



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Aivar Kozlov

**Kombinuoto ciklo jėgainės aušintuvės atliekinės šilumos
panaudojimo termofikacinio vandens pašildymui galimybių studija**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Prof. Stasys Šinkūnas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
ŠILUMOS IR ATOMO ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
(parašas) Doc. dr. E. Puida
(data)

**Kombinuoto ciklo jėgainės aušintuvės atliekinės šilumos
panaudojimo termofikacinio vandens pašildymui galimybių studija**

Baigiamasis magistro projektas

Termoinžinerija (kodas 621E30001)M

Vadovas
(parašas) prof. Stasys Šinkūnas
(2015-05-27)

Recenzentas
(parašas) Doc. dr. Valdas Lukoševičius
(2015-05-29)

Projektą atliko
(parašas) Aivar Kozlov
(2015-05-25)

KAUNAS, 2015

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

Tvirtinu: _____
Šilumos ir atomo energetikos (parašas, data)
katedros vedėjas 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 pagilino ir papildė pagrindinėse studijose įgytas žinias, įgijo pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Taip pat jis parodo savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema Kombinuoto ciklo jėgainės aušintuvės atliekinės šilumos panaudojimo termofikacinio vandens pašildymui galimybių studija.

Feasibility study of CHP plant cooling tower waste heat utilization for district heating.

Patvirtinta 2015m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr.ST17-F-2.....

2. Darbo tikslas išanalizuoti esamą situaciją ir pasiūlyti atliekinės šilumos panaudojimo galimybę termofikacinio vandens pašildymui

3. Darbo struktūra 1. Esamos situacijos analizė; 2. Siūlomos sistemos aprašymas; 3. Šilumos siurblio termodinaminio ciklo analizė; 4. Ekonomio perspektyvumo analizė; 5. Reikiamų investicijų analizė; 6. Išvados.

4. Reikalavimai ir sąlygos: darbas turi atitikti baigiamajam magistro darbui keliamus reikalavimus. Turi būti atliktas Lietuvos Respublikos normatyvinių reikalavimų. Papildomi duomenys surinkti įmonėje UAB „Vilniaus Energija“.....

5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2015 m. gegužės mėn. 29 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentui Aivar Kozlov

Užduotį gavau Aivar Kozlov
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Aivar Kozlov

(Studento vardas, pavardė)

Termoinžinerija (kodas 621E30001)M

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Kombinuoto ciklo jėginės aušintuvės atliekinės šilumos panaudojimo termofikacinio vandens pašildymui galimybių studija“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 _____ 05. 30 _____

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Aivaro Kozlovo** baigiamasis projektas tema „Kombinuoto ciklo jėginės aušintuvės atliekinės šilumos panaudojimo termofikacinio vandens pašildymui galimybių studija“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kozlov, A. . Feasibility study of CHP plant cooling tower waste heat utilization for district heating. Master final degree project / prof. Stasys Šinkūnas; Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical engineering and design, Department of Thermal and Nuclear Energy.

Kaunas, 2015. 33 p.

SUMMARY

The final year masters project is based on the feasibility study of the recovery of waste heat from the cooling system of a combined cycle power plant for the purpose of heating up district heating water. The project analyses current needs for heating, evaluates alternative project options, carries out the analysis of the heat pump thermodynamic cycle and compares the operational costs of the existing and proposed systems. The importance of the proposed system is evaluated, according to the cost forecasts of heat and electricity.

Lentelių sąrašas

2.1 Įrenginių techninės charakteristikos.....	10
2.2 Vandens debitų reikšmės.....	11
4.1 Pastatų šildymo išlaidos.....	27
4.2 Mėnesinės išlaidos šildymui.....	28

Paveikslėlių sąrašas

2.1 Turbinos ir kondensatoriaus aušinimo schema.....	11
2.2 Vidutinis termofikacinio vandens kiekis.....	12
2.3 Vidutinės termofikacinio vandens temperatūros.....	12
2.4 Vidutiniai šiluminės galios poreikiai.....	13
3.1 Atliekinės šilumos panaudojimo schema.....	15
3.2 Nuvedamos šilumos kiekis.....	17
3.3 Nuvedamos šilumos galios.....	18
3.4 Šilumos siurblio diegimo schema.....	20
3.5 p-h diagrama.....	23
4.1 Vidutinės dujų ir mazuto kainos.....	24
4.2 Dujų kainos kitimo tendencijos.....	25
4.3 Vidutinės elektros kainos Nordpool biržoje.....	26
4.4 Mėnesinių išlaidų palyginimas.....	29

TURINYS

1	Įvadas	9
2	Esamos sistemos analizė	10
2.1	Vidaus šilumos tinklų analizė	11
2.2.	Galimi modernizavimo variantai	13
3	Siūlomos sistemos aprašymas	15
3.1	Šilumos siurblio termodinaminio ciklo analizė.....	19
3.1.1	Galimų darbo kūnų analizė	19
3.2.2	Termodinaminio ciklo analizė	19
4	Ekonominio perspektyvumo analizė.....	24
4.1	Dujų ir mazuto kainų analizė	24
4.2	Elektros kainų analizė	26
4.3	Esamos vidaus šilumos tinklų sistemos šildymo kainos palyginimas su šilumos siurblio tiekiamos šilumos kaina.....	26
5	Reikiamų investicijų analizė	29
6	Išvados	32
7	Literatūros šaltiniai.....	33

1. Įvadas

Elektros ir šilumos gamyba, naudojant alternatyviuosius energijos išteklius, sparčiai vystosi visame pasaulyje. Sparčiai vystosi elektros gamybos, naudojant saulės, vėjo, vandens telkinių, jūrų bangavimo energiją, technologijos. Kalbant apie šilumos gamybą, vienas iš perspektyviausių būdų tiekti šilumą tiek smulkiems vartotojams (individualus gyvenamieji namai), tiek stambiems (daugiabučiai, verslo ir pramogų centrai, administraciniai pastatai), yra pastaruosius du dešimtmečius labai greitai besivystanti šilumos siurblių pramonė. Šildymo sistemos su šilumos siurbliu seniai įrodė savo efektyvumą dėka to, jog perduoda vartotojui 3-5 kartus daugiau energijos, nei naudoja jos gamybai. Be to, šilumos siurblių sistemose naudojamos technologijos be kenksmingų medžiagų išmetimo į aplinką, tad ekologiniu požiūriu šilumos siurblys yra pranašesnis nei tradiciniai šilumos šaltiniai, naudojantys iškastinį kurą.

Didelės galios šilumos siurbliai, skirti centralizuoto šildymo sistemos modernizavimui ir vystymui, lyginant su mažos galios sistemomis, turi kelis privalumus: mažesni įrengimo kaštai vienai kilovatvalandei pagaminti; mažesnis užimamas plotas, lyginant su daug mažos galios šilumos siurblių; geresni techniniai bei ekonominiai (pavyzdžiui, didesnis kompresoriaus izoentropinio naudingumo koeficientas) šilumos siurblio rodikliai. Tokioms sistemoms labai svarbu turėti pakankamą pradinį šilumos šaltinį, iš kurio galima būtų nuvesdinėti didelį kiekį šilumos ir tai vykdyti ilgą laiką be didesnio poveikio aplinkai. Skandinavijos šalyse, kurių klimatinės sąlygos panašios į Lietuvos klimata, tam dažnai naudojami ir nutekamieji vandenys, taip pat upių arba jūros vanduo.

Šiame baigiamajame darbe, kaip potencialus šilumos šaltinis naudojamas vanduo, kuris aušina garo turbinų kondensatorius ir šiluma panaudojama elektrinės administracinių ir pagalbinių patalpų šildymui.

Darbo tikslas – išnagrinėti galimybę panaudoti atliekinę vandens šilumą termofikacinio vandens pašildymui ir atlikti ekonominį tokio projekto įvertinimą.

Darbo uždaviniai:

- nustatyti maksimalius bei vidutinius šilumos poreikius elektrinės pastatų šildymui ir karšto vandens ruošimui;
- atlikti galimo šilumos siurblio darbo ciklo analizę;
- atlikti šildymo sistemos su šilumos siurbliu ekonominį įvertinimą;
- nustatyti siūlomo projekto privalumus ir trūkumus.

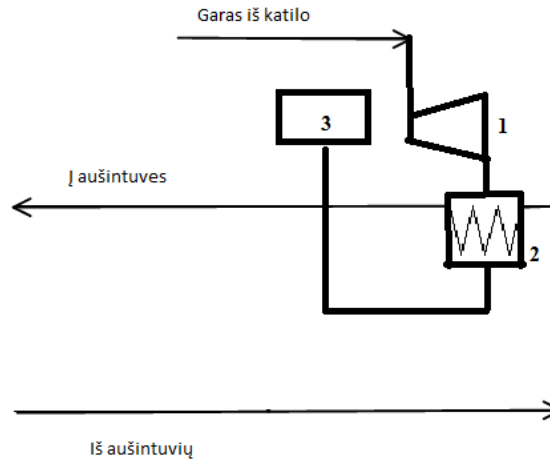
2. Esamos sistemos analizė

Vilniaus trečioji termofikacinė elektrinė – viena didžiausių šilumos ir elektros energijos gamintojų Lietuvoje, pagal elektrinę galią už ją galingesnės tik Lietuvos elektrinė Elektrėnuose bei Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė. Pagal šiluminę galią ši elektrinė kartu su Vilniaus antrąja elektrine yra didžiausia šilumos gamintoja Lietuvoje. Elektrinę sudaro du termofikaciniai energijos gamybos blokai. Kiekvieną bloką sudaro garo katilas, garo turbina su dviem termofikaciniais nuėmimais, elektros generatorius bei transformatorius. Šių įrenginių techninės charakteristikos pateiktos lentelėje Nr. 2.1.

2.1 lentelė. Įrenginių techninės charakteristikos

Įrenginys	Pavadinimas	Galia
Garo turbina	T-180/210-130	180/210MW
Garo katilas	TGME-206	670/700 t/h garo
Generatorius	TGV-200-2M	210MW
Transformatorius	TDC-250 000/110-70 UI	25MVA

Didelės galios jėgainė reikalauja didelio kiekio pagalbinės infrastruktūros: mazuto ūkio, chemijos ūkio, didelių remonto dirbtuvių, administracinio pastato, atskiruose pastatuose įrengtų siurblių bei atskiros garo katilinės, skirtos gaminti garus savoms elektrinės reikmėms nedirbant. Kadangi visi šie pastatai yra nemažo ploto bei išdėstyti dideliais atstumais vienas nuo kito, šilumos tinklai, skirti tiekti šilumą įmonės pastatų apšildymui ir karšto vandens ruošimui yra gana didelio ilgio, o patys šilumos poreikiai nemaži, pvz.: 2012 m. vidutinis šilumos poreikis sausio mėnesį įmonės pastatų apšildymui bei karšto vandens ruošimui siekė beveik 6,8 MW. Taigi dalis įmonės pagaminamos iš iškastinio kuro šilumos sunaudojama savo reikmėms, kas didina šilumos gamybos kaštus. Atidirbę turbinose garai nuvedami į kondensatorių, kur jų aušinimui naudojamas cirkuliacinis vanduo, kuris cirkuliuoja uždaru konturu, ši schema parodyta 2.1 pav.



2.1 pav. Turbinos ir kondensatoriaus schema. 1 - garo turbina; 2 – turbinos kondensatorius; 3 – deaeratorius.

Cirkuliacinis vanduo taip pat naudojamas įvairių kitų įrenginių aušinimui; elektros generatorių aušinimo sistemoje, maitinimo siurblių aušinimui, mechanizmų bei guolių aušinimui. Aušinančio vandens skaičiuotini debitai nurodyti 2.2 lentelėje.

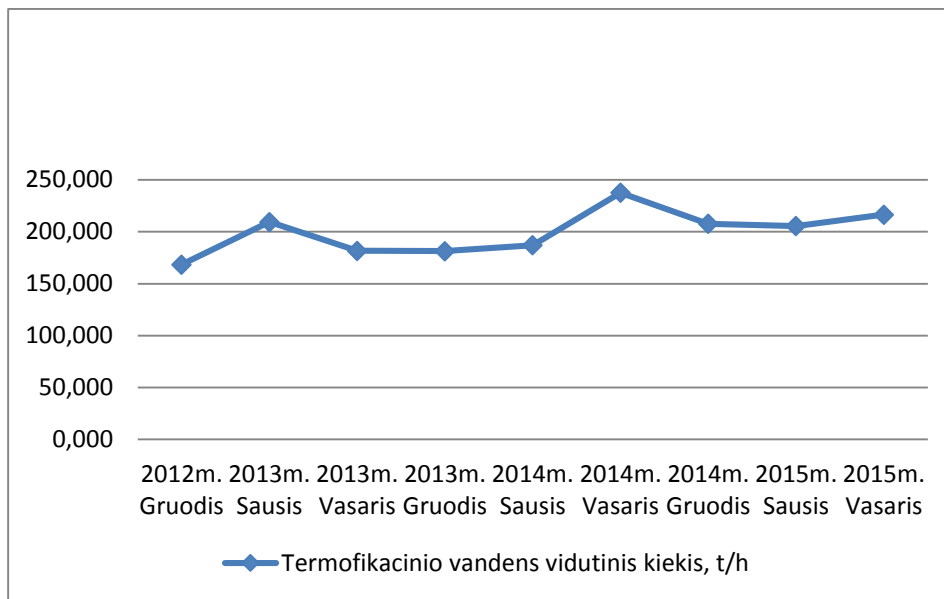
2.2 lentelė. Vandens debitų reikšmės

Įrenginys	Aušinančio vandens Q, t/h
Turbinos kondensatorius	1500
Generatoriaus vandenilio aušintuvai	450
Maitinimo siurblių elektros variklių aušintuvai	230
Įvairių mechanizmų ir guolių aušinimas	220
Tinklo siurblių aušintuvai	380
Bendras aušinančio vandens kiekis	2780

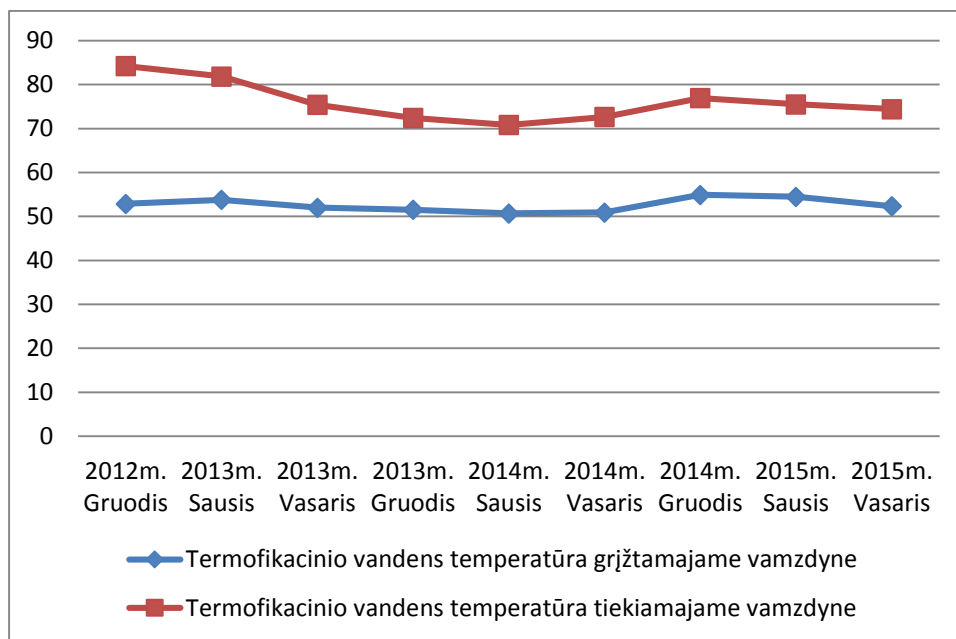
2.1 Vidaus šilumos tinklų analizė

Šiuo metu šiluma vidaus šilumos tinklams žiemos sezono metu tiekama arba iš Vilniaus miesto šilumos tinklų arba tiesiogiai iš elektrinės termofikacinio vandens šildytuvų, o vasarą šilumai tiekti naudojama arba pagalbinė katilinė, arba šiluma tiekama iš naujai pastatytos „Bionovus“ įmonės biokuro katilinės. Remiantis 2012, 2013, 2014, 2015 metų duomenimis, vidutinė šilumos poreikio galia sudarė 6,45 MW, esant vidutiniam termofikato debitui 199,49 t/h,

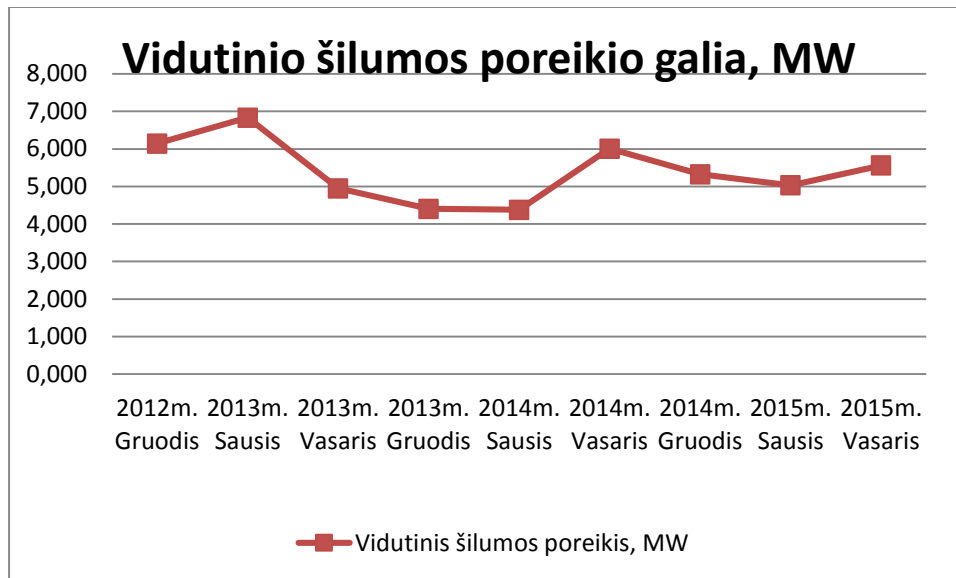
o vidutinėms temperatūroms tiekimo magistralėje 76°C, o grįžtamoje 53 °C. Surinkti duomenys pateikti 2.2, 2.3 ir 2.4 paveikslėliuose.



2.2 pav. Vidutinis termofikacinio vandens kiekis



2.3 pav. Vidutinės termofikacinio vandens temperatūros.



2.4 pav. Vidutinės šilumos poreikio galios MW.

Taigi, šie duomenys rodo, kad įmonės vidaus tinklų šilumos poreikiai yra labai dideli, palyginimui, viso Grigiškių mikrorajono šiluminės galios poreikis retai kada viršija 18MW, tad būtina modernizuoti esamą šildymo sistemą arba sumažinti šilumos suvartojimą.

2.2 Galimi modernizavimo variantai

Tam, kad sumažinti šilumos suvartojimą, reikėtų renovuoti esamus, senus elektrinės pastatus, pagerinus jų šilumos izoliaciją, visur įdiegti automatizuotus šilumos punktus bei termoregulatorius visose patalpose. Dalis šių priemonių jau yra įgyvendinta, administracinis pastatas renovuotas, daugelyje patalpų įrengti termoregulatoriai, pagrindinio korpuso šildymo sistema taip pat modernizuota, šiuo metu įrengtas pilnai automatizuotas šilumos punktas bei automatiniai šilumos regulatoriai šalia kiekvieno įrenginių salės šildymo kalorifero. Tačiau pagrindinio korpuso sienų bei stogo šilumos nuostoliai yra labai dideli, kadangi dalis sienų yra silpnai apšiltintos, katilinės sienos yra pastatytos su daugybe senų langų, kurių šiluminė varža yra labai maža, o stogas, pro kurį prarandama didelė dalis šilumos, yra palengvintos konstrukcijos.

Taip pat, didelį šilumos suvartojimą lemia tai, kad dalis termofikacinio vandens naudojama įvairių technologinių vamzdynų (distiliuoto vandens, nuderuskinto vandens, mazuto),

kurie pakloti ant estakadų, apšildymui šaltuoju metų periodu, tad sumažinti šilumos sunaudojimą juose neįmanoma.

Negalint mažinti šilumos energijos suvartojimo, reikia mažinti šilumos pagaminimo kaštus, įdiegus kitą šilumos šaltinį. Tokiais šaltiniais galėtų būti:

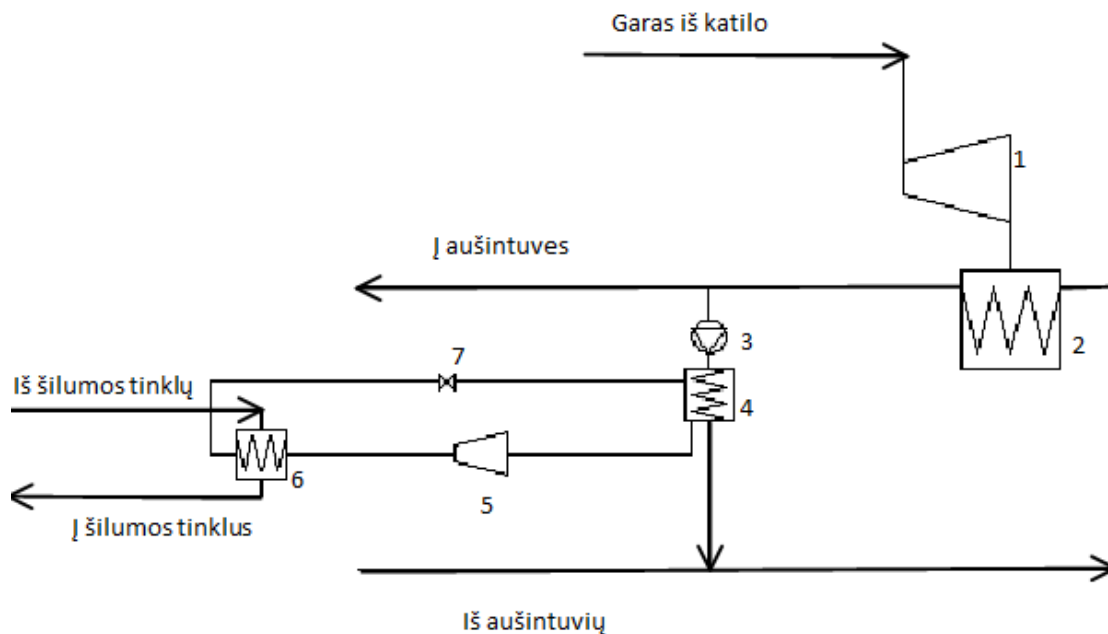
- saulės kolektoriai;
- biokuro vandens šildymo katilas;
- nauja 2014 m. pastatyta biokuro jėgainė, priklausanti „Bionovus“ įmonei;
- šilumos siurblys;

Vertinant šių galimų šilumos šaltinių perspektyvumą, atsižvelgta į šiuos faktorius:

- saulės kolektoriai reikalauja didelių investicijų, be to, jų galimybių užtektų tik karšto vandens ruošimo poreikiams tenkinti 7-8 mėnesius per metus;
- naujas 6-7 MW galios biokuro vandens šildymo katilas reikalautų didelių investicijų į patį katilą, kuro sandėlį, kuro tiekimo ir atvežimo bei apskaitos sistemą, o jo darbas tikslingas būtų tik tuo metų laiku, kai nedirba termofikacinės turbinos, tad atsipirkimo laikas būtų labai didelis.
- šilumos pirkimas iš „Bionovus“ - nereikalaujantis investicijų variantas, kadangi būtų naudojama esama infrastruktūra, tačiau tai neišspręstų baigiamajame darbe iškelto problemos – nepanaudojama atliekinė šiluma, kuri šiuo metu yra tiesiog „išmetama“ į orą.
- šilumos siurblys – šiuo atveju, būtų nenaudojama šilumos, pagamintos deginant iškastinį kurą, energija, taigi sumažėtų kenksmingi išmetimai į aplinką. Taip pat efektyviai panaudotume atliekinę aušinančio vandens šilumą, kadangi aušinantis vanduo yra tokios žemos temperatūros, kad jokia kitu būdu, išskyrus šilumos siurblių, mes jos panaudoti negalime.

3. Siūlomos sistemos aprašymas

Remiantis Skandinavijos šalių patirtimi, vidaus tinklų šilumos poreikius galima patenkinti didelės galios šilumos siurblio pagalba. Stokholme (Švedija) dirba jėgainė, susidedanti iš šešių šilumos siurblių, kurių suminė šiluminė galia siekia 180 MW, kurioje šilumos šaltiniu naudojamas jūros vanduo, kurio temperatūra žiemą turi +2-+4 laipsnius Celsijaus. Osle (Norvegija) ir Helsinkyje (Suomija) dirba šilumos siurbliai, naudojantys nutekamųjų vandenų šilumą. Vasarą šie šilumos siurbliai gamina šilumą karšto vandens ruošimui ir šaltį stambių prekybos ir verslo centrų kondicionavimo sistemoms. Vilniaus trečiosios elektrinės atveju, siūlomos atliekinės šilumos panaudojimo principinė schema parodyta 3.1 paveiksle.



3.1 pav. Atliekinės šilumos panaudojimo schema: 1- garo turbina; 2- garo kondensatorius; 3- siurblys; 4-šilumos siurblio garintuvas; 5- kompresorius; 6-kondensatorius; 7- droselinis vožtuvas.

Šios sistemos veikimo principas: cirkuliacinio vandens, aušinančio turbinoje atidirbusį garą, srauto dalis arba visas srautas, priklausomai nuo esamo šilumos poreikio, nukreipiamas į šilumos siurblio garintuvą, kuriame perduoda savo šilumą darbo kūnui tiekiamam elektrinio kompresoriaus. Po garintuvo darbo kūnas patenka į šilumokaitį (kondensatorių), kuriame

atiduoda savo šilumą termofikaciniam vandeniui, grįžtančiam iš šilumos tinklų, o vėliau teka į droselinį vožtuvą, po kurio vėl patenka į šilumos siurblio garintuvą.

Remiantis įmonėje turimais technologiniais duomenimis, vandens vidutinis temperatūrų skirtumas prieš ir už aušintuvių siekia 2-3 laipsnius Celsijaus. Tai žinant, galima sudaryti šilumos balanso formulę:

$$Q = G * c(t_2 - t_1), \quad (3.1)$$

kur

Q- šilumos kiekis, kuris nuvedamas į aplinką aušintuvėse kW;

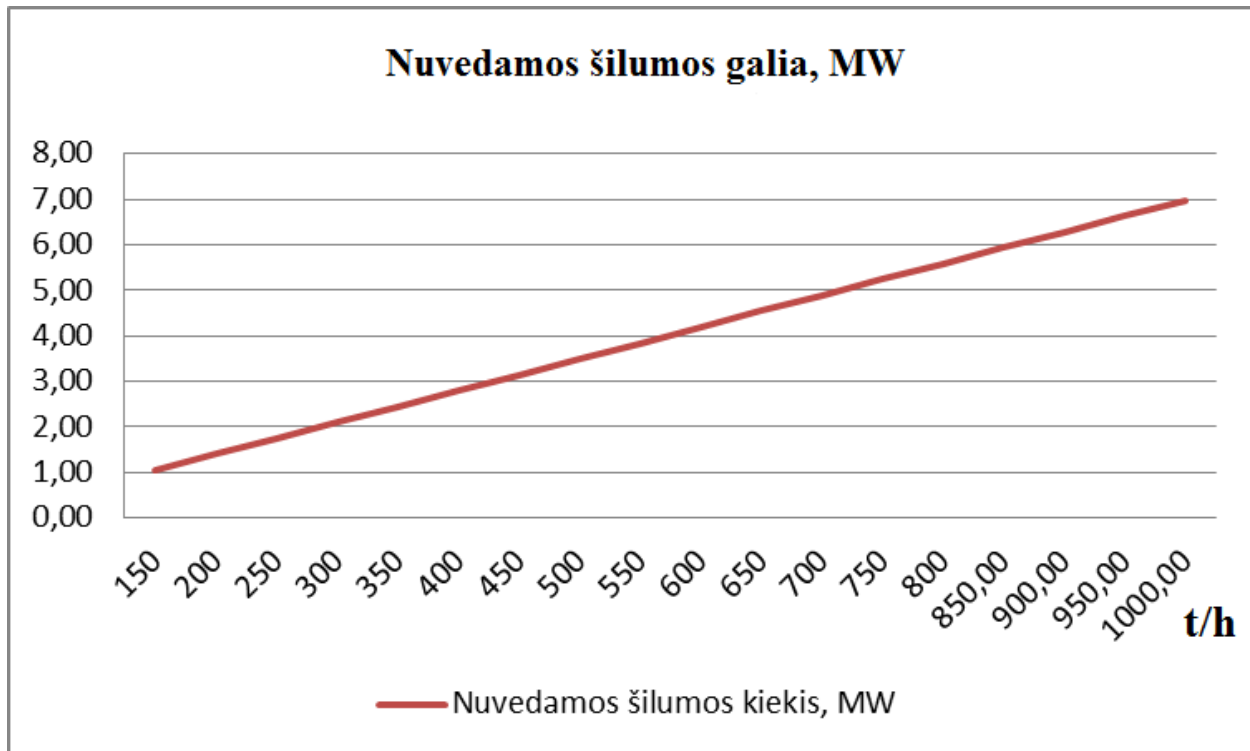
G- masinis cirkuliacinio vandens debitas kg/s;

c- savitoji vandens šiluminė talpa, priimama 4,186 kJ(kg*K);

t_1 - vidutinė cirkuliacinio vandens temperatūra °C prieš turbinos kondensatorių (po aušintuvių);

t_2 - vidutinė cirkuliacinio vandens temperatūra °C po turbinos kondensatorių (prieš aušintuves).

Žinodami vidutinės aušinamo vandens temperatūras prieš ir po aušintuves bei galimą vandens debitą per turbinos kondensatorių galima nustatyti, kiek įmanoma panaudoti šilumos.



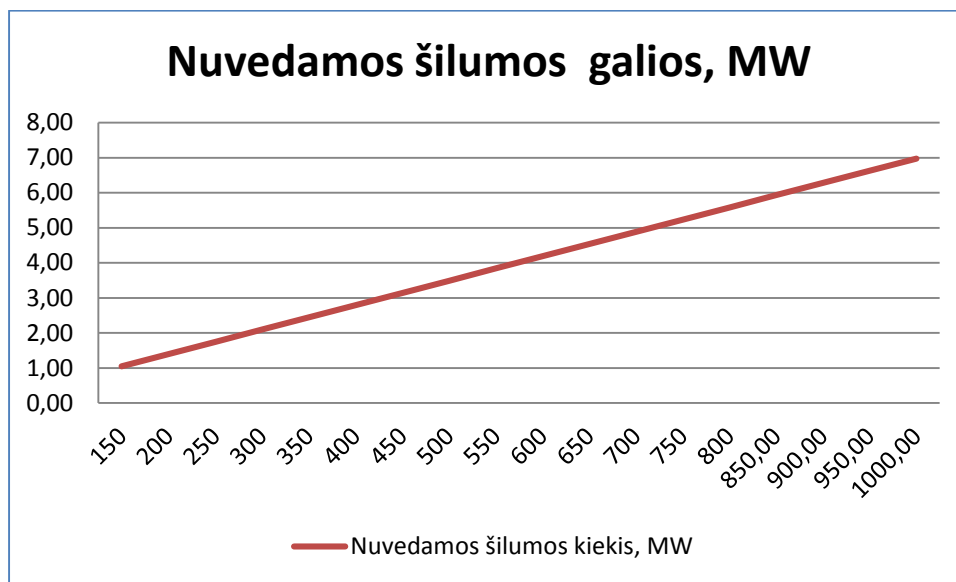
3.2 pav. Panaudojamos šilumos potencialas MW.

Skaičiavimuose buvo vertintas viename energijos gamybos bloke nuvedamos atliekinės šilumos kiekis, kintant cirkuliuojančio vandens debitui nuo minimalios 1000 t/h reikšmės iki maksimalios - 12000 t/h. Šildymo sezono metu turbina dirba termofikaciniu režimu ir didžioji dalis turbinoje atidirbusių garų tiekiami į termofikacinio vandens šildytuvus, kur perduoda savo šiluminę energiją miesto šilumos tinklų vandeniui. Į turbinos kondensatorių tiekiamų garų kiekis nėra didelis, todėl ir jų aušinančio vandens kiekis dažniausiai siekia 2500-3000 t/h (Elektrinėje nėra įrengtų cirkuliacinio vandens debito skaitiklių, todėl pasinaudojau technologine turbinos kondensatoriaus dokumentacija). Matome, kad net esant vidutiniam skaičiuotinam debitui – 2780 t/h (2 lent.), šilumos kiekis, kurį galima būtų panaudoti, yra ženklus ir lygus:

$$Q = 2780 * 4,186(18 - 16) = \frac{2780000}{3600} * 4,186(18 - 16) = 6465kW = 6,465MW$$

Sulyginę gautą rezultatą su statistiniais vidutinio šilumos poreikio duomenimis, pateiktais 3 pav., matome, kad šilumos kiekis būtų pakankamas pastatų šildymui. Darbo skaičiavimuose

aušinančio vandens prieš ir po aušintuvės temperatūrų skirtumas priimtas $\Delta t=2^{\circ}C$ siekiant, kad nepakistų šilumos mainų turbinos kondensatoriuje parametrai, dėl to šilumos mainai šilumos siurblio garintuve gali būti nepakankamai intensyvūs. Šią problemą mes galime išspręsti į šilumos siurblio sistemą nuvedant ne visą aušinančio vandens srautą, o tam tikrą jo dalį, kurią mes galėsime dėka efektyvesnės šilumokaitos atvėsinti daugiau ir pasiekti turbiną aušinančio vandens temperatūrų skirtumą $\Delta t= 6^{\circ}C$. Remdamiesi šilumos balanso formule (1), nustatome nuvedamos šilumos siurblio garintuve šilumos kiekius priklausomai nuo aušinančio vandens kiekio. Gauti rezultatai pateikti 3.3 paveiksle.



3.3 pav. Nuvedamos aušintuvėse šilumos galios.

Matome, kad keičiant kondensatorių aušinančio vandens debitą, galime keisti ir atiduodamą šilumos kiekį kondensatoriuje, kartu užtikrinant ir lankstų šilumos gamybos reguliavimą bei optimalų šildymo sistemos darbą žiemą, kuomet šilumos poreikis yra didelis ir vasarą, kai šiluma naudojama tik karštam vandeniui ruošti. Vandens debito keitimui tikslinga įrengti papildomus vandens siurblius su dažnio keitikliais, kurie užtikrintų vandens debito, patenkančio į šilumos siurblio garintuvą, reguliavimą ir reikiamų vandens slėgių po garintuvo ir cirkuliacinio vandens už aušintuvių slėgio perkryčio palaikymą.

3.2 Šilumos siurblio termodinaminio ciklo analizė

3.2.1 Galimų darbo kūnų analizė

Ankstesniuose šilumos siurbliuose buvo naudojami įvairūs darbo kūnai, pvz. R12, R22, R502, tačiau griežtėjant ekologinėms normoms, dauguma senų darbo kūnų, kurie kenkia ozono sluoksniui yra uždrausti. Europos sąjungoje kol kas dar nėra uždraustas R22, tačiau pagal Europos sąjungos direktyvą, jo naudojimas laipsniškai mažinamas, ypač automobilių pramonėje. Dabar plačiai paplitęs taip vadinamos trečios kartos darbo kūnas R134a (tetrafluoretanas), kuris nekenkia ozono sluoksniui (ODP=0), o jo poveikis klimato atšilimui apibūdinamas koeficientu GWP=1340, lyginant su anglies dioksidu.

Šiuo metu kuriami nauji šaldymo agentai, R-1234yf, kurio GWP = 4, o OPD = 0. Tačiau kol kas aukštatemperatūroje šilumos siurblių sistemose labiausiai paplitęs yra R134a.

3.2.2 Termodinaminio ciklo analizė

Kadangi elektrinės pastatų šildymo sistema yra aukštatemperatūroje, tikslinga įrengti šilumos siurblių su dvipakopiu kompresoriumi, tokia sistema parodyta 3.1 pav.

Atliekant termodinaminę analizę, priimu tokius duomenis:

- šilumos siurblys su dvipakopiu išcentrinio kompresorium ir tarpine talpa, šiluminė galia 6,5 MW.
- darbo kūno temperatūra garintuve 3,5°C, o kondensatoriuje 90,1°C.

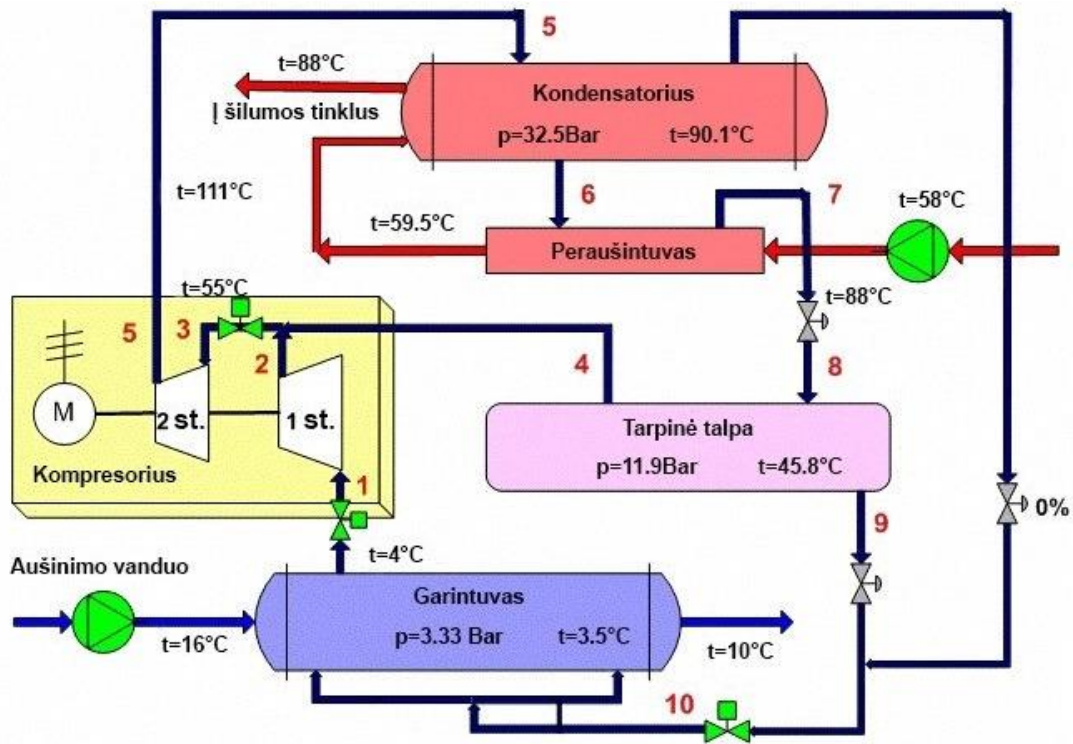
Darbo kūnas – R-134a (tetrafluoretanas $\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$), kuris nekenkia ozono sluoksniui, taigi yra patrauklus tiek technine, tiek eko. Tam, kad nustatyti visų termodinaminių parametrų tarpusavio sąryšį visuose darbo ciklo taškuose (slėgis p , temperatūra T , molinis tūris V , šiluminė talpa c_p , entalpijos h ir entropijos s), nagrinėjamo darbo agento kaip realiųjų dujų, panaudota Pengo-Robinsono lygtis, kuri yra viena iš tiksliausių srityse, kurios artimos kritiniam taškui.

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a \alpha}{V(V + b) + b(V - b)}$$

čia p – slėgis (Mpa), T – temperatūra (K), V – molinis tūris (m^3/kmol), $R = 0,0083144$ $\text{Mpa}\cdot\text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{K}$ [$\text{kJ}/(\text{mol}\cdot\text{K})$], a, b, α – koeficientai, nustatomi remiantis darbo agento termodinaminėmis savybėmis kritiniame taške. Suspaudimo koeficientas Z gaunamas:

$$Z = \frac{PV}{RT}$$

logine prasme.



3.4 pav. Šilumos siurblio diegimo schema

Tam, kad nustatyti visų termodinaminių parametrų tarpusavio sąryšį visuose darbo ciklo taškuose (slėgis p , temperatūra T , molinis tūris V , šiluminė talpa c_p , entalpijos h ir entropijos s), nagrinėjamo darbo agento kaip realiųjų dujų, panaudota Pengo-Robinsono lygtis, kuri yra viena iš tiksliausių srityse, kurios artimos kritiniam taškui.

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)+b(V-b)}$$

čia p – slėgis (Mpa), T – temperatūra (K), V – molinis tūris (m^3/kmol), $R = 0,0083144$ Mpa· $\text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{K}$ [$\text{kJ}/(\text{mol}\cdot\text{K})$], a, b, α – koeficientai, nustatomi remiantis darbo agento termodinaminėmis savybėmis kritiniame taške. Suspaudimo koeficientas Z gaunamas:

$$Z = \frac{PV}{RT}$$

Entalpijos reikšmių pokytis $h_{p,T}$ [J/mol] ir entropijos $S_{p,T}$ [$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$] esant slėgiui P ir temperatūrai T prie nuoseklaus perėjimo nuo vieno proceso taško prie kito, buvo nustatomi remiantis termodinaminiais skaičiavimais, nurodytais [7]. Šiuo atveju, gautų parametų paklaida lyginant su duomenimis nurodytais [6] neviršija 2%

Atliekant dvipakopio šilumos siurblio skaičiavimą su tarpine talpa ir dvipakopiu droseliavimu, darbo kūno debitas žemo slėgio konture G_z ir aukšto slėgio konture G_a nustatomi iš energijos balanso tarpinei talpai adiabatinėmis sąlygomis:

$$G_a \cdot (h_4 - h_g) = G_z \cdot (h_4 - h_9)$$

kur h_4, h_8 ir h_9 – savitosios entalpijos [kJ/kg] proceso darbinuose taškuose 4, 8 ir 9 (3.2.2.1 pav.).

Iš čia darbo kūno debitų santykis:

$$\frac{G_a}{G_z} = \frac{(h_4 - h_9)}{(h_4 - h_8)} = \frac{1 + \delta}{1} = \frac{422,7 - 262,5}{(422,7 - 349,7)} = 1,954$$

kur δ – garo dalis iš tarpinės talpos lyginant su garu iš pirmosios kompresoriaus pakopos; tuomet $1 + \delta$ – garo debitas antrojoje kompresoriaus pakopoje. Gauname $\delta = 0.954$.

Garų entalpija taške 3 (garas, tiekiamas į antrąją kompresoriaus pakopą) nustatoma iš garų, išeinančių iš tarpinės talpos (taškas 4) ir iš pirmosios kompresoriaus pakopos (taškas 2) susimaišymo lygties:

$$h_3 = \frac{h_{2+\delta} \cdot h_4}{1 + \delta} = \frac{439,8 + 0,954 \cdot 422,7}{1,954} = 431,4 \text{ kJ/kg}$$

Skaičiuojant suslėgimo procesus kompresoriaus pakopose, nustatant h_2 ir h_5 , izotropinis naudingumo koeficientas buvo priimtas 0,85.

Nustatyta šilumos siurblio kondensatoriaus šiluminė galia – 6500kW ir vandenį galima pašildyti nuo 58 iki 88 °C.

Darbo kūno debitas aukšto slėgio kontūre lygus:

$$G_H = \frac{Q_{kond}}{h_5 - h_1} = \frac{6500}{(462,5 - 340,7)} = 53,37 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 192,13 \text{ t/h}$$

Darbo kūno debitas žemo slėgio kontūre lygus:

$$G_L = \frac{G_h}{1 + \delta} = \frac{53,37}{1,954} = 27,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 98,32 \text{ t/h}$$

Mechaninės energijos kiekis, reikalingas pirmosios ir antrosios pakopos kompresoriams:

$$N_{x1} = G_z \cdot (h_2 - h_1) = 27,31 \text{ kg/s} \cdot (439,8 - 403,5) \text{ kJ/kg} = 991,35 \text{ kW}$$

$$N_{x2} = G_a \cdot (h_5 - h_3) = 53,37 \text{ kg/s} \cdot (462,5 - 431,4) \text{ kJ/kg} = 1659,81 \text{ kW}$$

$$N_{x\varepsilon} = N_1 + N_2 = 991,35 \text{ kW} + 1659,81 \text{ kW} = 2651,16 \text{ kW}$$

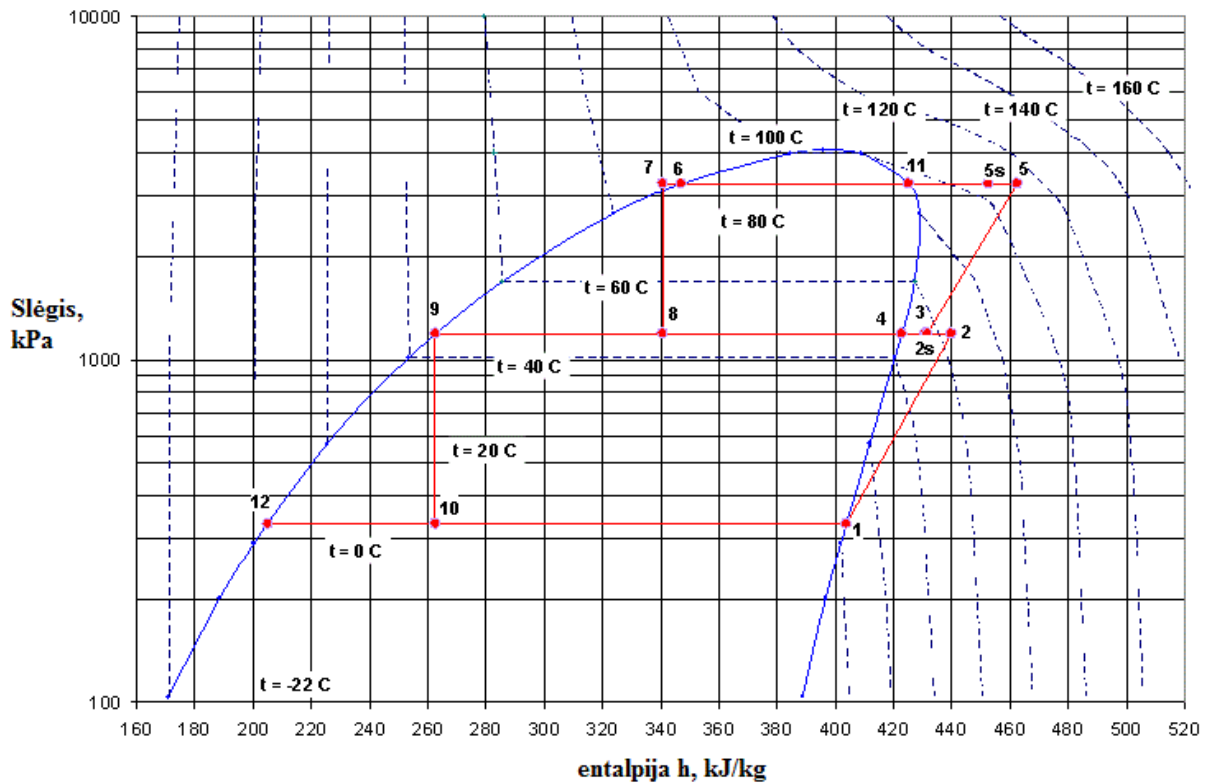
Elektros variklio, sukančio kompresorių, elektromechaninis naudingumo koeficientas η_{em} priimamas lygus 0,98. Tuomet naudojamos elektros energijos galia kompresoriaus sukimui:

$$N_e = \frac{N_{x\varepsilon}}{\eta_{ev}} = \frac{2651,16}{0,98} = 2705,26 \text{ kW}$$

Šilumos transformavimo koeficientas nustatomas pagal formulę:

$$\mu = \frac{Q_{kond}}{N_e} = \frac{6500}{2705,26} = 2,402$$

Remiantis šiais skaičiavimais, sudaryta proceso diagram P-H koordinatėse:



3.5 pav. p-h diagrama

Matome, kad gautas šilumos transformavimo koeficientas, lyginant su kitais šilumos siurbliais yra nedidelis. Tam įtakos turi tai, jog skaičiavimuose buvo pasirinktas variantas, esant dideliam darbo kūno temperatūrų perkričiui, tarp garintuvo ir kondensatoriaus, kuris nepasiekiamas daugeliui kitų šilumos siurblių tipų.

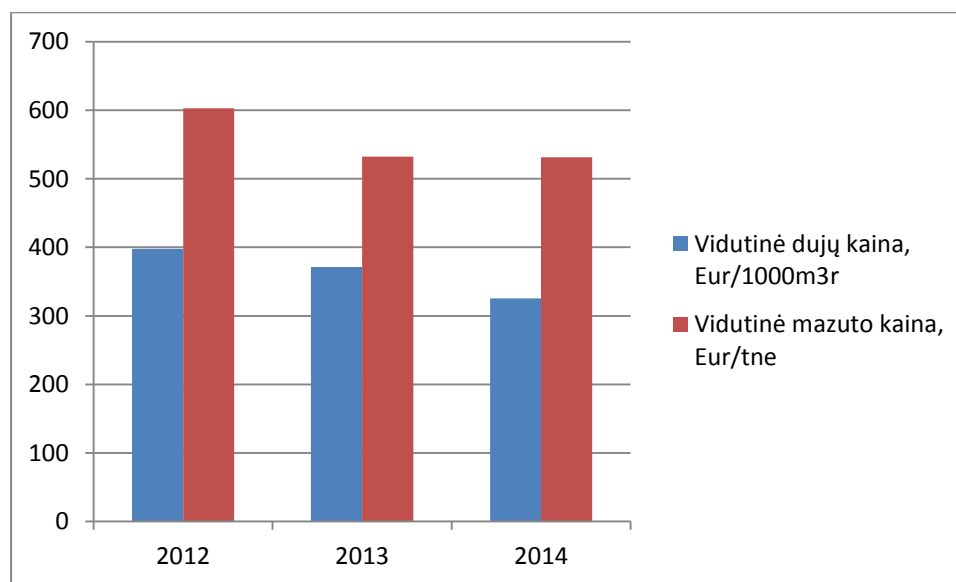
4. Projekto ekonominė analizė

Vertinant šio projekto ekonominį patrauklumą, reikia atsižvelgti į kelis faktorius:

- dabartines šilumos, gaminamos naudojant iškastinį kurą (dujas arba mazutą) kainas, taip pat biokuro kainas bei būsimus šių kainų pokyčius;
- dabartines ir ateityje prognozuojamas elektros energijos kilovatvalandės kainas rinkoje;
- sunaudojamos elektros energijos kiekį, idiegos naują sistemą;
- reikiamas investicijas;
- šilumos siurblio eksploatavimo kaštus (techninė priežiūra, remontas, atlyginimas personalui).

4.1 Dujų ir mazuto kainų analizė

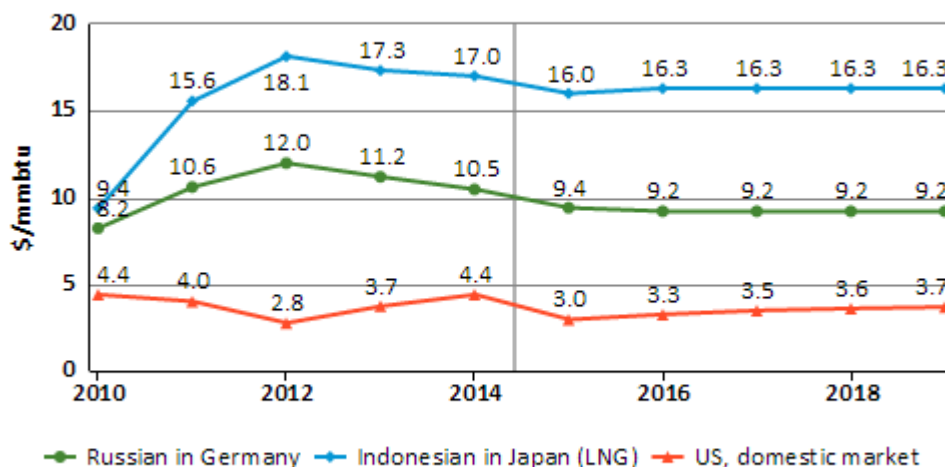
Pagrindinis Vilniaus trečiosios termofikacinės elektrinės kuras yra dujos, rezervinis – mazutas. Todėl, dujų kaina turi didžiausią įtaką vertinant, kokios yra išlaidos savų elektrinės reikmių šilumos poreikiams patenkinti. Dujų kaina per paskutinius tris metus kito nežymiai, o jos pokytis parodytas 4.1 paveiksle.



4.1 pav. Vidutinės dujų ir mazuto kainos.

Dujų kainą lemia 6 arba 9 mėnesių mazuto ir katilų skystojo kuro kainų vidurkiai, pvz. 2015 sausio mėnesio gamtinių dujų kaina nustatoma pagal 2014 m. liepos-gruodžio mėnesių arba balandžio-gruodžio mėnesių mazuto ir gazolio kainų vidurkius. Kadangi naftos kaina yra sunkiai prognozuojama, dėl ekonominių ir politinių priežasčių, tad tiksliai nustatyti, kokia dujų kaina bus po vienerių, trijų ar penkerių metų, vargu ar įmanoma, dėl to pasaulinės ekonomikos analitikai vengia ilgalaikių kainos prognozių. Įvairios finansinės organizacijos pateikia skirtingas prognozes, pavyzdžiui įvairių pasaulio ekonomikos sričių duomenų surinkimu bei apdorojimu tarptautinė organizacija <knoema.com> savo tinklapyje skelbia tokias galimas dujų kainos kitimo tendencijas, pateiktas 4.2 pav.:

IMF: Natural Gas, \$/1000 m³



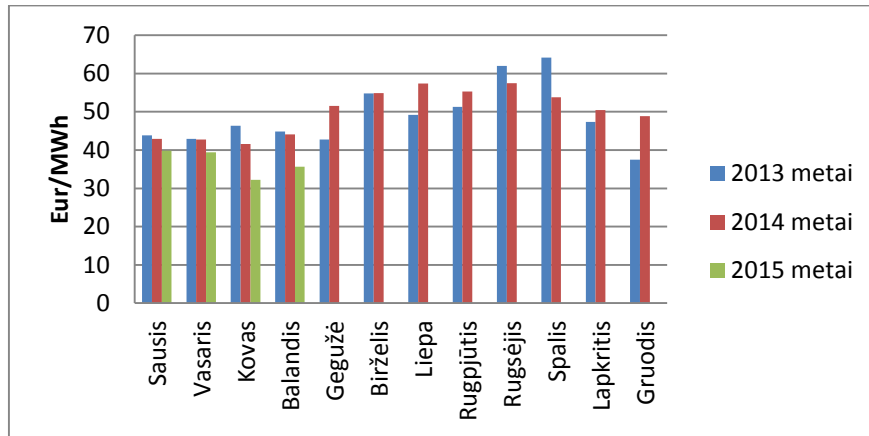
Source: [IMF Commodity Price Forecasts, March 2015](#)

4.2 pav. Dujų kainos kitimo tendencijos

Kaip matome, jei remtis šią prognoze, pasaulyje dujų kaina artimiausius tris metus išliks stabili. Lietuvos atveju, dujų kaina taip pat augti neturėtų, tam įtakos turi tiek pasaulinės tendencijos, tiek tai, jog nuo 2014 m. Lietuva jau nėra priklausoma nuo vieno dujų tiekėjo („Gazprom“), o turi alternatyvą – suskystintų dujų terminalą. Tad savo tolimesniuose skaičiavimuose galiu remtis dabartinėmis dujų kainomis.

4.2 Elektros kainos analizė

Vertinant šilumos siurblio ekonominį efektyvumą, vienas pagrindinių faktorių yra elektros kaina, nes įdiegus šilumos siurblių, būtent kompresoriaus sunaudojama elektros energija sudaro didžiausius sistemos eksploatavimo kaštus. Remiantis NORDPULL elektros biržos duomenimis, pateiktais 4.3 pav., vidutinė elektros kaina žiemos mėnesiais 2013-2015m. buvo 45,382 Eur/MWh.



4.3 pav. Vidutinės elektros kainos Nordpool biržoje.

4.3 Esamos vidaus šilumos tinklų sistemos šildymo kainos palyginimas su šilumos siurblio tiekiamos šilumos kaina

Tam, kad palyginti šildymo išlaidas, remdamiesi <www.regula.lt> nurodytomis šilumos kainomis ct/kwh ir vidutiniais šilumos poreikiais (2.4 pav.), nustatysime, kiek kainuoja įmonės pastatų šildymas esant dabartinei vidaus tinklų sistemai 2014-2015 m. žiemos mėnesiais:

- 2014m. Sausis:

Vidutinis valandinis šilumos poreikis šį mėnesį sudarė $Q_{val.}=4,379\text{MW}=4379\text{kW}$ per valandą. Taigi, per mėnesį šilumos suvartojimas lygus:

$$Q_{2014 \text{ sausis}} = Q_{val} * a * b \quad (4.1)$$

čia

a - valandos per parą ;

b – mėnesio dienų skaičius.

$$Q_{2014 \text{ sausis}} = 4379 * 24 * 31 = 3257976\text{kWh/mėn}$$

Tuo tarpu, 1kWh šilumos kainavo 24,35 lietuviškų centų arba 0,24 Lt.

Taigi 2014m. sausio mėnesio išlaidos šildymui sudaro:

$$3257976 * 0,24 = 793317,16 \text{ Lt.}$$

Analogiškai paskaičiavęs išlaidas kitais mėnesiais bei metais, gaunu šiuos rezultatus:

4.1 lentelė. Pastatų šildymo išlaidos.

Mėnuo	Suvalytos šilumos kiekis per mėnesį kWh	Šilumos kaina Lt/kWh	Išlaidos šildymui per mėnesį Lt	Išlaidos šildymui per mėnesį, Eur
2014 m. sausis	3258042,17	0,24	788772,01	228444,1641
2014 m. vasaris	4036008,10	0,24	902451,41	261367,9947
2014 m. gruodis	3960708,70	0,22	870563,77	252132,6959
2015 m. sausis	3741389,09	0,22	804772,79	233078,3112
2015 m. vasaris	3736992,92	0,22	803827,18	232804,442
Iš viso:			4170387,6	1207828

Tokio paties kiekio šilumos energijos, ją gaminant šilumos siurblio pagalba, kaina paskaičiuoju šiuo būdu:

- žinodamas mėnesinį šilumos poreikį ir transformacijos koeficientą, rastą 3 skyriuje, apskaičiuoju elektros energijos kiekį, kurį suvartos šilumos siurblys:

$$Q_{el} = Q_{m\acute{e}n} / \mu$$

čia:

Q_{el} – šilumos siurblio sunaudojamos elektros galia, kW

$Q_{m\acute{e}n}$ – mėnesinė sunaudojamos šilumos galia, kW

μ – šilumos siurblio transformacijos koeficientas

2014m. sausį, įrengus šilumos siurblį, butu suvartota elektros energijos:

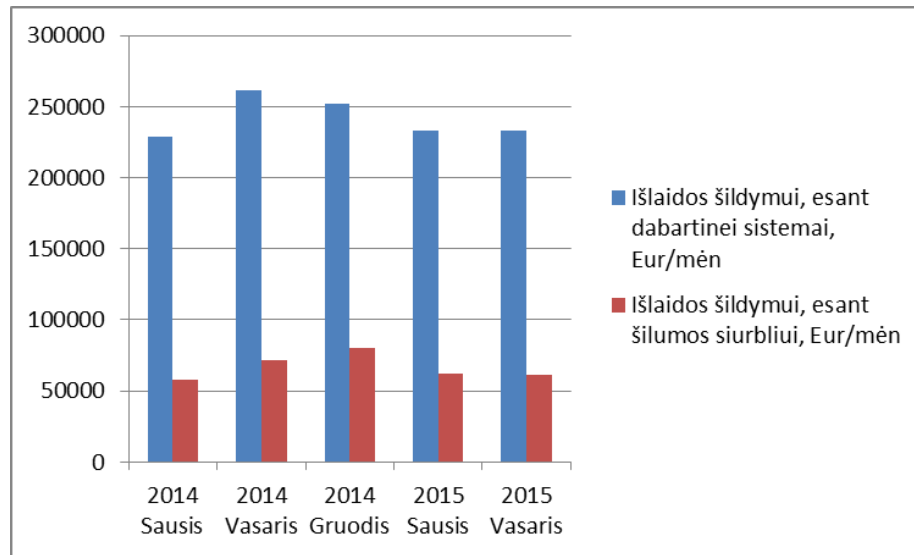
$$Q_{el} = \frac{3258042,17}{2,402} = 1356387,25 kWh;$$

Analogiškai paskaičiuoti kitų mėnesių galimi energijos suvartojimai, elektros energijos mėnesinės kainos ir galimos išlaidos šildymui pateiktos 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė. Mėnesinės išlaidos šildymui

Mėnuo	Suvaltos šilumos kiekis per mėnesį kWh	Elektros kaina Eur/kWh	Išlaidos šildymui per mėnesį Lt	Išlaidos šildymui per mėnesį, Eur
2014 m. sausis	3258042,17	0,043	201149,19	788772,01
2014 m. vasaris	4036008,10	0,043	247903,89	902451,41
2014 m. gruodis	3960708,70	0,049	278236,22	870563,77
2015 m. sausis	3741389,09	0,040	213942,01	804772,79
2015 m. vasaris	3736992,92	0,039	211864,21	803827,18
Iš viso:			333959,55	1153095,52

Išlaidų šildymui palyginimas pateiktas 4.4 paveiksle.



4.4 pav. Mėnesinių išlaidų šildymui palyginimas

Taigi matome, kad sąnaudos šildymui skiriasi labai ženkliai, esant maksimaliam šilumos suvartojimui, koks buvo 2014m. vasario mėnesį, išlaidų skirtumas sudarytų net 189570 Eur., o per 2014-2015m. žiemos mėnesius mes galėtume sutaupyti iki 873868,06 Eur, kas yra didžiulė suma. Tiesa, šiuose skaičiavimuose nebuvo vertintos elektros sąnaudos papildomam aušinančio vandens siurbliui, šilumos siurblio sistemos priežiūros ir remonto kaštai, tačiau jie nebūtų žymūs.

4.4 Reikiamų investicijų analizė

Šilumos siurblių technologijoms sparčiai tobulėjant, jos tampa vis patrauklesnės ne tik smulkiems vartotojams, tokiems kaip butai ar individualūs namai, bet ir stambiems vartotojams, kurių šilumos poreikiai yra kur kas didesni. Tačiau visais atvejais, vertinant šilumos siurblio jėgines perspektyvumą, susiduriama su keliomis problemomis:

1. Reikalingas toks žemo potencialo šilumos šaltinis, kurio užtektų užtikrinti reikiamą vartotojui šilumos kiekį;
2. Didelės investicijų reikalaujantis šilumos siurblio kolektorių įdiegimas. Lietuvos šalto klimato sąlygomis, populiarūs Europoje šilumos siurbliai oras-vanduo

neužtikrina reikiamos šiluminės galios, todėl dažniausiai naudojami variantai vanduo-vanduo, arba gruntas- vanduo. Paskutiniu atveju, gan didelę dalį investicijų sudaro gręžimo bei kolektoriaus klojimo į žemę darbai, šiuo metu Lietuvoje vieno metro vertikalaus gręžinio kaina siekia apie 20-25 eurus.

3. Kartais vartotojai susiduria su grunto ar vandens, iš kurio buvo imama šiluma, atšalimu. Individualių namų savininkai su tuo susiduria po gan daug metų, tuo tarpu Kauno jachtklubo savininkai, įrengę geoterminio šildymo sistemą ir pakloje šilumos siurblio kolektorius Kauno marių įlankoje, susidurė su ta problema, kad vanduo įlankoje užšalo ir šilumos siurblys nebegalėjo reikiamai veikti.
4. Didelės investicijos į šilumos siurblio kompresorių ir didelės elektros sąnaudos. Individualių namų atveju, kainos už šilumos siurblio komplektą svyruoja nuo 2000 eurų iki 18000 eurų.
5. Viena iš esminių šilumos siurblių problemų šiaurės klimato šalyse, kuriam priskiriama ir Lietuva, yra tai, kad esant žemoms lauko oro temperatūroms, kai šilumos poreikis yra didžiausias, šilumos siurblio efektyvumas mažėja, dėl to, būtina įrengti papildoma šilumos šaltinį. Individualaus namo atveju, tai būna dujinis arba kieto kuro katilas, arba elektrinis boileris. Didelių jėgainių atveju, pavyzdžiui Klaipėdos geoterminės jėgainėje papildomas šilumos šaltinis yra dujiniai vandens šildymo katilai. Tokia sistema mažina šilumos siurblio naudą, kadangi didėja investicijos, taip pat tenka sunaudoti ir iškastinį kurą, taigi padidėja šilumos kaina.

Vilniaus trečios termofikacinės elektrinės atveju, dauguma šių problemų išsprendžiamos lengviau:

1. Turime didelį atliekinės šilumos šaltinį, kuris dabar yra tiesiog išmetamas į aplinką;
2. Kadangi darbo agento pašildymui būtų naudojamas aušinantis vanduo, galima panaudoti jau esamas pagrindinio elektrinės gamybinio korpuso patalpas ir šilumokaičius, šilumos siurblio kompresorių, tarpinę talpą, peraušintuvą įrengti esamame pastate. Tai leistų sumažinti vamzdyno klojimo, šilumos siurblio elementų montavimo, elektros instaliacijos kainą. Be to, eksploatuojant

šià sistemà nereiktų papildomai plèsti elektrinès personalo, nes tokios šilumos siurblių sistemos yra labai aukšto automatizavimo lygio ir reikalauja minimalios priežiūros. Valdymo sistema būtų įdiegta šalia jau esančių kompiuterizuotų šilumos įrenginių valdymo sistemų ir užtikrintų sklandų jėgainės veikimą.

3. Elektrinės atveju turime nuolatinį didelį vandens, iš kurio bus imama šiluma, srautą, o kadangi tais žiemos mėnesiais, kai šilumos poreikis yra didžiausias, energijos gamybos blokas dirba didele apkrova, tai šilumos kiekis, kuris gaunamas turbinos kondensatoriuje, taip pat yra didelis ir jo užteks tam, kad palaikyti aušinančio vandens temperatūrą 16-18°C ir šilumos siurblio galia nemažės.

4. Kadangi reikėtų dviejų pakopų kompresoriaus, kurio galia būtų apie 3MW, tai ši šilumos siurblio dalis pareikalautų tikrai didelių investicijų, tačiau esant dideliam bei pastoviam šilumos poreikiui ir atitinkamai dideliam skirtumui tarp išlaidų, esant dabartinei šildymo sistemai ir galimai sistemai su šilumos siurbliu, šis modernizavimas atsipirktų.

5. Darbe siūlomas šilumos siurblys su dvipakopiu kompresoriumi ir darbo kūnu R134a, tai leidžia pasiekti didelę tiekiamo į šilumos tinklus termofikato temperatūrą, pakankama, kad patenktini reikiamus šilumos poreikius. Tais atvejais, kai šilumos poreikiai bus didesni, pavyzdžiui, esant labai šaltai žiemai, šalia yra jau esamas šilumos šaltinis, tai yra veikianti garo turbina, o kadangi, sena vidaus tinklų termofikato pašildymo sistema išliktų, tai pikinį šilumos suvartojimą būtų galima padengti dėka jos. Vasaros sezono metu, kuomet energijos gamybos blokai nedirba, aušinančio vandens cirkuliacija išlieka, kadangi yra pastovus vandens suvartojimas vasarą veikiančių mechanizmų aušinimui, taip pat chemijos ūkio reikmėms tenkinti, tad esant žymiai mažesniai šilumos suvartojimui nei žiemą, šio šilumos šaltinio užtektų įmonės karšto vandens ruošimo reikmėms.

5. Išvados

Baigiamajame darbe atlikau Vilniaus trečiosios termofikacinės elektrinės vidaus šilumos tinklų šilumos poreikių bei darbinių temperatūrų analizę, atlikau galimos šilumos siurblio sistemos termodinaminio ciklo skaičiavimą, apžvelgiau šilumos siurblio darbo agento parinkimo galimybes, atlikau sąnaudų tiekiant šilumą dabartiniu metodu ir naudojant šilumos siurblių palyginimą. Taip pat darbe apžvelgtos dujų ir elektros energijos pasaulinių kainų pokyčių tendencijos ir aprašyti siūlomos sistemos privalumai ir trūkumai.

Darbo eigoje suformulavau šias išvadas:

- aušinančio vandens šiluminis potencialas pakankamas tenkinti įmonės vidaus šilumos tinklų poreikius;
- šilumos siurblys leistų efektyviai išnaudoti šiuo metu išmetamą į aplinką šilumą;
- tokia sistema leistų sumažinti išmetamųjų dujų emisijas, kadangi sumažėtų šilumos, gaminamos iš iškastinio kuro, kiekis;
- šilumos siurblys leistų ženkliai sumažinti išlaidas įmonės pastatų šildymui, vadinasi, sumažėtų įmonės veiklos kaštai, taigi sumažėtų šilumos kaina Vilniaus miesto gyventojams;
- kadangi šilumos suvartojimas yra gana didelis, tad išlaidų skirtumas žiemos mėnesiais siekia keliasdešimt tūkstančių eurų, taigi atsipirkimo laikotarpis nebūtų ilgas;
- šilumos siurblio ekonominiam naudingumui didelę įtaką turi elektros kaina. Šiuo metu sparčiai plėtojamos Lietuvos elektrinės jungtys su kaimyninėmis šalimis, tad padidės konkurencija elektros rinkoje, taiga elektros kilovatvalandės kaina neturėtų kilti.
- siūlomos sistemos trūkumas – didelės pradinės investicijos.

6. Literatūros saraksts:

1. www.4dh.dk/publications-presentations/presentations?
2. <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL34746.pdf>
3. Directive 2006/40/EC of The European Parliament and of the Council of 17 May 2006 relating to emissions from air-conditioning systems in motor vehicles and amending Council Directive 70/156/EC, 2006. *Official Journal of the European*
4. <http://www.jamesmcalm.com/pubs/Calm%20JM,%202008.%20The%20Next%20Generation%20of%20Refrigerants%20-%20Historical%20Review,%20Considerations,%20and%20Outlook,%20IJR.pdf>
5. http://www.friotherm.com/downloads/skoyen_e11.pdf
6. Thermodynamic Properties of HFC-134a (1,1,1,2-tetrafluoroethane) // DuPont Suva refrigerants. Technical Information T-134a-SI. – 2004. – 30 P.
7. PHASE EQUILIBRIA IN CHEMICAL ENGINEERING, Stanley M. Walas