



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

Romanas Puškinas

**DAUGIABUČIŲ NAMŲ ENERGETINIO APRŪPINIMO
ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas: Doc. dr. Liutauras Vaitkus

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

DAUGIABUČIŲ NAMŲ ENERGETINIO APRŪPINIMO
ANALIZĖ

Baigiamasis magistro projektas

Termoinžinerija (621E30001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Liutauras Vaitkus
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Algimantas Balčius
(data)

Projektą atliko

(parašas) Romanas Puškinas
(data)

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO

(Fakultetas)

ROMANAS PUŠKINAS

(Studento vardas, pavardė)

TERMOINŽINERIJA (621E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Daugiabučių namų energetinio aprūpinimo analizė“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

2017 gegužės 23d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Romano Puškino**, baigiamasis projektas tema „Daugiabučių namų energetinio aprūpinimo 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 nenumatyty 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)

Romanas Puškinas. Daugiabučių namų energetinio aprūpinimo analizė: *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Liutauras Vaitkus; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis:

Reikšminiai žodžiai:

Kaunas, 2017. 46 p.

SANTRAUKA

Šiomis dienomis norint paversti centrinio šildymo sistemas patraukliomis būtina energiją naudoti efektyviai. Tai galima pasiekti tik atnaujinant senas, neefektyvias esamų daugiabučių namų šildymo sistemas.

Šiame baigiamajame magistro darbe įvertinamas gyvenamo namo energetinis poreikis ir analizuojami jo alternatyvūs energijos aprūpinimo būdai, tokie kaip saulės kolektoriai ir šilumos siurbliai, kurie būtų tinkami palaikyti reikiamus vidaus patalpų temperatūros parametrus, bei tenkinti gyventojų lūkesčius. Išnagrinėjamas šių įrenginių veikimas, jų termodinaminė analizė bei privalumai. Atiliekamas ekonominis ir technologinis sistemos veikimo įvertinimas. Apibendrinus teorines žinias ir gautus skaičiavimų rezultatus, pateikiamos išvados ir pasiūlymai.

Romanas Puškinas. THE ANALYSIS OF ENERGY SUPPLY FOR MULTI-FAMILY BUILDINGS: supervisor assoc. prof. Liutauras Vaitkus. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: —

Key words:

Kaunas, 2017. 46 p.

SUMMARY

In these days saving days to convert the heating systems must be attractive to use energy efficiently. This can only be achieved by updating the old, inefficient existing apartment building heating systems.

In this final master work I measurable house apartment building energy demand and analyze the alternative power supply techniques such as solar collectors and heat pumps which are suitable for maintaining the required indoor temperature settings, and could realize wishes of the people. I explore the performance of the units, the thermodynamic analysis and advantages of this. At the end of work I make economic and technological system performance evaluation. Summarizing the theoretical knowledge and the obtained results, I place conclusions and recommendations.

Turinys

1.	Energijos taupymas Europoje	10
2.	Daugiabučiai namai Lietuvoje	10
3.	Alternatyvūs energijos aprūpinimo būdai	12
3.1.	Šilumos siurblio veikimo principas	12
3.2.	Šilumos siurbių energijos šaltiniai	14
3.3.	Saulės kolektoriai	16
4.	Pastato energijos poreikiai	17
4.1.	Pastato šilumos poreikiai	18
4.2.	Pastato vėdinimo poreikiai	20
4.3.	Pastato karšto vandens poreikiai	21
5.	Termodinaminė analizė	24
5.1.	Šilumos siurblys ir saulės kolektoriai	24
5.2.	Vienkopis oras-vanduo šilumos siurblys	29
5.3.	Dvikopis oras-vanduo šilumos siurblys	26
6.	Poveikio aplinkai vertinimas	35
6.1.	Šilumos siurblys ir saulės kolektoriai, šilumos siurblyje darbo agentu naudojant freoną R32	37
6.2.	Vienkopis šilumos siurblys darbo agentu naudojant freoną R32	38
7.	Šilumos siurbių atsipirkimo įveertinimas	40
7.1.	Lyginimas su CŠT	40
7.2.	Lyginimas su elektriniu vandens šildytuvu	41
7.3.	Lyginimas su dujine kolonėle	42

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.	1 lentelė. Daugiabučių namų statyba pagal metus.....	11
2.	2 lentelė. Pastato korpusų duomenys.....	17
3.	3 lentelė. B klasės energinio naudingumo pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai ir geometrinės charakteristikos.....	18
4.	4 lentelė. Skaičiuotinos vidaus temperatūros patalpose.....	18
5.	5 lentelė. Faktinis pastato šilumos suvartojimas.....	19
6.	6 lentelė. Faktiniai karšto vandens poreikiai	23
7.	7 lentelė. Namų šiluminės galios poreikiai	24
8.	8 lentelė. Termodinaminio ciklo taškų duomenys	28
9.	9 lentelė. Termodinaminio ciklo taškų duomenys	33
10.	10 lentelė. Alternatyvų lyginimas su CŠT	41
11.	11 lentelė. Alternatyvų lyginimas su elektriniu pašildytuvu	42
12.	12 lentelė. Alternatyvų lyginimas su dujine kolonėje.....	43

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1.	1 pav. Šilumos siurblio principinė schema	13
2.	2 pav. Principinė schema	25
3.	3 pav. Šilumos siurblio principinė schema	26
4.	4 pav. Kompresoriaus techninės charakteristikos	26
5.	5 pav. Kompresoriaus techninės charakteristikos	27
6.	6 pav. Kompresoriaus veikimo grafikas	29
7.	7 pav. Šilumos siurblio principinė schema	31
8.	8 pav. Kompresoriaus techninės charakteristikos	31
9.	9 pav. Kompresoriaus techninės charakteristikos	32
10.	10 pav. Kompresoriaus veikimo grafikas	34
11.	11 pav. Temperatūros pasiskirstymas $y=0$ mm plokštumoje	36
12.	12 pav. Schemos a) skysto b) dviejų fazių ipurškimo sistemos	36
13.	13 pav. Termodinaminio ciklo taškų duomenys	37
14.	14 pav. Termodinaminio ciklo taškų duomenys	39

Įvadas

Lietuvoje daugelis žmonių gyvena senos statybos nerenovuotose daugiabučiuose namuose. Jų išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientai ženkliai skiriasi nuo šiuolaikinių standartų, taip pat pastatui senstant minėtas koeficientas dar labiau didėja, taigi atitvaros praranda savo šilumines savybes ir pastatas naudoja daugiau šilumos.

Patalpose turi būti sukurtos žmonėms ilsėtis ir dirbti palankios sąlygos bei deramas šilumos komforto lygis, išvengiama šilumos, šalčio, tvankumo ir drėgmės sukeltos įtakos. Bandymais nustatyta ir patvirtinta, kad nėra sąlygų, kurios tenkintų visus patalpose esančią žmones, todėl tikėtina, kad visada bus bent 5 proc. nepatenkintų. Pagal higienos normų reikalavimus gyvenamose patalpose oro kokybė atitiks komforto sąlygas žiemą, kai jose temperatūra bus 18-22 °C, santykinė drėgmė – 35-60 proc., o oro judėjimo greitis ne didesnis nei 0,15 m/s.

Pagrindiniai centralizuotai tiekiamos šilumos vartotojai yra gyventojai, gyvenantys daugiabučiuose gyvenamuosiuose pastatuose. Centralizuoto šildymo patrauklumas labai priklauso ir nuo galimybės pačiam vartotojui reguliuoti šiluminės energijos vartojimą. Deja tokią galimybę turi tik maža dalis CŠT sistemomis besinaudojančių gyventojų daugiabučiuose.

Šiame darbe keliamas tikslas yra rasti optimaliausią energijos aprūpinimą nagrinėjamam objektui – daugiabučiam gyvenamajam namui, kuriame įrengtas sporto klubas ir maitimo įstaiga. Šiam tikslui pasiekti apžvelgiame:

- Lietuvos daugiabučių namų techninę būklę
- Išanalizuojame galimus namo energijos aprūpinimo variantus
- Išanalizuojamas nagrinėjamo daugiabučio energijos suvartojimas
- Energijos aprūpinimo būdų termodinaminė analizė
- Alternatyvių energijos aprūpinimo būdų ekonominė analizė
- Pateikiamas išvados

1. Energijos taupymas Europoje

Energijos taupymas tapo vienu iš svarbiausių prioritetų Europos sąjungoje, daug dėmesio skiriama šiluminėms charakteristikoms statybos sektoriuje. Šiuo metu kai kurios Europos sąjungos narės, tarp jų ir Lietuva, susiduria su sunkumais mažinant senų, praeitame amžiuje statytų namų, energijos suvartojimą, kadangi dauguma tuo metu statytų namų yra prastos šiluminės izoliacijos, šilumos punktai bei šildymo sistemos juose yra pasenusios, todėl jų energijos suvartojimas yra labai reikšmingas. Priimtos Europos sąjungos direktyvos nurodo, kad energijos sunaudojimai naujos statybos namuose turi būti gerokai sumažinti, taip pat daug pastangų dedama į taip vadinamuosius nulinės energijos namus, kurių statybos turėtų prasidėti 2020m. Tačiau šiuo metu daugiabučių namų energijos vartojimas vis dar yra opi problema, kadangi yra daug namų pastatytų iki 1995m., todėl energijos naudojimo mažinimas yra puikus iššūkis visiems jų gyventojams, bei valstybėms.

2. Daugiabučiai namai Lietuvoje

Didžiausia gyventojų dalis Lietuvoje gyvena daugiabučiuose namuose. Dauguma šių pastatų pastatyti 1960–1990 metais. Daugiabučių namų statybos laikotarpiai pateikti 1 lentelėje. Jų išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientai ženkliai skiriasi nuo šiuolaikinių standartų, taip pat pastatui senstant, minėtas koeficientas dar labiau didėja, taigi atitvaros praranda savo šiluminės savybes ir pastatas naudoja daugiau šilumos.

Žinoma, jog tuo metu statytų pastatų energetinis efektyvumas yra labai prastas. Renkantis pastatų konstrukcijas ir inžinerines sistemas nebuvo kreiptas didelis dėmesys į kuro kainas ir sąnaudas, todėl jie yra labai reiklūs energijai. Teigiama, kad šiuo metu Lietuvoje daugiausia yra būtent tokių daugiabučių. Yra nuomonių, jog apsimokėtų juos nugriauti ir tiesiog pastatyti naujus. Atlikus daug darbų ir analizių prieita išvados, kad pastatų energetinė renovacija yra naudinga ekonominiu ir aplinkosauginiu požiūriu, todėl šiame ieškosi geriausių sprendimų ją atlikti.

1 lentelė. Daugiabučių namų statyba pagal metus

Laikotarpis (metais)	Pastatų dalis, %
Iki 1918	3
1918–1940	11
1941-1950	4
1951-1960	8
1961-1970	19
1971-1981	25
1981-1990	25
1991-1996	5

Dauguma šių namų yra šildomi centralizuotos šildymo tiekimo (CŠT) sistemos pagalba. Ankščiau galėjome sakyti kad tai yra pats pigiausias ir racionaliausias būdas šildyti savo namus. Tačiau kylant CŠT kainoms, šio šildymo būdo skeptikų kasmet vis daugėja. Kiekvieno daugiabučio namo bendrasavininkai gali nuspręsti kokį šildymo būdą pasirinkti. Jeigu anksčiau renkantis didžiausias dėmesys buvo kreipiamas į pradines investicijas, tai šiuo metu vis labiau atsisželgiama sistemos gyvavimo ciklo sąnaudoms, bei vis labiau aktualėjančias aplinkosaugines problemas.

Visame pasaulyje augant aplinkosauginėms problemoms vis labiau yra kontroliuojamas išmetamų į aplinką teršalų kiekis. Ieškoma įvairių būdų, kaip panaudoti atsinaujinančius energijos išteklius, kurie ne tik neteršia gamtos, bet yra ir daug pigesnė energijos gamybos alternatyva. Vis dažniau yra naudojami šilumos siurbliai, kurių naudingumo koeficientas yra palyginti aukštas. Šilumos siurblio naudingumo koeficientas labai smarkiai priklauso nuo žemutinės temperatūros, todėl yra labai svarbu gerai apskaičiuoti, kuris iš šaltinio nuvedimo būdų yra pats geriausias ir tinkamiausias tam tikrai situacijai.

Siekiant pagerinti ir taip ganėtinai neblogą šilumos siurblių naudingumo koeficientą, yra siūloma įrengti vakuuminių saulės kolektorių ir šilumos siurblio sistemą, kuri šiame darbe yra apžvelgiama. Ši technologija užtikrina išskirtinį COP koeficientą ištisus metus - aukšto ir žemo energijos poreikavimo laikotarpiais.

Dar viena vis labiau populiarėjanti šilumos siurblių sistema yra oriniai šilumos siurbliai, nuvedant šaltį į aplinką. Ši sistema yra daug pigesnė ir paplitusi šalyse, kuriose daugiausia

skliauto temperatūra yra teigiamos temperatūros (~20°C). Kadangi Lietuvoje žiemą ir aplinkos, ir skliauto temperatūra neigiama, norint pritaikyti šią sistemą mūsų sąlygoms yra daromi keli pakeitimai:

- Panaudojamas dvipakopis suslėgimas
- Parenkami darbo agentai Freonas R410A ir R32

Šiame darbe bus bandoma rasti optimaliausią iš aukčiau paminėtų šilumos siurblio technologinių sistemų, apsirūpinimui daugiabučio namo energetiniams poreikiams. Taip pat apibendrinant, sistemos atsipirkimas bus palyginamas ir su CŠT, elektriniu vandens pašildytuvu bei dujine kolonėle.

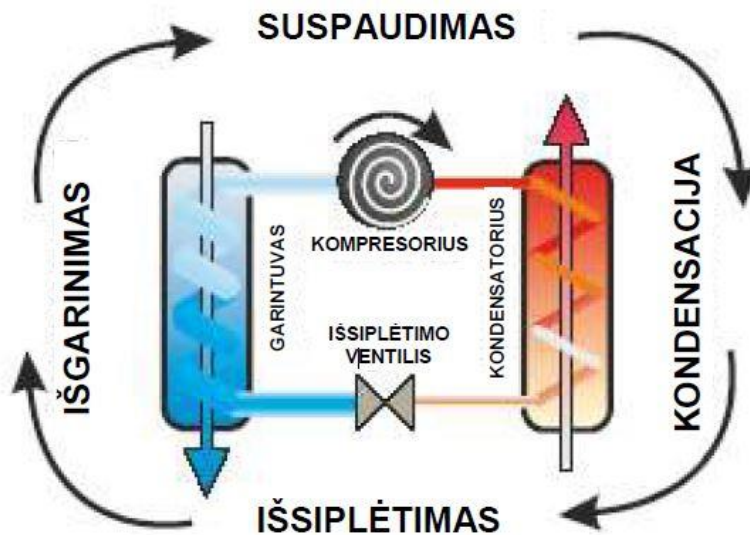
3. Alternatyvus energijos aprūpinimo būdai

3.1 Šilumos siurblio veikimo principas

Šiluma yra perduodama iš aukštesnės temperatūros aplinkos į žemesnės temperatūros aplinką. Šilumos siurblys yra technologija, kuri, panaudodama sąlyginai nedidelį kiekį aukštos kokybės energijos (elektros energijos, aukštos temperatūros šilumos), šilumą pasiima iš šaltesnio kūno ir perduoda šiltesniam. Tokiu būdu šilumos siurbliai paima šilumą iš aplinkos (aplinkos oro, gruntinio vandens, nuotėkų) ir panaudoja ją patalpoms šildyti.

Teoriškai šilumos kiekis, tiekimas šilumos siurblių, yra lygus šilumos kiekio, paimamo iš aplinkos ir sunaudotos aukšto potencialo energijos sumai. Paprasčiausi šilumos siurbliai, sunaudodami 20-40 kWh elektros energijos, tiekia apie 100 kWh šilumos energijos pastatų šildymui ir karštam vandeniui ruošti. Pramoniniai šilumos siurbliai yra netgi dar efektyvesni. Taigi, šilumos siurblių technologija leidžia panaudoti elektros energiją daug efektyviau.

Dažniausiai pasitaikantys pastatų šildymui pritaikyti šilumos siurbliai veikia garo kompresijos principu. Šie šilumos siurbliai yra sudaryti iš 4 pagrindinių elementų: kompresoriaus, išsiplėtimo vožtuvo ir dviejų šilumokaičių (garintuvo ir kondensatoriaus). Vieni šie elementai yra sujungti į uždarą žiedą, kuriuo cirkuliuoja lakus skystis – šaldymo agentas.



1 pav. Šilumos siurblio principinė schema

Garintuve šaldymo agento temperatūra yra palaikoma žemesne už aplinkos, ko pasekoje šiluma yra paaimama iš aplinkos, o šaldymo agentas išgaruoja. Tada šaldymo agentas kompresoriaus pagalba yra suspaudžiamas, pakeliant agento slėgimą ir temperatūrą. Karštas šaldymo agento gasas patenka į kondensatorių, kur atiduoda šilumą naudingais (patalpų, vandens šildymo) tikslais ir susikondensuoja. Aukšto slėgio šaldymo agento skystis išsiplečia, praeidamas per išsiplėtimo vožtuvą, čia krenta jo temperatūra ir slėgis. Tada jis vėl nukreipimas į garintuvą.

Kompresorius paprastai dirba varomas elektros variklio pagalba, tačiau kartais ir vidaus degimo variklio pagalba.

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.

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. —

COP koeficientas parodo momentinį šilumos siurblio efektyvumą prie tam tikrų sąlygų. 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 pateiktos šilumos temperatūrų svyravimus, energijos poreikius garintuvo atitirpinimui nuo ledo.

3.2 Šilumos siurblių energijos 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, pakankamame kiekyje, 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 garintuvo periodiškam atitirpinimui nuo ledo. Todėl vidutinis metinis šilumos siurblių, išnaudojančių 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

kombinuojamos 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 galima 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 vandenius. Naudojant tokią sistemą, reikia atsižvelgti į užšalimo, korozijos, šilumokaičių užkalkėjimo faktorius. Naudojant uždara sistemą, vanduo yra cirkuliuojamas uždaru ratu. Gruntinių vandenių 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 pernešant 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.

- Uolienos (temperatūra 3 - 8°C)

Naudojamas kaip šilumos šaltinis, nesant gruntinio vandens. Paprastai daromi 100-200 metrų gręžiniai, į juos leidžiami vamzdžiai, kuriais cirkuliuoja vandens-druskos, glikolio mišinys. Dėl didelių investicijų, reikalingų šio šilumos šaltinio panaudojimui, naudojamas tik stambiuose komerciniuose pastatuose.

- Kanalizacija, nuotekos (temperatūra >10°C)

Šilumos šaltinis, charakterizuojamas sąlyginai aukšta ir pastovia temperatūra. Dažniausiai panaudojama valyta ir nevalyta kanalizacija, pramoniniai srautai, pramonėje arba elektros generavime naudojamas aušinantis vanduo. Šio šilumos šaltinio naudojimą pasatų šildymui dažniausiai riboja nemaži atstumai nuo šilumos šaltinio iki vartotojų bei nedideli šilumos kiekiai.

3.3 Saulės kolektoriai

Vidutiniškai per metus žemės paviršiu Lietuvoje pasiekia apie 1000 kWh/m² saulės radiacijos kiekis, tai tik šiek tiek mažiau nei Centrinėje Europoje. Lietuvą pasiekiantis saulės energijos kiekis yra pakankamas, kad būtų galima gaminti šiluminę energiją. Šiame darbe įvertinsiu galimybę daugiabučiame name sumontuoti saulės kolektorius, kurie bus naudojami daliniam vandens pašildymui, bei daliniam patalpų šildymui. Saulės kolektoriai gali būti plokštieji arba vaakuminiai.

Plokštieji saulės kolektoriai - pagrindiniai plokščiojo kolektoriaus elementai yra absorberis, vamzdelis su tarpiniu šilumos nešėju- vandieniu, skaidrus dangtis, šilumos izoliacijos sluoksnis, korpusas.

Absorberis daromas iš vario arba aliuminio. Absorberyje saulės energija paverčiama šilumine energija. Tarp absorberio ir išorinio karkaso nėra vakuumo, todėl nuostoliai į aplinką yra daug didesni, nei vakuuminių saulės kolektorių, tai lemia mažesnę plokščiųjų kolektorių efektyvumą.

Plokštieji kolektoriai labiau tinka, jei norite saulės energija panaudoti balandžio - rugsėjo mėnesiais, pavyzdžiui karšto vandens ruošimas ar lauko baseino pašildymas. Plokštieji kolektoriai yra sąlyginai pigūs, nereikalaujantys priežiūros ir ilgamžiai.

Vakuuminiai saulės kolektoriai yra efektyvesni ir pasiekia gerokai aukštesnę temperatūrą negu plokštieji. Tačiau jų konstrukcija kur kas sudėtingesnė. Vamzdelis su šilumą pernešančiu skysčiu ir absorberis įdedami į stiklinį vamzdelį, iš kurio ištraukiamas oras. Dėl sudėtingesnės gamybos technologijos kokybiški vakuuminiai kolektoriai yra brangesni už plokščiuosius saulės kolektorius. Pagrindinis vakuuminių kolektorių privalumas tas, kad jie yra efektyvūs esant debesuotumui ir mažam saulės intensyvumui. Optimaliam kolektoriaus darbui pakanka dienos šviesos. Šilumos vamzdelių privalumas - tvirtumas, todėl jie nėra lengvai sulaužomi. Jei vienas ar keli vamzdeliai sugestų ar būtų pažeisti, visa sistema ir toliau veiks, tačiau efektyvumas sumažės.

Vakuuminius kolektorius patartina rinktis tada, jei norime saulės energija panaudoti visus metus. Tai gali būti šilto buitinio vandens ruošimas, dalinis patalpų šildymas, vidinio baseino pašildymas.

4. Pastato energijos poreikiai

Norint apskaičiuoti pastatų šilumos poreikius, reikia žinoti klimatinius duomenis. Mūsų nagrinėjamas namas yra Vilniuje: —

- Norminė šildymo išorės oro temperatūra ($t_{i\dot{s}.}^{\dot{s}}$) lygi -22°C ;
- Norminė vėdinimo išorės oro temperatūra ($t_{i\dot{s}.}^{\dot{v}}$) lygi -9°C ;
- Vidutinė šildymo periodo išorės oro temperatūra ($t_{i\dot{s}.}^{\dot{s},vid}$) lygi -5°C ;
- Šildymo periodas tęsiasi 219 paras;
- Absoliuti minimali oro temperatūra lygi $-37,6^{\circ}\text{C}$;
- Absoliuti maksimali oro temperatūra $35,2^{\circ}\text{C}$.

Kiekvieną šildymo sezoną šie rodikliai skiriasi. Skirtumą įtakoja temperatūrų svyravimai. Priklausomai nuo to ar metai buvo šilti ar ne, skiriasi energijos sąnaudos. Skaičiuojant projektinius šilumos nuostolius naudojamos norminės sąlygos.

Nagrinėjamas pastatas susideda iš trijų korpusų, kurių duomenys pateikti lentelėje. Bendras plotas - 2035 m^2 . Pastato aukštis – 20 metrų. Pastato gyvenamosiose patalpose yra 30 butų. Planuojama, jog šiame pastate vienu metu lankysis apie 150 žmonių. Pastatas buvo renovuotas 2014 metais laikantis B energetinio naudingumo klasės reikalavimų. Atsižvelgiant į tai, priimame šilumos laidumo koeficientą, atitinkantį nurodytą klasę. Pastatų atitvarų šilumos perdavimo koeficientai ir geometrinės charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

2 lentelė. Pastato korpusų duomenys

Pastato žymėjimas	Paskirtis	Plotas (m^2)
4D2/p	Sporto klubas	352
5H1/p	Maitinimo įstaiga	146
2D2/p	Gyvenamosios patalpos	1537
	Viso	2035

3 lentelė. B klasės energinio naudingumo pastato atitvarų šilumos perdavimo koeficientai ir geometrinės charakteristikos

Atitvaros rūšis	Atitvarą žymintis poraidis	Atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $W/m^2 \cdot K$ ($W/m \cdot K$)	Geometrinė charakteristika, m^2 (m)
Stogas	r	0,2	1538
Šildomų patalpų atitvaros, kurios ribojasi su gruntu	fg	0,3	1598
Sienos	w	0,25	2413,54
Langai, stoglangiai, švieslangiai ir kt.	wda	1,6	321,13
Durys	d	1,6	84,35
Ilginiai šilumos tilteliai	-	0,2	864,46

4 lentelė. Skaičiuotinos vidaus temperatūros patalpose

	Projektinės vidaus temperatūros
Gyvenamosios patalpos	18 °C
Maitinimo įstaiga	20 °C
Sporto klubas	16 °C

4.1 Pastato šilumos poreikiai

Objekto gyvenamųjų patalpų energijos poreikiai nustatyti pagal skaitiklio rodmenys 2014-2016 metais, buvo perskaičiuoti į norminius suvartojimus taikant dienolaiapsnių metodą. Realūs šilumos suvartojimus perskaičiuojant į norminius buvo naudotos šios prielaidos: vidaus oro temperatūrą 18°C; naudojamos faktinės šildymo sezono mėnesinės išorės oro temperatūros bei faktiniai šildymo sezono trukmės periodai. Gauti rezultatai pateikti lentelėje

5 lentelė. Faktinis pastato šilumos suvartojimas

Mėnuo	2014-2015m.	2105-2016m.	Vidurkis
	MWh	MWh	Mwh
Sausis	68,65	67,21	67,93
Vasaris	49,54	48,46	49,00
Kovas	46,68	46,35	46,52
Balandis	24,56	24,35	24,46
Gegužė	0,00	0,00	0,00
Birželis	0,00	0,00	0,00
Liepa	0,00	0,00	0,00
Rugpjūtis	0,00	0,00	0,00
Rugsėjis	0,00	0,00	0,00
Spalis	25,68	24,65	24,67
Lapkritis	48,68	48,65	48,67
Gruodis	62,35	61,35	61,85
Σ	326,14	321,02	323,10

Gautas vidutinis dviejų paskutinių metų gyvenamųjų patalpų šilumos poreikis šildymui lygus 323,10 MWh. Metinis šilumos poreikis šildymui 1m² ploto yra 210,21 kWh/m²

Pasirenku, kad paskutinių turimų metų duomenys yra tiksliausi pagal 2014-2015m. duomenis. Naudojantis jais apskaičiuojama esama pastato šiluminė galia.

$$H_{\dot{s}} = Q_{\dot{s}} \frac{\Theta_v - \Theta_{\dot{s}.p}}{DL_f \cdot 24} \cdot 1,15 \cdot 100 \quad (4.1)$$

Čia: H_š – šildymo galia su 15% atsarga (MW);

Θ_v – vidaus patalpų projektinė temperatūra °C (priimama 18°C)

Θ_{š.p} - šalčiausia penkiadienio temperatūra °C (Vilniuje -23°C)

DL_f – faktiniai šildymo sezono dienolaipsniai

Faktiniai šildymo sezono dienolaipsiniai apskaičiuojami pagal formulę:

$$DL = z \times (t_v - t_{i\check{s}}) \quad (4.2)$$

Čia: z – šildymo periodo trukmė, (219 parų)

$$DL = 219 \times (18 - -(23)) = 8979 \quad (4.3)$$

$$H_s = 326,14 \frac{18 - -(23)}{8979 \cdot 24} \cdot 1,15 \cdot 100 = 71,6kW \quad (4.4)$$

Gauta tiriamojo objekto gyvenamųjų patalpų šildymo sistemos galia lygi 71,6kW. Analogiškai apskaičiuojama ir likusių paskirčių patalpų šildymo sistemos galia. Rezultatai pateikti lentelėje.

4.2 Pastato vėdinimo poreikiai

Taip pat pastate labai svarbus aspektas yra vėdinimas. Kvėpavimui reikalingas ore esantis deguonis. Kuo patalpa sandaresnė, tuo labiau ją reikia vėdinti, nes deguonies trūkumas yra žalingas. Vėdinimo procese gryno oro poreikis yra apibūdinamas oro apykaitos rodikliu n , kuris parodo, kiek kartų per valandą tos patalpos tūris turi būti pakeistas grynu oru. Nepaisant to, kiek būstas bus šiltinamas ir šildomas, gyventojas turi gauti jam reikalingą gryno oro kiekį. Natūraliai ar specialiai įrengto vėdinimo pagalba šviežias oras patenka iš lauko ir turi būti sušildytas iki reikiamos temperatūros.

Gyvenamųjų pastatų vėdinimo šilumos poreikiai yra nevertinami, tačiau mūsų atveju pastatas susideda iš skirtingų paskirčių patalpų. Todėl vėdinimo šilumos poreikiai yra tenkinami priverstinės ventiliacijos dėka. Vėdinimui reikalinga projektinė šildymo galia apskaičiuojami kiekvienos paskirties patalpoms atskirai pagal žemiau pateiktą formulę:

$$P_v = \frac{1}{3600} \cdot n \cdot V_v \cdot \rho_i \cdot c \cdot (t_p - t_{i\check{s}}^v) \quad (4.5)$$

Čia:

n - vėdinimo kartotinumai (l/h),

V_v - vėdinamo pastato vidinis tūris (m^3);

ρ_i - oro tankis (kg/m^3);

c - oro vidutinė specifinė šiluma ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$);

t_p - pašildyto, į patalpą tiekiamo oro temperatūra ($^{\circ}\text{C}$). Darome prielaidą, kad tiekiamo oro temperatūra turi būti didesnė 7°C , nei reikalaujama palaikyti patalpoje.

$$P_v = \frac{1}{3600} \cdot 11 \cdot 1537_v \cdot 1.29_i \cdot 1,009 \cdot (25 - 23) = 12,23 \text{ kW}$$

Gauti tiriamojo objekto gyvenamųjų patalpų šilumos poreikiai vėdinimui lygūs $12,23 \text{ kW}$.

Analogiškai apskaičiuojama ir likusių paskirčių patalpų vėdinimo šilumos poreikiai.

Rezultatai pateikti lentelėje.

4.3 Pastato karšto vandens poreikiai

Nustatomas karšto vandens sistemos poreikis ir galia. Atskirai nagrinėjamos trys objekto patalpos: gyvenamosios patalpos, sporto klubas ir maitinimo įstaiga. Kiekviename bute gyvenamosiose patalpose įrengta vonia ir prie karšto vandens cirkuliacinės sistemos prijungti rankšluosčių džiovintuvai.

Skaičiavimams atlikti naudojami metodai iš literatūros sąrašo

Intensyviausia karšto vandens naudojimo valanda reikalingas šilumos srautas, karštam vandeniui paruošti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_h = 1,16 \times G_h (\Theta_h - \Theta_c) + Q_n \quad (4.6)$$

Čia: Θ_h - karšto vandens, pratekėjusio per šilumokaitį, temperatūra (55°C)

Θ_c - šalto vandens, prieš įtekėjus į šilumokaitį, temperatūrą (5°C)

Q_n - šilumos nuostoliai karšto vandens tiekimo sistemoje, įvertinu tik rankšluosčių džiovintuvus (1 vnt. - 240 W) iš viso $7,2 \text{ kW}$.

G_h - valandinis debilas ($\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$), paros intensyviausia naudojimo valandą, apskaičiuojamas pagal formulę

$$G_h = 0,005 \times q_h \times \alpha_h \quad (4.7)$$

čia: q_h - valandinis prietaiso čiaupo debitas $\frac{\text{l}}{\text{h}}$, primu kad lygus $200 \frac{\text{l}}{\text{h}}$

α_h - koeficientas, priklausantis nuo prietaisų skaičiaus ir jų panaudojimo tikimybės, parenkamas pagal lentelę

Karšto vandens maišytuvų viena laikio panaudojimo tikimybė apskaičiuojama pagal formulę:

$$P = \frac{q_h^u \times U}{3600 \times q_0 \times N} \quad (4.7)$$

čia: q_h^u – karšto vandens sunaudojimo norma vienam naudotojui intensyviausią valandą, $\frac{l}{h}$, parenkamas iš lentelių, lygus $10 \frac{l}{h}$

U – vartotojų skaičius, 30 vnt.

N – prietaisų skaičius į kuriuos tiekiamas karštas vanduo, 30 vnt.

$$P_1 = \frac{10 \times 30}{3600 \times 0,2 \times 30} = 0,0138 \quad (4.8)$$

tada, $P_N=0,414$; $\alpha=0,352$

Apskaičiuojama panaudojimo tikimybė, intensyviausio naudojimo valandą

$$P_h = \frac{11160 B^{-0,4} \times P q_0}{q_0^h} \quad (4.9)$$

čia: B – butų skaičius, kuriuose yra trys karšto vandens naudojimo taškai, vnt (apskaičiuojama pagal formulę $B=N/3$ nagrinėjamu atveju B lygus 10)

$$P_h = \frac{11160 \times 10^{-0,4} \times 0,0138 \times 0,18}{200} = 0,0551$$

tada, $P_h N=1,65$; $\alpha_h=1,23$

Didžiausias sekundinis karšto vandens debitas, bet kuriuoje sistemos dalyje apskaičiuojamas pagal:

$$g = 5 q_0 \alpha \quad (4.10)$$

$$g = 5 \times 0,2 \times 0,352 = 0,352 \text{ l/s}$$

Valandinis debitas paros intensyviausia naudojimo valandą:

$$G_h = 0,005 \times q_h \times \alpha_h \quad (4.11)$$

$$G_h = 0,005 \times 200 \times 1,23 = 1,23 \text{ m}^3/\text{val}$$

Nustatomas šilumos srautas, reikalingas paruošti karštam vandeniui, paros intensyviausio naudojimo metu:

$$Q_h = 1,16 \times 1,23(55 - 5) + 7,2 = 78,54 \text{ kW}$$

Gauta objekto karšto vandens sistemos galia 78,54 kW

Taip pat apskaičiuojama ir maitinimo įstaigos bei sporto klubo karšto vandens sistemų galia. Rezultatai pateikti lentelėje.

Tam, kad susidaryti pagrindą skaičiavimams, pagal skaitliukų parodymus buvo užfiksuoti faktiniai namo trijų metų karšto vandens sunaudojimai. Duomenys pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Faktiniai karšto vandens poreikiai

Mėnuo	2014-2015m.	2105-2016m.	Vidurkis
	MWh	MWh	Mwh
Sausis	13,52	13,54	13,53
Vasaris	12,35	13,57	12,96
Kovas	12,39	12,86	12,625
Balandis	13,58	13,23	13,405
Gegužė	14,38	13,87	14,125
Birželis	12,32	14,37	13,345
Liepa	13,68	14,38	14,03
Rugpjūtis	12,84	13,27	13,055
Rugsėjis	13,87	13,38	13,625
Spalis	13,87	13,87	13,87
Lapkritis	14,87	14,38	14,625
Gruodis	13,54	13,38	13,46
Σ	161,21	164,10	162,66

Pagal nustatytus duomenis 6 lentelėje, gauta kad daugiabučio namo karšto vandens ir cirkuliacinės sistemos šilumos poreikis yra 162,66 MWh.

7 lentelė. Namų šiluminės galios poreikiai

Šilumos punktas	Skaičiuojamos temperatūros laukas (°C)	Šilumos poreikis, kW			
		Šildymui	Ventiliacijai	Karšt. vandeniui	Viso
Maitinimo įstaiga	-23	7,18	1,16	81,65	89,99
Sporto klubas		15,78	2,80	18,35	36,93
Gyvenamosios patalpos		71,60	12,23	78,54	162,37
Viso		94,56	16,19	178,54	289,29

5. Termodinaminė analizė

5.1 Šilumos siurblys ir saulės kolektoriai

Nagrinėjamas variantas įrengiant šilumos siurblio ir saulės kolektorių kombinuotą sistemą. Net ir labai apniukusią dieną, saulės kolektoriais vandenį galima sušildyti bent iki 25 °C. Tačiau šios šilumos neužtenka karštam vandeniui pašildyti, kurio temperatūra turi būti mažiausiai 55 °C. Papildoma šiluma yra gaunama naudojant šilumos siurblį, kuris paima šilumą iš saulės kolektorių pašildyto vandens ir transformuoja į aukštesnio potencialo šilumą. Šios sistemos privalumai:

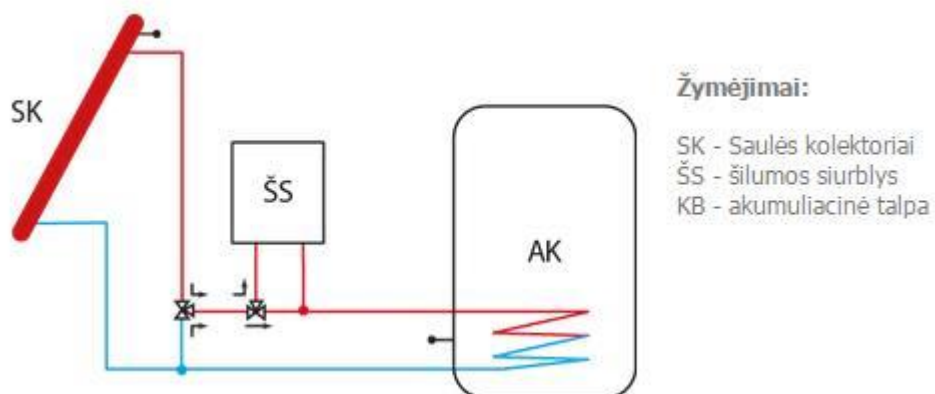
- Didelis efektyvumas apniukusiu oru ir naktį. Apniukusiomis dienomis ar ilgomis žiemos naktimis saulės sukauptos šilumos gali nepakakti. Tokiu atveju sistemos valdiklis stebi šilumos poreikį ir reikalui esant įjungia šilumos siurblį.
- Šilumnešio papildomas šildymas. Kuomet saulės kolektoriai veikia ne pilnu pajėgumu, valdiklis pagal poreikį gali papildomai pašildyti iš saulės kolektorių paduodamą srautą šilumos siurblyje ir taip užtikrinti reikiamą temperatūrą akumuliacinėje talpoje.

- Maksimalus saulės panaudojimas. Jei tik saulės kolektoriai užtikrina pageidaujamą temperatūrą, šilumos siurblys yra išjungiamas siekiant maksimaliai išnaudoti saulės energiją.

- Oro kondicionavimas vasarą. Sistema gali veikti ir kaip kondicionierius vasaros metu. Šilumos siurblio veikimas gali būti invertuojamas ir gaunamas vėsinimas vasarą.

- 7x daugiau energijos. Šilumos siurblio oras-vanduo veikimo efektyvumas (COP) siekia 7 vienetus, tai reiškia, kad sunaudojant 1kW el. energijos, yra gaunama 7 kW šiluminės energijos. Toks efektyvumas pasiekiamas dėl nedidelio kondensacijos ir virimo temperatūrų skirtumo. Aukštą virimo temperatūrą įtakoja saulės kolektorių sušildytas vanduo.

Pincipinė schema pateikta pavyzdyje. Termodinaminio ciklo schema schemeje.

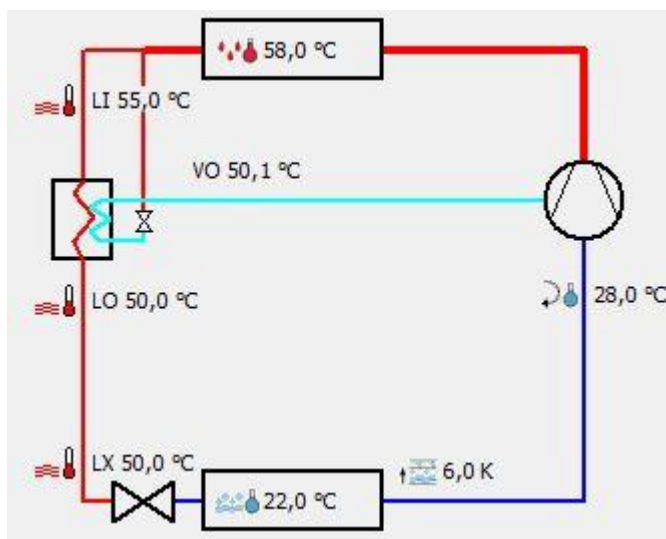


2 pav. Principinė schema

Šiandieniniai tiekiamo vandens temperatūros reikalavimai yra mažesni, todėl esant -5°C vidutinei lauko oro temperatūrai, užtenka vandenį pašildyti iki 55°C . Kondensacijos temperatūra priklauso nuo radiatorių tipo. Šiuo atveju nepilną rekuperaciją priimame 3°C , todėl kondensacijos temperatūra turėtų būti 58°C . Iš saulės kolektorių ateinančio pašildyto vandens temperatūra siekia 25°C . Dėl šilumokaičio rekuperacinių nuostolių, virimo temperatūra turi būti apytiksliai 3°C didesnė, todėl ji priimama 22°C .

Apskaičiuotas namo poreikis karštam vandeniui yra 178,54 kW. Programa Select, parinktas kompresorius ZHI46K1P-TWD, kurio galia prie skaičiuojamųjų sąlygų yra 83,40kW ir išsiplėtimo vožtuvas TX6-Z*7, kurio galia 90,50 kW (darbo agentas freonas

R410A). Šis šilumos siurblys turi papildomą ipurškimo liniją. Rankiniu būdu apskaičiuojame naudingumo koeficientą COP be šios linijos ir palyginame juos.



3 pav. Šilumos siurblio principinė schema

PERFORMANCE AT SPECIFIED POINT	22,0 / 58,0 °C
Compressor	ZHI46K1P-TWD
Heating Capacity kW	83,40
Power Input kW	16,85
COP	4,95
Current 400V, A	31,27
Mass Flow g/s	454,00
Volumetric Efficiency, %	98,73
Isentropic Efficiency, %	66,06
Refrigeration Capacity kW	67,40
Power Factor	0,80
VAPOUR INJECTION DATA	
Economizer Load kW	4,83
Injection Mass Flow g/s	35,16
Intermediate pressure bar	27,24
Intermediate Dew Temperature °C	45,1
Vapour Outlet Temp. VO °C	50,1
Liquid Temperature LI °C	55,0
Liquid Temperature LO °C	50,0

4 pav. Kompresoriaus techninės charakteristikos

Compressor	ZHI46K1P-TWD
MECHANICAL DATA	
Displacement @ 50 Hz, cu.m/h	29.1
Length/Width, mm	284/280
Height, mm	568
Net Weight, kg	64
Stub Suction, inch	1 3/8
Stub Discharge, inch	7/8
Stub Injection, inch	5/8
Oil Quantity, l	3.38
Base mounting (hole dia), mm	190 x 190 (19.0)
Sound Pressure @ 1m (HT), dBA	67
Sound Power (HT), dBA	78
High Side PS, bar(g)	53
Low Side PS, bar(g)	29.5
Low Side TS Max., °C	50
Low Side TS Min., °C	-35
ELECTRICAL DATA	
Maximum Operating Current, A	37.4
Locked Rotor Current, A	168
Winding Resistance, ohm	0.76
Default Enclosure Class	IP 54 (IEC 34)

5 pav. Kompresoriaus techninės charakteristikos

Pasinaudojus CoolPack programą apskaičiuojame atitinkamą slėgį prie šių temperatūrų (darbo agentu parinktas freonas R410A):

$$T_1 = 22^{\circ}\text{C}; \quad p_1 = 15,24\text{bar};$$

$$T_3 = 58^{\circ}\text{C}; \quad p_3 = 36,31\text{bar}.$$

Suslėgimo laipsnis:

$$\frac{p_3}{p_1} = \frac{34,31}{15,24} = 2,25;$$

Pagal turimus duomenis apskaičiuojami likusių taškų duomenys, rezultatai pateikiami lentelėje.

8 lentelė. Termodinaminio ciklo taškų duomenys

Duomenys	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Entalpija, kJ/kg
Taškas 1	28	15,24	434,04
Taškas 2s	74,38	34,31	456,08
Taška 2	82,19	34,31	467,43
Taškas 3	55	34,31	418,65
Taškas 4	22	15,24	426,06

Taško 2 entalpija apskaičiuojama pagal formulę:

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{iz}} + h_1 = \frac{456,08 - 434,04}{0,66} + 434,04 = 467,43 \text{ kJ / kg}$$

Pasinaudojus programos Select pateiktomis techninėmis charakteristikomis, apskaičiuojamas kompresoriaus tūrinis debitas ir savitasis tūris.

tada, kompresoriaus tūrinis debitas bus lygus:

$$V' = V_h \times \lambda; \quad (5.1)$$

čia λ – kompresoriaus pripildymo koeficientas, šiuo atveju lygus 0,9873

V_h - kompresoriaus aprašomas tūris, lygus 29,1(m³/val)

$$V' = 29,1 \times 0,9873 = 28,73 \text{ m}^3/\text{val}$$

Kompresoriaus savitasis tūris lygus:

$$V = V'/m \quad (5.2)$$

čia m – kompresoriaus masinis našuma, lygus 0,454(kg/s)

$$V = 28,73 / (0,454 \times 3600) = 0,0178 \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

Pasinaudojant lentelėje rastomis entalpijomis apskaičiuojama kompresoriaus galia šildymui ir palyginama su programoje Select pateikta reikšme.

$$Q_k = (h_2 - h_3) \cdot m \quad (5.3)$$

$$Q_k = (467,43 - 418,65) \cdot 0,454 = 22,14 \text{ kW}$$

Šiuo atveju gauname žymiai mažesnę galią, nei su programa Select parinkto kompresoriaus ZHI46K1P-TWD, turinčio antrą įpurškimo liniją.



6 pav. kompresoriaus veikimo grafikas

Apskaičiuojamas šio ciklo naudingo koeficientas COP jei neturėtumė papildomo įpurškimo:

$$COP = \frac{q}{l_k} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (5.4)$$

$$COP = \frac{q}{l_k} = \frac{467,43 - 418,65}{467,43 - 434,04} = 1,46$$

Vadinasi, kad šilumos kilovatvalandės savikaina būtų tik 1,46 kart mažesnė už elektros kWh kainą. Programa Select parinkto kompresoriaus ZHI46K1P-TWD kilovatvalandės kaina būtų 4,95 kart mažesnė. Taigi šiuo metu elektros kaina siekia 0,114Eur, šilumos savikaina gaunasi 0,023Eur.

5.2 Vienpakopis oras-vanduo šilumos siurblys

Nagrinėjamas variantas įrengiant vienpakopį orinį šilumos siurblį karštam vandeniui šildyti. Šilumos siurblio oras - vanduo darbas vyksta šilumos perkėlimo principu - aušinamas

lauko oras, o šiluma gauta kaip aušinimo proceso produktas perduodama per šilumokaitį skysčiui, kuris panaudojamas vandens šildymui. Kadangi Lietuvoje oras vis šiltėja, ši technologija tampa vis populiarsnė. Pagrindinis oras-vanduo šilumos siurblių privalumas yra jų kaina, kuri palyginti su geoterminiu siurbliu yra žymiai mažesnė. Tačiau šių šilumokaičių rekuperacijos nuostoliai yra didesni. Siekiant pritaikyti šį šilumos siurblių Lietuvos sąlygoms, darbo agentu naudojamas freonas R410A.

Nuolat besikeičiantis įrenginio naudingumo koeficientas priklauso nuo aplinkos parametrų, todėl dauguma įrangos gamintojų teikia duomenis apie įrangą sąlygodami tam tikrus parametrus (aplinkos temperatūra + 7°C, pagal EU ISO standartus). Mūsų atveju nagrinėsime ne tokį palankų variantą ir lauko oro temperatūrą priimsime -5 °C.

Oriniai šilumokaičiai turi didelius nuostolius dėl nepilnos rekuperacijos, temperatūrų skirtumas siekia nuo 7°C iki 14°C. Priimame, kad nagrinėjamu atveju temperatūrų skirtumas yra 7°C, todėl virimo temperatūra turi būti lygi -12°C.

Kadangi kondensacijos temperatūra priklauso nuo radiatorių tipo, nepilna rekuperacija priimama 10°C. Taip pat temperatūra priklauso nuo to, ar sistema yra tiesioginė, ar su tarpiniu nešėju – vandeniu. Mūsų atveju sistema yra netiesioginė, kadangi šiluma turi būti perduodama vandeniui, o ne patalpų orui, dėl to atsiranda papildomi rekuperacijos nuostoliai - 5°C.. Tokiu atveju kondensacijos temperatūra priimama - 65°C. Pasinaudojus CoolPack programą apskaičiuojame atitinkamą slėgį prie šių temperatūrų:

Apskaičiuotas namo poreikis karštam vandeniui yra 178,54 kW. Programa Select, parinktas kompresorius ZHI46K1P-TWD, kurio galia prie skaičiuojamųjų sąlygų yra 83,40kW ir išsiplėtimo vožtuvas TX6-Z*7, kurio galia 90,50 kW (darbo agentas freonas R410A).

Compressor	ZHI46K1P-TWD
MECHANICAL DATA	
Displacement @ 50 Hz, cu.m/h	29.1
Length/Width, mm	284/280
Height, mm	568
Net Weight, kg	64
Stub Suction, inch	1 3/8
Stub Discharge, inch	7/8
Stub Injection, inch	5/8
Oil Quantity, l	3.38
Base mounting (hole dia), mm	190 x 190 (19.0)
Sound Pressure @ 1m (HT), dBA	67
Sound Power (HT), dBA	78
High Side PS, bar(g)	53
Low Side PS, bar(g)	29.5
Low Side TS Max., °C	50
Low Side TS Min., °C	-35
ELECTRICAL DATA	
Maximum Operating Current, A	37.4
Locked Rotor Current, A	168
Winding Resistance, ohm	0.76
Default Enclosure Class	IP 54 (IEC 34)

9 pav. Kompresoriaus techninės charakteristikos

Pasinaudojus CoolPack programą apskaičiuojame atitinkamą slėgį prie šių temperatūrų (darbo agentu parinktas freonas R410A):

$$T_1 = -12^{\circ}\text{C}; \quad p_1 = 5,34\text{bar};$$

$$T_3 = 65^{\circ}\text{C}; \quad p_3 = 42,76\text{bar}$$

Suslėgimo laipsnis:

$$\frac{p_3}{p_1} = \frac{42,76}{5,34} = 8;$$

Pagal turimus duomenis apskaičiuojami likusių taškų duomenys, rezultatai pateikiami lentelėje.

9 lentelė. Termodinaminio ciklo taškų duomenys

Duomenys	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Entalpija, kJ/kg
Taškas 1	-7	5,34	422,36
Taškas 2s	102,87	42,76	483,79
Taška 2	149,18	42,76	542,81
Taškas 3	65	42,76	405,69
Taškas 4	-12	5,34	417,30

Taško 2 entalpija apskaičiuojama pagal formulę:

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{iz}} + h_1 = \frac{483,79 - 422,36}{0,51} + 422,36 = 542,81 \text{ kJ/kg}$$

Pasinaudojus programos Select pateiktomis techninėmis charakteristikomis, apskaičiuojamas kompresoriaus tūrinis debitas ir savitasis tūris.

tada, kompresoriaus tūrinis debitas bus lygus:

$$V' = V_h \times \lambda; \quad (5.5)$$

čia λ – kompresoriaus pripildymo koeficientas, šiuo atveju lygus 0,8229

V_h - kompresoriaus aprašomas tūris, lygus 29,1(m³/val)

$$V' = 29,1 \times 0,8229 = 23,94 \text{ m}^3/\text{val}$$

Kompresoriaus savitasis tūris lygus:

$$V = V'/m \quad (5.6)$$

čia m – kompresoriaus masinis našuma, lygus 0,133(kg/s)

$$V = 23,94 / (0,133 \times 3600) = 0,050 \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

Pasinaudojant lentelėje rastomis entalpijomis apskaičiuojama kompresoriaus galia šildymui ir palyginama su programoje Select pateikta reikšme.

$$Q_k = (h_2 - h_3) \cdot m \quad (5.7)$$

$$Q_k = (542,81 - 405,69) \cdot 0,132 = 18,09 \text{ kW}$$

Šiuo atveju gauname žymiai mažesnę galią, nei su programa Select parinkto kompresoriaus ZHI46K1P-TWD, turinčio antrą įpurškimo liniją.



10 pav. kompresoriaus veikimo grafikas

Apskaičiuojamas šio ciklo naudingo koeficientas COP:

$$COP = \frac{q}{l_k} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (5.8)$$

$$COP = \frac{q}{l_k} = \frac{542,81 - 405,69}{542,81 - 422,36} = 1,13$$

Vadinasi, kad šilumos kilovatvalandės savikaina būtų tik 1,13 kart mažesnė už elektros kWh kainą. Programa Select parinkto kompresoriaus ZHI46K1P-TWD kilovatvalandės kaina būtų 2,13 kart mažesnė. Taigi šiuo metu elektros kaina siekia 0,114Eur, šilumos savikaina gaunasi 0,053Eur.

6. Poveikio aplinkai įvertinimas

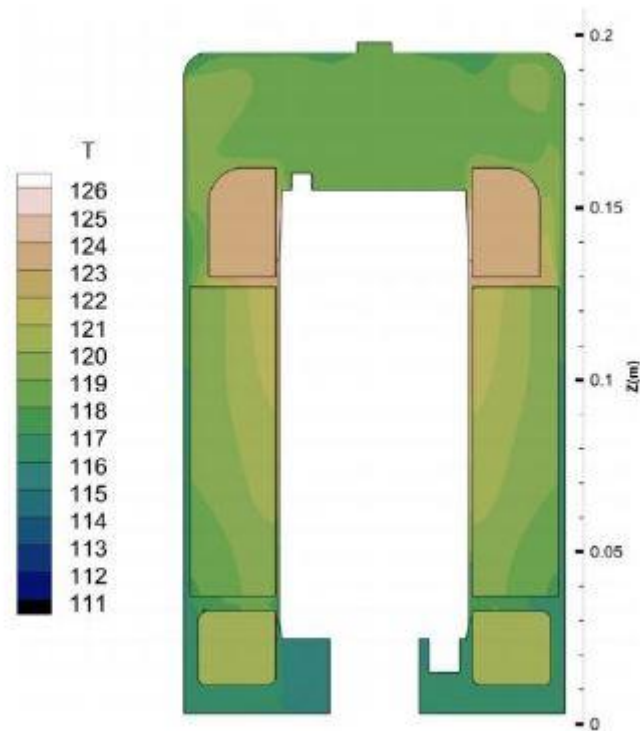
Dėl klimato kaitos ir visuotinio atšilimo oro kondicionavimo ir šilumos siurblių sistemų klausimas tapo labai aktualus, nes šios sistemos tampa vis labiau naudojamos ir šiuo metu nusileidžia tik šaldytvutų ir šaldiklių sistemoms. Išsivysčiusiose šalyse, vieno ciklo oro kondicionavimo sistemose kaip darbinis agentas dažniausiai yra naudojamas freonas R410A, kitose šalyse taip pat yra naudojamas freonas R22. Nustatyta, kad šios medžiagos ardo ozono sluoksnį. Taigi šiame skyriuje dėmesys bus sutelktas freono R410A, kaip šilumos siurblių sistemų darbinio agento, keitimui kitomis medžiagomis, mažiau kenkiančiomis atmosferai.

Atlikus tyrimus, pasaulyje freoną R410A siūloma keisti freonu R32, kurio visuotinio atšilimo potencialas yra mažesnis. Tai darbo agentas suteikiantis puikias galimybes sumažinti investavimą į naują įrangą ar sistemos pakeitimus dėl šių pagrindinių veiksnių:

- Efektyvus visuotinio atšilimo potencialo mažinimas, palyginus su R410A 66%
- Didelis efektyvumas šaldymo ir oro kondicionavimo sistemose
- Šalyse, kuriose yra mokami mokesčiai už emisijas į atmosferą, naudojant agentą R32 jie yra mažesni.

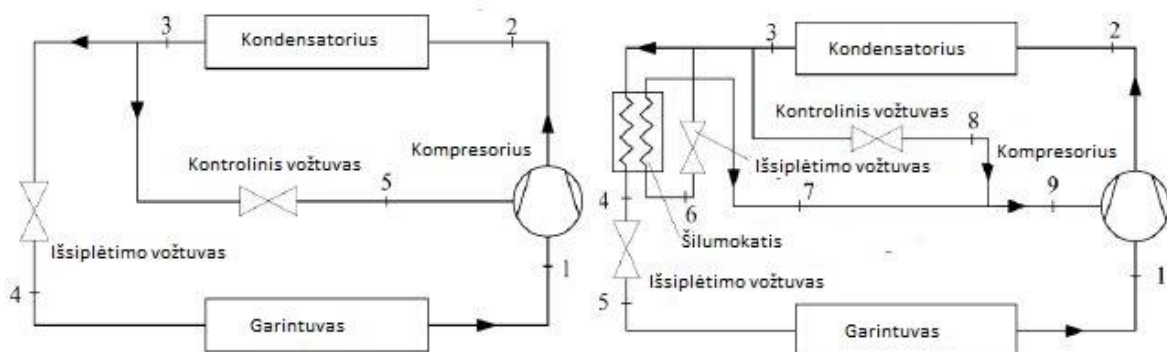
Keičiant R410A freonu R32, naudojamas R32 mišinys su R125, nes jų talpos skirtingos.

Daugelis tyrimų rodo, kad freonas R32 suteikia didesnis efektyvumą nei R410A, tačiau jo naudojimą riboja pernelyg didelė kompresoriaus išleidimo temperatūra. Rezultatai rodo, kad agentas R32 išgauna panašų COP šildymo ir aušinimo režimuose. Taip pat nustatyta, kad šilumos siurblyje oras-vanduo, R32 pajėgumai yra maždaug 6% didesni. Tačiau ispėjama, kad R32 iškrovos temperatūra yra didesnė, todėl reikalingas sistemos optimizavimas. Kraštutiniais atvejais ji yra 8,3K didesnė už didžiausią priimtina, todėl tai gali pakenkti kompresoriaus gyvavimo trukmei.



11 pav. temperatūros pasiskirstymas $y=0\text{mm}$ plokštumoje.

Buvo pasiūlytos modifikacijos, tam kad sumažinti iškvos temperatūrą ir tuo pat metu padidinti naudingumo koeficientą oro kondicionavimo sistemoje kaip agentą naudojant freoną R32. Vienoje iš jų iškvos temperatūra stabilizuota naudojant sustiprintas garo įpurškimas tarp 10-20K, tačiau tai taikoma ne ekstremalioms aušinimo ir šildymo sąlygoms. Kitoje modifikacijoje buvo nustatyta, kad dviejų fazių įpurškimo sistema lenkia skysto įpurškimo (pav.) ir dviejų fazių sistemą šaldymo galia ir naudingumo koeficientu COP nuo 5 iki 12%.



12 pav. schemas a) skysto b) dviejų fazių įpurškimo sistemos

6.1 Šilumos siurblys ir saulės kolektoriai, šilumos siurblyje darbo agentu naudojant freoną R32

Nagrinėjamas praeitame skyriuje naudotas variantas, įrengiant šilumos siurblio ir saulės kolektorių kombinuotą sistemą. Šiuo atveju kaip cirkuliuojantį darbo agentą šilumos siurblio sistemoje pasirenkame freoną R32.

Programa REFPROP pagal turimus duomenis apskaičiuojami ciklo taškų duomenys, rezultatai pateikiami pav.

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Volume (m ³ /kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	22,000	15,579	43,344	0,023071	516,79	2,0760	1,0000
2	28,000	15,570	41,196	0,024274	525,66	2,1058	Superheated
3	55,000	35,199	114,99	0,0086965	502,93	1,9432	1,0000
4	83,870	35,199	83,094	0,012035	558,35	2,1058	Superheated
5	95,427	35,199	76,839	0,013014	575,19	2,1522	Superheated
6	55,000	35,199	808,31	0,0012371	309,29	1,3531	Subcooled
7							

13 pav. termodinaminio ciklo taškų duomenys

Taško 2 entalpija apskaičiuojama pagal formulę:

$$h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{iz}} + h_1 = \frac{558,35 - 525,66}{0,66} + 525,66 = 575,19 \text{ kJ / kg}$$

Apskaičiuojamas kompresoriaus tūrinis debitas:

$$V' = V_h \times \lambda; \quad (6.1)$$

čia λ – kompresoriaus pripildymo koeficientas, lygus 0,8229

V_h - kompresoriaus aprašomas tūris, lygus 29,1(m³/val)

$$V' = 29,1 \times 0,8229 = 23,94 \text{ m}^3/\text{val}$$

Apskaičiuojamas kompresoriaus masinisi našumas:

$$m = V'/V \quad (6.2)$$

čia V – savitasis tūris, siurblio sąlygoms, iš lentelės lygus $0,024274 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$m=29,1/(3600 \cdot 0,024274)=0,333 \text{ kg/s}$$

tada, šildymo galia bus:

$$Q_k = (h_2 - h_3) \cdot m \quad (6.3)$$

$$Q_k = (575,19 - 309,29) \cdot 0,333 = 88,54 \text{ kW}$$

Karštam vandeniui ruošti prireiks dviejų kompresorių. Jo naudingumo koeficientas bus:

$$COP = \frac{q}{l_k} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (6.4)$$

$$COP = \frac{q}{l_k} = \frac{575,19 - 309,29}{575,19 - 525,66} = 5,36$$

Vadinasi, kad šilumos siurblio agentu naudojant freoną R32 gauname žymiai geresnį naudingumo koeficientą nei pirmuoju atveju naudodami freoną R410A, šiuo atveju šilumos kilovatvalandės savikaina būtų 5,36 kart mažesnė už elektros kWh kainą. Šiuo metu elektros kaina siekia 0,114Eur, taigi šilumos savikaina gaunasi 0,0212Eur.

6.2 Vienkopis šilumos siurblys darbo agentu naudojant freoną R32

Nagrinėjamas praeitame skyriuje naudotas variantas, įrengiant vienkopio šilumos siurblio sistemą. Šiuo atveju kaip cirkuliuojantį darbo agentą šilumos siurblio sistemoje pasirenkame freoną R32.

Programa REFPROP pagal turimus duomenis apskaičiuojami ciklo taškų duomenys, rezultatai pateikiami pav.

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Volume (m ³ /kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)	Quality (kg/kg)
1	-12,000	5,4327	14,818	0,067487	512,47	2,1992	1,0000
2	-7,0000	5,4327	14,371	0,069584	518,01	2,2202	Superheated
3	65,000	43,843	161,09	0,0062076	490,05	1,8855	1,0000
4	131,32	43,843	83,592	0,011963	612,23	2,2202	Superheated
5	<i>201,69</i>	<i>43,843</i>	<i>63,915</i>	<i>0,015646</i>	<i>702,75</i>	<i>2,4267</i>	<i>Superheated</i>
6							

14 pav. termodinaminio ciklo taškų duomenys

Tačiau iš programos, kad pasirenkant darbo agentu freoną R32 sistema dirbti nebegali, nes yra viršijamos temperatūrinės ribos.

Buvo išnagrinėti visi planuoti variantai energijos aprūpinimo būdai daugiabučiam gyvenamajam namui. Šiuo metu planuojamos alternatyvos pilnai pakeisiančios karšto vandens ruošimą, kuris dabar yra ruošiamas CŠT pagalba. Pilnai atsijungti nuo centrinės šilumos tiekimo sistemos ir namą šildyti alternatyvių šaltiniu pagalba kolkas yra ekonomiškai neefektyvu. Todėl išnagrinėjus karšto vandens ruošimo alternatyvas, kitame skyriuje aptariame, jų ekonominį efektyvumą ir atsipirkimą.

7. Šilumos siurblių atsipirkimo įvertinimas

7.1 Lyginimas su CŠT

Įrenginiai parenkami atsižvelgiant į reikalingą maksimalią šiluminę galią karštam vandeniui pašildyti – 178,54 kW. Pirmuoju atveju – įrengiant šilumos siurblių ir saulės kolektorius, daroma prielaida, kad 50% šilumos poreikio padengs saulės kolektorai ir 50% šilumos siurbliai. Pagal UAB „Ekoklima“ pateiktas rinkos kainas, 1kW šilumos siurblio vanduo-vanduo įrangos ir instaliavimo kaina apytiksliai siekia –579,24Eur. Nagrinėjamu atveju investicijos įrangai ir jos montavimui siekia – 51709 Eur. Prie investicijos kainos prisideda ir saulės kolektorių įrengimas. Parenkami vakuuminiai saulės kolektorai, kurių vieno kaina – 1708Eur. Jų skaičius parenkamas pagal vidutinį žmonių skaičių pastate (150 žmonių). Galutinė kaina su instaliavimu priimta – 48354 Eur. Taigi, bendra pradinė investicija siekia – 100 063 Eur.

Įrengiant šilumos siurblių oras-vanduo 1 kW įrangos ir instaliavimo kaina siekia – 347,5Eur. Kadangi, šiuo atveju įrenginiai turi padengti pilnus šilumos poreikius karštam vandeniui ruošti, bendros pradinės investicijos siekia – 62043 Eur.

Šiuo metu centralizuotai tiekiamos šilumos kaina yra 0,0554 Eur. Įsirengus šilumos siurblius ir saulės kolektorius metinis sutaupymas apskaičiuojamas:

$$\begin{aligned} \text{Sutaupymas} &= (C\check{S}T\text{kaina} - (\text{Siurblio} + s.\text{kolektoriųkaina})) \cdot \text{su var tojama } _ \text{energija} \quad (7.1) \\ &= (0,055 - 0,023) \cdot 162660 = 5205\text{Eur} \end{aligned}$$

Žinant metinius sutaupymus apskaičiuojame apytikslį atsipirkimo laikotarpį:

$$\text{Atsipirkimas} = \frac{\text{Investicijos}}{\text{Sutaupymas}} = \frac{100063}{5205} = 19\text{metų} \quad (16)$$

Likusių alternatyvų atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas analogiškai. Gauti rezultatai pateikiami 10. lentelėje.

10 lentelė. Alternatyvų lyginimas su CŠT

Alternatyvos	Pradinės investicijos, Eur	Sutaupymai per metus, Eur	Atsipirkimo laikotarpis, metai
Šilumos siurblys+saulės kolektoriai	100 063	5205	~19
Vienpakopis šilumos siurblys, oras-vanduo	63043	163	~386

7.2 Lyginimas su elektriniu vandens pašildytuvu

Lyginant šilumos siurblių atsipirkimą su elektriniu vandens pašildytuvu, nevertiname elektrinio vandens pašildytuvo įrengimo kainos. Šiuo metu elektros kaina yra 0,114Eur. Priimant, kad elektrinio vandens pašildytuvo naudingumo koeficientas yra 0,95, apskaičiuojame eksploataavimo išlaidas per metus:

$$Išlaidos = su\ var\ tojama\ _{en.} \cdot \eta \cdot el.\ _{kaina} = 162660 \cdot 0,95 \cdot 0,114 = 17616Eur \quad (7.2)$$

Įrengus šilumos siurblių ir saulės kolektorius eksploataavimo išlaidos per metus:

$$Išlaidos_{s,k} = 162660 \cdot 0,023 = 3742Eur$$

Metiniai sutaupymai apskaičiuojami:

$$Sutaupymas = Išlaidos - Išlaidos_{s,k} = 17616 - 3742 = 13874Eur$$

Žinant metinius sutaupymus apskaičiuojame apytikslį atsipirkimo laikotarpį (investicijos apskaičiuotos 7.1 skyriuje):

$$Atsipirkimas = \frac{Investicijos}{Sutaupymas} = \frac{100063}{13874} = 7,2metų$$

Likusių alternatyvų atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas analogiškai. Gauti rezultatai pateikiami 11 lentelėje.

11 lentelė. Alternatyvų lyginimas su elektriniu pašildytuvu

Alternatyvos	Pradinės investicijos, Eur	Sutaupymai per metus, Eur	Atsipirkimo laikotarpis, metai
Šilumos siurblys+saulės kolektoriai	100 063	13874	~7,2
Vienpakopis šilumos siurblys, oras-vanduo	62043	8995	~6,9

7.3 Lyginimas su dujine kolonėle

Lyginant šilumos siurblių atsipirkimą su dujine kolonėle, nevertiname dujinės kolonėlės įrengimo kainos. Gamtinių dujų kaloringumas yra $9,3 \text{ kW/m}^3$, vieno kubinio metro kaina siekia $-0,61 \text{ Eur}$. Remiantis, vienos kilovatvalandės kaina naudojant gamtines dujas siekia, eksploataavimo išlaidos:

$$Išlaidos = su\ var\ tojama_en. \cdot kWh_kaina = 162660 \cdot 0,61 = 99223 \text{ Eur} \quad (7.3)$$

Lyginamųjų alternatyvų metinės išlaidos, sutaupymai ir atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas analogiškai. Gauti rezultatai pateikiami 12 lentelėje.

12 lentelė. Alternatyvų lyginimas su dujine kolonėle

Alternatyvos	Pradinės investicijos, Eur	Sutaupymai per metus, Eur	Atsipirkimo laikotarpis, metai
Šilumos siurblys+saulės kolektoriai	100 063	95741	~1
Vienpakopis šilumos siurblys, oras-vanduo	62043	90602	~0,7

Išvados

Išnagrinėjus šilumos siurblio tris, vis populiarijančias alternatyvas, galima daryti išvadas, kad:

1. Su šiuo metu egzistuojančia CŠT kWh kaina šilumos siurblių technologinės sistemos yra labai mažai pranašesnės lyginant su elektriniu pašildytuvu, dujine kolonėle ir CŠT, tačiau atsipirkimo laikas yra labai didelis
2. Naudojama šilumos siurblio ir saulės kolektorių sistema, padeda gauti gana aukštą COP=4,95. Tokį naudingumo koeficientą sąlygoja mažas kondensacijos ir virimo temperatūrų skirtumas. Naudojant šią sistemą taip pat pagerėja ir saulės kolektorių darbas, kadangi kuo vėsesnis vanduo laikomas saulės kolektoriuose, tuo daugiau šilumos jie sugeria. Pagrindinis šios sistemos trūkumas yra tas, kad reikia palyginti daug vietos saulės kolektorių įrengimui, norint gauti pakankamai reikalingos energijos.
3. Vienpakopio oras-vanduo šilumos siurblio įrengimo kaina palyginti yra mažesnė nei kombinuotos šilumos siurblio ir saulės kolektorių sistemos . Pagrindinis šios sistemos trūkumas yra tas, kad jos COP labai priklauso nuo lauko oro

temperatūros. Esant neigiamoms temperatūroms susiduriama su garintuvo apledėjimu, kuriam pašalinti reikia papildomos energijos. Nagrinėjamu atveju skaičiavimai atlikti prie $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir gautas COP (2,13) yra 2,32 karto mažesnis nei naudojant vanduo-vanduo šilumos siurblių ir saulės kolektorių. Toks didelis skirtumas atsirado dėl žemos virimo temperatūros. Jei lauko oro temperatūra nukristų iki $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir daugiau, gali būti, kad vien šių siurblių nepakaktų, norint pagaminti reikiamą šilumos kiekį.

4. Šilumos siurblio ir saulės kolektorių sistemoje kaip darbo agentą naudojant freoną R32 naudingumo koeficientas yra aukštesnis nei su freonu R410A. Tačiau vienpakopio oras-vanduo šilumos siurblio įrengimo naudojant R32 negalimas kadangi viršijamos šio agento darbo temperatūras.
5. Kadangi projektuojamas pastatas užima didelį plotą ir šiluminiai energijos poreikiai karšto vandens ruošimui yra dideli, nuspręsta likti prie centrinės šildymo sistemos karštam vandeniui ruošti. Šios sistemos kWh yra šiuo metu yra priimtinausia. Kitų sistemų įrengimo kaštai yra dideli, o jų atsipirkimas labai ilgas.

Literatūra

1. Statybos techninis reglamentas STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas“, patvirtintas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2016 m. lapkričio 11 d. įsakymu Nr. D1-745
2. Respublikinės statybos normos RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“ (Žin., 1994, Nr. 24-394; 2002, Nr. 96-4230).
3. Ekspertai.
http://www.ekspertai.lt/saules_kolektoriai/kainos/vakuuminiu_saules_kolektoriu_sistema
(paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-18)
4. Šilumos siurbliai.
http://www.silumossiurbliai.info/sites/default/files/tech/palyginimas_su_dujom.pdf
(paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-18)
5. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/13923730.2014.929599>
(paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-28)
6. Gimbutis, G., Kajutis, K., Pranckūnas, A., Švenčianas P. (1993). Šiluminė technika
7. <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiek-kainuoja-elektra-2017-m..html>
(paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-15)

Priedas Nr. 1 Kompresoriaus ZHI46K1P-TWD brėžinys

ZHI 46 K1P

