



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

Žydrūnas Meškauskas

**ŠILTINAMOJO SLUOKSNIO ĮTAKA RENOVUOJAMO PASTATO
ENERGIJOS SUVARTOJIMUI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
doc. dr. S. Sušinskas

PANEVĖŽYS, 2016

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

TVIRTINU

Katedros vedėjas
Doc. dr. Arūnas Tautkus

**ŠILTINAMOJO SLUOKSNIO ĮTAKA RENOVUOJAMO PASTATO
ENERGIJOS SUVARTOJIMUI**

Magistro baigiamasis projektas
Statyba (kodas 621J80001)

Vadovas

doc. dr. Saulius Sušinskas

2016-01-06

Recenzentas

dr. Loreta Kelpšienė

2016-01-06

Projektą atliko

Žydrūnas Meškauskas

2016-01-06

PANEVĖŽYS, 2016

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

Tvirtinu:

Technologijų
katedros vedėjas

(parašas, data)

Arūnas Tautkus

(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa STATYBA (621J80001)**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju darbu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: „Šiltinamojo sluoksnio įtaka renovuojamo pastato energijos suvartojimui“. Patvirtinta 2015 m. 12 mėn. 01 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-13-52

2. Darbo tikslas: Atlikti šiltinamojo sluoksnio įtakos analizę, renovuojamo pastato energijos suvartojimui.

3. Darbo struktūra: Pagal magistrinio darbo reikalavimus.

4. Reikalavimai ir sąlygos: Turi atitikti magistriniam darbui keliamus reikalavimus.

5. Darbo pateikimo terminas 2016 m. _____ 01 _____ mėn. 06 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui: Žydrūnui Meškauskui

Užduotį gavau _____
(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Vadovas _____
(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Žydrūnas Meškauskas

(Studento vardas, pavardė)

Statyba 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Šiltnamojo sluoksnio įtaka renovuojamo pastato energijos suvartojimui“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. sausio 06 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Žydrūno Meškausko**, baigiamasis projektas tema „Šiltnamojo sluoksnio įtaka renovuojamo pastato energijos suvartojimui“ 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)

Turinys

SANTRAUKA	6
SUMMARY	7
ĮVADAS	8
1. TEORINĖ-ANALITINĖ DALIS	9
1.1. Pastatų renovacijos tikslai.	9
1.2. Daugiabučių pastatų renovacija Lietuvoje.	10
1.3. Konstrukciniai sprendimai, taikomi renovuojant pastatus.....	11
1.4. Daugiabučių pastatų renovacija užsienio šalyse.....	11
2. MEDŽIAGOS IR TECHNOLOGINIAI SPRENDIMAI, TAIKOMI PASTATŲ MODERNIZAVIMO METU	13
2. 1. Pastatų išorinių sienų šiltinimas	13
2. 2. Tinkuojama šiltinimo sistema	14
2. 3. Išorinė vėdinama šiltinimo sistema	16
2. 4. Renovacijose naudojamos termoizoliacinės medžiagos.....	18
2. 5. Termoizoliacinių sistemų defektai fasaduose.....	19
2. 6. Šiltinimo sistemos termoizoliacinės medžiagos pasirinkimas	22
3. TIRIAMOJI DALIS	24
3. 1. Analitinė šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficiento nustatymo metodika ir skaičiavimas	24
3.2. Tyrime analizuotų pastatų charakteristikos.....	29
3.3. Renovuotų pastatų teorinio bei faktinio šilumos energijos suvartojimo analizė.....	34
3.4. Ryšys tarp faktinio ir teorinio šilumos energijos suvartojimo.	40
IŠVADOS.....	42
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	43
PRIEDAI	45

SANTRAUKA

Meškauskas Ž., „Šiltinamojo sluoksnio įtaka renovuojamo pastato energijos suvartojimui“
Magistro baigiamasis projektas / Vadovas doc. dr. S. Sušinskas; Kauno Technologijos
Universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Technologijų katedra. Panevėžys. 2016,
58 psl.

Baigiamajame magistro darbe apžvelgtos dviejų rūšių šiltinamosios medžiagos, jų įrengimo technologijos, sudedamosios dalys. Išnagrinėti veiksniai, lemiantys skirtingų technologijų šiltinamųjų sluoksnių įrengimo pasirinkimus. Pagal atliktą tyrimą išanalizuoti aštuonių renovuotų pastatų, šilumos energijos suvartojimo kiekiai prieš pastatų modernizavimą ir po jo. Tyrimas atliktas keturiems modernizuotiems pastatams apšiltintiems polistireniniu putplasčiu bei keturiems apšiltintiems mineraline vata. Pagal gautus duomenis pateikti grafiniai energijos suvartojimo palyginimai bei pateiktos padarytos išvados.

SUMMARY

Zydrunas M., „The heat insulation layer influence on the energy consumption of a renovated building”, Master final work / supervisor doc. dr. S. Susinskas, Kaunas University of Technology, Panevezys faculty of technologies and business, Department of technology. Panevezys. 2016, 58 p.

In the final master work was reviewed the heat insulation of two types of materials, their installation technology and components. Examine the factors that determine the different layers installation choices of the heat insulation technology. According to the investigation was analyzed eight renovated buildings, thermal energy consumption amounts before and after the modernization. The investigation was conducted by four upgraded buildings insulated with foam polystyrene and four insulated with mineral wool. According to the data presented graphic energy consumption comparisons and submitted conclusions.

IVADAS

Nesustabdomai augančios energetinių resursų kainos, tampa vis didesne priežastimi atkreipti dėmesį į energijos vartojimo efektyvumą didinimą, kurio didžioji dalis tenka pastatams.

Lietuvos šilumos tiekėjų asociacijos duomenimis, norint pagaminti 1 kWh šilumos, reikia sudeginti apie 100 gramų kuro (skaičiuojant naftos ekvivalentu, kai katilo naudingumo koeficientas yra apie 86 %). Jei buto šildymui per mėnesį buvo suvartota 1300 kWh šilumos energijos, skaičiuojant naftos ekvivalentu, tam buvo sunaudota apie 130 kg kuro [1].

Seni daugiabučiai pastatai, statyti vadovaujantis šiuo metu technologiškai pasenusiais reikalavimais sunaudoja ypatingai daug šiluminės energijos. Šiuolaikinių Lietuvos statybos techninių reglamentų reikalavimų tokie pastatai jau nebetenkina, todėl rengiami kompleksinio pastatų atnaujinimo projektai. Pagrindinė priemonė energijos taupymui - pastatų modernizavimas, naudojant energetinį naudingumą didinančias priemones. Viena iš pagrindinių priemonių, kad pastatas būtų ekonomiškai visą jo eksploatacinį laikotarpį, visos pastato išorinės konstrukcijos turi būti labai gerai termiškai izoliuotos. Kad išvengtų šalčio tiltų cokolis, nišos, kampai, konstrukcijų jungtys turi būti tinkamai suprojektuotos ir apšiltintos.

Darbo tikslas: Atlikti šiltinamojo sluoksnio įtakos analizę, renovuojamų pastatų energijos suvartojimui.

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgti pagrindines pastatų šiltinamųjų sluoksnių įrengimo technologijas, sudedamąsias dalis bei medžiagas.
- Išnagrinėti veiksnius, lemiančius skirtingų technologijų šiltinamųjų sluoksnių įrengimo pasirinkimus bei atsirandančius pagrindinius defektus.
- Pagal atliktą tyrimą išanalizuoti renovuotų pastatų, šilumos energijos suvartojimo kiekius prieš renovaciją ir po jos.
- Pateikti grafinius energijos suvartojimo palyginimus bei pateikti padarytas išvadas.

1. TEORINĖ-ANALITINĖ DALIS

1.1. Pastatų renovacijos tikslai.

Modernizuojant tiek morališkai, tiek technologiškai pasenusius daugiabučius pastatus, dažniausiai taikomi du būdai. Pirmasis būdas, ne toks populiarus Lietuvoje, kadangi reikalinga nugriauti senus pastatus ir jų vietoje atsiradusioje erdvėje pastatyti naują statinį. Antrasis būdas labiau paplitęs Lietuvoje, pritaikius šiuolaikinius Lietuvos techninių reglamentų reikalavimus, – senų pastatų atnaujinimas. Renovuojamų pastatų sąnaudos yra iki aštuonių kartų mažesnės nei naujai statant pastatą, nes pastatų pagrindinių laikančiųjų konstrukcijų ir didžiosios konstrukcinės dalies keisti nereikia.

Lietuvoje vyrauja įvairių tipų daugiabučiai pastatai, kuriuose gyvena didžioji gyventojų dalis. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija yra parengusi daugiabučių pastatų, suskirstytų pagal energinį efektyvumą, sąrašą, kuriame šildymui suvartota šilumos energija pateikta vienam mėnesiui (1.1.1 lentelė) [2].

1.1.1 lentelė. Daugiabučių pastatų klasifikacija pagal šilumos energijos suvartojimą.

Eil. Nr.	Daugiabučių pastatų tipai	Šildymui suvartota šiluma, kWh/m ²	Butų kiekis, tūkst.	Gyventojų kiekis šiuose butuose, mln.	Pastatų kiekis, %
1	2	3	4	5	6
1.	Daugiabučiai, suvartojantys mažiausiai šilumos energijos	7	40	0,12	6,7
2.	Daugiabučiai, suvartojantys mažai arba vidutiniškai šilumos energijos	16	110	0,32	12,3
3.	Daugiabučiai, suvartojantys daug šilumos energijos	24	370	1,10	40,7
4.	Daugiabučiai, suvartojantys labai daug šilumos energijos	36	147	0,44	20,4

Lietuvoje apytiksliai 1,44 mln. piliečių gyvena apie 507 tūkst. butų turinčiuose daugiabučiuose pastatuose, kurių būklė šilumos energijos suvartojimo atžvilgiu labai prasta.

Didelė dalis tokių pastatų statyta daugiau nei prieš trisdešimt metų, o jų termoizoliacinės bei higienos savybės nebeatitinka Lietuvos techninių reglamentų reikalavimų. Atlikus daugiabučių namų tyrimus, be kitų defektų, tokių kaip balkonų susidėvėjimas, langų nesandarumas, siūlių tarp blokų ištrupėjimas, nustatyta, jog išorės apdaila bei stogo danga smarkiai susidėvėjusios. Būtent dėl šių pagrindinių konstrukcijų įtakos gaunami dideli šilumos energijos nuostoliai. Tokius pastatus būtina renovuoti, siekiant sumažinti energijos sunaudojimo kaštus. Tokios renovacijos investicijos lyginamos viena su kita bei skaičiuojami finansiniai sutaupymai, kuriais remiantis skaičiuojami finansiniai projektų rodikliai. Šis modernizavimo investicijų efektyvumo vertinimo modelis

taikomas ir pristatant modernizavimo projektų naudą, atliekant modernizavimo programos monitoringą. Pasak kai kurių autorių, tikslesniam modernizavimo projektų į modernizavimo naudos daugialypiškumą neapsiribojant vien energetiniu efektyvumu [3]. Pastato modernizavimas ne tik pagerina pastato konstrukcijų būklę, bet ir pailgina eksploatacinę trukmę. Renovacijos pasirinkimas turi priklausyti nuo miesto infrastruktūros bei strateginių miesto teritorijų plėtros planų. Taip pat pačių statinių bei juos supančios aplinkos būklės, renovacijos kaštų, prognozuojamos sutaupomos energijos kiekio bei butų rinkos vertės padidėjimo. Tokios analizės atlikimas yra gana sudėtingas, kadangi nagrinėjant realius renovacijų projektus, randama reikšmingų klaidų, atliekant skaičiavimus vien dėl investicijų atsiperkamumo.

1.2. Daugiabučių pastatų renovacija Lietuvoje.

Iki 2020-ųjų metų Lietuva turi įgyvendinti daugiabučių pastatų renovacijos strategijos programą. Tokių pastatų būstų savininkai skatinami renovuoti juos, grindžiant tuo, kad po modernizavimo pagerėja gyvenimo kokybė, sumažėja energetinių išteklių sunaudojimas, kuris sumažina išlaidas būstui išlaikyti. Programa pradėta įgyvendinti 2004 m. bei keletą kartų atnaujinta. Šios programos naujausia redakcija įsigaliojo 2009m., o jos pagrindiniai uždaviniai tokie:

- Efektyvių modernizavimo projektų įgyvendinimas, teikiant valstybės paramą daugiabučių statinių būsto savininkams.
- Teikti kuo daugiau informacijos, konsultacijų bei kurti tipinius ir demonstracinius projektus.

Tęsiant naujojo daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) finansinio modelio įgyvendinimą, 2014 m. parengti ir suderinti 3404 investiciniai projektai, sudaryta 989 statybos rangos darbų sutartys. Taip pat finansų įstaigos pasirašė 729 daugiabučių namų atnaujinimo paskolos sutartis. Pritarta 1578 projektų finansavimui. Skaičiuojamosios šilumos energijos sąnaudos daugiabučiuose namuose, pastatytuose pagal galiojusius 1993 m. statybos techninius normatyvus, nuo 2005 m., pagal 2014 m. preliminarinius duomenis sumažintos apie 270 GWh (planuota 211 GWh). 2014 m. lapkričio mėn. patvirtinta Viešųjų pastatų energinio efektyvumo didinimo programa. 2015 m. planuojama įgyvendinti ne mažiau kaip 550 daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) projektų, sumažinant atnaujintų (modernizuotų) namų šilumos energijos sąnaudas apie 50 GWh. Planuojama, kad skaičiuojamosios šilumos energijos sąnaudos daugiabučiuose namuose, pastatytuose pagal galiojusius 1993 m. statybos techninius normatyvus, 2015 m. bus sumažintos apie 277 GWh. Taip pat planuojama koordinuoti daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos įgyvendinimą, tikslinti teisės aktus, siekiant užtikrinti tinkamą modernizavimo proceso valdymą ir atliekamų darbų kokybę [4].

1.3. Konstrukciniai sprendimai, taikomi renovuojant pastatus.

Tipiniuose renovacijos projektuose, kurie vykdomi Lietuvoje būtent modernizuojant daugiabučius statinius, naudojami trys pagrindiniai išorės sienų apšiltinimo bei jų apdailos variantai: tinkuojama sistema su akmens vatos plokštėmis, tinkuojama sistema su polistireninioputplasčio plokštėmis ir vėdinama fasadų sistema.

- Sudėtinė termoizoliacinė sistema su tinkuojama išore. Pastatų fasadai apšiltinami akmens vatos plokštėmis. Apdaila – fasadinis dekoratyvinis tinkas.
- Sudėtinė termoizoliacinė sistema su tinkuojama išore. Pastatų fasadai apšiltinami polistireninioputplasčio (EPS) plokštėmis. Apdaila – fasadinis dekoratyvinis tinkas.
- Fasadai apšiltinami šilumos izoliacijos dviem sluoksniais – pirmas sluoksnis kietos akmens vatos plokštės, antras sluoksnis akmens vata su vėjo izoliacija. Apdailai naudojamos ant metalinio karkaso tvirtinamos fasadinės apdailos plokštės.

1.4. Daugiabučių pastatų renovacija užsienio šalyse.

Kiekvienoje šalyje yra skirtingi statybos reglamentai ar higienos normos. Pagal šalyje vykdomą energetikos politiką, šalies padėtį klimato zonoje bei ekonominę situaciją, priklauso statybos reglamentų reikalavimai. Žemiau pateiktoje lentelėje (1.3.1 lentelė) matome skirtingų Europos šalių norminės maksimalios šilumos koeficientų perdavimo reikšmes modernizuojant pastatus.

1.3.1 lentelė. Europos šalių norminės maksimalios šilumos perdavimo koeficientų reikšmės.

	Koeficientų įsigaliojimo metai	Stogai	Sienos	Perdangos, kurios ribojasi su išore
1	2	3	4	5
Lietuva	2005	0,16	0,20	0,16
Danija	2010	0,15	0,20	0,12
Čekija	2007	0,24	0,38	-
Vokietija	2009	0,20	0,24	-
Latvija	2003	0,20	0,25	-
Švedija	2009	0,13	0,18	-
Suomija	2010	0,09	0,17	-
Lenkija	2008	0,25	0,30	-

Pastatų energinio naudingumo direktyvos Energy Performance of Building Directive (EPBD), išleistos 2006m., turi laikytis visos Europos Sąjungos šalys, vadinasi, ir Šveicarija bei Norvegija. Kol direktyva nebuvo išleista ir patvirtinta, reikalavimai energiniam efektyvumui gerinti ir skaičiavimo metodai visose šalyse buvo skirtingi.

Kasmet visos šalys stengiasi peržiūrėti ir griežtinti savo šalies statybos reglamentus tiek naujiems statomiems pastatams, tiek renovuojamiems. EPBD direktyvoje reikalaujama:

- Reglamentų energiniam efektyvumui gerinti atnaujinimas kas penkerius metus.
- Energinio naudingumo sertifikatas visiems naujai statomiems, parduodamiems, nuomojamiems pastatams negali būti senesnis negu dešimt metų.
- Visi statiniai, kurių atliekama kapitalinė modernizacija, turi būti atnaujinami, kad atitiktų naujausius energijos suvartojimo efektyvumo standartus.
- Identiški energijos nuostolių nustatymo mechanizmai bei vienodi skaičiavimai privalo nustatyti viso statinio energijos suvartojimą.
- Reguliarus inžinerinių sistemų bei prietaisų tikrinimas.

Vokietijoje, 2004–2009 metais renovuotiems pastatams leistinas energijos suvartojimas buvo 110–160 kWh/m²/a. Nuo 2009 m. rugsėjo mėn. šis intervalas sumažėjo iki 75–110 kWh/m²/a [6]. Naujos statybos pastatų reikalavimai keliami analogiškai kaip ir visiškai renovuojamiems statiniams. Statinių išorės sienų šiltinimui dažniausiai taikoma tinkuojama šiltinimo sistema su 100–160 mm storio šilumą izoliuojančios medžiagos sluoksniu. Vyraujančios apšiltinimo medžiagos – akmens vata, ekstrudinis polistirenisputplastis (XPS) ir polistirenisputplastis (EPS). Statybos reglamentai Danijoje reikalauja, kad modernizuojamų statinių išorinių atitvarų šiluminės savybės turi būti sulygintos su naujų statinių išorinių atitvarų lygiu. Šio reikalavimo atsisakoma, kadangi pridėtinės išlaidos, atliekant modernizavimo darbus, turi būti tiek statinio savininkams, tiek nuomininkams ekonomiškai atsiperkančios visą pastato eksploatavimo laiką. 2006 m. Švedija nustatė maksimalią šiluminio laidumo vertę statinių atitvarams bei maksimalų energijos suvartojimo kiekį.

2. MEDŽIAGOS IR TECHNOLOGINIAI SPRENDIMAI, TAIKOMI PASTATŲ MODERNIZAVIMO METU

Geras patalpų mikroklimatas glaudžiai susijęs su pastato išorės sienų izoliacinėmis medžiagomis bei technologiniais sprendimais, įrengiant visą išorės sienų termoizoliacinį sluoksnį. Toks sluoksnis saugo ne tik nuo šalčio, kritulių, stiprių vėjų, bet ir nuo triukšmo, ugnies.

2.1. Pastatų išorinių sienų šiltinimas

Renovuojant ar statant naujus pastatus labiausiai statinio energinį efektyvumą nulemia pastato išorinių sienų apšiltinimas. Termoizoliaciniam sluoksniui įrengti yra įvairių sprendimų, todėl norint tinkamai atlikti pastato modernizavimą svarbu parinkti labiausiai pastatui tinkamą išorinių sienų apšiltinimo būdą. Šiltinant pastato išorinius atitvarus iš išorės atitvarai apsaugomi nuo aplinkos temperatūros svyravimų ir kitokio išorinio poveikio. Šiltinant iš išorės laikančiųjų atitvarų temperatūra išlieka panaši kaip ir patalpos temperatūra, todėl atitvarai žiemą neperšąla, vasarą neperkaista [7].

Atnaujinant daugiabučius pastatus, kurie nėra įtraukti į architektūros vertybių registrus, išorinių sienų šiltinimui naudojamos dvi termoizoliacinės sistemos įrengimo technologijos. Įrengiant kompleksinę vėdinamą termoizoliacinę sienų šiltinimo sistemą ir įrengiant sudėtinę klijuojamą termoizoliacinę sistemą su tinko apdaila. Prieš pasirenkant sienos apšiltinimo mazgą, reikia įvertinti:

- Ar vėdinamas oro tarpas yra būtinas sienos konstrukcijoje, jei jis yra.
- Ar po sienos apšiltinimo reikės papildomai vėdinti sienos konstrukciją.

Ekonomiškai efektyviam termoizoliacinio sluoksnio storiui parinkti šiltinant išorines pastatų sienas siūloma daug modelių, skirtų įvairioms klimato sąlygoms. Optimalus termoizoliacinės medžiagos storis priklauso nuo ekonominių ir fizinių faktorių: infliacijos lygio, energijos kainų, sienų konstrukcijos, termoizoliacinės medžiagos savybių [8].

Išorinių sienų termoizoliacijos efektyvumas priklauso nuo daugelio faktorių: šiluminės renovacijos kainos, termoizoliacinės medžiagos ir sienos sukibimo stiprio, šilumos laidumo koeficiento, armavimo sluoksnio stiprio, sukibimo stiprio tarp armuojančiojo sluoksnio ir termoizoliacinės medžiagos, tempiamojo armuojančiojo sluoksnio stiprio, gniuždomojo apdailinio sluoksnio stiprio, apdailinio sluoksnio vandens įgeriamumo, ilgaamžiškumo, laiko įrengiant sistemą sąnaudų.

Cirkuliacija, vykdant šiltinimo darbus labai svarbi sąvoka, kadangi reikia įvertinti šilumos, drėgmės bei oro judėjimą. Medžiagos šiluminiam laidumui drėgmė turi didelės įtakos. Vandens šiluminio laidumo koeficientas yra apie dvidešimt kartų didesnis nei oro, o ledo – apie keturis kartus didesnis už vandens. Medžiagai sudrėkus, vyksta difuzijos procesas. Drėgmė išstumia iš porų orą ir jas užpildo vandeniu. Dėl šios priežasties suprastėja medžiagos izoliacinės savybės (ST 121895674.06:2009).

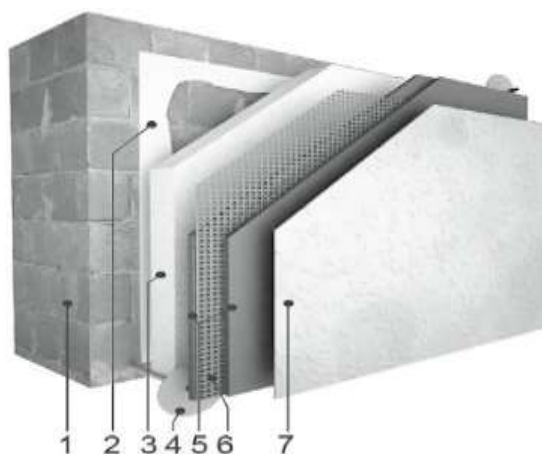
Į termoizoliacinį sluoksnį, kai konstrukcija nevėdinama, o pats sluoksnis ribojasi su išoriniu apdailos sluoksniu, vandeniu patenka dviem būdais. Vandens garai šildymo sezonu metu praeinantys pro konstrukciją, gali kondensuotis esant žemoms temperatūroms ant medžiagos karkaso arba ant konstrukcinio sluoksnio paviršiaus, esančio už termoizoliacinio sluoksnio. Kitu atveju kapiliarinių jėgų ir vėjo slėgio veikiamas lietaus vanduo, gali prasiskverbti pro išorinį apdailos sluoksnį ir tokiu būdu sudrėkinti termoizoliacinę medžiagą. Vandens įgeriamumas priklauso ne tik nuo kapiliarinių apdailinio sluoksnio savybių, bet ir nuo apdailos sluoksnyje esančių įtrūkimų kiekio ir dydžio. Sienos paviršiuje susidariusi išsivienijusi vandens plėvelė, vėjas stumia vandenį į plyšius ir siūles tarp konstrukciją sudarančių elementų [9].

2. 2. Tinkuojama šiltinimo sistema

Energiniam efektyvumui pagerinti išorinė kompleksinė termoizoliacinė sistema yra viena iš dažniausiai taikomų sistemų. Tokios sistemos pagrindinis uždavinys – termoizoliacinių savybių didinimas, užtikrinantis statiniams keliamus išorinių atitvarų šiluminio laidumo reikalavimus, kurie įtakoja energijos suvartojimo kiekius.

Tinkuojamą šiltinimo sistemą (2.2.1 pav.) sudaro:

- klijai;
- termoizoliacinė medžiaga;
- smeigės;
- armuotas tinkas;
- armavimo tinkelis;
- išorinis apdailos sluoksnis.

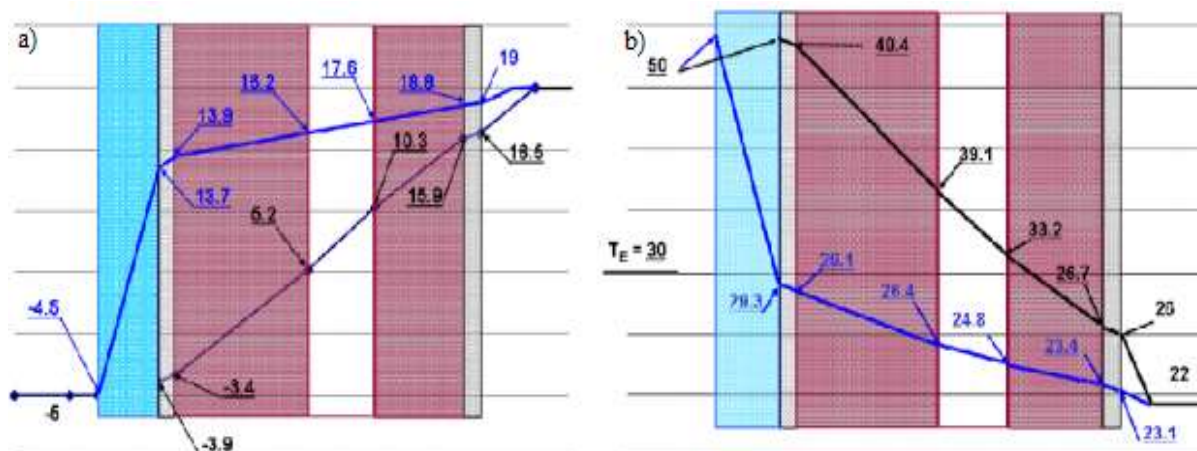


2.2.1 pav. Tinkuojamoji šiltinimo sistema:

1 – siena; 2 – klijai; 3 – termoizoliacinė medžiaga; 4 – smeigė; 5 – armuotas tinkas; 6 – armavimo tinklelis; 7 – apdailos sluoksnis [13].

Armuojančiam sluoksniui dažniausiai naudojamas stiklo pluošto armuojantis tinklelis. Termoizoliaciniam sluoksniu naudojamas polistireninis putplastis (EPS) arba akmens vata.

Tokia išorės atitvarų apšiltinimo sistema leidžia sumažinti temperatūrų skirtumą sienų viduje (2.2.2 pav.). Dėl sumažėjusių temperatūrinių skirtumų, pagerėja išorės atitvaro laikančiojo sluoksnio mechaninės savybės. 2.2.2 pav. matyti, kad įrengus termoizoliacinį sluoksnį didžiausias temperatūrų skirtumas iš laikančiosios sienos konstrukcijos pereina į termoizoliacinę medžiagą. Norint pasiekti optimalų sistemos darbą, reikia užtikrinti tvirtą sąryšį tarp termoizoliacinės medžiagos bei sienos. Tyrimais nustatyta, kad dėl temperatūrų skirtumo atsirandantys vidiniai įtempimai sienos laikančiojoje dalyje po termoizoliacinio sluoksnio įrengimo gali būti sumažinti iki 75 % [10]. Patalpose jaučiamas padidėjęs komforto lygis, kadangi vidinių konstrukcijų paviršių temperatūra tampa beveik lygi patalpos oro temperatūrai.



2.2.2 pav. Temperatūrų skirtumai sienų viduje:

a) žiema, b) vasara. Mėlyna linija – su termoizoliaciniu sluoksniu, juoda be termoizoliacinio sluoksnio

Nekokybiškai atliktas termoizoliacinio sluoksnio įrengimas sukelia ir fasadų pažeidimus. Neįvertinamas blogas termoizoliacinės medžiagos ir laikančiosios konstrukcijos sukibimas. Tinko sluoksnyje nepanaudojami atitinkami priedai apsaugantys nuo mikrobiologinio poveikio ar kondensato susidarymo. Neužtikrintas tinkamas paviršių drenavimas. Nuo fasado nepašalinti seni dažai, atšokusio tinko gabalai, apšvietimo įranga, seni lietvamzdžiai taip pat sukelia fasadų defektus.

Negalima termoizoliacinių plokščių klijuoti esant tiesioginiam saulės apšvietimui arba lyjant. Šie darbai turi būti atliekami esant (+5–25)°C temperatūrai [11].

Įrengiant šilumos izoliacinį sluoksnį būtina:

- tinkamai pritvirtinti termoizoliacinę medžiagą prie šiltinamos atitvaros paviršiaus;
- termoizoliacinės medžiagos plokštės turi perdengti viena kitos siūles;
- vėjo izoliacinės plokštės iš akmens vatos turi perdengti visas plokščių siūles ir glaudžiai prie jų priglusti;
- termoizoliacinė medžiaga turi būti tvirtinama ištaisai be jokių tarpų;
- siūlės turi būti švarios, neužterštos kliajais ar skiediniu;
- plyšius, kurių neįmanoma išvengti montuojant termoizoliacines plokštes reikia užpildyti montažinėmis putomis arba ta pačia termoizoliacine medžiaga;
- termoizoliacinių plokščių siūlės uždengiamos garo izoliacine juosta, jei naudojamas polistireninis putplastis (EPS);
- mineralinės vatos termoizoliacinis sluoksnis dengiamas garo izoliacine medžiaga visu paviršiumi.

Tarp termoizoliacinės medžiagos ir sienos paviršiaus gali atsirasti ertmių, kadangi senų pastatų sienos būna nelygios. Montuojant šilumos izoliacinį sluoksnį reikia visas ertmes užpildyti termoizoliacinėmis medžiagomis, kadangi to nepadarius suprastės konstrukcijos šiluminė varža.

2. 3. Išorinė vėdinama šiltinimo sistema

Išorinę vėdinamą termoizoliacinę sistemą (2.3.1 pav.) sudaro šios dalys:

- sienos laikančioji konstrukcija;
- termoizoliacinis sluoksnis;
- karkasas;
- vėjo izoliacinis sluoksnis;

- vėdinamas oro tarpas;
- išorės apdailos sluoksnis.



2.3.1 pav. Išorinė vėdinama šiltinimo sistema:

1 – siena; 2 – termoizoliacinė medžiaga; 3 – karkasas; 4 – vėjo izoliacinis sluoksnis; 5 – oro tarpas; 6 – išorinis apdailos sluoksnis [12]

Išorinė vėdinama termoizoliacinė sistema nesukelia papildomų išlaidų sienų išlyginimui, kadangi to daryti nereikia, nes visi sienų nelygumai kompensuojami karkaso sistemomis, ant kurių tvirtinamos fasadinės plokštės. Karkasui dažniausiai naudojami nerūdijančio plieno profiliai. Metalinis laikantysis karkasas sukuria šilumos tiltelius, dėl kurių suprastėja visos konstrukcijos šiluminė varža, kad to neatsitiktų, o šilumos nuostolių būtų kuo mažiau rekomenduojama naudoti medinių tašų karkasą. Medinis tašų karkasas turi būti gerai apsaugotas nuo drėgmės poveikio, kad jame neįsiveistų įvairūs mikroorganizmai, todėl būtina jį gerai impregnuoti.

Įrenginėjant išorines vėdinamas termoizoliacines sistemas tarp išorinių apdailos plokščių gali būti paliekami siauri 8-10 mm pločio tarpai. Šiltuoju metų laiku atviri tarpai neleidžia įkaisti visai sienos termoizoliaciniai konstrukcijai, nes fasadas yra gerai vėdinamas. Tačiau žiemą, dėl nedidelės saulės spinduliuotės, atvirų siūlių sistema pasižymi prastesnėmis šilumos izoliacinėmis savybėmis, nei uždarytų siūlių sistemos. Sistemose, kuriose nepaliekami tarpai tarp fasadinių apdailos plokščių, vėdinimo ertmės įrengiamos termoizoliacinės konstrukcijos fasadų apačioje bei viršuje. Skirtingais metų laikais termoizoliacinės sistemos pasižymi skirtingomis šilumos sugėrimo ir izoliacijos savybėmis. Vasaros metu sistema su atviromis siūlėmis sugeria apie 26 proc. mažiau saulės energijos spindulių nei sistema su uždaromis siūlėmis. Žiemos sezono metu vėdinamos sistemos su atviromis siūlėmis praranda net apie 50 % daugiau šilumos energijos lyginant su sistema be siūlių.

Šiluminio laidumo savybes gali neigiamai įtakoti per atviras vėdinamų fasadų siūles į sistemą patekę įvairūs teršalai bei atmosferinė drėgmė.

2. 4. Renovacijose naudojamos termoizoliacinės medžiagos

Šių dienų statybos sektoriaus rinka siūlo gana platų termoizoliacinių medžiagų pasirinkimą, kuris priklauso nuo daugybės veiksnių. Keletas pagrindinių veiksnių yra:

- statybos aplinka;
- keliami techniniai statybiniai reikalavimai;
- medžiagų kaina.

Termoizoliacinės medžiagos tarpusavyje gali būti sujungiamos smeigėmis arba klijuojamos išlaikant medžiagos vientisumą. Svarbiausia, jog būtų išvengta šilumos energijos nuostolių. Taip pat drėgmė gali pažeisti sienos laikančiąsias konstrukcijas dėl rasos taško susidarymo jų viduje, jei netinkamai buvo suprojektuotos išorinės atitvaros. Kintant aplinkos sąlygoms, keičiasi ir šiltinimo medžiagų savybės.

Drėgmės kiekis, aplinkos temperatūra ir mineralinės vatos tankis, tai pagrindinės savybės, kurios įtakoja mineralinės vatos šiluminį laidumą. Mineralinės vatos šiluminis laidumas padidėjus medžiagos drėgnumui nuo 0 proc. iki 10 proc. taip pat padidėja nuo 0,037 W/(m·K) iki 0,055 W/(m·K).

Mineralinė vata yra atspari mechaniniams, biologiniams ir cheminiams veiksniams, taip pat jos panaudojimas apima labai platų temperatūrų intervalą. Hidrofilinės mineralinės vatos savybės, gali sukelti pakankamai daug problemų, padidindamos šilumos laidumo koeficientą. Įmirkusi termoizoliacinė medžiaga neigiamai veikia mineralinės vatos pluoštą suklijavusias dervas, o pačios termoizoliacinės medžiagos sumažėję tempiamasis ir gniuždomasis stipriai, gali sukelti visos izoliacinės sistemos pažeidimus.

Vasaros sezono metu, drėgmės poveikis mineralinės vatos šiluminiam laidumui neturi, kadangi vanduo išgaruoja, esant pakankamai aukštomis atmosferinės aplinkos temperatūroms. Kitais metų laikais, kai vyrauja santykinai didelis drėgmės kiekis ir žemos aplinkos temperatūros, vanduo ypač pablogina šios termoizoliacinės medžiagos savybes.

Vėdinamų sienų konstrukcijų termoizoliaciniuose sluoksniuose vandens garų kondensacija pasitaiko labai retai. Nevėdinamų sienų mineralinės vatos sluoksnyje dažnai susidaro sąlygos vandens garų kondensatui kauptis, taip pat ši medžiaga gali sudrėkti nuo drėgmės, atsirandančios ant apdailos sluoksnio vidinio paviršiaus jo perlijimo metu [9].

Polistireninio putplasčio, tarptautiniu sutrumpinimu dar vadinamo EPS, šiluminis laidumas priklauso nuo tokių pat savybių kaip ir mineralinės vatos. EPS šiluminis laidumas padidėjus medžiagos drėgnumui nuo 0 proc. iki 10 proc. taip pat padidėja nuo 0,036 W/(m·K) iki 0,054 W/(m·K). Polistireninis putplastis, gaminamas iš polistireno granulių, jas išpučiant bei sulydant tarpusavyje. Tai efektyvi šilumą izoliuojanti medžiaga, pasižyminti tvirtumu, porėtumu bei prastai įgerianti vandenį, kadangi polistireninis putplastis visiškai panardintas į vandenį absorbuoja tik nuo 2 iki 4 proc. vandens.

EPS plokštės įmirksta visiškai nežymiai, aplinkos drėgnumui pasikeitus iki 80 proc., tačiau pasiekus pasiekus 100 proc. drėgnumą, medžiagos įmirkimas smarkiai padidėja. Kuo mažesnis EPS plokščių tankis, tuo labiau jos įmirksta. Skirtumas tarp išmatuotų vidutinių šilumos laidumo koeficientų verčių, laikant EPS plokštes normaliose sąlygose ir 80 proc. drėgmės ore buvo gautas 0,0016 W/(m·K). (Normalios sąlygos – 50 proc. oro drėgmė). Aplinkos drėgniui pakilus iki 97 proc., šilumos laidumo koeficientas padidėja 0,002 W/(m·K) lyginant su deklaruojama verte. Lyginant šilumos laidumo rezultatus tarp normaliose sąlygose ir vandenyje laikyto polistireninio putplasčio plokščių, gautas skirtumas yra 0,006 W/(m·K) [16].

Ekstruzinio polistireninio putplasčio, tarptautiniu sutrumpinimu vadino XPS, šiluminis laidumas priklauso nuo aplinkos temperatūros, drėgmės kiekio ir medžiagos tankio. Ekstruzinio polistireninio putplasčio šiluminis laidumas padidėjus medžiagos drėgnumui nuo 0 proc. iki 10 proc. taip pat padidėja nuo 0,034 W/(m·K) iki 0,044 W/(m·K). Kadangi ši termoizoliacinė medžiaga pasižymi ypač maža vandens absorbcija, todėl dažniausiai naudojama cokolinių pastatų dalių apšiltinimui, įleidžiant termoizoliacinę medžiagą į gruntą, esantį šalia pastato.

Celiuliozė, dar kitaip vadinama ekovata, dažniausiai naudojama pastatų patalpų šiltinimui iš vidaus, kadangi medžiagos drėgnumui padidėjus nuo 0 proc. iki 5 proc., jos šiluminės energijos laidumas padidėja nuo 0,040 W/(m·K) iki 0,066 W/(m·K).

Poliuretano šiluminis laidumas priklauso nuo aplinkos temperatūros, drėgmės kiekio ir medžiagos tankio. Padidėjus šios medžiagos drėgnumui iki 5 proc., šilumos energijos laidumas padidėja nuo 0,025 W/(m·K) iki 0,046 W/(m·K). Pastatų sienas apšildant poliuretano putomis gaunama labai sandari sistema, tačiau ypatingą dėmesį reikia atkreipti į izoliacinės medžiagos apsaugą nuo drėgmės.

2. 5. Termoizoliacinių sistemų defektai fasaduose

Statinio šilumos energijos nuostoliai gali ženkliai padidėti, jei termoizoliacinė medžiaga nėra tinkamai užsandarinta. Tokiu atveju, net ir labai kokybiškos medžiagos nepadės sumažinti energijos nuostolių. Taip pat, blogą darbų kokybę lemia netaisyklingai tvirtinamos medžiagos.

Neretai, pastatai modernizuojami arba statomi, naudojant prastesnės kokybės, pigesnes medžiagas arba išvis jas taupant. Dėl šių priežasčių, šiluminės charakteristikos gali nepasiekti projekte nurodomų reikalavimų, o dėl statybos procesuose dalyvaujančių, nekvalifikuotų specialistų, dažnai nukenčia aukštos darbų kokybės užtikrinimas. Pagrindiniai fasadų defektai:

- paviršių pažeidimai;
- įvairūs įtrūkimai;
- vietiniai pažeidimai.

Defektai pablogina pastatų eksterjero vaizdą, apimdami didelius fasadų plotus. Tokie defektai neturi plika akimi pastebimo poveikio atitvarų šiluminės izoliacijos, nepralaidumo vandeniui, mechaninio stiprio ir sluoksnių sukibimo savybėms.

Fasadų įtrūkimai apima nedidelius fasadų plotus. Dažniausiai pasitaikančių plyšių vietos yra tarp termoizoliacinių medžiagų plokščių bei prie metalinių fasado sistemos armavimo elementų. Per įtrūkimus į termoizoliacinę sistemą gali patekti vanduo, sukeldamas sistemos pažeidimus.

Vandalizmas ar kitokie nenumatyti veiksniai, įtakoja vietinių pažeidimų atsiradimą. Pažeistas apdailos sluoksnis ir armavimo tinklelis tose vietose nebeapsaugo atitvarų šiltinamosios medžiagos nuo neigiamo aplinkos poveikio.

Fasadai su tinkuojamomis šiltinimo sistemomis gali užsiteršti pelėsių arba dublių augimu. Šių fasadų defektų atsiradimą gali nulemti keletas faktorių:

- temperatūra;
- drėgmė;
- aplinkos rūgštingumas;
- paviršiaus struktūra;
- paviršinio sluoksnio šiluminė talpa;
- organinės tinko sudedamosios arba atsitiktinai patekusios medžiagos.

Šviesesnės dėmės ties metalinių elementų vietomis, kuriose termoizoliacinė medžiaga pritvirtinta prie laikančiosios konstrukcijos, dar vienas pastebimas fasadų defektas (2.5.1 pav.). Tose vietose, kur matomos šviesios dėmės, susidarė šiluminiai tilteliai, kurių dėka šiluma iš pastato vidaus sklinda į fasado išorę. Temperatūra ties tvirtinimo elementais yra didesnė nei likusioje fasado dalyje, dėl šios priežasties tinka džiūsta greičiau ir tose vietose neauga mikroorganizmai, todėl matomos šviesios dėmės.



2.5.1 pav. Dėmių atsiradimas dėl termoizoliacijos tvirtinimo elementų

Remiantis atliktų tyrimų duomenimis, priežastis mikroorganizmų atsiradimui ant pastatų fasadų galima išskirti šias:

- drėgmės kondensacija ant paviršiaus;
- lietus;
- džiūvimo procesas;
- išorinio termoizoliacinio sluoksnio savybės.

Drėgmės susidarymas ant pastatų fasadų dažniausiai atsiranda naktį, kai išorinio paviršiaus temperatūra nukrenta žemiau rasos taško. Lietaus poveikis priklauso nuo aplinkos, esančios aplink pastatą, pastato geometrijos ir fasado orientacijos geografiniu atžvilgiu. Didžiausią įtaką mikroorganizmų atsiradimui turi drėgmės kondensavimasis ant paviršių. 2.5.2 paveiksle matomas fasadų užterštumas mikroorganizmais ir kitais teršalais tiek fasadams su vėdinama termoizoliacine sistema tiek su tinkuojama sistema.



2.5.2 pav. Fasadų užteršimas mikroorganizmais

Keraminės plytelės, tai kitas renovuojamų pastatų išorinių sienų apdailos variantas. Dėl didesnio atsparumo smūgiams ir ugniai, ši apdaila dažniausiai naudojama apatinių aukštų apdailai. Kaip ir kitos apdailos rūšys, taip ir ši, pasižymi galimais konstrukcijų defektais (2.5.3 pav.):

- Siūlių skilinėjimas;
- Vandens kondensacija;
- Plytelių atitrūkimas nuo pagrindo;
- Šiluminio plėtimosi sukelti plyšiai.



2.5.3 pav. Klinkerio defektai [14]

Šių defektų skaičių galima sumažinti pagal aplinkos sąlygas, pasirenkant tinkamas statybines medžiagas. Pastatų fasadų projektavimo metu turi būti įvertinamos deformacijos dėl temperatūrų pokyčių. Būtina naudoti nerūdijančio plieno profiliuočiaus temperatūrinių pjūvių vietose. Darbų vykdymas laikantis visų technologinių reikalavimų bei atliekami kvalifikuotų specialistų, taip pat turi didelės įtakos fasadų kokybei.

2. 6. Šiltinimo sistemos termoizoliacinės medžiagos pasirinkimas

Priešgaisrinės saugos reikalavimams tenka pagrindinis dėmesys, pasirenkant statinių šiltinimo termoizoliacinę medžiagą. Termoizoliacinė vata turi didelį pralaidumą garui, todėl drėgmė greitai pasišalina iš pagrindų, kurie pasižymi dideliu drėgnumu. Kaip termoizoliacinę medžiagą, mineralinę vatą patariama naudoti tokiuose objektuose, kuriuose būna didelė drėgmė, tačiau tik tais atvejais, kai iš patalpų pusės yra deramai įrengta garo izoliacinis sluoksnis. Priešingu atveju, vandens garų kondensatas neigiamai veikia šiluminės termoizoliacinės medžiagos savybes.

Mineralinė vata taip pat pasižymi puikiais triukšmo izoliacinėmis savybėmis, todėl pastatus, esančius padidinto triukšmo zonose, rekomenduojama apšiltinti mineralinės vatos plokštėmis.

Žvelgiant iš ekonominės pusės polistireninis putplastis konstrukcijų apšiltinimui naudojamas tiek individualių, tiek daugiabučių pastatų renovacijos ar naujos statybos metu, kadangi mineralinė vata pasižymi didesne kaina. EPS transportavimas ir sandėliavimas yra kur kas patogesnis, be to polistireninis putplastis yra beveik dešimt kartų lengvesnis, lyginant su mineraline vata, dėl šios priežasties jam tvirtinti naudojami pigesni iš plastmasės pagaminti laikikliai. Polistireno plokštes taip pat lengva apdoroti, jas pjaustant ar šlifuojant, o jų tvirtinimo darbo sąnaudos yra iki 30 proc. mažesnės lyginant su mineralinės vatos. EPS 1kv. m. konstrukcijos svoris ne daugiau 11-15kg, o mineralinės vatos virš 30kg, todėl skaičiuojant šiltinimo konstrukcijos svorį galima tiksliai apskaičiuoti visą svorį, tenkantį pastato laikančiajai konstrukcijai. Pastaruoju metu, priklausomai nuo šalies regiono, 60-80% šiltinimo darbų atliekama naudojant polistireną [15].

3. TIRIAMOJI DALIS

3.1. Analitinė šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficiento nustatymo metodika ir skaičiavimas

Atitvarų šiluminės varžos ir šilumos perdavimo koeficiento nustatymas aiškiai apibrėžiamas statybos techniniu reglamentu STR 2.01.09:2012 „Pastatų energetinis naudingumas. Energetinio naudingumo sertifikavimas“ 2 ir 3 priedai [17]. Atitvaros suminė šiluminė varža R_s ($m^2 \cdot K/W$) apskaičiuojama pagal formulę:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_n + R_g + R_q, m^2 \cdot K/W; \quad (3.1.1)$$

čia: R_g – nevėdinamo oro tarpo šiluminė varža [5] (jei nevėdinamo oro tarpo storis nežinomas, skaičiavimuose turi būti naudojama 10 mm oro tarpo šiluminė varža); R_q – plono sluoksnio (plėvelės) šiluminė varža [17]; R_1, R_2, \dots, R_n – atskirų atitvaros sluoksnių šiluminės varžos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}}, m^2 \cdot K/W; \quad (3.1.2)$$

čia: d – sluoksnio storis, m; λ_{ds} – sluoksnio projektinis šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$.

Atitvaros termoizoliacinių sluoksnių šiluminės varžos skaičiavimuose turi būti įvertinta:

- papildomi šilumos nutekėjimai per termoizoliacinius sluoksnius kertančias metalines jungtis;
- termoizoliacinio sluoksnio tvirtinimui panaudoto karkaso įtaka šio sluoksnio šiluminei varžai.

Atitvarų visuminė šiluminė varža:

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}, m^2 \cdot K/W; \quad (3.1.3)$$

čia: R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža; R_s – atitvaros sluoksnių suminė šiluminė varža; R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža.

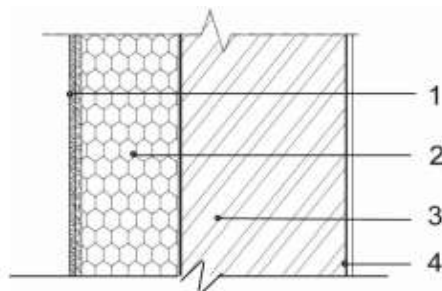
Atitvaros be oro sluoksnių šilumos perdavimo koeficientas U apskaičiuojamas pagal formulę:

$$U = \frac{1}{R_t}, W/(m^2 \cdot K); \quad (3.1.4)$$

čia: R_t – atitvaros visuminė šiluminė varža. Atitvaros su nevėdinamu oro sluoksniu, šilumos perdavimo koeficientas U apskaičiuojamas:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_s + R_g + R_{s2} + R_{se}}, W/(m^2 \cdot K); \quad (3.1.5)$$

Išorinės sienos polistireninio putplasčio „EPS 70“ norminio storio d_{N2} apskaičiavimas, kai siena šiltinama tinkuojama sudėtine termoizoliacine sistema (variantas tinka naujiems ir modernizuojamiems pastatams). Pavyzdys yra skirtas pastato išorinei sienai šiltinti. Iš STR 2.05.01: 2012 parenkam šilumos perdavimo koeficientą $U_N=0,20\text{K W/ (m}^2\text{K)}$, (3.1.1 lentelė) [18]. Iš HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“ parenkam patalpos oro projektinę temperatūrą $\theta_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Iš RSN 156-94 parenkamas išorės oro temperatūrą $\theta_e = 0\text{ }^\circ\text{C}$, tada $\kappa=1$. [7].



3.1.1 pav. Sienos, šiltinamos tinkuojama šiltinimo sistema, pjūvis.

Išorės atitvaro šiltinimo sistemą sudaro:

- plonasluoksnis armuotas tinkas sienos išorėje, $\lambda_{1,dS} = 0,80\text{ W/(mK)}$;
- polistireninis putplastis „EPS 70“, projektinis šilumos laidumo koeficientas, $\lambda_{2,dec} = 0,039\text{ W/(mK)}$;
- 250 mm storio laikantysis sienos sluoksnis iš tuščiavidurių keraminių blokelių (tuštumėtumas 36 %, blokelių tankis 1300 kg/m^3), $\lambda_{3,dS} = 0,47\text{ W/(mK)}$;
- kalkių ir smėlio tinkas sienos paviršiuje patalpoje, $\lambda_{4,dS} = 0,80\text{ W/(mK)}$.

3.1.1 lentelė Pastatų atitvarų norminės šilumos perdavimo koeficiento U_N , $\text{W/(m}^2\text{K)}$, vertės

Atitvaros rūšys	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties	Pramonės
Stogai	r			
Perdangos, kurios ribojasi su išore	ce	$U_N=0,16\text{K}$	$U_N=0,20\text{K}$	$U_N=0,25\text{K}$
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	fg			
Perdangos virš nešildomų rūšių ir pogrindžių	cc	$U_N=0,20\text{K}$	$U_N=0,30\text{K}$	$U_N=0,40\text{K}$
Sienos	w	$U_N=0,20\text{K}$	$U_N=0,25\text{K}$	$U_N=0,30\text{K}$
Langai ir kitos skaidrios atitvaros	wd	$U_N=1,6\text{K}$	$U_N=0,16\text{K}$	$U_N=1,9\text{K}$
Durys, vartai	d	$U_N=1,6\text{K}$	$U_N=1,6\text{K}$	$U_N=1,9\text{K}$

3.1.2 lentelė Atitvarų paviršiaus patalpoje ir išorėje šiluminės varžos R_{si} ir R_{se} , m^2K/W

Paviršiaus patalpoje šiluminė varža $R_{si} m^2K/W$		Išorinio paviršiaus šiluminė varža $R_{se}, m^2K/W$	
Šilumos srauto kryptis			
→	↑	↓	Visomis kryptimis
0,13	0,10	0,17	0,04

Iš 3.1.2 lentelės parenkama: sienos paviršiaus šiluminė varža patalpoje – $R_{si} = 0,13 m^2K/W$, sienos paviršiaus šiluminė varža išorėje – $R_{se} = 0,04 m^2K/W$. Plonasluoksnio armuoto tinko šiluminė varža apskaičiuojama:

$$R_1 = d_1 / \lambda_{1,ds} = 0,005/0,80 = 0,0062 m^2K/W \quad (3.1.6)$$

Sienos šiltinimui parenkamas polistireninis putplastis EPS 70, jo $\lambda_{2,dec} = 0,039 W/mK$. Projektinis polistireninio putplasčio šilumos laidumo koeficientas λ_3 .

3.1.3 lentelė. Pastatų atitvarų leistinosios šilumos perdavimo koeficiento $U_{MN} W/(m^2K)$, vertės

Atitvaros rūšys	Atitvarą žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties	Pramonės
Stogai	r	$U_{NM} \leq 0,25K$	$U_{NM} \leq 0,25K$	$U_{MN} \leq 0,40K$
Perdangos, kurios ribojasi su išore	ce			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	fg	$U_{MN} \leq 0,35K$	$U_{MN} \leq 0,40K$	$U_{MN} \leq 0,50K$
Perdangos virš nešildomų rūšių ir pogrindžių	cc			
Sienos	w	$U_{MN} \leq 0,30K$	$U_N \leq 0,40K$	$U_N \leq 0,50K$
Langai ir kitos skaidrios atitvaros	wd	$U_{MN} \leq 1,9K$	$U_{MN} \leq 0,19K$	$U_{MN} = 3,00K$
Durys, vartai	d	$U_{MN} = 1,9K$	$U_N = 1,9K$	$U_N = 3,00K$

Iš STR 2.01.03:2009, 3.1.3 lentelės, parenkama šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo nevėdinamoje konstrukcijoje $\Delta\lambda_w = 0,002 W/(mK)$. Iš STR 2.01.03:2009, parenkamas šilumos konvekcijos poveikio koeficientas K_{cv} . Kai polistireinis putplastis tinkuojamoje sienoje priklijuojamas prie laikančiojo paviršiaus $K_{cv} = 0$, tada $\Delta\lambda_{cv} = \lambda_{2,dec} \cdot K_{cv} = 0,0$. Projektinis polistireninio putplasčio EPS 70 šilumos laidumo koeficientas:

$$\lambda_{2,ds} = \lambda_{2,dec} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} = 0,039 + 0,002 + 0,000 = 0,041 W/(mK); \quad (3.1.7)$$

250 mm storio tuščiavidurių keraminių blokelių mūro šiluminė varža apskaičiuojama:

$$R_3 = d_3 / \lambda_{3,ds} = 0,25/0,47 = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3.1.8)$$

15 mm storio kalkių ir smėlio tinko sienos paviršiuje patalpoje šiluminė varža apskaičiuojama:

$$R_4 = d_4 / \lambda_{4,ds} = 0,015/0,80 = 0,0187 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3.1.9)$$

Toliau, naudodamiesi formule, apskaičiuojame polistireninio putplasčio norminį storį d_{N2} .

$$\begin{aligned} d_{N2} &= \left[\frac{1}{U_N - \Delta U_{fi}} - R_{si} - R_{se} - R_4 - R_5 - \dots - R_n - (R_g + R_q + R_u) \right] \cdot \lambda_{2,ds} = \\ &= \left[\frac{1}{0,20 - 0,00} - 0,13 - 0,04 - 0,0062 - 0,53 - 0,0187 \right] \cdot 0,041 = 0,1753 \text{ m} \quad (3.1.10) \end{aligned}$$

Atsižvelgiant į gamybinius matmenis, pasirenkame polistireninio putplasčio storį $d_2 = 180$ mm. Naudodamiesi formule, apskaičiuojame sukonstruotos sienos šiluminę varžą R_t .

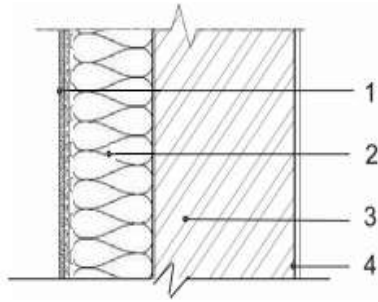
$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}, \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3.1.11)$$

$$R_t = 0,13 + 0,0187 + 0,53 + \frac{0,18}{0,041} + 0,04 = 5,11 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3.1.12)$$

Naujai sukonstruotos sienos šilumos perdavimo koeficientas:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{5,11} = 0,196 < U_n = 0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (3.1.13)$$

Išorinės sienos „PAROC Linio 80” norminio storio d_{N2} apskaičiavimas, kai siena šiltinama tinkuojama sudėtine termoizoliacine sistema (variantas tinka naujiems ir modernizuojamiems pastatams). Pavyzdys yra skirtas pastato išorinei sienai šiltinti. Iš STR 2.05.01: 2012 parenkam šilumos perdavimo koeficientą $U_N = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Iš HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas” parenkam patalpos oro projektinę temperatūrą $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Iš RSN 156-94 parenkamas išorės oro temperatūrą $\theta_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, tada $\kappa = 1$ [19].



3.1.2 pav. Sienos, šiltinamos tinkuojama sudėtine šiltinimo sistema, pjūvis.

Išorės atitvaro šiltinimo sistemą sudaro:

- plonasluoksnis armuotas tinkas sienos išorėje, $\lambda_{1,ds} = 0,80 \text{ W/(mK)}$;
- mineralinė vata „ PAROC Linio 80 “, projektinis akmens vatos šilumos laidumo koeficientas, $\lambda_{2,dec} = 0,042 \text{ W/(mK)}$;
- 250 mm storio laikantysis sienos sluoksnis iš tuščiavidurių keraminių blokelių (tuštumėtumas 36 %, blokelių tankis 1300 kg/m^3), $\lambda_{3,ds} = 0,47 \text{ W/(mK)}$);
- kalkių ir smėlio tinkas sienos paviršiuje patalpoje, $\lambda_{4,ds} = 0,80 \text{ W/(mK)}$.

$$R_1 = d_1 / \lambda_{1,ds} = 0,005/0,80 = 0,0062 \text{ m}^2\text{K/W}. \quad (3.1.14)$$

$$\lambda_{2,ds} = \lambda_{2,dec} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} = 0,042 + 0,002 + 0,000 = 0,044 \text{ W/(mK)}; \quad (3.1.15)$$

$$R_3 = d_3 / \lambda_{3,ds} = 0,25/0,47 = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad (3.1.16)$$

$$R_4 = d_4 / \lambda_{4,ds} = 0,015/0,80 = 0,0187 \text{ m}^2\text{K/W}. \quad (3.1.17)$$

$$d_{N2} = \left[\frac{1}{U_N - \Delta U_{fi}} - R_{si} - R_{se} - R_4 - R_5 - \dots - R_n - (R_g + R_q + R_u) \right] \cdot \lambda_{2,ds} =$$

$$= \left[\frac{1}{0,20-0,00} - 0,13 - 0,04 - 0,0062 - 0,53 - 0,0187 \right] \cdot 0,044 = 0,1881 \text{ m} \quad (3.1.18)$$

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}, \text{ m}^2\text{K/W}; \quad (3.1.19)$$

$$R_t = 0,13 + 0,0187 + 0,53 + \frac{0,18}{0,044} + 0,04 = 4,80 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3.1.20)$$

$$U = \frac{1}{R_t}, = \frac{1}{4,80} = 0,208 < U_n = 0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (3.1.21)$$

3.2. Tyrime analizuotų pastatų charakteristikos

Magistro baigiamajame darbe, atliekant šiltinamojo sluoksnio įtakos analizę, renovuojamų pastatų energijos suvartojimui, buvo nagrinėjami aštuoni daugiabučiai pastatai (3.2.1 – 3.2.8 lentelės). Vieniems iš jų termoizoliacinis sluoksnis pasirinktas EPS, o apdaila atlikta nutinkuojant plonasluoksniu tinku, kitiems apšiltinimui panaudota mineralinė vata su vėdinamų fasadų sistemomis.

Pastatai, apšiltinti polistireniniu putplasčiu ir nutinkuoti plonasluoksniu tinku:

- Architektų g. 105, Vilnius (5 aukštai, 90 butų);
- Grinkevičiaus g. 7, Šiauliai (5 aukštai, 45 butai);
- Sevastopolio g. 4, Šiauliai (5 aukštai, 45 butai);
- Vytauto g. 150, Šiauliai (5 aukštai, 32 butai).

Pastatai, apšiltinti mineraline akmens vata, įrengiant vėdinamas šiltinimo sistemas:

- Architektų g. 107, Vilnius (5 aukštai, 60 butų);
- Gardino g. 28, Šiauliai (5 aukštai, 30 butų);
- Klevų g. 15, Šiauliai (5 aukštai, 30 butų);
- Valančiaus g. 3, Šiauliai (5 aukštai, 30 butų).


3.2.1 lentelė. Pastato, esančio Architektų g. 105 charakteristikos

		Pastatymo metai: 1972 Butų skaičius: 90 Naudingasis patalpų plotas: 5090 m ² Laiptinių skaičius: 6 Renovacijos pabaiga: 2012 m.
Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos
Sienos	350 mm storio surenkamos keramzitbetonio plokštės, $U = 1,38$ W/(m ² ·K)	Šilumos izoliacinė medžiaga 150 mm storio EPS plokštės. Apdaila tinku. Pastato sienų šilumos laidumo koeficientas pasiekė $U = 0,19$ W/(m ² ·K) vertę.

3.2.1 lentelės tęsinys

Stogas	Sutapdintas, dengtas ritinine stogo danga, $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 200 mm storio EPS plokštės. $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Cokolis	Surenkamo betono blokai $U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio EPS 100 plokštės bei 100 mm storio XPS plokštės. Apdaila plonasluoksniu tinko ir keraminių plytelių. $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2.2 lentelė. Pastato, esančio Grinkevičiaus g. 7 charakteristikos

		Pastatymo metai: 1977 Butų skaičius: 45 Naudingasis patalpų plotas: 2411 m ² Laiptinių skaičius: 3 Renovacijos pabaiga: 2012 m.
Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos
Sienos	350–380 mm storio surenkamos keramzitbetonio plokštės, $U = 1,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 150 mm storio EPS 70 plokštės. Apdaila tinko. $U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Stogas	Sutapdintas, dengtas ritinine stogo danga, $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 200 mm storio EPS plokštės. $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Cokolis	Surenkamo betono blokai $U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 120 mm storio XPS 100 plokštės $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2.3 lentelė. Pastato, esančio Sevastopolio g. 4 charakteristikos

		Pastatymo metai: 1975 Butų skaičius: 45 Naudingasis patalpų plotas: 2418 m ² Laiptinių skaičius: 3 Renovacijos pabaiga: 2012 m.
---	--	--


3.2.3 lentelės tęsinys

Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos
Sienos	300 mm storio surenkamos keramzitbetonio plokštės, $U = 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 150 mm storio EPS 70 plokštės. Apdaila akrilinio tinko apdaila. $U = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Stogas	Sutapdintas, apšiltintas 240-370 mm storio akyto betono vėdinamomis plokštėmis, $U = 0,89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 200 mm storio EPS plokštės. $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Cokolis	Surenkamo betono blokai $U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio EPS 100 plokštės bei 100 mm storio XPS. $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2.4 lentelė. Pastato, esančio Vytauto g. 150 charakteristikos

		<p>Pastatymo metai: 1984 Butų skaičius: 32 Naudingasis patalpų plotas: 2800 m² Laiptinių skaičius: 3 Renovacijos pabaiga: 2012 m.</p>
Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos
Sienos	380 mm storio keraminių plytų mūras, $U = 1,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 150 mm storio EPS 70 plokštės. Apdaila tinko. $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Stogas	Sutapdintas, dengtas ritinine stogo danga, $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga Rufax plokštės su bitumine danga, $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Cokolis	Surenkamo betono blokai $U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio EPS plokštės bei 100 mm storio XPS 70 plokštės įgilinant 600 mm ir iškeliant 100 mm virš žemės paviršiaus. $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2.5 lentelė. Pastato, esančio Architektų g. 107 charakteristikos

		<p>Pastatymo metai: 1972 Butų skaičius: 60 Naudingasis patalpų plotas: 3549 m² Laiptinių skaičius: 4 Renovacijos pabaiga: 2012m.</p>
Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos
Sienos	350 mm storio surenkamos keramzitbetonio plokštės, $U = 1,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 150 mm storio akmens vatos plokštės. Apdaila fasadinės plokštės. $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Stogas	Sutapdintas, dengtas ritinine stogo danga, $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 200 mm storio EPS plokštės. $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Cokolis	Surenkamo betono blokai $U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 100mm storio vatos plokštės. Apdaila fasadinių plokščių. $U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2.6 lentelė. Pastato, esančio Gardino g. 28 charakteristikos

		<p>Pastatymo metai: 1982 Butų skaičius: 30 Naudingasis patalpų plotas: 1596 m² Laiptinių skaičius: 2 Renovacijos pabaiga: 2012 m.</p>
Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos

3.2.6 lentelės tęsinys

Sienos	300 mm surenkamos storio betono blokų plokštės. $U = 1,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 150 mm storio akmens vatos plokštės. $U = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Stogas	Stogas – sutapdintas, gelžbetoninė denginio plokštė apšiltinta 160 mm storio dujų silikato plokštėmis, $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio EPS plokštės. $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Cokolis	400 mm keramzitbetonio blokai, $U = 0,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio akmens vatos plokštės. Apdaila fasadinių plokščių. $U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2.7 lentelė. Pastato, esančio Klevų g. 15 charakteristikos

		<p>Pastatymo metai: 1989 Butų skaičius: 30 Naudingasis patalpų plotas: 1696 m² Laiptinių skaičius: 2 Renovacijos pabaiga: 2012 m.</p>
Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos
Sienos	380 mm storio keraminių plytų mūras, $U = 1,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 130 mm storio akmens vatos plokštės. $U = 0,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Stogas	Sutapdintas, $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio EPS plokštės. $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Cokolis	400 mm storio betono blokai, $U = 0,71 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Šilumos izoliacinė medžiaga 50 mm storio EPS plokštės. $U = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

3.2.8 lentelė. Pastato, esančio Valančiaus g. 3 charakteristikos

		Pastatymo metai: 1990 Butų skaičius: 30 Naudingasis patalpų plotas: 1680 m ² Laiptinių skaičius: 2 Renovacijos pabaiga: 2012 m.
Išorinės atitvaros	Prieš renovaciją	Po renovacijos
Sienos	510 mm geltonų plytų mūras, $U = 1,15-1,31$ W/(m ² ·K)	Šilumos izoliacinė medžiaga 140 mm akmens vatos plokštės. $U = 0,26$ W/(m ² ·K)
Stogas	Sutapdintas, $U = 0,79$ W/(m ² ·K).	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio EPS plokštės. $U = 0,21$ W/(m ² ·K)
Cokolis	400 mm storio betono blokai, $U = 0,71$ W/(m ² ·K)	Šilumos izoliacinė medžiaga 100 mm storio akmens vatos plokštės. $U = 0,17$ W/(m ² ·K)

3.3. Renovuotų pastatų teorinio bei faktinio šilumos energijos suvartojimo analizė

Visuose pastatuose renovacijos metu buvo gerintos pagrindinių išorinių atitvarų: sienų, stogo bei cokolio termoizoliacinės savybės. 3.3.1 lentelėje pateikiamos pastatų išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientų prieš ir po modernizavimo skaičiuotinos vertės pagal statybinius techninius reglamentų reikalavimus, galiojančius Lietuvos Respublikoje.

3.3.1 lentelė. Statinių išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai.

Pastatas	Išorės sienos šilumos perdavimo koeficientas U (W/m ² ·K)		Stogo šilumos perdavimo koeficientas U (W/m ² ·K)		Cokolio šilumos perdavimo koeficientas U (W/m ² ·K)	
	Prieš renovaciją	Po renovacijos	Prieš renovaciją	Po renovacijos	Prieš renovaciją	Po renovacijos
1	2	3	4	5	6	7
Architektų g. 105	1,38	0,19	0,85	0,16	1,03	0,16

3.3.1 lentelės tęsinys

Grinkevičiaus g. 7	1,38	0,21	0,85	0,16	1,03	0,16
Sevastopolio g. 4	1,30	0,19	0,89	0,14	1,03	0,16
Vytauto g. 150	1,38	0,24	0,85	0,22	1,03	0,16
Architektų g. 107	1,27	0,24	0,85	0,16	1,03	0,17
Gardino g. 28	1,58	0,19	0,85	0,16	0,71	0,17
Klevų g. 15	1,31	0,26	0,85	0,22	0,71	0,18
Valančiaus g. 3	1,31	0,26	0,79	0,21	0,71	0,17

Suvartojamas šilumos kiekis patalpų šildymui per šildymo sezoną, priklauso nuo lauko aplinkos temperatūros. Didesnis kiekis šilumos energijos suvartojamas, esant šaltesniam aplinkos orui, kai norima pasiekti reglamentuose nurodomą patalpų temperatūrą. Darbe analizuojamų statinių šilumos energijos sąnaudos patalpų šildymui pateiktos 3.3.2 lentelėje.

Matuojant suvartojamos energijos kiekius nėra įvertinami šildymo sezonų oro temperatūrų neatitikimai, todėl magistro baigiamajame darbe siekiant gauti tikslesnius rezultatus, skaičiavimuose taikoma dienolaipsnių metodika. Žinant konkretaus šildymo sezono dienolaipsnių skaičių ir normatyvinių metų dienolaipsnių skaičių, suvartotos šilumos energijos kiekį galima perskaičiuoti normatyviniams metams, pagal (3.3.1) formulę:

$$Q_n = Q_f \cdot \frac{DL_n}{DL_f}, \quad (3.3.1)$$

Čia; Q_n – į normatyvinį sezoną perskaičiuotas šilumos suvartojimas (kWh), Q_f – metinis tam tikrų metų šilumos suvartojimas (kWh), DL_n – normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius, DL_f – faktinis dienolaipsnių skaičius per šildymo sezoną, apskaičiuojamas pagal (3.3.2) formulę:

$$DL_f = z \cdot (\theta_i - \theta_e), \quad (3.3.2)$$

čia: z – šildymo sezono parų skaičius, θ_i – vidutinė pastato patalpų temperatūra šildymo sezono metu (°C), θ_e – vidutinė lauko temperatūra šildymo sezono metu (°C). Vilniaus miestui būdingos šildymo sezono sąlygos: trukmė $z = 225$ paros, vidutinė išorės temperatūra $\theta_e = 0,2$ °C (RSN 156–94), patalpų vidaus temperatūra laikoma $\theta_i = 18$ °C (bendru sutarimu priimta temperatūra Lietuvos sąlygomis). Norminių metų šildymo sezonų dienolaipsnių skaičius Vilniuje:

$$DL_n = z \cdot (\theta_i - \theta_e) = 225 \cdot (18 - 0,2) = 4005,00 \quad (3.3.3)$$

Šiaulių miestui būdingos šildymo sezono sąlygos: trukmė $z = 222$ paros, vidutinė išorės temperatūra $\theta_e = 0,6$ °C (RSN 156–94), patalpų vidaus temperatūra laikoma $\theta_i = 18$ °C (bendru sutarimu priimta temperatūra Lietuvos sąlygomis). Norminių metų šildymo sezonų dienolaipsnių skaičius Šiauliuose:

$$DL_n = z \cdot (\theta_i - \theta_e) = 222 \cdot (18 - 0,6) = 3862,80 \quad (3.3.4)$$

Faktiniai dienolaipsnių skaičiai atliekamo tyrimo šildymo sezonų periodu Vilniuje ir Šiauliuose apskaičiuojami pagal 3.3.2 formulę ir 3.3.2 lentelėje pateiktas vidutinės išorės temperatūras. Faktiniai dienolaipsnių skaičiai Vilniuje:

$$DL_{f,2009-2010} = 3837,43 \quad (3.3.5)$$

$$DL_{f,2010-2011} = 3885,00 \quad (3.3.6)$$

$$DL_{f,2011-2012} = 3869,14 \quad (3.3.7)$$

$$DL_{f,2012-2013} = 3821,57 \quad (3.3.8)$$

$$DL_{f,2013-2014} = 3691,54 \quad (3.3.9)$$

$$DL_{f,2014-2015} = 3402,94 \quad (3.3.10)$$

Faktiniai dienolaipsnių skaičiai Šiauliuose:

$$DL_{f,2009-2010} = 3921,43 \quad (3.3.11)$$

$$DL_{f,2010-2011} = 3857,14 \quad (3.3.12)$$

$$DL_{f,2011-2012} = 3841,07 \quad (3.3.13)$$

$$DL_{f,2012-2013} = 3873,21 \quad (3.3.14)$$

$$DL_{f,2013-2014} = 3571,07 \quad (3.3.15)$$

$$DL_{f,2014-2015} = 3407,14 \quad (3.3.16)$$

3.3.2 lentelė. Šildymo sezonų vidutinė išorės temperatūra °C.

Šildymo sezonas	Šiauliai	Vilnius
2009-2010	0,71	0,57
2010-2011	0,50	0,86
2011-2012	0,57	0,93
2012-2013	0,79	0,79

3.3.2 lentelės tęsinys

2013-2014	1,37	2,13
2014-2015	2,67	2,86

3.3.3 lentelėje pateikiama suminė informacija, apie tiriamųjų pastatų šilumos energijos suvartojimą šildymo sezonų metu.

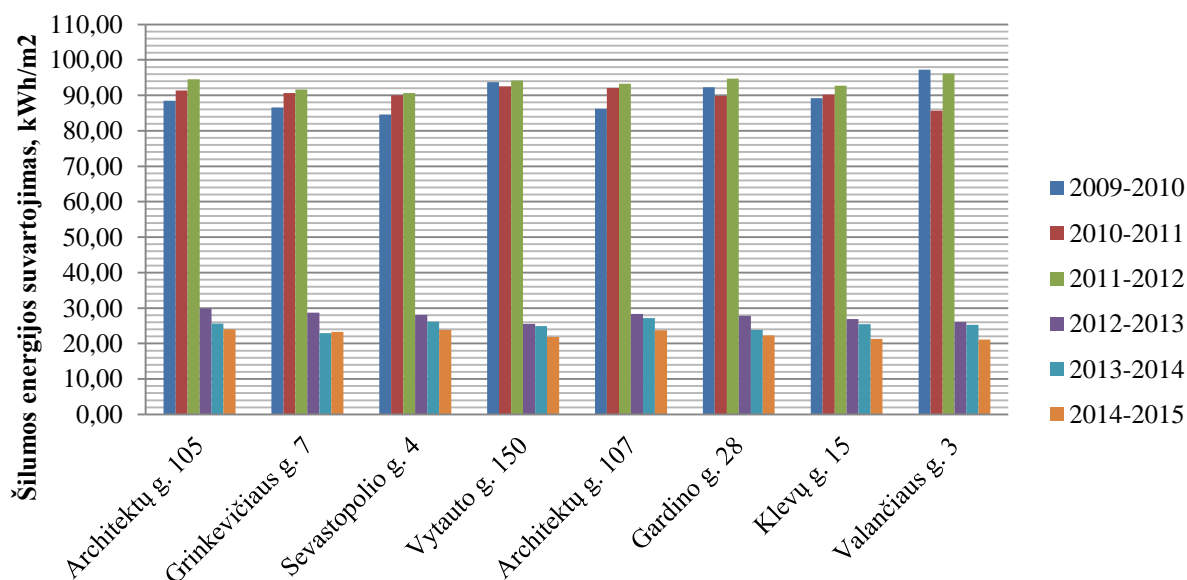
3.3.3 lentelė. Pastatų suminis šilumos energijos suvartojimas šildymo sezono metu kWh/m².

Šildymo sezonas	Dienolaipsniai		Architektų g. 105	Grinkevičiaus g. 7	Sevastopolio g. 4	Vytauto g. 150	Architektų g. 107	Gardino g. 28	Klevų g. 15	Valančiaus g. 3	
	1	Šiauliai	Vilnius	2	3	4	5	6	7	8	9
2009-2010		3837,43	3921,43	86,60	86,02	84,06	93,14	84,39	91,67	88,58	96,64
2010-2011		3885,00	3857,14	88,02	91,14	90,53	93,07	88,71	90,33	90,76	86,15
2011-2012		3869,14	3841,07	90,62	91,83	90,78	94,28	89,47	94,85	92,85	96,30
2012-2013		3821,57	3873,21	28,92	28,36	27,77	25,24	27,41	27,52	26,62	25,78
2013-2014		3691,54	3571,07	22,90	21,90	25,00	23,84	24,24	22,80	24,34	24,15
2014-2015		3402,94	3407,14	20,41	20,50	20,97	19,23	20,17	19,63	18,74	18,59

Kadangi dienolaipsnių skaičius skirtingais šildymo sezonais yra skirtingas, dėl šios priežasties, tyrime tiriamų pastatų šilumos energijos suvartojimas norminiams metams perskaičiuojamas pagal 3.3.1 formulę, o gauti duomenys šilumos energijos suvartojimui nuo 2009–2010 metų iki 2014–2015 metų šildymo sezono pateikiamas 3.3.4 lentelėje ir 3.3.1 pav.

3.3.4 lentelė. Perskaičiuotas šilumos energijos suvartojimas šildymo sezono metu kWh/m².

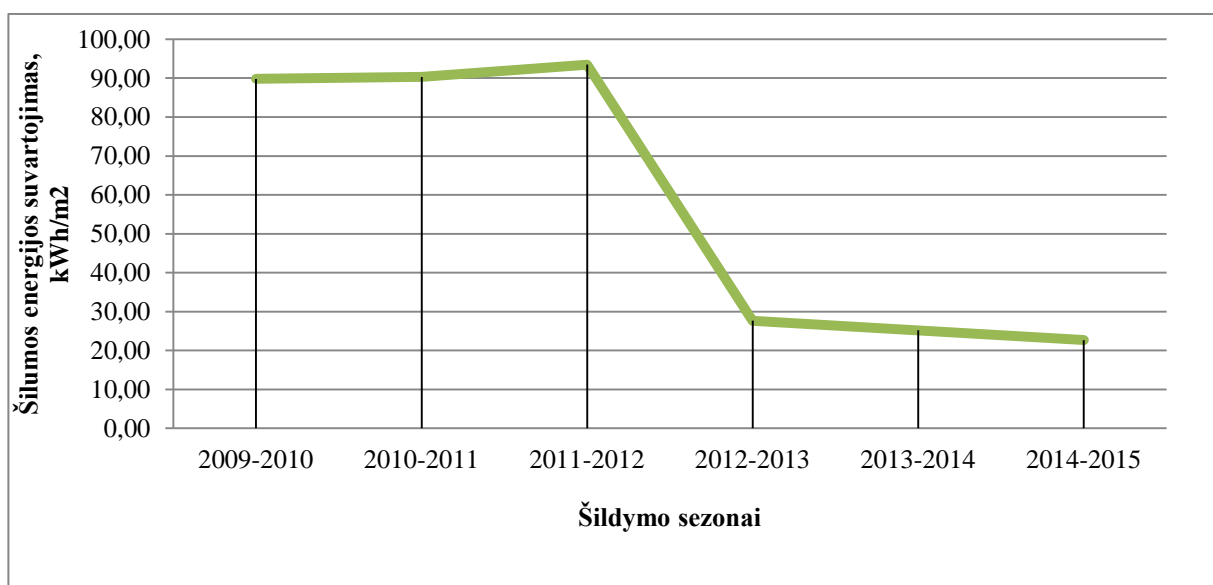
Šildymo sezonas	DL _n /DL _f		Architektų g. 105	Grinkevičiaus g. 7	Sevastopolio g. 4	Vytauto g. 150	Architektų g. 107	Gardino g. 28	Klevų g. 15	Valančiaus g. 3	
	1	DL _n /DL _f	2	3	4	5	6	7	8	9	
2009-2010		1,01	1,02	88,44	86,59	84,61	93,76	86,19	92,28	89,17	97,28
2010-2011		0,99	1,04	91,39	90,62	90,01	92,54	92,11	89,82	90,24	85,66
2011-2012		1,00	1,04	94,49	91,68	90,64	94,13	93,29	94,70	92,70	96,14
2012-2013		1,01	1,03	29,91	28,67	28,07	25,51	28,35	27,82	26,91	26,06
2013-2014		1,05	1,12	25,68	22,92	26,16	24,95	27,19	23,85	25,47	25,27
2014-2015		1,14	1,18	24,00	23,27	23,80	21,83	23,71	22,28	21,28	21,10



3.3.1 pav. Perskaičiuotas šilumos energijos suvartojimas, normatyviniams metams kWh/m²

Tyrime atlikto šilumos energijos suvartojimo perskaičiavimo metu pastebėta, jog šilumos energijos suvartojimas nuo perskaičiuoto skiriasi apie 1,04 karto, todėl dėl duomenų tikslumo būtina atlikti šilumos energijos suvartojimo perskaičiavimą.

Pastatų teorinio ir faktinio šilumos energijos suvartojimo analizei atlikti randamas pastatų teorinio ir faktinio energijos suvartojimų vidurkių skirtumas tarp šildymo sezonų, kai visi tiriami pastatai buvo nemodernizuoti t.y., 2009 - 2010, 2010 – 2011, 2011 - 2012 m. ir kai visų pastatų modernizavimo darbai jau buvo visiškai baigti t.y., 2012 – 2013, 2013 – 2014, 2014 – 2015 m. šildymo sezonų. Šilumos energijos suvartojimo ženklus kitimas matomas 3.3.2 pav.



3.3.2 pav. Pastatų šilumos energijos suvartojimas prieš ir po modernizavimo, kWh/m²

Pagal STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energetinio naudingumo sertifikavimas” aprašomą metodiką, apskaičiuojamas tiriamų pastatų energijos suvartojimo pokytis, bei teoriniai šilumos energijos sutaupymo kiekiai po renovacijos. Po išorinių atitvarų apšiltinimo, sutaupomas šilumos kiekis, apskaičiuojamas pagal 3.3.17 formulę:

$$Q_w = \frac{z \cdot 24}{1000} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot \frac{1}{A_p} \cdot A_w \cdot \Delta U_w, \quad 3.3.17$$

Čia: z- šildymo sezono parų skaičius, θ_e - vidutinė išorės temperatūra (RSN 156–94), θ_i - patalpų vidaus temperatūra laikoma 18 °C, Q_w – šilumos kiekis, sutaupyta po išorinių sienų apšiltinimo (kWh/m²), A_p – naudingas pastato plotas (m²), A_w – išorinių sienų plotas (m²), ΔU_w – išorinių sienų šilumos perdavimo koeficiento pokytis, (W/(m²·K)). Šilumos kiekis, per šildymo sezoną sutaupomas po stogo apšiltinimo, apskaičiuojamas pagal 3.3.18 formulę:

$$Q_r = \frac{z \cdot 24}{1000} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot \frac{1}{A_p} \cdot A_r \cdot \Delta U_r, \quad 3.3.18$$

Čia: z – šildymo sezono parų skaičius, θ_e - vidutinė išorės temperatūra (RSN 156–94), θ_i - patalpų vidaus temperatūra laikoma 18 °C, Q_r – šilumos kiekis, sutaupyta po stogo apšiltinimo (kWh/m²), A_p – naudingas pastato plotas (m²), A_r – stogo plotas (m²), ΔU_r – stogo šilumos perdavimo koeficiento pokytis, (W/(m²·K)). Toliau nustatoma, kokią dalį viso pastato teorinio energijos sutaupymo sudaro kiekvienos atitvaros modernizavimas. Gauti rezultatai pateikiami 3.3.5 lentelėje.

3.3.5 lentelė. Skaičiuotinas šilumos energijos sutaupymas po pastatų renovacijos per šildymo sezoną kWh/m²

Objektas	Šilumos energijos sutaupymai			
	1	2	3	4
		Per išorės atitvaras	Per stogo konstrukciją	Iš viso
Architektų g. 105		150,56	26,06	176,62
Grinkevičiaus g. 7		137,67	42,45	180,12
Sevastopolio g. 4		144,70	47,45	192,14
Vytauto g. 150		135,88	43,80	179,69
Architektų g. 107		124,14	33,64	157,78
Gardino g. 28		153,41	45,13	198,54
Klevų g. 15		107,73	42,59	150,32
Valančiaus g. 3		121,10	48,68	169,77

Kadangi žinomas tik kiekvieno pastato suminis faktinis energijos sutaupymas po modernizavimo, kiekvienos atitvaros faktinio šilumos sutaupymo dalis nustatoma pagal teorinius duomenis. Pagal teoriškai apskaičiuotas kiekvienos atitvaros sutaupomos energijos dalis atitinkamai išskaidomi pastatų faktiniai energijos sutaupymai. Gauti energijos sutaupymų per kiekvieną atitvarą rezultatai pateikiami 3.3.6 lentelėje.

3.3.6 lentelė. Natūrinis šilumos energijos sutaupymas po pastatų renovacijos per šildymo sezoną kWh/m².

Objektas	Šilumos energijos sutaupymai			
	1	2	3	4
	Per išorės atitvaras	Per stogo konstrukciją	Iš viso	
Architektų g. 105	100,63	13,03	113,66	
Grinkevičiaus g. 7	90,57	23,05	113,62	
Sevastopolio g. 4	78,02	24,89	102,91	
Vytauto g. 150	96,35	22,78	119,13	
Architektų g. 107	85,14	16,12	101,26	
Gardino g. 28	114,23	23,03	137,26	
Klevų g. 15	75,13	20,56	95,69	
Valančiaus g. 3	89,63	24,03	113,66	

Tyrimo metu atlikus papildomus skaičiavimus iš faktinio šilumos energijos sutaupymo kiekio galima daryti išvadą, kad tiriamų skirtingomis šiltinimo sistemomis apšiltintų pastatų energijos sutaupymai per išorines atitvaras, kardinaliai nesiskiria ir yra labai panašūs. Pastatų, kurių išorinės atitvaros buvo apšiltintos polistireniniu putplasčiu (EPS) šilumos energijos sutaupymas vidutiniškai siekia 112,33 kWh/m². Išorinėmis vėdinamomis termoizoliacinėmis sistemomis su mineraline vata apšiltintos išorinės atitvaros vidutiniškai sutaupė 111,97 kWh/m² šilumos energijos.

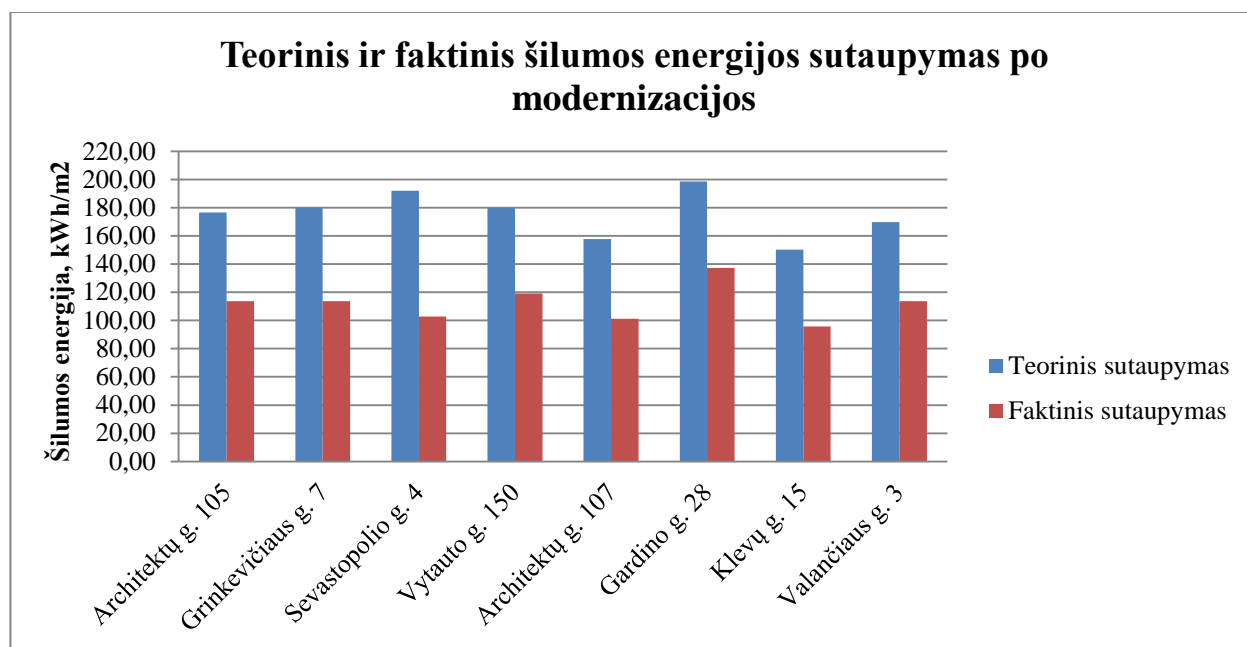
3.4. Ryšys tarp faktinio ir teorinio šilumos energijos suvartojimo.

Modernizavimo priemonių efektyvumas ir investicijų atsiperkamumas, remiantis statybos techniniuose reglamentuose aprašoma šilumos energijos nuostolių skaičiavimo metodika, gali būti netikslus. Tyrimo metu gauti duomenys įrodo, kad kai kuriais atvejais teorinis ir faktinis energijos sutaupymas ženkliai skiriasi (3.4.1 lentelė, 3.4.1 pav.). Dėl šios priežasties, didelis dėmesys turi būti skiriamas, rengiant modernizavimo projektus bei skaičiuojant investicijų atsiperkamumą.

Taip pat magistro baigiamajame darbe atliktas tyrimas leidžia pagrįstai teigti, kad pastatų energinio naudingumo sertifikatai neatitinka tikrosios būklės nei prieš atliekant renovaciją, nei po jos.

3.4.1 lentelė. Teorinis ir faktinis šilumos energijos sutaupymas po pastatų renovacijos kWh/m²

Šildymo sezonas	Architektų g. 105	Grinkevičiaus g. 7	Sevastopolio g. 4	Vytauto g. 150	Architektų g. 107	Gardino g. 28	Klevų g. 15	Valančiaus g. 3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Teorinis sutaupymas kWh/m ²	176,62	180,12	192,14	179,69	157,78	198,54	150,32	169,77
Faktinis sutaupymas kWh/m ²	113,66	113,62	102,91	119,13	101,26	137,26	95,69	113,66
Skirtumas	1,55	1,59	1,87	1,51	1,56	1,45	1,57	1,49



3.4.1 pav. Teorinis ir faktinis šilumos energijos sutaupymas po renovacijos kWh/m²

IŠVADOS

1. Termoizoliaciniam sluoksniui įrengti yra įvairių sprendimų, todėl norint tinkamai atlikti pastato modernizavimą svarbu parinkti labiausiai pastatui tinkamą išorinių sienų apšiltinimo būdą. Šiltinant pastato išorinius atitvarus iš išorės, atitvarai apsaugomi nuo aplinkos temperatūros svyravimų ir kitokio išorinio poveikio.

2. Pagrindiniai veiksniai, lemiantys skirtingų technologijų šiltinamųjų sluoksnių įrengimo pasirinkimus - statybos aplinka, keliami statybiniai techniniai reikalavimai bei medžiagų kaina.

3. Atlikto tyrimo duomenys parodė, kad pastatų modernizavimas ženkliai sumažina šilumos energijos suvartojimo kiekius.

4. Atliktas tyrimas leidžia pagrįstai teigti, kad pastatų energinio naudingumo sertifikatai neatitinka tikrosios būklės nei prieš atliekant renovaciją, nei po jos.

5. Tyrimo metu atlikus papildomus skaičiavimus iš faktinio šilumos energijos sutaupymo kiekio galima daryti išvadą, kad tiriamų skirtingomis šiltinimo sistemomis apšiltintų pastatų energijos sutaupymai per išorines atitvaras, kardinaliai nesiskiria ir yra labai panašūs.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. VĮ Energetikos agentūra. Šilumos energija. [Žiūrėta 2015-10-05]. Prieiga per internetą: http://www.ena.lt/pat_sil_fakt.htm.
2. Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija. Lietuvos šilumos ūkis: esama padėtis ir kliūtys vystymuisi [interaktyvus]. 2013. [Žiūrėta 2015 10 05]. Prieiga per internetą: <http://www.lsta.lt>.
3. Biekša, D., Jaraminienė, E., Martinaitis V. Daugiabučių namų renovacijos vertinimas atsižvelgiant į trejų metų naudą, 11-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Vilnius: Technika, 2011.
4. Nacionalinė reformų darbotvarkė. Vilnius, 2015. [Žiūrėta 2015 10 15]. Prieiga per internetą: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/csr2015/nrp2015_lithuania_lt.pdf.
5. Concerted Action. Energy Performance of Buildings Directive (CA-EPBD). [Žiūrėta 2015 10 16] Prieiga per internetą: <http://www.epbd-ca.eu>.
6. Galvin, R. Thermal upgrades of existing homes in Germany: The building code, subsidies and economic efficiency, Journal of Energy and Buildings, 2010.
7. Šernius M., Kuliešius E., Rutkevičienė V., Savarauskienė V. Pastato apdaila. Pastato šiltinimas ir tinkavimas. Apdaila plytelėmis ir apdailos elementų montavimas. Vilnius: Mintis, 2008, 298 p.
8. Kaynakli, O. Parametric Investigation of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls, Energie, 2011.
9. Endriukaitytė A., Parasonis J., Bliūdžius R. Pastatų atitvarų apšiltinimas akmens vata: mokslo knyga. Vilnius: Technika, 2009, 164 p.
10. Collina, A. Comfort and energy saving: the external thermal insulation composite system, 2nd Portuguese Congress on Construction Mortars (APFAC), 2007 Lisboa, Portugal.
11. Zavadskas E. K., Karablikovas A., Malinauskas P., Mikšta P., Nakas H., Sakalauskas R. Statybos procesų technologija: vadovėlis. 2-oji papildyta ir pataisyta laida. Vilnius: Technika, 2008, 576 p.
12. Statyba jums. Efektyvus sprendimai sienų šiltinimui. [Žiūrėta 2015-10-10]. Prieiga per internetą: <http://www.statybajums.lt/temos/izoliacija-apsiltinimas-hidroizoliacija/efektyvus-sprendimai-sienu-siltinimui>.
13. Mano namo statyba. Sienų šiltinimo sistema (polistirenu). [Žiūrėta 2015-11-02]. Prieiga per internetą: <http://manonamostatyba.lt/sienu-siltinimo-sistema-polistirenu/>.
14. Olfry. Lietuva – agresyvių aplinkos sąlygų šalis. [Žiūrėta 2015-11-07]. Prieiga per internetą: http://www.olfry.lt/index.php?olfry=top_menu1&id=4&id2.

15. Fasadų šiltinimas ir renovacija. Pastatų apšiltinimo medžiagų savybės. [Žiūrėta 2015-11-10]. Prieiga per internetą: http://www.siltinimai.lt/viewpage.php?page_id=1.
16. Šadauskienė J., Bliūdžius R., Ramanauskas J., Gričiutė G. Analysis of Distribution of Properties of Expanded Polystyrene in Production and Their Changes in Exploitation Conditions, Materials Science (Medžiagotyra) 15: 372-376, 2009.
17. STR 2.01.09:2012 „Pastatų energetinis naudingumas. Energetinio naudingumo sertifikavimas”
18. Statybos techninis reglamentas STR 2.01.09:2012 “Pastatų energinis naudingumas”
19. HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“
20. Meškauskas Ž. The heat insulation layer influence on the energy consumption of a renovated building. 2015.

PRIEDAI

1. Priedas

				Šilumos energijos suvartojimas šildymui (kWh/m ²)							
				Architektų g. 105	Grinkevičiaus g. 7	Sevastopolio g. 4	Vytauto g. 150	Architektų g. 107	Gardino g. 28	Klevų g. 15	Valančiaus g. 3
		Pastatų plotas(m ²)		5090	2411	2418	1800	3549	1596	1696	1680
		Dienolaipsniai		Fasadai su tinko apdaila				Fasadai su fasadinių plokščių apdaila			
Šildymo sezonas	Mėnuo	Šiauliai	Vilnius								
2009-2010	X	403,00	387,50	6,541	6,756	4,296	7,261	4,712	6,875	7,332	7,232
	XI	465,00	459,00	11,365	12,413	11,624	12,232	11,263	12,235	11,263	12,760
	XII	651,00	641,70	14,565	15,995	16,888	17,121	16,875	16,865	15,125	18,122
	I	682,00	682,00	18,323	19,252	17,565	21,223	18,965	18,262	18,020	19,656
	II	616,00	616,00	16,325	15,256	15,002	15,656	12,658	16,653	16,252	16,002
	III	511,50	542,50	14,123	11,656	12,125	12,658	12,265	12,658	12,025	13,985
	IV	330,00	360,00	5,356	4,689	6,558	6,989	7,652	8,122	8,565	8,887
		Vidurkis			12,371	12,288	12,008	13,306	12,056	13,096	12,655
2010-2011	X	418,50	403,00	7,121	7,456	5,363	7,886	5,252	7,252	7,996	8,232
	XI	495,00	510,00	12,126	13,863	14,121	13,636	11,863	11,656	12,123	11,860
	XII	651,00	620,00	16,756	17,012	17,123	18,256	17,000	18,021	17,325	17,323
	I	697,50	651,00	18,366	19,656	18,756	18,656	18,121	18,656	18,356	17,859
	II	616,00	602,00	14,756	15,356	15,263	15,656	15,989	15,965	15,365	14,236
	III	527,00	496,00	12,326	12,121	12,655	12,765	12,356	11,658	12,968	10,987
	IV	300,00	345,00	6,568	5,680	7,245	6,212	8,125	7,125	6,625	5,652
		Vidurkis			12,574	13,021	12,932	13,295	12,672	12,905	12,965
2011-2012	X	403,00	372,00	7,212	7,658	5,632	7,965	6,245	7,644	8,212	8,632
	XI	480,00	435,00	12,012	14,356	14,356	11,656	12,658	13,256	12,654	13,644
	XII	651,00	666,50	16,578	17,895	17,644	18,985	17,955	18,954	17,654	18,685
	I	682,00	697,50	17,654	18,545	18,644	19,644	18,965	19,456	18,644	19,721
	II	609,00	623,50	16,875	16,442	17,642	17,642	16,752	18,620	16,441	17,245
	III	496,00	480,50	12,145	11,245	11,245	12,264	10,644	10,677	12,456	11,254
	IV	390,00	360,00	8,145	5,687	5,621	6,124	6,255	6,246	6,789	7,121
		Vidurkis			12,946	13,118	12,969	13,469	12,782	13,550	13,264
2012-2013	X	434,00	372,00	2,241	2,456	2,114	1,985	2,243	2,141	2,132	1,989
	XI	450,00	420,00	3,215	2,985	2,987	2,547	2,982	2,983	2,987	2,586
	XII	635,50	666,50	6,758	6,212	6,012	5,485	6,122	6,120	6,020	5,656
	I	666,50	697,50	6,978	7,121	7,215	6,585	6,987	7,121	7,212	6,774
	II	602,00	602,00	4,575	4,121	4,756	4,121	4,212	4,565	4,265	4,556
	III	496,00	496,00	3,145	3,482	3,121	3,252	3,012	3,021	2,580	2,987
	IV	360,00	390,00	2,010	1,985	1,568	1,263	1,856	1,568	1,423	1,235
		Vidurkis			4,132	4,052	3,968	3,605	3,916	3,931	3,803

1 priedo lentelės tęsinys

2013-2014	X	372,00	341,00	2,121	2,129	2,365	1,854	1,987	1,985	1,687	1,785
	XI	438,00	423,00	2,986	2,568	2,652	2,325	2,630	2,632	2,565	2,687
	XII	647,90	589,00	5,121	5,020	5,985	6,121	5,985	5,850	5,985	5,787
	I	678,90	651,00	4,968	4,500	5,121	5,230	5,841	5,121	5,865	5,688
	II	588,00	588,00	4,121	3,544	4,236	4,121	4,001	3,565	4,121	4,212
	III	465,00	434,00	2,012	2,566	2,652	2,320	2,123	2,100	2,456	2,121
	IV	330,00	330,00	1,566	1,577	1,987	1,870	1,675	1,542	1,658	1,874
	Vidurkis			3,271	3,129	3,571	3,406	3,463	3,256	3,477	3,451
2014-2015	X	279,00	248,00	1,987	2,120	1,978	1,578	1,897	1,856	1,568	1,653
	XI	429,00	420,00	2,121	2,321	2,320	1,968	2,125	2,225	2,001	1,989
	XII	632,40	620,00	4,986	4,896	4,968	5,100	5,002	4,986	4,968	4,875
	I	651,00	651,00	4,421	4,322	4,368	4,214	4,121	3,987	3,987	3,985
	II	599,20	588,00	3,230	3,124	3,645	3,124	3,250	2,987	2,987	2,856
	III	440,20	434,00	2,212	2,140	2,365	2,011	2,321	2,235	1,987	1,875
	IV	210,00	240,00	1,457	1,578	1,325	1,235	1,456	1,356	1,245	1,356
	Vidurkis			2,916	2,929	2,996	2,747	2,882	2,805	2,678	2,656

2.Priedas

The heat insulation layer influence on the energy consumption of a renovated building

Ž.Meškauskas*, S. Sušinskas, D.Aviža*****

**Kaunas University of Technology, Ramygalos str. 63-36, 36116, Panevėžys, Lithuania, E-mail: maximaliai@gmail.com*

***Kaunas University of Technology, Daukanto str. 12, 44556, Panevėžys, Lithuania, E-mail: saulius.susinskas@ktu.lt*

****Department of Construction Technology and Management, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, E-mail: donatas.aviza@vgtu.lt*

Abstract

This paper analyzes the facade insulation expediency of a renovated building and different facade thermal insulation materials. Graphical interpretations are provided, that indicate preserved thermal energy differences and other properties of materials i.e. flammability, cost, durability, etc.

KEY WORDS: *renovation, facades.*

1.Introduction

Building renovation is becoming an increasingly topical issue these days, as the renovation significantly reduces the cost of thermal energy consumption, reduces the use of natural resources as well as improves the overall aesthetic look of a building. Heat consumption expenses also noticeably decrease in renovated buildings. Energy conservation is important now and undoubtedly will be in the future, as the energy conservation and environmental protection is becoming an increasingly common theme these days. One of the main issues addressed during the renovation is: the insulation of the outer building envelopes. Thus, the exterior building envelope insulation is becoming one of the most frequent decisions taken in order to reduce the building's energy consumption. Usually such investment into a building's energy efficiency improvements is based on economy needs in order to reduce the thermal transfer coefficient due to lowered costs of the thermal heating needs of a building. Aim: To scientifically examine the advisability of building

facade insulation using expanded polystyrene (EPS 70) and mineral wool (PAROC Linio 80) thermal insulation materials, to provide graphical interpretations showing the preserved thermal energy differences comparison of a building as well as to compare the fire safety cost differences.

2. Renovated facade systems

We shall examine one of the most frequently used systems - facade insulation. Facade insulation system is combined of several coordinated in a construction point of view, components, ranging from insulation boards to final coating. Before the renovation of walls, it is very important to evaluate and verify the condition of wall constructions and wall surfaces. This will ensure the correct selection of the facade insulation systems. One of the renovated facade insulation system techniques (see. Fig. 1).[4]

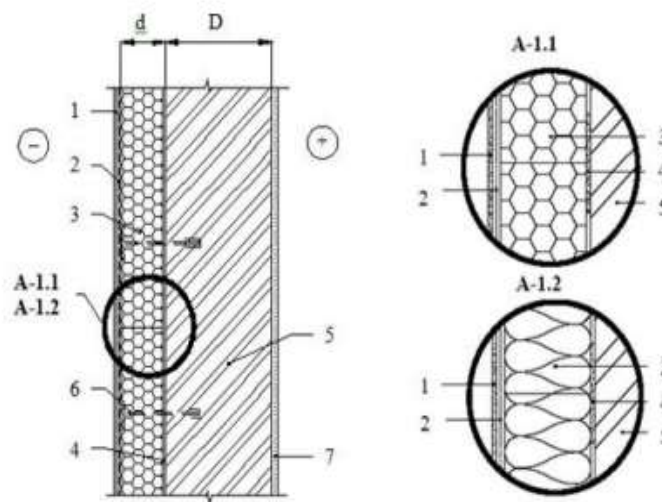


Fig. 1

Fig.1. Systems with polystyrene foam or mineral wool insulation material: 1 - final surface finishing layer; 2 – the reinforced layer; 3 - polystyrene (A-1.1 node), mineral wool (A-1.2 node); 4 - the adhesive layer; 5 - the holding wall;

6 - the pin; 7 - the inner wall surface decoration.[3]

High-quality thermal insulation panels, made of polystyrene or mineral wool, that are specially designed and tested for the purpose, create the core of the facade thermal system. Facade thermal insulation panels come in two forms: polystyrene or mineral wool. Both materials thermal conductivity coefficient values are similar. Both insulation solutions have their advantages. Both systems are suitable for use in both new and modernized buildings. However, there are differences between polystyrene and mineral wool that can lead to a choice of a preferred system. When choosing the insulation material the temporary condensation of the vapor needs to be taken into account as well as its conditioning to high temperatures. Water vapor permeability coefficient, sound insulation capabilities, the weight of the material and the overall building performance. [2]

3. Analytical method of thermal resistance and thermal transmittance coefficient determination

The thermal resistance and thermal transmittance coefficient of the building envelopes is clearly defined in the technical building regulation STR 2.01.09: 2012 "Energy performance of buildings. Energy performance certification, annexes 2 and 3, up to date version from 2011-06-07 [1]. The total thermal resistance of the envelope R_s ($m^2 \cdot K/W$) is calculated by the following formula:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_n + R_g + R_q, m^2 \cdot K/W; \quad (3.1)$$

Where: R_g - unventilated air gap thermal resistance [5] (if unventilated air gap thickness is not known, the calculations must be used for 10 mm air gap thermal resistance); R_q - a thin layer (film) thermal resistance [5]. R_1, R_2, \dots, R_n - individual layers of an envelope thermal resistance are calculated by the following formula:

$$R = \frac{d}{\lambda_{ds}}, m^2 \cdot K/W; \quad (3.2)$$

Where: d – layer thickness, m; λ_{ds} – layer design thermal conductivity coefficient, $W/(m \cdot K)$. Envelope insulation layers of thermal resistance calculations must consider: the additional loss of heat through the heat insulating layers crossing metal joints; the thermal resistance influence of the frame which is used to fasten the thermal insulation layer. The total thermal resistance of the envelopes:

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}, m^2 \cdot K/W; \quad (3.3)$$

Where: R_{si} - the inner surface thermal resistance of the envelope [5]; R_s – the total thermal resistance of the layers of the envelope; R_{se} - the external surface thermal resistance of the envelope [5]. The heat transfer coefficient U for the envelopes without air gaps is calculated by the following formula:

$$U = \frac{1}{R_t}, W/(m^2 \cdot K); \quad (3.4)$$

Where: R_t - envelope's total thermal resistance. The heat transfer coefficient U for envelope with a non-ventilated air layer, is calculated:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_s + R_g + R_{s2} + R_{se}}, W/(m^2 \cdot K); \quad (3.5)$$

4. Analysis

The outer walls polystyrene "EPS 70" normative thickness calculation, when the wall is insulated with thermal insulation system (option available for new and modernized buildings). This is an example for the exterior wall insulation of a building. Here, the thermal transmittance coefficient is taken from STR 2.05.01: 2012. $U_N=0,20\kappa$ W/ (m²K), (see table 1). [6] We then take the indoor air design temperature from HN 42:2009 "Microclimate of residential and public buildings" $\theta_i = 20$ °C. The outside temperature from RSN 156-94 $\theta_e = 0$ °C, then $\kappa = 1$. [7]

- 1 – thin-layered reinforced plaster on the outside of the wall, $\lambda_{1,ds} = 0,80$ W/(mK);
- 2 - polystyrene "EPS 70" design thermal conductivity coefficient, $\lambda_{2,dec} = 0,039$ W/(mK);
- 3 - 250 mm retaining wall layer from hollow ceramic tiles (36% hollowness, density of blocks 1300 kg/m³), $\lambda_{3,ds} = 0,47$ W/(mK),);
- 4 - lime and sand plaster on the upper part of the wall indoors, $\lambda_{4,ds} = 0,80$ W/(mK).

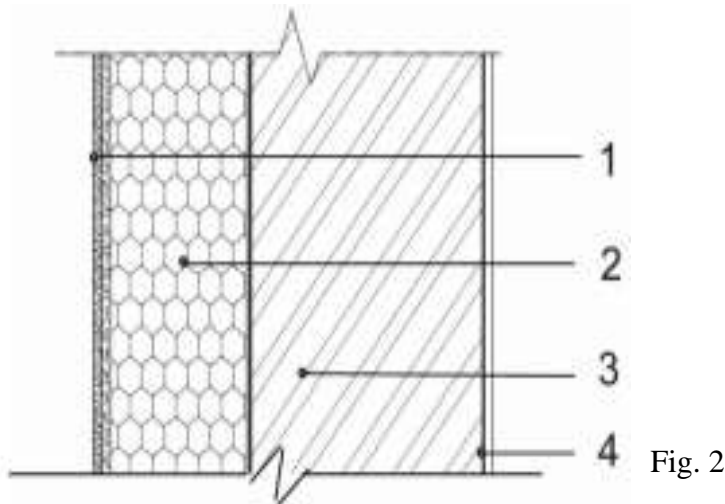


Fig. 2 The wall plaster insulation system incision.

Table 1 (from STR 2.05.01: 2012) "Standard values of heat transfer of envelopes U_N , W/(m²K) coefficient"

Envelope types	Symbol for envelope	Residential buildings	Non-residential buildings	
			Public purpose	Industry
Roofs	r	$U_N=0,16K$	$U_N=0,20K$	$U_N=0,25K$
Overlays, which are bordered to the outside	ce			
Envelopes of heated indoor rooms that are touching the soil	fg	$U_N=0,20K$	$U_N=0,30K$	$U_N=0,40K$
Floor above unheated basements and cellars	cc			
Walls	w	$U_N=0,20K$	$U_N=0,25K$	$U_N=0,30K$
Windows and other transparent envelopes	wd	$U_N=1,6K$	$U_N=0,16K$	$U_N=1,9K$
Doors, gates	d	$U_N=1,6K$	$U_N=1,6K$	$U_N=1,9K$

Table 2 (from STR 2.05.01: 2012) "Thermal resistances of the envelopes in the upper surface indoors". R_{si} and R_{se} , m²K/W.

The thermal resistance of the surface indoors $R_{si} m^2 K/W$			Thermal resistance of the outer surface $R_{se}, m^2 K/W$
Heat flow direction			
→	↑	↓	In all directions
0,13	0,10	0,17	0,04

Selected from Table 2: Thermal resistance of the surface of the wall indoors– $R_{si} = 0,13$ m²K/W, the thermal resistance of surface outdoors – $R_{se} = 0,04$ m²K/W. Thin-layered reinforced plaster thermal resistance is calculated as follows:

$$R_1 = d_1 / \lambda_{1,d_s} = 0,005/0,80 = 0,0062 \text{ m}^2\text{K/W.} \quad (4.1)$$

Envelope name	Envelope descriptions	Recommended type of polystyrene foam	Minimum requirements	
			Perpendicular surface tensile strength level of the threshold	Permissible thickness deviation class
The outer walls	The plastering integral thermal insulation system	EPS 70	TR 100	T(2)
	Ventilated thermal insulation system	EPS 70		T(2)
	Thermal insulation inside the outer system	EPS 70		T(2)
	Thermal insulation indoors (external wall insulated from the inside)	EPS 70		T(2)
	Thermal insulation inside the wall frame	EPS 70		T(2)

Table 3. Polystyrene thermal insulation for it and the envelopes is recommended

Wall insulation polystyrene "EPS 70" is chosen from Table 3, which $\lambda_{2,dec} = 0,039$ W/mK). Polystyrene thermal conductivity design coefficient λ_3 .

Envelope types	Symbol for envelope	Residential buildings	Non-residential buildings	
			Public purpose	Industry
Roofs	r	$U_{NM} \leq 0,25K$	$U_{NM} \leq 0,25K$	$U_{MN} \leq 0,40K$
Overlays, which are bordered to the outside	ce			
Envelopes of heated indoor rooms that are touching the soil	fg	$U_{MN} \leq 0,35K$	$U_{MN} \leq 0,40K$	$U_{MN} \leq 0,50K$
Floor above unheated basements and cellars	cc			
Walls	w	$U_{MN} \leq 0,30K$	$U_N \leq 0,40K$	$U_N \leq 0,50K$
Windows and other transparent envelopes	wd	$U_{MN} \leq 1,9K$	$U_{MN} \leq 0,19K$	$U_{MN} = 3,00K$
Doors, gates	d	$U_{MN} = 1,9K$	$U_N = 1,9K$	$U_N = 3,00K$

Table 4 (from STR 2.05.01: 2012) building envelopes permissible heat transfer coefficient values are: U_{MN} W/(m²K)

From STR 2:01:03: 2009, Table 4, the thermal conductivity coefficient correction for the additional material in the construction of unventilated construction humidity is selected $\Delta\lambda_{\omega} = 0,002$ W/(mK). Heat convection effect coefficient is selected from STR 2.01.03: 2009 - K_{cv} . When polyester foam on a wall that is being plastered is affixed to the supporting surface $K_{cv} = 0$, then $\Delta\lambda_{cv} = \lambda_{2, dec} \cdot K_{cv} = 0,0$. The design coefficient of polystyrene "EPS 70" thermal transmittance:

$$\lambda_{2,ds} = \lambda_{2,dec} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} = 0,039 + 0,002 + 0,000 = 0,041 \text{ W/(mK)}; \quad (4.2)$$

250 mm thick ceramic hollow blocks masonry thermal resistance is calculated:

$$R_3 = d_3 / \lambda_{3,ds} = 0,25/0,47 = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad (4.3)$$

15 mm thick lime and sand plaster at the upper wall surface thermal resistance is calculated:

$$R_4 = d_4 / \lambda_{4,ds} = 0,015/0,80 = 0,0187 \text{ m}^2\text{K/W}. \quad (4.4)$$

Next, using the formula (8), we calculate the normative thickness of the polystyrene d_{N2} .

$$\begin{aligned} d_{N2} &= \left[\frac{1}{U_N - \Delta U_{fi}} - R_{si} - R_{se} - R_4 - R_5 - \dots - R_n - (R_g + R_q + R_u) \right] \cdot \lambda_{2,ds} = \\ &= \left[\frac{1}{0,20-0,00} - 0,13 - 0,04 - 0,0062 - 0,53 - 0,0187 \right] \cdot 0,041 = 0,1753 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Given the dimensions of the production, we choose the thickness of the polystyrene = 180 mm. By using the formula (4), we calculate the thermal resistance R_t of the constructed wall.

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}, \text{ m}^2\text{K/W};$$

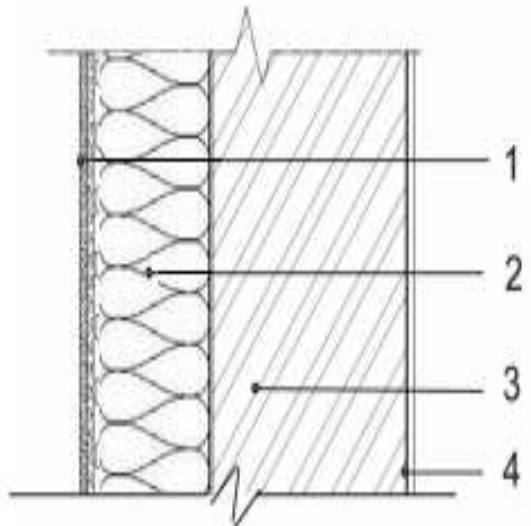
$$R_t = 0,13 + 0,0187 + 0,53 + \frac{0,18}{0,041} + 0,04 = 5,11 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (4.6)$$

The newly constructed wall's thermal transmittance coefficient:

$$U = \frac{1}{R_t}, = \frac{1}{5,11} = 0,196 < U_n = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (4.7)$$

The outer walls mineral wool "PAROC Linio 80" normative thickness calculation, when the wall is insulated with thermal insulation system (option available for new and modernized buildings). This is an example for the exterior wall insulation of a building. Here, the thermal transmittance coefficient is taken from STR 2.05.01: 2012. $U_N=0,20\kappa \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, (see table 1). [6] We then take the indoor air design temperature from HN 42:2009 "Microclimate of residential and public buildings" $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. The outside temperature from RSN 156-94 $\theta_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, then $\kappa = 1$. [7]

- 1 – thin-layered reinforced plaster on the outside of the wall, $\lambda_{1,ds} = 0,80 \text{ W/(mK)}$;
- 2 - mineral wool "PAROC Linio 80" design thermal conductivity coefficient, $\lambda_{2,dec} = 0,042 \text{ W/(mK)}$;
- 3 - 250 mm retaining wall layer from hollow ceramic tiles (36% hollowness, density of blocks 1300 kg/m^3), $\lambda_{3,ds} = 0,47 \text{ W/(mK)}$;
- 4 - lime and sand plaster on the upper part of the wall indoors, $\lambda_{4,ds} = 0,80 \text{ W/(mK)}$;



- 1 – thin-layered reinforced plaster on the outside of the wall, $\lambda_{1,ds} = 0,80 \text{ W/(mK)}$;
- 2 - mineral wool "PAROC Linio 80" design thermal conductivity coefficient, $\lambda_{2,dec} = 0,042 \text{ W/(mK)}$;
- 3 - 250 mm retaining wall layer from hollow ceramic tiles (36% hollowness, density of blocks 1300 kg/m^3), $\lambda_{3,ds} = 0,47 \text{ W/(mK)}$;
- 4 - lime and sand plaster on the upper part of the wall indoors, $\lambda_{4,ds} = 0,80 \text{ W/(mK)}$;

Fig. 3 The wall plaster insulation system incision.

$$R_1 = d_1 / \lambda_{1,ds} = 0,005/0,80 = 0,0062 \text{ m}^2\text{K/W}. \quad (4.8)$$

$$\lambda_{2,ds} = \lambda_{2,dec} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{cv} = 0,042 + 0,002 + 0,000 = 0,044 \text{ W/(mK)}; \quad (4.9)$$

$$R_3 = d_3 / \lambda_{3,ds} = 0,25/0,47 = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad (4.10)$$

$$R_4 = d_4 / \lambda_{4,ds} = 0,015/0,80 = 0,0187 \text{ m}^2\text{K/W}. \quad (4.11)$$

$$d_{N2} = \left[\frac{1}{U_N - \Delta U_{fi}} - R_{si} - R_{se} - R_4 - R_5 - \dots - R_n - (R_g + R_q + R_u) \right] \cdot \lambda_{2,ds} =$$

$$= \left[\frac{1}{0,20 - 0,00} - 0,13 - 0,04 - 0,0062 - 0,53 - 0,0187 \right] \cdot 0,044 = 0,1881 \text{ m}$$

(4.12)

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se}, \text{ m}^2\text{K/W};$$

$$R_t = 0,13 + 0,0187 + 0,53 + \frac{0,18}{0,044} + 0,04 = 4,80 \text{ mK}^2/\text{W} \quad (4.13)$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{4.80} = 0,208 < U_n = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (4.14)$$

5. Comparison

Constructed wall's thermal resistance (R_t) using "EPA 70" and "PAROC Linio 80"

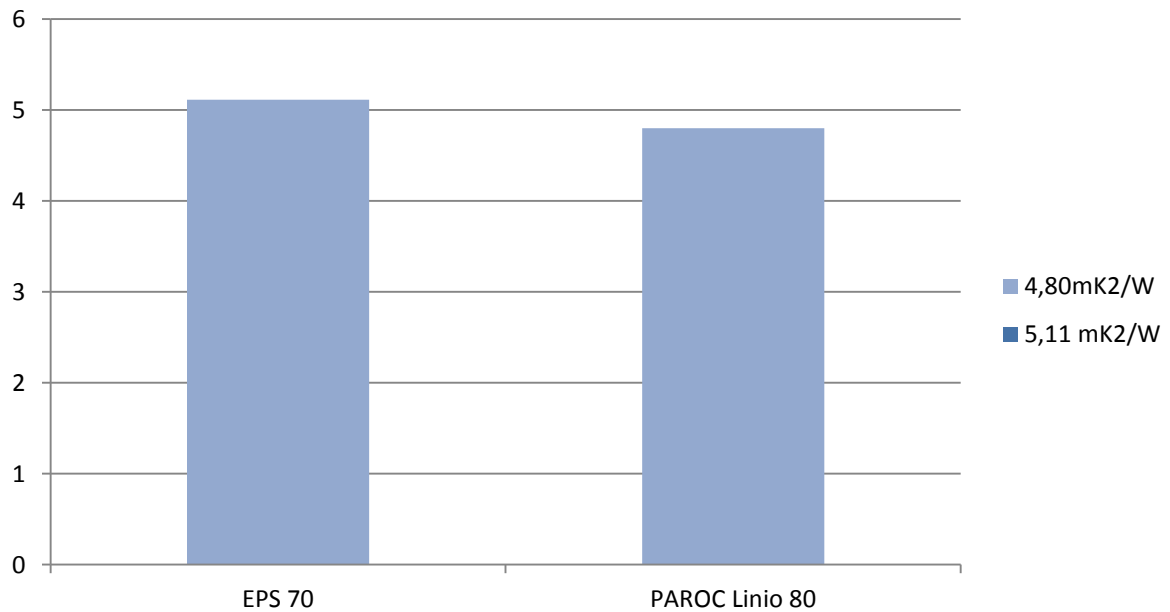


Figure 4. Wall thermal resistance (R_t) (m² •K/W)

Price: „EPS70“ (1000x1000x100) **1m³**= 47.66 € ir „PAROC Linio 80“ (1000x1000x100) **1m³**=160,5 € .[10]

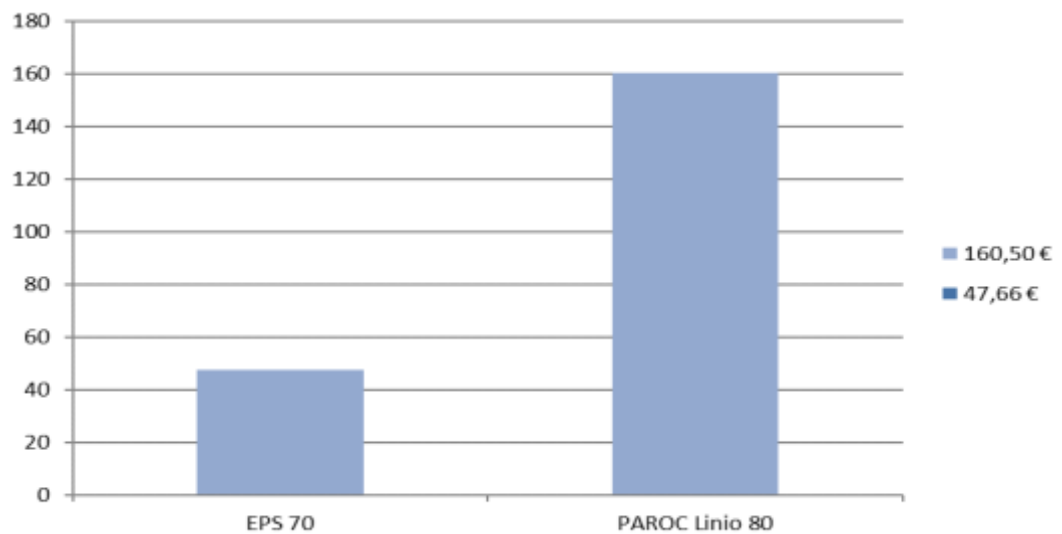


Figure 5. Thermal insulation of 1 m² price in euros.

Flammability class. [8]

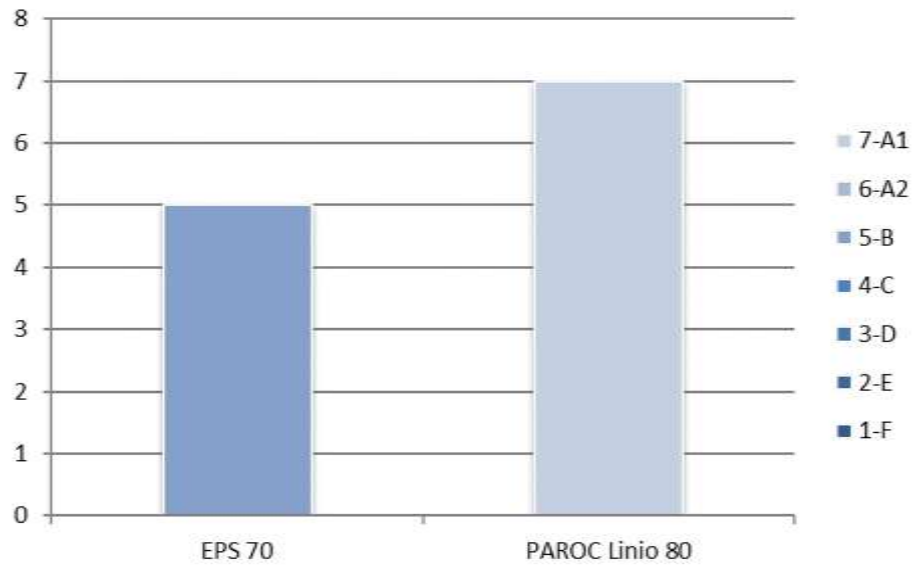


Fig. 6. Heat insulation flammability class comparison

Durability

Polystyrene foam EPS70 does not rot, decay, does not alter its volume. It does not age and retains its thermal, mechanical and other properties throughout the life of the building, but the humidity high temperature exposure of the mineral wool "PAROC Linio 80" at the same can affect the time can affect the mechanical properties of the mineral wool. Under such extreme conditions the strength properties of the mineral wool can be detected, therefore the polystyrene foam, in terms of longevity compared with mineral wool, is a much better choice. [9]

6. Conclusion.

The waterproofing materials "EPS 70" and "80 PAROC Linio 80" were analyzed. After calculating the walls of a building using these two waterproofing materials for thermal insulation of the building, it has been come to the conclusion that the wall's thermal resistance (R_t) is greater for polystyrene foam "EPS 70". In respect of price, the mineral wool "PAROC Linio 80" is 3.4 times more expensive than the polystyrene "EPS 70". The "EPS 70" also has a lower flammability class of level B. The polystyrene foam "EPS 70" is also better than mineral wool in terms of durability, because the mineral wool "PAROC Linio 80" mechanically reacts negatively to changes in temperature and humidity, where "EPS 70" polystyrene at the same time does not react to neither of the factors.

Literature

1. Construction Technical Regulation STR 2.01.09:2012. "Pastatų energetinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas".
2. Caparol insulation system. Access the Internet: < http://www.caparol.lt/produkti.html?cprl_catalogue_ccid=4 > > [previewed 2015-04-20].
3. Construction Rules ST 121895674.205.20.01:2012 "Fasadų įrengimo darbai. Išorinių tinkuojamų sudėtinių termoizoliacinių sistemų įrengimas" Prepared by: Lithuanian Builders Association.
4. Paroc. Access the Internet: < <http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/sprendimai/sienos> > . > [previewed 2015-04-20].
5. Construction Technical Regulation STR 2.01.09:2012 "Pastatų energetinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas" 2 supplement.
6. Construction Technical Regulation STR 2.01.09:2012 "Pastatų energetinis naudingumas"
7. HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“
8. Paroc. Access the Internet: < <http://www.paroc.lt/verta-zinoti/gaisras>. > [previewed 2015-04-20].
9. Paroc. Access the Internet: < <http://www.paroc.lt/verta-zinoti/mechaninis-patvarumas/ilgaamziskumas> > [previewed 2015-04-20].
10. Access the Internet: < <http://www.b-a.eu/c1748/polistireninis-putplastis-eps-70>; > [previewed 2015-04-20].
11. Access the Internet: < <http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/sprendimai/sienos/tinkuojamu-fasadu-sistemas>-> [previewed 2015-04-20].