kevalai, segmentai);
  - 1.2. ritininius (ritiniai, dembliai);
  - 1.3. užpilamus (gaminiai, kurie įgyja užpilamos erdvės formą);
2. pagal medžiagos tankį į:
  - 2.1. labai lengvus (tankis  $<50 \text{ kg/m}^3$ );
  - 2.2. lengvuosius (tankis nuo  $50 \text{ kg/m}^3$  iki  $200 \text{ kg/m}^3$ );
  - 2.3. sunkiuosius (tankis nuo  $200 \text{ kg/m}^3$  iki  $400 \text{ kg/m}^3$ );
3. pagal spūdumą (medžiagą veikiant 2 kPa apkrova) į:
  - 3.1. minkštuosius (susispaudžia daugiau kaip 30 %);
  - 3.2. pusiau standžius (susispaudžia nuo 6 iki 30 %);
  - 3.3. standžiuosius (susispaudžia ne daugiau kaip 6 %);
4. pagal naudojimą konstrukcijoms į:
  - 4.1. bendros paskirties: a) nelaikančius apkrovų (lengvose karkasinio tipo) ir b) laikančius apkrovas (užliejamų betoninių grindų) konstrukcijose;
  - 4.2. išorės sienų;
  - 4.3. sutapdintu (plokščiųjų) stogų;
5. pagal degumą į klases:
  - A1 – nesudaro sąlygų gaisrui plėstis;
  - A2 – ugnis neplinta;
  - B – ugnis neplinta;
  - C – ugnis plinta vėliau kaip po 10 minučių;
  - D – ugnis plinta, praėjus 2–10 minučių;
  - E – ugnis plinta greičiau nei po 2 minučių;
  - F – charakteristikos nenustatytos.

### 3.3.2. *Savybės*

Akmens vatos gaminių eksploatacinės savybės priklauso nuo gaminio padėties konstrukcijoje [19]. Termoizoliaciniai akmens vatos gaminiai gaminami iš gamtiniu uolienu, todėl iš šių žaliavų gautas izoliacinis plaušas pasižymi didesniu rūgštingumo modulių ( $M_r = 2,0-4,5$ ) ir atsparumu drėgmei, elastingumu, mažesniu plaušeliu storium, o iš tokio pluošto pagaminti gaminiai ilgaamžiškesni, aukštesnės kokybės ir atsparesni įvairiems eksploataciniams veiksniams: temperatūrų svyravimui, drėgmės poveikiui, apkrovoms ir deformacijoms [1].

Gaminiai iš akmens vatos pasižymi tokiomis pagrindinėmis savybėmis:

- puikiai izoluoja šilumą (deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas  $0,032-0,045$  W/(m·K));
- nedega ir nesudaro sąlygų gaisrui plėstis (pluošto lydymosi temperatūra siekia  $>1000$  °C);
- apsaugo degiąsias medžiagas ir konstrukcijas (iki 4 val. gali būti atspari aukštos temperatūros poveikiui);
- elastinga ir atspari deformacijoms (ant didelio tankio gaminių galima vaikščioti, nepažeidžiant struktūros);
- nekeičia linijinių matmenų – nesiplečia ir nesitraukia;
- izoluoja garsą – garso sugerties koeficientas  $0,93-0,99$ ;
- plačios panaudojimo galimybės (tinka daugumoje pastatų konstrukcijų) [1].

### 3.3.3. *Mineralinės vatos gamybos būdai*

Mineralinė vata gaminama vienu iš trijų būdų: išcentrinu, naudojant suspaustas dujas, naudojant suspaustą orą arba garą. Žaliavos, susmulkintos 20–70 mm dydžio gabaliukais, kraunamos į žemakrosnę ir išlydomos. Lydyti suvartojama 30 % ir daugiau kokso. Sunaudoto kokso kiekis priklauso nuo žaliavų cheminės sudėties, jų lydymosi temperatūros, klampumo. Žaliavoms lydyti gali būti naudojamos ne tik žemakrosnės, bet ir elektrinės, voninės krosnys. Žaliavoms lydyti naudojamos įvairių konstrukcijų žemakrosnės, kuriose temperatūra siekia 1700 °C; kitos krosnys gaminti mineralinę vatą nebuvo dažniau taikomos [1].

### 3.4. Celiuliozinė vata

Celiuliozinės termoizoliacinės vatos, gaunamos, perdirbus popieriaus atliekas, technologija buvo išrasta ir užpatentuota 1893 m. Anglijoje. Įvairiose valstybėse ši medžiaga turi įvairių pavadinimų: Ecowool, Ekovilla, Termex, Isofloc, Thermofloc. Lietuvoje ši medžiaga vadinama ekovata. Lietuvoje ekovata pradėta gaminti tik 1993 m. [1].

### 3.4.1. *Gamyba*

Ekovata – organinė termoizoliacinė medžiaga, gaminama iš celiuliozės pluošto, prisotinto netoksinių mineralinių druskų. Ekovata yra pilka arba balta smulkiaplauštė vatos pavidalo medžiaga, susidedanti iš mechaniškai susmulkintos makulatūros (80 %), boro rūgšties  $H_3BO_3$  (12 %) ir borakso  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  (8 %) mišinio. Balta ekovata gaminama iš makulatūros be spaudos dažų ir naudojama apdailos darbams [1].

### 3.4.2. *Savybės*

Pagaminta celiuliozinė vata pakuojama į popierinius maišus. Į konstrukcijas ji montuojama specialiais įpurškimo įrenginiais. Atsižvelgiant į suspaudimo laipsnį ir naudojimo paskirtį, ekovatos tankis kinta nuo 25 iki 65  $kg/m^3$ . Vatos struktūroje esantis nejudrus oras sudaro iki 85 % viso medžiagos tūrio, todėl medžiaga gerai išsaugo šilumą. Deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas, priklausomai nuo medžiagos tankio, yra 0,036–0,046  $W/(m \cdot K)$ .

Viena iš didžiausių problemų – ekovatos nusėdimas. Tačiau tinkamai montuojant, nusėdimas konstrukcijoje neatsiranda. Nusėdimas priežasčių gali būti įvairių, o pagrindinės – per mažas ekovatos tankis arba didelis kondensato kiekis atitvaroje. Medžiagos drėgnis priklauso nuo jos supančio oro drėgnumo ir gali kisti jų sorbcinio įdrėkimo ribose [24, 25, 26, 27, 28].

Dėl smulkiaplaušės struktūros ekovata puikiai izoluoja garsą, todėl naudojama patalpoms nuo triukšmo saugoti. Ji gerai užpildo visus tarpus, plyšius ir sudaro ištisinį sluoksnį. Tai ypač svarbu, rengiant garso izoliaciją tarp patalpų [1].

### 3.4.3. *Šiltinimo technologija, naudojant ekovatą*

Į pastato atitvaras ekovatą iš maišų galima supilti rankomis arba instaliuoti mechanizuotai. Rekomenduojamas pastarasis atitvarų šiltinimo būdas, taip gaunamas vienodo tankio ir struktūros izoliacinis sluoksnis, ekovatos plaušeliai tarpusavyje labiau sukimba, sumažėja išėiga. Įpučiant ekovatą į atitvaros ertmes, ji suslegiama iki reikiamo tankio, todėl išvengiama medžiagos susėdimas. Ekovatos naudojimo atitvaroms šiltinti efektyvumas priklauso nuo jos talpinimo į atitvarą technologijos. Naudojami ir skiriami šie mechanizuoto ekovatos įpurškimo į atitvaras technologijos būdai:

- sausasis;
- šlapiasis;
- šlapiasis klijinis.

Technologijos būdo pasirinkimas priklauso nuo atitvaros konstrukcijos ypatumų. Visiems būdams naudojamas vienodas įrangos komplektas. Ekovatos padavimo atstumas yra iki 40 m, padavimo aukštis – iki 25 m [1].

#### *Sausasis šiltinimo būdas*

Sausuoju būdu pastatus galima šiltinti rankiniu ir mechanizuotu būdais. Rankiniu būdu patogų ir pigu šiltinti, klojant naujas grindis, nes ekovata yra biri, gerai užpildo bet kokį paliktą tarpą tarp tašų, taip pat plyšius po tašais. Rankiniu būdu galima šiltinti kabamąsias lubas, perdangas. Nepatartina rankiniu būdu šiltinti vertikaliųjų ir šlaitinių ertmių, nes, norint išvengti ekovatos suslūgimo, reikės ją labiau spausti, didinti tankį, o tai pablogins šiluminę varžą, padidės ekovatos sąnaudos.

Šiltinant šlaitines bei vertikaliąsias ertmes, reikėtų naudoti mechanizuotą būdą. Iš maišų ekovatą išpilama į išputimo įrenginio talpyklą, maišyklėje išpurenama ir oro srautu gofruota žarna pučiama į reikiamą konstrukciją. Taip ekovatą papildomai išsipurena. Užpildydami tarpus, ekovatos plaušai tarpusavyje susipina, susisluoksniuoja ir sudaro vientisą struktūrą. Oro srautas neša smulkius ekovatos plaušus, kurie net mažiausius plyšius užpildo ekovata [1].

#### *Šlapiasis šiltinimo būdas*

Šlapiasis būdas naudojamas vertikaliesiems paviršiams su įrengtu karkasu šiltinti. Ekovata dažniausiai šiltinami naujai statomi karkasiniai namai, taip pat atnaujinami seni mediniai.

Šiltinti šlapiuoju būdu galima ir iš lauko, ir iš vidaus, paisant to, kuri karkaso pusė bus atvira. Specialia įranga tarpai tarp tašų pripildomi ekovatos. Paskui ji sulyginama pagal tašų skersmenį, ir daroma apdaila. Vertikalieji karkaso tašai negali būti sustatyti plačiau kaip kas 60 cm, nes neįmanoma bus padaryti ekovatos storio lygiai su tašais – ji apipjaustoma pagal karkaso tašų storį, o perteklius vėl gražinamas į aparatą pakartotinai naudoti, be to, kas 1–1,5 m turi būti sudėti horizontalieji tašai arba įspraustos atraižos (nebūtinai horizontaliai, galima ir kampu, tik kad nebūtų išlindę už karkaso) tam, kad ekovata iš pradžių priliptų prie konstrukcijos technoliniu skersiniu.

Kuo storesnis numatomas ekovatos sluoksniš, tuo tankiau turi būti sudėlioti skersiniai. Toks šiltinimas atliekamas tik šiltuoju metu laiku, nes taip klijuojama ekovata turi išdžiūti, o išdžiuvusi tampa kaip plokštė, kurioje nėra siūlių. Taip šiltinant ir apkalant, nereikia palikti tarpelio, nereikalingos difuzinės ar priešvėjinės plėvelės, nes ekovata – „kvėpuojanti“ medžiaga.

Ekovata klijuojama vandeniu, nenaudojamos jokios cheminės medžiagos. Ekovata gerai išpurenama ir pučiama kartu su vandeniu ant bet kokio vertikalaus paviršiaus. Šis būdas labai gerai tinka mediniams ir rąstiniams namams šiltinti. Šiam šiltinimo būdai reikia daryti karkasą. Ekovatos šiltinimo storis reguliuojamas būtent karkaso atitraukimu nuo sienos.

Apdailos lentelės arba plokštelės tvirtinamos, ekovatai išdžiuvus, ant to paties karkaso. Tvirtinant apdailos lenteles, nereikia plėvelių ir nepaliekamas tarpelis. Taip šiltinama tik šiltuoju

metu laiku. Apytikslis ekovatos džiuvimo laikas – 1 savaitė ir priklauso nuo oro sąlygų. 5 cm ekovatos sluoksnis, esant saulėtoms dienoms ir nedideliam vėjui, visiškai išdžiūsta per dvi dienas.

#### *Klijinis šiltinimo būdas*

Klijinis sienų ir lubų šiltinimo būdas naudojamas tuo atveju, kai sunku šiltinti ir brangu įrengti karkasą termoizoliacinei medžiagai. Klijiniu būdu galima šiltinti metalinius angarus, briaunotas ir lygias gelžbetonines perdangų bei sienų plokštes, obliuotų ir neobliuotų lentų paviršius ir kt. Klijiniu ekovatos šiltinimo būdu gali būti šiltinami gelžbetoniniai gamybos pastatai, metaliniai angariai, garažai [1].

### **3.5. Poliuretano putos ( PPU )**

Putų poliuretano (PPU) purškimo technologija – tai dviejų komponentų, veikiamų aukšto slėgio, griežtai dozuotomis proporcijomis perdavimas į maišytuvą (purkštuvą), kur šie komponentai homogeniškai sumaišomi ir aerosolio pavidalu purškiami ant paviršiaus. Tokiu būdu sumaišyti nesuputoję komponentai plonu sluoksniu dengia paviršių. Po 1–3 sekundžių prasideda reakcija ir staigus (iki 100 kartų) putų apimtį augimas [7].

Vidutinio kietumo putų poliuretanai naudojami automobilių sėdynėms gaminti. Minkštas putų poliuretanai naudojami ortopediniams gaminiams, pvz., pagalvėms, čiužiniams, manekenams ir kt. gaminiams, gaminti. Putų poliuretanai yra nedegi medžiaga, todėl manoma, kad ši medžiaga yra saugesnė nei mediena. Paprastai putų poliuretano sudėtyje yra antipireno, kuris didina medžiagos atsparumą degimui. Uždaros putų poliuretano poros neleidžia medžiagai degti per visą gylį. Šiandien putų poliuretanai aktyviai naudojami tankuose, šarvuotuose transporteriuose, pėstininkų kovos mašinos, kuriuose po šarvais dedamas apsauginis putų poliuretano sluoksnis. Tai leidžia maksimaliai efektyviai apsaugoti įgulą nuo šalčio ir karščio [7].

Teoriškai putų poliuretano patvarumo laikas yra 25–30 metų. Vokietijos, Amerikos, Kanados, Švedijos ir Japonijos specialistai, demontuodami sienų, stogų, pamatų konstrukcijas, paima putų poliuretano mėginius nuo praeito šimtmečio 70-ais metais išlietų vamzdžių ir tvirtina, kad šios medžiagos savybės nepasikeitė. Šiltinamosios izoliacijos medžiagų mokslinių tyrimų instituto (Miunchenas, VRF) mokslininkai ištyrė tris stogo konstrukcijas, kurios buvo apšiltintos putų poliuretano (vienos konstrukcijos šiltalo sluoksnis sudarė 60 mm, kitų dviejų – 30 mm, putų poliuretano tankis – 30–35 kg/m<sup>3</sup>). Šių tyrimų rezultatai parodė, kad po 10 eksploatacijos metų nei putų poliuretano šiluminis laidumas, nei drėgnis praktiškai nepadidėjo [7].

Šilumos izoliavimo efektyvumu poliuretano putos ženkliai pranoksta daugelį kitų apšiltinimo medžiagų. 2,5 cm storio PPU sluoksnis neišleidžia iš patalpų šilto ir neleidžia šalto oro.



Poliuretano putų šilumos laidumo koeficientas yra nuo  $\lambda = 0,022 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . (kai tankis  $40 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) iki  $\lambda = 0,030$  (kai tankis  $20 \text{ kg}/\text{m}^3$ ). Todėl net minimalus poliuretano putų sluoksnis užtikrina labai gerą šiluminę varžą [7].

Poliuretano putos atsparios dideliems temperatūrų svyravimams – nuo  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  iki  $+90 \text{ }^\circ\text{C}$ ; trumpą laiką galimas netgi iki  $+150 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros poveikis. PPU – poliuretano putų – sudėtyje nėra jokių kenksmingų ar žalingų aplinkai elementų, todėl jos pripažintos viena ekologiškiausių šiltinimo medžiagų. Poliuretanas nedulka ir neteršia aplinkos, netinka mikroorganizmams, todėl nepūva, nepelija, neišsiveisia graužikai ir jokie parazitai [7].

Sandarumas. Užpurkštos Šiltinimas poliuretanu sąlytyje su oru virsta putomis ir išsiplečia iki 100 kartų, tokiu būdu itin sandariai užpildydamas net pačius mažiausius, mikroskopinius paviršiaus tarpelius ir ertmes. Be to, pusiau spūdus poliuretanas kompensuoja sienų judėjimus. Purškiamos poliuretano putos stipriai prilimpa prie šiltinamų paviršių, sudarydamos vientisą ir tvirtą, patvarų termoizoliacinį sluoksnį [7].

Šiltinimas poliuretano putomis – spartus darbas: nereikia specialiai paruošti šiltinamų paviršių, jie gali būti drėgni ar nešvarūs, per valandą galima apšiltinti apie  $50\text{--}100 \text{ m}^2$  paviršiaus.

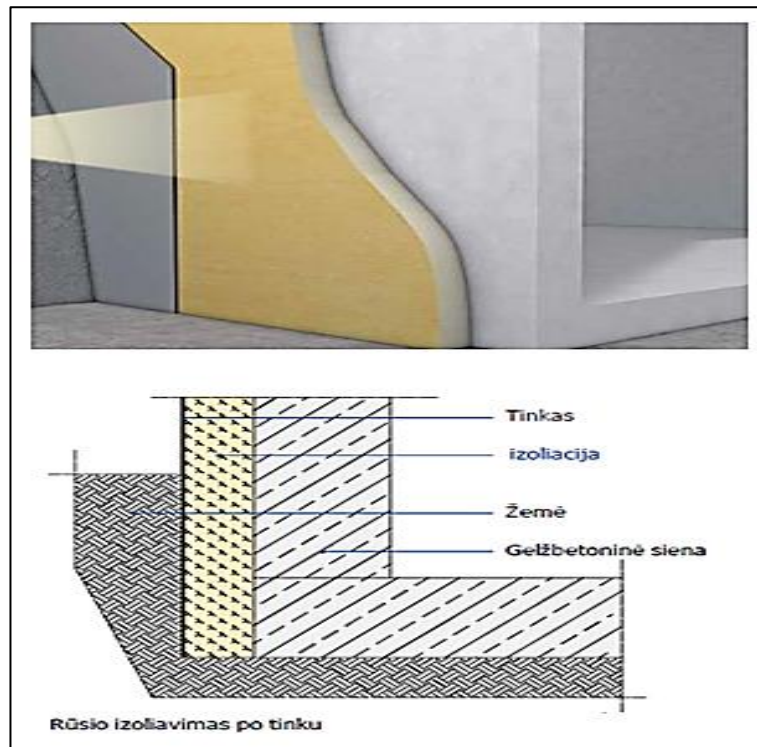
Lietuvoje tą patį poliuretaną kai kurios apšiltinimo paslaugas teikiančios įmonės vadina skirtingai, pvz., Gamo puta, Izo, Gamo Pur, Togo ir pan. Tačiau iš tikrųjų tai yra tas patspoliuretanas, arba poliuretano putos PPU.

### **3.5.1. Išorinės pastato sienos šiltinimas po dekoratyviniu tinku poliuretano putomis**

Paprastai lauko sienos sudaro didžiąją pastatų išorinių paviršių dalį, per kuriuos šiluma gali išeiti beveik netrukdomai. Efektyviai sulaikančios šilumą purškiamosios putos atskirais sluoksniais negruntuojant purškiamos tiesiai ant nuo dulkių nuvalytos sienos [8].

Sukietėjęs izoliacinis sluoksnis iš karto dengiamas specialiu pagrindui skirtu tinku, kuris sudarys sukibimą gerinantį pagrindą baigiamosios apdailos dekoratyviniam tinkui. Izoliacijos nereikės tvirtinti kaiščiais ar po tinku kloti audinį, kaip tai yra būtina įrenginėjant įprastas sistemas. [8]

- stiprinama sienų konstrukcija;
- laiką ir kaštus taupantis apdorojimas;
- izoliacinis sluoksnis be šilumos tiltelių;
- individuali dekoratyvinio tinko apdaila.

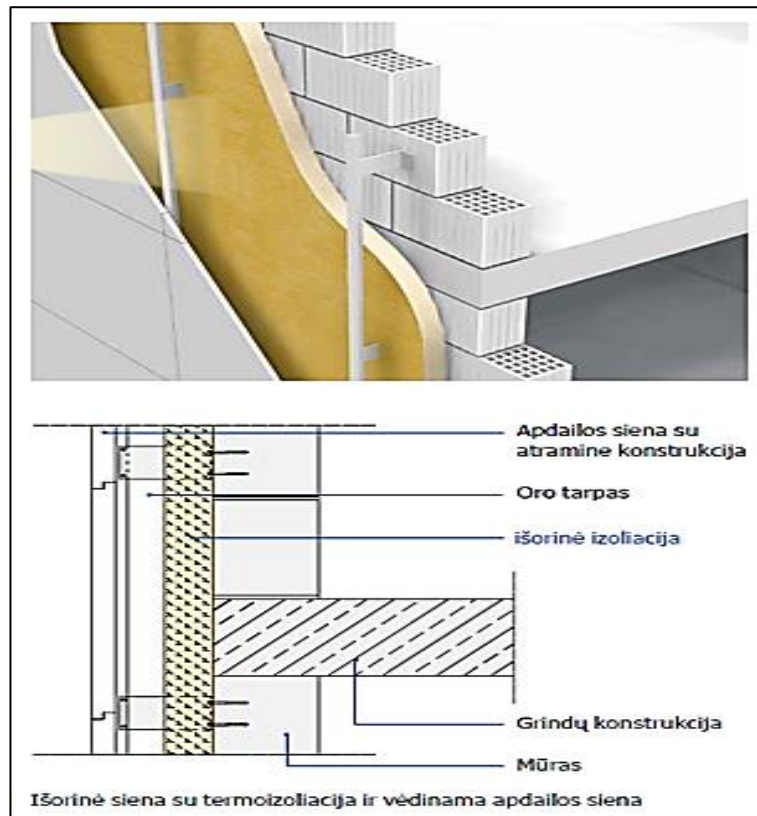


**3.8. pav.** Išorinės pastato sienos šiltinimas po dekoratyviniu tinku poliuretano putomis [8]

### 3.5.2. *Išorinis šiltinimas už pakabinamo fasado poliuretano putomis*

Šiltinti pastatus už pakabinamo fasado arba vėdinamos apdailos iš lauko pusės galima tiek vykdant naują statybą, tiek ir sanuojant senus pastatus. Pakabinamas fasadas saugo išorines statybines konstrukcijas nuo atmosferos reiškinių poveikio ir atlikdamas dekoratyvinės fasado dangos funkciją, suteikia didesnę kūrybinę laisvę. Renčiant pakabinamą fasadą iš pradžių lauko sienoje įtvirtinamos metalinės sienos tvirtinimo dalys. Vėliau siena apipurškiama šiltinamąja medžiaga Termolitas. Priklausomai nuo pasirinktos dangos, iš medienos arba aliuminio profilių įrengiamas vertikalus laikantis karkasas, prie kurio ir tvirtinamas pakabinamas fasadas. Tarp pastarojo ir izoliacijos sluoksnio reikėtų palikti nuo 2 iki 4 cm storio oro tarpą, kuris leistų išdžiūti per plokščių siūles įsiskverbusiam lietaus vandeniui ir pašalintų iš vidaus į išorę difuzinius vandens garus [8].

- gera lauko sienos apsauga nuo atmosferos reiškinių
- fasado įrengimo įvairovė
- didesnis komfortas name
- nekyla techninių problemų dėl drėgmės



**3.9. pav.** Išorinis šiltinimas už pakabinamo fasado poliuretano putomis [8]

## 4. TYRIMO METODOLOGIJA

### 4.1. Daugiakriterinio vertinimo modeliai ir metodai

Daugiakriterinio vertinimo modeliai padeda priimti sprendimus atsižvelgiant į daugelį tikslų. Gali būti išskiriami šie pagrindiniai daugiakriterinio vertinimo modelių komponentai: 1) tikslų ir juos atitinkančių rodiklių sistemos sudarymas, jų reikšmingumo nustatymas; 2) atsakų matricos suformavimas ir normalizavimas pritaikant daugiakriterinio sprendimų priėmimo (MCDM) metodus; 3) gautų rezultatų interpretavimas ir sprendimų priėmimas [9].

Daugiakriterinis sprendimų priėmimas (angl. Multiple Criteria Decision Making – MCDM) leidžia įvertinti sprendimų alternatyvas atsižvelgiant į daugelį tikslų (kriterijų). MCDM problemos (uždaviniai) gali būti skirstomi į dvi plačiausias kategorijas: 1) daugiakriterinio sprendimų priėmimą (angl. Multiple Objective Decision Making – MODM) – šioje srityje nagrinėjamos begalinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos; 2) apsisprendimą daugelio rodiklių atžvilgiu (angl. Multiple Attribute Decision Making – MADM) – šioje srityje nagrinėjamos baigtinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos, Sprendimų paieškai taikomi diskrečiojo optimizavimo metodai, daugiamačių atstumų matavimu paremti metodai (SAW, AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE ir kt.) [9].

MADM modeliai sudaromi atsižvelgiant į analizės tikslą: gali būti siekiama pasirinkti tinkamiausią vietą statybai, pelningiausią investicijų sritį ir pan. Tikslą atitinkančioms dimensijoms priskiriami jas identifikuojantys rodikliai – taip suformuojama rodiklių sistema. Remiantis rodiklių sistema sudaroma atsakų matrica P [9].

Jos elementai  $x_{ij}$  - atitinka  $i$  - tosios alternatyvos atsaką pagal  $j$  - tąjį kriterijų. Ši matrica pirmiausia turi būti apdorojama vertikaliai (normalizuojamos atitinkamų kriterijų reikšmės), tuomet horizontaliai (įvertinama kiekviena alternatyva). Priklausomai nuo naudojamų metodų, kriterijai gali būti kiekybiniai arba kokybiniai. Taip pat kriterijus galima skirstyti į objektyvius ir subjektyvius. Objektyvūs kriterijai, pavyzdžiui, investicijų kaštai, darbo užmokestis, paprastai išreiškiami piniginiiais ar kitais kiekiniais dydžiais. Subjektyvūs kriterijai dažniausiai yra kokybiniai. [10] Išskiria du svėrimo etapus: 1) normalizavimą; 2) tikslų reikšmingumo nustatymą. Sprendimų priėmimo mokslas siūlo daugelį universalių metodų, leidžiančių įvertinti alternatyvas pagal jų požymius ir bendrus tikslus. Tokia analizė leidžia priimti geriausius kompromisinius sprendimus.

Atstumų nuo atskaitos taško skaičiavimu pagrįsti metodai: TOPSIS, COPRAS, VIKOR, MOORA. Rangavimo pagal panašumą į idealųjį sprendinį techniką (Technique for the Order Preference by Similarity to Ideal Solution – TOPSIS) sukūrė C. Hwang ir K. Yoon 1981 metais [11]. Vėliau šis metodas buvo patobulintas taikant pilkųjų skaičių teoriją [12] ir Mahalanobis metriką [13]. Tolesnei analizei pasirinktas TOPSIS metodas.

## 4.2. TOPSIS metodas

Mokslininkai Yoon ir Hwang sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymo artumo idealiajam taškui metodu (TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių. Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą P, kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos [11].

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Taikant metodą TOPSIS, sprendimų matrica  $P$  normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją [11]:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

čia:  $x_{ij}$  –  $i$  – osios alternatyvos,  $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmė;  $m$  – alternatyvų skaičius;  $n$  – rodiklių skaičius.

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Tarkime, kad žinomos rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmės ( $q$ ). [11]

$$\bar{P}^* = [\bar{P}] \cdot [q]. \quad (4)$$

Taikant formulę (4), sudaroma svertinė normalizuota matrica  $\bar{P}^*$

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) nustatomas pagal formulę: [11]

$$a^+ = \left\{ \left[ \left( \max_i \bar{x}_{ij} | j \in J \right), \left( \min_i \bar{x}_{ij} | j \in J' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\} \quad (5)$$

čia:  $J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;  $J'$  – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

„Neigiamai idealus“ variantas nustatomas pagal formulę: [11]

$$a^- = \left\{ \left[ \left( \min_i \bar{x}_{ij} | j \in J \right), \left( \max_i \bar{x}_{ij} | j \in J' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\} \quad (6)$$

Atstumas tarp lyginamojo  $i$  - tojo ir „idealiai geriausio“  $a^+$  varianto nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$  – matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^+)^2}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (7)$$

o tarp  $i$  - tojo ir „neigiamai idealaus“  $a^-$ , pagal formulę: [11]

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^-)^2}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Galutiniu TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno  $i$  - ojo varianto santykinis atstumas iki „idealiai geriausio“ varianto: [11]

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (9)$$

Kuo  $K_i$  reikšmė artimesnė vienetui, tuo  $i$  – asis variantas artimesnis  $a^+$  t. y. racionalus variantas bus tas, kurio  $K_i$  reikšmė yra didžiausia [11].

#### 4.3. Daugiaaukščių pastatų išorės sienų šiltinimo medžiagų pasirinkimo variantų formavimas

Daugiaaukščių pastatų išorės sienos gali būti apšiltintos pasirenkant įvairiais medžiagas. Jų įrengimo technika parenkama priklausomai nuo šiltinamam pastatui keliamų reikalavimų. Renkantis šiltinimo medžiagą, pasirinkimo kriterijai dažniausiai yra: šilumos laidumas, atsparumas degimui, medžiagos kaina, medžiagos storis (atsižvelgiant į tai kokiai energinio naudingumo klasei pastatas turi būti priskirtas), įmirkis.

Šiame baigiamajame darbe bus išnagrinėtos šešios šiltinimo medžiagos, kuriomis bus šiltinamas nuo 1959 m. iki 1992 m. statytų stambiaplokščių gyvenamųjų namų vienasluksnė 300 mm storio keramzitbartonio plokštė, kurios šilumos perdavimo koeficientas  $U$  1,3 W/(m<sup>2</sup>·K). Šiltinimo medžiaga bus įrengiama ant medinio karkaso. Apšiltinus pastatas turės atitikti pastatų atitvarų šilumos energinio naudingumo A klasės pastatų (sienos) atitvaroms keliamus reikalavimus gyvenamiesiems pastatams (3 lentelė).

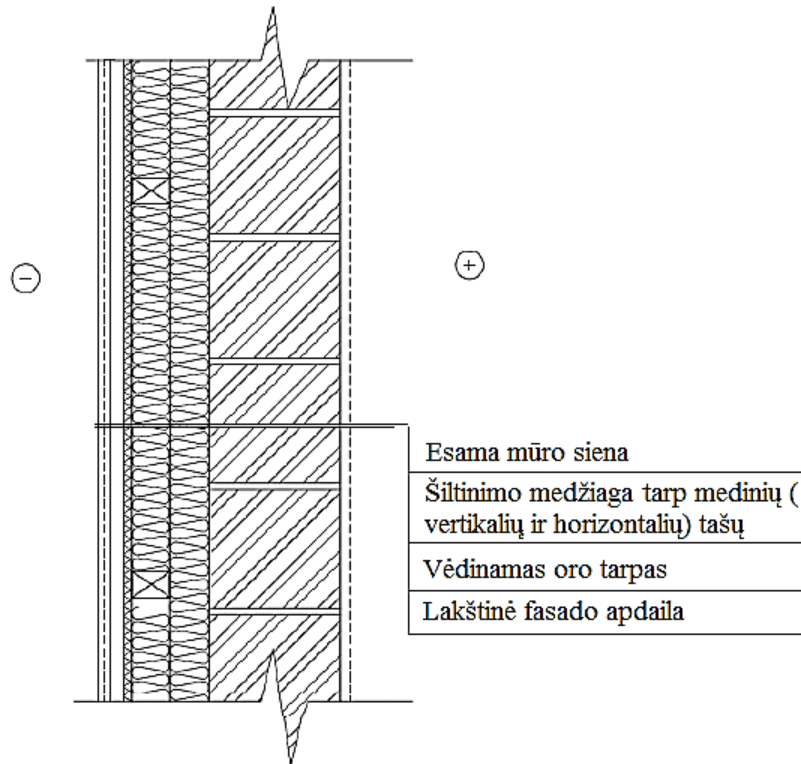
#### 3 lentelė

Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientų  $U$  (W/(m<sup>2</sup>·K)) vertės A energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) atitvaroms [14]

Atitvarų apibūdinimas	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai	Pramonės pastatai
Stogai	$r$	0,1	0,11	0,16
Perdangos	$ce$			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	$fg$	0,14	0,16	0,25
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	$cc$			
Sienos	$w$	0,12	0,15	0,2
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	$wda$	1	1,3	1,4
Durys, vartai	$d$	1	1,3	1,4

#### 4.4. Apšiltinimas naudojant medinį karkasą

Prie esamos sienos tvirtinamas medinis karkasas (jeigu reikalinga naudojamas dvigubas karkasas), po medinio karkaso tašais rekomenduojama įrengti hidroizoliaciją, kuri neleidžia vandens garams skverbtis pro termoizoliacinį sluoksnį ir kartu atlieka oro barjero funkciją [20], karkasas užpildomas šilumos izoliacija, įrengiama vėjo izoliacija ir palikus vėdinimo tarpelį (formuojamas tašeliais ar lentomis), montuojamas fasadas iš lakštinių medžiagų.



4.1. pav. Fasado šiltinimo (medinis karkasas) konstrukcija [15]

Medinio karkaso įtaką įvertinama supaprastintai pagal formules (10, 11, 12). [15]

Pagal formulę (10) apskaičiuojame medinio tašo šiluminę varžą.

$$R_m = \frac{d}{\lambda m} \quad (10)$$

čia:  $d$  – medinio tašo storis, m;  $\lambda m$  – medienos šilumos laidumo koeficientas,  $W/(m^2 \cdot K)$

Pagal formulę (11) apskaičiuojame šilumos izoliacijos šiluminę varžą. [15]

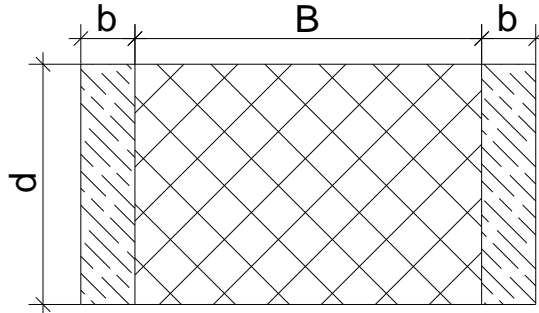
$$R_y = \frac{d}{\lambda} \quad (11)$$

čia:  $d$  – šilumos izoliacijos storis, m;  $\lambda$  – šiluminės izoliacijos šilumos laidumo koeficientas,  $W/(m^2 \cdot K)$

Pagal formulę (12) apskaičiuojame bendrą šiluminės varžą įvertinus medienos įtaką. [15]

$$R = \frac{b + B}{\frac{b}{R_m} + \frac{B}{R_y}} \quad (12)$$

čia:  $b$  – medinio tašo plotis, m;  $B$  – atstumas tarp medinių tašų, m



4.2. pav. Šilumos izoliacija tarp medinio karkaso

## 5. ŠILTINIMO MEDŽIAGŲ DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS NAUDOJANT TOPSIS METODĄ

Rodiklių reikšmės buvo apskaičiuotos pagal galiojančius normatyvinius dokumentus, bei atsižvelgiant į gaminių sertifikatų duomenis. Sienos šilumos laidumas skaičiuojamas vadovaujantis STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“ reglamentu [14]. Nagrinėjamų šiltinimo medžiagų duomenys pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė

Šiltinimo medžiagų duomenys

Šiltinimo medžiaga	Vertinimo rodikliai							
	Medžiagos tankis, $\text{kg/m}^3$	Degumo klasė išreikšta skaičiumi	Šilumos laidumas $\lambda$ , $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Medžiagos kaina, $\text{€}/\text{m}^2$	Šiltinimo medžiagos storis, mm	Maksimalus stipris gniuždant, kPa	Pataisa $\Delta\lambda\omega$ dėl papildomo medžiagos įdrėkimo vėdinamoje atitvaroje, $\Delta\lambda\omega$ , $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Apytikslė šiltinimo medžiagos įrengimo kaina be apdailos, $\text{€}/\text{m}^2$
Polistireninis putplastis EPS 70	13	6	0,039	18,00	370	70,000	0,001	60,00

4 lentelės tęsinys kitame puslapyje



Mineralinė vata SUPEROCK	40	1	0,036	12,00	350	100,000	0,001	50,00
Celiuliozinė vata	60	3	0,040	34,70	440	0,001	0,010	57,00
Ekstruzinis polistireninis putplastis Finnfoam FI-300	35	6	0,030	37,20	310	250,000	0,000001	86,00
Uždarytų porų poliuretano putas	35	6	0,022	25,00	260	0,001	0,001	48,00
Polistireninis putplastis Neoporas EPS 70N	14	6	0,032	20,60	330	70,000	0,001	64,00

**Pastaba:** Medžiagos kaina įvertinta remiantis vidutinėmis rinkos kainomis; Degumo klasės išreikštos skaičiais: ( 1 nedegi - 6 labai degi - 7 charakteristikos nenustatytos); Apytikslė šiltinimo medžiagos įrengimo kainą apskaičiuota naudojantis sąmatų sudarymo kompiuterine programa „SISTELA“.

Skaičiavimams atlikti vertinimo rodikliai pakeisti į  $a$  reikšmes. Pradedant medžiagos tankiu  $a1$  ir baigiant apytikslę šiltinimo medžiagos įrengimo kainą  $a8$ . Sprendimų matrica P normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją taikant formulę (3), o duomenys pateikti 5 lentelėje.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Vektorinė normalizacija polistireninio putplasčio EPS 70 pagal medžiagos tankį.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{13}{\sqrt{(13^2 + 40^2 + 60^2 + 35^2 + 35^2 + 14^2)}} = 0.4521;$$

Vektorinė normalizacija mineralinės vatos SUPEROCK pagal medžiagos tankį.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{40}{\sqrt{(13^2 + 40^2 + 60^2 + 35^2 + 35^2 + 14^2)}} = 0.4467;$$

Analogiškus skaičiavimus atliekame su kiekviena šiltinimo medžiaga bei jos vertinimo rodiklio reikšmėmis.

Normalizuotos matricos P duomenys

Šiltinimo medžiaga	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
Polistireninis putplastis EPS	0,14521	0,48349	0,47208	0,28093	0,43436	0,24400	0,09806	0,39439
Mineralinė vata SUPEROCK	0,44679	0,08058	0,43576	0,18729	0,41088	0,34858	0,09806	0,32866
Celiuliozinė vata	0,67019	0,24175	0,48418	0,54157	0,51654	0,00000	0,98058	0,37467
Ekstruzinis polistireninis putplastis	0,39095	0,48349	0,36314	0,58059	0,36393	0,87145	0,00010	0,56529
Uždarų porų poliuretano putas	0,39095	0,48349	0,26630	0,39018	0,30523	0,000003	0,09806	0,31551
Polistireninis putplastis Neoporas EPS 70	0,15638	0,48349	0,38735	0,32151	0,38741	0,24400	0,09806	0,42068

Atlikus matricos normalizavimą  $[P]$ , bei žinant rodiklių ( $q$ ) reikšmingumus, taikant formulę (4), sudaroma svartinė normalizuota matrica  $\overline{P}^*$ , duomenys pateikiami 7 lentelėje.

$q$  – rodiklių reikšmingumas buvo nustatytas apklausiant 10 ekspertų (statybos įmonių vadovų, pastatų energetinį naudingumą atliekančių specialistų, architektų). Jie savo žinių ir patirties pagrindu turėjo įvertinti vertinimo rodiklius balais nuo 0 iki 10. Apklausos rezultatai pateikti 6 lentelėje.

Ekspertų vertinimo rezultatai

	Rodikliai							
	Medžiagos tankis, $\text{kg/m}^3$	Degumo klasė išreikšta skaičiumi	Šilumos laidumas $\lambda$ , $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Medžiagos kaina, $\text{€}/\text{m}^2$	Šiltinimo medžiagos storis, mm	Maksimalus stipris gniuždant, kPa	Pataisa $\Delta\lambda\omega$ dėl papildomo medžiagos įdrėkimo vėdinamoje atitvaroje, $\Delta\lambda\omega$ , $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Apytikslė šiltinimo medžiagos įrengimo kaina be apdailos, $\text{€}/\text{m}^2$

6 lentelės tęsinys

Ekspertas 1	0,5	1	2	2,00	1	1,000	0,500	2,00
Ekspertas 2	0,5	1,5	1	2,00	2	0,500	0,500	2,00
Ekspertas 3	0,5	1	1,000	2,00	2	1,000	1,000	1,50
Ekspertas 4	0,4	1	1,500	2,00	2	0,600	0,500	2,00
Ekspertas 5	1	0,5	1,5	2,00	2	0,500	0,500	2,00
Ekspertas 6	0,5	1	2	1,00	2	0,500	1,000	2,00
Ekspertas 7	0,5	2	2	1,50	1,5	1,000	0,500	1,00
Ekspertas 8	0,5	1	2,5	2,00	1	0,500	0,500	2,00
Ekspertas 9	0,5	0,5	1	1,00	2	1,000	1,000	3,00
Ekspertas 10	0,5	1	2	2,50	1	0,500	0,500	2,00
<b>Rodiklio reikšmingu- mas</b>	<b>0,54</b>	<b>1,05</b>	<b>1,65</b>	<b>1,8</b>	<b>1,65</b>	<b>0,71</b>	<b>0,65</b>	<b>1,95</b>

Atliekama svartinė normalizuota matrica  $\overline{P^*}$

$$\overline{P^*} = [\overline{P}] \cdot [q]. \quad (4)$$

čia:  $q$  – rodiklių reikšmingumas

Polistireninio putplasčio EPS 70 svartinė normalizuota matrica pagal medžiagos tankį.

$$\overline{P^*} = 0,14521 \cdot 0,54 = 0,07841$$

Mineralinės vatos SUPEROCK svartinė normalizuota matrica pagal medžiagos tankį.

$$\overline{P^*} = 0,44679 \cdot 0,54 = 0,24127$$

Analogiškus skaičiavimus atliekame su kiekviena šiltinimo medžiaga bei jos vertinimo rodiklio reikšmėmis.

Svertinės normalizuota matricos  $\overline{P}^*$  duomenys

Šiltinimo medžiaga	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
Polistireninis putplastis EPS 70	0,07841	0,50767	0,77893	0,50568	0,71670	0,17324	0,06374	0,76905
Mineralinė vata SUPEROCK	0,24127	0,08461	0,71901	0,33712	0,67796	0,24749	0,06374	0,64088
Celiuliozinė vata	0,36190	0,25383	0,79890	0,97483	0,85229	0,00000	0,63738	0,73060
Ekstruzinis polistireninis putplastis	0,21111	0,50767	0,59918	1,04507	0,60048	0,61873	0,00006	1,10231
Uždarytų porų poliuretano putas	0,21111	0,50767	0,43940	0,70233	0,50363	0,000002	0,06374	0,61524
Polistireninis putplastis Neoporas EPS 70	0,08444	0,50767	0,63912	0,57872	0,63922	0,17324	0,06374	0,82033

Sudarius svertinę normalizuota matricą  $\overline{P}^*$ , nustatoma idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva pagal formules – geriausia (5), blogiausia (6), skaičiavimų duomenys pateikiami 8 lentelėje.

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) nustatomas pagal formulę:

$$a^+ = \left\{ \left[ \left( \max_i \bar{x}_{ij} | j \in J \right), \left( \min_i \bar{x}_{ij} | j \in J' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\} \quad (5)$$

„Idealiai geriausias“ variantas pagal medžiagos tankį

$$a^+ = (0,36190; 0,24127; 0,21111; 0,21111; 0,08444; 0,07841) = 0,07841$$

Analogiškas skaičiavimas ir su kitais šiltinimo medžiagų rodikliais.

„Neigiamai idealus“ variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^- = \left\{ \left[ \left( \min_i \bar{x}_{ij} | j \in J \right), \left( \max_i \bar{x}_{ij} | j \in J' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\} \quad (6)$$

„Neigiamai idealus“ variantas pagal medžiagos tankį

$$a^- = (0,07841; 0,08444; 0,21111; 0,21111; 0,24127; 0,36190) = 0.36190$$

Analogiškas skaičiavimas ir su kitais šiltinimo medžiagų rodikliais.

## 8 lentelė

Idealiai geriausia ir blogiausia alternatyva

Alternatyvų variantai	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
„Idealiai geriausias“ $a^+$	0,07841	0,08461	0,43940	0,33712	0,50363	0,000002	0,00006	0,61524
„Neigiamai idealus“ $a^-$	0,36190	0,50767	0,79890	1,04507	0,85229	0,61873	0,63738	1,10231

Atlikus idealiai geriausios ir blogiausios alternatyvos nustatymą taip pat reikia nustatyti atstumus tarp lyginamųjų ir idealiai geriausių bei blogiausių alternatyvų pagal formules (7) geriausia ir (8) blogiausia, skaičiavimų duomenys pateikiami 9 lentelėje.

Atstumas tarp lyginamojo  $i$  – tojo ir „idealiai geriausio“  $a^+$  varianto nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$  – matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^+)^2}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (7)$$

Atstumas tarp polistireninio putplasčio EPS 70 rodiklių ir „idealiai geriausio“  $a^+$  varianto

$$L_i^+ = \sqrt{\frac{((0,7841 - 0,7841)^2 + (0,50767 - 0,08461)^2 + (0,77893 - 0,43940)^2 + (0,50568 - 0,33712)^2 + (0,71670 - 0,50363)^2 + (0,17324 - 0,000002)^2 + (0,06374 - 0,00006)^2 + (0,76905 - 0,61524)^2)}{}} = 0.65253$$

Analogiškas atstumo skaičiavimas tarp „idealiai geriausio“  $a^+$  varianto ir kitų šiltinimo medžiagų rodiklių.

Tarp  $i$  – tojo ir „neigiamai idealaus“  $a^-$ , pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^-)^2}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

$$L_i^+ = \sqrt{\frac{((0,7841 - 0,36190)^2 + (0,50767 - 0,50767)^2 + (0,77893 - 0,79890)^2 + (0,50568 - 1,04507)^2 + (0,71670 - 0,85229)^2 + (0,17324 - 0,61873)^2 + (0,06374 - 0,63738)^2 + (0,76905 - 1,10231)^2)}{}} = 1,01423$$

Analogiškas atstumo skaičiavimas tarp „neigiamai idealaus“  $a^-$  varianto ir kitų šiltinimo medžiagų rodiklių.

**9 lentelė**

Atstumai tarp lyginamųjų ir idealiai geriausių bei blogiausių alternatyvų

„Idealiai geriausias“	Polistireninis putplastis EPS 70 $L_1^+ = 0,65253$
	Mineralinė vata SUPEROCK $L_2^+ = 0,44840$
	Celiuliozinė vata $L_3^+ = 1,08902$
	Ekstruzinis polistireninis putplastis $L_4^+ = 1,16307$
	Uždarų porų poliuretano putos $L_5^+ = 0,57794$
	Polistireninis putplastis Neoporas EPS 70 $L_6^+ = 0,60974$
„Neigiamai idealaus“	Polistireninis putplastis EPS 70 $L_1^- = 1,01423$
	Mineralinė vata SUPEROCK $L_2^- = 1,18798$
	Celiuliozinė vata $L_3^- = 0,76834$
	Ekstruzinis polistireninis putplastis $L_4^- = 0,72953$
	Uždarų porų poliuretano putos $L_5^- = 1,15764$
	Polistireninis putplastis Neoporas EPS 70 $L_6^- = 0,98612$

Suskaičiavus alternatyvius atstumus tarp lyginamųjų ir idealiai geriausių bei blogiausių, galutinių TOPSIS metodo žingsnių reikia nustatyti kiekvieno  $i$  – ojo varianto santykinius atstumus iki „idealiai geriausio“ varianto pagal (9) formulę, skaičiavimo duomenys pateikti 10 lentelėje.

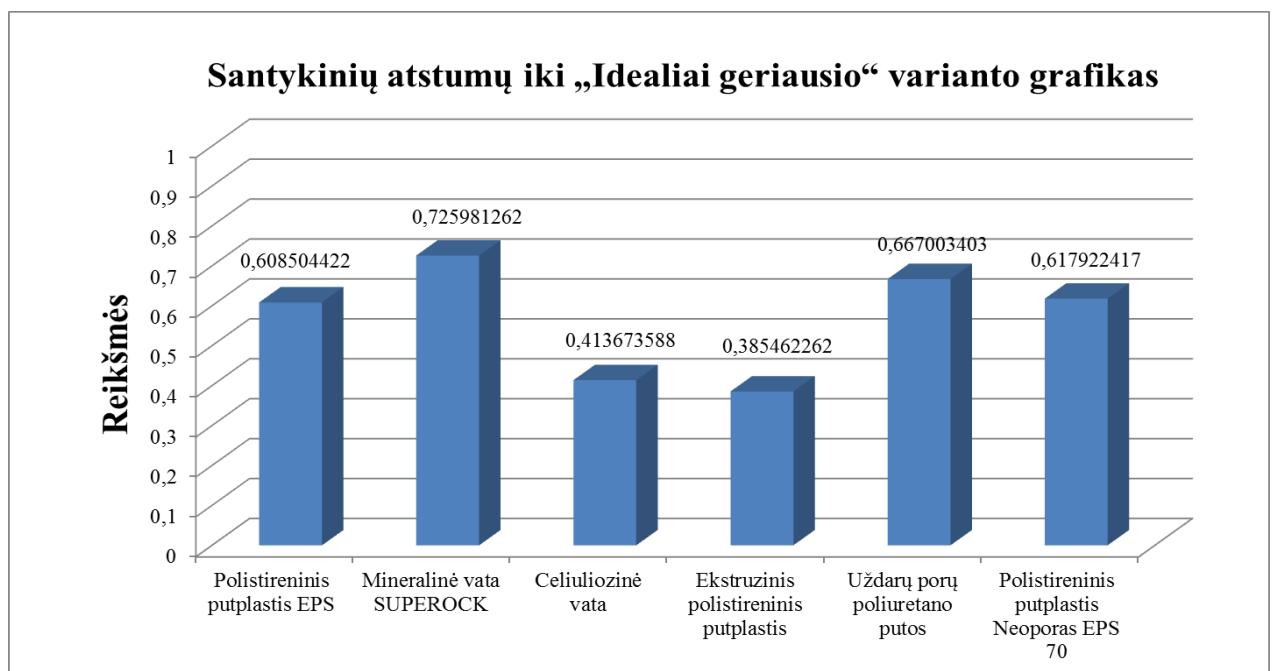
$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (9)$$

$$K_1 = \frac{1.01423}{(0.65253 + 1.01423)} = 0.6085044$$

Analogiškai skaičiuojami ir likę atstumai iki „idealiai geriausio“ varianto.

Santykiniai atstumai iki „Idealiai geriausio“ varianto

Variantai	Prioritetų eilutė
K1 = 0,608504422	4
K2 = 0,725981262	1
K3 = 0,413673588	5
K4 = 0,385462262	6
K5 = 0,667003403	2
K6 = 0,617922417	3

**5.1. pav** Santykinių atstumų iki „Idealiai geriausio“ varianto grafikas

Nagrinėjant palyginimo rezultatus nustatyta, kad šiltinti stambiaplokščius gyvenamuosius namus ant medinio karkaso, kurių išorinė siena yra vienasluoksni 300 mm storio keramzitbartonio plokštė, efektyviausias būdas pasirinkti variantą  $K_2$  – mineralinė vata SUPEROCK 350 mm storio sluoksniu. Apšiltinus, pastatas atitiks pastatų atitvarų šilumos energinio naudingumo A klasės pastatų (sienos) atitvaroms keliamus reikalavimus gyvenamiesiems pastatams.

## 6. IŠVADOS

1. Pateikta TOPSIS metodo skaičiavimo metodika, kurios pagalba nustatyta racionalaus varianto atrankos prioritetų eilutė.
2. Pateiktos pastatų išorės sienų šiltinimo medžiagų galimi pasirinkimo variantai, nustatyti galimų variantų vertinimo rodikliai.
3. Daugiakriterinio vertinimo principu, nagrinėjant palyginimo rezultatus nustatyta, kad efektyviausias variantas yra  $K_2$  – mineralinė vata SUPEROCK 350 mm storio sluoksniu.
4. Mineraline vata SUPEROCK 350 mm storio sluoksniu tarp medinio karkaso apšiltinus stambiaplokščių gyvenamųjų namų vienasluoksnės 300 mm storio keramzitbetonio plokštės sieną, Pastatas tenkins Energijos beveik nevarojančių A energinio naudingumo klasės gyvenamųjų pastatų išorės sienų norminę šilumos perdavimo koeficiento vertę  $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .
5. Su kitomis šiame tiriamajame darbe aptartomis šiltinimo medžiagomis norint pasiekti energijos beveik nevarojančių A energinio naudingumo klasės gyvenamųjų pastatų išorės sienų norminę šilumos perdavimo koeficiento vertę  $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ant medinio karkaso reiktų naudoti: Polistireninio putplasčio EPS 70, 370 mm storio sluoksni; Celiuliozinės vatos, 440 mm storio sluoksni; Ekstruzinio polistireninio putplasčio Finnfoam, 310 mm storio sluoksni; Uždarų porų poliuretano putų, 260 mm storio sluoksni; Polistireninio putplasčio Neoporas EPS 70N 330 mm storio sluoksni.



## 7. LITERATŪROS ŠARAŠAS

1. GAILIUS A., VĖJELIS S. Akustinės ir termoizoliacinės medžiagos. Vilnius, Technika 2012.
2. ČERNIUS M., KULIEŠIUS E., RUTKEVIČIENĖ V., SAVARAUSKIENĖ V. Pastato apdaila. Pastato šiltinimas ir tinkavimas. Apdaila plytelėmis ir apdailos elementų montavimas. Vilnius, Mintis 2008.
3. PAULAUŠKAITĖ S., VALANČIUS K. Statybinė šiluminė fizika. Vilnius, Technika 2012.
4. GUDZINSKAS J., LUKOŠEVIČIUS V., MARTINAITIS V., TUOMAS E. Šilumos vartotojo vadovas. Vilnius, Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija 2011.
5. DRUKTAINIS, D. Alternatyvių energijos šaltinių panaudojimo bei išorinių pastatų atitvarų Lietuvoje modernizacijos galimybių apžvalga. 16-oji Lietuvos Jaunųjų Mokslininkų Konferencija "Mokslas - Lietuvos Ateitis" 2013 Metų Teminė Konferencija "Statyba", 2013 M. Kovo 20-22 D, 16-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija "Mokslas - Lietuvos ateitis" 2013 metų teminė konferencija "Statyba", 2013 m. kovo 20-22 d. Vilnius, Technika, 2013.
6. LYLIKANGAS, K.. Energy efficiency upgrade with prefabricated facade elements the Innova project renovation in Saturnuksenkatu 2, Riihimaki 2012.
7. Prieiga per internetą: <http://termolitas.lt/siltinimo-sistemos-termolitas-technologija> [žiūrėta 2015-11-14].
8. Prieiga per internetą: <http://termolitas.lt/ka-galima-apsiltinti-siltinimos-sistema-termolitas> [žiūrėta 2015-11-17].
9. BALEŽENTIS A., BALEŽENTIS, T. Kaimo darnaus vystymo strateginis valdymas: Daugiakriterinio vertinimo metodai ir integruotas Lietuvos ūkininkų ūkių veiklos efektyvumo vertinimas. 2011.
10. CHURCHMAN, C. W., ACKOFF, R. L., ARNOFF, E. L. Introduction to Operations Research. – New York: Wiley 1957.
11. HWANG, C. L., LIN M. J. Group decision making under multiple criteria: Methods and Applications. Berlin: Springer-Verlag 1987.
12. LIN, Y.-H., LEE, P.-C., CHANG, T.-P., TING, H.-I. Multi-attribute group decision making model under the condition of uncertain information // Automation in Construction. No. 17, 2008.
13. ANTUCHEVIČIENĖ, J., ZAVADSKAS, E. K., ZAKAREVIČIUS, A. Multiple criteria construction management decisions considering relations between criteria // Technological and Economic Development of Economy. No. 16, 2010.

14. STR 2.01.09:2012. „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“. Vilnius, 2012.
15. Prieiga per internetą: [www.isover.lt/Download/26983/Renovacija2009.pdf](http://www.isover.lt/Download/26983/Renovacija2009.pdf) [žiūrėta 2015-11-20].
16. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo.
17. Prieiga per internetą: [http://www.ekspertai.lt/pasyvus\\_namas/straipsniai/neoporas\\_pasyviu\\_namu\\_siltinimui](http://www.ekspertai.lt/pasyvus_namas/straipsniai/neoporas_pasyviu_namu_siltinimui) [žiūrėta 2015-12-01].
18. BERGMAN L., LAVINE S., INCROPERA, P., DEWITT, P. Introduction to Heat Transfer. Wiley; 6 edition, 2011.
19. OHUCHI M., MATSUMOTO M., HOKOI S. Identification of thermal and moisture transport properties of glass fiber insulation, in Proceedings of Symposium on Moisture Problems in Building Walls. Porto (Portugal), 1995.
20. MEŠKAUSKAS J., ENDRIUKAITYTĖ A. Medinių karkasinių namų apšiltinamų elementų konstrukcinės schemos., iš Konferencijos „Statybinės konstrukcijos“ pranešimų medžiaga. Vilnius 1998.
21. BARKAUSKAS V., STANKEVIČIUS V. Pastatų atitvarų šiluminė fizika. Kaunas, Technologija 2000.
22. HAGENTOFT C., E. Introduction to Building Physics. Sweden, 2001.
23. ФОКИН К. Строительная теплофизика ограждающих частей зданий. Москва, 1973.
24. DAY K. C. Risk management of moisture in exterior wall system, in Research in building physics. Antwerpen, Belgium 2003.
25. GARMELIET J., ROELS S. Description of the moisture capacity of building materials, in Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Norwegian University of Sciences and Technology, Trondheim, Norway, June 2002.
26. HANSEN E., HANSEN P., PADFIELD T. Measured moisture properties for alternative insulation products, in 5 th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, ed. Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden 1999.
27. JIRICKOVA M., CERNY R. Hygric and thermal properties of capillary active rock wool thermal insulation, in Proceedings of the 6 th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway 2002.
28. ŠÁLA J., MACHATKA M. Praktinis pastatų sienų šiltinimas : pastatų išorės šiltinimo kompleksinių sistemų taikymas. Praha: Grada Publishing, 2004.
29. Statybos techninis reglamentas STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“. Valstybės žinios, 2005, Nr. 75-2729.