



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

Julius Kuncė

**A++ KLASĖS PASTATO GRINDŲ ANT GRUNTO
DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Dr. Donatas Aviža

PANEVĖŽYS, 2018

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

**A++ KLASĖS PASTATO GRINDŲ ANT GRUNTO
DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (621J80001)

Vadovas

Dr. Donatas Aviža

Recenzentas

Dr. Danas Garuckas

Projektą atliko

Julius Kuncė

PANEVĖŽYS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Julius Kuncė

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, 621J80001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„A++ klasės pastato grindų ant grunto daugiakriterinis vertinimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. sausio 9 d.
_____ Panevėžys _____

Patvirtinu, kad mano, **Juliaus Kuncės**, baigiamasis projektas tema „**A++ klasės pastato grindų ant grunto daugiakriterinis vertinimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Juliui Kuncei Grupė PMS-6

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: A++ klasės pastato grindų ant grunto daugiakriterinis vertinimas

Anglų kalba: Multicriteria evaluation of the building envelopes of the A++ ground floor

Patvirtinta 2017_ m. lapkričio ____ mėn. 7 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-18

2. Darbo tikslas:

A++ KLASĖS PASTATO GRINDŲ ANT GRUNTO DAUGIAKRITERINIS VERTINIMAS

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Darbas turi būti paruoštas pagal „KTU PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETO TECHNOLOGIJOS MOKSLŲ SRITIES BAIGIAMŲJŲ PROJEKTŲ RENGIMO IR GYNIMO METODINIAI REIKALAVIMAI“ potvarkio Nr. V25-13-10

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

Įvadas

1. Apžvalginė dalis

2. Metodinė dalis

3. Tiriamoji dalis

Išvados

Informacinių šaltinių sąrašas

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2018-01-09

(data)

Užduotį gavau:

2017-09-04

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas:

2017-09-04

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

TURINYS

SANTRAUKA	2
SUMMARY	3
Įvadas.....	4
1. Apžvalginė dalis.....	5
1.1. Pastato energetinis naudingumas ir jo sertifikavimas Lietuvoje.....	5
1.2. Pastato apšiltinimo sprendimai Vokietijoje.....	7
1.3 Lietuvos tikslai ir įsipareigojimai pagal nZEB.....	7
2. Metodinė dalis	10
2.1. Efektyvumo rodiklių subjektyvaus reikšmingumo nustatymas.....	12
2.2. Rodiklių objektyvaus reikšmingumo nustatymas.....	15
2.4 Topsis – artumo idealiam taškui metodas.....	16
2.5 Šilumos nuostolių per pastato atitvaras, kurios ribojasi su gruntu skaičiavimas.....	17
3. Tiriamoji dalis	23
3.1. Grindų ant grunto šilumos laidumo koeficiento skaičiavimas.....	23
3.2. Daugiakriterinis vertinimas TOPSIS metodu	32
Racionalaus grindų ant grunto parinkimo programa	37
Išvados.....	39
Informacinių šaltinių sąrašas	40

Julius, Kuncė. A++ klasės pastato grindų ant grunto daugiakriterinis vertinimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Donatas Aviža; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: statybų technologijos, technologijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: *grindys, A++, daugiakriterinis, TOPSIS, gruntas,*

Panevėžys, 2018. 40 p.

SANTRAUKA

Pastato grindys ant grunto yra viena iš jo atitvarų su išore, kuri atlieka daugybę funkcijų. Grindys ant grunto atskiria pastato vidaus patalpas nuo grunto esančio lauke. Jos taip pat yra apsaugomos nuo šilumos pernešimo ir atidavimo gruntui arba išorei. Apsauga yra atliekama pastato grindis apšildant termoizoliacijos sluoksniu. Grindims apšiltinti yra naudojamos tradicinės apšiltinimo medžiagos kaip ir likusioms pastato atitvaroms.

Šiame darbe apžvelgsiu, kokie yra keliami reikalavimai naujai statomiems pastatams nuo 2018 metų. Pastatai statomi nuo 2018 metų jau turės būti mažai arba beveik energijos nevartojantys pastatai. Kad tai būtų pasiekta reikia labai gerai izoliuoti pastato išorės atitvaras, kad pastatas per jas prarastu kuo mažiau šilumos.

Nagrinėjamas A++ klasės visuomeninis pastatas, jo grindys ant grunto. Nagrinėjama trys skirtingos dažniausiai sutinkamos pastato formos. Tai kvadratas, stačiakampis ir c formos pastatas. Kiekvienos formos pastato grindys bus suskaičiuotos su trimis skirtingomis termoizoliacinėmis medžiagomis; polistireninis putplastis, ekstruzinis polistireninis putplastis ir akmens vata.

Kiekvienas iš variantų optimalus apšiltinimas ir bendrai optimaliausia medžiaga ir pastato forma nustatoma naudojant TOPSIS daugiakriterinio vertinimo metodą. Kriterijus pagal kuriuos skaičiuosime optimalų variantą parinkau savo nuožiūra pagal turimas žinias į ką reikia atkreipti dėmesį renkantis apšiltinimo metodą. Buvo atlikta apklausa ir apklaustieji žmonės įvertino mano pasirinktus kriterijus pagal jų svarbą. Pasirinkti kriterijai: izoliacijos storis, šilumos laidumo koeficientas, įrengimo kaina €/m², gniuždomasis stipris, bei termoizoliacijos kaina.

Atlikus tyrimą buvo nustatyta, kad optimaliausia yra naudoti ekstruzinį polistireninį putplastį, beveik lygiavertė alternatyva yra polistireninis putplastis, o akmens vata yra prasčiausia alternatyva. Dėl pastato formos tai geriausia yra kvadrato formos pastas. Kuo didesnis yra pastato perimetras lyginant su plotu nuo reikia daugiau apšildyti pastatą.

Julius Kunce. Multi-criteria Evaluation Of The Building Envelopes Of The A++ Ground Floor: *Master's thesis in Construction / supervisor assoc. prof. Donatas Aviza. Panevezys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Building Technology, Technology Science.

Key words: floor, A++, multi-criteria, *TOPSIS*, *ground*

Panevezys, 2018. 40 p.

SUMMARY

Building floor on the ground is one of its partitions with exterior, which performs many functions. Floors on the ground separate building interior from the ground. They are also protected against the transfer of heat to soil or outside. This protection is performed by forming thermal insulating layer. For floor thermal insulation usually we used same materials as the rest of building insulation.

In this work I will review the requirements for newly built buildings from 2018 buildings being built since 2018 have to be low or almost nearly zero energy using buildings. To achieve this, it is necessary to insulate the external partitions so well that we need to use as little energy to heat building as possible.

The A++ class public building floors on the ground is examined. I take three commonly used building shapes; square, rectangular and C shape. Every of these three building shapes will be calculated based on three thermal insulating materials: polystyrene foam, extruded polystyrene foam and rock wool.

Each of the optimal insulating options and generally optimal insulating material and the shape of the building are determined using TOPSIS Multi-Criteria evaluation method. The criteria according to which I will calculate the optimal variant, I have chosen at my own discretion, according to the available knowledge, what should be considered when choosing the insulation method. A survey was made and interviewed people evaluate my chosen criteria according to their consideration. Selected criteria: insulation thickness, thermal conductivity coefficient, installation cost €/m², compressive strength, and thermal insulation cost.

In the study, it was found that the most optimal is used extruded polystyrene foam, the almost equivalent option is polystyrene foam and rock wool is the worst alternative. Due to the shape of the building, the best option is to have square building. The large is building perimeter compare to the area of it, we need to insulate building more and more.

Ivadas

Pastaruojamu metu daug dėmesio yra skiriama pastatų energetiniam naudingumui didinti. Tai lemia didėjanti gamtos tarša, iškastinio kuro naudojimas. Kadangi iškastinio kuro išteklių senka, todėl natūralu, kad kylant jo kainai kartu didėja ir namų apšilimo kaštai. Tada alternatyva tampa didesnės investicijos į namo apšilimą ir sandarumo šilumai didinimą bei atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas. Tokiu keliu eina ir naujausios Europos Sąjungos direktyvos, kurių pagrindu yra griežtinami reikalavimai naujoms statyboms.

Kai reikalavimai yra keliami tokiais dideliais tempais, nenuostabu, kad atsiranda poreikis ieškoti alternatyvių ir naujų būdų, kaip galima pasiekti reikiamus energinio naudingumo reikalavimus naujiems pastatams. Aišku, lygiagrečiai atsiranda ir daugybė naujų pastatų apšilimo technologijų, kurios kartais yra ir gana brangus malonumas, todėl reikia ieškoti kitokių apšilimo metodų, kurie patrauklesni vartotojui pagal jo pasirinktus kriterijus (apšilimo medžiagos storis, kaina, šilumos perdavimo koeficientas ir kt.). Šiuo metu visuomeninių pastatų sektoriuje apie 39 % visos pastato suvartojamos energijos sunaudojama jam šildyti. Šilumos nuostoliai per grindis ant grunto sudaro beveik 15 % viso pastato energijos nuostolių (5).

Magistrinio darbo tikslas yra atlikti daugiakriterinį visuomeninio pastato grindų ant grunto vertinimą, kai lyginami keli grindų apšilimo variantai. Darbo metu bus lyginama grindų ant grunto apšilimo variantai, bei kokia pastato forma reikalauja mažiausio apšilimo. Iširtas efektyviausias grindų apšilimo variantas.

Darbo tikslas:

- Atlikti A++ visuomeninio pastato grindų ant grunto daugiakriterinį vertinimą.

Darbo uždaviniai :

- nustatyti optimalų grindų apšilimo variantą A++ klasės pastatams
- pasirinkus tris skirtingas pastato formas ir joms parinkti grindų ant grunto detalę naudojant tris skirtingas apšilimo medžiagas .
- Taikant programą „Prosama5G“ nustatyti kiekvieno varianto 1 m² grindų įrengimo kainą
- Naudojant TOPSIS metodą atlikti daugiakriterinį vertinimą ir išrinkti efektyviausią apšilimo medžiagą.
- Nustatyti racionaliausią pastato formą, grindų ant grunto apšilimui.

1. Apžvalginė dalis

1.1. Pastato energetinis naudingumas ir jo sertifikavimas Lietuvoje.

Pastato energetinis naudingumas apima ne tik pastato apšiltinimą, bet ir atsižvelgia į kitus namo suvartojamus energijos kiekius.

Energijos suvartojimas užima didelį vaidmenį pastato gyvavimo metu. Energijos naudojimo ir gamybos duomenys yra labai svarbūs norint suprasti išskylančias problemas energijos sektoriuje ir norint pasiūlyti efektyvius sprendimus. Svarbu yra išanalizuoti kur ir kada yra suvartojama energija pastate.

2011 m. transporto, pramonės, gyvenamasis ir komercinis sektoriai, kaip galutiniai vartotojai atitinkamai suvartojo 28 %, 31 %, 22 % ir 19 % visos pasaulyje suvartojamos energijos (1).

Pastatų sektorius buvo įvardytas kaip didžiausias energijos vartotojas, nes jis suvartojama apie 40 % visos pasaulyje suvartojamos energijos. Todėl sukurta pastatų energetinio naudingumo skalė, kurioje pastatai skirstomi į 9 kategorijas nuo G iki A++ (1).

Todėl atsižvelgiant į susidariusią padėtį dėl aplinkos taršos ir kitų veiksnių buvo imtasi veiksmų, kaip sumažinti energijos suvartojimą šiame sektoriuje. Tam Europos Parlamentas ir Europos Taryba 2002 m. gruodžio mėn. priėmė direktyvą 2002/91/EB „Dėl pastatų energetinio naudingumo „. Šioje direktyvoje nurodyta, kad Europos Sąjungos narės turi racionaliai ir ekonomiškai naudoti energijos šaltinius, skatinti efektyvesnę energijos vartojimą, mažinti ir apriboti anglies dvideginio išsiskyrimą į aplinką, diegti pastatų energetinio naudingumo sertifikavimą, užtikrinti, kad statomiems, parduodamiems ar išnuomojamiems pastatams, savininkui būtų išduodamas energetinio naudingumo sertifikatas arba kad savininkas jį išduotų būsimam pirkėjui ar nuomininkui (2).

Vadovaujantis šia direktyva Lietuvos Respublikos Seimas 2005 m. lapkričio 17 d. priėmė Statybos įstatymo 2 straipsnio bei priedo papildymo ir Įstatymo papildymo 43(1) straipsniu Įstatymą Nr. X-404, o Lietuvos Respublikos aplinkos ministras 2005 m. gruodžio 20 d. įsakymu Nr. D1-624 patvirtino statybos techninį reglamentą STR 2.01.09:2002 „Pastatų energetinis naudingumas. Energetinio naudingumo sertifikavimas“, kurie numato, kad nuo 2007 m. sausio 1 d. pastatai privalo būti sertifikuojami (2).

Pastato energetinio naudingumo sertifikavimas - reglamentuotas procesas, kurio metu nustatomas pastato energijos sunaudojimas, įvertinamas pastato energetinis naudingumas priskiriant pastatą energetinio naudingumo klasei ir išduodamas pastato energetinio naudingumo sertifikatas (2).

Sertifikatas - tai dokumentas, kuriame nurodyti šie duomenys: pastato adresas, paskirtis, naudingas plotas, energinio naudingumo klasė, suminės energijos sąnaudos 1 m² pastato naudingojo ploto, šilumos šaltinis, energijos sąnaudos pastato šildymui 1 m² pastato naudingojo ploto per metus, sertifikato numeris, išdavimo data, galiojimo terminas, sertifikatą išdavusio eksperto vardas, pavardė, pažymėjimo numeris, parašas (2).

**PASTATO ENERGINIO NAUDINGUMO
SERTIFIKATAS**

Nr. GV-0000-0000

Unikalus pastato Nr.: 0000-0000-0000

Postato adresas: _____

Postato paskirtis: Gyvenamosios paskirties vieno ir dviejų butų pastatai

Postato naudingasis plotas: 218,86 m²

Postatų energinio naudingumo klasifikavimas | Klases*

Nustatyta pastato energinio naudingumo klasė:



* A+++ klasė yra laikoma aukščiausia, nurodo energijos beveik nevaikantį pastatą, G klasė nurodo energiskai neefektyvų pastatą.

Skaičiuojamosios suminės energijos sąnaudos vienam kvadratiniam metrui pastato naudingojo ploto: 176,64 kWh/(m²*metas)

Pagrindinis pastato šildymui naudojamas šilumos šaltinis: Skysto kuro katilas, automatinis regulavimas

Energijos sąnaudos pastato šildymui: 150,44 kWh/(m²*metas)

Sertifikato išdavimo data: 2012-01-01

Sertifikato galiojimo terminas: 2022-01-01

Sertifikatą išdavė ekspertas:  Raimundas Juodzevičius

Atestato Nr. 0086

00000

Skaitydami atlikti pagal STR 2 01 09 2015 reikalavimus. Sertifikatų registravimas: www.spcc.lt

1 pav. Pastato energetinio naudingumo sertifikatas (2).

Pastato energinio naudingumo sertifikavimo tvarka:

1. Užsakovas pateikia prašymą sertifikuoti pastatą. Prašymo formą galite užpildyti čia.
2. Sutarties pasirašymas.
3. Pateiktų dokumentų patikrinimas (pastato projektas, kadastrinių matavimų byla ir pan.)
4. Pastato apžiūra.
5. Duomenų apie pastato būklę surinkimas ir pateikimas suderinimui su užsakovu.
6. Energinio naudingumo skaičiavimas.
7. Sertifikato registravimas Statybos produkcijos ir sertifikavimo centre (www.spcc.lt)
8. Sertifikato pateikimas užsakovui:
 - Pastato energinio naudingumo sertifikatas;
 - Pastato energijos sąnaudų skaičiavimo rezultatai;
 - Priemonių pastato energiniam naudingumui gerinti įvertinimas (2).

1.2. Pastato apšiltinimo sprendimai Vokietijoje

Tradicinės statybos medžiagos pagal tendenciją yra labai geros šilumos laidininkės, todėl reikia prie šių medžiagų pridėti papildomas medžiagas, kurios turi labai mažą šilumos laidumą. Dažniausiai naudojamos šių medžiagos; patinti plastikai, mineralinės vatos, patinti betonai, celiuliozė, kanapių molio mišiniai, medžio drožlės, kamštinės medžiagos, augaliniai pluoštai, nendrinės plokštės, gipso kartonas. Dar yra naudojamos ir inovatyvios apšiltinimo technologijos tokios kaip vakuuminė izoliacija, permatoma šilumos izoliacija (3).

Energetiniai reikalavimai Vokietijoje yra panašūs į kitų Europos šalių. Energetinis sertifikavimas naujiems ir seniems pastatams, kuriuos norima parduoti ar išnuomoti. Pagal energetinį sertifikavimą ruošiami specialūs renovacijos reikalavimai, kad būtų pagerintas pastato energetinis ekonomiškumas. Šiuos energetinius standartus reguliuoja Energijos taupymo potvarkis (Energy Saving Ordinance – EnEV). Kasmet šie standartai vis labiau griežtėja ir numatoma, kad ir toliau griežtės (3).

Federalinė transporto, statybos ir miesto reikalų ministerija (BMVBS) ir partneriai rengia gerai kvalifikuotus inspektorius, kurie pripažįstami ir visame pasaulyje (3).

1.3 Lietuvos tikslai ir įsipareigojimai pagal nZEB.

Dar 2015 metais Europos komisija kartu su ECOFYS energijos konsultantais sudarė normatyvas, kurių pagalba visos Europos šalys turės pasiekti tam tikrus pastatų energinio naudingumo rodiklius ir galiausiai pasiekti, kad ateityje bus statomi tik energijos beveik nenaudojantys pastatai. To pasėkoje kiekviena šalis turėjo sudaryti planą kaip bus to pasiekta.

Taigi Lietuvos plano, kaip pasiekti nZEB (nearly zero-energy buildingsnormas) – energijos beveik nenaudojančio pastato buvo pristatytas 2013 metais. Jo 4 dalyje buvo pristatoma, kokie bus Lietuvos tarpiniai tikslai, pagerinti naujų pastatų energijos suvartojimo rodiklius, kurie užtikrinti, kad iki 2018 m. gruodžio 31 d. visi užimami ir valdomi valdžios institucijų bei naujai statomi pastatai bus beveik energijos nenaudojantys pastatai (4).

Pranešimui parengti buvo nustatyti klausimai, gairės, kurias turi atsakyti tos šalies valdininkai. Taigi pirmasis klausimas buvo, kokie būtų kiekybiniai ir kokybiniai 2015 metų tikslai valdžios institucijų užimamiems ir naujai statomiems pastatams? Lietuva atsakė taip, kad norint tiksliai ir teisingai įvykdyti direktyvos 9 straipsnio pirmos dalies normas Lietuva turi nustatyti pereinamuosius reikalavimus 2014, 2016, 2018 ir 2021 metais naujai statomiems pastatams, pasitelkiant pastatų energinio naudingumo klases. Šios klasės yra labai panašios į tas klases, kurias matome pirkdami naują buitinę techniką, kurios energijos suvartojimas yra suskirstytas klasėmis. Taigi buvo siūlomos šios normos ir būtinos pasiekti klasės:

- Iki 2014 – visi naujai statomi pastatai ir jų dalys, turi atitikti C klasei keliamus reikalavimus;

- nuo 2014 metų – visi naujai statomi pastatai, turi atitikti nemažesnius kaip B klasei keliamus reikalavimus;
- nuo 2016 – naujai statomi pastatai, turi atitikti A klasei keliamus reikalavimus;
- nuo 2018 – visi naujai statomi pastatai, turi atitikti A+ keliamus reikalavimus;
- nuo 2021 – visis naujai statomi pastatai, turės atitikti A++ klasei keliamus reikalavimus.
- Lietuvos statybos įstatymas nurodo, kad po 2018 m. gruodžio 31 d. nauji valstybės, vietos valdžios, institucijų ir įmonių pastatai, turi būti beveik energijos nenaudojantys pastatai.

Pastato energijos naudingumo atitikimui patvirtinti yra išduodamas pastato energetinio naudingumo sertifikatas (4).

Kokybiniai 2015 metų tikslai: laikini su energija susiję reikalavimai naujiems visuomeniniams pastatams.

Reikalavimas daliai atsinaujinančių energijos šaltinių (4).

Vyriausybės arba jos į galiotos institucijoms rengti ir įgyvendinti priemonės, kurių pagalba būtų didinamas visų tipų atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas ir energijos naudingumo didinimas pastatuose, kuris susijęs su visuminiu energijos suvartojimu ir siekimu beveik nulinės energijos suvartojančio pastato (4).

Nuo 2014 m. gruodžio 31 d., pastatai, kurie yra nauji arba yra atnaujinami, turi atitikti atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimui keliamus reikalavimus. Laikymasis tokių reikalavimų užtikrintų pastatų šildymui ir vėsinimui naudoti centralizuota sistema, kurioje atsinaujinantys energijos šaltiniai yra plačiai naudojami (4).

Nuo 2012 m. sausio 1 d. esami pastatai priklausantys valstybei, savivaldybių institucijoms, kompanijoms ir reikalaujantys mažo remonto, renovacijos atitikti, laikytis atsinaujinančios energijos naudojimo reikalavimų (4).

Reikalavimai naudingos energijos poreikiui: tai priklauso nuo numatytų pastato reikalavimų, kurie yra nustatyti ir apibrėžti Statybos techniniame reglamente STR 2.01.02:2016 „Pastatų energetinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ (4).

Reikalavimai dėl pirminės energijos paklausos: jie priklauso nuo numatomų pastate naudoti neatsinaujinančių ir atsinaujinančių pirminių energijos faktorių verčių naudojamų skaičiavimuose skirtingų energijos šaltinių yra taip pat apibrėžti ir pateikti statybos techniniame reglamente STR 2.01.02:2016 „Pastatų energetinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“, kuris nuo šiol atlieka abiejų ankščiau buvusių statybos techninių reglamentų funkcijas (4).

Kiekybiniai tikslai 2015 metams: viešojo nZEB dalis, pagal oficialų nZEB aprašymą, visiems naujai statomiems visuomeniniams pastatams apibrėžiama etaloniniai pastato parametrai tokie kaip: pastatų skaičius, grindų plotas, tūris ir panašūs (4).

Statistiškai, Lietuvoje kiekvienais metais yra išduodama apie 5000 statybos leidimų. Kiekvienais metais išduodamų statybos leidimų negyvenamiesiems pastatams skaičius mažėja: 2014 metais išduota 2559 leidimai, 2015 metais 2466, 2016 metais 1126 (5)

Praktika rodo, kad su tinkama informacija, projektuotojai suprojektuoja aukštesnius reikalavimus atitinkančius pastatus, negu numato reikalavimai. Lietuva nustatė pereinamuosius reikalavimus naujai statomiems pastatams:

- Iki 2014 – visi naujai statomi pastatai ir jų dalys, turi atitikti C klasei keliamus reikalavimus;
- nuo 2014 metų – visi naujai statomi pastatai, turi atitikti nemažesnius kaip B klasei keliamus reikalavimus;
- nuo 2016 – naujai statomi pastatai, turi atitikti A klasei keliamus reikalavimus;
- nuo 2018 – visi naujai statomi pastatai, turi atitikti A+ keliamus reikalavimus;
- nuo 2021 – visis naujai statomi pastatai, turės atitikti A++ klasei keliamus reikalavimus.

Lietuvos statybos įstatymas nurodo, kad po 2018 m. gruodžio 31 d. nauji valstybės, vietos valdžios, institucijų ir įmonių pastatai, turi būti beveik energijos nenaudojantys pastatai (4)

Europos sąjungos normomis ir visais kitais reglamentais ir dokumentais norima suvienodinti gyvenimo sąlygas visame Europos regione. Pastato energetinio naudingumo didinimu yra siejamas su tikslais sumažinti energijos suvartojimą, skatinti atsinaujinančius energijos šaltinius bei sumažinti globalinio atšilimo problemas. Iki 2021 m. turime pasiekti, kad visi naujai statomi pastatai būtų beveik energijos nevartojantys pastatai. Dabar yra 2018 m., todėl galime teigti, kad esame finišo tiesiojoje ir pasiekėme paskutinę atkarpą. 2018 m. nauji pastatai turi atitikti A+ klasei keliamus reikalavimus. Statybos sektorius ir termoizoliacinių medžiagų gamintojai, turi statyti pastatus tokius, kad jie atitiktų reikalavimus ir tuo pačiu metu būtų patrauklūs užsakovams ir kainos ir kokybės bei atsiperkamumo atžvilgiu.

Kai reikalavimai tokie aukšti dabartinės technologijos siūlo daug įvairių naujovių, kurios užtikrina reikalavimų įvykdymą ž, bet kartu ir yra daug brangesnės už senesnes statybos technologija. Todėl ir yra ieškoma vairiausių alternatyvų kaip efektyviau pasiekti norimus tikslus laukiant naujų technologinių sprendimų.

2. Metodinė dalis

Daugiatikslių sprendimų metodai taikomi daugumoje sričių, kurios net nėra viena su kita susijusios tokios kaip inžinerija, vertybinių popierių biržos, medicina, ir kitos. Šie uždaviniai turi keletą bendrų bruožų (5, 7). Alternatyvos vertinamos pagal keletą vertinimo kriterijų, kurie gali būti priešaringi vieni kitiems, turintys skirtingus mato vienetus. Daugiatikslio vertinimo tikslas yra visų, nagrinėjamų rodiklių, kriterijų ir alternatyvų reitingavimas (8).

Sprendimo priėmimo procesą sudaro trys etapai:

1. Alternatyvų sąrašo sudarymas.
2. Rodiklių, pagal kuriuos bus vertinamos alternatyvos, aprašymas.
3. Alternatyvų suskirstymas pagal gautas reikšmes (9).

Pirmuoju žingsniu sudaromas alternatyvių pasirinkimų sąrašas, kuris bus naudojamas uždaviniams spręsti, aibė. Kitaip šios aibės narius galime pavadinti sprendimo variantais.

Antruoju žingsniu nustatomi ir apibrėžiami rodikliai, reikšmės, pagal kurias bus vertinami ir reitinguojami alternatyvūs variantai. Taip bus nustatoma, kokią reikšmę kiekviename uždavinio sprendimui, alternatyvai turės kiekvienas iš pasirinktų rodiklių.

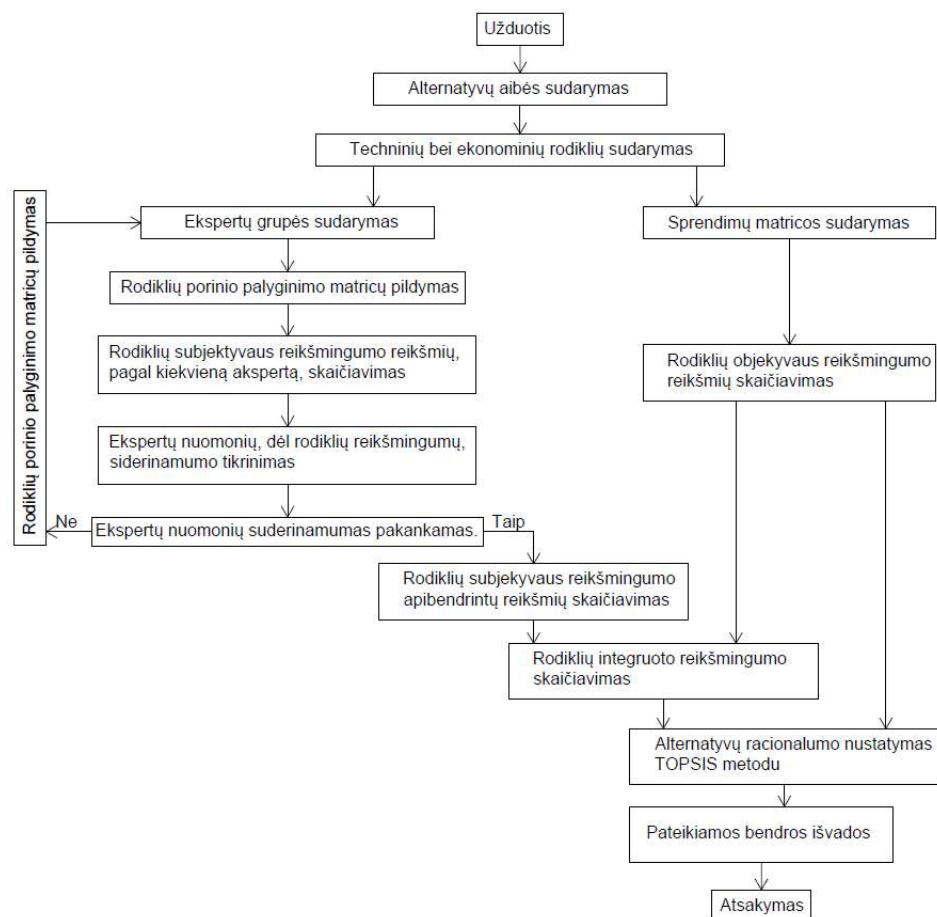
Trečiuoju žingsniu analizuojami sprendimo variantai, alternatyvos. Geriausias variantas parenkamas diferencijuojant variantų vertinimus pagal antruoju etapu gaunamus rodmenis (10).

Tobulėjant valdymo metodams ir skaičiavimams, daugiatiksliai sprendimo metodai tampa vis aktualesni priimant sprendimus įvairiose veiklos srityse (11).

Naudojant vienakriterinį vertinimo metodą neįmanomą racionaliai išspręsti šiomis dienomis iškylančiomis problemomis sudėtinguose technologiniuose ir marketinginiuose uždaviniuose. 2007 m. pasiūlytas daugiatikslių metodų kompleksas – MCDM-1 leidžia sudaryti efektyvų sudėtingų problemų sprendimo algoritmą, metodiką, apimančią daugelį efektyvių rodiklių. Minėtasis metodų kompleksas naudojamas darbe. Šiame darbe bus naudojamas vienas iš šio komplekso metodų, tai yra TOPSIS metodas (angl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), artumo idealiajam taškui metodas. Šį metodų kompleksą sudaro tokie etapai;

1. Sudaroma reikiamo išnagrinėti uždavinio alternatyvų aibė;
2. Aprašomi šiam uždaviniui būdingi techniniai bei ekonominiai rodikliai, pagal kuriuos bus reitinguojamos ir vertinamos alternatyvos;
3. Sudaroma reikiama sprendimų matrica;
4. Pildomos efektyvumo rodiklių matricos;
5. Pagal kiekvieną eksperto užpildytą matricą nustatomas nagrinėjamo rodiklio reikšmingumas ir pagal tai nustatomas kiekvieno rodiklio rangas;

6. Patikrinamas rodiklių suderinamumas, apskaičiuojamas konkordacijos koeficientas. Jeigu ekspertų nuomonių suderinamumas pakankamas, tokiu atveju galima pasikliauti nustatyti efektyvumo rodiklių reikšmingumo rodikliais. Jeigu ne atliekama ekspertų nuomonių analizė;
7. Naudojant matricas apskaičiuojamos efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės;
8. Naudojant gautas objektyvias ir subjektyvias reikšmingumo reikšmes apskaičiuojamos integruotos reikšmingumo reikšmės, kurios yra toliau naudojamos atlikti skaičiavimus;
9. Naudojant sprendimų matricą ir atitinkamas efektyvumo rodiklių reikšmes taikomas daugiatakslinis sprendimo metodas - artumo idealiajam taškui (TOPSIS) metodas (12).
10. Atlikus analizę duomenys apibendrinami ir daromos bendros išvados. Tokių metodų komplekso pagrindu sudaroma metodų veiklos diagrama.



2 pav. daugiatakslinių metodų veiklos diagrama (6)

Daugiatakslių metodų veiklos diagrama (12).

2.1. Efektyvumo rodiklių subjektyvaus reikšmingumo nustatymas

Taikant daugiatislinį problemų sprendimo metodą, pirmiausia nustatomas rodiklių reikšmingumas. Šie rodikliai rodo tam tikro rodiklio svarbą nagrinėjamai problemai. Šis reikšmingumas suskirstomas į objektyvų ir subjektyvų. Kiekvienas iš šių reikšmingumo nustatymo būdų turi savo privalumų ir trūkumų. Subjektyvus rodiklių reikšmingumas nusako asmens požiūrį į tam tikrų rodiklių svarbą. Tuo tarpu objektyvi reikšmingumo reikšmė yra nusakoma atsižvelgiant į objektyvią informaciją apie šiuos rodiklius. Tokių rodiklių reikšmės yra visiškai neįtakojamos asmens subjektyvios nuomonės (12).

Pirma pateikiamas vienas iš subjektyvaus reikšmingumo nustatymo būdų, kuris numatytas metodų komplekse. Šis metodas pagrindžiamas ekspertiniu porinio palyginimo metodu, kurį pateikė T. Saaty (13).

Šis porinio lyginimo metodas patogus tuo, kad ekspertas gali lyginti du rodiklius tarpusavyje poromis. Šiuo metodu, remiantis ekspertų nuomonėmis nustatomas, efektyvumo rodiklio reikšmingumas. Šioms reikšmėms nustatyti naudojama informacija, kuri gaunama lyginant rodiklių poras ir vertinant jų tarpusavio svarbos stiprumą. Jų prioritetams nustatyti naudojama reikšmingumo skalė, kurią pasiūlė T. Saaty (14).

1 lentelė Rodiklių reikšmingumo skalė (13)

Svarbumo lygis	Apibrėžimas
1	Rodikliai vienodai svarbūs
3	Vienas rodiklis truputį svarbesnis už kitą
5	Vienas rodiklis svarbesnis už kitą
7	Vienas rodiklis daug svarbesnis už kitą
9	Vienas rodiklis nepalyginti svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8	Tarpinės reikšmės

T. Saaty svarbumo skalė (14).

Efektyvumo porinio lyginimo lentelės pildomos šiuo principu: lyginami rodikliai atitinkamai eilutės ir stulpelio. Jeigu eilutėje esantis rodiklis yra svarbesnis už stulpelio rodiklį, tuomet rašomas to rodiklio svarbumo lygį susakantis sveikas skaičius. Jeigu stulpelio atitinkamas skaičius didesnis už eilutės, tuomet yra rašomas atvirkštinis skaičius (14).

2 lentelė Rodiklių porinio reikšmingumo lyginimo pavyzdys (13)

	1 rodiklis	2 rodiklis	3 rodiklis
1 rodiklis	1	1	1/9
2 rodiklis	1	1	5
3 rodiklis	9	1/5	1

Turint ekspertų porinio palyginimo lenteles, sudaromos matricos. Šios matricos naudojamos efektyvumo rodiklio subjektyvaus reikšmingumo reikšmėms apskaičiuoti. Šis apskaičiavimas atliekamas tokiais žingsniais;

1. Turimas nagrinėjamo varianto m alternatyvas, aprašomų n rodikliais. Rodiklių X_i ir X_j porinis lyginimas žymimas b_{ij} , $j = 1, \dots, n$. Simbolis b_{ij} reiškia i -ojo ir j -ojo rodiklio rangų santykį, kurį pateikia ekspertas:

$$b_{ij} = \frac{\bar{q}_i}{\bar{q}_j} \quad (2.1)$$

Imkime prielaidą, kad poromis buvo lyginti visi rodikliai ir nustatytos skaitiniai tarpusavio rangų santykiai. Vertinimo rezultatai surašomi į matricą B :

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_1} & \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_2} & \dots & \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_n} \\ \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_1} & \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_2} & \dots & \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\bar{q}_n}{\bar{q}_1} & \frac{\bar{q}_n}{\bar{q}_2} & \dots & \frac{\bar{q}_n}{\bar{q}_n} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Pastebima, kad:

$$b_{ij} = \frac{\bar{q}_i}{\bar{q}_j}, \quad b_{ji} = \frac{\bar{q}_j}{\bar{q}_i}, \quad b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}} \quad (2.3)$$

Kai $i \neq j$, o $i = j$, $b_{ii} = 1$. Todėl pakanka palyginti ne visas poras, o tik nepasikartojančias, kurių iš viso yra $\frac{n(n-1)}{2}$;

2. Skaitinės rodiklių subjektyvaus reikšmingumo reikšmės \bar{q}_j , ($j = \overline{1, n}$) nustatomos mažiausių kvadratų metodu (12). Naudojant šį metodą privalumas tas, jog vienu metu gali apimti visą tiesinių lygčių sistemos sprendinių aibę.

Sakykime, kad elementai b_{ij} yra matricos B elementai ir teisingos lygybės. Tuomet rodiklių subjektyvaus reikšmingumo reikšmės gaunamos sprendžiant optimizavimo uždavinį: (12)

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (b_{ij} \bar{q}_j - \bar{q}_i)^2 \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^n \bar{q}_i = 1, (\bar{q}_i > 0, i = \overline{1, n}) \quad (2.5)$$

Uždavinys sprendžiamas sudarant Lagranžo funkciją:

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (b_{ij} \bar{q}_j - \bar{q}_i)^2 + 2\lambda (\sum_{i=1}^n \bar{q}_i - 1) \quad (2.6)$$

čia λ – Lagranžo daugiklis.

Diferencijuojant funkciją atžvilgiu \bar{q}_l , ($l = 1, 2, \dots, n$), gaunamos lygtys:

$$\sum_{j=1}^n (b_{ij} \bar{q}_j - \bar{q}_i) \cdot b_{ij} - \sum_{j=1}^n (b_{ij} \bar{q}_j - \bar{q}_i) + \lambda = 0, (l = 1, 2, \dots, n) \quad (2.7)$$

Naudojant 2.5 ir 2.7 lygtis sudaroma tiesinių nehomogeninių lygčių sistema, turinti $(n+1)$ lygtį ir $(n+1)$ nežinomąjį.

Bendrai ši lygčių sistema užrašoma matricine forma:

$$C \cdot Q = m, \quad (2.8)$$

čia $Q = (\overline{q_1}, \overline{q_2}, \dots, \overline{q_n}, \lambda)^T$ – rodiklių subjektyvaus reikšmingumo reikšmių, su λ – Lagranžo daugikliu, vektoriu stulpelis;

$m = (0, 0, \dots, 0, 1)^T$ – atitinkamas laisvųjų narių stulpelis. Matricą $C_{[(n+1) \cdot (n+1)]}$ sudaro elementai l_{ij} , apskaičiuojami pagal formules (16).

$$l_{ii} = (n - 20 + \sum_{j=1}^n b_{ji}^2), (i, j = \overline{1, n}) \quad (2.9)$$

$$l_{ij} = -(b_{ij} + b_{ji}), (i, j = \overline{1, n}, i \neq j) \quad (2.10)$$

$$l_{k, n+1} = l_{n+1, k} = 1,9k + \overline{1, n}) \quad (2.11)$$

$$l_{n+1, n+1} = 0 \quad (2.12)$$

3. Rodiklių reikšmingumai, gauti eksponentinio porinio lyginimo metu, gali būti laikomi gana patikimais, jeigu ekspertų nuomonių suderinamumas, dėl rodiklių rango, yra pakankamas. Nuomonių suderinamumui skaičiuojamas konkordacijos koeficientas W , kurį apibrėžė M. Kendall 1970 m. Šis koeficientas taikomas skaičiavimuose, kai reikia nustatyti ekspertų nuomonių suderinamumą, kuris yra aprašytas daugelyje mokslinių darbų (15). Konkordacijos koeficientas apskaičiuojamas:

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)}, \quad (2.13)$$

čia S – efektyvumo rodiklių rangų sumų nuokrypių nuo bendro vidurkio, kvadratų suma:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n c_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \right)^2 \quad (2.14)$$

čia r – ekspertų skaičius, n – rodiklių skaičius, c_{ij} – i – ojo rodiklio rango reikšmė, kurią suteikė j – asis ekspertas (16).

Kai ekspertų vertinimai mažai skiriasi – konkordacijos koeficientas artimas 1, kai tarp vertinimų yra didelis skirtumas – konkordacijos laipsnis artimas 0.

Kai $n > 7$, konkordacijos koeficiento reikšmingumas nustatomas naudojant X^2 kriterijų, nes atsitiktinis dydis:

$$X^2 = Wr(n - 1) = \frac{12}{rn(n+1)} \quad (2.15)$$

Pasiskirstęs pagal X^2 skirstinį su $v = n - 1$ laisvės laipsniu. Iš X^2 skirstinio lentelės, pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį α ($\alpha = 0,05$ arba $\alpha = 0,01$ su $v = n - 1$ laisvės laipsniu randama kritinė X_{krit}^2 reikšmė (16).

Jeigu gauta X^2 reikšmė didesnė už X_{krit}^2 , kuri priklauso nuo laisvumo laipsnio v ir reikšmingumo lygmens α , galime teigti, kad ekspertų nuomonių suderinamumas yra pakankamas. Jeigu $X^2 < X_{krit}^2$ teigiama, kad ekspertų nuomonės nesuderinamos (16).

Kitu atveju, kai $3 \leq n \leq 7$, galima taikyti konkordacijos koeficiento tikimybinės ar kritinės reikšmės S lentelės (16).

4. Tuo atveju, kai dėl rodiklių reikšmingumo, suderinamumas pakankamas, subjektyvaus reikšmingumo reikšmės skaičiuojamos pagal formulę:

$$\bar{q}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \bar{q}_{ij}, \quad (i = \overline{1, n}) \quad (2.16)$$

5. Kai ekspertų nuomonių, dėl rodiklių reikšmingumo, suderinamumas – nėra pakankamas, atliekama ekspertų nuomonių suderinamumo analizė.

2.2. Rodiklių objektyvaus reikšmingumo nustatymas

Objektyvaus rodiklių reikšmingumo nustatymui yra taikomas entropijos metodas (10). Tarkime, kad $A=(A_1, A_2, \dots, A_m)$ – diskretus rinkinys, $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ – rodiklių rinkinys, x_{ij} – alternatyvos A_i rodiklio X_j reikšmei ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$). Efektivumo rodiklių objektyvaus reikšmingumo reikšmėms nustatyti naudojama sprendimų matrica. Jos stulpeliai nurodo rodiklius, eilutės nurodo alternatyvas. Entropijos metodą galima taikyti tik tuo atveju, kai sprendimų matricoje yra rodiklių, kuriuos reikia minimizuoti, jeigu pertvarkomi taikant formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}, \quad (2.17)$$

Rodyklių, kuriuos reikia maksimizuoti, reikšmės nekeičiamos: $\bar{x}_{ij} = x_{ij}$, kai $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$. Tada yra sudaroma pertvarkyta sprendimų matrica:

$$\bar{X} = [\bar{x}_{ij}], \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (2.18)$$

Atsižvelgus į tai, kad efektyvumo rodikliai gali būti su skirtingais mato vienetais, matrica yra normalizuojama, tam kad visi jos elementai būtų bedinemiai skaičiai. Pertvarkytos matricos elementai normalizuojami pagal formulę:

$$p_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij}}, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (2.19)$$

Tada gauname normalizuotą matricą

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.20)$$

Nustatomas kiekvieno efektyvumo rodiklio entropijos lygis E_j :

$$E_j = -k \cdot \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (2.21)$$

čia $k = \frac{1}{\ln m}$.

Entropijos reikšmė kinta intervale $[0, 1]$, todėl $0 \leq E_j \leq 1$, $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$. J – ojo rodikliokitimo lygtis daugeluje technologinių uždavinių nustatomas skaičiuojant rodiklius:

$$d_j = 1 - E_j, \quad (j = \overline{1, n}) \quad (2.22)$$

Tokiu atveju kai visi efektyvumo rodikliai lygiareikšmiai, kai nėra jų subjektyvumo ar ekspertinių svarbos įvertinimų, tai rodiklių objektyvusis reikšmingumas nustatomas pagal šias formules:

$$q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, (j = \overline{1, n}). \quad (2.23)$$

Jei žinomi subjektyvūs reikšmingumai $(\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_n)$, kurie buvo nustatyti ekspertų vertinimo principu, tada galime apskaičiuoti rodiklių kompleksinio objektyvaus reikšmingumo reikšmes pagal formulę:

$$q_j^0 = \frac{\bar{q}_j q_j}{\sum_{j=1}^n \bar{q}_j q_j}, (j = \overline{1, n}), \quad (2.24)$$

čia $\bar{q}_j, (j = \overline{1, n})$ – rodiklių subjektyvaus reikšmingumo reikšmės: $q_j, (j = \overline{1, n})$ – rodiklių objektyvaus reikšmingumo reikšmės ir $q_j^0, (j = \overline{1, n})$ – rodiklių kompleksinio objektyvaus reikšmingumo reikšmės (6, 10).

2.4 Topsis – artumo idealiam taškui metodas

Yoon ir Hwang parašė variantų prioretiškumo nustatymo metodą, kuris yra pagrįstas koncepcija, kad nėra tokio sprendimo, kuris būtų tiksliai idealus, todėl pagal šį metodą yra priimamas sprendimas, variantas, kuris yra arčiausiai priartėjęs prie idealaus varianto. Toks metodas dar yra vadinamas racionalaus varianto nustatymu artumo idealiam variantui metodu (6).

Įsivaizduokime, kad kiekvieno kriterijaus reikšmės nuolatosis kinta tai yra mažėja arba didėja. Tokiu atveju galime nustatyti optimalų variantą, kuris susidarytų iš tų rodiklių kurie yra arčiausiai prie idealaus varianto ir atvirkščiai rastume patį neoptimaliausią variantą. Kuris susidarytų iš labiausiai nutolusių variantų nuo idealaus (6).

Jeigu norime taikyti šį metodą reikia sudaryti sprendimų matricą, kurioje eilutėse sužymėtos alternatyvos, o stulpeliuose efektyvumo rodikliai, pagal kuriuos yra vertinamos alternatyvos.

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

čia x_{ij} – i – osios alternatyvos, j – ojo efektyvumo rodiklių reikšmė j – ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant šį metodą, P matrica normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.27)$$

Gaunama normalizuota matrica \bar{P} , kurioje visi efektyvumo rodikliai yra bedimensiai dydžiai.

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Sakykime, kad yra žinomos rodiklių reikšmingumo reikšmės q_j^* , ($j = \overline{1, n}$).

Pritaikius minėtą formulę, sudaroma svertinė normalizuota matrica \bar{P}^* :

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1^* \bar{x}_{11} & q_2^* \bar{x}_{12} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{1n} \\ q_1^* \bar{x}_{21} & q_2^* \bar{x}_{22} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_1^* \bar{x}_{m1} & q_2^* \bar{x}_{m2} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.29)$$

Idealiai geriausia alternatyva nustatoma pagal formulę:

$$A^+ = \left\{ \left(\begin{matrix} \max v_{ij} \\ i \end{matrix} \mid j \in J \right), \left(\begin{matrix} \min v_{ij} \\ i \end{matrix} \mid j \in J' \right) \mid i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}, \quad (2.30)$$

čia J – rodikliai, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksai;

J' – rodikliai, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksai.

Blogiausias variantas nustatomas pagal formulę:

$$A^- = \left\{ \left(\begin{matrix} \min v_{ij} \\ i \end{matrix} \mid j \in J \right), \left(\begin{matrix} \max v_{ij} \\ i \end{matrix} \mid j \in J' \right) \mid i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}, \quad (2.31)$$

Atstumas tarp etaloninio ir lyginamojo variantų A^+ varianto nustatomas skaičiuojant atstumą n –matėje Euklido erdvėje, pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2.32)$$

O tarp i –tojo ir blogiausio varianto A^- , pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2.33)$$

Paskutiniu metu Topsis metodo žingsniu nustatomas kiekvieno i –tojo varianto santykinis atstumas iki geriausio varianto:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]. \quad (2.34)$$

Taigi kuo K_i reikšmė yra arčiau vieneto, tuo i –asis variantas yra geresnis, artimesnis A^+ . Racionaliausias variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra artimesnė vienetai (6, 10).

2.5 Šilumos nuostolių per pastato atitvaras, kurios ribojasi su gruntu skaičiavimas

Šilumos nuostolių skaičiavimuose naudojama grunto periodinio prasiskverbimo gylio δ (m) vertė imama $\delta=3,2$ m. Grunto šilumos laidumo koeficientas visuose skaičiavimuose imamas $\lambda_{gr} = 2$ W/(m·K) (17).

Grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientų skaičiavimuose naudojama būdingojo grindų matmens B' (m) vertė apskaičiuojama taip:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (2.35)$$

čia A – grindų ant grunto plotas (m^2);

P – grindų perimetras (m).

Dydžių A ir P vertėms apskaičiuoti imami pastato vidaus matmenys. Jei patalpa turi išorines ir vidines sienas perimetrui apskaičiuoti imami tik su išore besiribojančių sienų ilgiai. Jei prie šildomo pastato priblokuotas nešildomas pastatas, laikoma, kad šildomas pastatas ribojasi su išore (17).

Norminiai, atskaitiniai ir skaičiuojamieji šilumos nuostoliai, per su gruntu besiribojančias pastato atitvaras, pagal kuriuos skaičiuojami energijos poreikiai pastatui šildyti, apskaičiuojami pagal formules:

$$Q_{N.H.fg} = \frac{0,001 \cdot t_m \cdot 24}{A_p} \cdot (\Phi_{N.H.fg1.m} + \Phi_{N.H.fg2.m} + \Phi_{N.H.fg3.m} + \Phi_{N.H.fg4.m} + \Phi_{N.H.fg5.m}) \quad (2.36)$$

$$Q_{R.H.fg} = \frac{0,001 \cdot t_m \cdot 24}{A_p} \cdot (\Phi_{R.H.fg1.m} + \Phi_{R.H.fg2.m} + \Phi_{R.H.fg3.m} + \Phi_{R.H.fg4.m} + \Phi_{R.H.fg5.m}) \quad (2.37)$$

$$Q_{H.fg} = \frac{0,001 \cdot t_m \cdot 24}{A_p} \cdot (\Phi_{H.fg1.m} + \Phi_{H.fg2.m} + \Phi_{H.fg3.m} + \Phi_{H.fg4.m} + \Phi_{H.fg5.m}) \quad (2.38)$$

čia $\Phi_{N.H.fg1.m}$, $\Phi_{R.H.fg1.m}$, $\Phi_{H.fg1.m}$ – apskaičiuojami pagal formules:

$\Phi_{N.H.fg2.m}$, $\Phi_{R.H.fg2.m}$, $\Phi_{H.fg2.m}$ – apskaičiuojami pagal formules;

$\Phi_{N.H.fg3.m}$, $\Phi_{R.H.fg3.m}$, $\Phi_{H.fg3.m}$ – apskaičiuojami pagal formules ;

$\Phi_{N.H.fg4.m}$, $\Phi_{R.H.fg4.m}$, $\Phi_{H.fg4.m}$ – apskaičiuojami pagal formules ;

$\Phi_{N.H.fg5.m}$, $\Phi_{R.H.fg5.m}$, $\Phi_{H.fg5.m}$ – apskaičiuojami pagal formules (17).

Šilumos srautų skaičiavimas per grindis ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištisinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, turi būti atliktas dviem variantais: turi būti apskaičiuoti šilumos srautai per grindis, susiję su energijos poreikiais pastatui šildyti ir šilumos srautai, susiję su energijos poreikiais pastatui vėsinti (17).

Norminis $\Phi_{N.H.fg1,m}$ (W), atskaitinis $\Phi_{R.H.fg1,m}$ (W) ir skaičiuojamasis $\Phi_{H.fg1,m}$ (W) šilumos srautas per grindis, pagal kurį skaičiuojami energijos poreikiai pastatui šildyti, apskaičiuojamas pagal formules: (17)

$$Q_{N.H.fg1,m} = A_{fg1.sum} \cdot U_{(C,B).fg} \cdot (\theta_{iH} - \theta_{e,m}) + \hat{\theta}_e \cdot \sum_{x=1}^n \left[H_{pe,x} \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{m-\tau-\beta_{1,x}}{12} \right) \right] \quad (2.39)$$

$$Q_{R.H.fg1,m} = A_{fg1.sum} \cdot U_{R.fg} \cdot (\theta_{iH} - \theta_{e,m}) + \hat{\theta}_e \cdot \sum_{x=1}^n \left[H_{pe1,x} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m-\tau-\beta_{1,x}}{12}\right) \right] \quad (2.40)$$

$$Q_{H.fg1,m} = A_{fg1,x} \cdot U_{fg1,x} \cdot (\theta_{iH} - \theta_{e,m}) + \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m-\tau-\beta_{1,x}}{12}\right) \cdot H_{pe1,x} \quad (2.41)$$

$A_{fg1.sum}$ – grindų ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, suminis plotas (m²);

$A_{fg1,x}$ – atitinkamų „x“ grindų ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, plotas (m²);

$H_{pe1,x}$ – kiekvienų „x“ grindų išoriniai savitieji šilumos nuostoliai, kurie apskaičiuojami pagal 2.44 formulę;

$U_{(C,B).fg}$ – atitvarų, kurios ribojasi su gruntu, šilumos perdavimo koeficientas (W/(m²·K));

$U_{R.fg}$ – atitvarų, kurios ribojasi su gruntu, šilumos perdavimo koeficientas (W/(m²·K));

$U_{fg1,x}$ – atitinkamų „x“ grindų ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, skaičiuojamasis šilumos perdavimo koeficientas (W/(m²·K)) (17).

Atsižvelgiant į grindų apšiltinimą, apskaičiuojamas pagal arba formules;

m – atitinkamo metų mėnesio numeris. Pvz., sausį – $m=1$, gruodį – $m=12$;

τ – mėnesio su žemiausia temperatūra numeris, $\tau=1$;

$\hat{\theta}_e$ – išorės oro temperatūros metinė amplitudė (°C) apskaičiuojama pagal nurodytas vidutines sausio (-5,2 °C) ir liepos (16,7 °C) mėnesių temperatūras:

$$\hat{\theta}_e = 0,5 \cdot (16,7 - (-5,1)) = 10,9^\circ\text{C} \quad (2.42)$$

$\beta_{1,x}$ – rodiklis, įvertinantis šilumos srauto per atitinkamas „x“ grindis ant grunto pokyčio vėlavimą, lyginant su išorės oro temperatūros pokyčiu (mėnesiai);

$$\beta_{1,x} = 1,5 - 0,42 \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_{t1,x+1}}\right) \quad (2.43)$$

čia $d_{t1,x}$ – apskaičiuojamas pagal formulę (17).

Atitinkamų „x“ grindų ant grunto išoriniai savitieji šilumos nuostoliai $H_{pe1,x}$ (W/K) apskaičiuojami pagal formulę:

$$H_{pe1,x} = 0,37 \cdot P_{1,x} \cdot \lambda_{gr} \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_{t1,x+1}}\right) \quad (2.44)$$

čia $P_{1,x}$ – atitinkamų „x“ grindų ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, perimetras (m); (17)

λ_{gr} – grunto šilumos laidumo koeficientas (W/(m·K)). $\lambda_{gr} = 2$ W/(m·K);

$d_{t1,x}$ – atitinkamų „x“ grindų ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, atstojamasis grindų plokštės storis, išreikštas grunto sluoksnio storiu (m):

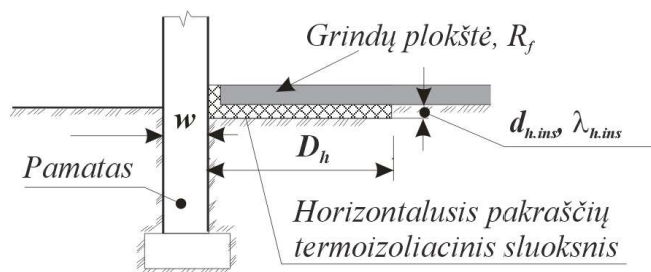
$$d_{f1,x} = w_x + \lambda_{gr} \cdot (R_{se} + R_{f,x} + R_{si}); \quad (2.45)$$

čia $R_{f,x}$ – atitinkamų „x“ grindų ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištisinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, grindų plokštės šiluminė varža ($m^2 \cdot K/W$);

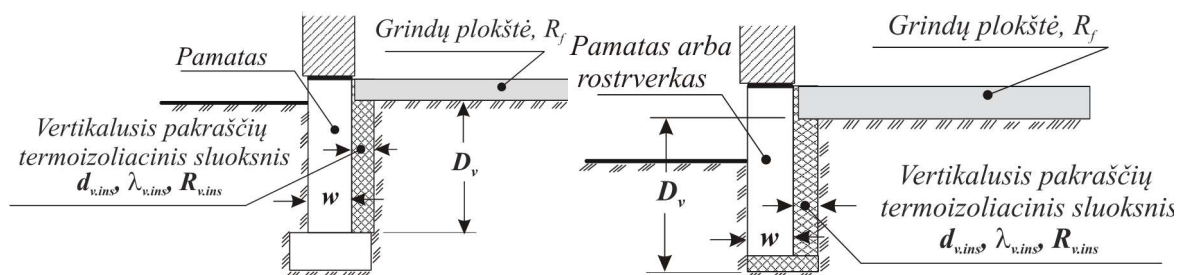
w_x – atitinkamas „x“ grindis ant grunto, kai grindys neapšiltintos arba jose įrengtas ištisinis horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, ribojančios sienos storis (m) (17).

Galima nevertinti grindų betoninės plokštės ir plonos grindų dangos. Išlyginamojo grunto pasluoksnio λ toks pats, kaip ir grunto, todėl jo šiluminė varža taip pat gali būti nevertinama (17).

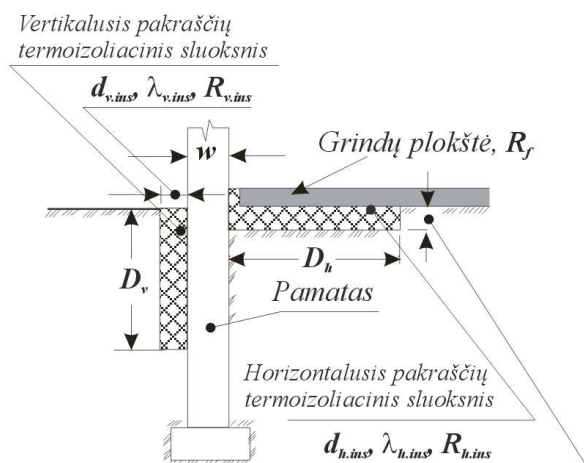
Šilumos srautų skaičiavimas per grindis ant grunto, kai grindys apšiltintos pakraščiuose (3-5 pav.), turi būti atliktas dviem variantais: turi būti apskaičiuoti šilumos srautai per grindis, susiję su energijos poreikiais pastatui šildyti ir šilumos srautai, susiję su energijos poreikiais pastatui vėsinti (17).



3 pav. Grindų ant grunto apšiltinimo schema, kai grindų pakraščiuose įrengtas horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis (17)



4 pav. Grindų ant grunto apšiltinimo schema, kai grindų pakraščiuose įrengtas vertikalusis termoizoliacinis sluoksnis (17)



5 pav. Grindų ant grunto apšiltinimo schema, kai grindų pakraščiuose įrengti horizontalusis ir vertikalusis termoizoliaciniai sluoksniai (17)

Kiekvieno mėnesio „ m “ norminis $\Phi_{N.H.fg2,m}$ (W), atskaitinis $\Phi_{R.H.fg2,m}$ (W) ir skaičiuojamasis $\Phi_{H.fg2,m}$ (W) šilumos srautas per pakraščiuose apšiltintas grindis, pagal kurį skaičiuojami energijos poreikiai pastatui šildyti: (17)

$$Q_{N.H.fg2,m} = A_{fg2.sum} \cdot U_{(C,B).fg} \cdot (\theta_{iH} - \theta_{e,m}) + \hat{\theta}_e \cdot \sum_{x=1}^n \left[H_{pe2,x} \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{m-\tau-\beta_{1,x}}{12} \right) \right] \quad (2.46)$$

$$Q_{R.H.fg1,m} = A_{fg2.sum} \cdot U_{R.fg} \cdot (\theta_{iH} - \theta_{e,m}) + \hat{\theta}_e \cdot \sum_{x=1}^n \left[H_{pe2,x} \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{m-\tau-\beta_{1,x}}{12} \right) \right] \quad (2.47)$$

$$Q_{H.fg1,m} = \left[\sum_{x=1}^n \left[(A)_{fg2,x} \cdot U_{fg2,x} \cdot P_{2,x} \cdot \Psi_{g.e.2,x} \right] \cdot (\theta_{iH} - \theta_{e,m}) + \hat{\theta}_e \cdot H_{pe2,x} \cdot \cos \left(2\pi \cdot \frac{m-\tau-\beta_{2,x}}{12} \right) \right] \quad (2.48)$$

čia $A_{fg2.sum}$ – grindų ant grunto, kai grindys apšiltintos pakraščiuose, suminis plotas (m^2);

$A_{fg2,x}$ – atitinkamų „ x “ grindų ant grunto, kai grindys apšiltintos pakraščiuose, plotas (m^2);

$H_{pe2,x}$ – kiekvienų „ x “ grindų išoriniai savitieji šilumos nuostoliai. Apskaičiuojami pagal 2.50 formulę;

$U_{(C,B).fg}$ – atitvarų, kurios ribojasi su gruntu, šilumos perdavimo koeficientas ($W/(m^2 \cdot K)$);

$U_{R.fg}$ – atitvarų, kurios ribojasi su gruntu, atskaitinis šilumos perdavimo koeficientas ($W/(m^2 \cdot K)$);

$U_{fg2,x}$ – atitinkamų „ x “ grindų ant grunto, kai grindys apšiltintos pakraščiuose, skaičiuojamasis šilumos perdavimo koeficientas ($W/(m^2 \cdot K)$). Atsižvelgiant į grindų apšiltinimą, apskaičiuojamas pagal 2.52 formulę; (17)

$\beta_{2,x}$ – rodiklis, įvertinantis šilumos srauto per atitinkamas „ x “ pakraščiuose apšiltintas grindis ant grunto, pokyčio vėlavimą lyginant su išorės oro temperatūros pokyčiu (mėnesiai);

$$\beta_{2,x} = 1,5 - 0,42 \cdot \ln \left(\frac{\delta}{d_{t,x}+1} \right); \quad (2.49)$$

čia $d_{t,x}$ – apskaičiuojamas pagal 2.45 formulę (17).

Atitinkamų „ x “ grindų išoriniai savitieji šilumos nuostoliai $H_{pe2,x}$ (W/K), kai grindų pakraščiuose įrengtas horizontalusis termoizoliacinis sluoksnis, apskaičiuojami pagal formulę:

$$H_{pe2,x} = 0,37 \cdot P_{2,x} \cdot \lambda_{gr} \cdot \left[\left(1 - e^{-\frac{D_{h,x}}{\delta}} \right) \cdot \ln \left(\frac{\delta}{d_{t2,x}+d'_{h,x}} + 1 \right) + e^{-\frac{D_{h,x}}{\delta}} \cdot \ln \left(\frac{\delta}{d_{t2,x}} + 1 \right) \right]; \quad (2.50)$$

čia $D_{h,x}$ – atitinkamų „ x “ grindų horizontaliojo termoizoliacinio sluoksnio plotis (m) (žr. 3 ir 5 pav.) (17).

Atitinkamų „ x “ grindų išoriniai savitieji šilumos nuostoliai $H_{pe2,x}$ (W/K), kai grindų pakraščiuose įrengtas vertikalusis termoizoliacinis sluoksnis, apskaičiuojami pagal formulę:

$$H_{pe2,x} = 0,37 \cdot P_{2,x} \cdot \lambda_{gr} \cdot \left[\left(1 - e^{-2 \cdot \frac{D_{h,x}}{\delta}} \right) \cdot \ln \left(\frac{\delta}{d_{t2,x} + d'_{h,x}} + 1 \right) + e^{-2 \cdot \frac{D_{h,x}}{\delta}} \cdot \ln \left(\frac{\delta}{d_{t2,x}} + 1 \right) \right]; \quad (2.51)$$

čia $D_{v,x}$ – atitinkamų „x“ grindų vertikaliojo termoizoliacinio sluoksnio gylis (m) (žr. 4 ir 5 pav.) (17).

Kai grindų pakraščiuose įrengti horizontalūs ir vertikalūs termoizoliaciniai sluoksniai, skaičiavimams naudojami to termoizoliacinio sluoksnio duomenys, kurio šilumos perdavimo koeficientas, apskaičiuotas pagal 2.52 formulę, mažiausias (17).

Atitinkamų „x“ grindų šilumos perdavimo koeficientas $U_{fg2,x}$ (W/(m²·K)) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$U_{fg2,x} = U_{02,x} + \frac{2 \cdot \Psi_{g.e.2,x}}{B_{2,x'}} \quad (2.52)$$

čia $U_{02,x}$ – atitinkamų „x“ grindų šilumos perdavimo koeficiento dedamoji, priklausanti nuo grindų ploto, perimetro ir grindis ribojančių sienų storio (W/(m²·K)). Apskaičiuojama pagal 2.52 formulę;

$\Psi_{g.e.2,x}$ – atitinkamų „x“ grindų pakraščių apšiltinimo ilginis šilumos perdavimo koeficientas (W/(m·K)).

Atitinkamų „x“ grindų $U_{02,x}$ vertė apskaičiuojama taip:

- jei grindys neapšiltintos arba mažai apšiltintos ($d_{t2,x} < B'_{2,x}$), tai: (17)

$$U_{02,x} = \frac{2\lambda_{gr}}{\pi B'_{2,x} + d_{t2,x}} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'_{2,x}}{d_{t2,x}} \right) \quad (2.53)$$

Naudojant daugiatakslinius vertinimo metodus galime atsižvelgti į daugelį mums rūpimų kriterijų vienu metu, niekas nelieka užmirštas ir nesusikoncentruojama į vieną esminį kriterijų, kuris gali būti nusvertas kelių mažiau svarbių kriterijų visumos. Statybose galime naudoti šiuos kriterijus, kai reikia nuspręsti kokius statybos metodus naudoti. Vienu atveju yra sprendimai, kurie kainuoja daugiau, bet reikalauja mažiau darbo jėgos, kiti atvirkščiai reikalauja mažų pirminių išlaidų arba dar vadinamų tiesioginių, bet kartais nėra matoma likusi dalis, kurią sudaro darbo jėga, laikas ir kiti kriterijai, apie kuriuos iš pirmo žvilgsnio ir nesusimąstome.

Grindų ant grunto skaičiavimo metodika yra ganėtinai pasikeitusi. Ankščiau buvo orientuotasi į pastato atitvarų šilumos perdavimo vertes, kurios turi atitikti būtent tai klasei keliamus reikalavimus. Dabar naujasis Statybos techninis reglamentas yra papildytas ir energijos suvartojimo skaičiavimais, kuriuos taip pat reikia atlikti, kad būtų suprojektuotas pastatas ir suvartojamas minimaliausias energijos kiekis, reikalingas pastatui šildyti ir vėdinti. Naujasis reglamentas nebedetalizuoja grindų ant grunto šilumos varžos ar laidumo skaičiavimo, pateiktos tik reikiamos pasiekti vertės atitinkamai klasei. Pastato energinio naudingumo pagrindas yra energijos suvartojimo mažinimas, o jo apšiltinimas yra kaip pagalbinė priemonė siekiant ekonomiško.

3. Tiriamoji dalis

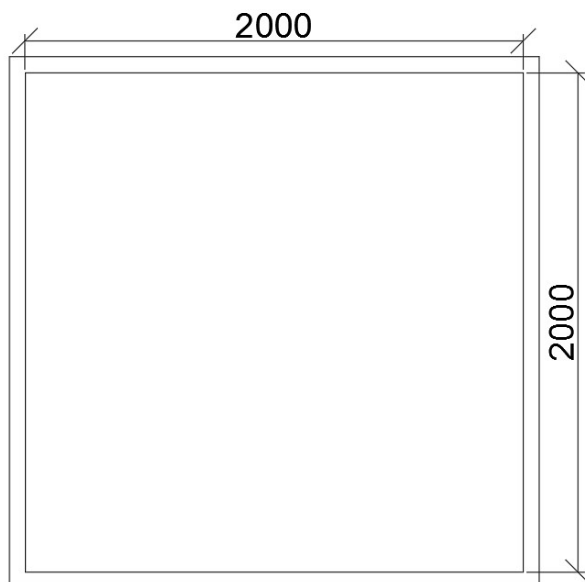
3.1. Grindų ant grunto šilumos laidumo koeficiento skaičiavimas

Tiriamasis pastatas yra priskiriamas viešosios (visuomeninės) paskirties pastatų kategorijai. Šiai kategorijai dažniausiai priskiriami statiniai, kuriuose yra didesnis žmonių kiekis. Bus tiriama trijų skirtingų perimetrų ir formų pastatai. Kiekvieno pastato grindų ant grunto plotas yra 400 m². Visi pastatai turi atitikti A++ klasės visuomeniniams pastatams keliamus reikalavimus, kurie pateikti 3 lentelėje:

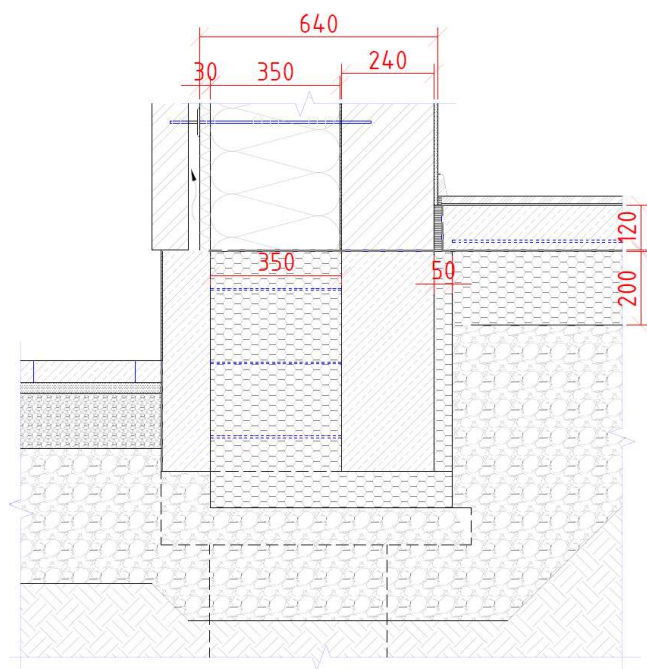
3 lentelė A++ klasės pastatui keliamų išorės atitvarų šilumos laidumo koeficientų reikalavimų vertės

Atitvarų apibūdinimas	Atitvarų žymintis poraidis	Gyvenamieji pastatai	Negyvenamieji pastatai	
			Viešosios paskirties pastatai ¹⁾	Pramonės pastatai ²⁾
Stogai	r	0,080	0,090	$0,12 \cdot \kappa_1^{5)}$
Perdangos ⁶⁾	ce			
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	fg	0,10	0,12	$0,12 \cdot \kappa_1^{5)}$
Perdangos virš nešildomų rūsių ir pogrindžių	cc			
Sienos	w	0,10	0,11	$0,14 \cdot \kappa_1^{5)}$
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kitos skaidrios atitvaros	wda	0,70	0,85	$1,1 \cdot \kappa_1^{5)}$
Durys, vartai	d	0,70	0,85	$1,1 \cdot \kappa_1^{5)}$

Pirmasis variantas yra pastatas, kurio forma yra kvadratinė – 20x20 metrų.



6 pav. Pirmojo varianto pastato forma ir matmenys



7 pav. Pirmo varianto grindų apšiltinimo mazgas naudojant polistireninį putplastį.

4 lentelė Pirmojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant polistireninį putplastį

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
polistireninis putplastis	0,200	0,034	0,040	5,000
išorinio paviršiaus šiluminė varža				0,040
				5,350

Grindų ant grunto ploto A ir perimetro P santykį apibūdina būdingasis grindų matmuo B' , m, pagal 3.1 formulę:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{400}{0,5 \cdot 80} = 10m \quad (3.1)$$

Ekvivalentinis grunto sluoksnio storis d_t , apskaičiuojamas pagal 3.2 formulę.

$$d_t = w + \lambda_{gr} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) = 0.64 + 2.0 \cdot (0.1 + 5.35 + 0.17) = 11,881m \quad (3.2)$$

čia: R_f – grindų šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$. Vertė imama iš 4 lentelės;

R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

w – grindis ribojančios sienos storis, m;

λ_{gr} – grunto šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$ (18).

Skaičiuojant pamato papildomą apšiltinimą, šilumos izoliacija perskaičiuojama į papildomą grunto storį. Šiluminės izoliacijos papildoma šiluminė varža, apskaičiuojama pagal 3.3 formulę:

$$R' = \frac{d_{ins}}{\lambda_{ds,ins}} - \frac{d_{ins}}{\lambda_{gr}} = \frac{0.35}{0.041} - \frac{0.35}{2} = 8.537 - 0.175 = 8.36 \text{ m}^2 \cdot K/W \quad (3.3)$$

Papildomas apšiltinimas išreikštas grunto storiu, apskaičiuojamas pagal 3.4 formulę:

$$d' = R' \cdot \lambda_{gr} = 8.362 \cdot 2.0 = 16.72 \text{ m} \quad (3.4)$$

Po to apskaičiuojama $\Delta\Psi$ vertė:

Grindų ant grunto skaičiuojamoji schema, panaudojant vertikalią kraštų izoliaciją, apskaičiuojama pagal 3.5 formulę:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda_{gr}}{\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] = -\frac{2.0}{3.14} \cdot \left[\ln\left(\frac{0.4}{11,881} + 1\right) - \ln\left(\frac{0.4}{11,881 + 16.723} + 1\right) \right] = -0.64 \cdot (0.0331 - 0.0139) = -0.012 \text{ W/mK} \quad (3.5)$$

D – pakraščių papildomo termoizoliacinio sluoksnio plotis, m;

d_{ins} – pakraščių šiltinančio sluoksnio storis, m;

d' – atstojamasis papildomo apšiltinančio sluoksnio storis (išreikštas grunto sluoksnio storiu), m;

d_t – atstojamasis grindų plokštės storis, išreikštas grunto sluoksnio storiu, m (18).

Grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficiento pagrindinė dedamoji apskaičiuojama sekančiai:

kai grindys neapšiltintos arba mažai apšiltintos, t. y. kai grindys gerai apšiltintos ($d_t > B'$), apskaičiuojama pagal 3.6 formulę:

$$U_0 = \frac{\lambda_{gr}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2.0}{0,457 \cdot 10 + 11,881} = 0.122 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.6)$$

Pataisos $\Delta\Psi$ vertė gaunama neigiama, kadangi apšiltinant pamatų pakraščius šilumos srautas ir bendras grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientas sumažinamas pagal formulę 3.7.

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} = 0.122 + \frac{2 \cdot (-0.012)}{10} = 0.119 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.7)$$

Tos pačios grindys apšildomos naudojant ekstruzinio polistireninio putplasčio (Finnfoam XPS) arba akmens vatos plokštes pagal 3.8-3.9 formules. Atitinkamos grindų šiluminės varžos pateiktos 5-6 lentelėse: (18)

5 lentelė Pirmojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant ekstruzinį polistireninį putplastį

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
ekstruzinis polistireninis putplastis (Finnfoam XPS)	0,190	0,035	0,038	5,000
išorinio paviršiaus šiluminė varža				0,040
				5,350

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta \Psi}{B'} = 0.122 + \frac{2 \cdot -0.012}{10} = 0.119 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.8)$$

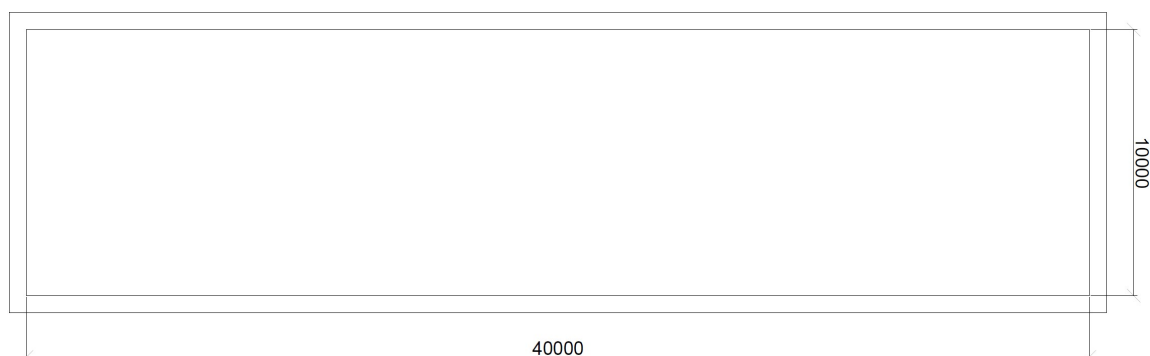
6 lentelė Pirmo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant akmens vatą.

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
Akmens vata	0,230	0,035	0,045	5,111
betoninis pagrindas	0,050	-	2,500	0,020
atitvaros išorinė šiluminė varža				0,040
				5,481

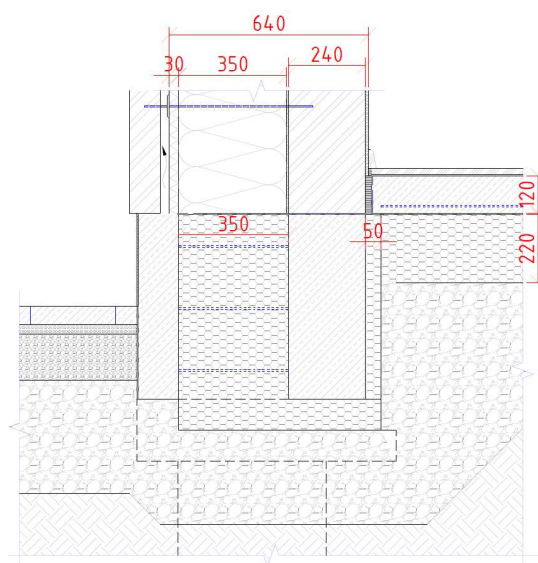
$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta \Psi}{B'} = 0.122 + \frac{2 \cdot -0.012}{10} = 0.117 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.9)$$

Tokio pastato grindims apšiltinti, kad jis atitiktų A++ pastato reikalavimus, bus naudojama 400 mm storio polistireninio putplasčio plokštės (vertikalus pamatų apšiltinimas) ir 200 mm storio polistireninio putplasčio, 190 mm storio ekstruzinio polistireninio putplasčio (Finnfoam XPS) arba 230 mm storio akmens vatos plokštės (horizontalus viso grindų ploto apšiltinimas).

Antrasis variantas - pastatas yra stačiakampio formos, kurio matmenys yra 10x40 m.



8 pav. Antrojo varianto pastato matmenys ir forma



9 pav. Antrojo varianto grindų apšiltinimo mazgas naudojant polistireninį putplastį.

7 lentelė Antrojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant polistireninį putplastį

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
polistireninis putplastis	0,220	0,034	0,040	5,500
išorinio paviršiaus šiluminė varža				0,040
				5,850

Grindų ant grunto ploto A ir perimetro P santykį apibudina būdingasis grindų matmuo B', m pagal 3.10 formulę:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{400}{0,5 \cdot 100} = 8m \quad (3.10)$$

Ekvivalentinis grunto sluoksnio storis d_t , m pagal, apskaičiuojama 3.11 formulę:

$$d_t = w + \lambda_{gr} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) = 0.64 + 2.0 \cdot (0.1 + 5.850 + 0.17) = 12,881m \quad (3.11)$$

čia: R_f – grindų šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$. Reikšmė imama iš 7 lentelės;

R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

w – grindis ribojančios sienos storis, m;

λ_{gr} – grunto šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$ (18).

Skaičiuojant pamato papildomą apšiltinimą, šilumos izoliacija perskaičiuojama į papildomą grunto storį. Šiluminės izoliacijos papildoma šiluminė varža, apskaičiuojama pagal 3.12 formulę:

$$R' = \frac{d_{ins}}{\lambda_{ds,ins}} - \frac{d_{ins}}{\lambda_{gr}} = \frac{0.35}{0.041} - \frac{0.35}{2} = 8.537 - 0.175 = 8.36 m^2 \cdot K/W \quad (3.12)$$

Papildomas apšiltinimas išreikštas grunto storiu, apskaičiuojama pagal 3.13 formulę:

$$d' = R' \cdot \lambda_{gr} = 8.362 \cdot 2.0 = 16.72m \quad (3.13)$$

Po to apskaičiuojama $\Delta\Psi$ vertė:

Grindų ant grunto skaičiuojamoji schema, panaudojant vertikaliają kraštų izoliaciją, apskaičiuojama pagal 3.14 formulę:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda_{gr}}{\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] = -\frac{2.0}{3.14} \cdot \left[\ln\left(\frac{0.4}{12,881} + 1\right) - \ln\left(\frac{0.4}{12,881 + 16.72} + 1\right) \right] = -0.64 \cdot (0.0306 - 0.0134) = -0.011W/mK \quad (3.14)$$

D – pakraščių papildomo termoizoliacinio sluoksnio plotis, m;

d_{ins} – pakraščių šiltinančio sluoksnio storis, m;

d' – atstojamasis papildomo apšiltinančio sluoksnio storis (išreikštas grunto sluoksnio storiu), m;

d_t – atstojamasis grindų plokštės storis, išreikštas grunto sluoksnio storiu, m (18).

Grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficiento pagrindinė dedamoji apskaičiuojama sekančiai:

kai grindys neapšiltintos arba mažai apšiltintos t. y., kai grindys gerai apšiltintos ($d_t > B'$), apskaičiuojama pagal 3.15 formulę:

$$U_0 = \frac{\lambda_{gr}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2.0}{0,457 \cdot 8 + 12,881} = 0.121 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.15)$$

Pataisos $\Delta\Psi$ vertė gaunama neigiama, kadangi apšiltinant pamatų pakraščius šilumos srautas (ir bendras grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientas) sumažinamas, apskaičiuojama pagal 3.16 formulę (18).

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} = 0.121 + \frac{2 \cdot (-0.011)}{8} = 0.118 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.16)$$

Tos pačios grindys apšildomos naudojant ekstruzinio polistireninio putplasčio (Finnfoam XPS) plokštes arba akmens vatos plokštėmis, apskaičiuojama pagal 3.17-3.18 formules. Atitinkamos grindų varžos vertės pateiktos 8-9 lentelėse:

8 lentelė Antrojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant ekstruzinį polistireninį putplastį

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
ekstruzinis polistireninis putplastis (Finnfoam XPS)	0,210	0,035	0,038	5,526
išorinio paviršiaus šiluminė varža				0,040
				5,877

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} = 0.122 + \frac{2 \cdot -0.011}{8} = 0.118 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.17)$$

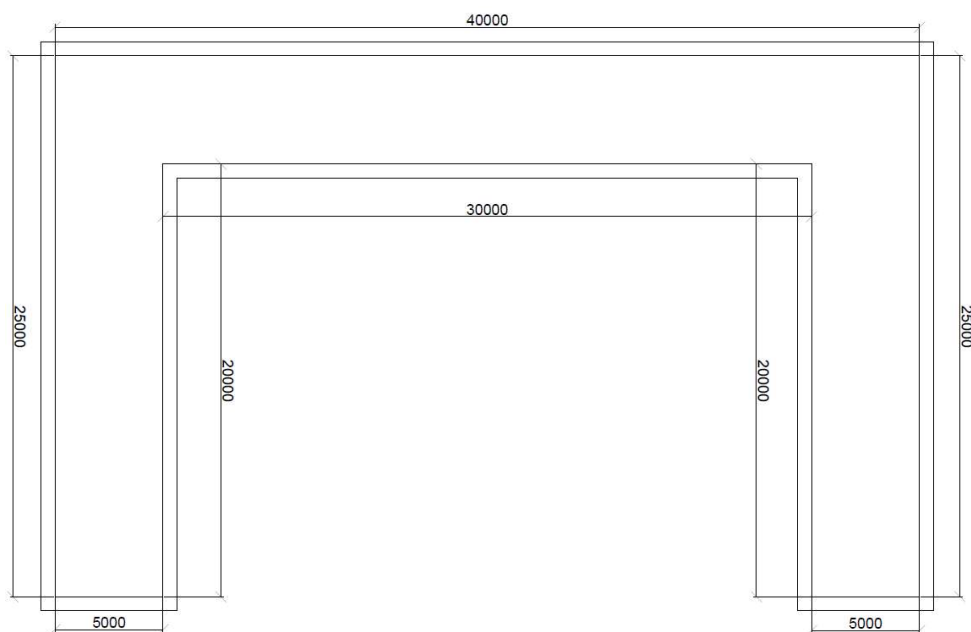
9 lentelė Antrojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant akmens vatą.

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
Akmens vata	0,250	0,035	0,045	5,556
betoninis pagrindas	0,050	-	2,500	0,020
atitvaros išorinė šiluminė varža				0,040
				5,926

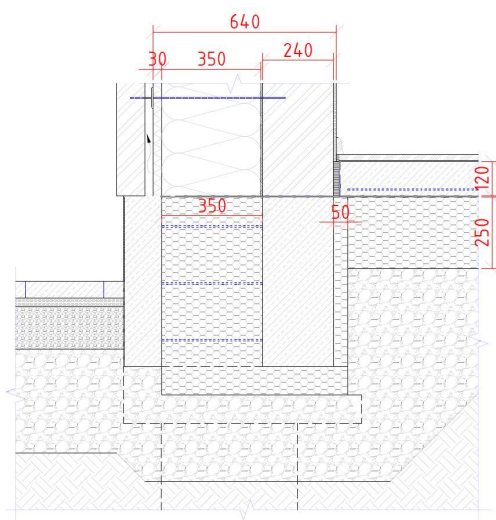
$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} = 0.122 + \frac{2 \cdot -0.011}{8} = 0.117 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.18)$$

Tokio pastato grindims apšiltinti, kad jis atitiktų A++ pastato reikalavimus, bus naudojama 400 mm storio polistireninio putplasčio plokštės (vertikalus pamatų apšiltinimas) ir 220 mm storio polistireninio putplasčio, 210 mm storio ekstruzinio polistireninio putplasčio (Finnfoam XPS) arba 250 mm storio akmens vatos plokštės (horizontalus viso grindų ploto apšiltinimas).

Paskutinis nagrinėjamas variantas yra kai pastatas yra C raidės formos ir jo matmenys yra 25-40-25 išorinis fasadas, 20-30-20 vidinis fasadas.



10 pav. Trečiojo varianto pastato forma ir matmenys



11 pav. Trečiojo varianto grindų apšiltinimo mazgas naudojant polistireninį putplastį.

10 lentelė Trečiojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant polistireninį putplastį

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klijai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
polistireninis putplastis	0,250	0,034	0,040	6,250
išorinio paviršiaus šiluminė varža				0,040
				6,600

Grindų ant grunto ploto A ir perimetro P santykį apibūdina būdingasis grindų matmuo B', m, apskaičiuojama pagal 3.19 formulę:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{400}{0,5 \cdot 170} = 4,71m \quad (3.19)$$

Ekvivalentinis grunto sluoksnio storis d_t , m, apskaičiuojama pagal 3.20 formulę:

$$d_t = w + \lambda_{gr} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) = 0.64 + 2.0 \cdot (0.1 + 6,6 + 0.17) = 14,381m \quad (3.20)$$

čia: R_f – grindų šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$. Reikšmė imama iš 10 lentelės;

R_{si} – atitvaros vidinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

R_{se} – atitvaros išorinio paviršiaus šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

w – grindis ribojančios sienos storis, m;

λ_{gr} – grunto šilumos laidumo koeficientas, $W/(m \cdot K)$ (18).

Skaičiuojant pamato papildomą apšiltinimą, šilumos izoliacija perskaičiuojama į papildomą grunto storį. Šiluminės izoliacijos papildoma šiluminė varža, apskaičiuojama, pagal 3.21 formulę:

$$R' = \frac{d_{ins}}{\lambda_{ds,ins}} - \frac{d_{ins}}{\lambda_{gr}} = \frac{0.35}{0.041} - \frac{0.35}{2} = 8.537 - 0.175 = 8.36 m^2 \cdot K/W \quad (3.21)$$

Papildomas apšiltinimas išreikštas grunto storium, pagal 3.22 formulę:

$$d' = R' \cdot \lambda_{gr} = 8.362 \cdot 2.0 = 16.72m \quad (3.22)$$

Po to apskaičiuojama $\Delta\Psi$ vertė:

Grindų ant grunto skaičiuojamoji schema, panaudojant vertikaliają kraštų izoliaciją, apskaičiuojama pagal 3.23 formulę:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda_{gr'}}{\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] = -\frac{2.0}{3.14} \cdot \left[\ln\left(\frac{0.4}{14,381} + 1\right) - \ln\left(\frac{0.4}{17,381 + 16,723} + 1\right) \right] = -0.64 \cdot (0.0274 - 0.0128) = -0.009W/mK \quad (3.23)$$

D – pakraščių papildomo termoizoliacinio sluoksnio gylis nuo grunto paviršiaus, m;

d_{ins} – pakraščių šiltinančio sluoksnio storis, m;

d' – atstojamasis papildomo apšiltinančio sluoksnio storis (išreikštas grunto sluoksnio storium), m;

d_t – atstojamasis grindų plokštės storis, išreikštas grunto sluoksnio storium, m (18).

Grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficiento pagrindinė dedamoji apskaičiuojama sekančiai:

Kai grindys neapšiltintos arba mažai apšiltintos t. y., kai grindys gerai apšiltintos ($d_t > B'$), apskaičiuojama pagal 3.24 formulę:

$$U_0 = \frac{\lambda_{gr}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2.0}{0,457 \cdot 4,71 + 14,381} = 0.121 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.24)$$

Pataisos $\Delta\Psi$ vertė gaunama neigiama, kadangi apšiltinant pamatų pakraščius šilumos srautas (ir bendras grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientas) sumažinamas, apskaičiuojama pagal 3.25 formulę (18).

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} = 0.121 + \frac{2 \cdot -0.009}{4,71} = 0.117 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.25)$$

Tos pačios grindys apšildomos naudojant ekstruzinio polistireninio putplasčio (Finnfoam XPS) plokštės arba akmens vatos plokštėmis, apskaičiuojamas pagal 3.26-3.27 formules. Atitinkamos grindų šiluminės varžos reikšmės pateiktos 11-12 lentelėse:

11 lentelė Trečiojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant ekstruzinį polistireninį putplastį

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
ekstruzinis polistireninis putplastis (Finnfoam XPS)	0,230	0,035	0,038	6,053
išorinio paviršiaus šiluminė varža				0,040
				6,403

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} = 0.122 + \frac{2 \cdot -0.010}{4,71} = 0.12 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.26)$$

12 lentelė Trečiojo varianto grindų ant grunto šiluminė varža naudojant akmens vatą.

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{ds}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidroizoliacija	-	-	-	0,040
Akmens vata	0,280	0,035	0,045	6,222
betoninis pagrindas	0,050	-	2,500	0,020
atitvaros išorinė šiluminė varža				0,040
				6,592

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} = 0.122 + \frac{2 \cdot -0.009}{4,71} = 0.117 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.27)$$

Tokio pastato grindims apšiltinti, kad jis atitiktų A++ pastato reikalavimus, bus naudojama 400 mm storio polistireninio putplasčio plokštės (vertikalus pamatų apšiltinimas) ir 250 mm storio polistireninio putplasčio, 230 mm ekstruzinio polistireninio putplasčio (Finnfoam XPS) arba 280 mm storio akmens vatos plokštės (horizontalus viso grindų ploto apšiltinimas).

3.2. Daugiakriterinis vertinimas TOPSIS metodu

Toliau yra atliekamas daugiakriterinis vertinimas racionaliausiam variantui rasti.

Pirmiausia yra nustatomi kriterijai, pagal kuriuos bus vertinama, kuris iš šių aptartų variantų yra racionaliausia arba arčiausia idealaus varianto.

13 lentelė Grindų ant grunto vertinimo kriterijų vertės

	Storis, m. (X ₁)			Projektinis šilumos laidumas λ _{ds} /(m·K) (X ₂)	Įrengimo kaina EUR/m ² (X ₃)			Gniuždomasis stipris kPa/m ² (X ₄)	Termoizoliacijos kaina m ³ (X ₅)
	1	2	3		1	2	3		
Polistireninis putplastis EP	200	220	250	0,04	76,79	79,03	82,4	100	60
Ekstruzinis polistireninis putplastis (Finnfoam XPS)	190	210	230	0,038	89,62	93,4	97,05	300	110
Akmens vata	230	250	280	0,045	88,32	101,24	105,67	20	80
optimali reikšmė	minimali			minimali	minimali	minimali	minimali	maximali	minimali

Turint rodiklius, pagal kuriuos bus vertinami grindų apšiltinimo variantai (nurodyta 13 lentelėje), reikia nustatyti jų reikšmingumą. Tai atliekama darant apklausas, kurių metu žmonės suskirsto duotuosius kriterijus balais nuo 1 iki 5. Buvo apklausti 13 asmenų. Apklausos suvestinė pateikta 14 lentelėje:

14 lentelė Apklausos rezultatai

Ekspertai k= 1...15	Grindims ant grunto vertinti skirti kriterijai				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	1	3	5	2	4
2	2	3	5	1	4
3	1	2	4	5	3
4	3	1	4	2	5
5	2	1	3	4	5
6	1	2	5	3	4
7	1	3	4	2	5
8	3	1	5	2	4
9	1	4	5	2	3
10	2	3	3	1	5
11	1	2	5	4	3
12	3	1	5	4	2
13	2	1	4	3	5
Rangų suma	23	27	57	35	52
vidurkis	1,77	2,08	4,38	2,69	4,00

Toliau atliekamas apklausoje dalyvavusių ekspertų nuomonių suderinamumo nustatymas naudojant konkordacijos koeficientą. Kuris nustatomas pagal 2.13 formulę:

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 908,8}{13^2 \cdot (5^3 - 5)} = 0.538$$

čia S – rangų sumų nuokrypis nustatomas pagal 2.14 formulę:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n c_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \right)^2 = 908,8$$

Konkordacijos koeficiento reikšmingumas nustatomas, naudojant X^2 kriterijų, pagal 2.15 formulę;

$$X^2 = Wr(n - 1) = 0.538 \cdot 13 \cdot (5 - 1) = 27,963$$

Galiausiai yra nustatomas nuomonių suderinamumas:

$$\alpha = 0,05 > X_{krit}^2 = 1.269 \cdot E - 5$$

Išvada: Ekspertų nuomonės yra suderinamos.

Toliau 15 lentelėje yra atliekama P matricos vektorinė normalizacija naudojant 2.27 formulę.

15 lentelė P normalizuota matrica ir rodiklių reikšmingumas

Grindų šiltinimo alternatyvos	Rodikliai								
	Storis (X1)			Projektinis šilumos laidumas (X2)	Įrengimo kaina €/m ² (X3)			Gniuždomasis stipris kPa (X4)	Termoizoliacijos kaina m3 (X5)
	1	2	3		1	2	3		
Polistireninis putplastis EPS	0,557	0,559	0,568	0,562	0,521	0,498	0,498	0,316	0,404
Ekstruzinis putplastis XPS	0,529	0,533	0,522	0,534	0,608	0,588	0,587	0,947	0,740
Akmens vata	0,640	0,635	0,636	0,632	0,599	0,638	0,639	0,063	0,538
Rodiklių reikšmingumai, q	0,119			0,139	0,294			0,18	0,268

Kai jau turime normalizuotą matricą ir rodiklių reikšmingumus, galime sudaryti svertinę normalizuotą matricą (2.29 formulė), kuri pateikta 16 lentelėje:

16 lentelė Svertinė normalizuota matrica

Grindų šiltinimo alternatyvos	Rodikliai								
	Storis (X1)			Projektinis šilumos laidumas (X2)	1m ² įrengimo kaina € (X3)			gniuždomasis stipris kPa (X4)	Kaina m3 (X5)
	1	2	3		1	2	3		
Polistireninis putplastis EPS	0,066	0,066	0,068	0,078	0,153	0,146	0,146	0,057	0,108
Ekstruzinis polistireninis putplastis (Finnfoam XPS)	0,063	0,063	0,062	0,074	0,179	0,173	0,172	0,170	0,198
Akmens vata	0,076	0,076	0,076	0,088	0,176	0,187	0,188	0,011	0,144

Turint svertinę normalizuotą matricą galime nustatyti optimaliai geriausią (2.30 formulė) ir prasčiausią (2.31 formulė) variantus, kurie pateikiami 17 lentelėje:

17 lentelė Optimaliai geriausias ir prasčiausias variantai

Geriausia ir blogiausia alternatyva	Rodikliai								
	Storis (X1)			Projektinis šilumos laidumas (X2)	1m ² įrengimo kaina € (X3)			gniuždomasis stipris kPa (X4)	Kaina m3 (X5)
a ⁺	0,063	0,063	0,062	0,074	0,153	0,146	0,146	0,170	0,108
a ⁻	0,076	0,076	0,076	0,088	0,179	0,187	0,188	0,011	0,198

Tuomet, turint optimaliai geriausių ir prasčiausių variantus, galime nustatyti atstumus tarp geriausios ir prasčiausios alternatyvos, bei lyginamų alternatyvų, naudojant 2.32 formulę. Rezultatai pateikti 18 lentelėje:

18 lentelė Optimaliai geriausia ir prasčiausia alternatyva

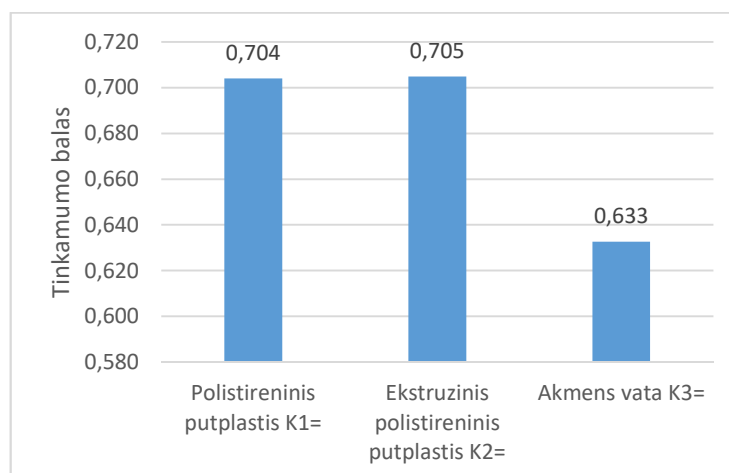
L ₁ ⁺ =	0,114	L ₁ ⁻ =	0,271
L ₂ ⁺ =	0,101	L ₂ ⁻ =	0,241
L ₃ ⁺ =	0,177	L ₃ ⁻ =	0,304

Galutinis žingsnis nustatant geriausių alternatyvą yra nustatyti kiekvienos alternatyvos atstumus nuo geriausios alternatyvos, tai atliekama naudojant 2.33 formulę. Rezultatai pateikti 19 lentelėje:

19 lentelė Alternatyvų seka nuo geriausio iki blogiausio varianto

		Prioritetų eilutė
K ₁ =	0,704	2
K ₂ =	0,705	1
K ₃ =	0,633	3

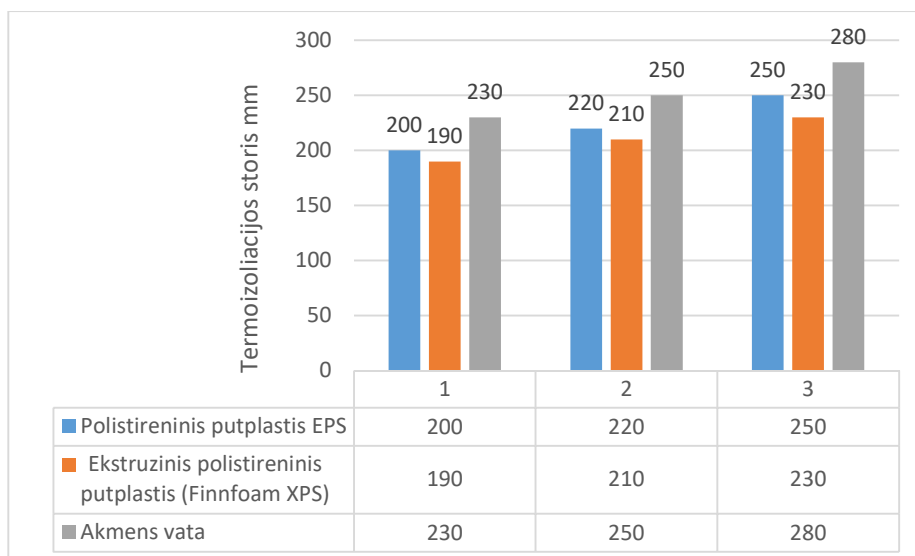
Taigi atlikę daugiakriterinį vertinimą nustatėme, kad geriausia alternatyva, atsižvelgiant į duotuosius kriterijus, šiltinti A++ pastato grindis ant grunto, naudojant ekstruzinį putplastį (XPS). Toliau galime teigti, kad beveik lygiavertė alternatyva yra polistireninis putplastis, o prasčiausia alternatyva - akmens vata.



12 pav. grindų ant grunto apšiltinimo medžiagos tinkamumas

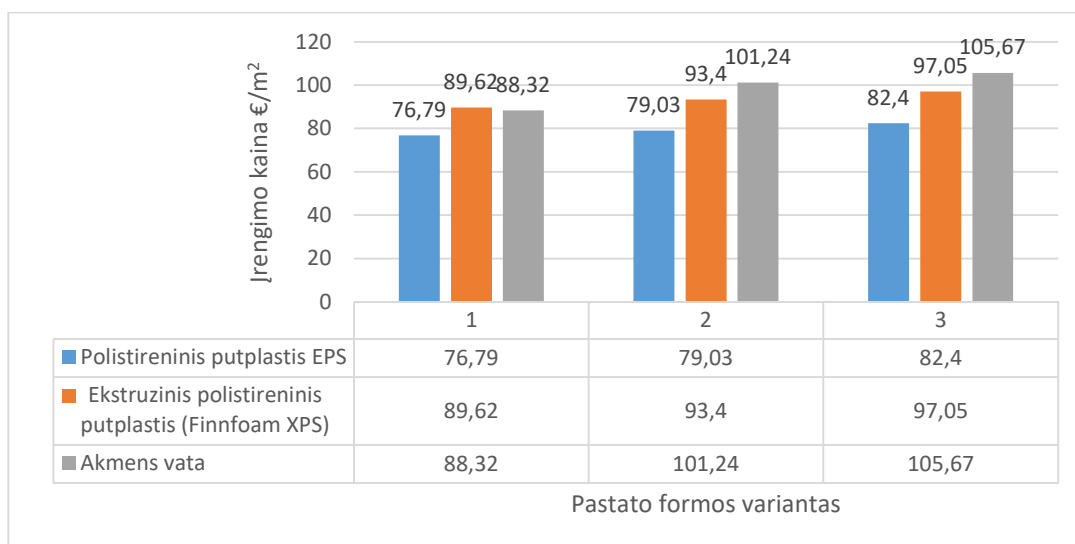
Įvertinę tyrimo metu gautos lentelės duomenis galime nustatyti:

- Mažiausio apšiltinimo storio reikalaujančią pastato formą (variantą).



13 pav. Reikalingi termoizoliacijos storiai pagal variantus

- Grindų ant grunto įrengimo kainą.



14 pav. Grindų įrengimo kaina €/m²

Atlikus tyrimą nustatyta, kad A++ klasės pastato grindims ant grunto apšiltinti geriausia naudoti ekstruzinį polistireninį putplastį, netoli nuo šios medžiagos (beveik lygiavertė medžiaga) yra polistireninis putplastis, o prasčiausia alternatyva yra naudoti akmens vata. Taip pat buvo nustatyta, kad grindų apšiltinimo atžvilgiu optimaliausia pastato forma yra kvadratas. Tokios formos pastatui apšiltinti reikia mažiausio termoizoliacijos sluoksnio.

Racionalaus grindų ant grunto parinkimo programa

Atliekant darbą buvo sukurta pradinė (Microsoft Excel pagrindu) programos versija. Kurios pagalba galime nustatyti racionaliausią A++ pastato grindų ant grunto įrengimo variantą.

Pirmasis programos palas skirtas pačios grindų detalės sandaros aprašymui (15 pav.)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a table titled "Grindų detalės varža". The table lists various construction layers and their thermal properties.

Grindų konstrukcijos sluoksniai	Storis d,m	$\lambda_{dec}, W/(m \cdot K)$	$\lambda_{eq}, W/(m \cdot K)$	$R, (m^2 \cdot K/W)$
vidinio paviršiaus šiluminė varža	-	-	-	0,170
linoleumas	0,008	-	0,170	0,047
klėjai	0,005	-	0,960	0,005
betonas	0,120	-	2,500	0,048
hidrozoliacija	-	-	-	0,040
Akmens vata	0,280	0,035	0,045	6,222
betoninis pagrindas	0,050	-	2,500	0,020
atitvaros išorinė šiluminė varža	-	-	-	0,040
				6,592

15 pav. Programos langas, kuriame aprašoma grindų detalė

Antrasis programos langas skirtas nustatyti bendrą grindų ant grunto šilumos laidumo koeficientą. Kadangi grindys yra įrengiamos ant grunto, jų bendram šilumos laidumo koeficientui įtaką daro ir pamato apšiltinimas. Todėl skaičiuojant bendrą grindų šilumos laidumo koeficientą reikia atsižvelgti ir į papildomą (pamato) apšiltinimo pataisą (16 pav.).

The screenshot shows two parts of an Excel spreadsheet. The left part is titled "Sūminis grindų ant grunto šilumos laidumo koeficientas" and lists various parameters. The right part shows the calculation of the overall thermal conductivity coefficient, including a correction for foundation insulation.

Ekvivalentinis grunto sluoksnio storis	Reikšmės
d_{gr}	14,365
W	0,640
λ_{gr}	2,000
R_{si}	0,100
R_f	6,592
R_{se}	0,170

Būdingasis grindų matnuo	Reikšmės
B^*	4,706
A	400,00
P	170,00

Papildoma pamato termoizolacija	Reikšmės
R^*	8,362
d_{ins}	0,350
$\lambda_{ds,ins}$	0,041
d_{ins}	0,350
R	0,350

Pataisa dėl horizontalaus pamato apšiltinimo	Reikšmės
$\Delta\Psi$	-0,009
λ_{gr}	2,000
π	3,140
D	0,400
d_+	14,365
d^*	16,723

Šilumos perdavimo koeficiento pagrindinė dedamoji	Reikšmės
U_0	0,121
λ_{gr}	2,000
B^*	4,706
d_+	14,365

Bendras grindų ant grunto šilumos laidumo koeficientas	Reikšmės
U^*	0,117124

16 pav. bendro grindų ant grunto šilumos laidumo skaičiavimo langas

Sekantis langas skirtas daugiakriterinio vertinimo objektyviems kriterijams surašyti. Tai yra kriterijai: storis, projektinis šilumos laidumo koeficientas, 1 m² įrengimo kaina, gniuždomasis stipris, termoizoliacijos 1 m³ kaina (17 pav.)

	Storis, m. (K ₁)			Projektinis šilumos laidumas λ ₀ /(m·K) (K ₂)	Įrengimo kaina EUR/m ² (K ₃)			Gniuždomasis stipris kPa/m ² (K ₄)	Termoizoliacijos kaina m ³ (K ₅)
	1	2	3		1	2	3		
Polistireninis putplastis	200	220	250	0,04	76,79	79,03	82,4	100	60
Ekstruzinis polistireninis putplastis (EPP/foam)	190	210	230	0,038	89,62	93,4	97,05	300	110
Akmenis vata	230	250	280	0,045	88,32	101,24	105,67	20	80
optimali reikšmė	minimali			minimali	minimali	minimali	minimali	maximali	minimali

17 pav. Daugiakriterinio vertinimo objektyvių kriterijų priskyrimo langas

Ketvirtoji skiltis skirta subjektyvaus vertinimo (apklausos) rezultatams suskaičiuoti. Šiame lange yra surašomi apklausos rezultatai ir nustatomas subjektyvių rodiklių reikšmingumas. Taip pat čia yra nustatoma ir subjektyvaus vertinimo (apklausų) suderinamumas (18 pav.). Paskutiniame lange yra atliekamas daugiakriterinis vertinimas naudojant TOPSIS metodą ir nustatomas racionaliausias variantas (19 pav.).

K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
1	3	5	2	4
2	1/3	5	1	4
3	1/5	2	4	3
4	1/2	1	4	2
5	1/4	1/3	1	2

Kriterijai	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅
Storis	0,23	0,27	0,17	0,35	0,22
Projekcinis šilumos laidumo koeficientas	0,17	0,09	0,38	0,09	0,09
Įrengimo kaina	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Gniuždomasis stipris	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Termoizoliacijos kaina	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

18 pav. Subjektyvaus reikšmingumo nustatymo langas

Alternatyva	Storis (K ₁)	Projekcinis šilumos laidumo koeficientas (K ₂)	Įrengimo kaina (K ₃)	Gniuždomasis stipris (K ₄)	Termoizoliacijos kaina (K ₅)
Polistireninis putplastis	0,200	0,040	76,79	100	60
Ekstruzinis polistireninis putplastis (EPP/foam)	0,190	0,038	89,62	300	110
Akmenis vata	0,230	0,045	101,24	20	80

19 pav. TOPSIS daugiakriterinio metodo sprendimo langas

Išvados

Nustatyta, kad mažiausias apšiltinimo sluoksnis yra reikalingas pirmo varianto pastatui, kuris yra kvadrato formos (20 m x 20 m vidaus matmenys).

Naudojantis TOPSIS daugiakriterinio vertinimo metodu, buvo nustatyta optimali pastato apšiltinimo medžiaga. Ji yra ekstruzinis polistireninis putplastis. Ši alternatyva buvo optimaliausia pasirinktų kriterijų atžvilgiu ir buvo arčiausiai idealiai alternatyvai su 0,705 balo iš 1.

Sekanti alternatyva buvo polistireninis putplastis, kuris yra beveik lygiavertė alternatyva ekstruziniam polistireniniam putplačiui. Ši alternatyva surinko 0,704 balo iš 1 galimo. Ši alternatyva nuo geriausios skiriasi 0.14 %.

Pati prasčiausia alternatyva iš pasiūlytų buvo akmens vata, kuri surinko tik 0,633 balo iš 1 galimo. Ši alternatyva yra 10,29 % prastesnė už ekstruzinį polistireninį putplastį ir 10,08 % už polistireninį putplastį.

Šio tyrimo metu buvo sukurta, pradinė (Microsoft Excel pagrindu) skaičiavimo programa. Jos pagalba, įvedę reikiamus duomenis, galime nustatyti racionaliausią A++ visuomeninio pastato grindų ant grunto apšiltinimo variantą.

Šis tyrimas atliktas naudojant tokius duomenis, kokie yra pateikti darbe. Jeigu duomenys keičiasi tyrimą reikia perdaryti pagal pasikeitusius duomenis.

Informacinių šaltinių sąrašas

1. Prieiga per: <http://www.eia.gov>, [žiūrėta 2017-11-05]
2. Prieiga per: <http://www.pastatu-sertifikavimas.lt>, [žiūrėta 2017-11-07]
3. Prieiga per: <http://www.efficiency-from-germany.info>, [žiūrėta 2017-11-08]
4. Schimschar, S. M., Bosquet N., Surmeli A., Hermelink. 2013 National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Lithuania, ECOFYS Germany GmbH.
5. www.stat.gov.lt
6. Hwang, C. L.; Yoon K. 1981. Multiple attribute decision making – methods and applications. A State of the Art Survey. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 250 p.
7. Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K. 2002. Internetin sprendimu parama: [monografija]. Vilnius: Technika. 292 p.
8. Ginevicius, R.; Podvezko, V. 2008. Daugiakriterinio vertinimo taikymo galimybės kiekybiniam socialiniu reiškiniu vertinimui, Verslas: teorija ir praktika [Business: theory and practice] 9(2): 81–87.
9. Mitkus, S. 1996. Investiciniu projektu efektyvumo tyrimas kompiuterinės grafikos metodais, Technological and Economic Development of Economy [Ukio technologinis ir ekonominis vystymas] 13: 142–147.
10. Ustinovicius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. Statybos investiciju efektyvumo sistemotechninis ivertinimas [Assessment of investment profitability in construction from technological perspectives]. Vilnius: Technika. 220 p. ISBN 9986-05-806-6.
11. Ginevicius, R.; Podvezko, V. 2009. Evaluating the changes in economic and social development of Lithuanian counties by multiple criteria methods, Technological and economic development of economy 15(3): 418–436.
12. Ustinovicius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. Statybos investiciju efektyvumo sistemotechninis ivertinimas [Assessment of investment profitability in construction from technological perspectives]. Vilnius: Technika. 220 p. ISBN 9986-05-806-6.
13. Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. M.Graw-Hill, New York.
14. Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology 15(3): 234–281.
15. Ustinovicius, L.; Jakucionis, S. 2000. Daugiakriteriniu metodu taikymas vertinant senamiescio pastatu renovacijos investicinius projektus. Statyba. VI tomas, Nr. 4. Vilnius: Technika, p. 227–237.

16. Podvezko, V. 2005. Ekspertu iverciu suderinamumas, *Technological and Economic Development of Economy* [Ukio technologinis ir ekonominis vystymas] 9(2): 101–107.
17. STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“
18. LST EN ISO 6946:2008 „Statybiniai komponentai ir elementai. Šiluminė varža ir šilumos perdavimo koeficientas. Skaičiavimo metodas (ISO 6946:2007)“