



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

# **GRUNTO ŠILUMOS PANAUDOJIMO PASTATŲ ŠILDYMO IR VĖSINIMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis projektas

---

**Donatas Bunokas**

Projekto autorius

**Prof. dr. Tadas Ždankus**

Vadovas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**  
Statybos ir architektūros fakultetas

# **GRUNTO ŠILUMOS PANAUDOJIMO PASTATŲ ŠILDYMOI IR VĖSINIMUI TYRIMAS**

Magistro baigiamasis projektas  
Darnūs ir energetiškai efektyvūs pastatai (6211EX006)

---

**Donatas Bunokas**  
Projekto autorius

**Prof. dr. Tadas Ždankus**  
Vadovas

**Doc. dr. Valdas Paukštys**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

Donatas Bunokas

## **GRUNTO ŠILUMOS PANAUDOJIMO PASTATŲ ŠILDYMOI IR VĖSINIMUI TYRIMAS**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Donato Bunoko, baigiamasis projektas tema „Gruto šilumos panaudojimo pastatų šildymui ir vėsinimui tyrimas“ 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)

Bunokas Donatas. Grunto šilumos panaudjimo pastatų šildymui ir vėsinimui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas. Darbo vadovas prof. dr. Tadas Ždankus; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypties grupė) : inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05)

Reikšminiai žodžiai: požeminis, gruntas, energetiškai efektyvus

Kaunas, 2021 m. 48 p.

### **Santrauka**

Pagrindinis baigiamojo projekto tikslas – Ištirti ir palyginti energetiškai efektyvaus įgilinto ar požeminio gyvenamojo namo energijos sąnaudas su įprastiniu atvėju (antžeminiu pastatu).

Atlikti trys modeliavimo variantai: antžeminis pastatas, pusiau įgilintas pastatas bei pilnai grunte esantis pastatas. Modeliuojant „Ansys“ programa buvo parinktos aplinkos sąlygos atitinkamo mėnesio ir įvertinimas šilumos srauto pasiskirstymas skerspjūvyje. Sudarant modelį „NRGpro“ programa sumodeliuota visais trimis atvejais A+ naudingumo klasės pastatai. Parinkus vienodas inžinerines sistemas bei pastato medžiagiškumą rastos šilumos ir vėsinimo sąnaudos.

Iš tyrimų pastebėta, kad išoriniai veiksniai, tokie kaip vėjo kryptis bei greitis, lauko ir grunto temperatūra turi didelę įtaką pastato vidaus temperatūros stabilumui. Gauti rezultatai parodo, jog šildymo ir vėsinimo sąnaudos yra didesnės antžeminio pastato lyginant su įgilintais pastatais.

Modelių rezultatai rodo, jog sumažinus sąnaudas šildymui ir vėsinimui bei CO<sub>2</sub> kiekį susidarantį pastato eksploatacijai taip pat prisidedama prie globalinio atšilimo mažinimo ir tolimesnių tyrimų šią aktualia tema.

Bunokas, Donatas. Research of the Ground Heat Utilization for Buildings Heating and Cooling. Master's Final Degree / supervisor prof. dr. Tadas Ždankus; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group) : Engineering Sciences, Civil Engineering (E05)

Keywords: underground, soil, energy efficiency.

Kaunas, 2021. 48 p.

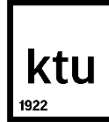
### **Summary**

The main goal of the final project is to investigate and compare more energy efficient or energy consumption of an underground residential house with a usual case (above ground building).

Three modeling variants were performed: an above-ground building, a semi-submerged building and a building completely in the ground. In the modeling of the Ansys program, the environmental conditions for the respective month were selected and the cross-sectional heat flow distribution was estimated. When creating the model, the NRGpro program modeled A + utility class buildings in all three cases. After selecting the same engineering systems and the materiality of the building, heating and cooling costs were found.

Studies have shown that external factors such as wind direction and speed, outdoor and ground temperature have had a significant impact on the internal temperature stability of a building. The results obtained show that the heating and cooling costs are higher for the above-ground building compared to the acquired buildings.

The results of the models show that reducing the costs of heating and cooling and CO2 emissions for the operation of the building also contribute to the reduction of global warming and further research on this relevant topic.



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

**Magistro baigiamojo projekto užduotis**

Studijų programa: DARNŪS IR ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS PASTATAI

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):  
GRUNTO ŠILUMOS PANAUDOJIMO PASTATŲ ŠILDYMIUI IR VĖSINIMUI TYRIMAS

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanų potvarkiu Nr.: \_\_\_\_\_

GRUNTO ŠILUMOS PANAUDOJIMO PASTATŲ ŠILDYMIUI IR VĖSINIMUI TYRIMAS

(anglų k.):  
RESEARCH OF THE GROUND HEAT UTILIZATION FOR BUILDINGS HEATING  
AND COOLING

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

**Baigiamojo projekto dalys:**

	<b>Atlikti</b>
Įvadas	<b>x</b>
Literatūros apžvalga	<b>x</b>
Metodologija	<b>x</b>
Eksperimentiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Analitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Skaitiniai tyrimai	<b>x</b>
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	<b>x</b>

**Kita informacija (pagal poreikį), susitikimų su vadovu savaitės diena (-os) bei laikas:**

**Vadovas:** \_\_\_\_\_  
(indėlis \_\_\_\_\_ %)

Prof. dr. Tadas Ždankus  
*pareigos, vardas, pavardė*

*parašas*

**Studentas:** \_\_\_\_\_

Donatas Bunokas  
*vardas, pavardė*

*parašas*

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas.....</b>	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>12</b>
1.1. Požeminių (pusiau įgilintų) pastatų esminiai išskirtinimai .....	12
1.2. Pastatų energinio naudingumo įtakos veiksniai.....	13
1.3. Dirvožemio šilumos laidumo nustatymo analizė.....	13
1.4. Energijos sunaudojimas požeminiame ir antžeminiame pastate.....	15
1.5. Požeminių ir antžeminių pastatų techninės savybės .....	17
1.6 Žmogaus savijauta požeminiuose pastatuose .....	18
<b>2. Tyrimų metodika.....</b>	<b>19</b>
2.1. Pradiniai duomenys.....	19
2.2. Tyrimo eiga.....	19
<b>3. Rezultatai .....</b>	<b>21</b>
3.1. Modeliavimas ANSYS 1 – as atvejis.....	21
3.2. Modeliavimas ANSYS 2 - as atvejis .....	23
3.3. Modeliavimas ANSYS 3 - as atvejis .....	27
3.4. Modeliavimas NRGpro.....	28
3.4.1. Antžeminis pastatas .....	30
3.4.2. Pusiau įgilintas pastatas .....	33
3.4.3. Visiškai įgilintas pastatas .....	37
<b>Išvados .....</b>	<b>40</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>41</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>43</b>
1 priedas. Šiluminis tiltelis: Langas tarp rėmo ir blokelių mūro .....	43
2 priedas. Šiluminis tiltelis: Langas tarp rėmo ir apšiltintos gelžbetoninės sąramos .....	44
3 priedas. Šiluminis tiltelis: Sienos išorinis kampas .....	46
4 priedas. Antžeminio pastato rezultatai.....	47
5 priedas. Pusiau įgilinto pastato rezultatai .....	48
6 priedas. Pilnai įgilinto pastato rezultatai.....	49

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Požeminių (pusiau įgilintų) pastatų privalumai ir trūkumai.....	12
<b>2 lentelė.</b> Grunto temperatūros priklausomybė nuo temperatūros .....	19
<b>3 lentelė.</b> Ilginiai šiluminiai tilteliai .....	29
<b>4 lentelė.</b> Mėnesiniai vėjo greičiai skirtingais metų mėnesiais vwind,m (m/s).....	30
<b>5 lentelė.</b> Projektuojamo pastato (antžeminio) rodikliai .....	33
<b>6 lentelė.</b> Projektuojamo pastato (pusiau įgilinto) rodikliai .....	36
<b>7 lentelė.</b> Projektuojamo pastato (pilnai įgilinto) rodikliai .....	38



## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b>	Gruntų šilumos laidumo koeficiento priklausomybės nuo drėgmės : .....	14
<b>2 pav.</b>	Išmatuoti 3,2 m gylio žemės temperatūros duomenys .....	15
<b>3 pav.</b>	Energinio trūkumo santykio skaičiavimo etapai .....	16
<b>4 pav.</b>	Modeliuojamo pastato schematinis vaizdas .....	19
<b>5 pav.</b>	Modeliuojamo, per aukštą įgilinto, pastato schematinis vaizdas su užduoties parametrais... ..	20
<b>6 pav.</b>	Pilnai įgilinto modeliuojamo pastato schematinis vaizdas.....	20
<b>7 pav.</b>	Vėjo greičio pasiskirstymas, srautui aptekant pastatą.....	21
<b>8 pav.</b>	Oro srauto temperatūrų pasiskirstymas, srautui aptekant pastatą.....	22
<b>9 pav.</b>	Grunto temperatūrų pasiskirstymas.....	23
<b>10 pav.</b>	Temperatūrų pasiskirstymas.....	24
<b>11 pav.</b>	Vėjo greičio pasiskirstymas, srautui aptekant įgilintą pastatą.....	24
<b>12 pav.</b>	Oro srauto temperatūrų pasiskirstymas, srautui aptekant įgilintą pastatą .....	25
<b>13 pav.</b>	Grunto temperatūrų pasiskirstymas.....	26
<b>14 pav.</b>	Temperatūrų pasiskirstymas.....	26
<b>15 pav.</b>	Grunto temperatūrų pasiskirstymas.....	27
<b>16 pav.</b>	Temperatūrų pasiskirstymas.....	28
<b>17 pav.</b>	Antžeminio pastato mėnesiniai šilumos nuostoliai ir pritekėjimai per išorinės atitvaras .....	30
<b>18 pav.</b>	Antžeminio pastato atitvarų plotai .....	31
<b>19 pav.</b>	Antžeminio pastato savitieji nuostoliai per atitvaras.....	31
<b>20 pav.</b>	Antžeminio pastato šiluminių ilginių tiltelių ilgiai .....	31
<b>21 pav.</b>	Antžeminio pastato savitieji nuostoliai per ilginis tiltelius .....	32
<b>22 pav.</b>	Pusiau įgilinto pastato mėnesiniai šilumos nuostoliai ir pritekėjimai per išorines atitvaras .....	34
<b>23 pav.</b>	Pusiau įgilinto pastato atitvarų plotai .....	35
<b>24 pav.</b>	Pusiau įgilinto pastato savitieji nuostoliai per atitvaras .....	35
<b>25 pav.</b>	Pusiau įgilinto pastato šiluminių ilginių tiltelių ilgiai .....	35
<b>26 pav.</b>	Pusiau įgilinto pastato savitieji nuostoliai per ilginis tiltelius.....	36
<b>27 pav.</b>	Pilnai gilinto pastato šilumos nuostoliai per atitinkamas atitvaras.....	37
<b>28 pav.</b>	Pilnai įgilinto pastato mėnesiai šilumos nuostoliai .....	38

## Įvadas

Šiuolaikinė pastatų statyba susiduria ne tik su architektūriniais ir konstrukciniais sunkumais, bet ir pačio pastato energetinėmis subtilybėmis. Anksčiau pastato požeminė dalis dažniausiai buvo skiriama sandėliavimui, saugykloms ir kitos paskirties patalpoms.

Per pastaruosius dešimtmečius pasaulyje fiksuojamas vidutinės temperatūros didėjimas. XX-ame amžiuje vidutinė metinė temperatūra pakilo  $0,74 \pm 0,18$  °C, o remiantis Tarpvyriausybinės klimato pokyčių komisijos (IPCC) ataskaita, vidutinė pasaulinė temperatūra per XXI amžių pakils 1,1–6,4 °C.

Klimatas kinta tiek dėl natūralių vidinių procesų, tiek dėl išorinių natūralių arba antropogeninių veiksnių poveikio. Šie išoriniai veiksniai yra saulės aktyvumas, ugnikalnių išsiveržimai, Žemės orbitos kitimas ir šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Mokslininkai teigia, kad dabartinį klimato atšilimą iš esmės lėmė šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio atmosferoje pagausėjimas, tokių kaip vandens garai, anglies dvideginis, metanas ir ozonas.

Yra įvairių būdų sumažinti klimato atšilimo pasekmes, tokių kaip: efektyvesnių technologijų vystymas; anglies emisijų ribojimas; atsinaujinančios energijos naudojimas (biokuro, vėjo, saulės energijos); elektrinių arba hibridinių automobilių naudojimas; energijos taupymas (naudojimo efektyvumo didinimas) ir kt.

Didžiąją pastato sunaudojamos energijos dalį sudaro energija pastato šildymui ir karšto vandens paruošimui. Energijos sąnaudos karšto vandens paruošimui išlieka sąlyginai pastovios per visus metus, o pastato šildymui energijos reikia šaltuoju laikotarpiu ir ji tiesiogiai priklauso nuo dviejų išorinių veiksnių: oro temperatūros ir vėjo. Diskusiniu išlieka klausimas dėl energijos sąnaudų pastato vėsinimo reikmėms „karštuoju“ – vasaros laikotarpiu. Reikia pripažinti, kad Lietuvos atveju šitam klausimui skiriama per mažai dėmesio, o ir periodo, kai reiktų vėsinti pastatą, trukmė yra nuo vieno iki dviejų mėnesių.

Norint pasiekti didesnę pastato energetinį efektyvumą galimi du pagrindiniai keliai. Vienas jų – maksimaliai efektyvinti energijos šaltinio darbą, integruojant atsinaujinančius energijos šaltinius, šilumos siurblius, akumuliacines vandens talpas ir pan. Kitas būdas – mažinti šilumos nuostolius į aplinką. Šilumos nuostolius į aplinką galima mažinti užtikrinant pastato sandarumo reikalavimus ir termoizoliuojant pastatą. Tai tradicinis kelias apimantis tiek renovuojamus, tiek ir naujai statomus pastatus.

Prieš naujo pastato statybą, projektavimo stadijoje, išlieka žymiai įvairesnių sprendimų galimybė. Vienas netradicinių sprendimų – įgilinti pastatai. Šiuo atveju visiškai ar iš dalies būtų pašalinimas vėjas – labai svarbus veiksnys, ypač turintis įtakos šilumos nuostoliams į aplinką. Tačiau grunto šilumos laidumas daug kartų didesnis nei oro. Kita vertus, su grunto gyliu didėja grunto temperatūra, tai ženkliai paveiktų šilumos mainų intensyvumą. Išlieka daug neatsakytų klausimų. Iškyla tyrimų būtinybė. Todėl šis darbas orientuotas į pastato energetinių sąnaudų sumažinimą įgilinant pastatą.

**Darbo aktualumas ir pritaikomumas.** Lėtai su didele inercija aplinkos oro atžvilgiu kintanti grunto temperatūra, bei palankios jos vertės tiek šaltuoju, tiek ir šiltuoju laikotarpiais gali leisti sutaupyti dalį energijos, eikvojamos įgilinto ar požeminio pastato šildymui ar vėsinimui. Net ir nežymi vieno pastato atveju sutaupyta energija prisidės prie bendro globalinio energijos sąnaudų, aplinkos taršos, o taip pat ir klimato kaitos mažinimo.

**Darbo tikslas** – palyginti energetiškai efektyvaus įgilinto ar požeminio gyvenamojo namo energijos sąnaudas su įprastiniu atveju.

**Tyrimo objektas** – šilumos mainų charakteristikų ir energijos sąnaudų pastato šildymui kaita priklausomai nuo pastato įgilinimo bei grunto fizikinių savybių.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Požeminių (pusiau įgilintų) pastatų esminiai išskirtinumai

Požeminiai pastatai yra pastatai, esantys žemiau žemės lygio. Čia žemės lygis apibrėžiamas kaip natūralus žemės paviršiaus aukštis. Požeminių pastatų paklausa didėjo dėl didėjančios gyvenamojo ploto aplinkos trūkumo ar kainos, ypač miestuose. Idėja turėti požeminius pastatus yra perspektyvi dėl daugelio priežasčių. Tam tikri požeminiai pastatai buvo sukurti daugiasluoksniu ir dideliu mastu, siekiant patenkinti dabartinius poreikius. Taigi, siekiant patenkinti skirtingus reikalavimus, požeminio pastato struktūra tapo sudėtingesnė ir įvairesnė. Palyginti su antžeminiais pastatais, požeminiai pastatai remiasi mechaninėmis vėdinimo sistemomis dėl nepakankamo natūralaus vėdinimo angų. Tiesą sakant, požeminio pastato plėtojimas yra vienas iš tradicinių metodų, naudojamų temperatūros svyravimams ir energijos suvartojimui sumažinti. Kitaip tariant, požeminis pastatas turi didelį energijos taupymo potencialą. [1]

Apžvelgiant literatūros analizę galima bendrąją prasme išskirti privalumus ir trūkumus, kuriuos gali duoti požeminiai (pusiau įgilinti) pastatai

**1 lentelė.** Požeminių (pusiau įgilintų) pastatų privalumai ir trūkumai

Privalumai	Trūkumai
Erdvės taupymas	Didelės statybų išlaidos
Geras šiluminis efektyvumas (t. y. Izoliuotas nuo atšiauraus klimato, geresnis šiluminis komfortas, pastovesnė vidaus temperatūra)	Ribota prieiga prie natūralios šviesos ir išorinių vaizdų
Mažiausias vizualinis poveikis ir aukštas privatumo lygis	Bloga oro cirkuliacija, jei ventiliacijos sistema nėra tinkamai suprojektuota
Atsparus išoriniam triukšmui. (Atkreipiant dėmesį, kad triukšmas dirvožemyje perduodamas lėčiau nei skystis ar dujos)	Saugumo klausimas (pastato konstrukcijos sudėtingumo bei grunto galimo nestabilumo)
Mažos priežiūros ir eksploatacijos išlaidos	Visuomenės pritarimo/žinių plėtojimo stoka
Aukštas saugumas, ypač apsauga nuo stichinių nelaimių	

Iš pateiktos lentelės darosi pirminės išvados, jog daugiausia žinome apie pačio grunto šiluminį efektyvumą, galimas išlaidas. Bet gana mažai tyrimų ir bandymų atlikta iš energetinės ir pastato vidaus mikroklimato bendros dalies.

Klimato sąlygos nuo senų laikų darė didelę įtaką žmogaus pasirinkimui tarp palapinės ir olos. Pastaroji, požeminė struktūra turėjo didelį pranašumą vėjuotose, karštose ar itin šaltose žemės vietose. *Yao Dongs* – požeminiai kinų namai nuo seniau nei 5000 metų prieš Kristų, apsaugodavo žmones nuo smėlingų vėjų iš Sibiro ir Mongolijos. Jų populiarumą taip pat lėmė mažos statybinių medžiagų sąnaudos - iškasus likdavo tik įdėti porą medinių langų ar durų.

Dar vienas požeminio statinio klimatinis pranašumas – temperatūros pastovumas. Tokie pastatai žiemą būna šilti, o vasarą neperkaista. Australijoje kovai su karščiu opalo ieškotojai pasistatė ištisą požeminį miestą „Coober Pedy“, nes gyventi ant žemės čia neįmanoma – Australijos centre esančioje

vietovėje oro temperatūra įkaista iki 40 laipsnių Celsijaus. Kanadoje požeminiai multifunkciniai miestai-perėjos apsaugo žmones šaltomis žiemomis. [2]

Tačiau ne visiems požeminės struktūros atrodo nepatrauklios, nors ir klimato atžvilgiu yra naudingos. Alkemade'as atskleidžia netikėtą požiūrį į požemines struktūras ir teigia, kad azijiečiai požeminius pastatus vertina daug palankiau. Dirbdamas su Singapūro Turizmo ministerijos esančios „Orchard kelyje“ – pagrindinėje prekybos gatvėje – vystymo planu, architektas pastebėjo, jog jei dažniausiai teigiama, kad žmogui itin svarbu turėti vaizdą pro langą (langų nebuvimas požeminei erdvei teikia bene didžiausią trūkumą), tai ši teorija netinka Singapūriečiams – jiems nerūpi, ar jie yra po žeme ar virš jos. Didžiausias prioritetas yra tiesiog uždara erdvė – stengiamasi projektuoti pastatus taip, jog nereikėtų išeiti į lauką, nes lauke – milžiniška drėgmė. Taigi, Singapūre išsikerojęs požemis jungia visus svarbiausius pastatų kompleksus, palikdamas antžeminę erdvę automobiliams, to azijiečiai visai nesureikšmina ir nelaiko problema. [2]

## 1.2. Pastatų energinio naudingumo įtakos veiksniai

Požeminių pastatų energinio naudingumo vertinimas yra sudėtingesnis nei antžeminių pastatų, nes požeminių pastatų šiluma perduodama sunkiai apibrėžiamų charakteristikų gruntui. Kadangi požeminiai pastatų fasadai tiesiogiai liečiasi su dirvožemiu, šilumos perdavimo įtakos veiksnius pirmiausia galima suskirstyti į dvi kategorijas [1]:

- dirvožemio šiluminės savybės;
- žemės paviršiaus sąlygas.

Dirvožemio šiluminės savybės paprastai sunku nustatyti dėl daugybės faktorių veikiančių ir kintančių laike, pvz.: kritulių įsigėrimas, dirvožemio užšalimo ir tirpimo bei pan. Grunto paviršiaus būklė, tokia kaip žolės danga, sniego danga, plikas dirvožemis ir kt., yra veiksnys, turintis didelę įtaką dirvožemio temperatūros profiliui, taip pat galimai išorės klimato įtakai šilumos perdavimui iš žemės paviršiaus. [3]

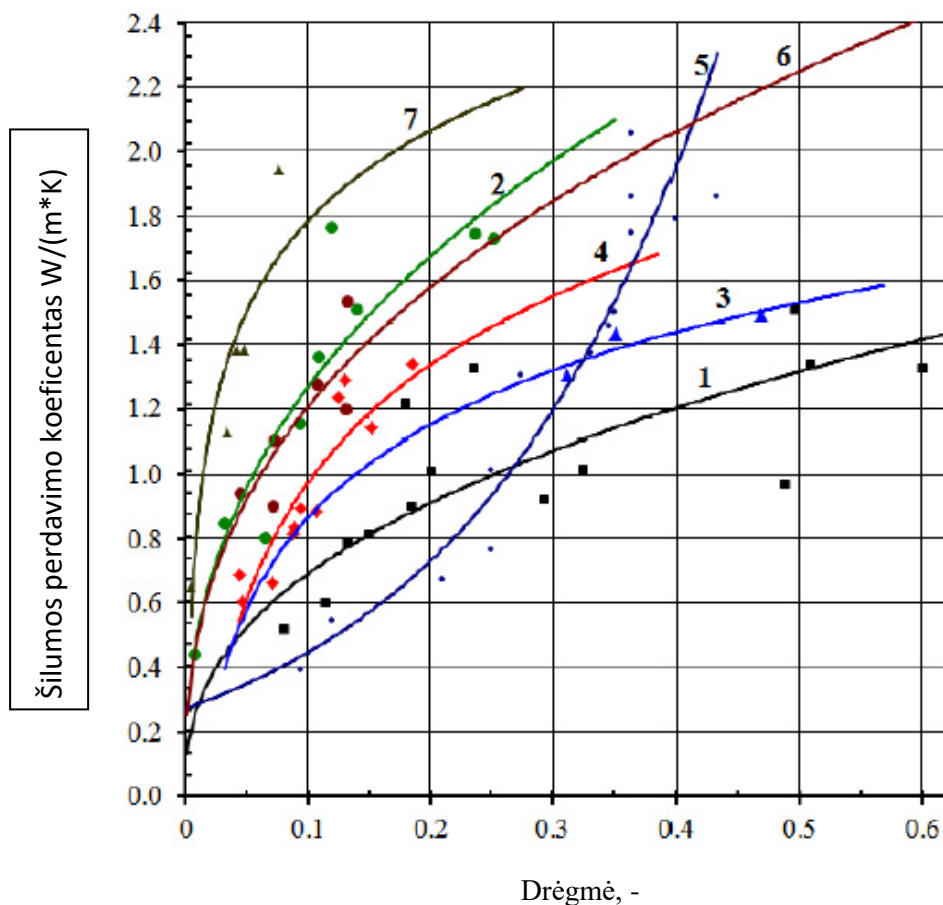
Šilumos perdavimas per žemę per požeminius pastatus yra tipiškas netolygus šilumos laidumo trimatis procesas. Šios šilumos perdavimo problemos sprendimo metodai daugiausia apima:

- analitinį (pusiau analitinį) metodą,
- baigtinio skirtumo (elemento ar tūrio) metodą,
- reakcijos koeficiento metodą,
- Galerkinio metodą,
- rankinį (skaitinį, analitinį) metodą,
- regresijos metodą.

Kiekvienas metodas turi tiek privalumų, tiek trūkumų, todėl norint pasirinkti efektyviausią skaičiavimo metodiką ir gauti tiksliausius rezultatus, reikia detaliai išanalizuoti kitų mokslininkų įdirbį šioje srityje.

## 1.3. Dirvožemio šilumos laidumo nustatymo analizė

Projektuojant požeminį pastatą pirmiausia reikia žinoti, kokie gruntai vyrauja sklype. Kiekviena grunto rūšis skirtingai reaguoja į drėgmę ir skirtingai perduoda šilumą per savo mikrodaleles.

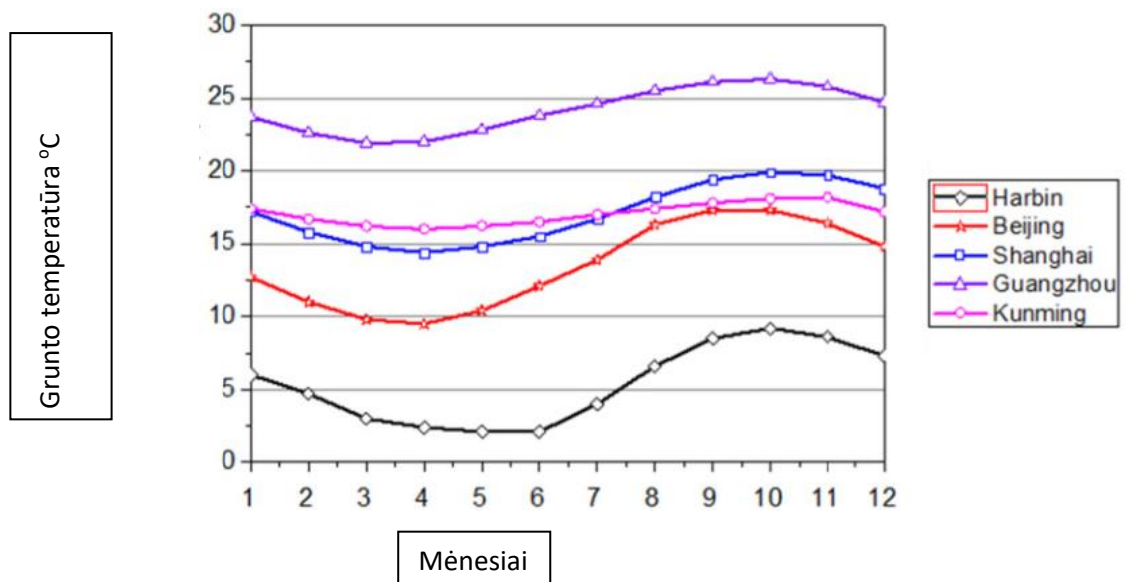


**1 pav.** Gruntų šilumos laidumo koeficiento priklausomybės nuo drėgmės [3]:

1 – smėlingas priemolis; 2 – vidutinio grūdėtumo smėlis; 3 – šilkinis smėlis; 4 – asorti smėlis; 5 – priemolis;  
6 – priemolio smėlis – priemolio veislė; 7 – smėlis su akmenukais ir žvyru

Pagal 1 pav. pateiktas šilumos laidumo koeficientų reikšmes skirtingiems gruntams, galima atkreipti dėmesį, jog geriausios savybės yra to grunto, kurio drėgmės ir šilumos perdavimas yra optimaliausias. Per didelis drėgnis gali paveikti pastatą ir kauptis patalpų viduje, todėl toks pastatas nebeatitiks higienos reikalavimų žmogui. [3, 8]

Taip pat pastebima, jog grunto temperatūra tiesiogiai priklauso ir nuo geografinės padėties. Tyrimų metu Kinijoje [13] buvo nustatyta, kad, kuo šiauresnis tyrinėjamas geografinis taškas, tuo grunto temperatūra mažesnė, negu lyginant su pietine puse (2 pav.).



**2 pav.** Išmatuoti 3,2 m gylio žemės temperatūros duomenys [13]

Iš 2 pav. galima pastebėti, kad dirvožemio temperatūros svyravimas Harbine ir Pekine yra didesnis nei kituose trijuose miestuose. Harbino vidutinė dirvožemio temperatūra (3,2 m gylyje po žeme) yra mažiausia tarp visų tirtų miestų, apie 5 °C, o tai rodo pagrindinius geros požeminių atitvarų šilumos izoliacijos reikalavimus. Šilto klimato sąlygomis vidutinė dirvožemio temperatūra (3,2 m gylyje po žeme) yra aukštesnė nei 15 °C, ypač Guangdžou (vidutinė 3,2 m gylio žemės paviršiaus dirvožemio temperatūra siekia 24 °C). Šiose klimato zonose vidaus erdvės vėsinimas yra pagrindinis veiksnys, į kurį reikia atsižvelgti, kai požeminių pastatų atitvarų šiluminės savybės yra suprojektuotos energijos taupymo tikslais [9, 13].

Išanalizavus 5 miestų metines grunto temperatūras yra daroma išvada, jog skirtingas metų laikas vienodai įtakoja grunto temperatūrų pasiskirtymą tame pačiame grunto gylyje (3,2 m.). Dėl šių skirtumų, projektuojant požeminį pastatą reiktų atkreipti dėmesį į atitvarų šilumos perdavimo koeficientą. T.y. šiaurinėse pusėse pastatas turėtų būti „aprengtas“ daugiau šilumą sulaikančiomis medžiagomis [13].

#### 1.4. Energijos sunaudojimas požeminiame ir antžeminiame pastate

Požemines arba pusiau požemines pastato konstrukcijas galima susieti su žemės morfologija. Jau Graikijos mokslininkai nagrinėjo požeminių ir antžeminių pastatų energijos trūkumo skirtumus. Pagrindinius skirtumus atliekant tyrimus pastebėjo jog požeminių pastatų statyba turi didelių privalumų [5, 6]:

- žymiai geresnis energijos vartojimo efektyvumas, taigi sutaupoma energijos.
- maksimaliai padidinamas statybinis plotas, aukšto polinkio vietose ir panaudojama erdvė po žemės paviršiumi. Be to, medžiagos, gautos iš kasimo, gali būti naudojamos vėlesniuose statybos etapuose.
- statybinių medžiagų ir priežiūros sąnaudų minimizavimas, kadangi jų paviršiaus plotas viršuje yra ribotas žemės paviršiaus.

- padidėjęs atsparumas ekstremalioms oro sąlygoms ir saugesnė aplinka nuo žemės drebėjimų ir gaisrų.
- konstrukcijos vizualinio ir aplinkosauginio pėdsakų sumažinimas.

Energijos trūkumo skirtumas apskaičiuojamas remiantis dienolaipsnių metodu.

$$E_h = \frac{H_{tot}}{n_h} \times HDD \times \frac{24}{1000} \quad (1)$$

$$E_c = \frac{H_{tot}}{n_c} \times CDD \times \frac{24}{1000} \quad (2)$$

Čia:

$E_h$  – metinis energijos suvartojimas šildymui (KWh)

$E_c$  – metinis energijos suvartojimas vėsinimui (KWh)

$H_{tot}$  – bendras pastato šilumos perdavimo koeficientas dėl konvekcijos ir dėl vėdinimo ( $W/^\circ C$ )

HDD – Šildymo dienolaipsniai ( $^\circ C * days$ )

CDD – Vėsinimo dienolaipsniai ( $^\circ C * days$ ),

$N_h$  – šildymo sistemos efektyvumo koeficientas

$N_c$  – vėsinimo sistemos energijos efektyvumo koeficientas (EPR)

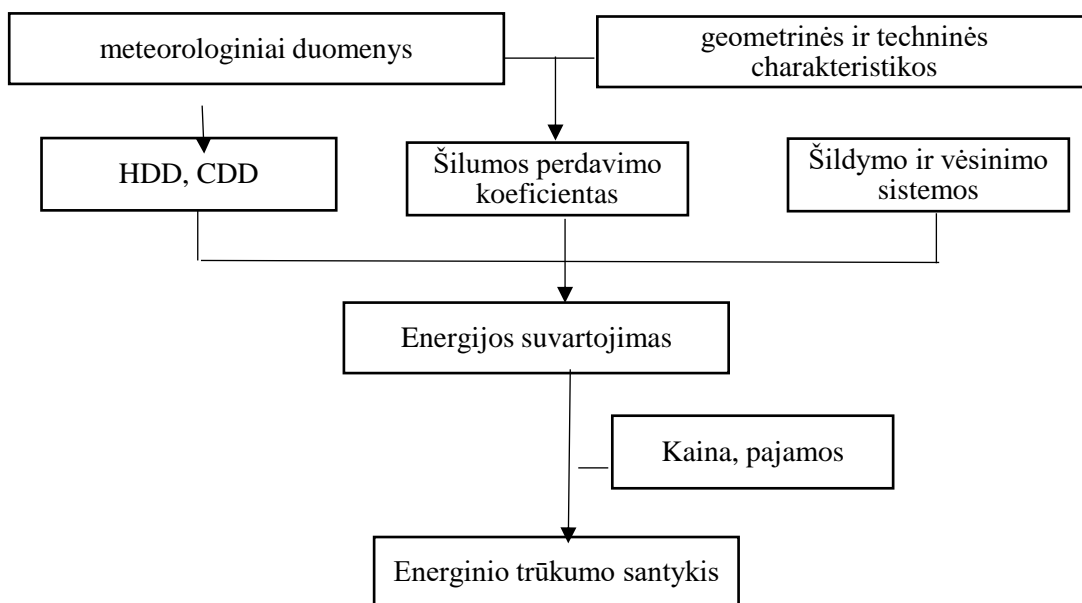
$$(EPR) = \frac{\frac{H_{tot}}{n_h} \times HDD \times \frac{24}{1000} \times pr_1 + \frac{H_{tot}}{n_c} \times CDD \times \frac{24}{1000} \times pr_2}{pajamos} \quad (3)$$

Čia:

$Pr_1$  – šiluminės energijos kaina (€/ KWh)

$Pr_2$  – vėsinimo energijos kaina (€/ KWh)

Pajamos – (neatskaičius mokesčių) metinės namų ūkio pajamos (€)



3 pav. Energinio trūkumo santykio skaičiavimo etapai [6]



Mokslininkai nustatė, jog įvairiuose Graikijos vietovėse pastebimas vienareikšmiškas energijos taupymas požeminių pastatų atveju [4]. Metinės energijos sąnaudos tiek šildymui, tiek vėsinimui ir visos energijos svyruoja nuo 28 % iki 40 % priklausomai nuo klimato zonos. Didžiausias sutaupymas pasiekiamas šilčiausioje klimato zonoje, kur energijos suvartojimas per metus būna ypač mažas. Todėl tyrinėtojai patvirtina, jog dirvožemio sluoksnis aplink požeminę konstrukciją suteikia lemiamą įtaką mažinant šiluminius nuostolius ir palaikant pastovią oro temperatūrą pastatuose [5][6].

### **1.5. Požeminių ir antžeminių pastatų techninės savybės**

Ming Shan ir kt. [10] apibendrina galimus antžeminio ir požeminio pastato privalumus ir trūkumus bei rizikos veiksnius.

- vietos taupymas
- energijos taupymas
- didelis atsparumas ugniai
- mažiau paveikia stichinių nelaimių
- mažesnės eksploatavimo sąlygos
- pagerintas patalpų šilumos komfortas
- didesnė apsauga išoriniam triukšmui
- daugiau jaučiamas privatumas

Kaip argumentus mokslininkai [9] pagrindžia paprastais motyvais, kaip kad – vietos taupymas. Požeminių gyvenamųjų pastatų plėtra gali padėti sutrukdyti vis didėjančiam miestų plitimui ir sutaupyti vietos gamtos ir paveldo peizažams arba energijos taupymas – požeminiuose gyvenamuosiuose pastatuose galima sutaupyti daug energijos, nes tokius pastatus supa tipiška natūrali izoliacinė medžiaga – dirvožemis, todėl pastatams reikia mažesnių šildymo ir aušinimo apkrovų. Požeminiai gyvenamieji pastatai siūlo saugesnę gyvenamąją aplinką nuo stichinių nelaimių, tokių kaip stiprus vėjas, kruša, žaibo smūgiai, tornadai, nes tokie pastatai statomi po žeme [10] [11].

Trūkumai:

- ribota prieiga prie natūralios šviesos
- žmonių psichologinis atsparumas
- aplinkosaugos klausimai
- didelės statybos išlaidos
- klimato izoliacija
- saugos problemos
- trūksta matomo fasado dizaino

Požeminiai pastatai turi ir trūkumų, tokių kaip natūralios šviesos neturėjimas (lyginant su gyvenimu paviršiniuose pastatuose, gyvenant po žeme gyventojams kiltų sunkumų patekti į natūralią šviesą), aplinkosaugos dalis (požeminių gyvenamųjų pastatų statyba gali sukelti įvairių aplinkos problemų, tokių kaip hidrologinių sąlygų aplink vietą keitimas, teršalų susidarymas), bei žmonių psichologinis atsparumas (paprastai žmonės jaučia psichologinį pasipriešinimą gyvendami po žeme, nes mano, kad po žeme jie yra tamsūs, drėgni, uždari, prastai vėdinami ir labiau susiję su mirtimi ir palaidojimais) [10] [11].

## 1.6 Žmogaus savijauta požeminiuose pastatuose

Spartėjantis Žemės gyventojų skaičiaus augimas sukelia precedento neturintį spaudimą miesto teritorijoms. Mes jau praėjome tašką, kai daugiau nei pusė pasaulio gyventojų gyvena miestuose. Tikimasi, kad iki 2050 m. 70 % pasaulio gyventojų gyvens miestuose. Spręsdami žmonijos problemas, požeminės statybos projektų autoriai kartais pamiršta asmens problemas. Nuo 3 iki 7 % gyventojų turi sunkią klaustrofobiją. Maždaug pusei žmonių kyla kitos erdvinės fobijos, kurios sustiprėja požeminėse erdvėse ir sukelia rimtų psichikos pažeidimų. Kitaip tariant, spręsdami pernelyg tankių miestų gyventojų problemą, susidarome psichinės sveikatos išsaugojimo problemą. Pagrindinių grupių ir tipų konstrukcijas, patalpas ir įrenginius, kuriuos tikslinga talpinti požeminėje miesto erdvėje, galima apibrėžti atsižvelgiant į žmonių buvimo požeminėse sąlygose trukmę, tikėtiną ir priimtina sanitarinių, higieninių, fiziologinių ir psichoaktyvių sąlygų reikalavimus. Būtina išplėsti daugiausia pagalbinių, techninių ir sandėliavimo konstrukcijų statybą, kurias galima atlikti be asmens dalyvavimo arba su minimalia šio dalyvavimo dalimi. Konstrukcijos, patalpos ir įrenginiai, kuriais aptarnaujami visi miesto gyventojai, turi būti apskaičiuojami tik esant gana trumpam žmonių buvimui juose, maždaug 3–4 val. [15, 16]

Norint pasiekti tokias sąlygas, jog žmonės komfortiškai galėtų išbūti ilgiau tokiose patalpose, turi būti atsižvelgiama į tokias sąlygas kaip: apšvietimas, oro kokybė, vėdinimas, drėgmė, bei aplinkos sąlygos. Todėl visose požeminėse patalpose būtina sukurti sąlygas, kurios priartintų požeminę erdvę prie įprastos. Tai galima pamatyti, pavyzdžiui, požeminėje Sambangay erdvėje Japonijoje. Čia sukurtas dirbtinis sodas su žydinčiais augalais, kopėčias apšvię žalumynai, imitaciniai langai su plazdančiais paukščiais, sukurta neoninių lempučių puošta upė ir t.t. [17]

Su tokiomis aplinkybėmis ir sąlygomis turi būti aprūpinta dirbtiniu patalpu apšvietimu. Norint pasiekti tinkamas sąlygas žmogaus gyvenimui, darbui ar kitokio pobūdžio aktyvumo tokiose patalpose turi būti tinkamas apšvietimas. Visas reikiamas reikšmes pateikia Lietuvos higienos normos HN 98:2014 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos mažiausios ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“. [18]

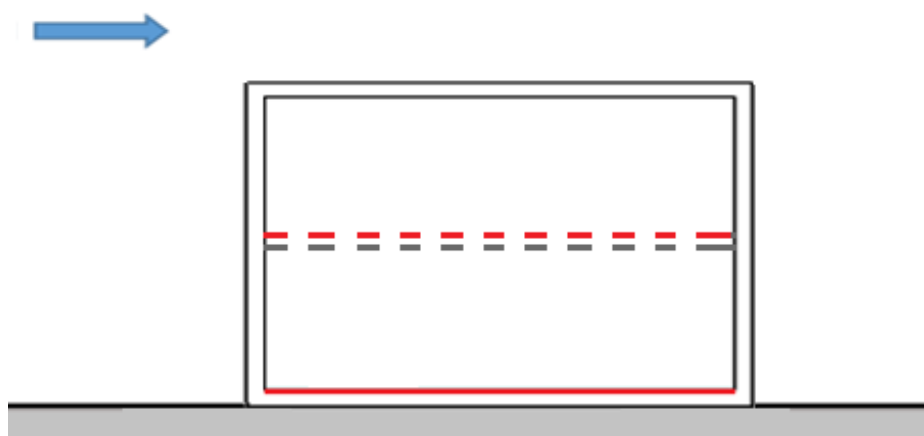
Nesuteikiant reikiamų aplinkos sąlygų, požeminė erdvė galėtų pasitarnauti ir pritaikant trumpesniam žmonių apsilankymo laikui. Viešbučio paskirties pastatuose dažniausiai žmonės ilsisi, miega ir jiems labiausiai rūpi sanitarinės priemonės tinkamam poilsiui.

Sandėliavimo, ar garažų paskirties objektuose taip pat mažai praleidžiama laiko, nes juose talpinami materialūs dalykai, bet žinoma juos išlaikant geros kondicijos, tai taip pat reikalauja atitinkamų sąlygų.

## 2. Tyrimų metodika

### 2.1. Pradiniai duomenys

Tyrimui pasirenkamas dviejų aukštų gyvenamos paskirties pastatas  $7 \times 7 \text{ m}^2$ , plokščiu stogu (sutapdintasis stogas). Pasirenkamas pastato šildymo būdas: grindinis šildymas visu plotu pirmame ir antrame aukšte. Pasirenkamos nepalankiausios aplinkos sąlygos – sausio mėn. Vidutinė mėnesinė temperatūra, vėjo kryptis ir intensyvumas pasirenkami iš „Statybinės klimatologijos“ RSN 156–94 [7].



4 pav. Modeliuojamo pastato schematinis vaizdas

Grunto temperatūros priklausomybė nuo temperatūros pateikta lentelėje 2 [8].

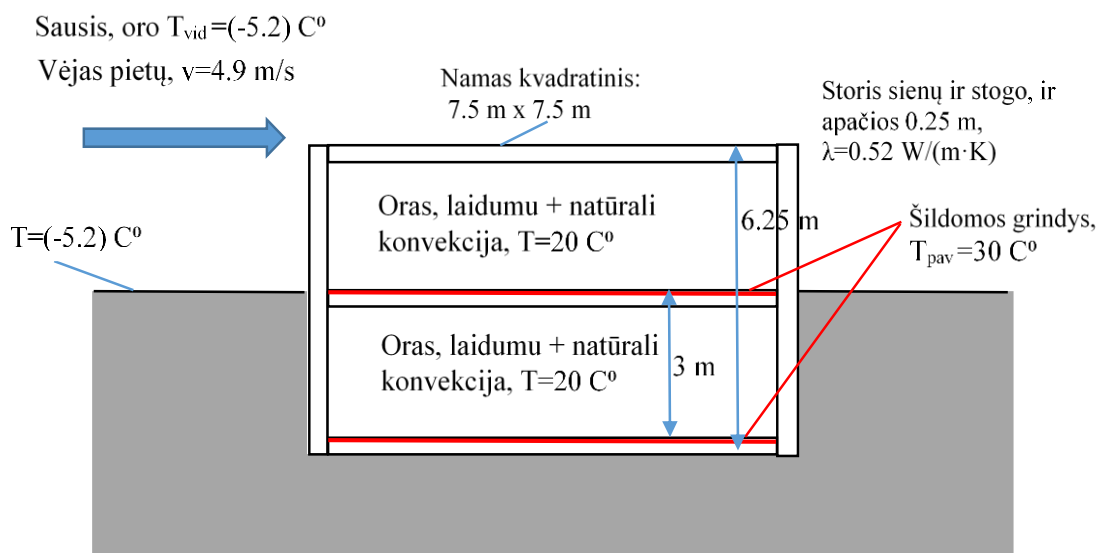
**2 lentelė.** Grunto temperatūros priklausomybė nuo temperatūros

h, m	0	-0,5	-0,8	-2	-3	-4	-6
T, °C	-5,2	-3	0	5	8	10	12

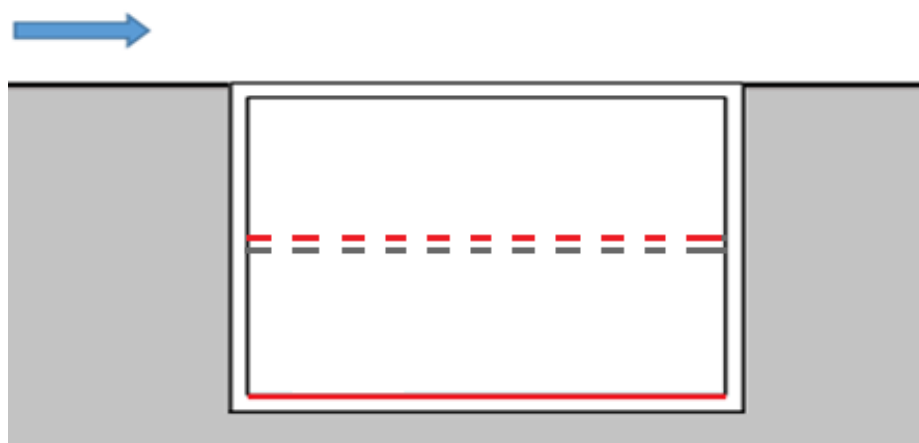
### 2.2. Tyrimo eiga

Pirmiausiai modeliuojamas ant paviršiaus esantis pastatas (4 ir 5 pav.) Po to pastatas įleidžiamas gilyn – tai atliekama su pastato modeliu ANSYS programoje. Analizuojamas nusistovėjęs laike šilumos mainų procesas. Pastatas tas pats, aplinkos sąlygos tos pačios. Skaičiuojamas energijos poreikis. Palyginama su pradiniu (4 pav.). Planuojami sumodeliuoti variantai pateikti 4, 5 ir 6 pav.

Modeliavimas vykdomas ANSYS ir NRGpro programomis. Planuojama rezultatus palyginti.



5 pav. Modeliuojamo, per aukštą įgilinto, pastato schematinis vaizdas su užduoties parametrais



6 pav. Pilnai įgilinto modeliuojamo pastato schematinis vaizdas

Modeliavimo metu analizuotas nusistovėjęs laike šilumos mainų procesas. Užsidiuota, kad vidutinė oro temperatūra pastato viduje išlieka  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tokiu atveju, antrojo aukšto šildomos grindys turi įtakos tik oro temperatūrų persiskirstymui pastato viduje, tačiau neįtakoja šilumos nuostolių į aplinką. Todėl modelis buvo šiek tiek supaprastintas pastato paviršiuje (4 pav.) ir visiškai įgilinto pastato atvejis (6 pav.) – vidinė pastato erdvė modelyje buvo neatskirta perdanga tarp pirmo ir antro aukštų, todėl minėtuose paveiksluose (4 ir 6 pav.) perdanga su šildomomis grindimis pavaizduota punktyrinėmis linijomis. Šildomos grindys paliktos tik virš grunto.

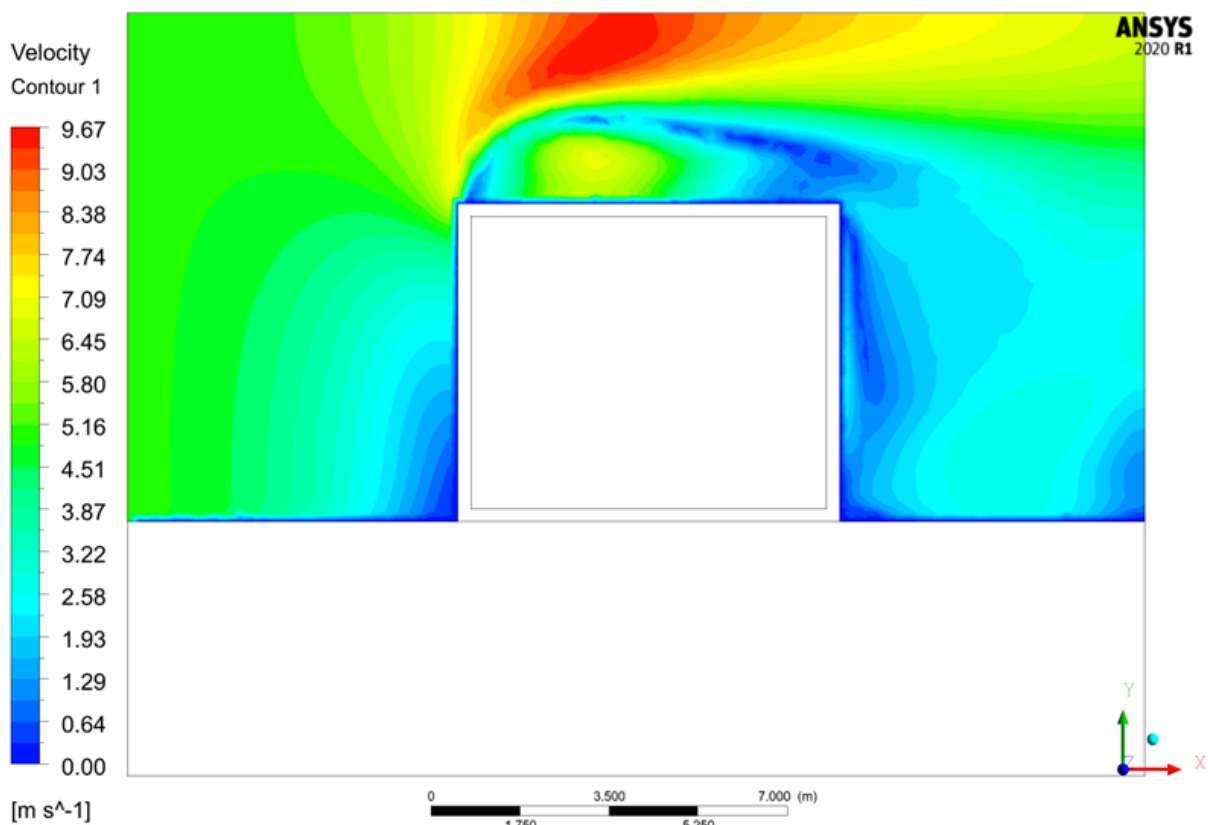
Per aukštą įgilinto pastato atveju (5 pav.) skaitinis modeliavimas atliktas su pastato modeliu, kuris buvo su perdanga ir šildomomis grindimis tarp pirmojo ir antrojo aukštų, tačiau rezultatų analizė patvirtino ankstesnį teiginį, kad tai beveik neturi įtakos šilumos mainams per pastato išorines atitvaras į aplinką.

Šildymui reikalingos šilumos sąnaudos apskaičiuotos nustačius šilumos nuostolius per atitvaras į aplinką. Tai nustatyta paskaičiavus šilumos srautus per kiekvieną atitvarą, žinant oro temperatūrą pastato viduje ir grunto temperatūrą ties įgilintomis pastato sienomis ir grindimis.

### 3. Rezultatai

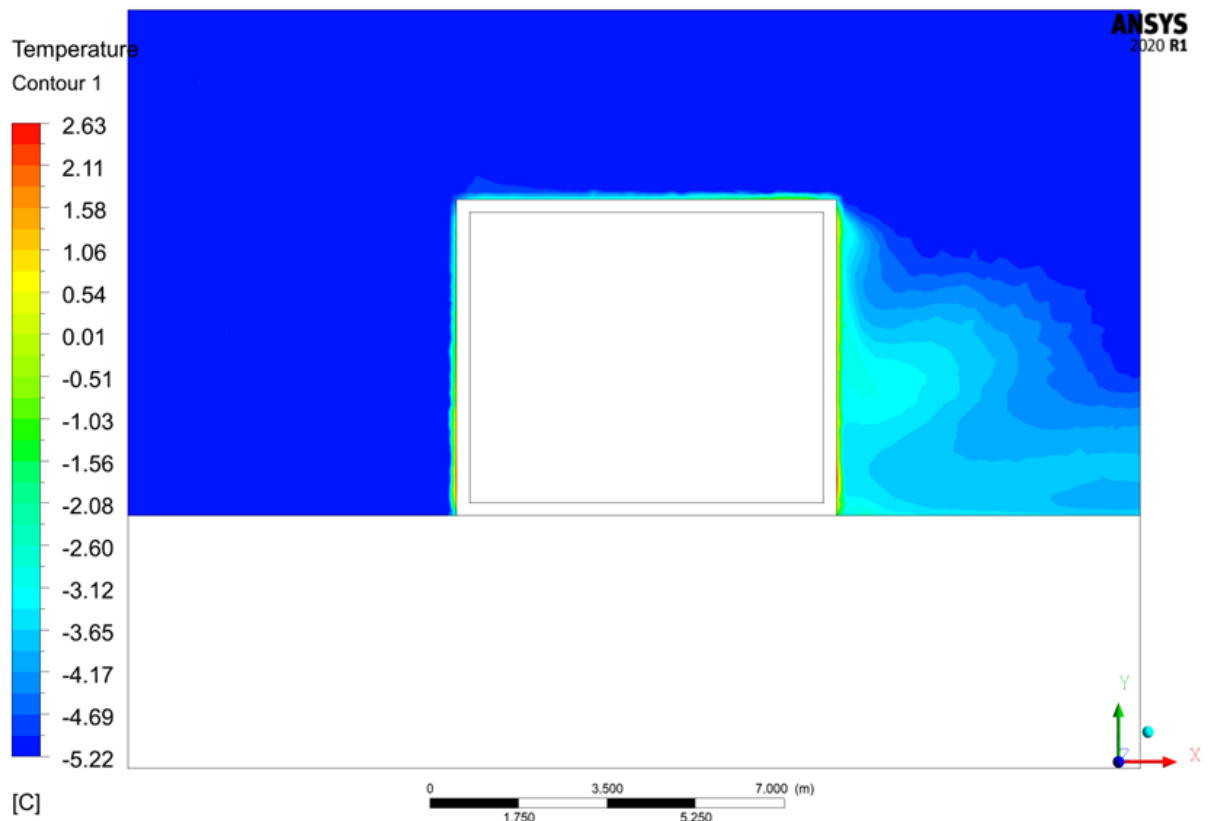
#### 3.1. Modeliavimas ANSYS 1 – as atvejis

Simuliacija ANSYS programa pradėta nuo 4 pav. pavaizduoto atvejo. Parametrai buvo nustatyti tokie, kaip parodyta 5 pav. Vėjo kryptis ir greitis turi didelės įtakos šilumos mainų intensyvumui. Antžeminė pastato dalis yra kliūtis vėjo kelyje. Dėl kontakto su pastato paviršiumi oro srautas keičia savo judėjimo kryptį, gali formuotis sūkuriai. Vėjo greičio pokytis srautui aptekant pastatą pateiktas 7 pav.



7 pav. Vėjo greičio pasiskirstymas, srautui aptekant pastatą

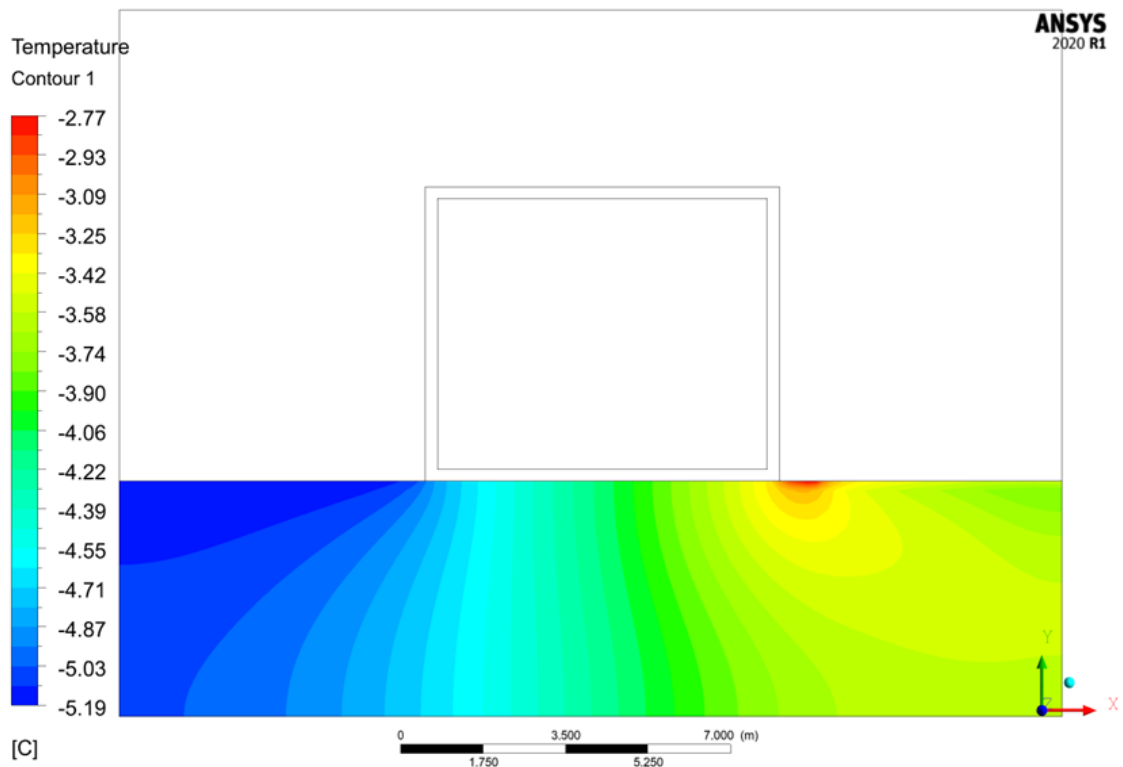
Modelyje kairioji pastato siena buvo atsukta statmenai prieš užtekantį oro srautą. Analizuotas nusistovėjęs laike šilumos mainų procesas. Galima pastebėti, kad oro srautas labiausiai pristabdytas ties kairiąja pastato siena, apatinėje dalyje. Čia greitis krenta iki reikšmių, mažesnių nei 2 m/s. Ties viršutine šios sienos dalimi srauto greitis išauga ir juntamai viršija atitekančio srauto pradinę greičio vertę. Analogiškai didesnės vėjo greičio reikšmės stebimos ir ties pastato stogu.



**8 pav.** Oro srauto temperatūrų pasiskirstymas, srautui aptekant pastatą

Analizuojant oro srauto temperatūrų pasiskirstymą, srautui aptekant pastatą (8 pav.), didesnis temperatūros pokytis pastebimas tik prie dešinėsios sienos, mažesnio greičio srityje (7 pav.). Beveik nepakitusi srauto temperatūra ties kairiaja pastato siena gali būti paaiškinama sąlyginai nedidele mažų greičių zona (kontakcinio ploto atžvilgiu) ties kairios sienos apatine sritimi.

Nagrinėjant šilumos nuostolius per grindis į gruntą, galima pasinaudoti grunto temperatūrinio pasiskirstymo pasirinktame skerspjūvyje analize. Grunto temperatūrų pasiskirstymas pateiktas 9 pav. Pastebimas grunto temperatūros padidėjimas ties dešiniu pastato kampu mažų oro srauto greičių zonoje. Padidėjusi grunto temperatūra reiškia prastesnę šilumos mainų zoną, tai yra mažesnę šilumos „nuvedimą“ su oro srautu. Tai pilnai atitinka paveiksluose 7 ir 8 išryškėjusias tendencijas.

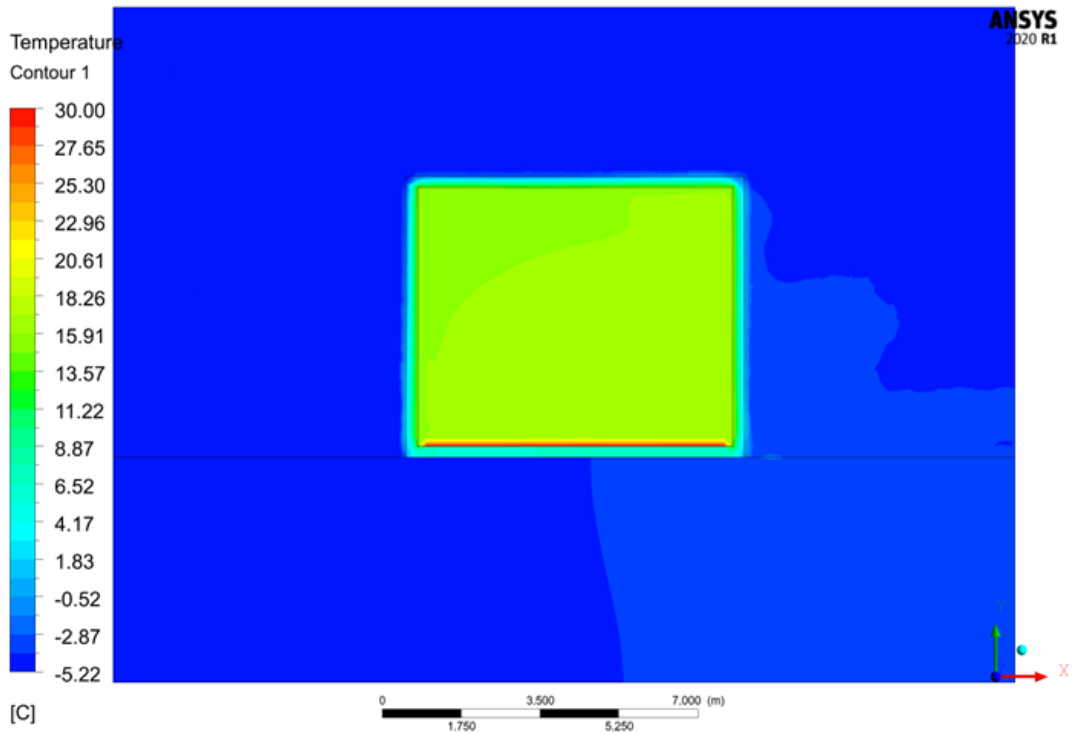


**9 pav.** Grunto temperatūrų pasiskirstymas

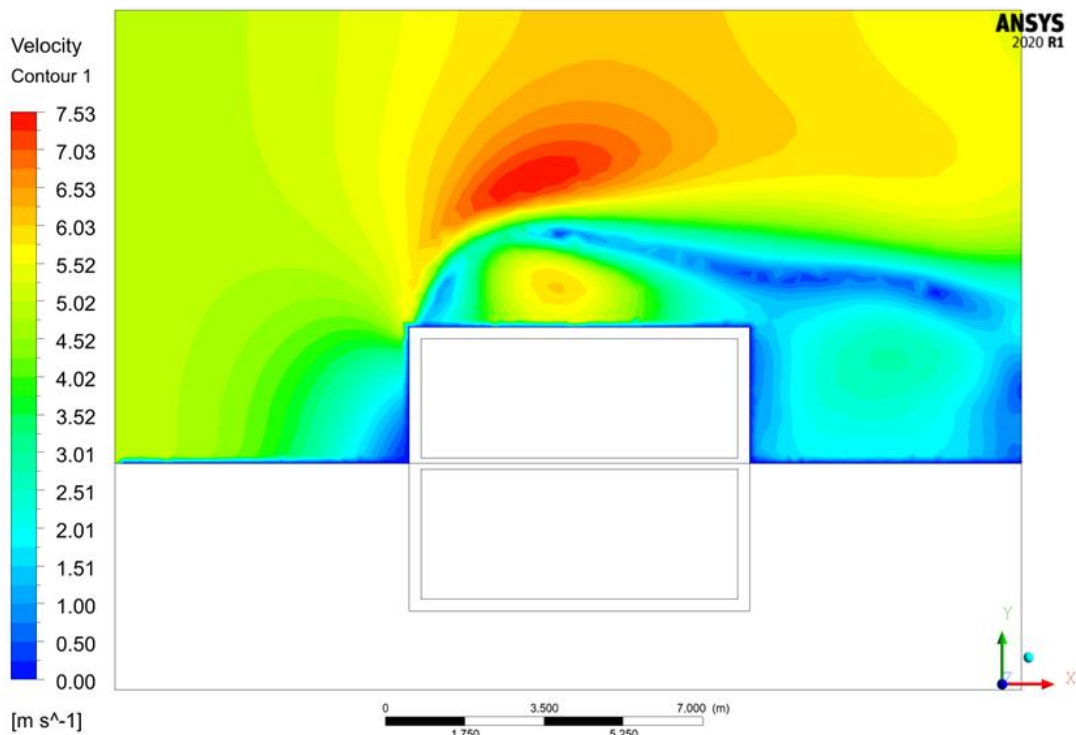
Temperatūrų pasiskirstymas visame skerspjūvyje pateiktas 10 pav. Kaip ir buvo laukta intensyviausi šilumos mainai vyksta ties pirmine užtekančio oro srauto kontakto su kliūtimi vieta – kairiąja pastato siena, ypatingai viršutine jos dalimi. Todėl ir pastato viduje ties pjūvio viršutiniu kairiuoju kampu pastebima sumažėjusi patalpos vidaus oro temperatūra. Kaip jau buvo anksčiau minėta (iš 7 ir 8 pav.), būtent čia susidaro didžiausi šilumos nuostoliai.

### **3.2. Modeliavimas ANSYS 2 - as atvejis**

Simuliacija ANSYS programa tęsiama nagrinėjant 6 pav. b atvejį. Parametrai buvo nustatyti tokie, kaip parodyta 5 pav. Vėjo greičio pokytis srautui aptekant įgilintą pastatą pateiktas 11 pav.



10 pav. Temperatūrų pasiskirstymas

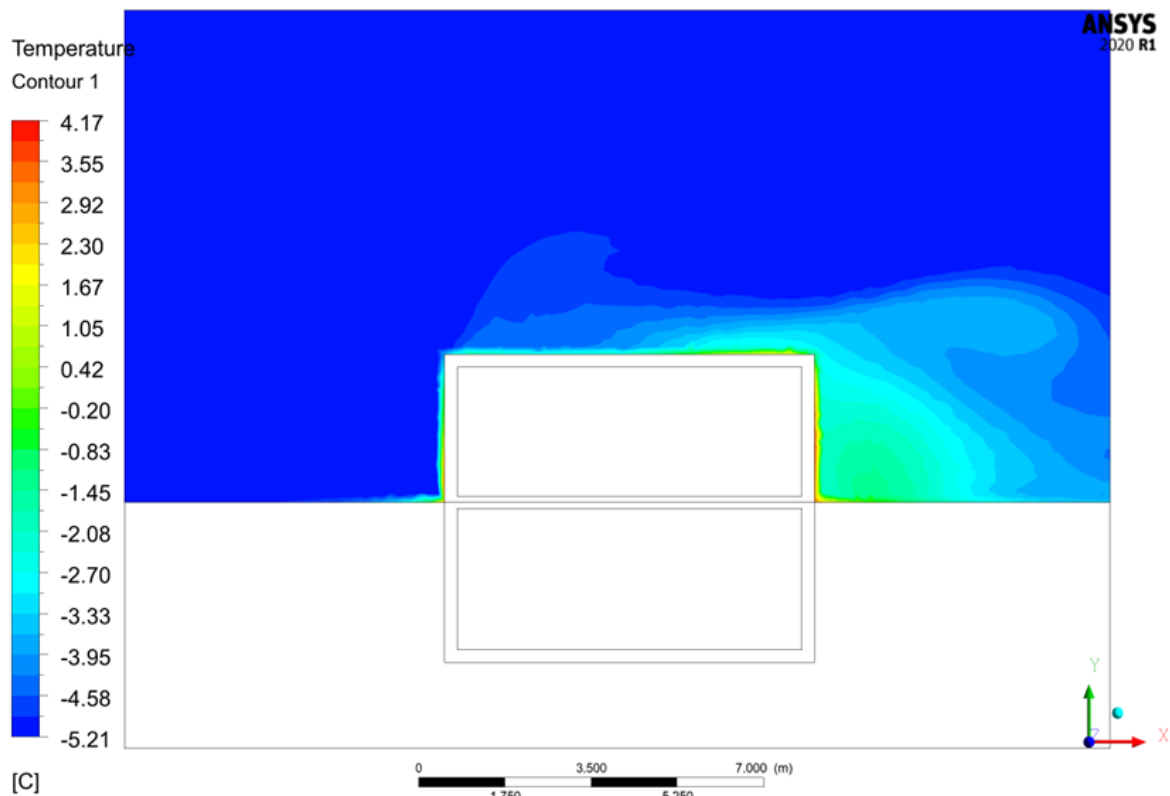


11 pav. Vėjo greičio pasiskirstymas, srautui aptekant įgilintą pastatą

Kaip ir ankstesniu atveju greičio sumažėjimas pastebimas ties kairiosios sienos apatine dalimi. Sienos paviršiaus plotas, ties kuria formuojasi ši zona, yra mažesnis. Taip pat pastebimas sumažėjęs srauto greitis ties dešiniąja siena, čia greičio reikšmės sąlyginai didesnės nei antžeminio pastato atveju. Pastebima padidėjusi didesnio srauto greičio zona ties įgilinto pastato stogu (11 pav.).

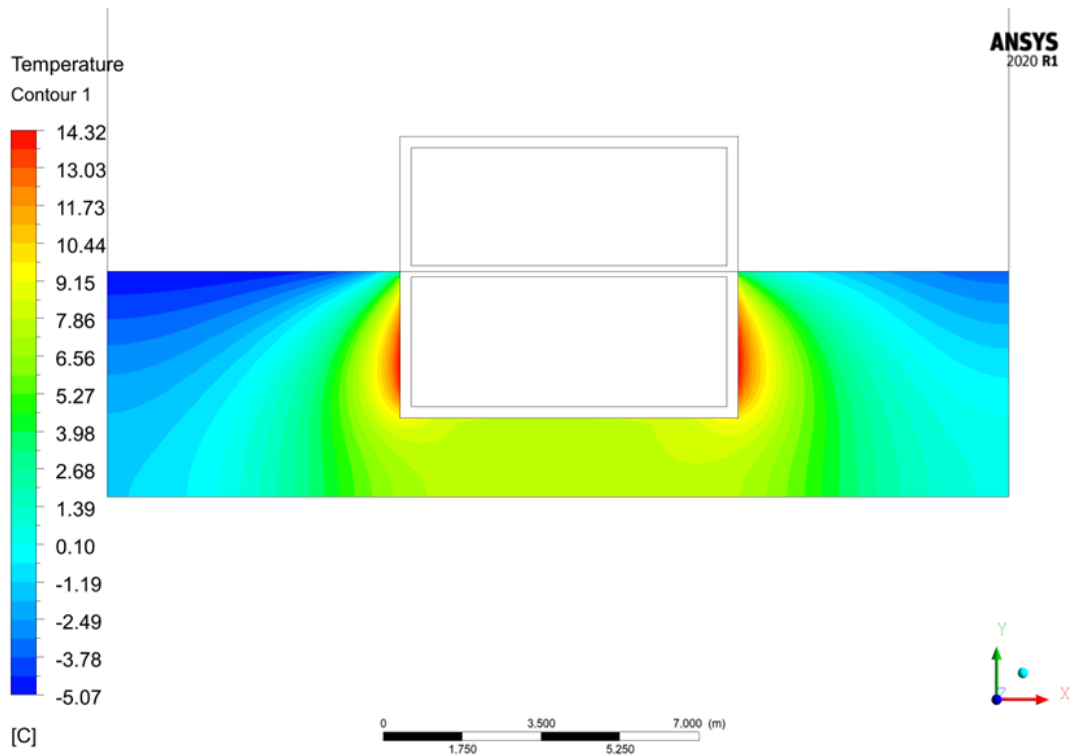


Analizuojant oro srauto temperatūrų pasiskirstymą, srautui aptekant įgilintą pastatą (12 pav.), oro srauto temperatūros pokytis didesnis nei antžeminio pastato atveju, padidėjusios oro srauto temperatūros pastebimos ir ties pastato stogo dešiniąja puse. Didesnės oro srauto temperatūrų reikšmės reiškia pablogėjusias sąlygas šilumos perdavimui, kas įtakoja mažesnius šilumos nuostolius į aplinką (oro srautą).

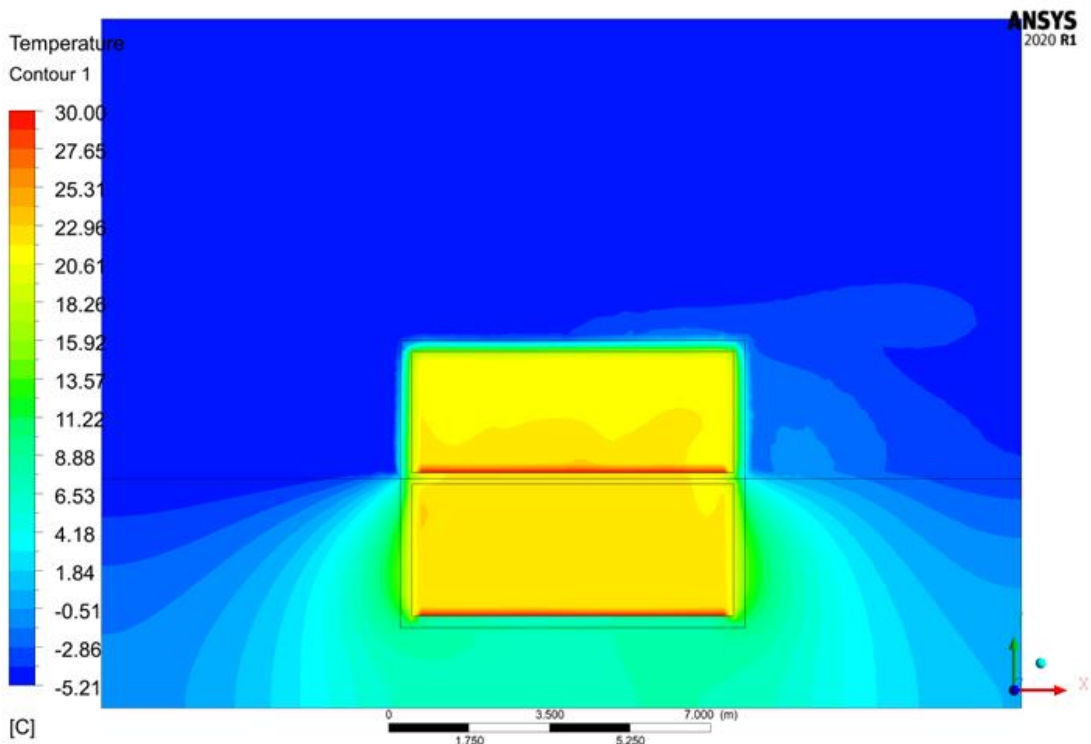


**12 pav.** Oro srauto temperatūrų pasiskirstymas, srautui aptekant įgilintą pastatą

Grunto temperatūrų pasiskirstymas pateiktas 13 pav. Skirtingai nei anksčiau nagrinėtu antžeminio pastato atveju (9 pav.) grunto temperatūros padidėjimas pastebimas visų grindų, o taip pat ir įgilintos sienų dalies plotais. Didžiausios temperatūrų reikšmės stebimos ties įgilintomis pastato sienomis. Tai reikštų galimai sumažėsiančius šilumos nuostolius į gruntą.



**13 pav.** Grunto temperatūrų pasiskirstymas

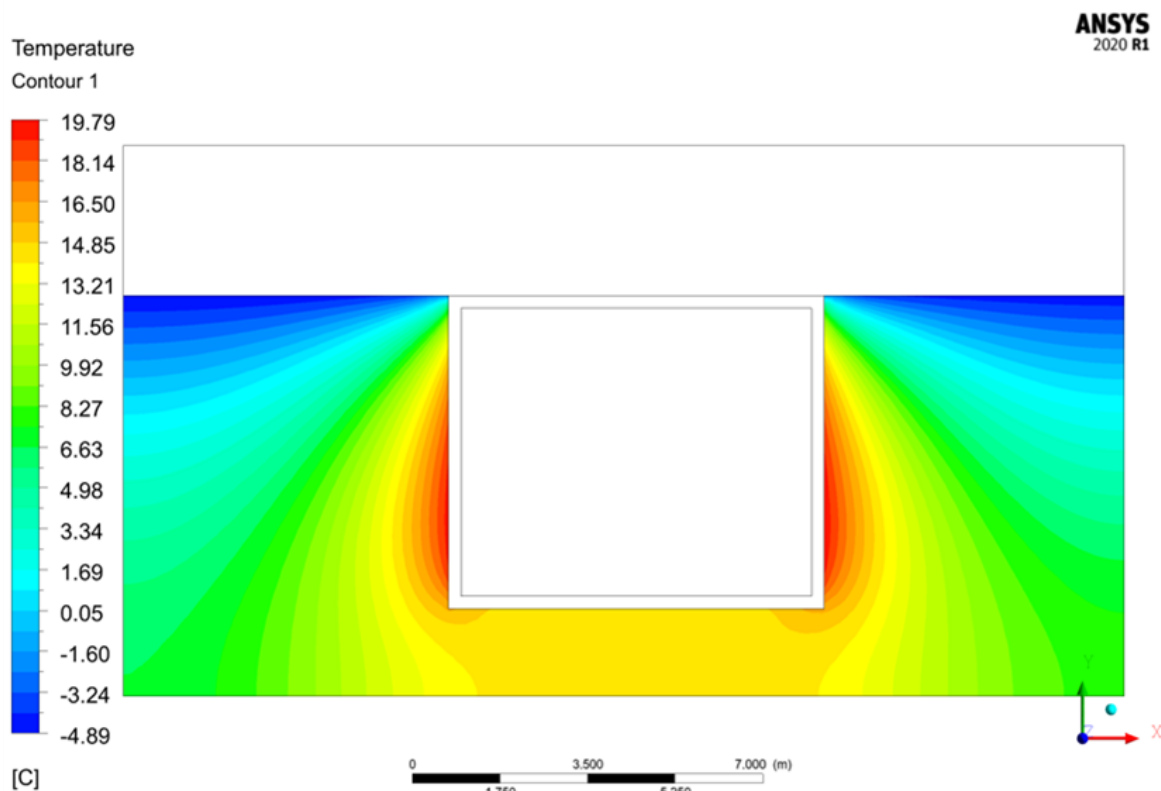


**14 pav.** Temperatūrų pasiskirstymas

Temperatūrų pasiskirstymas visame skerspjūvyje pateiktas 14 pav. Lyginant su antžeminio pastato atveju matomas aiškus temperatūros padidėjimas per visus įgilintus išorinius sienų ir grindų paviršius.

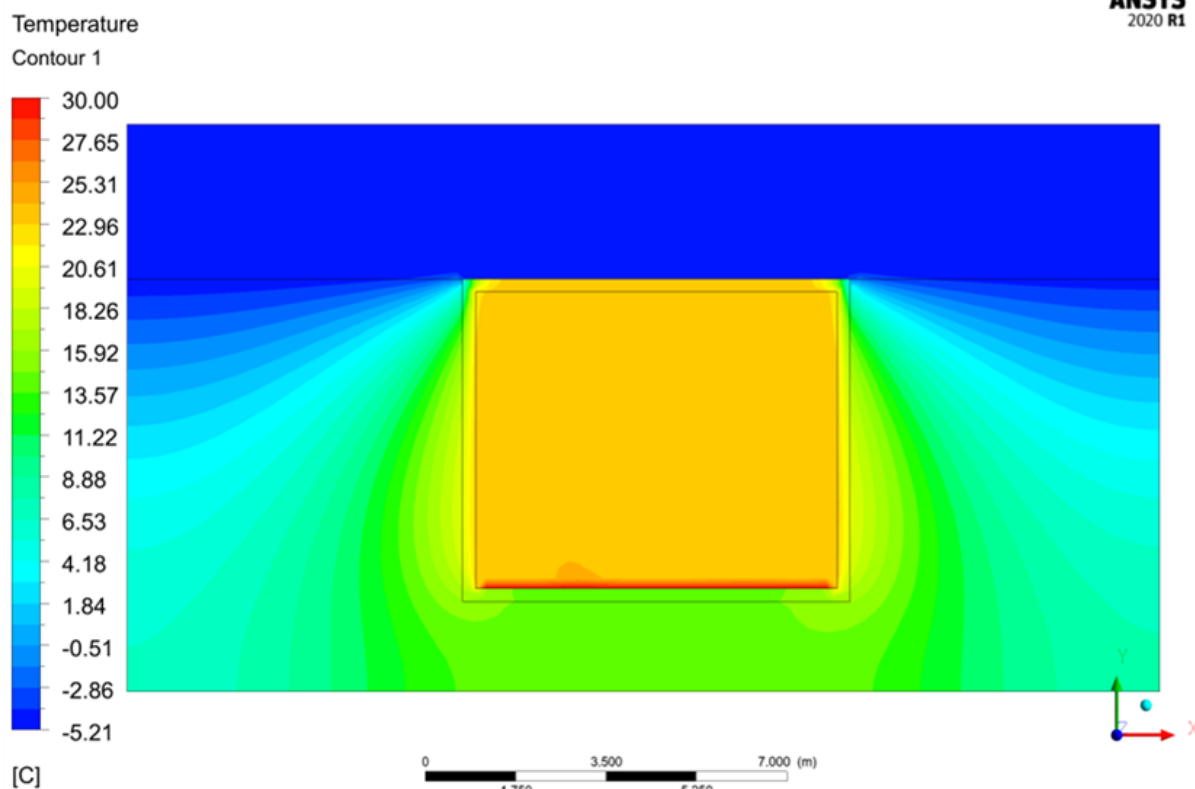
### 3.3. Modeliavimas ANSYS 3 - as atvejis

Simuliacija ANSYS programa tęsiama nagrinėjant 6 pav. d atvejį. Parametrai buvo nustatyti tokie, kaip parodyta 5 pav. Požeminio pastato atveju vėjo kelyje nėra kliūties, todėl vėjo greitis ir judančio oro temperatūros išlieka nepakitusios, tai yra lygios užduotosioms. Grunto temperatūrų pasiskirstymas pateiktas 15 pav. Lyginant su įgilinto pastato atveju galima pastebėti, kad temperatūrų reikšmės yra didesnės.



15 pav. Grunto temperatūrų pasiskirstymas

Temperatūrų pasiskirstymas visame skerspjūvyje pateiktas 16 pav. Šiluma plinta per atitvaras visomis kryptimis. Dėl oro srauto judėjimo (vėjo) aplinkos oro temperatūra išlieka beveik nepakitusi. Tai reiškia, kad maksimalūs šilumos nuostoliai bus per pastato stogą. Šilumos plitimas per pastato sienas ir grindis grunto kryptimi matosi iš temperatūrų persiskirstymo skerspjūvyje. Lyginant su įgilinto pastato atveju temperatūrų reikšmės yra didesnės. Tai turėtų reikšti, kad šilumos nuostoliai per sienas ir grindis bus mažesni nei įgilinto pastato atveju.



**16 pav.** Temperatūrų pasiskirstymas

Iš gautų rezultatų analizės matosi poreikis tyrimai pilnai požeminio pastato su grunto sluoksniu ant stogo.

### 3.4. Modeliavimas NRGpro

NRGpro programa skirta projektuoti pastato energinį naudingumą, parenkant projektinius sprendinius pastato konstrukcijoms, šilumos šaltiniams, inžinerinėms sistemoms ir apšiltinimo medžiagoms. Programa atitinka STR 2.01.02:2016 "Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas" reikalavimus.

Pirmuoju NRGpro modeliuotu atveju užduodamos sąlygos, jog pasiektų A+ klasės pastatui keliamus reikalavimus.

Pagrindinės sąlygos, kurios turi tenkinti A+ klasės reikalavimus:

- savitieji pastato atitvarų šilumos nuostoliai
- metinės šilumos energijos sąnaudos šildymui neturi viršyti A+ klasės norminių sąnaudų
- sandarumo reikšmės rodiklis neturi viršyti  $n_{50} < 0,6$  LST EN ISO 9972:2015
- 

Pasirinktos medžiagos:

Lauko siena nevėdinama:

- keraminiai blokėliai  $d=250$  mm, ( 0,22 (W/m·K))

- polistirolas neoporas EPS 70N d–300 mm (0,032 W/(m·K))
- smeigės 4vnt./m<sup>2</sup> 0,008 (W/(m·K))

Sutapdintas stogas:

- gelžbetoninė perdanga d–220 mm 2,5 (W/(m·K))
- polistirolas EPS 80 d–400 mm 0,037 (W/(m·K))
- mineralinė vata d–30 mm 0,037 (W/(m·K))
- smeigės 4 vnt./m<sup>2</sup> 0,008 (W/(m·K))

Grindys ant grunto:

- polistirolas EPS 100 d–300 mm 0,041 (W/(m·K))
- betonas d–70 mm 2,5 (W/(m·K))

Iš užsidoėtų medžiagų gauname:

- sienų  $U = 0,110$  (W/(m<sup>2</sup>·K))
- stogo  $U = 0,096$  (W/(m<sup>2</sup>·K))
- grindys ant grunto  $R_f = 7,385$  (m<sup>2</sup>·K/W)
- langų vidutinė  $U_w = 0,8$  (W/(m<sup>2</sup>·K))
- durų vidutinė  $U = 2,2$  (W/(m<sup>2</sup>·K))

Inžinerinių sistemų charakteristikos:

- apšvietimas: šviestuvai su šviesos diodų (LED) lempomis.
- karšto vandens ruošimo sistema: elektrinis tūrinis boileris 160 l ; Karšto vandens visi vamzdiniai patalpose, sienose apšiltinti.
- pastato šildymo sistema: Šilumos siurblys (oras vanduo), projektinė galia – 7 kW. Naudingumo koeficientas  $COP\ 4,46 * 0,9 = 4,014$  (prie sąlygų A7/W35)
- vėdinimas: rekuperacinė vėdinimo sistema su elektriniu pašildymu. Sistemos naudingumo koeficientas 0,45 ir elektrinių ventiliatorių sunaudojamas elektros energijos kiekis SPI – 0,75 .

Visuose mazguose termoizoliacija susijungia. Šiluminiai tilteliai vertinti ir parinkti teoriniai, todėl taikoma prielaida, kad ilginiai šalčio tilteliai susidarantys skirtingų atitvarų tipų ir paviršių sandūrose neviršija šių verčių:

**3 lentelė.** Ilginiai šiluminiai tilteliai

Ilginio šalčio tiltelio žymuo	Tiltelio vertė W/m*K
Pastato pamato ir sienos sandūra	+0,10
Pastato pamato ir lango sandūra	+0,25
Stogo ir sienos sandūra (išorinis kampas)	+0,05
Langas tarp rėmo ir blokelių mūro	+0,03*
Langas tarp rėmo ir apšiltintos gelžbetoninės sąramos	+0,04*
Išorinių durys tarp rėmo ir blokelių mūro	+0,10
Išorinių durys tarp rėmo ir betoninio apšiltinto sluoksnio	+0,25
Išoriniai pastato kampai	-0,05*

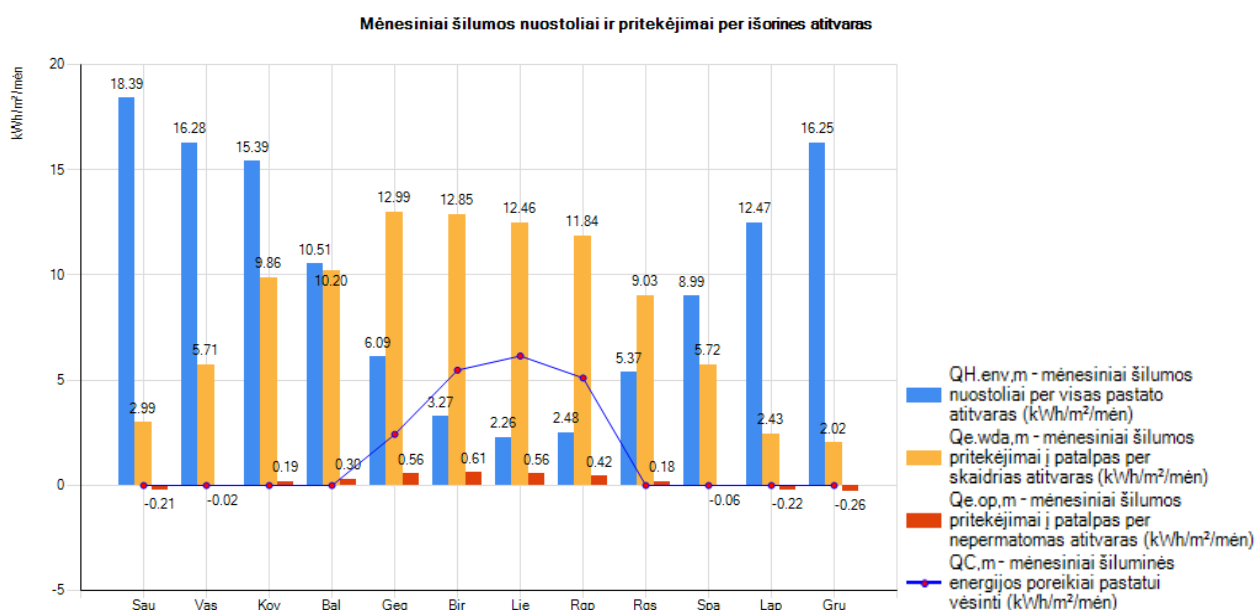
\* – šiluminių tiltelių vertės pateiktos prieduose

Šilumos nuostolių skaičiavimas per ilginius šiluminius tiltelius turi būti atliktas dviem variantais: turi būti apskaičiuoti šilumos nuostoliai, susiję su energijos poreikiais pastatui šildyti ir šilumos nuostoliai, susiję su energijos poreikiais pastatui vėsinti.

**4 lentelė.** Mėnesiniai vėjo greičiai skirtingais metų mėnesiais  $v_{wind,m}$  (m/s)

	Metų mėnesiai											
Vietovė	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kauno rajonas	4,9	4,3	4,4	3,9	3,4	3,2	3,1	3,1	3,7	4,3	4,6	4,8

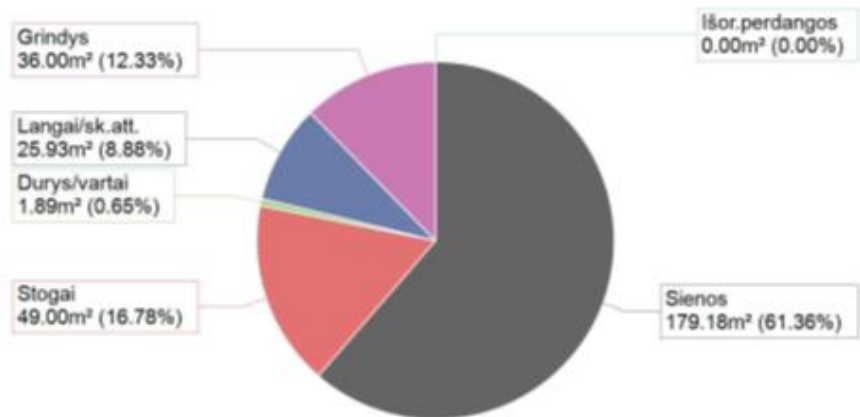
### 3.4.1. Antžeminis pastatas



**17 pav.** Antžeminio pastato mėnesiniai šilumos nuostoliai ir pritekėjimai per išorinės atitvaras

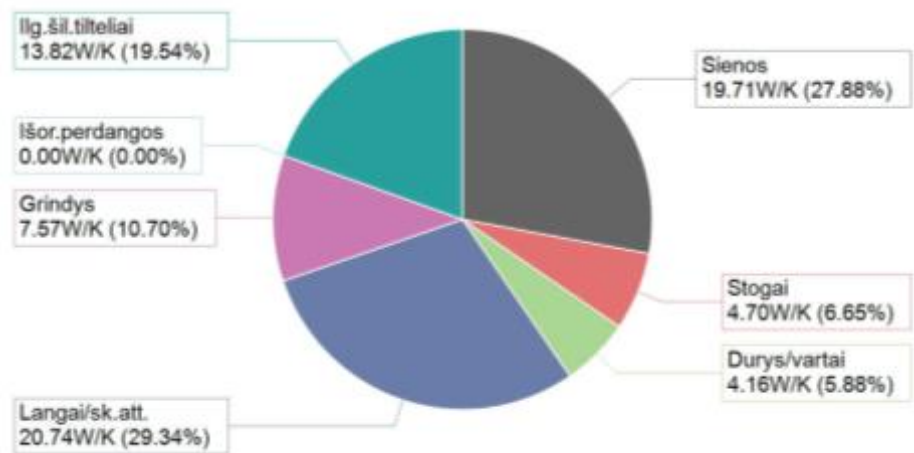
Apskaičiavus antžeminio pastato A+ energinio naudingumo klasės pastato mėnesinius šilumos nuostolius ir pritekėjimus per išorinės atitvaras (žr. 17 pav.) galima pastebėti, jog yra didelis skirtumas sausio mėnesio ir liepos mėnesio šilumos nuostoliuose per išorinės atitvaras. Taip pat grafikas rodo, kad turint santykinai nemažą langų plotą yra dideli šilumos pritekėjimai per skaidrias atitvaras.

## Atitvarų plotai



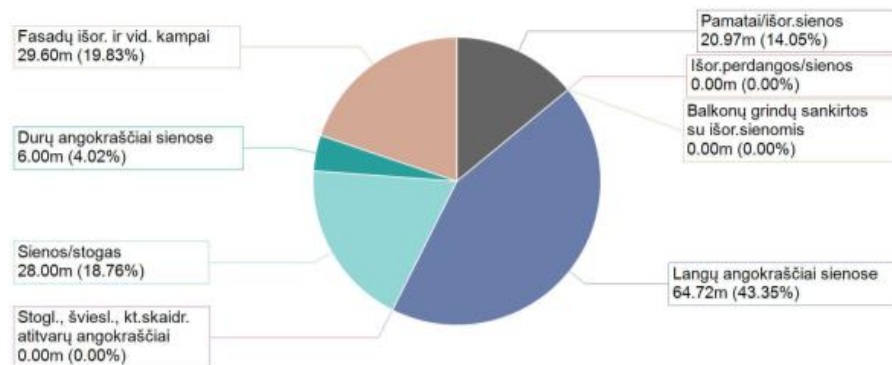
18 pav. Antžeminio pastato atitvarų plotai

## Savitieji nuostoliai per atitvaras

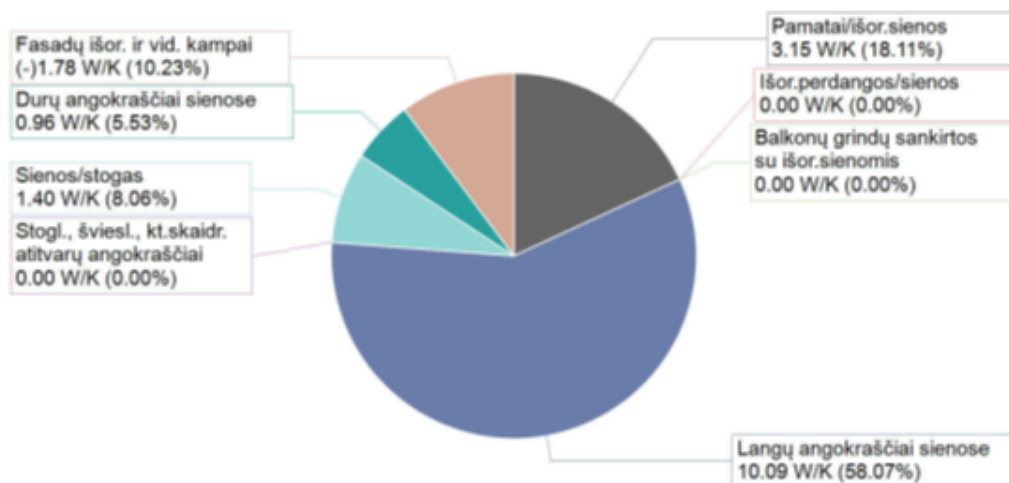


19 pav. Antžeminio pastato savitieji nuostoliai per atitvaras

## Šiluminių ilginių tiltelių ilgiai



20 pav. Antžeminio pastato šiluminių ilginių tiltelių ilgiai



**21 pav.** Antžeminio pastato savitieji nuostoliai per ilginius tiltelius

Iš turimų grafikų (18 pav., 19 pav., 20 pav., 21 pav.) pastebima, jog savitieji nuostoliai per langų atitvaras yra didžiausi. Kadangi sienos užima didžiąsą dalį išorinių atitvarų ploto, bet dėl žemo šilumos perdavimo koeficiento sienos nepraranda tiek šilumos, negu lyginant su langų charakteristikomis.

Norint mažinti savituosius šilumos nuostolius per langus, reiktų sumažinti langų kiekį ar plotą atitvarose. Bet mažinus langų plotą ar kiekį mažės kartu ir šilumos pritekėjimai per skaidrias atitvaras. Taip pat sumažinti šilumos nuostolius per langus, duris, pamatą ir stogą galima taikant iš konstrukcinės dalies:

- Langas sumontuotas mūre visada turės prasčiausią vertę, gerinant šį tiltelį galima langą „aprišti“ perimetru termoizoliacine medžiaga. Norint pasiekti geriausią šiluminį langų tiltelį reikia juos montuoti termoizoliaciniame sluoksnyje. Bet žvelgiant iš konstrukcinės dalies, toks langų montavimas termoizoliaciniame sluoksnyje yra brangus, bei dėl tikėtina didelio ploto, savo svorio ir gabaritų nebus stabilūs.
- Durų montavimas galimas analogiškai kaip ir langų. Ir dėl visų išvardintų priežasčių anksčiau, žinant jog durys dažnai varstomos, optimaliausias variantas būtų jas statyti mūre arba izoliuoti termoizoliaciniame mūro sluoksnyje.
- Pamato šiluminis tiltelis gerėja netik apšiltinus pamatą iš išorės ar net iš abiejų pusių. Jis gali pasiekti geresnę vertę, jeigu grindys (grindų termoizoliacinis sluoksnis) bus iškeltas keletą centimetrų virš pamato rostverko.
- Sutapdinto stogo šiluminį tiltelį galima pagerinti, jeigu parapetas būtų mūritas iš kitokių blokelių, pvz.: dujų silikatinių, kadangi jų šiluminė varža yra kur kas geresnė, negu mūsų atveju pasirinktų keramikinių blokelių.

Projektuojamo pastato rodikliai atitinka reikalavimus keliamus „A+“ energinio naudingumo klasei pagal STR 2.01.02:2016 nuostatus. Energinio efektyvumo klasę, antžeminiam pastatui, apibrėžiančių rodiklių santrauka pateikiama lentelėje Nr. 5



**5 lentelė.** Projektuojamo pastato (antžeminio) rodikliai

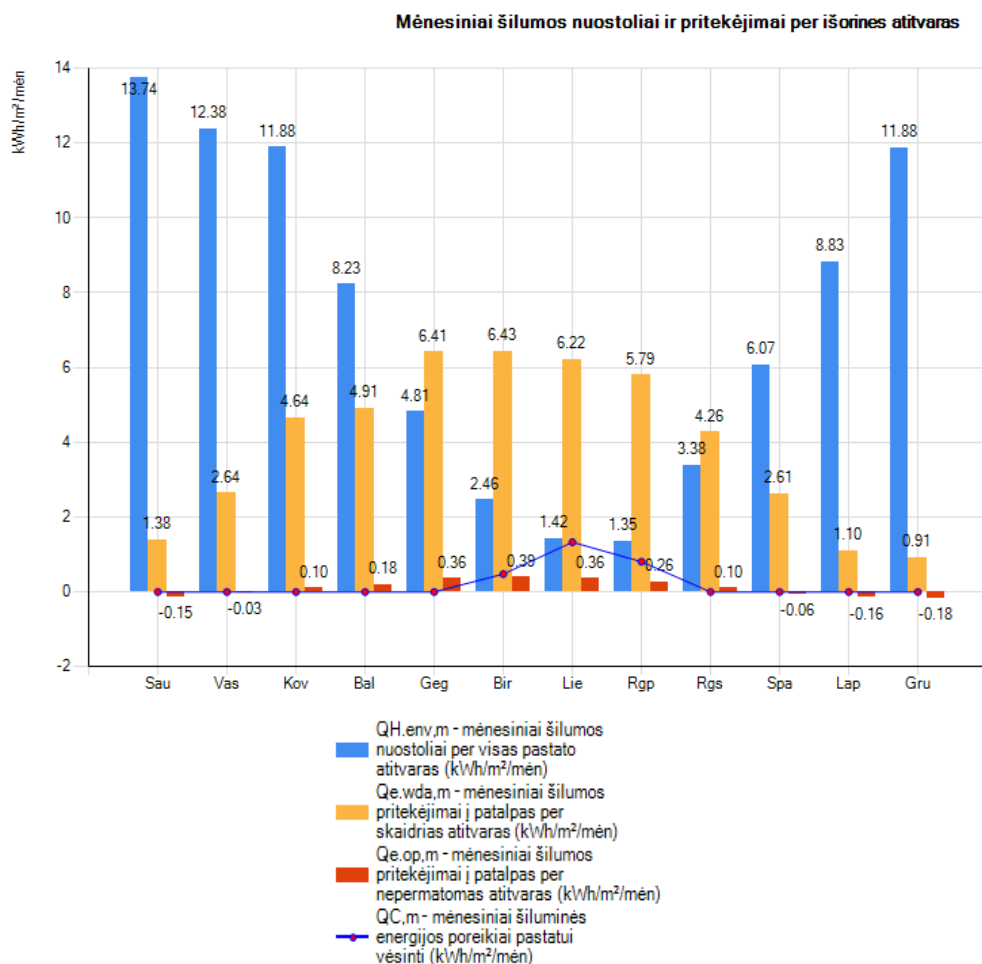
Rodiklis	Norminės ir skaičiuojamosios vertės palyginimas
Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio $C_1$ vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui, $C_1 < 0,50$ . Jei rezultatas mažesnis, jis irgi yra tinkamas.	<b>0,253</b> < 0,5
Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio $C_2$ vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą karštam buitiniam vandeniui ruošti, $C_2 \leq 0,8000$	<b>0,201</b> $\leq$ 0,8000
Pastato atitvarų skaičiuojamieji <b>savitieji</b> šilumos nuostoliai privalo neviršyti norminės vertės	<b>66,915</b> < 66,941 W/K
Pastate įrengtos mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistemos, <b>rekuperatoriaus naudingumo</b> koeficientas turi būti $X \geq 0,75$ .	<b>0,75</b> $\geq$ 0,75
Pastate įrengtos mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, <b>ventiliatorių naudojamas elektros</b> energijos kiekis $X \leq 0,55$ Wh/m <sup>3</sup>	<b>0,45</b> $\leq$ 0,55
Pastato natūrinis sandarumas privalomas.	<b>Privalomas. Mažiau nei 0,60 kart./h, pagal modelį reikalingas 0,60 karto/h.</b>
Metinės šiluminės energijos <b>sąnaudos</b> pastatui (jo daliai) <b>šildyti</b> turi būti ne didesnės už 68,077 kWh/m <sup>2</sup> per metus (norminės sąnaudos A+ klasės pastatui)	<b>19,139</b> < 99,534kWh/m <sup>2</sup>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos sąnaudos pastato (jo daliai) <b>šildyti</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>19,14</b>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos sąnaudos pastato (jo daliai) <b>vėsinti</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>19,17</b>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos sąnaudos pastato (jo daliai) <b>karštam buitiniam vandeniui</b> ruošti vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>10,55</b>
Skaičiuojamosios suminės pastato (jo daliai) <b>elektros sąnaudos</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>48,44</b>
Skaičiuojamosios suminės pastato (jo daliai) <b>elektros sąnaudos</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) <b>patalpų apšvietimui</b> šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>0,9</b>

### 3.4.2. Pusiau įgilintas pastatas

Pusiau įgilinto pastato techninės charakteristikos išlieka tokios pačios kaip ir antžeminio pastato. Tik mažėja antžeminėje dalyje atitvarų plotas.

Taip pat požeminėje sienų dalyje parenkama yra kita apšiltinimo medžiaga, nes turi mažesnę įdrėkį, nei kad įprastas polistirolas EPS

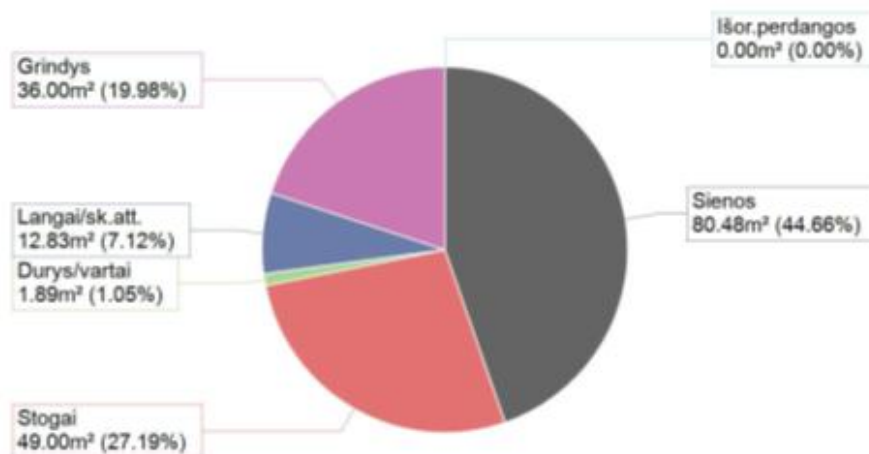
XPS 0,2 m, 0,034 W/(m·K)



**22 pav.** Pusiau įgilinto pastato mėnesiniai šilumos nuostoliai ir pritekėjimai per išorines atitvaras

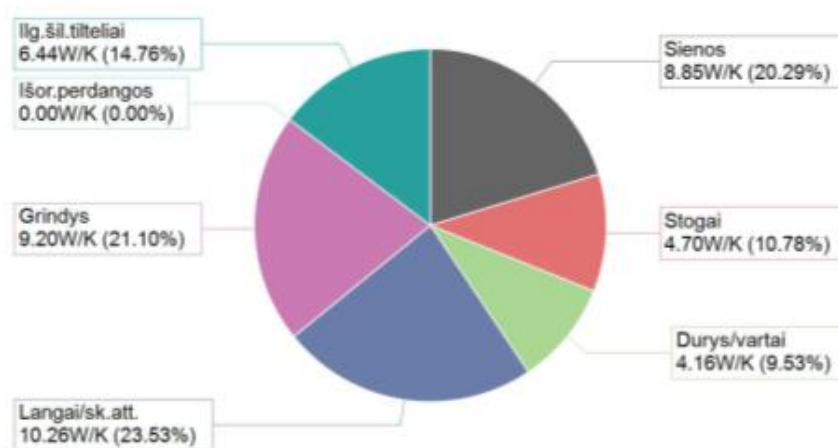
Iš 22 pav. apskaičiavimų matosi, kad priėmus vienodas aplinkos sąlygas (vietovę, vėjo greičius, temperatūrą) mažėja mėnesiniai šilumos nuostoliai per visas pastato atitvaras, taip pat mažėja energijos poreikis pastatui vėsinti palyginti su antžeminiu pastatu. Bet žinant jog pastatas yra pusiau įgilintas, mažėja ir langų kiekis išorinėse atitvarose. Todėl mėnesiniai šilumos pritekėjimai į patalpas taip pat mažėja.

## Atitvarų plotai



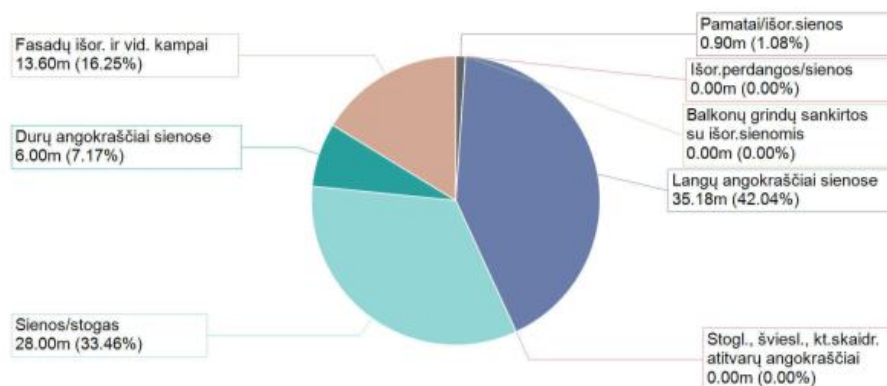
23 pav. Pusiau įgilinto pastato atitvarų plotai

## Savitieji nuostoliai per atitvaras



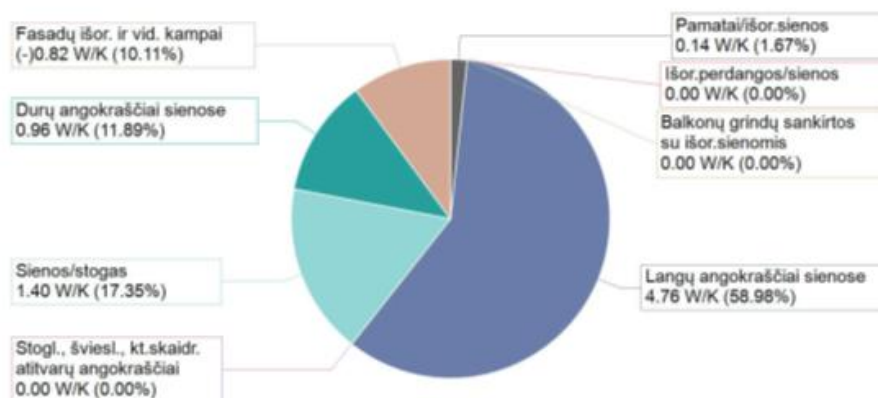
24 pav. Pusiau įgilinto pastato savitieji nuostoliai per atitvaras

## Šiluminių ilginių tiltelių ilgiai



25 pav. Pusiau įgilinto pastato šiluminių ilginių tiltelių ilgiai

Savitieji nuostoliai per ilginius tiltelius



26 pav. Pusiau įgilinto pastato savitieji nuostoliai per ilginius tiltelius

Kadangi grunte neskaičiuojami šiluminiai ilginiai tilteliai jų ilgis mažėja, kuris ribojasi su išore, bei lieka tokios pat reikšmės, kaip ankstesniu atveju nagrinėta.

Energinio efektyvumo klasę, pusiau įgilinto pastatui, apibrėžiančių rodiklių santrauka pateikiama lentelėje nr. 6

6 lentelė. Projektuojamo pastato (pusiau įgilinto) rodikliai

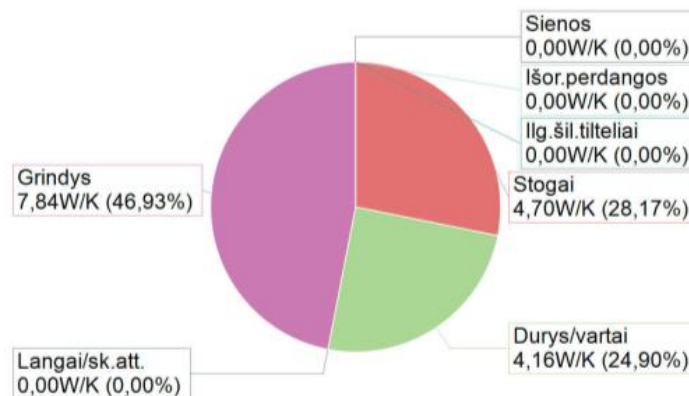
Rodiklis	Norminės ir skaičiuojamosios vertės palyginimas
Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio $C_1$ vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui, $C_1 < 0,50$ . Jei rezultatas mažesnis, jis irgi yra tinkamas.	<b>0,211</b> < 0,5
Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio $C_2$ vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą karštam buitiniam vandeniui ruošti, $C_2 \leq 0,8000$	<b>0,201</b> $\leq$ 0,8000
Pastato atitvarų skaičiuojamieji <b>savitieji</b> šilumos nuostoliai privalo neviršyti norminės vertės	<b>36,623</b> < 37,840 W/K
Pastate įrengtos mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistemos, <b>rekuperatoriaus naudingumo</b> koeficientas turi būti $X \geq 0,75$ .	<b>0,75</b> $\geq$ 0,75
Pastate įrengtos mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, <b>ventiliatorių naudojamas elektros</b> energijos kiekis $X \leq 0,55$ Wh/m <sup>3</sup>	<b>0,45</b> $\leq$ 0,55
Pastato natūrinis sandarumas privalomas.	<b>Privalomas. Mažiau nei 0,60 kart./h, pagal modelį reikalingas 0,60 karto/h.</b>
Metinės šiluminės energijos <b>sąnaudos</b> pastatui (jo daliai) <b>šildyti</b> turi būti ne didesnės už 68,077 kWh/m <sup>2</sup> per metus (norminės sąnaudos A+ klasės pastatui)	<b>18,144</b> < 99,534kWh/m <sup>2</sup>

Skaičiuojamosios šiluminės energijos sąnaudos pastato (jo daliai) <b>šildyti</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>18,14</b>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos sąnaudos pastato (jo daliai) <b>vėsinti</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>0,31</b>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos sąnaudos pastato (jo daliai) <b>karštam būtiniam vandeniui</b> ruošti vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>10,55</b>
Skaičiuojamosios suminės pastato (jo daliai) <b>elektros sąnaudos</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>40,66</b>
Skaičiuojamosios suminės pastato (jo daliai) <b>elektros sąnaudos</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) <b>patalpų apšvietimui</b> šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>0,9</b>

### 3.4.3. Visiškai įgylintas pastatas

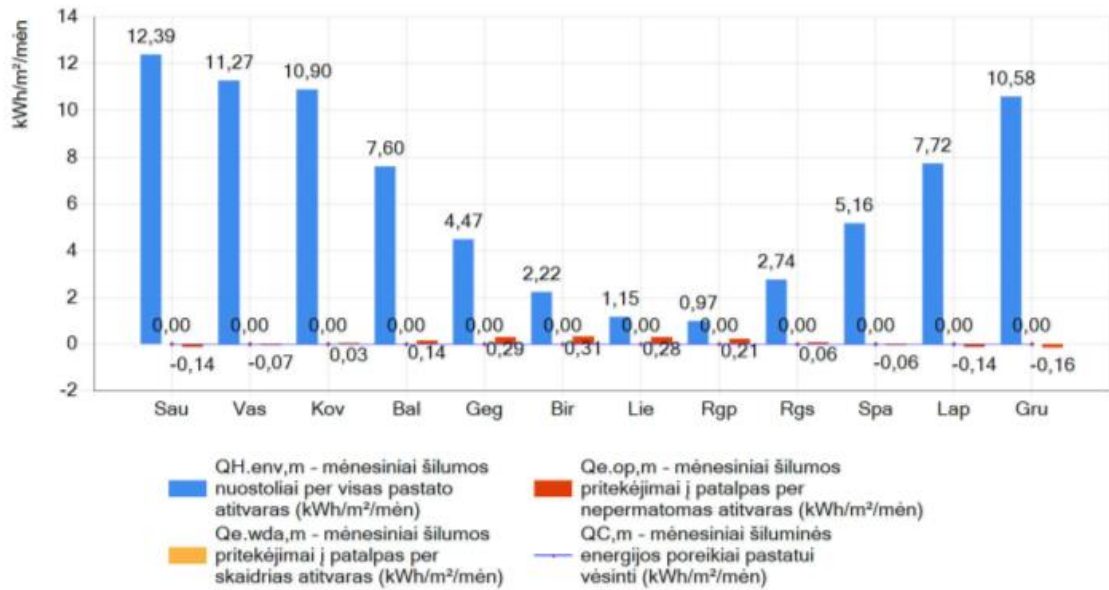
Pilnai įgylinto pastatas skaičiuojant NRGpro programa priimamas kaip visas namas esantis rūsys. Dėl to pastatas praranda išorinių atitvarų su išore sąlyti, tokių kaip langai, sienos. Taip pat šio varianto atvėju nėra nei vieno šiluminio tiltelio, kuris ribotųsi su išore (lauku).

Savitieji nuostoliai per atitvaras



27 pav. Pilnai gilinto pastato šilumos nuostoliai per atitinkamas atitvaras

Mėnesiniai šilumos nuostoliai ir pritekėjimai per išorines atitvaras



28 pav. Pilnai įgilinto pastato mėnesiai šilumos nuostoliai

Lyginant pilnai įgilinto, pusiau ir antžeminio pastato dalis sunku daryti išvadas dėl savitųjų nuostolių per ilginius tiltelius. Nes NRGpro nesuteikia prieigos nurodyti tiltelių, kurie yra grunte. Dėl šios priežasties visi faktoriai nurodyti rodo, jog visos energijos sąnaudos yra mažesnes pastatą gilinant į gruntą. Remiantis Statybos techniniu reglamentu (STR) yra nurodyta jog šilumos nuostolių skaičiavimuose naudojama grunto periodinio prasiskverbimo gylio  $\delta$  (m) vertė imama  $\delta = 3,2$  m. O grunto šilumos laidumo koeficientas visuose skaičiavimuose imamas  $\lambda_{gr} = 2$  W/(m·K) [15]

Energinio efektyvumo klasę, pastatui esančiam grunte, apibrėžiančių rodiklių santrauka pateikiama lentelėje Nr. 7

7 lentelė. Projektuojamo pastato (pilnai įgilinto) rodikliai

Rodiklis	Norminės ir skaičiuojamosios vertės palyginimas
Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio $C_1$ vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą šildymui, vėdinimui, vėsinimui ir apšvietimui, $C_1 < 0,50$ . Jei rezultatas mažesnis, jis irgi yra tinkamas.	<b>0,194</b> < 0,5
Pastato energijos vartojimo efektyvumo rodiklio $C_2$ vertę, apibūdinančią pirminės neatsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą karštam buitiniam vandeniui ruošti, $C_2 \leq 0,8000$	<b>0,175</b> $\leq$ 0,8000
Pastato atitvarų skaičiuojamieji <b>savitieji</b> šilumos nuostoliai privalo neviršyti norminės vertės	<b>14,138</b> < 14,361 W/K
Pastate įrengtos mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistemos, <b>rekuperatoriaus naudingumo</b> koeficientas turi būti $X \geq 0,75$ .	<b>0,75</b> $\geq$ 0,75

Pastate įrengtos mechaninio vėdinimo su rekuperacija sistema, <b>ventiliatorių naudojamas elektros</b> energijos kiekis $X \leq 0,55 \text{ Wh/m}^3$	<b>0,45</b> ≤ 0,55
Pastato natūrinis sandarumas privalomas.	<b>Privalomas. Mažiau nei 0,60 kart./h, pagal modelį reikalingas 0,60 karto/h.</b>
Metinės šiluminės energijos <b>šnaudos</b> pastatui (jo daliai) <b>šildyti</b> turi būti ne didesnės už 68,077 kWh/m <sup>2</sup> per metus (norminės šnaudos A+ klasės pastatui)	<b>20,634</b> < 99,534kWh/m <sup>2</sup>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos šnaudos pastato (jo daliai) <b>šildyti</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>20,63</b>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos šnaudos pastato (jo daliai) <b>vėsinti</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>0</b>
Skaičiuojamosios šiluminės energijos šnaudos pastato (jo daliai) <b>karštam buitiniam vandeniui</b> ruošti vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>9,91</b>
Skaičiuojamosios suminės pastato (jo daliai) <b>elektros šnaudos</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>42,44</b>
Skaičiuojamosios suminės pastato (jo daliai) <b>elektros šnaudos</b> vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) <b>patalpų apšvietimui</b> šildomo ploto per metus (kWh/(m <sup>2</sup> *metai))	<b>0,9</b>

## Išvados

1. Atlikus literatūros analizę galima teigti, kad ne visi technologiniai sprendimai, galintys įtakoti pastato energetines sąnaudas šildymui yra panaudoti, o taip pat ir ištirti. Pastato įgilinimas yra vienas iš galimų sprendimų taupančių energiją pastato šildymui.
2. Išanalizavus modeliavimo ANSYS programa rezultatus, galima teigti, kad įgilinant pastatą blogėja sąlygos šilumos mainams vykti. Tai reiškia mažėjančius šilumos nuostolius į aplinką, o tuo pačiu ir mažėjančias energijos sąnaudas pastatui šildyti.
3. Atlikus trijų tipų modelių variantus, nustatyta, jog sausio mėnesio duomenimis gilinant pastatą į gruntą mažėja šilumos nuostoliai per pastato atitvaras sulyg kiekvienu atveju, atitinkamai 25% ir 10%.
4. Apskaičiavus ir įvertinus šilumos nuostolius per pastato atitvaras, saulės pritekėjimą per skaidrias atitvaras gauti rezultatai: Antžeminio – 19,14 (kWh/(m<sup>2</sup> \* metai)); pusiau įgilinto – 18,14 (kWh/(m<sup>2</sup> \* metai)); pilnai įgilinto 16,31 (kWh/(m<sup>2</sup> \* metai)).
5. Apžvelgus literatūros šaltinius apie žmonių savijautą požeminiuose pastatuose daroma prielaida, jog 3-7 % žmonių turi lengvą arba sunkią klaustrofobijos baimę. Todėl siekiant sumažinti ją turi būti reguliuojamas laikas buvimas tokio tipo pastatuose, sukuriamos išorės sąlygos arba keičiama pastato paskirtis iš gyvenamosios į viešbučių, garažų, sandeliavimo ar kt.



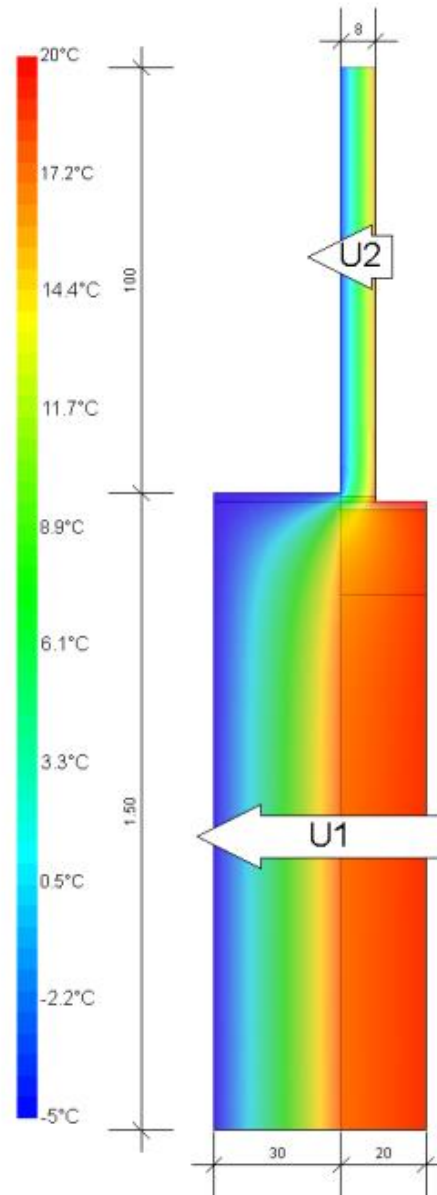
## Literatūros sąrašas

1. MUKHTAR, A. YUSOFF, K.C. The potential influence of building optimization and passive design strategies on natural ventilation systems in underground buildings: The state of the art. *Tunnelling and Underground Space Technology* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020 – 05 – 15] ISSN 0886 – 7798 prieiga per doi
2. DERU, M, Ph, D. A Model for Ground-Coupled Heat and Moisture Transfer from Buildings. (2003)
3. YUA, J. YANMING, K ir ZHIQIANG, J, Z. Advances in research for underground buildings: Energy, thermal comfort and indoor air quality. *Energy and Buildings* 215 [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020 – 05 – 23]
4. ALVES, A, B, M. SCHMID, A, L. Cooling and heating potential of underground soil according to depth and soil surface treatment in the Brazilian climatic regions. *Energy and Buildings* [interaktyvus]. 2015. 41-50 [žiūrėta 2020 – 05 – 27]
5. NIKIFOROVA, T. SAVYTSKYI, M. LIMAMB, K. BOSSCHAERTSC W ir BELARBIB R. Methods and results of experimental researches of thermal conductivity of soils. *Energy Procedia* 42 [interaktyvus]. 2013. 775 – 783 [žiūrėta 2020 – 05 – 27]
6. LEMBOA, F. MARINOA, F, P, R ir CALCAGNOA, C Semi-underground house models as new concepts for urban sustainable environment. *Procedia Engineering* 21 [interaktyvus]. 2011. 570 – 579. [žiūrėta 2020 – 05 – 27]
7. PAPADA, L. KATSOULAKOS, N ir KALIAMPAKOS, D. Fighting energy poverty by going underground. *Procedia Engineering* 165 [interaktyvus]. 2016. 49 – 57. [žiūrėta 2020–05-27]
8. HASSAN, H. SUMIYOSHI, D. Earth-sheltered buildings in hot-arid climates: Design guidelines. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences* 7 [interaktyvus]. 2018. 397-406. [žiūrėta 2020 – 05 – 28]
9. BORISOV, V. S. Mathematical Modeling of Underground Construction Temperature Influence on Permafrost Soils. *Volume 66* [interaktyvus]. 2015. 112 – 121. [žiūrėta 2020 – 05 – 30]
10. SHI, L. ZHANG, H. ZONGXIN, L. LUO, Z ir LIU, Z. Optimizing the thermal performance of building envelopes for energy saving in underground office buildings in various climates of China. *Tunnelling and Underground Space Technology Volume 77* [interaktyvus]. 2018. 26-35. [žiūrėta 2020 – 07 – 02]
11. SHAN, M. HWANG, B, G ir WONG, K. A preliminary investigation of underground residential buildings: Advantages, disadvantages, and critical risks. *Tunnelling and Underground Space Technology Volume 70* [interaktyvus]. 2017. 19-29. [žiūrėta 2020 – 07 – 02]
12. DRONKELAAR, C. MANGKUTO, R, A. ir HENSEN, J, L, M. Heating and cooling energy demand in underground buildings: Potential for saving in various climates and functions. *Energy and Buildings Volume 71* [interaktyvus]. 2014. 129-136. [žiūrėta 2020 – 07 – 02]
13. ALKAFF, S, A. ERVINA EFZAN, C, S, S. A review of underground building towards thermal energy efficiency and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 60*. [interaktyvus]. 2016. 692-713. [žiūrėta 2020 – 07 – 02]

14. SHI, L. LIU, J. ir ZHANG, H. Optimization for energy efficiency of underground building envelope thermal performance in different climate zones of China. *E3S Web of Conferences* 22. [interaktyvus]. 2017. [žiūrėta 2020 – 09 – 05]
15. THAN, Z. ROBERTS, A, C ir LEE, E, H. Transitional areas affect perception of workspaces and employee well-being: A study of underground and above-ground workspaces. *Building and Environment* [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020-10-01]
16. ROMANOVA, E. Negative Influence of Underground Constructions on Mental Health of the Person. *Procedia Engineering*. [interaktyvus]. 2016. 1176-1183. [žiūrėta 2020 – 10 – 05]
17. THAN, Z. ROBERTS A, C ir CHRISTOPOULOS, G, I. Working in underground spaces: Architectural parameters, perceptions and thermal comfort measurements. *Tunneling and Underground space Technology* [interaktyvus]. 2018. 428-439. [žiūrėta 2020 – 10 – 05]
18. BRECANI, R. DERVISHI, S. Thermal and energy performance evaluation of underground bunkers: An adaptive reuse approach. *Sustainable Cities and Society* [interaktyvus]. 2019. [žiūrėta 2020 – 10 – 07]
19. KAJTAR, L. NYERS, J. Dynamic thermal dimensioning of underground spaces. *Energy* [interaktyvus]. 2015. 361 – 368 [žiūrėta 2020 – 10 – 15]
20. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *STR 2.01.02:2016 “Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas” 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754* [interaktyvus]. [žiūrėta. 2020 – 05 – 06] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185/sEHkqghNMX>
21. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *LST EN 1745:2012 „Mūras ir jo gaminiai. Šiluminių savybių nustatymo metodai” 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020 – 05 – 06] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/15767120a80711e68987e8320e9a5185>
22. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *LST EN ISO 6946:2008 „Statybiniai komponentai ir elementai. Šiluminė varža ir šilumos perdavimo koeficientas. Skaičiavimo metodas (ISO 6946:2007)” 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020 – 06 – 10] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?jfwid=144vz18v5v&documentId=15767120a80711e68987e8320e9a5185&category=TAD>
23. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *LST EN ISO 13370:2008 „Šiluminės pastatų charakteristikos. Šilumos pernaša gruntu. Skaičiavimo metodai (ISO 13370:2007)” 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020 – 06 – 10] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?jfwid=19f17q7qdk&actualEditionId=HplzVoDJOS&documentId=TAIS.268553&category=TAD>
24. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *LST EN ISO 10211:2008 „Statybinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai (ISO 10211:2007)” 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020 – 09 – 08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/rs/legalact/TAD/TAIS.393555/>
25. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *HN 98:2014 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos mažiausios ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai” 2016 m. lapkričio 11 d. Nr. D1-754* [interaktyvus]. [žiūrėta 2020 – 10 – 15] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>

## Priedai

### 1 priedas. Šiluminis tiltelis: Langas tarp rėmo ir blokelių mūro



Šiluminio tiltelio vertė: +0,03

1.9.1. Darbų ar kompetencijos aplankas  
 1.9.2. Konceptijų žemėlapis  
 1.9.3. Idėjų žemėlapis  
 2. Formalieji rašto darbu reikalavimai  
 2.1. Rašto darbo teksto rengimo aspektai  
 2.2. Ilustracinės medžiagos rengimo aspektai  
 2.3. Kompiuterinio raštingumo aspektai  
 2.4. Žodinio iliustruoto pranešimo pateiktųjų rengimo aspektai  
 3. Informacijos šaltinių paieška ir naudojimas rašto darbuose  
 3.1. Efektyvi informacijos paieška  
 3.1.1. Paieškos procesas ir paieškos etapai  
 3.1.2. Informacijos šaltinių tvarkymo programos  
 3.2. Informacijos šaltinių naudojimas rašto darbe  
 3.2.1. Plagiatas ir jo prevencija  
 3.2.2. Citavimas ir nuorodų pateikimas tekste  
 3.2.3. Citavimo stiliai ir jų pavyzdžiai  
 4. Akademinis rašymas  
 4.1. Akademinės kalbos ypatumai, įvadinės dalies svarbiausių teiginių, išvadų formuluotės  
 4.1.1. Svarbiausi mokslinio stiliaus bruožai  
 4.1.2. Rašto darbų antraštinio lapo, įvado ir išvadų svarbiausios formuluotės  
 4.2. Aktualūs mokslo darbų rašybos klausimai

Elektroniniai straipsniai duomenų bazėse	system. <i>Dyes and pigments</i> [interaktyvus]. Oksford: Elsevier Science, 2015, vol. 113, 546–553 [žiūrėta 2017-06-02]. ISSN 0143-7208. Prieiga per: Science Direct.
	BONEBRAKE T., C. BOGGS, J. STAMBERGER, C. DEUTSCH, P. EHRLICH. From global change to a butterfly flapping: biophysics and behaviour affect tropical climate change impacts. <i>Proceedings. Biological Sciences</i> [interaktyvus]. London: Royal Society of London, 2014, vol. 281(1793) [žiūrėta 2017-10-28]. ISSN 0962-8452. Prieiga per: MEDLINE.
	STRINGER, John A., et al. Reduction of RF-induced sample heating with a scroll coil resonator structure for solid-state NMR probes. <i>Journal of Magnetic Resonance</i> [interaktyvus]. Elsevier, March 2005, vol. 173(1), 40–48 [žiūrėta 2014-10-28]. doi: 10.1016/j.jmr.2004.11.015
ai dokumentai	UAB VITTAMED (LT). Method and apparatus for determining the absolute value of intracranial pressure. Inventors: Arminas RAGAUSKA Vytautas PETKUS, Romanas CHOMSKIS, Rolandas ZAKELIS, et al. IPC: A61B 8/00. US patent US 8394025 B2. 2013-04-12. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2017-10-27]. Prieiga per: http://www.google.com/patents/US8394025
andartai	LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 16212:2011]. Kosmetikos gaminiai. Mikrobiologija. Mielių pelėsių kiekio skaičiavimas (ISO 16212:2008) = Cosmetics. Microbiology. Enumeration of yeast and mould: Europos standartas EN ISO 16212:2011 turi Lietuvos standarto statusą. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2013.

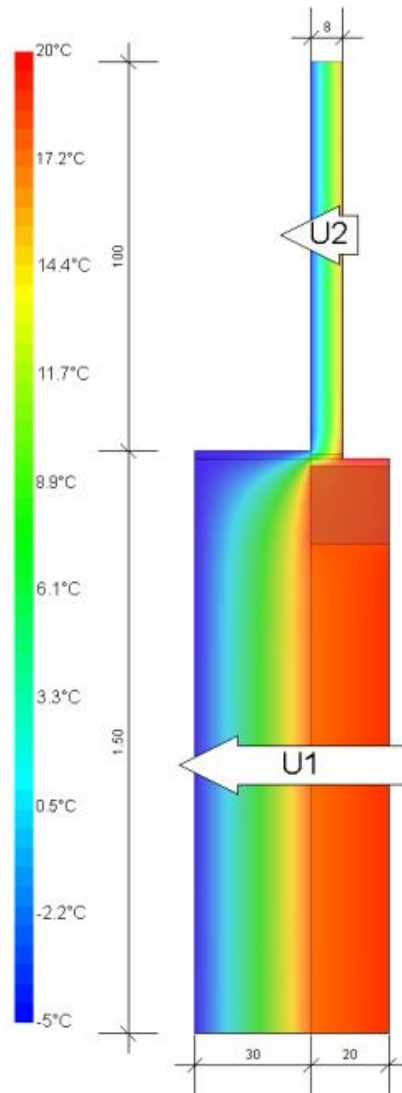
© KTU leidykla TECHNOLOGIA

„Kaspersky Internet Security“  
 Negalima garantuoti domeno, su kuriuo užmezgamas šifruotas ryšys, autentiškumo  
 Taikomoji programa: Microsoft Outlook  
 URL: imap.namuinspektorius.lt  
 Priežastis: Neleistinas sertifikato pavadinimas. Gali būti, kad pavadinimo nėra leistinų pavadinimų sąraše, arba jis buvo aiškiai neįtrauktas.  
 Nutraukti ryšį  
 Tęsti  
 Išsami informacija Peržiūrėti sertifikatą

Iveskite čia, ko ieškoti

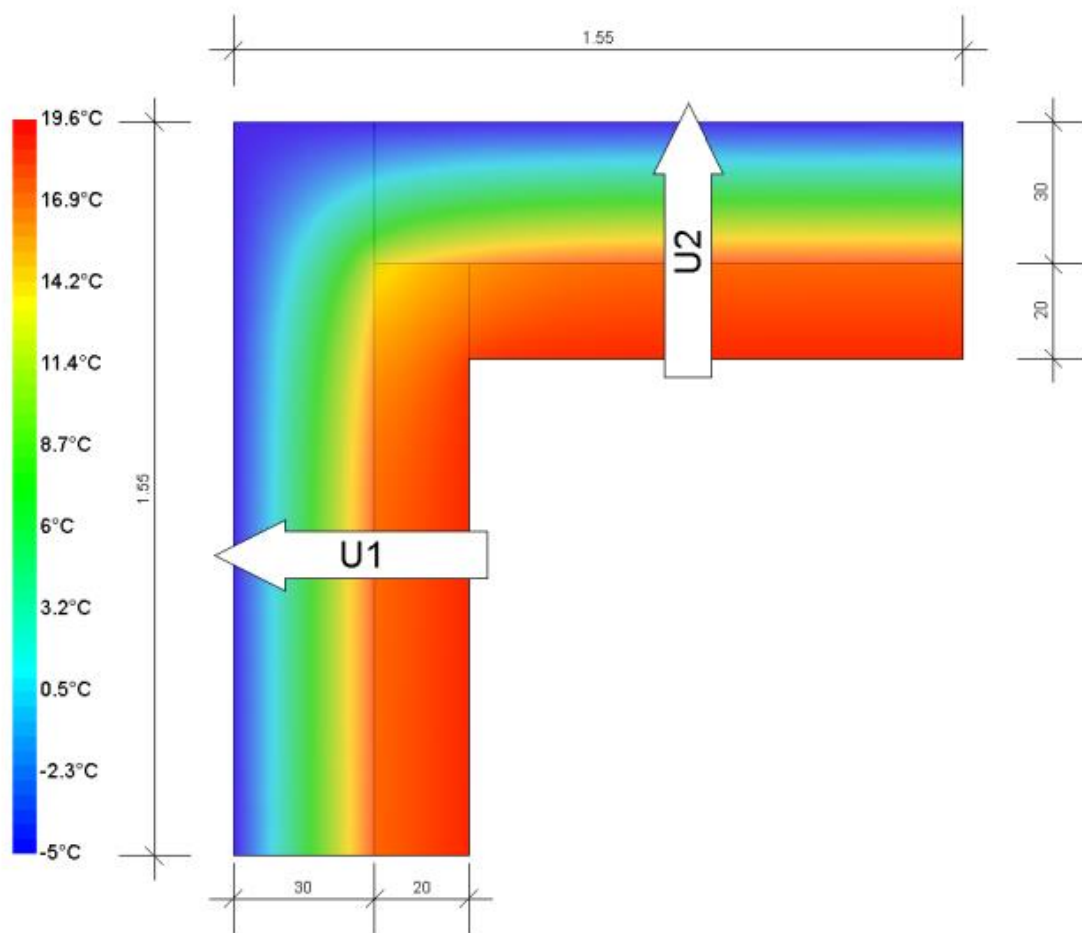
20:54  
 2021-01-07

## 2 priedas. Šiluminis tiltelis: Langas tarp rėmo ir apšiltintos gelžbetoninės sàramos



Šiluminio tiltelio vertė: +0,04

### 3 priedas. Šiluminis tiltelis: Sienos išorinis kampas



Šiluminio tiltelio vertė: -0,05

## 4 priedas. Antžeminio pastato rezultatai

### Projektuojamo pastato energinio naudingumo skaičiavimo

### REZULTATAI

Pastato (jo dalies) unikalus pastato numeris:

Adresas:

...

...

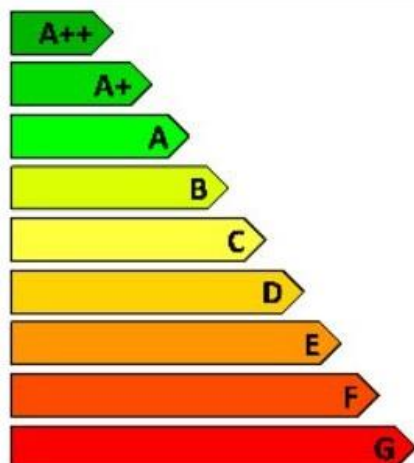
Pastato (jo dalies) paskirtis: Gyvenamosios paskirties 1 ir 2 butų pastatai (namai)

Pastato (jo dalies) šildomas plotas (m<sup>2</sup>): 68.00

Viso pastato šildomas plotas (m<sup>2</sup>): 68.00

Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo klasifikavimas į klases\*:

Nustatyta pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė:



**A+**

\* A++ klasė yra laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevarojantį pastatą.

G klasė nurodo energiškai neefektyvų pastatą

#### Skaičiuojamosios metinės rodiklių vertės vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto:

Neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	168.60
Atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	50.15
Metinių atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis vertė (vnt.):	0.82
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	19.14
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	19.17
Šiluminės energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	10.55
Suminės elektros energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	48.44
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	0.90
Pastato į aplinką išmetamas CO <sub>2</sub> kiekis (kgCO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> ×metai)):	30.79

## 5 priedas. Pusiau įgilinto pastato rezultatai

### Projektuojamo pastato energinio naudingumo skaičiavimo

### REZULTATAI

Pastato (jo dalies) unikalus pastato numeris: ...

Adresas: ...

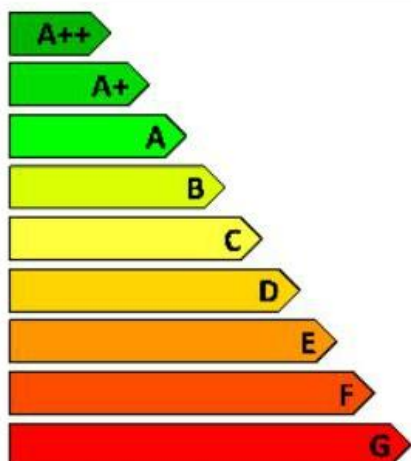
Pastato (jo dalies) paskirtis: Gyvenamosios paskirties 1 ir 2 butų pastatai (namai)

Pastato (jo dalies) šildomas plotas (m<sup>2</sup>): 68.00

Viso pastato šildomas plotas (m<sup>2</sup>): 68.00

Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo klasifikavimas į klases\*:

Nustatyta pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė:



**A+**

\* A++ klasė yra laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevartojantį pastatą,  
G klasė nurodo energiškai neefektyvų pastatą

#### Skaičiuojamosios metinės rodiklių vertės vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto:

Neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	148.43
Atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	49.08
Metinių atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis vertė (vnt.):	1.15
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	18.14
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	0.18
Šiluminės energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	10.55
Suminės elektros energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	40.66
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	0.90
Pastato į aplinką išmetamas CO <sub>2</sub> kiekis (kgCO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> ×metai)):	27.11



## 6 priedas. Pilnai įgilinto pastato rezultatai

### Projektuojamo pastato energinio naudingumo skaičiavimo

#### REZULTATAI

Pastato (jo dalies) unikalus pastato numeris:

Adresas:

...

...

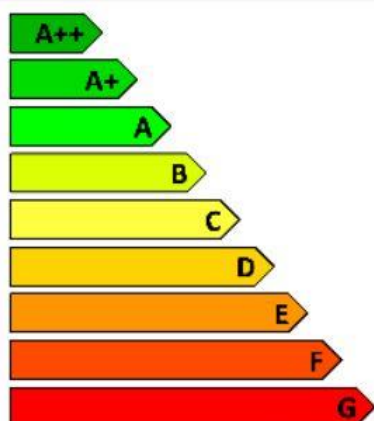
Pastato (jo dalies) paskirtis: Gyvenamosios paskirties 1 ir 2 butų pastatai (namai)

Pastato (jo dalies) šildomas plotas (m<sup>2</sup>): 68.00

Viso pastato šildomas plotas (m<sup>2</sup>): 68.00

Pastatų (jų dalių) energinio naudingumo klasifikavimas į klases\*:

Nustatyta pastato (jo dalies) energinio naudingumo klasė:



**A+**

\* A++ klasė yra laikoma aukščiausia, ji nurodo energijos beveik nevartojančią pastatą,  
G klasė nurodo energiškai neefektyvų pastatą

Skaičiuojamosios metinės rodiklių vertės vienam kvadratiniam metrui pastato (jo dalies) šildomo ploto:

Neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	136.80
Atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	50.41
Metinių atsinaujinančios pirminės energijos sąnaudų santykio su metinėmis neatsinaujinančios pirminės energijos sąnaudomis vertė (vnt.):	1.32
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui šildyti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	16.31
Šiluminės energijos sąnaudos pastatui vėsinti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	0.00
Šiluminės energijos sąnaudos karštam buitiniam vandeniui ruošti (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	9.91
Suminės elektros energijos sąnaudos (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	38.12
Elektros energijos sąnaudos patalpų apšvietimui (kWh/(m <sup>2</sup> ×metai)):	0.90
Pastato į aplinką išmetamas CO <sub>2</sub> kiekis (kgCO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> ×metai)):	24.98