

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Gediminas Brauka

**GYVENAMOJO NAMO ŠILDYMO, VĖDINIMO IR ORO
KONKONAVIMO SISTEMŲ ENERGETINĖ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Algimantas Balčius

KAUNAS, 2016

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**GYVENAMOJO NAMO ŠILDYMO, VĖDINIMO IR ORO
KONDITIONAVIMO SISTEMŲ ENERGETINĖ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (kodas 621E30001)

Vadovas

Doc. dr. Algimantas Balčius
(data)

Recenzentas

Doc. Dr. Juozas Gudzinskas
(data)

Projektą atliko

Gediminas Brauka
(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Gediminas Brauka

(Studento vardas, pavardė)

Termininžinerija (kodas 621E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„ GYVENAMOJO NAMO ŠILDYMO, VĖDINIMO IR ORO KONDICIONAVIMO SISTEMŲ
ENERGETINĖ ANALIZĖ “
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 24 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Gedimino Braukos**, baigiamasis projektas tema „ GYVENAMOJO NAMO ŠILDYMO, VĖDINIMO IR ORO KONDICIONAVIMO SISTEMŲ ENERGETINĖ ANALIZĖ “ 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)

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu: _____

Šilumos ir atomo energetikos
katedros vedėjas

(parašas, data)
Doc. E. Puida

(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa TERMOINŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo arba taikomojo pobūdžio darbas (projektas). Jam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas parodo, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, turi pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, geba savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, geba taikyti fundamentines mokslo žinias, išmano socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, geba tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema **GYVENAMOJO NAMO ŠILDYMO, VĖDINIMO IR ORO KONDICIONAVIMO SISTEMŲ ENERGETINĖ ANALIZĖ** **Energy analysis of heating, ventilation and air conditioning systems of residential building**, patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekano įsakymu Nr. V25-11-7

2. Darbo tikslas: Išanalizuoti gyvenamojo namo šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemas. Išnagrinėjami šilumos siurblio integraciją į individualaus namo energetines sistemas.

3. Darbo struktūra

- 1 ĮVADAS
- 2 Literatūros apžvalga
- 3 Pastato charakteristikų ir esamos šildymo sistemos apžvalga
- 4 Pastato šilumos balansas
 - 4.1 Šilumos balansas vasarą
 - 4.2 Šilumos nuostoliai žiemą
- 5 Šilumos siurblio efektyvumo analizė
 - 5.1 Šilumos siurblio naudingumo skaičiavimas, naudojant skirtingus šaldymo agentus
 - 5.2 Šilumos siurblio naudingumo skaičiavimas, naudojant skirtingus šilumos šaltinius
 - 5.3 Šilumos siurblio sistemų efektyvumo analizė

4. Reikalavimai ir sąlygos: **rengiant baigiamąjį darbą prisilaikyti Lietuvos Respublikos norminių aktų reikalavimų bei magistro baigiamojo darbo apiforminimo reikalavimų.**

5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 24 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis, išduota studentui Gediminui Braukai

Užduotį gavau Gediminas Brauka..... 2016.02.01
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas doc. A. Balčius 2016.02.01
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)

Gediminas Brauka. Gyvenamojo namo šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų energetinė analizė. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Algimantas Balčius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Termoinžinerija

Reikšminiai žodžiai: *šildymas, vėdinimas, oro kondicionavimas, šilumos siurblys*

Kaunas, 2016. 58 p.

SANTRAUKA

Vilniuje rekonstruojama gyvenamojo namo šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos. Įvertinami namo šiluminiai nuostoliai. Nustačius šiuos parametrus ruošiamas namo energetinių sistemų rekonstrukcijos projektas parenkant šilumos siurblių patalpų šildymui ir vėsinimui.

Darbo tikslas – apskaičiuoti šilumos nuostolius per atitvaras. Pagal gautus rezultatus parinkti tinkamo galingumo šilumos siurblių ir nustatyti jo naudingumo koeficientą su skirtingais šaldymo agentais ir skirtingais šilumos šaltiniais .

Pagal skaičiavimo rezultatus parenkamas tinkamo galingumo šilumos siurblys, kuris užtikrina komfortines sąlygas patalpose. Nustatomas jo naudingumo koeficiento priklausomybė nuo skirtingų šaldymo agentų, šilumos šaltinių ir nuo skirtingų šilumos siurblio sistemų.

Gediminas Brauka. Energy analysis of heating, ventilation and air conditioning systems of residential building: *Master's thesis in Thermal engineering/ supervisor doc. dr. Algimantas Balčius. The Faculty of Mechanical Engineering and design, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Thermal engineering

Key words: *heating, ventilation, air conditioning, heat pump*

Kaunas, 2016. 58 p.

SUMMARY

In Vilnius reconstructed residential building's heating , ventilation and air conditioning systems. Thermal losses of given house are being evaluated. This configuration is prepared home energy system reconstruction project by selecting a heat pump for heating and cooling.

Purpose of this work is to calculate the heat loss through the walls. According to the results select the appropriate capacity heat pump and determine the efficiency of different refrigerants and different heat sources.

According to the calculation results of the selection of the appropriate capacity heat pump, which provides a comfortable indoor conditions . It determines the efficiency dependence on different refrigerants , heat sources and from different silumos pump systems .

Turinys

Lentelių sąrašas:	9
Paveikslų sąrašas:	10
IVADAS	11
1. LITERATŪROS APŽVALGA	12
1.1. Šilumos siurblio veikimas	12
1.2. Šilumos siurblio efektyvumas	13
1.3. Šilumos šaltiniai	14
1.4. Šaldymo agentai	15
1.5. Pastatų vėsinimas naudojant požeminį „šaltį“	16
1.6. Programinės įrangos šilumos siurblio skaičiavimui	18
1.7. Teisiniai aktai susiję su šildymu, vėdinimu ir oro kondicionavimu	19
2. PASTATO CHARAKTERISTIKŲ IR ESAMOS ŠILDYMO SISTEMOS ANALIZĖ	22
2.1. Pastato charakteristikos	22
2.2. Šildymo sistema	24
2.3. Vėdinimas	25
2.4. Katilinė	25
3. PASTATO ŠILUMOS BALANSAS	26
3.1. Šilumos balansas vasarą	26
3.1.1. Šilumos išsiskyrimai nuo dirbtinio apšvietimo $Q_{apšv}$	26
3.1.2. Šiluma išsiskirianti nuo elektros prietaisų Q_{pav}	27
3.1.3. Šilumos išsiskyrimai nuo patalpoje esančių žmonių $Q_{žm}$	27
3.1.4. Šilumos pritekėjimas dėl saulės radiacijos per langus Q_l	27
3.1.5. Šilumos pritekėjimas į patalpas per stogą dėl saulės radiacijos Q_{st}	28
3.1.6. Šiluma patenkanti į patalpas per išorines ir vidines atitvaras Q_a	28
3.2. Šilumos nuostoliai žiemą	29
3.2.1. Sienos varžos skaičiavimas	29
3.2.2. Stogo varžos skaičiavimas	32
3.2.3. Rūsio sienos varžos skaičiavimas	34
3.2.4. Šilumos balanso šaltuoju laikotarpiu skaičiavimas	35
3.2.5. Šiluminiai nuostoliai dėl vėdinimo	35
3.2.6. Suminiai šilumos nuostoliai	42
3.2.7. Metiniai šilumos poreikiai	42
4. ŠILUMOS SIURBLIO CIKLO ANALIZĖ	43
4.1. Šilumos siurblio naudingumo skaičiavimas, naudojant skirtingus šaldymo agentus	43
4.2. Šilumos siurblio naudingumo skaičiavimas, naudojant skirtingus šilumos šaltinius	47

4.3. Šilumos siurblio sistemų efektyvumo analizė	50
4.3.1. Standartinis šilumos siurblys.....	50
4.3.2. Šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu.....	51
4.3.3. Dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu tarpiniu ataušiniu 52	
4.4. Žemės šilumokaičio skaičiavimas	54
Išvados:.....	56
Literatūra:	58

Lentelių sąrašas:

3.1 lentelė : šilumos nuostoliai per atitvaras rūsyje	38
3.2 lentelė: šilumos nuostoliai per atitvaras I aukšte.....	38
3.3 lentelė: šilumos nuostoliai per atitvaras II aukšte	39
3.4 lentelė: šilumos nuostoliai rūsyje dėl vėdinimo	40
3.5 lentelė: šilumos nuostoliai I aukšte dėl vėdinimo	40
3.6 lentelė: šilumos nuostoliai II aukšte dėl vėdinimo	40
4.1 lentelė: skaičiavimo rezultatai naudojant skirtingus šaldymo agentus.....	46
4.2 lentelė: Skaičiavimo rezultatai naudojant skirtingus šilumos šaltinius.....	49
4.3 lentelė: standartinio šilumos siurblio COP priklausomybė nuo šaldymo agento ir šilumos šaltinio	51
4.4 lentelė: šilumos siurblio su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu COP priklausomybė nuo šaldymo agento ir šilumos šaltinio	52
4.5 lentelė dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu tarpiniu ataušiniu COP priklausomybė nuo šaldymo agento ir šilumos šaltinio	53

Paveikslų sąrašas:

1.1 pav. Šilumos siurblio veikimo principas [1]	12
1.2 pav. Šilumos siurblio COP priklausomybė nuo temperatūros	13
1.3 pav. Patalpų vėsinimas vasarą ir šildymas žiemą	17
2.1 pav. Namų rūšio planas	22
2.2 pav. Namų I aukšto planas	22
2.3 pav. Namų II aukšto planas	23
3.1 pav. Šilumos pritekėjimai į patalpas, %	29
3.2 pav. Sienos konstrukcija	29
3.3 pav. Stogo konstrukcija	32
3.4 pav. Šilumos nuostoliai, %	41
3.5 pav. Atitvarų laidumo koeficientas, $W/(m^2 \cdot K)$	41
4.1 pav. Šilumos siurblio COP priklausomai nuo šaldymo agento	47
4.2 pav. Šilumos siurblio COP priklausomai nuo šilumos šaltinio	50
4.3 pav. Standartinis šilumos siurblys	51
4.4 pav. Šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu	52
4.5 pav. Dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu tarpiniu ataušimu	53
4.6 pav. COP priklausomybė nuo šilumos siurblio tipo	54

IVADAS

Šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų parinkimas gyvenamajame name yra labai svarbus, nes nuo jų priklauso reikalingos investicijos ir tolimesnės išlaidos, taip pat komforto lygis. Kiekviena sistema turi privalumų ir trūkumų, į kuriuos būtina atsižvelgti.

Pagrindinis darbo tikslas – išanalizuoti namo šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemas. Darbe bus nagrinėjami šilumos siurblio integracija į individualaus namo energetines sistemas.

Šilumos siurblių techniniai ir ekonominiai darbo rodikliai labai priklauso nuo žemo potencialo šilumos šaltinio.

Idealus šilumos siurbliams yra viso šildymo sezono metu pastoviai pakankamai aukštos temperatūros, pakankamame kiekyje, neužterštas ir neagresyvus šilumos šaltinis, kurio panaudojimas nereikalauja didelių kapitalinių ir eksploatacinių išlaidų.

Dažniausiai naudojami šilumos šaltiniai: lauko oras, šalinamas oras, gruntinis vanduo, gruntas.

Darbe bus atlikta šilumos siurblio naudingumo koeficiento analizė priklausomai nuo:

- Šaldymo agento;
- Šilumos šaltinio;
- Šilumos siurblio tipo.

Tikslą pasiekti padės išskelti uždaviniai:

1. Apžvelgti namo charakteristikas;
2. Apskaičiuoti namo šilumos balansą vasarą;
3. Apskaičiuoti namo metinius šilumos poreikius;
4. Išanalizuoti šilumos siurblio COP priklausomybę nuo šaldymo agento;
5. Išanalizuoti šilumos siurblio COP priklausomybę nuo šilumos šaltinio;
6. Išanalizuoti tris šilumos siurblio tipus: šilumos siurblys be šilumokaičio, šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu ir šilumos siurblys su skysčio įpurškimo Sistema. Taip pat atlikti jų naudingumo koeficiento priklausomybę nuo šaldymo agento ir garavimo temperatūros garintuve .

1. LITERATŪROS APŽVALGA

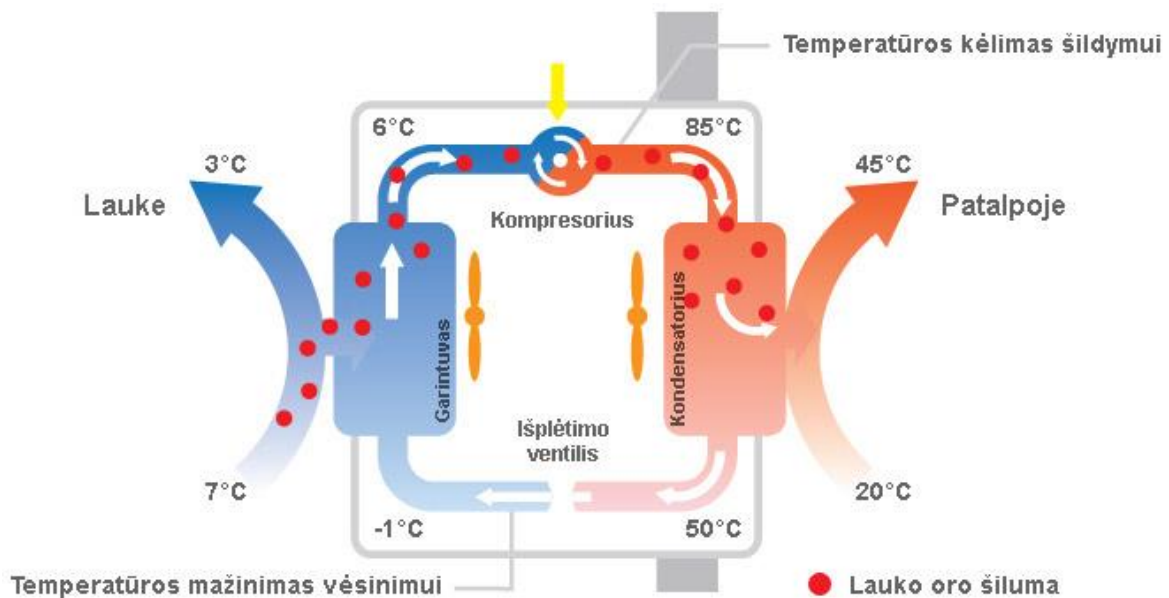
Atliekant literatūros apžvalgą pagrindiniai tikslai buvo išanalizuoti esamą padėtį su darbo tema susijusiais objektais, peržiūrėti naudojamus metodus šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo įrenginiams analizuoti, reglamentuojančius dokumentus, šiuo metu esamus įrenginius rinkoje.

1.1. Šilumos siurblio veikimas

Šiluma natūraliai „teka“ iš aukštesnės temperatūros aplinkos į žemesnės temperatūros aplinką. Šilumos siurblio technologija, panaudoja santykinai nedidelį kiekį aukštos kokybės energijos (elektros energijos, aukštos temperatūros šilumos), kurios pagalba priverčia šilumą „tekėti“ priešinga kryptimi. Tokiu būdu šilumos siurbliai pasisavina šilumą iš aplinkos (gruntinio vandens, aplinkos oro, nuotėkų) ir panaudoja ją patalpų šildymui.

Teoriškai šilumos kiekis, tiekiamas šilumos siurblių, yra lygus sunaudotos aukšto potencialo energijos ir šilumos kiekio, paimamo iš aplinkos sumai. Paprasti šilumos siurbliai, sunaudoję 20 – 40 kWh elektros energijos, pagamina apie 100 kWh šilumos karštam vandeniui ruošti ir pastatų šildymui. Pramoniniai šilumos siurbliai yra dar efektyvesni. Taigi, šilumos siurblių technologija leidžia panaudoti elektros energiją pačiu efektyviausiu įmanomu būdu

Didžioji dalis pastatų šildymui pritaikytų šilumos siurblių veikia garo kompresijos principu. Šie šilumos siurbliai yra sudaryti iš 4 pagrindinių elementų: išsiplėtimo vožtuvo, kompresoriaus ir dviejų šilumokaičių (kondensatoriaus ir garintuvo). Visi šie elementai yra sujungti į uždarą žiedą, kuriuo cirkuliuoja lakus skystis – šaldymo agentas. [1]



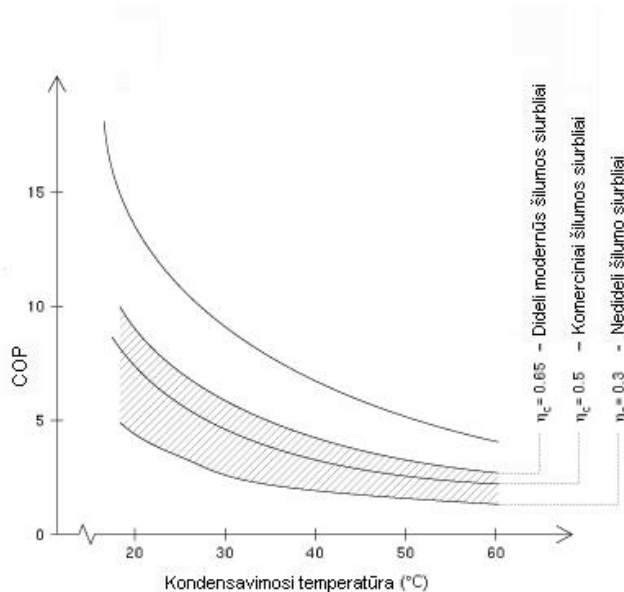
1.1pav. Šilumos siurblio veikimo principas [1]

Garintuve šaldymo agento temperatūra yra palaikoma žemesne už aplinkos, dėl o šiluma yra paimama iš aplinkos, o šaldymo agentas išgaruoja. Tada šaldymo agentas **kompresoriumi** yra suspaudžiamas, pakeliant agento slėgimą ir temperatūrą. Karštas šaldymo agento garas patenka į **kondensatorių**, kur atiduoda šilumą naudingais (patalpų, vandens šildymo) tikslais ir susikondensuoja. Aukšto slėgio šaldymo agento skystis išsiplėčia, praeidamas per **išsiplėtimo vožtuvą**, krenta jo temperatūra ir slėgis. Tada jis vėl nukreipiamas į garintuvą. Kompresorius paprastai dirba varomas elektros varikliu, tačiau kartais ir vidaus degimo varikliu. [1]

1.2. Šilumos siurblio efektyvumas

Paprastai garo kompresijos principu veikiančių elektrą naudojančių šilumos siurblių efektyvumas yra įvertinamas, naudojant COP (Coefficient of Performance) koeficientu. COP parodo šilumos siurblio pateiktos ir sunaudotos energijos santykius.

Toliau pateiktame grafike parodytas idealaus šilumos siurblio COP priklausomybė nuo „temperatūros pakėlimo“ lygio, žemo potencialo šilumos šaltiniui esant lygiam 0°C. Realus ir idealaus COP koeficientų santykis yra išreiškimas Karno efektyvumu. Nedidelių šilumos siurblių Karno efektyvumas yra maždaug 0,3 – 0,5, kai tuo tarpu didelių efektyvių šilumos siurblių siekia 0,5 – 0,7.



1.2 pav. Šilumos siurblio COP priklausomybė nuo temperatūros

COP koeficientas parodo momentinį šilumos siurblio efektyvumą tam tikromis sąlygomis. Tuo tarpu sezoninį efektyvumą parodo **SPF** (Seasonal Performance Factor) koeficientas. Tai per metus šilumos siurblio pateiktos šilumos ir metinių energijos sąnaudų santykis, įvertinant kintamą

šilumos poreikį, šilumos šaltinio ir patiekto šilumos temperatūrų svyravimus, energijos poreikius garantuoto atitirpinimui nuo ledo.

Šilumos siurblio darbo efektyvumas priklauso nuo daugelio faktorių:

- Klimato – metinių šilumos poreikių ir pikinių šilumos poreikių.
- Šilumos šaltinio temperatūros, šilumnešio pastato šildymo sistemoje temperatūros.
- Papildomų įrengimų elektros energijos suvartojimų (siurbliai, ventiliatoriai, kt.).
- Šilumos siurblio techninio lygio.
- Šilumos siurblio dydžio, lyginant su šilumos poreikiu ir šilumos siurblio eksploatacijos sąlygų.
- Šilumos siurblio reguliavimo sistemos.

1.3. Šilumos šaltiniai

Šilumos siurblių techniniai ir ekonominiai darbo rodikliai labai priklauso nuo žemo potencialo šilumos šaltinio.

Idealus šilumos siurbliams yra viso šildymo sezono metu pastoviai pakankamai aukštos temperatūros, pakankamo kiekio, neužterštas ir neagresyvus šilumos šaltinis, kurio panaudojimas nereikalauja didelių kapitalinių ir eksploatacinių išlaidų.

Dažniausiai naudojami šilumos šaltiniai:

- Lauko oras (temperatūra – 10 – 15 °C)

Lauko oras yra neriboto kiekio ir visur prieinamas, todėl plačiausiai šilumos siurblių naudojamas šilumos šaltinis. Deja, krentant lauko oro temperatūrai, šilumos siurblio efektyvumas staigiai mažėja, kadangi auga garavimo ir kondensavimosi temperatūrų skirtumas, auga elektros poreikiai garantuoto periodiškam atitirpinimui nuo ledo. Todėl vidutinis metinis šilumos siurblių, naudojančių lauko orą kaip šilumos šaltinį, efektyvumas (SPF), lyginant su šilumos siurbliais, panaudojančiais grunto šilumą, yra 10 – 30 % žemesnis.

- Šalinamas oras (temperatūra 15 – 25 °C)

Dažnai naudojamas šilumos šaltinis komerciniuose pastatuose, kur yra mechaninė oro ištraukiamoji ventiliacija. Šilumos siurblys paima šilumą iš šalinamo oro ir perduoda pastato/vandens šildymui. Reikalingas pastovus ventiliacijos sistemos darbas. Kartais kombinuojamo sistemos, galinčios

panaudoti tiek lauko orą, tiek šalinamą orą kaip šilumos šaltinį.

- Gruntinis vanduo (temperatūra 4 – 10 °C)

Gruntinį vandenį kaip pastovios temperatūros šilumos šaltinį galim panaudoti beveik visur. Gali būti uždaro arba atviro ciklo. Atviro ciklo sistemose grunto vanduo po garintuvo yra nukreipiamas atgal į gruntą arba išpilamas į paviršinius vandenis. Naudojant tokią sistemą, reikia atsižvelgti į užšalimo, korozijos, šilumokaičių užkalkėjimo faktorius. Naudojant uždara sistemą, vanduo yra cirkuliuojamas uždaru ratu. Gruntinių vandenų panaudojimas gali būti ribojamas aplinkosauginiais motyvais.

- Gruntas (temperatūra 0 – 10 °C)

Grunto šilumos panaudojimas gali būti tiesioginis (šaldymo agentui garuojant vamzdžiuose, išvedžiotuose grunte) arba netiesioginis (šilumą nuo grunto garintuvui perteikiant vandens – druskos mišiniu, glikoliu ir pan.). Šilumos, paimamos iš grunto, kiekis priklauso nuo klimatinių savybių bei grunto drėgmės.

- Ežero arba jūros vanduo (temperatūra 3 – 8°C) Iš esmės labai geras šilumos šaltinis, kurio pagrindinis trūkumas – žema temperatūra šaltuoju metų laiku ir dėl to atsirandantis garintuvo apšalimo pavojus. [2]

1.4. Šaldymo agentai

Garų kompresijos principu veikiančiuose šilumos siurbliuose anksčiau buvo naudojami šie šaldymo agentai:

- CFC-12 Žemos ir vidutinės temperatūros šilumos siurbliams (iki 80°C)
- CFC-114 Aukštos temperatūros šilumos siurbliams (iki 120°C)
- R-500 Vidutinės temperatūros šilumos siurbliams (iki 80°C)
- R502 Žemos ir vidutinės temperatūros šilumos siurbliams (iki 55°C)
- HCFC-22 visi žemos temperatūros šilumos siurbliams (iki 55°C)

Pagal cheminę sudėtį šaldymo agentai skirstomi į grupes:

CFC (chluorofluorokarbonatiniai) šaldymo agentai, patekę į aplinką daro didelę žalą ozono sluoksniui ir prisideda prie globalinio klimato atšilimo poveikio. Šių šaldymo agentų naudojimas

naujai projektuojamuose šilumos siurbliuose yra uždraustas. Jų naudojimas egzistuojančiuose įrengimuose yra leidžiamas, tačiau, mažėjant jų populiarumui, jie tampa vis brangesni. Prie šių šaldymo agentų priskiriami R-11, R-12, R-13, R-113, R-114, R-115, R-500, R-502, R-13B1 šaldymo agentai.

HCFC (hidrochlorofluorokarbonatiniai) šaldymo agentai yra irgi žalingi aplinkai, tačiau jų daroma žala yra kur kas mažesnė, lyginant su CFC šaldymo agentais. Juos leidžiama naudoti, modernizuojant egzistuojančius įrengimus, tačiau neleidžiama naudoti naujuose įrengimuose. Prie šių šaldymo agentų priskiriami R-22, R-401 R-402, R-403, R-408, R-409 šaldymo agentai. Numatoma, kad iki 2020 metų šie šaldymo agentai daugiau nebus naudojami išsivysčiusiose šalyse.

HFC (hidrofluorokarbonatiniai) šaldymo agentai laikomi perspektyviais alternatyviais šalinamiems šaldymo agentams. Šiuose šaldymo agentuose nėra chloro. Prie šių agentų priskiriami R-134a, R-152a, R-32, R-125, R-507.

Populiariausias HFC 134a šaldymo agentas savo termofizinėmis savybėmis panašus į CFC-12 šaldymo agentą. COP koeficientas, šilumos siurbliams dirbant su HFC134a agentu, yra praktiškai toks pats, kaip ir dirbant su CFC-12 agentu. Efektyvumas kiek krenta, esant žemai (<1 °C) garavimo temperatūrai arba dideliame garavimo ir kondensavimosi temperatūrų skirtumui.

Šiuolaikiniuose vidutinės galios šilumos siurbliuose dažniausiai yra naudojami šie šaldymo agentai: R134a, R404A, R407C, R410A, R290, R744. [15]

Nuo 2020 m. sausio 1 d., bus keliami reikalavimai šaldymo agentų visuotinio atšilimo potencialui. Tai daroma siekiant iš rinkos išstumti šiuo metu populiarius šaldymo agentus, kurie patekę į aplinką daro didelę žalą ozono sluoksniui ir prisideda prie globalinio klimato atšilimo poveikio. Šiuo metu šiems šaldymo agentams yra siūlomi, kiti šilumnešiai, kurie yra mažiau kenksmingi aplinkai. Labiausiai siūloma naudoti R448A ir R450A šaldymo agentus. [20]

1.5. Pastatų vėsinimas naudojant požeminį „šaltį“

Žiemos metu pastatų šildymui naudojame požeminę šilumą, kurios temperatūra paprastai yra aukštesnė nei aplinkos, tai vasarą temperatūra žemėje, kelių metrų gylyje yra žemesnė nei aplinkos. Todėl požeminis šaltis gali būti naudojamas patalpų vėsinimui.

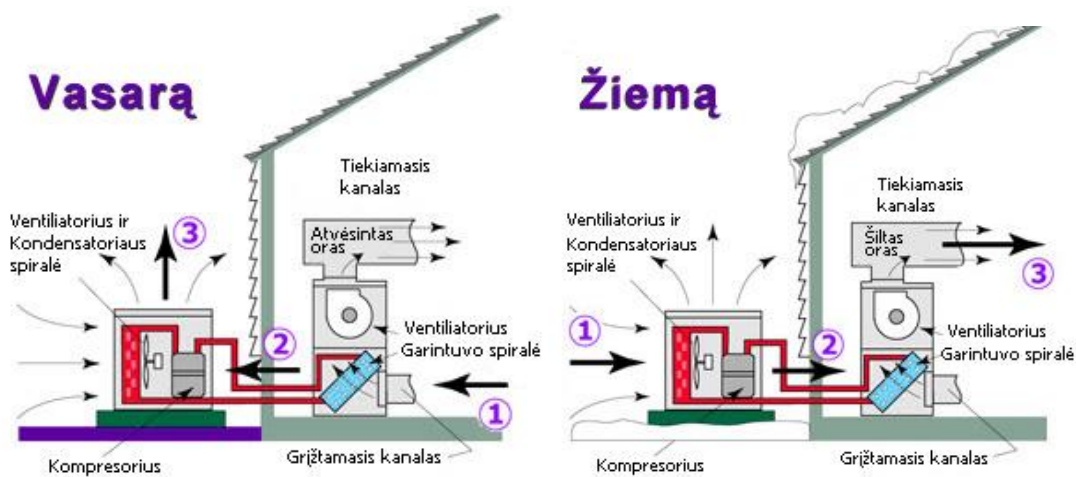
Šilumos siurblio veikimo principas paremtas atvirkščiu Karno ciklu, atsiranda galimybė išnaudoti ta patį įrenginį namo vėsinimui (kondicionavimui) vasaros metu. Šaltuoju metų periodu

šiluma paimama iš grunto , vandes ar oro, atiduodama patalpai, o šiltuoju periodu – šiluma paimama iš patalpos ir atiduodama gruntui, vandeniui ar orui.

Gali būti pasirinktos dvi pagrindinės vėsinimo technologijos – pasyvus ir aktyvus vėsinimas

Pasyvus vėsinimas. Šilumos siurblio kolektorius yra sumontuotas žemėje ar vandens telkinio dugne, vasaros metu tempetaratūra ten gali siekti 7-14 °C. Skystis, cirkuliuojantis požeminiame kolektpriuje, gali puikiai vėsinti Jūs pastatą. Reikia tik jam tiesiogiai ar per tarpinį šilumokaitį leisti cirkuliuoti pastato radiatoriais, ar grindų ar sienų sistema. Šiuo atveju elektros energijos sąnaudos minimalios- keli šimtai vatų, aušinimo intensyvumas gali būti reguliuojamas, keičiant siurblio greitį ar jį išjunginėjant. Tam tikslui skirtas valdiklis yra labai paprastas. Be to, vėsinimo intensyvumas gali būti padidintas, jei prie radiatorių bus įrengti maži betriukšmiai ventiliatoriai. Jie padeda intensyvinti šilumos atidavimą radiatoriams bei padidina oro cirkuliaciją patalpoje.

Aktyvus vėsinimas. Šiuo atveju naudoti reversinius šilumos siurblius, galinčius veikt tiek šildymo, tiek šaldymo režimu. (reversiniai šilumos siurbliai yra sukonstruoti taip, kad gali dirbti tiek šilumos, tiek šalčio gamybos režime. Žiemą, imdami žemos temperatūros energiją iš grunto, jie pakelia šilumnešio temperatūrą tiekia jį į pastato sistemą. Vasarą jie veikia šaldymo režime, analogiškai buitiniam šaldytuvui. Šilumos agentą esantį vėsinimo sistemos kondicionieriuje ataušina naudojantis žema temperatūra esančia požiaminiame kolektoriuje. Pastate turi būti suproktuota ir įrengta vėdinimo- kondicionavimo sistema, išvadžioti ortakiai, sumontuota reguliuojanti įranga. Vietoje standartinio oro kondicionieriaus pajungiamas šilumos siurblys. Jis perjungiamas darbui šaldymo režimu. [3]



1.3 pav.Patalpų vėsinimas vasarą ir šildymas žiemą

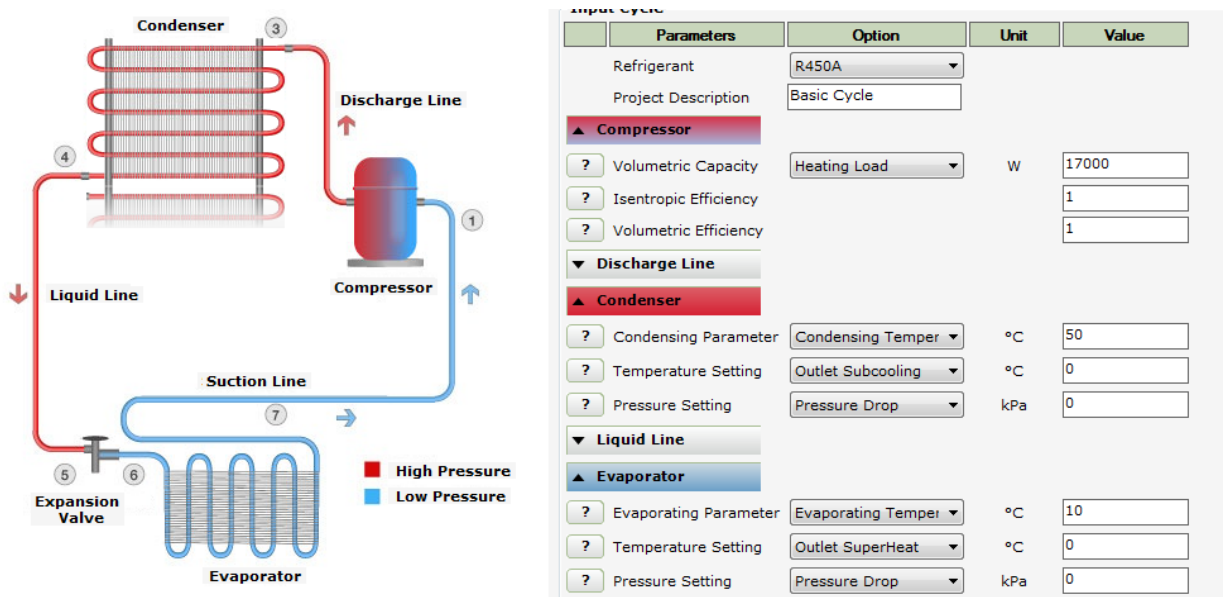
1.6. Programinės įrangos šilumos siurblio skaičiavimui

Genetron Properties Suit

Genetron Properties tai programa, kuri gali būti naudojama apskaičiuojant skysčio arba mišinio parametrus tam tikro proceso metu, taip pat atlikti ciklo skaičiavimams .

Programa leidžia nagrinėti 12 suspaudimo ciklų : klasikinis, su šilumokaičiu, skysčio įpurškimu, garų įpurškimu, dvipakopis ciklas su šilumokaičiu ir kiti.

Taip pat galima rezultatus lyginti naudojant skirtingus šaldymo agentus betkuriam iš pasirinktų ciklų. Programa pateikia T – S, P – H grafikus, slėgių, temperatūrų, entropijų ir entalpijų parametrus , kuriuos galima automatiškai perkelti į Exel program. [10]



1.4 pav. Genetron Properties darbo aplinka

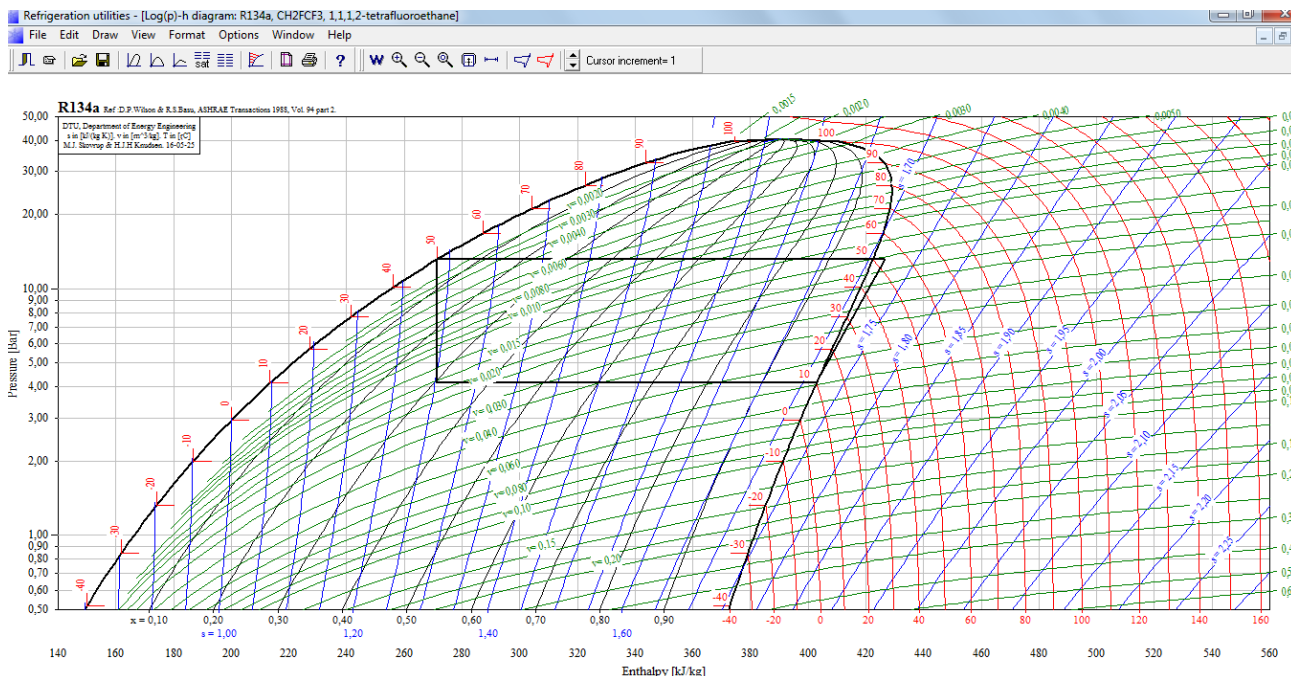
Cool Pack

Cool Pack kūrimas prasidėjo pavasarį 1998 metais kaip mokslinių tyrimų projekto dalis. Šio projekto pagrindinis tikslas buvo sukurti imitacinį modelį, kuris būtų naudojamas energijos optimizavimui šaldymo sistemose. Šių modelių vartotojai būtų šaldymo technikai, inžinieriai, studentai. Kitaip tariant visi asmenys, turintys įtaką dabarties ir ateities energijos vartojimui šaldymo sistemoms.

Šiuo metu Cool Pack programa apima šias modeliavimo funkcijas:

- Šaldymo savybių skaičiavimas.
- Ciklo analizė (pvz. vieno ir dviejų pakopų ciklų palyginimas).

- Sistemos modeliavimas – skaičiavimas prie įvairių eksploataavimo sąlygų su pasirinktais sistemos komponentais.
- Sistemos efektyvumo vertinimas ir pasiūlymai kaip sumažinti energijos suvartojimą.
- Atskirų sistemos komponentų efektyvumo vertinimas. [16]



1.5 Pav. Cool Pack programos darbo aplinka

Solkane Refrigerants

SOLKANE Refrigerants yra programa, kuri skaičiuoja termo fizines šaldymo agentų savybes. Ji skaičiuoja daugelio šaldymo agentų termodinaminės savybes. Joje galima atlikti skaičiavimus pasirenkant vieną iš 7 skirtingų vienos ar dviejų pakopų ciklų. Taip pat Solkane programa leidžia braižyti P – H ir T – S diagramas visiems šaldymo ciklams, o gautus rezultatus galima perkelti į Exel programą.

1.7. Teisiniai aktai susiję su šildymu, vėdinimu ir oro kondicionavimu

STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS STR 2.09.02:2005 Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas

Šis statybos techninis reglamentas taikomas projektuojant ir įrengiant pastatų ir inžinerinių statinių patalpų šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠV ir OK) sistemas, išskyrus mažos (lauko sienų šilumos inercijos koeficientas $D < 1,5$) ir ypač didelės (lauko sienų šilumos inercijos koeficientas $D > 7$) šilumos inercijos atitvarų pastatus ir inžinerinių statinių patalpas, taip pat

pastatus ir inžinerinius statinius, susijusius su radioaktyviųjų ir sprogstamųjų medžiagų vartojimu ir gamyba, technologines sistemas ir įrengimus. Pastato ir inžinerinio statinio rekonstravimo atveju Reglamento reikalavimai privalomi tik rekonstruojamoms pastato dalims ar inžinerinio statinio patalpoms.

Reglamentas yra suderintas su Europos Tarybos direktyvos 89/106/EEC ir jos aiškinamųjų dokumentų nustatytais esminiais statinio reikalavimais bei Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2002/91/EB 2002-12-16 dėl pastatų energinio naudingumo nuostatomis.

Reglamente išdėstyti pagrindiniai reikalavimai ŠV ir OK sistemoms projektuoti ir įrengti. Reikalavimai konkrečios paskirties pastatams ar inžineriniams statiniams pateikiami atitinkamuose statybos techniniuose reglamentuose.

Reglamento nuostatos yra privalomos visiems statybos dalyviams, viešojo administravimo subjektams, šilumos tiekėjams ir vartotojams, taip pat kitiems juridiniams ir fiziniams asmenims, kurių veiklos principus statybos srityje nustato statybos įstatymas. [5]

STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui.

Šis statybos techninis reglamentas taikomas pastatų ir jų patalpų šildymo sistemų projektavimui. Reglamentas nustato pastatų ir jų patalpų šildymo sistemos galios, metinių ir atskirų mėnesių šilumos poreikių skaičiavimo tvarkos reikalavimus. [10]

STATYBOS TECHNINIS REGLAMENTAS STR 2.01.09:2012 Pastatų energinis naudingumas. energinio naudingumo sertifikavimas.

Šis statybos techninis reglamentas taikomas šildomų gyvenamųjų ir negyvenamųjų pastatų (jų dalių) energinio naudingumo įvertinimui ir energinio naudingumo sertifikavimui.

Reglamento tikslai:

- efektyviai, apdairiai, racionaliai ir tvariai naudoti energiją, kuriai priskiriami naftos produktai, gamtinės dujos ir kietasis kuras, kurie yra ne tik pagrindiniai energijos šaltiniai, bet ir pagrindiniai anglies dvideginio emisijos šaltiniai;
- valdyti energijos poreikį, mažinti energijos vartojimą pastatuose ir didinti atsinaujinančių išteklių energijos naudojimą pastatų sektoriuje, kad būtų sumažinta energinė priklausomybė ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija.

- įgyvendinti nustatytus prioritetus, kurie sudarytų sąlygas didinti energijos vartojimo efektyvumą Europos Sąjungoje, kad būtų pasiektas tikslas iki 2020 m. 20 proc. sumažinti Europos Sąjungoje suvartojamos energijos kiekį; [6]

LIETUVOS HIGIENOS NORMA HN 42: 2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“

Ši higienos norma nustato mikroklimato parametrus gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpose bei bendruosius mikroklimato parametrų matavimo ir kontrolės reikalavimus.

Ji taikoma naudojant pastatus ir privaloma asmenims, projektuojantiems, statantiems, rekonstruojantiems, kapitališkai remontuojantiems pastatus, kuriuose įrengiamos gyvenamosios ir visuomeninės paskirties patalpos, taip pat šilumos tiekėjams, pastatų šildymo sistemų prižiūrėtojams (eksploatuotojams) ir kontroliuojančioms institucijoms. [7]

LST EN 378-1:2008+A2:2012. Šaldymo sistemos ir šilumos siurbliai. Saugos ir aplinkosauginiai reikalavimai. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai, apibrėžtys, klasifikavimas ir atrankos kriterijai. [11]

LST EN 378-2:2008+A2:2012. Šaldymo sistemos ir šilumos siurbliai. Saugos ir aplinkosauginiai reikalavimai. 2 dalis. Projektavimas, gamyba, bandymai, ženklavimas ir dokumentai. [12]

LST EN 378-3:2008+A1:2012. Šaldymo sistemos ir šilumos siurbliai. Saugos ir aplinkosauginiai reikalavimai. 3 dalis. Įrengimo vieta ir žmonių apsauga. [13]

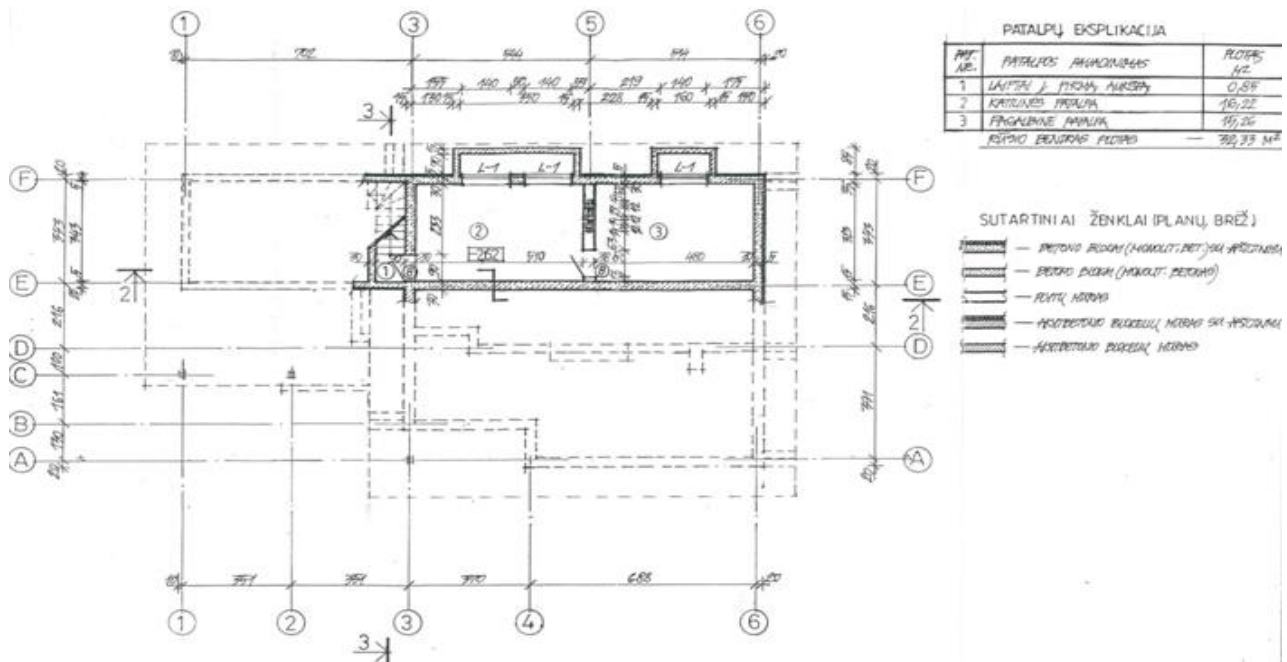
LST EN 378-4:2008+A1:2012. Šaldymo sistemos ir šilumos siurbliai. Saugos ir aplinkosauginiai reikalavimai. 4 dalis. Veikimas, techninė priežiūra, taisymas ir atnaujinimas. [14]

Šiame Europos standarte pateikiami saugos reikalavimai stacionarioms ir mobilioms šaldymo sistemoms ir šilumos siurbliams. Standarto reikalavimai taikomi naujoms ir modifikuojamoms sistemoms.

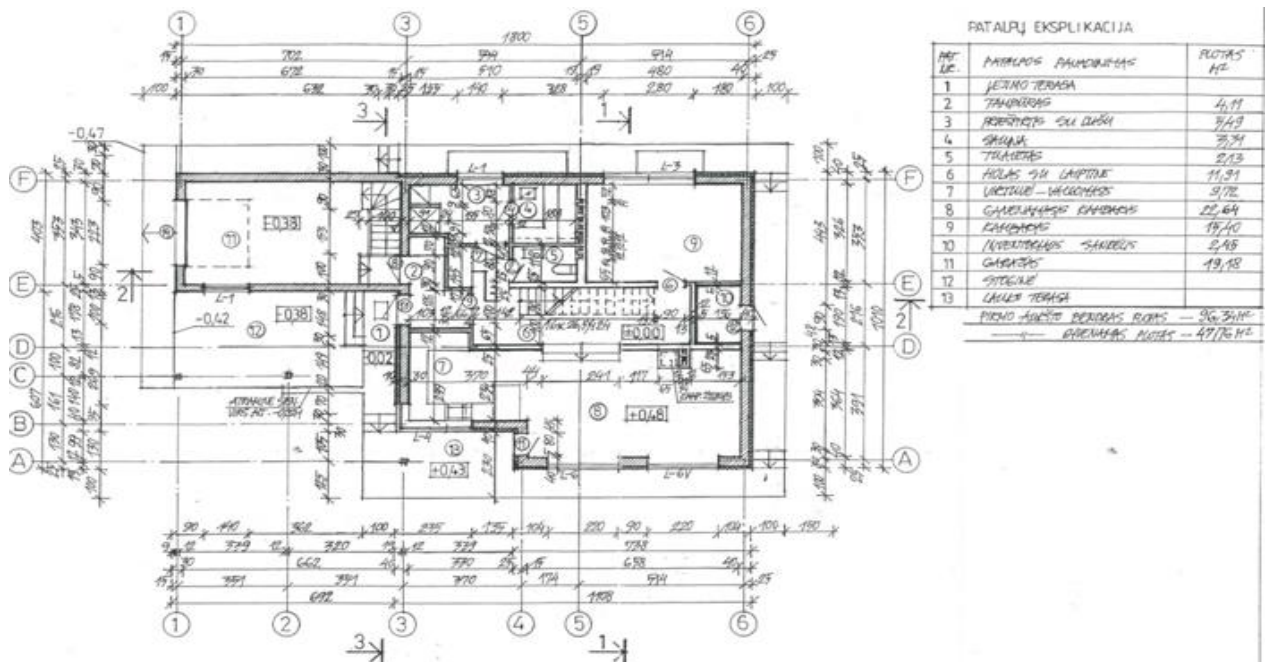
2. PASTATO CHARAKTERISTIKŲ IR ESAMOS ŠILDYMO SISTEMOS ANALIZĖ

2.1. Pastato charakteristikos

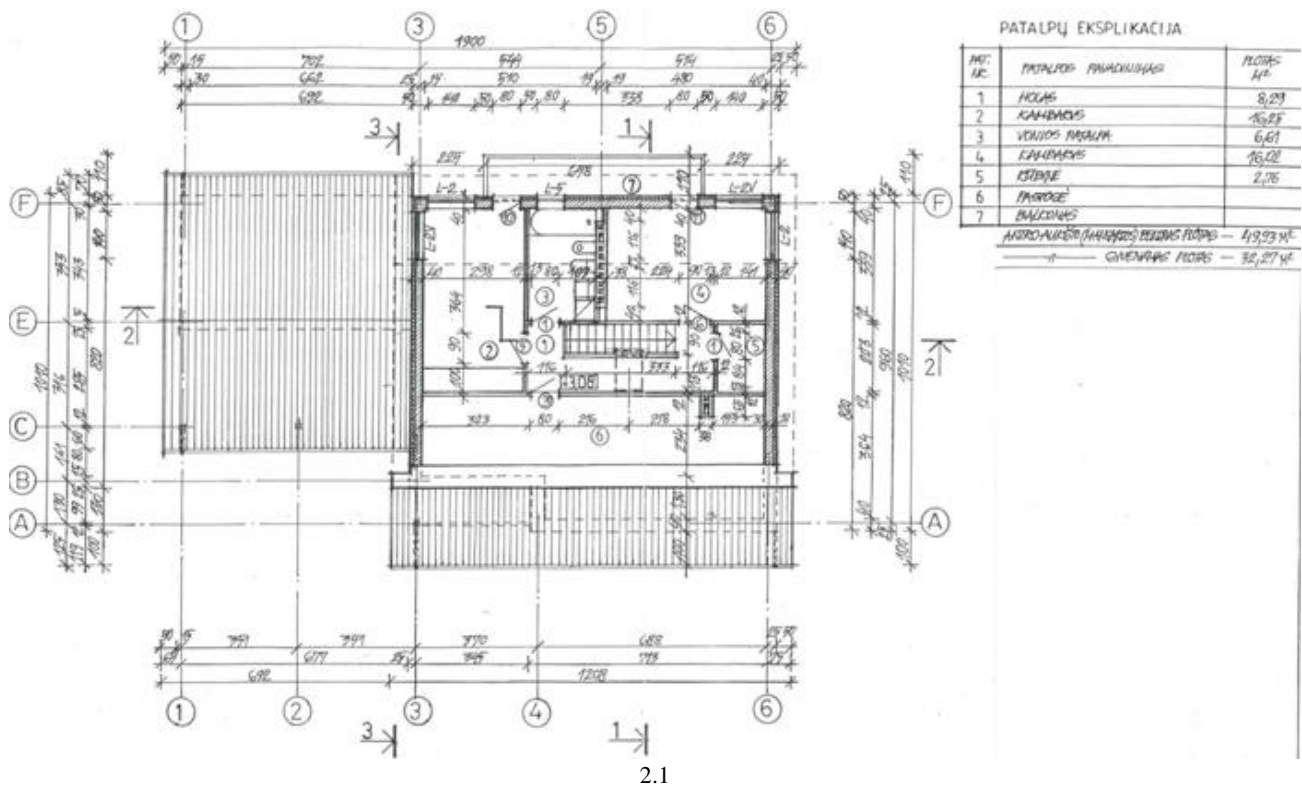
Pasirinktas namas pastatytas Rokantiškių sodų 9-ojoje g. sodų bendrijoje „Elfas“, Antakalnio seniūnijoje, Vilniuje. Namų bendras plotas yra 178,6 m², sklypo 600 m². Šiai vietai norminė išorės temperatūra šildymui – $t_{is} = -23^{\circ}\text{C}$.



2.1 pav. Namų rūšio planas



2.2 pav. Namų I aukšto planas



2.3 pav. Namu II aukšto planas

Pastatas – keturių kambarių 178,60 m² bendrojo ploto, vieno – dviejų aukštų, įskaitant mansardą, 22,31 m² garažą ir 31,48 m² bendrojo ploto rūšį (į jį patenkama iš garažo), kuriame numatyta katilinė ir pagalbinė patalpa. Tai dvišlaičiu 24° nuolydžio stogu dengtas tūris, susidedantis iš vienaaukštės negyvenamų patalpų – garažo su stogine (ties pagrindiniu įėjimu į gyvenamąjį namą) ir dviaukštės namo gyvenamųjų patalpų dalių. Pirmame aukšte numatyti 2 kambariai, laiptų holas, virtuvė – valgomasis, tualetas, sauna su priešpirčiu ir dušu, sieninės spintos, lauko inventoriaus sandėlis bei lauko terasa, o antrame (mansardiniame) aukšte, suplanuotame virš dalies I-ojo aukšto, įrengta 2 kambariai, vonios patalpa ir rūbinė.

Detailūs statybiniai pastato brėžiniai pateikti prieduose.

Pamatai – juostiniai monolitiniai betono 30 cm storio. Cokolis iš išorės apšiltintas 5 cm storio polistireniniu su keraminių (akmens masės) plytelių apdaila iš fasadinės pusės.

Išorės sienos – iš 25 cm storio aktybetonio blokelių mūro, apšiltintos iš fasadinės pusės 20 cm storio akmens vatos sluoksniu ir nutikuoju mineraliniu, atspariu mechaniniams poveikiams plonasluoksniu žalsvai gelsvos spalvos tinku pagal firmos – medžiagų tiekėjos rekomendacijas.

Pirmo aukšto zonoje sienos aptaisytos keraminėmis tamsiai rudos (klinkerio) spalvos plytelėmis. Sienos šiluminė varža $R=4,333 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Perdangos – tarpaukštinės perdangos iš tipinių surenkamų g/b plokščių (3,6 ir 5,65 ilgio). Monolitiniai ruožai iš betono B15, armuoti AII klasės armatūra.

Stogo konstrukcija – medinė. Laikančiosios stogo konstrukcijos – medinės gegnės pagamintos iš medienos 60x180 cm skerspjūvio, išdėstytos kas 60 cm. Medinės stogo konstrukcijos pagamintos iš I ir II rūšies spygliuočių medienos, kurios drėgnumas neviršija 20 %. Mediena impregnuota antipireniais ir antiseptikuota. Medinių gaminių vietos, kurios liečiasi su mūru izoliuotos 2 sluoksniais pergamino arba impregnuotos specialiomis medžiagomis. Mansardinio aukšto sutapdintas 24° nuolydžio šlaitinis stogas įrengtas su 2 sluoksniais (15 ir 10 cm) Paroc akmens vatos ($\lambda=0,046 \text{ W/mk}$) apšiltinimu ir garo izoliacija iš 0,2 mm storio polietileno plėvelės (sandūros sluoksniai užleisti 15 cm vienas ant kito arba suklijuoti). Šlaitinio sutapdinto stogo šiluminė varža $R=5,71 \text{ m}^2\text{K/W}$

Langai ir balkoninės durys – individualūs iš 5 kamerų baltos spalvos PVC profilių, užtikrinantys patalpų mikroventiliaciją, su selektyvinio stiklo paketais, užpildytais inertinėmis dujomis ir nemažesniu kaip 1,5 šilumos laidumo koeficientu.

2.2. Šildymo sistema

Individualiame gyvenamajame name sumontuota kolektorinė vandens šildymo sistema. Šiluma tiekama iš skysto kuro katilinės, sumontuotos rūsyje. Šiluma konvektoriniam šildymui tiekama pagal 80-60 °C temperatūros grafiką, o grindiniam šildymui – pagal 50-45 °C grafiką.

Vamzdynai katilinėje – plieniniai izoliuoti 30 mm storio akmens vatos kevaline izoliacija su aliuminio folija. Vamzdeliai nu kolektorių iki prietaisų iš daugiasluoksnio vamzdžio, izoliuoti 10 mm storio izoliacija, tik praeinantys šildomų grindų plote grįžtami vamzdeliai neizoliuojami.

Šildymo prietaisai – belgiški konvektoriai „JAGA“. Pirmo aukšto gyvenamajame kambaryje su virtuve sumontuoti grindiniai konvektoriai „Strada“. Šildymo prietaisų atiduodamas šilumos kiekis reguliuojamas „JAGA“ firmos termostatiniais ventiliais su kambario temperatūros davikliais (termostato galvomis). Prie į grindis įleidžiamų konvektorių suprojektuotos termostatinės galvos su distanciniais davikliais, kurie montuojami 120÷160 cm aukštyje virš grindų. Konvektoriams su oro tiekimo įrenginiais „Oxygen“ suprojektuotos termostatinės galvos su išnešamais davikliais, kurie turi būti montuojami konvektoriaus apačioje. Garaže ir dirbtuvėse sumontuoti „KORADO“ firmos

apatinio pajungimo plieniniai radiatoriai. Šių prietaisų šilumos reguliavimui naudojami „DANFOSS“ firmos termostatiniai davikliai RTS-K.

2.3. Vėdinimas

Šviežias lauko oras tiekiamas į patalpas per rekuperatorių, kurio šiluminis našumas 0,8, w su maišymo vožtuvu vidaus/išorės orui, su triukšmo slopinimu ir oro filtravimu.

Išorinėje sienoje išgręžtos skylės oro pritekėjimui. Pirmo aukšto kambaryje ir antro aukšto miegamuosiuose į „Strada“ konvektorių korpusus, virš šildymo elementų, sumontuoti oro pritekėjimo agregatai. Vieno oro tiekimo įrenginio maksimalus tiekiamo oro kiekis 100 m³/h. Oro tiekimo įrenginių valdymas neautomatizuotas. Oras tiekiamas į patalpas, taip sudaromas viršslėgis ir oras per pertekėjimo groteles juda ištraukimo ventiliatorių kryptimi tualetuose ir voniose.

Pirties ir priešpirties oro šalinimui numatyta ortakinė oro šalinimo sistema su kanaliniu ventiliatoriumi K 100M.

Iš tualetų ir vonių oras šalinamas buitinais kanaliniiais ventiliatoriais. Kad patalpose vyktų pastovi oro cirkuliacija, buitiniai – kanaliniai ventiliatoriai yra be atbulinių vožtuvų ir su neužsidarančiom grotelėm.

Galimas patalpų aušinimas nakties metu, įjungiant aktyvų vėdinimą.

2.4. Katilinė

Individualiame gyvenamajame name suprojektuota vietinė katilinė su skysto kuro katilu Logan G115 (firmos Buderus, Vokietija) 21 kW. Karštas vanduo ruošiamas tūriniame vertikaliame 160 litrų talpos šildytuve, sumontuotame šalia katilo.

Pastato patalpų šildymui suprojektuoti du šildymo kontūrai: konvektorinis ir grindinis.

Šildymo sistemą ir karšto vandens ruošimą valdo automatika Logmatic 2107. Automatika gali vykdyti šias funkcijas: šildymas ir karšto vandens ruošimas priklausomai nuo išorės oro temperatūros pagal užduotą grafiką, automatinis persijungimas „vasara-žiema“, „atostogų“ režimas – minimalus šildymas be karšto vandens ruošimo, pažemintos temperatūros režimai (naktį ir pan.), katilo apsauga nuo užšalimo, karšto vandens ruošimo režimas. Esant dideliui karšto vandens poreikiui, automatiškai katilas perjungiamas tik karšto vandens ruošimui, o šildymo siurbliai išjungiami. Automatika reguliuoja šildymo sistemų ir tūrinio šildytuvo cirkuliacinių siurblių veikimo trukmę.

Šildymo sistemos ir karšto vandens cirkuliacinės linijos vandens tūriniam išsiplėtimui, dėl temperatūros svyravimų kompensuoti, montuojami membraniniai išsiplėtimo indai 25 ir 12 litrų.

Katilinė montuojamam naudojant plieninius vamzdžius, kurie izoliuojami 30 mm storio akmens vatos kevaline izoliacija su aliuminio folija.

Kuras į katilą paduodamas iš skysto kuro talpų 1,6 m³, kurios pastatytos katilinėje. Jos įstatytos į prieš tai išbetonuotą lovį tuo tikslu, kad prakiurus talpoms skystas kuras nepasklistų po visą katilinę.

3. PASTATO ŠILUMOS BALANSAS

1 skyriaus skaičiavimai buvo atliekami naudojantis [8] literatūra.

3.1. Šilumos balansas vasarą

$$Q_b^v = Q_{apšv} + Q_{pav} + Q_{žm} + Q_l + Q_{st} + Q_a. \quad (3.1)$$

$Q_{apšv}$ – šilumos išsiskyrimai nuo dirbtinio apšvietimo;

Q_{pav} – šiluma išsiskirianti nuo elektrs prietaisų;

$Q_{žm}$ – šilumos išsiskyrimai nuo patalpose esančių žmonių;

Q_l – šilumos pritekėjimas į patalpą per langus;

Q_{st} – šilumos pritekėjimas į patalpą per langus;

Q_a – šiluma patenkanti į patalpas per išorines ir vidines atitvaras.

3.1.1. Šilumos išsiskyrimai nuo dirbtinio apšvietimo $Q_{apšv}$.

$$Q_{apšv} = 3600 \times N_{šv} \times F \times k, \text{ kJ/h.} \quad (3.2)$$

$N_{šv}$ – apšvietimo lempų (šviestuvų) galia, priimta 0,0016 kW/m²;

F – patalpos grindų plotas, m²;

k – šilumos išsiskyrimų į darbo zoną koeficientas. Jis priklauso nuo šviestuvo tipo.

Pakabinamiems šviestuvams $k= 1,0$.

$$Q_{\text{apšv}} = 3600 \cdot 0,0016 \cdot 178,6 \cdot 1 = 1028,736 \text{ kJ/h} = 285,76 \text{ W}.$$

3.1.2. Šiluma išsiskirianti nuo elektros prietaisų Q_{pav} .

$$Q_{\text{pav}} = \alpha_p (t_p - t_o) A_p, \text{ kJ/h.} \quad (3.3)$$

α_p - šilumos atidavimo koeficientas nuo įkaitusių įrengimų paviršių patalpos orui ($\alpha_p \approx 8 \div 12$ W/(m²°C));

A_p - įkaitusių (šiltų) paviršių plotas, m²;

t_p - įrenginių, jų paviršių, temperatūra, °C;

t_o - patalpos oro temperatūra, °C.

$$Q_{\text{pav}} = 10(30-20)2 = 200 \text{ kJ/h} = 55,5 \text{ W}$$

3.1.3. Šilumos išsiskyrimai nuo patalpoje esančių žmonių $Q_{\text{žm}}$.

Priklauso nuo žmogaus veiklos pobūdžio (atliekamo darbo sunkumo kategorijos) ir aplinkos, kurioje jis dirba, oro temperatūros:

$$Q_{\text{žm}} = q n, \text{ W.} \quad (3.4)$$

q - vieno žmogaus išskiriamas šilumos kiekis, W;

n - žmonių skaičius.

$$Q_{\text{žm}} = 116 \cdot 4 = 464 \text{ W}$$

3.1.4. Šilumos pritekėjimas dėl saulės radiacijos per langus Q_l .

$$Q_l = \Sigma(F q_l a), \text{ kJ/h.} \quad (3.5)$$

F - į vieną pusę nukreiptų langų plotas, m²;

q_l - saulės radiacijos intensyvumas, priklausomai nuo langų orientacijos (pasaulio šalių atžvilgiu), W/(m²°C);

a - koeficientas, įvertinantis langų konstrukciją.

$$Q_l = \Sigma(F q_l a) = 31,96 \cdot 210 \cdot 1,15 = 7718,34 \text{ kJ/h} = 2144 \text{ W}.$$

3.1.5. Šilumos pritekėjimas į patalpas per stogą dėl saulės radiacijos Q_{st} .

$$Q_{st} = F_{st} q_{st} k_{st}, \text{ W.} \quad (3.6)$$

F_{st} - stogo plotas, m^2 ;

q_{st} - saulės radiacijos intensyvumas, $\text{W/m}^2\text{h}$;

k_{st} - bedimensinis dydis, savo skaitine reikšme atitinkantis stogo šilumos perdavimo koeficientą.

$$Q_{st}^r = 82,32 \cdot 72 \cdot 0,175 = 1037,23 \text{ W}$$

3.1.6. Šiluma patenkanti į patalpas per išorines ir vidines atitvaras Q_a .

$$Q_a = \Sigma k F (t_{i\bar{s}} - t_p), \text{ W.} \quad (3.7)$$

k - atitinkamos atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$;

F - atitinkamos atitvaros plotas, m^2 ;

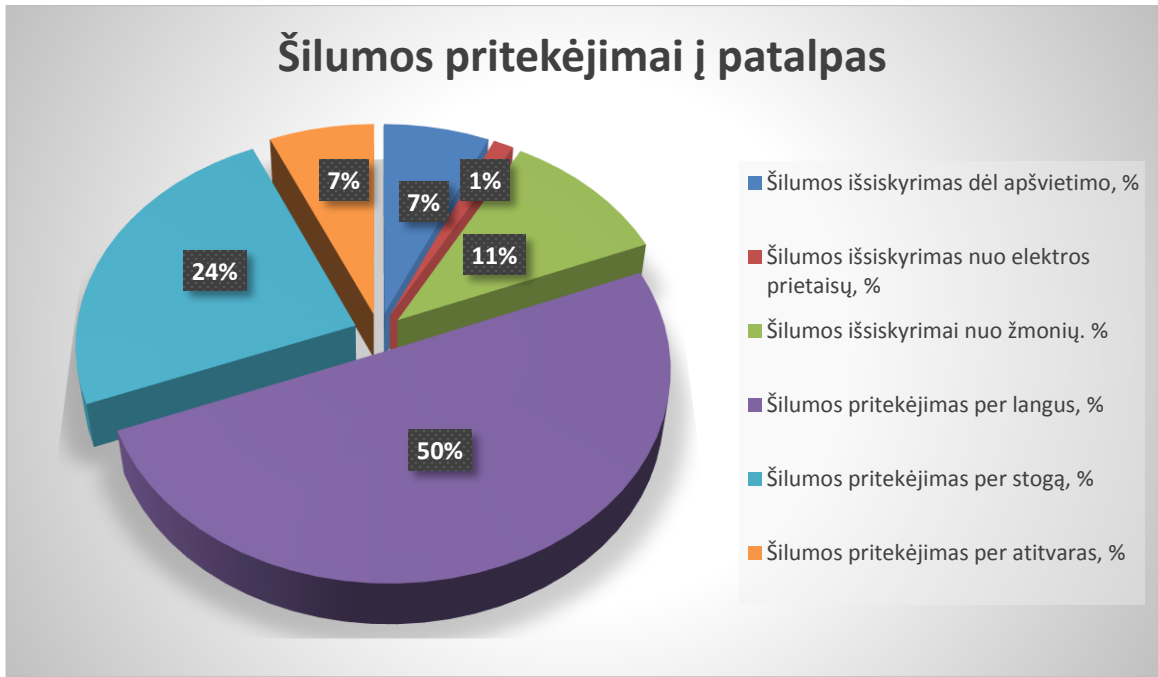
$t_{i\bar{s}}, t_p$ - oro temperatūra išorėje ir patalpoje, $^{\circ}\text{C}$.

$$Q_a = 0,22 \cdot 214,95(26-20) = 283,734 \text{ W}$$

Apskaičiuoju suminius šilumos išsiskyrimus:

$$Q_b^v = Q_{ap\bar{s}v} + Q_{pav} + Q_{zm} + Q_l + Q_{st} + Q_a$$

$$Q_b^v = 285,76 + 55,5 + 464 + 2144 + 1037,23 + 283,734 = 4270,24 \text{ W} = 4,270 \text{ kW}$$



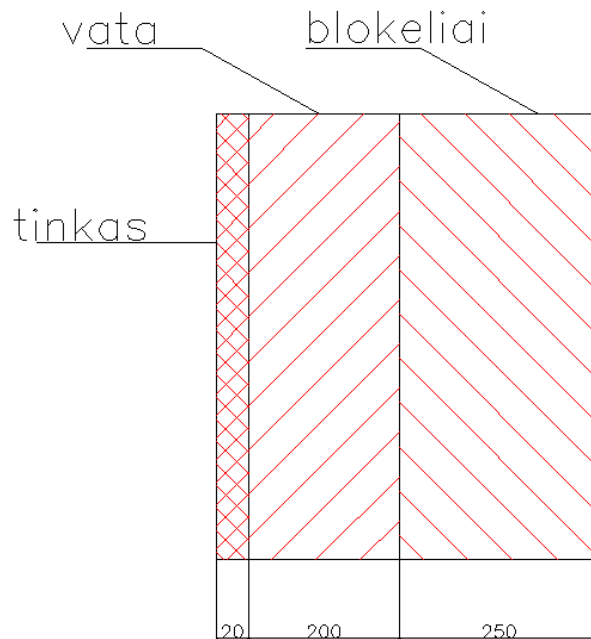
3.1 pav. Šilumos pritekėjimai į patalpas, %

3.2. Šilumos nuostoliai žiemą

3.2.1. Sienos varžos skaičiavimas

Apskaičiuoju sienos konstrukcijos atskirų sluoksnių šilumines varžas:

Sienos konstrukcija pavaizduota 3.2 paveiksle.



3.2 pav. Sienos konstrukcija

Apskaičiuojame tinko šiluminę varžą:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{1,ds}}; \quad (3.8)$$

d - atitvaros sluoksnio storis, m;

λ_{ds} - projektinis šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K)

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{1,ds}} = \frac{0,02}{1,00} = 0,02 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W.}$$

Apskaičiuojame šiltinamosios vatos šiluminę varžą:

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}; \quad (3.9)$$

d - atitvaros sluoksnio storis, m;

λ – šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K).

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,2}{0,05} = 4 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W.}$$

Apskaičiuojame mūro šiluminę varžą:

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_{3,ds}}; \quad (3.10)$$

d - atitvaros sluoksnio storis, m;

λ_{ds} - projektinis šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K).

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_{3,ds}} = \frac{0,25}{0,8} = 0,313 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W.}$$

Apskaičiuojame sienos šiluminę varžą:

$$R = R_1 + R_2 + R_3; \quad (3.11)$$

R_1 – tinko šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

R_2 – šiltinamosios vatos šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

R_3 – tuščiavidurių keraminių blokų šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 0,02 + 4 + 0,313 = 4,333 (m^2 \cdot K)/W.$$

Apskaičiuojame atitvarų visuminę šiluminę varžą:

Sienos vidinio paviršiaus šiluminė varža, kai šilumos srauto kryptis horizontali – $R_{si} = 0,13 m^2 \cdot K/W$. Sienos Išorinio paviršiaus šiluminė varža, $R_{se} = 0,04 m^2 \cdot K/W$ $R_t = R_{si} + R_s + R_{se}$;

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

R – sienelės suminė šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$;

R_{se} – išorės paviršiaus šiluminė varža $m^2 \cdot K/W$.

$$R_t = R_{si} + R + R_{se}$$

$$R_t = 0,13 + 4,333 + 0,04 = 4,503 (m^2 \cdot K)/W \quad (3.12)$$

Apskaičiuojame sienos perdavimo koeficientą per atitvaras:

$$U = \frac{1}{R_t}; \quad (3.13)$$

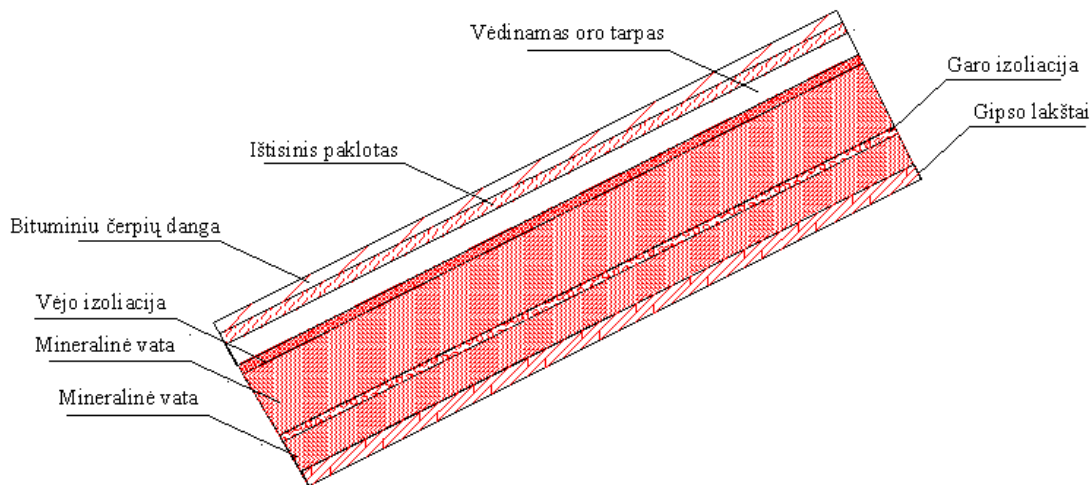
R_t – atitvarų visuminė šiluminė varža, $m^2 \cdot K/W$.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{4,503} = 0,22 W / (m^2 \cdot K)$$

3.2.2. Stogo varžos skaičiavimas

Apskaičiuojame stogo konstrukcijos atskirų sluoksnių šiluminės varžas:

Stogo konstrukcija pavaizduota 2.2 paveiksle.



3.3 pav. Stogo konstrukcija

Kadangi stogas yra su vėdinamu oro tarpu, tai oro tarpo ir sluoksnių, esančių į išorinę pusę nuo oro tarpo (stogo dangos), šiluminės varžos yra nevertinamos. Stogo konstrukcijos išorinio paviršiaus šiluminė varža yra prilyginama vidinio paviršiaus šiluminei varžai (kai šilumos srauto kryptis aukštyn) – $R_{se} = R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Apskaičiuojame mineralinės vatos šiluminę varžą:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{1,ds}}; \quad (3.14)$$

d - atitvaros sluoksnio storis, m;

λ_{ds} - projektinis šilumos laidumo koeficientas, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{1,ds}} = \frac{0,15}{0,046} = 3,26 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

Kadangi trečias sluoksnis yra garo izoliacija ir jis yra labai plonas, todėl jo varžą galima priimti $R_2 = 0,03 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

Apskaičiuojame mineralinės vatos šiluminę varžą:

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3}; \quad (3.15)$$

d - atitvaros sluoksnio storis, m;

λ – šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K).

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,1}{0,046} = 2,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

Apskaičiuojame gipso plokščių šiluminę varžą:

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4}; \quad (3.16)$$

d - atitvaros sluoksnio storis, m;

λ_{ds} - projektinis šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K).

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0,01}{0,2} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

Apskaičiuojame stogo šiluminę varžą:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4; \quad (3.17)$$

R_1 – mineralinės vatos šiluminė varža, m²·K/W;

R_2 – garo izoliacijos šiluminė varža, m²·K/W;

R_3 – mineralinės vatos šiluminė varža, m²·K/W;

R_4 – gipso plokščių šiluminė varža, m²·K/W;

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 3,26 + 0,03 + 2,17 + 0,05 = 5,51 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

Apskaičiuojame stogo visuminę šiluminę varžą:

Stogo vidinio paviršiaus šiluminė varža, kai šilumos srauto kryptis horizontali – $R_{si} = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Stogo išorinio paviršiaus šiluminė varža, $R_{se} = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ $R_t = R_{si} + R_s + R_{se}$;

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

R – sienelės suminė šiluminė varža, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

R_{se} – išorės paviršiaus šiluminė varža $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

$$\begin{aligned} R_t &= R_{si} + R + R_{se} \\ R_t &= 0,1 + 5,51 + 0,1 = 5,71 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Apskaičiuojame stogo perdavimo koeficientą per atitvaras:

$$U = \frac{1}{R_t}; \quad (3.19)$$

R_t – stogo visuminė šiluminė varža, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{5,71} = 0,175 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

3.2.3. Rūsio sienos varžos skaičiavimas

Apskaičiuoju rūsio sienų perdavimo koeficientą:

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda_{gr}}{\pi \cdot z} \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (3.20)$$

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

z – rūsio sienų požeminės dalies aukštis nuo rūsio grindų plokštės apačios, m.

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 1,42} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 2,39}{2,39 + 1,42} \right) \ln \left(\frac{1,42}{2,16} + 1 \right) = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Rūsio grindų atstojamasis storis:

$$d_t = w \cdot \lambda_{gr} \cdot (R_{si} + R_{bf} + R_{se}) \quad (3.21)$$

R_{bf} – rūsio grindų suminė varža, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

w – grindis ribojančios sienos storis, m.

$$d_t = 0,47 \cdot 2 \cdot (0,17 + 0,75 + 0,04) = 2,39 \text{ m}$$

Rūsio sienų atstojamasis storis:

$$d_w = \lambda_{gr} \cdot (R_{si} + R_{bw} + R_{se}) \quad (3.22)$$

R_{bw} – rūsio sienos požeminės dalies suminė šiluminė varža, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

$$d_w = 2 \cdot (0,17 + 0,87 + 0,04) = 2,16 \text{ m}$$

3.2.4. Šilumos balanso šaltuoju laikotarpiu skaičiavimas

Garažo skaičiavimo pavyzdys:

Šilumos nuostoliai per atitvaras:

$$Q_a = \sum U \cdot A \cdot (t_p - t_{is}) \cdot k_T; \quad (3.23)$$

$$Q_a = (0,22 \cdot 40,35 \cdot (21 - (-23)) \cdot 1) + (0,25 \cdot 22,31 \cdot (21 - 5) \cdot 1) = 480 \text{ W}$$

Šilumos nuostoliai per langus:

$$Q_l = \sum U \cdot A \cdot (t_p - t_{is}) \cdot k_T; \quad (3.24)$$

$$Q_l = 1,4 \cdot 0,62 \cdot (21 - (-23)) \cdot 1 = 38 \text{ W}$$

Šilumos nuostoliai per stogą:

$$Q_s = \sum U \cdot A \cdot (t_p - t_{is}) \cdot k_T; \quad (3.25)$$

$$Q_s = 0,175 \cdot 23,38 \cdot (21 - (-23)) \cdot 1 = 180 \text{ W}$$

Šilumos nuostoliai per šiluminius tiltelius:

$$Q_t = 0,3 \cdot Q_a = 0,3 \cdot 698 = 209 \text{ W}$$

Suminiai šilumos nuostoliai per atitvaras:

$$Q_{en} = Q_l + Q_a + Q_t + Q_s = 38 + 480 + 209 + 180 = 907 \text{ W} \quad (3.26)$$

3.2.5. Šiluminiai nuostoliai dėl vėdinimo

Apskaičiuoju šilumos nuostolius dėl priverstinio vėdinimo:

$$Q_{ev} = c \cdot \rho_i \cdot L_{ev} \cdot (1 - \eta_{hr}); \quad (3.27)$$

c – savitoji oro šiluma, $c \cong 0,279 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

ρ_i – patalpos oro tankis, $\rho \cong 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$;

L_{ev} – projektinis tiekiamo į patalpą oro debitas, m^3/h ;

η_{hr} – šilumos grąžos įrenginio naudingumo koeficientas.

$$Q_{ev} = 0,279 \cdot 1,2 \cdot 29 \cdot (1 - 0,8) = 1,94 \text{ W/K}$$

$$Q_{evn} = 1,94 \cdot (21 - (-23)) = 85 \text{ W}$$

Pataisa dėl patalpos padėties pastate:

$$k_g = \frac{\left| \frac{N}{2} - N_i + 1 \right| \cdot 0,05}{\sqrt{N}} \quad (3.28)$$
$$k_g = \frac{\left| \frac{2}{2} - 1 + 1 \right| \cdot 0,05}{\sqrt{2}} = 0,035$$

N – aukštų skaičius;

N_i – aukštas, kuriame yra nagrinėjamoji patalpa.

Apskaičiuoju infiltruojamo oro debitą:

$$L_{in} = n_{in} \cdot A_p \cdot h \cdot \Delta k_c (1 + \Delta k_b) \cdot (1 + k_g); \quad (3.29)$$

n_{in} – oro apykaita dėl infiltracijos, kartais/h;

A_p – patalpos plotas, (m^2);

h – patalpos aukštis, (m);

Δk_c – pataisa, įvertinanti infiltracijos padidėjimą kampinėse patalpose;

Δk_b – pataisa, įvertinanti vėdinimo sistemos rūšį;

k_g – pataisa, įvertinanti patalpos padėtį pastate.

$$L_{in} = 0,3 \cdot 22,31 \cdot 2,9 \cdot 1,1(1 + (-1)) \cdot (1 + 0,35) = 19,89 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Apskaičiuoju savituosius šilumos nuostolius dėl išorės oro infiltracijos:

$$Q_{in} = c \cdot \rho_i \cdot L_{in}; \quad (3.30)$$

$$Q_{in} = 0,279 \cdot 1,2 \cdot 19,89 = 6,66 \text{ W/K}$$

Šilumos nuostoliai dėl oro infiltracijos:

$$Q_{inf} = Q_{in} \cdot (t_p - t_{is}) = 6,66 \cdot (21 - (-23)) = 293 \text{ W} \quad (3.31)$$

Δt – infiltruojamo ir patalpos oro temperatūrų skirtumas, $^{\circ}\text{C}$.

Apskaičiuoju šilumos nuostolius dėl išorės durų oro infiltracijos:

$$Q_{de.} = 0,35 \cdot 1,5 \cdot \Delta k_c \cdot \frac{A_{pd}}{A_o} \cdot k_{d1} \cdot k_{d2} \cdot (1 + 0,2 \cdot h); \quad (3.32)$$

A_{pd} – šildomas pastato dalies plotas, m^2 , kurios gyventojai arba darbuotojai vaikšto pro atitinkamas įėjimo duris;

A_o – norminis plotas vienam žmogui, m^2 ;

k_{d1} – pataisos koeficientas, įvertinantis išorinių įėjimo durų varstymo dažnį atitinkamos paskirties pastatuose;

k_{d2} – pataisos koeficientas, įvertinantis išorinių įėjimo durų tipą;

h – aukštis nuo patalpos grindų, kurioje yra įėjimo durys, iki aukščiausiai pastate esančių šildomų patalpų lubų aukščiausio taško.

$$Q_{de.} = 0,35 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot \frac{178,6}{60} \cdot 7 \cdot 0,6 \cdot (1 + 0,2 \cdot 5,8) = 15,6 \text{ W/K} \quad (3.33)$$

$$Q_{den} = 15,6 \cdot (21 - (-23)) = 686 \text{ W}$$

Suminiai vėdinimo nuostoliai:

$$Q_v = Q_{evn} + Q_{inf} + Q_{den} \quad (3.34)$$

$$Q_v = 85 + 293 + 686 = 1064 \text{ W}$$

Nuostolių per atitvaras ir suminių nuostolių skaičiavimo rezultatai surašomi į 3.1 - 3.3 lenteles.

3.1 lentelė : šilumos nuostoliai per atitvaras rūsyje

c jos temp.	Atitvara							Q _{at} W	Q _{st} W	Q _v W	Q _s W	A, m ²	Q, W/m ²
	Pavad./ orientacija	Matmenys		Plotas, A,m ²	U,W/ /(m ² *K)	Θ ₁ -Θ _ε)* k °C	I+Σ Δk						
		L,m	H,m										
1	2	3	4	5	6	7	12	13	14	15	16		
Rūsys													
1 Pagalbinė patalpa 20 °C	fg			15,26	0,25	15,00	1,00	57					
	w			10,13	0,60	15,00	1,00	91					
	w	3,23	2,24	7,24	0,22	15,00	1,00	24					
	w	4,80	2,24	10,75	0,22	15,00	1,00	35					
	wd	1,37	0,45	0,62	1,40	44,00	1,00	38					
								246	74	208,3893	528	15,3	35
2 Katilinė 20 °C	fg			16,22	0,25	15,00	1,00	61					
	w			10,18	0,60	15,00	1,00	92					
	w	5,10	2,24	11,42	0,22	15,00	1,00	38					
	wd	1,37	0,45	0,62	1,40	44,00	1,00	38					
	wd	1,37	0,45	0,62	1,40	44,00	1,00	38					
								266	80	892,0838	1238	16,2	76

3.2 lentelė: šilumos nuostoliai per atitvaras I aukšte

c jos temp.	Atitvara							Q _{at} W	Q _{st} W	Q _v W	Q _s W	A, m ²	Q, W/m ²
	Pavad./ orientacija	Matmenys		Plotas, A,m ²	U,W/ /(m ² *K)	Θ ₁ -Θ _ε)* k °C	I+Σ Δk						
		L,m	H,m										
1	2	3	4	5	6	7	12	13	14	15	16		
I aukštas													
1 Garažas 21 °C	fg			22,31	0,25	16,00	1,00	89					
	w	2,38	6,32	15,04	0,22	44,00	1,00	146					
	w			3,81	0,22	44,00	1,00	37					
	w			21,50	0,22	44,00	1,00	208					
	r	6,32	3,70	23,38	0,18	44,00	1,00	180					
	wd	1,37	0,45	0,62	1,40	44,00	1,00	38					
								698	209	1065	1972	22,3	88
2 Priešpirtis su dušu 24 °C	fg			5,49	0,25	19,00	1,00	26					
	w			7,94	0,22	47,00	1,00	82					
	wd	1,37	0,45	0,62	1,40	47,00	1,00	41					
								149	45	89	282	5,49	51
3 Tambūras 21 °C	fg			4,11	0,25	16,00	1,00	16					
	w	1,26	2,76	3,48	0,22	44,00	1,00	34					
								50	15	753	818	4,11	199
4 Holas su laiptine 21 °C	fg			11,91	0,25	16,00	1,00	48					
								48	14	181	243	11,9	20
5 WC 21 °C	fg			2,52	0,25	16,00	1,00	10					
								10	3	38	51	2,52	20
6 Pirtis	fg			3,11	0,25	16,00	1,00	12					
	w	1,88	2,76	5,19	0,22	44,00	1,00	50					
								63	19	47	129	3,11	41
7 Kambarys 21 °C	fg			15,40	0,25	16,00	1,00	62					
	w	3,53	2,76	9,74	0,22	44,00	1,00	94					
	w			9,34	0,22	44,00	1,00	90					
	wd	2,77	1,41	3,91	1,40	44,00	1,00	241					
								487	146	269	902	15,4	59
8 Gyv. kambarys su virtuve 21 °C	fg			34,18	0,25	16,00	1,00	137					
	w			7,54	0,22	44,00	1,00	73					
	w			7,09	0,22	44,00	1,00	69					
	w			0,62	0,22	44,00	1,00	6					
	w			8,39	0,22	44,00	1,00	81					
	w			13,57	0,22	44,00	1,00	131					
	wd	2,93	0,93	2,72	1,40	44,00	1,00	168					
	wd	0,77	2,25	1,73	1,40	44,00	1,00	107					
	wd	2,17	2,25	4,88	1,40	44,00	1,00	301					
	r	2,17	2,25	4,88	1,40	44,00	1,00	301					
								1615	484	739	2838	34,2	83

3.3 lentelė: šilumos nuostoliai per atitvaras II aukšte

c jos temp.	Atitvara						Q _{at} W	Q _{st} W	Q _v W	Q _s W	A, m ²	Q, W/m ²		
	Pavad./ orientacija	Matmenys		Plotas, A, m ²	U, W/ (m ² *K)	Θ ₁ -Θ _ε * k °C							l+Σ Δk	
		L, m	H, m											
1	2	3	4	5	6	7	12	13	14	15	16			
2 aukštas														
1 Holas 21 °C	r			10,85	0,18	44,00	1,00	86						
	wd	0,90	1,13	1,02	1,40	44,00	1,00	63						
									149	45	124	317	8,29	38
2 Kambarys 21 °C	w			4,38	0,22	44,00	1,00	42						
	w			18,39	0,22	44,00	1,00	178						
	wd	1,37	1,41	1,93	1,40	44,00	1,00	119						
	wd	0,77	2,25	1,73	1,40	44,00	1,00	107						
	r	5,6	5,54	31,02	0,18	44,00	1,00	246						
									692	208	280	1180	16,3	72
3 Vonios kambarys 24 °C	w			3,96	0,22	47,00	1,00	41						
	wd	0,77	1,41	1,09	1,40	47,00	1,00	71						
	r	3,50	1,87	6,55	0,18	47,00	1,00	55						
									168	50	114	332	6,62	50
4 Kambarys 21 °C	w			9,33	0,22	44,00	1,00	90						
	w			9,32	0,22	44,00	1,00	90						
	wd	1,37	1,41	1,93	1,40	44,00	1,00	119						
	wd	0,77	2,25	1,73	1,40	44,00	1,00	107						
	wd	1,37	1,41	1,93	1,40	44,00	1,00	119						
	r	3,50	4,80	16,80	0,18	44,00	1,00	133						
								659	198	266	1122	16,6	68	
5 Drabužinė 21 °C	w			4,73	0,22	44,00	1,00	46						
	r	1,53	2,10	3,21	0,18	44,00	1,00	25						
									71	21	58	150	5,03	30
6 Pastogė 21 °C	w			1,87	0,22	44,00	1,00	18						
	r	3,23	4,30	13,89	0,18	44,00	1,00	110						
									128	38	55,8	222	7,4	30
											rūsys	1766		
											1a	7235		
											2a	3323		
											Viso W	12324		Ph
												13556		
												15053		P

Vėdinimo nuostolių skaičiavimo rezultatai surašomi į 3.4 - 3.6 lenteles. Šilumos nuostolių per skirtingas atitvaras palyginimas pateiktas 3.4 pav., šilumos perdavimo koeficientų palyginimas – 3.5 pav.

3.4 lentelė: šilumos nuostoliai rūsyje dėl vėdinimo

Patalpa	Plotas, m ²	Lev	η	n	h	Apd, m ²	Ao, m ²	Lin	Qev W/K	Qin W/K	Qde W/K	Qv W/K
1	2	5	6	7	8	12	13	17	18	19	20	21
Rūsys												
1 Pagalbinė patalpa	15,26	19,84	0,80	0,30	2,24	178,60	60,00	11	1	4	0	5
2 Katilinė	16,22	21,09	0,80	0,30	2,24	178,60	60,00	11	1	4	18	21

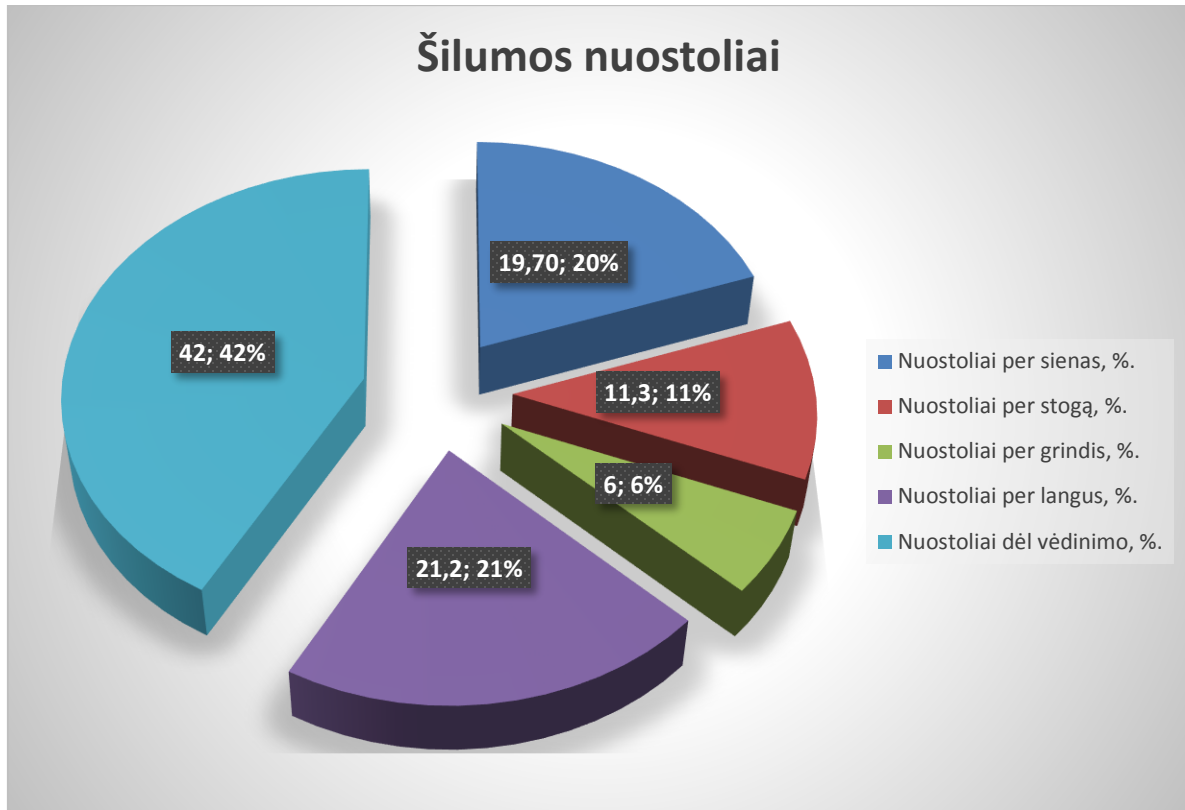
3.5 lentelė: šilumos nuostoliai I aukšte dėl vėdinimo

Patalpa	Plotas, m ²	Lev	η	n	h	Apd, m ²	Ao, m ²	Lin	Qev W/K	Qin W/K	Qde W/K	Qv W/K
1	2	5	6	7	8	12	13	17	18	19	20	21
I aukštas												
1 Garažas	22,31	29,00	0,80	0,30	2,90	178,60	60,00	20	2	7	18	24
2 Priešpirtis su dušu	5,08	6,60	0,80	0,30	2,76	178,60	60,00	4	0	1	0	2
3 Tambūras	4,11	5,34	0,80	0,30	2,76	178,60	60,00	3	0	1	16	17
4 Holas su laiptine	11,91	15,48	0,80	0,30	2,76	178,60	60,00	9	1	3	0	4
5 WC	2,52	3,28	0,80	0,30	2,76	178,60	60,00	2	0	1	0	1
6 Pirtis	3,11	4,04	0,80	0,30	2,76	178,60	60,00	2	0	1	0	1
7 Kambarys	15,4	20,02	0,80	0,30	2,76	178,60	60,00	14	1	5	0	6
8 Gyv. kambarys su virtuve	34,18	44,43	0,80	0,30	3,60	178,60	60,00	41	3	14	0	17

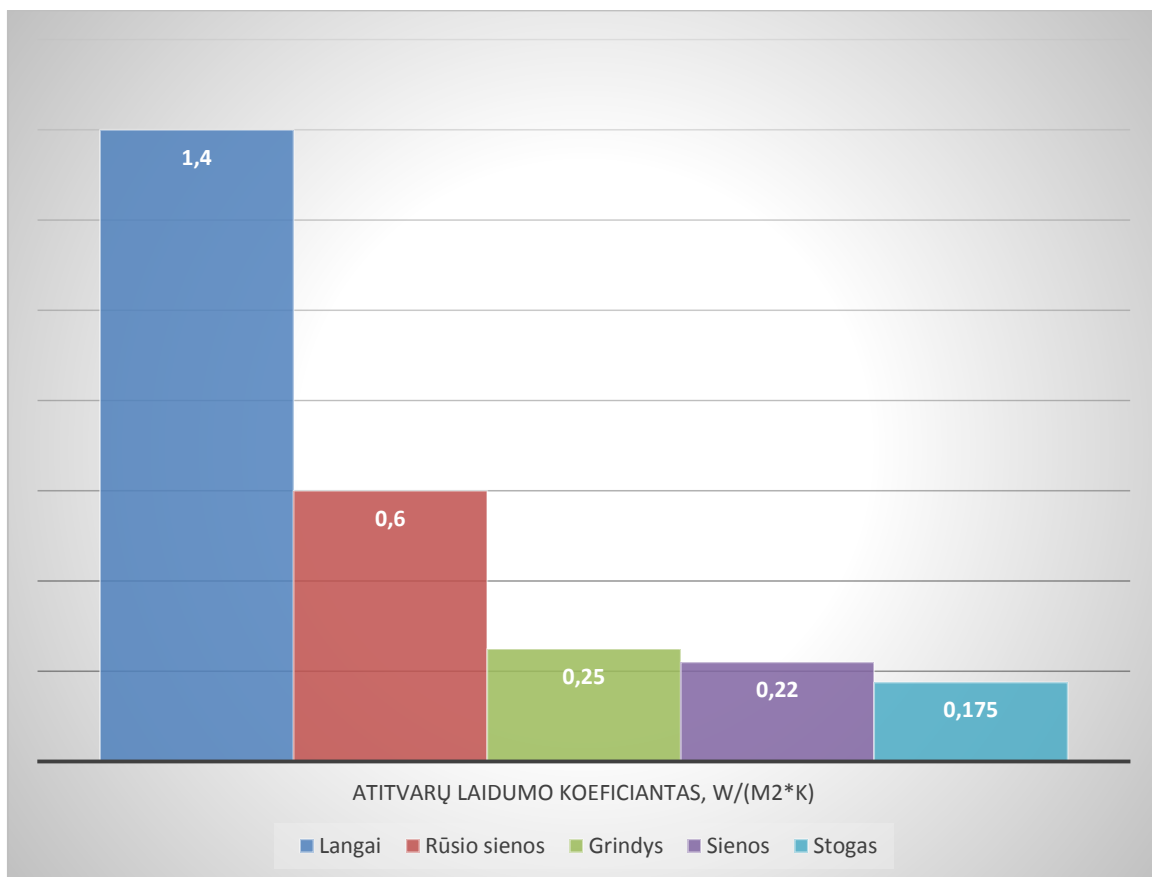
3.6 lentelė: šilumos nuostoliai II aukšte dėl vėdinimo

Patalpa	Plotas, m ²	Lev	η	n	h	Apd, m ²	Ao, m ²	Lin	Qev W/K	Qin W/K	Qde W/K	Qv W/K
1	2	5	6	7	8	12	13	17	18	19	20	21
II aukštas 2 aukštas												
1 Holas	8,29	10,78	0,80	0,30	2,70	178,60	60,00	6	1	2	0	3
2 Kambarys	16,33	21,23	0,80	0,30	2,70	178,60	60,00	15	1	5	0	6
3 Vonios kambarys	6,62	8,61	0,80	0,30	2,70	178,60	60,00	5	1	2	0	2
4 Kambarys	16,56	21,53	0,80	0,30	2,70	178,60	60,00	14	1	5	0	6
5 Drabužinė	3,85	5,01	0,80	0,30	2,70	178,60	60,00	3	0	1	0	1
6 Pastogė	7,4	9,62	0,80	0,30	0,90	178,60	60,00	2	1	1	0	1
											rūsys	26
											1a	72
											2a	20
											Viso W	118

Šilumos nuostoliai



3.4 pav. Šilumos nuostoliai, %.



3.5 pav. Atitvarų laidumo koeficientas, W/(m²·K)

3.2.6. Suminiai šilumos nuostoliai

Apskaičiuoju suminius šilumos nuostolius:

$$Q = Q_{en} + Q_v \quad (3.35)$$

$$Q = 9875 + 5178 = 15053 W$$

3.2.7. Metiniai šilumos poreikiai

Apskaičiuoju metinius šilumos poreikius:

$$Q_m = Q \cdot \frac{\theta_i - \theta_{s.sz.}}{\theta_i - \theta_e} \cdot t \cdot 24 \cdot 10^{-3}, \quad (3.36)$$

Q – visų patalpų šildymui reikalinga projektinė šiluminė galia, W ;

θ_i – pastato vidaus temperatūra (vyraujančių patalpų) $^{\circ}C$,

$\theta_{s.sz.}$ – šildymo sezono vidutinė temperatūra, $^{\circ}C$;

θ_e – projektinė išorės oro temperatūra, $^{\circ}C$;

t – šildymo sezono trukmė, paromis.

$$Q = 15053 \cdot \frac{21 - 0,2}{21 - (-23)} \cdot 225 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 38426 kWh$$

4. ŠILUMOS SIURBLIO CIKLO ANALIZĖ

4.1. Šilumos siurblio naudingumo skaičiavimas, naudojant skirtingus šaldymo agentus

Šiame paragrafe atliekamas šilumos siurblio efektyvumo koeficiento (COP) priklausomybė nuo šaldymo agento analizė. Reikiami duomenys randami naudojant programa Genetron Properties. Pasirenkami keturi dažniausiai naudojami šaldymo agentai: R134a, 407C, 410A ir R290. Taip pat analizuojami du šaldymo agentai, kurie atitiks visuotinio atšilimo potencialo reikalavimus kylančius nuo 2020 sausio 1 dienos. Analizei priimamos temperatūros: virimo – 10 °C, kondensacijos – 50 °C.

R134a

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3}; \quad (4.1)$$
$$m = \frac{17}{444 - 264} = 0,094 \text{ kg/s}$$

Q_{kd} – kondensatoriaus galia, kW;

h – entalpija, kJ/kg.

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4); \quad (4.2)$$
$$Q_0 = 0,094 \cdot (409 - 264) = 13,63 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1); \quad (4.3)$$
$$W = 0,094 \cdot (444 - 409) = 3,29 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W}; \quad (4.4)$$
$$COP = \frac{17}{3,29} = 5,167$$

R407C

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{460 - 265} = 0,087 \text{ kg / s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4);$$

$$Q_0 = 0,087 \cdot (421 - 265) = 13,572 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,087 \cdot (460 - 421,04) = 3,389 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{3,389} = 5,016$$

R410A

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{472 - 276} = 0,086 \text{ kg / s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_0 = 0,086 \cdot (431 - 276) = 13,33 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,086 \cdot (472 - 431) = 3,526 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{3,526} = 4,82$$

R290

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{662 - 321} = 0,049 \text{ kg/s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4);$$

$$Q_0 = 0,049 \cdot (595 - 321) = 13,426 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,049 \cdot (662 - 595) = 3,283 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{3,283} = 5,178$$

R448A

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{453 - 269} = 0,092 \text{ kg/s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4);$$

$$Q_0 = 0,092 \cdot (415 - 269) = 13,432 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,092 \cdot (453 - 415) = 3,496 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{3,496} = 4,863$$

R450A**Apskaičiuoju masinį debitą:**

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{435 - 264} = 0,099 \text{ kg/s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4);$$

$$Q_0 = 0,099 \cdot (401 - 264) = 13,563 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,099 \cdot (435 - 401) = 3,366 \text{ kW}$$

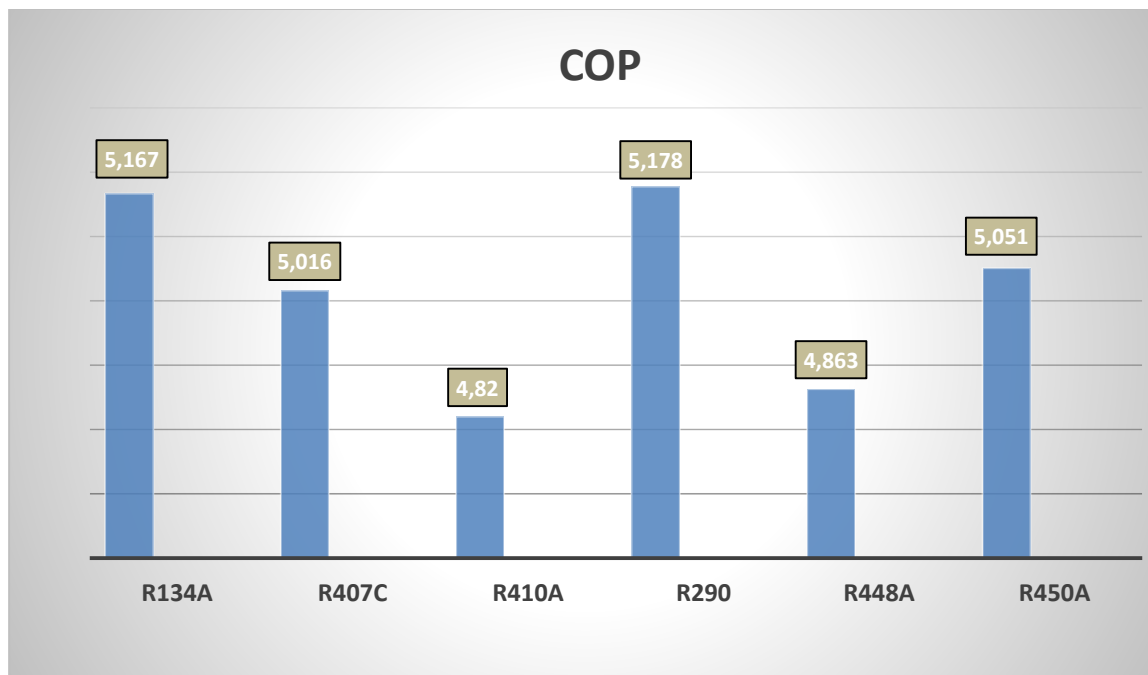
Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{3,366} = 5,051$$

4.1 lentelė: skaičiavimo rezultatai naudojant skirtingus šaldymo agentus

	R134A	R407C	R410A	R290	R448A	R450A
m, kg/s	0,094	0,087	0,086	0,049	0,092	0,099
Q ₀ , kW	13,63	13,572	13,33	13,426	13,432	13,563
W, kW	3,29	3,389	3,526	3,283	3,496	3,366
COP	5,167	5,016	4,82	5,178	4,863	5,051



4.1 pav. Šilumos siurblio COP priklausomai nuo šaldymo agento

Pagal atliktus skaičiavimus, matome, kad šilumos transformacijos koeficientas yra beveik vienodas lyginant šaldymo agentus R134a ir R290. Nuo šių šaldymo agentų nedaug skiriasi R450A ir R407C, jų šilumos transformacijos koeficientas yra tik apie 3% mažesnis. Mažiausias šilumos transformacijos koeficientas yra naudojant R410A ir R448A šaldymo agentus, jų koeficientas mažesnis apie 7%, lyginant su R134a ir R290.

4.2. Šilumos siurblio naudingumo skaičiavimas, naudojant skirtingus šilumos šaltinius

Analizei pasirinktas šaldymo agentas, kurį naudojant gautas didžiausias šilumos siurblio naudingumo koeficientas – R290.

Šilumos šaltinis gruntas:

Skaičiavimuose priimtose temperatūros: garavimo – $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kondensacijos – $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{677 - 322} = 0,048\text{kg} / \text{s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4);$$

$$Q_0 = 0,048 \cdot (578 - 322) = 12,288 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,048 \cdot (677 - 578) = 4,752 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{4,752} = 3,57$$

Šilumos šaltinis lauko oras:

Skaičiavimuose priimtos temperatūros: garavimo – -12 °C, kondensacijos – 50 °C.

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{685 - 322} = 0,047 \text{ kg/s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4)$$

$$Q_0 = 0,047 \cdot (569 - 322) = 11,609 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,047 \cdot (685 - 569) = 5,452 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{5,452} = 3,1$$

Šilumos šaltinis šalinamas oras:

Skaičiavimuose priimtos temperatūros: garavimo – 10 °C, kondensacijos – 50°C.

Apskaičiuoju masinį debitą:

$$m = \frac{Q_{kd}}{h_2 - h_3};$$

$$m = \frac{17}{662 - 321} = 0,049 \text{ kg/s}$$

Apskaičiuoju pilnąjį šalčio našumą:

$$Q_0 = m \cdot (h_1 - h_4);$$

$$Q_0 = 0,049 \cdot (595 - 321) = 13,426 \text{ kW}$$

Apskaičiuoju kompresorių naudojamą galią:

$$W = m \cdot (h_2 - h_1);$$

$$W = 0,049 \cdot (662 - 595) = 3,283 \text{ kW}$$

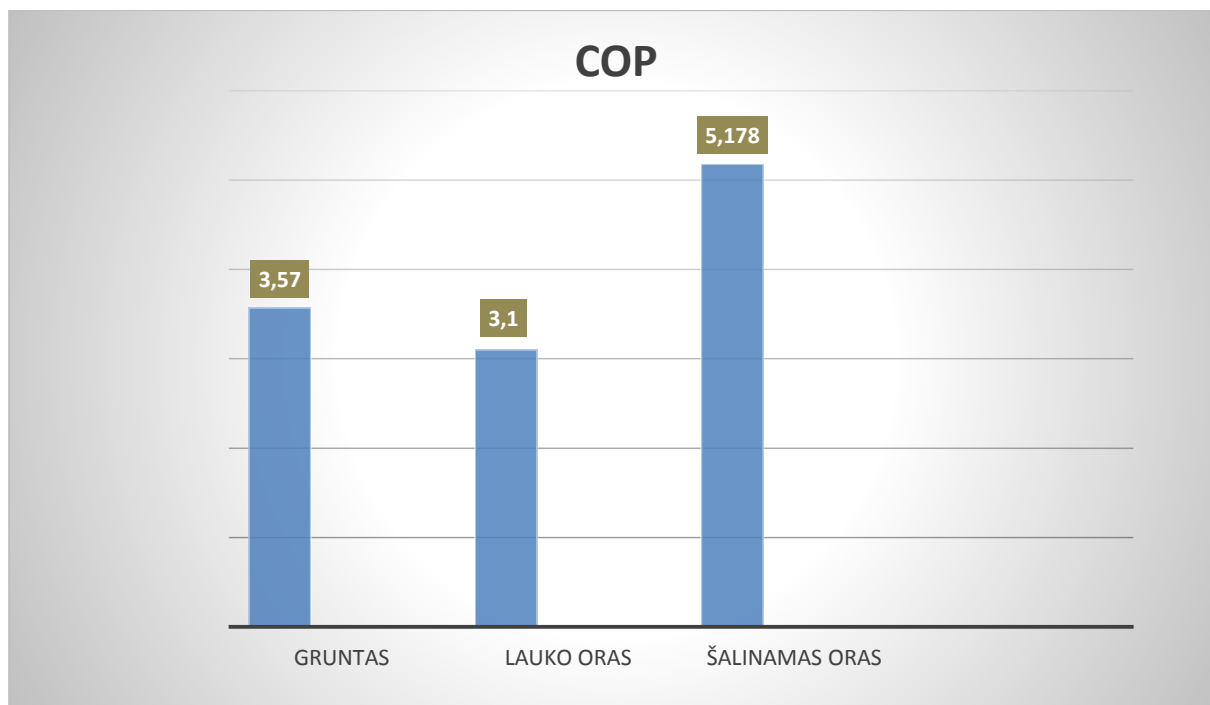
Apskaičiuoju šilumos transformacijos koeficientą:

$$COP = \frac{Q_{kd}}{W};$$

$$COP = \frac{17}{3,283} = 5,178$$

4.2lentelė: Skaičiavimo rezultatai naudojant skirtingus šilumos šaltinius

	Gruntas	Lauko oras	Šalinamas oras
m, kg/s	0,048	0,047	0,049
Q ₀ , kW	12,288	11,609	13,426
W, kW	4,752	5,452	3,283
COP	3,57	3,1	5,178



4.2 pav. Šilumos siurblio COP priklausomai nuo šilumos šaltinio

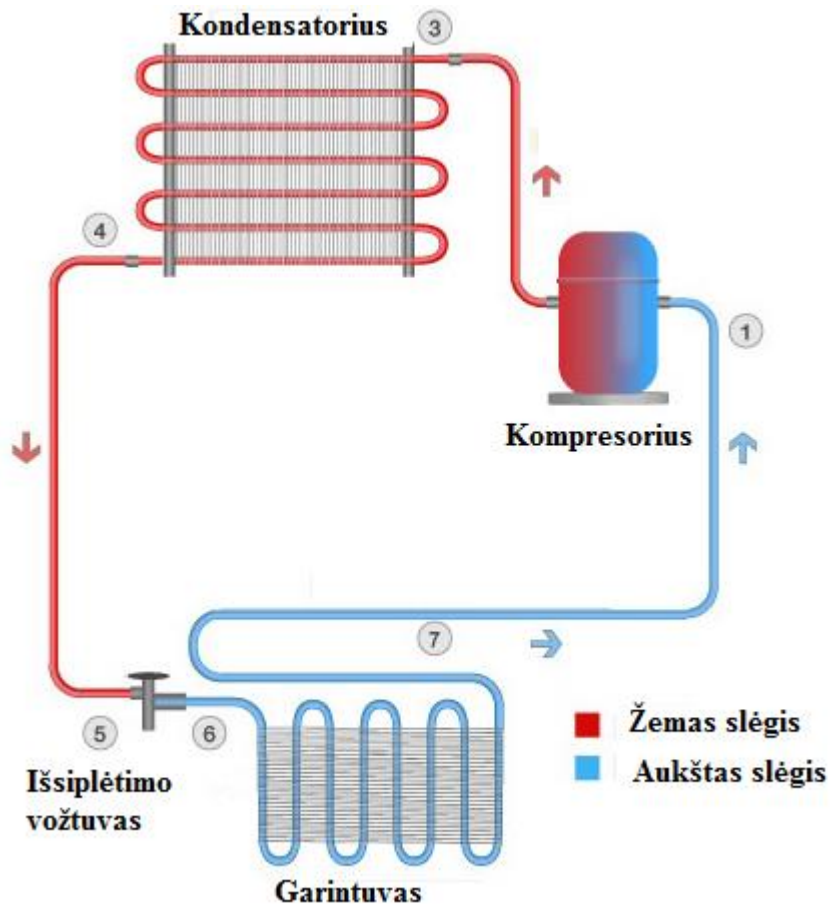
Lyginant šilumos transformacijos koeficientus pagal šilumos šaltinį, matome, kad naudingiausia naudoti kuo aukštesnės temperatūros šilumos šaltinį. Šiuo atveju naudingiausias yra šalinamas oras. Antras pagal naudingumą yra gruntas, kurio šilumos transformacijos koeficientas skiriasi 31,1%. Mažiausiai naudingas yra lauko oras, kurio koeficientas, lyginant su šalinamu oru skiriasi 40,2%.

4.3. Šilumos siurblio sistemų efektyvumo analizė

Šiame paragrafe nagrinėjami trijų šilumos siurblių tipų (paprastas šilumos siurblys, šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu ir šilumos siurblio sistema su skysčio įpurškimu) naudingumo koeficientai. Jų priklausomybė nuo kondensacijos bei garavimo temperatūrų ir šaldymo agento. Reikiami duomenys randami naudojant programą Genetron Properties.

4.3.1. Standartinis šilumos siurblys

Analizei atlikti naudojami trys šaldymo agentai: R290, R448A, R450A. Skaičiavimai atliekami naudojant tris skirtingus šilumos šaltinius: šalinamą orą (21 °C), gruntą (5 °C), lauko orą (-15 °C). Reikiami duomenys randami naudojant Genetron Properties programą.



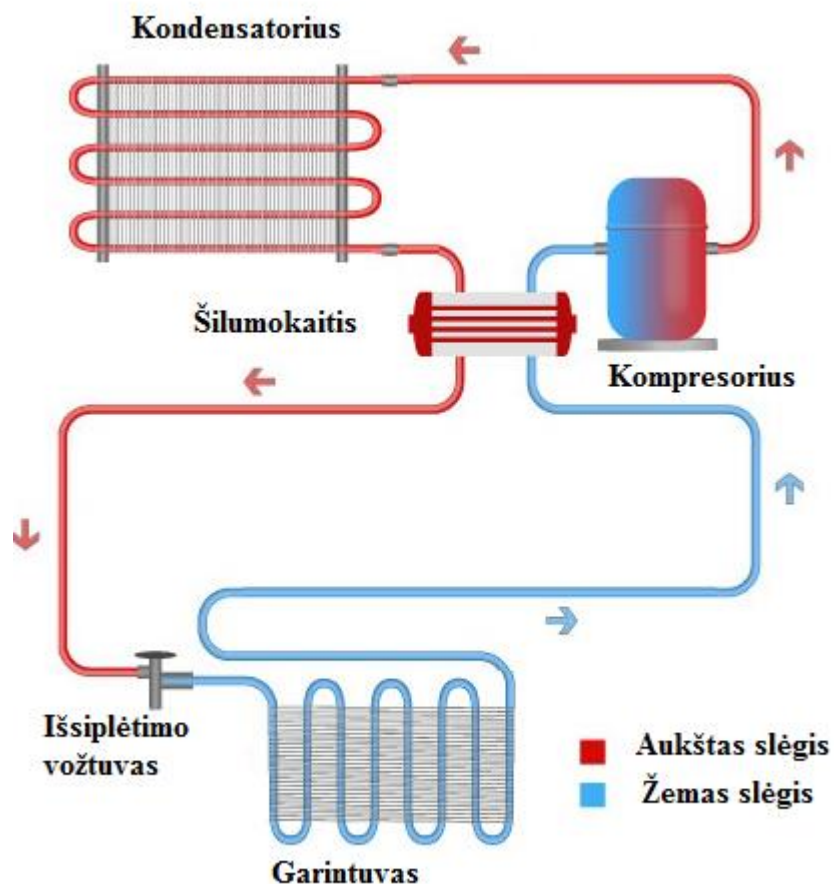
4.3 pav. Standartinis šilumos siurblys

4.3 lentelė: standartinio šilumos siurblio COP priklausomybė nuo šaldymo agento ir šilumos šaltinio

	R290	R448A	R450A
Šalinamas oras	6,407	6,18	6,51
Gruntas	4,444	4,296	4,482
Lauko oras	3,344	3,239	3,346

4.3.2. Šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu

Analizei atlikti naudojami trys šaldymo agentai: R290, R448A, R450A. Skaičiavimai atliekami naudojant tris skirtingus šilumos šaltinius: šalinamą orą (21 °C), gruntą (5 °C), lauko orą (-15 °C). Reikiami duomenys randami naudojant Genetron Properties programą.



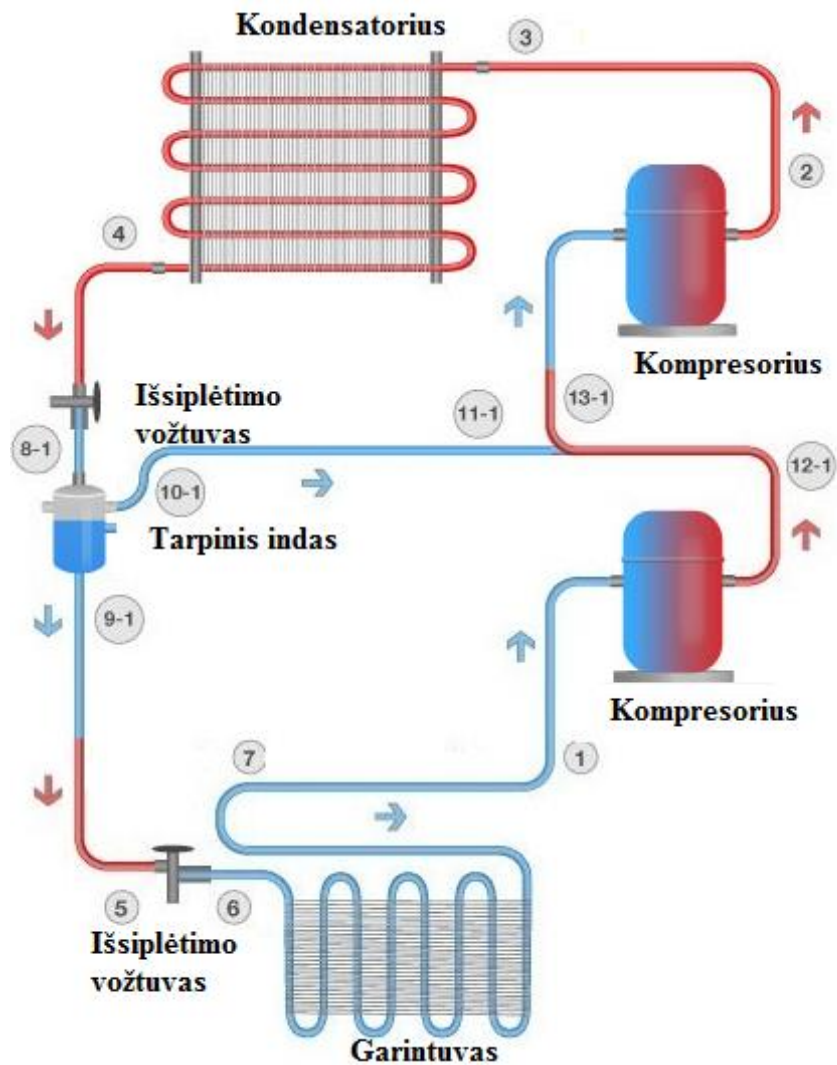
4.4 pav. Šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu

4.4 lentelė: šilumos siurblio su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu COP priklausomybė nuo šaldymo agento ir šilumos šaltinio

	R290	R448A	R450A
Šalinamas oras	6,571	6,31	6,717
Gruntas	4,671	4,482	4,756
Lauko oras	3,605	3,457	3,656

4.3.3. Dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu tarpiniu ataušinimu

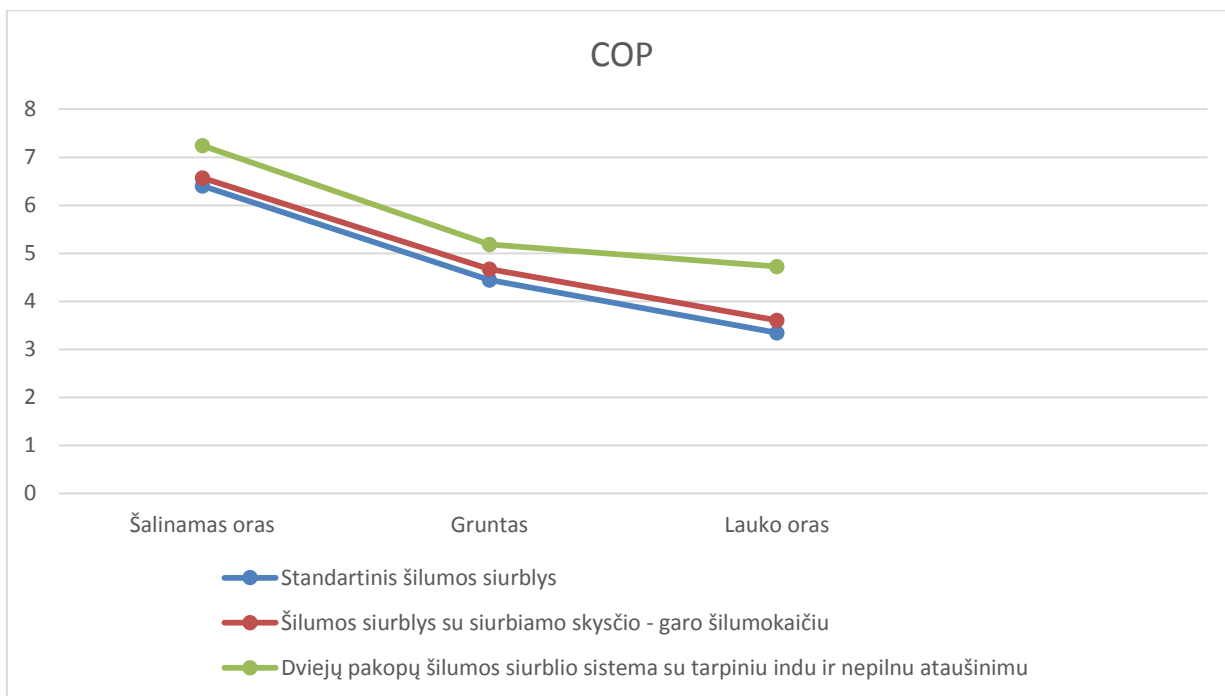
Analizei atlikti naudojami trys šaldymo agentai: R290, R448A, R450A. Skaičiavimai atliekami naudojant tris skirtingus šilumos šaltinius: šalinamą orą (21 °C), gruntą (5 °C), lauko orą (-15 °C). Reikiami duomenys randami naudojant Genetron Properties programą.



4.5 pav. Dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu tarpiniu ataušiniu

4.5 lentelė dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu tarpiniu ataušiniu COP priklausomybė nuo šaldymo agento ir šilumos šaltinio

	R290	R448A	R450A
Šalinamas oras	7,241	7,121	7,378
Gruntas	5,183	5,099	5,255
Lauko oras	4,726	4,649	4,785



4.6 pav. COP priklausomybė nuo šilumos siurblio tipo

Didėjant šaldymo agento garavimo temperatūrai didėja ir visų trijų šilumos siurblių tipų naudingumo koeficientas. Šiuo atveju geriausias prie visų šilumos šaltinių yra dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu ataušimu. Tačiau ryškus COP skirtumas matomas tik prie žemų šaldymo agento garavimo temperatūros. Esant aukštai garavimo temperatūrai COP skiriasi nedaug.

4.4. Žemės šilumokaičio skaičiavimas

Apskaičiuoju reikalingą plotą žemės kolektoriui:

$$F_E = \frac{Q_K}{q_E}; \quad (4.5)$$

Q_K – reikalinga šilumos galia, W;
 q_E – šiluma gaunama iš $1m^2$, W/m².

$$F_E = \frac{17000}{25} = 600m^2;$$

Apskaičiuoju eilių skaičių:

$$X = \frac{F_E \cdot 3}{60} = \frac{600m^2 \cdot 2m / m^2}{60m} = 20eilių \quad (4.6)$$

Apskaičiuoju šaldymo agento kiekį:

$$m = 20 \cdot 60 \cdot 0,531 = 637,2l$$

Apskaičiuoju šaldymo agento debitą per vieną žiedą:

$$Q = \frac{Q_{siurb}}{X \cdot 60}; \quad (4.7)$$

Q_{siurb} – siurblio debitas, l/h;

$$Q = \frac{2580}{20} = 129l/h$$

Apskaičiuoju slėgio nuostolius vamzdžiuose:

$$\Delta p_p = \Delta p_v \cdot 60 = 190,2 \cdot 60 = 11412Pa \quad (4.8)$$

Δp_v – slėgio nuostoliai 1m vamzdyje, Pa.

Apskaičiuoju sumius slėgio nuostolius:

$$\Delta p = \Delta p_p + \Delta p_s = 11412 + 9000 = 20412Pa \quad (4.9)$$

Δp_s – slėgio nuostoliai siurblyje, Pa.

Išvados:

1. Atlikus literatūros analizę galima teigti, kad pagrindiniai šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemose naudojamų šilumos siurblių, priskiriamų atsinaujinančių energijos išteklių įrenginiams, efektyvumo didinimo būdai yra šie: sistemų komponentų (kompresorių, šilumokaičių) tobulinimas, dabartinių ciklų tobulinimas, naujų darbinių medžiagų kūrimas. Nuolatos kuriamos šilumos siurblio efektyvumą didinančios priemonės, nauji šaldymo agentai, kurie turi mažesnį visuotinio atšilimo potencialą.

2. Atlikus programinės įrangos, skirtos šilumos siurblio skaičiavimui, analizę, pasirinkta Genetron Properties programa. Būtent joje yra galimybė pasirinkti šaldymo agentus, kurie atitiks kylančius visuotinio atšilimo potencialo reikalavimus nuo 2020 m. Sausio 1 d.

3. Apžvelgus ir išanalizavus namo charakteristikas galima teigti, kad namo atitvarų šiluminė varža yra vidutinio lygio, bet rekonstruoti ir papildomai apšiltinti šiuo metu neapsimoka. Tačiau būtina rekonstruoti šildymo sistemą, kuri yra labai neekonomiška.

4. Apskaičiuotos atitvarų šiluminės varžos: sienos – 4,333 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), stogo – 5,71 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), rūšio sienos – 0,6 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$), langų – 1,4 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$). Namo metiniai šilumos poreikiai yra 38426 kWh, jei patalpose bus palaikoma 21 °C oro temperatūra.

5. Atlikus šilumos siurblio naudingumo koeficiento priklausomybės nuo naudojamo šaldymo agento rūšies analizę paaiškėjo, kad šilumos transformacijos koeficientas yra beveik vienodas lyginant šaldymo agentus R134a ir R290. Nuo šių šaldymo agentų nedaug skiriasi R450A ir R407C, jų šilumos transformacijos koeficientas yra tik apie 3% mažesnis. Mažiausias šilumos transformacijos koeficientas yra naudojant R410A ir R448A šaldymo agentus, jų koeficientas mažesnis apie 7%, lyginant su R134a ir R290.

6. Analizavuos šilumos siurblio efektyvumas naudojant tris skirtingus šilumos šaltinius: šalinamą orą, gruntą ir lauko orą. Naudingiausia naudoti kuo aukštesnės temperatūros šilumos šaltinį. Šiuo atveju naudingiausias yra šalinamas oras. Antras pagal naudingumą yra gruntas, kurio šilumos transformacijos koeficientas skiriasi 31,1%. Mažiausiai naudingas yra lauko oras, kurio koeficientas, lyginant su šalinamu oru skiriasi 40,2%. Tačiau iš šalinamo oro atgautos šilumos nepakanka analizuoto namo visiems šilumos poreikiams patenkinti.

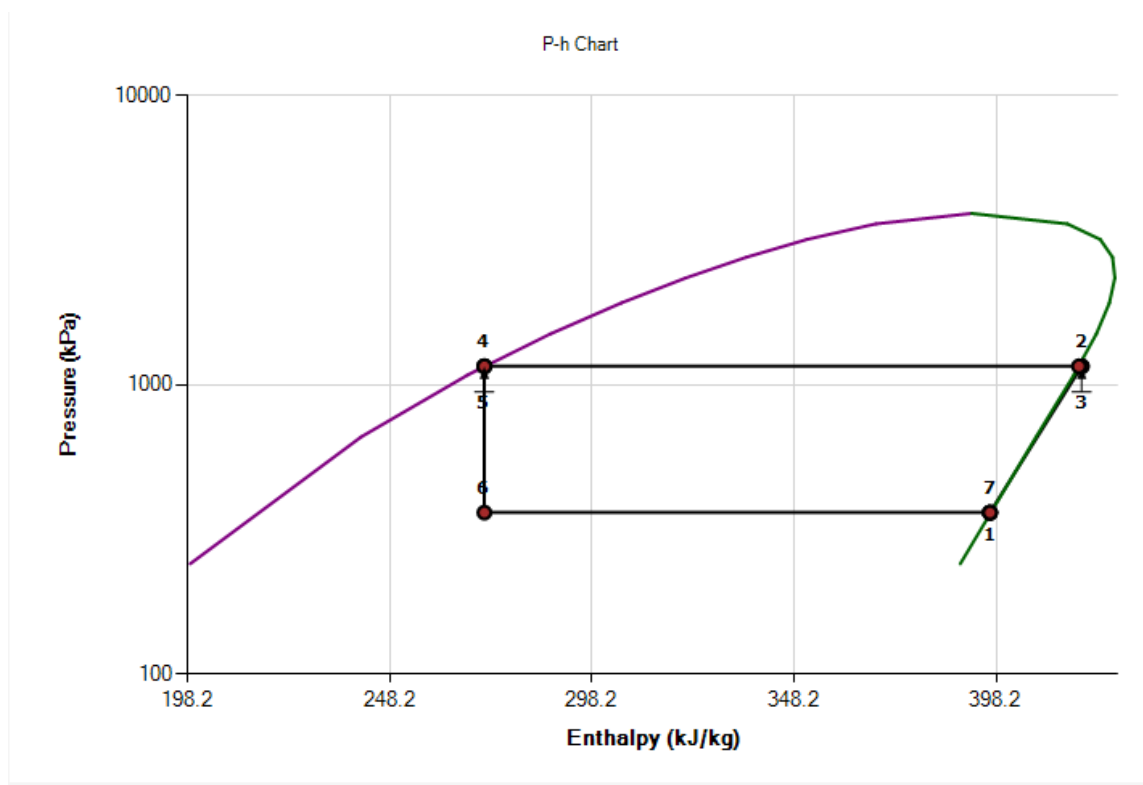
7. Atlikta šilumos siurblio efektyvumo analizė lyginant tris šilumos siurblių tipus: standartinis šilumos siurblys, šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu ir dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu ataušiniu. Didėjant šaldymo agento garavimo temperatūrai, kai ruošiamo karšto vandens temperatūra ta pati, didėja ir visų trijų šilumos siurblių tipų naudingumo koeficientas. Šiuo atveju efektyviausias prie visų šilumos šaltinių yra dviejų pakopų šilumos siurblio sistema su tarpiniu indu ir nepilnu ataušiniu. Tačiau ryškus COP skirtumas matomas tik prie žemos šaldymo agento garavimo temperatūros. Esant aukštai garavimo temperatūrai COP skiriasi nedaug.

Literatūra:

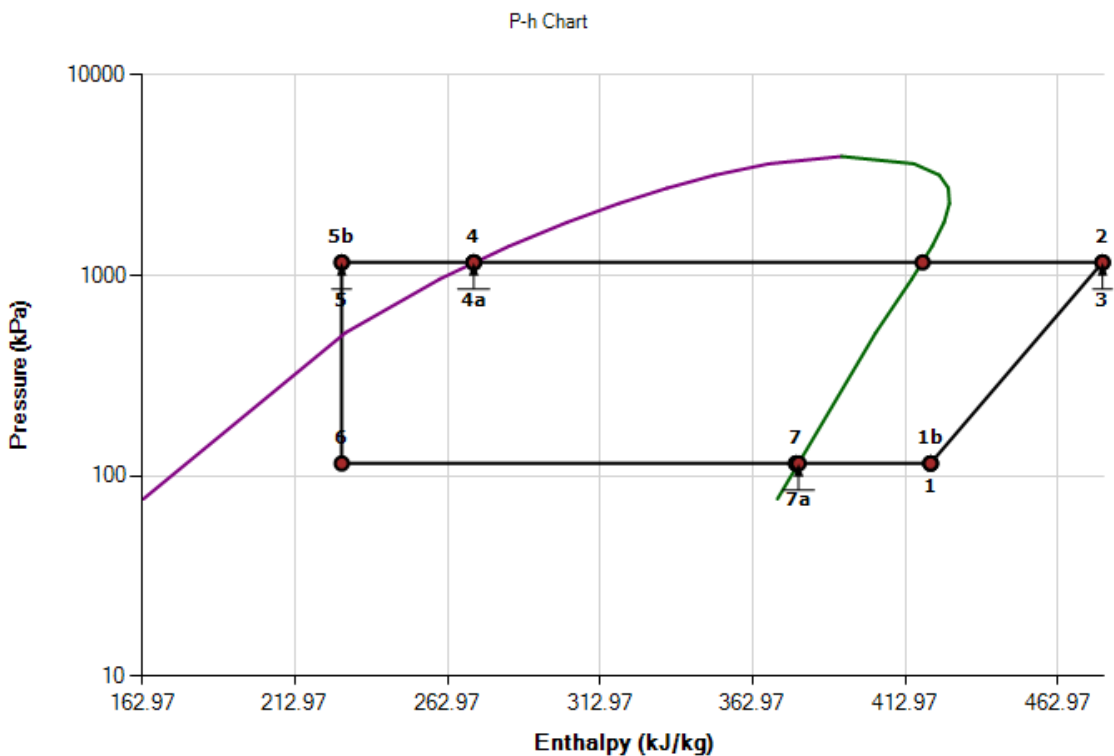
1. <http://www.kond.lt/informacija/silumos-siurblio-veikimo-principas.html> [Žiūrėta 2016 04 05]
2. <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/372/1/0/1/article/16198/naujos-kartos-silumos-siurbliai-pigiau-nei-dujos-patogiau-nei-malkos> [Žiūrėta 2016 04 06]
3. http://www.ena.lt/Ataskaitos/Geoterm_energ.pdf [Žiūrėta 2016 04 10]
4. <http://www.sprinterheating.com/how-your-heat-pump-works/> [Žiūrėta 2016 04 12]
5. Statybos techninis reglamentas 2.09.02:2005 Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=257930 [Žiūrėta 2016 04 15]
6. Statybos techninis reglamentas 2.01.09:2012 Pastatų energinis naudingumas. energinio naudingumo sertifikavimas. http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=431646&p_query=&p_tr2=2 [Žiūrėta 2016 04 18]
7. Higienos norma 42: 2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“ http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=362676&p_query=&p_tr2= [Žiūrėta 2016 04 18]
8. Statybos techninis reglamentas 2.09.04:2008 “Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui“ http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=320473&p_query=&p_tr2= [Žiūrėta 2016 04 18]
9. <https://www.honeywell-refrigerants.com/europe/genetron-properties-suite/> Statybos techninis reglamentas STR 2.09.04:2008 Pastato šildymo sistemos galia. Šilumos poreikis šildymui. [Žiūrėta 2016 04 18]
10. http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=320473&p_query=&p_tr2= [Žiūrėta 2016 04 18]
11. <http://mail.bankrotodep.lt/standards/catalog.php?ics=27.200&pid=642373> [Žiūrėta 2016 05 20]
12. <http://mail.bankrotodep.lt/standards/catalog.php?ics=27.200&pid=642810> [Žiūrėta 2016 05 10]
13. <http://mail.bankrotodep.lt/standards/catalog.php?ics=27.200&pid=642374> [Žiūrėta 2016 05 10]
14. <http://mail.bankrotodep.lt/standards/catalog.php?ics=27.200&pid=642375> [Žiūrėta 2016 05 10]
15. Refrigerant Report 18. Bitzer. A-501- 18. 44 p. https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/a-501-18-2.pdf [Žiūrėta 2016 05 15]
16. <http://chillers.ru/download/programms/CoolPackTutorial.pdf> [Žiūrėta 2016 05 15]
17. Europos parlamento ir tarybos reglamentas dėl fluorintų šiltnamio efektą sukelenčių dujų <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0517> [Žiūrėta 2016 05 20]

Priedai:

Standartinis šilumos siurblys su R450A šaldymo agentu:



Šilumos siurblys su siurbiamo garo – skysčio šilumokaičiu naudojant R450A šaldymo agentą:



Šilumos siurblys su skysčio įpurškimo Sistema, naudojant R450A šaldymo agentą:

