



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Kipras Gataveckas

**INTEGRUOTAS GRUNTO IR MAŽAENERGIO PASTATO
ATLIEKINĖS ŠILUMOS PANAUDOJIMAS**

**INTEGRATED USAGE OF GROUND AND SURPLUS HEAT
IN LOW ENERGY BUILDING**

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Vytautas Martinaitis
(Vardas, pavardė)
(Data)

Kipras Gataveckas

INTEGRUOTAS GRUNTO IR MAŽAENERGIO PASTATO
ATLIEKINĖS ŠILUMOS PANAUDOJIMAS

INTEGRATED USAGE OF GROUND AND SURPLUS HEAT
IN LOW ENERGY BUILDING

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos studijų kryptis

Vadovas

prof. habil. dr. Vytautas Martinaitis

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2014

**VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA**

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Energijos inžinerija studijų kryptis

Energijos inžinerija ir planavimas studijų programa, valstybinis kodas 621E30003

Energijos inžinerijos specializacija

(parašas)

Vytautas Martinaitis

(vardas, pavardė)

2012 gegužės mėn. 07 d.

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) **Kiprui Gataveckui**.....

(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema ***Integruotas grunto ir mažae energio pastato atliekinės šilumos panaudojimas***

Patvirtinta 2012 m. lapkričio 08 d.

Dekano įsakymu Nr. 342 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas

2014 m. birželio mėn. 03 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti technologinės ir tyrimų informacijos, skirtos grunto ir atliekinės šilumos panaudojimo pastatus aprūpinant šilumine energija ištisis metus tiek naudojant tiek nenaudojant šilumos siurblius apžvalgą. Parengti tyrimo planą. Atlikti paiešką, apžvelgti, palyginti įrenginių šiluminio skaičiavimo metodikas. Pasirinkti modeliavimo priemones, jas naudojant išnagrinėti galimybes aprūpinti pastatą šilumine energija šilumą gaunant tiesiogiai iš grunto, šalinamo oro ar vandens, gauti tokius technologinius sprendimus apibūdinančius santykinius rodiklius. Pranešimo ir jo tezių (publikacijos) apie gautus rezultatus parengimas. Atliktų tyrimų pagrindu parengti išvadas apie gautus rezultatus ir rekomendacijas tolimesniems tyrimams.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: **lekt. R. Žukienė**

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas

(parašas)

..... **habil. dr. Vytautas Martinaitis**.....

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....

(parašas)

.....

(vardas, pavardė)

.....

(data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Pastatų energetikos katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Energijos inžinerijos ir planavimo** programos magistro baigiamasis darbas 4 (energijos inžinerija)

Pavadinimas **Integruotas grunto ir mažaenergių pastato atliekinės šilumos panaudojimas**
Autorius **Kipras Gataveckas**
Vadovas **prof. habil. dr. Vytautas Martinaitis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos grunto ir atliekinės pastato šilumos panaudojimo galimybės mažaenergiame pastate, Vilniaus mieste, Lietuvoje. Suskaičiuoti keturi pastato energijos balansų variantai, naudojant "CASAnova" kompiuterinę skaičiavimo programą, su skirtingais atitvarų šilumos perdavimo koeficientais. Pastate taikomos dvi energijos taupymo priemonės. Pirmoji yra gruntinis šilumokaitis naudojamas šviežio oro pirminiam pašildymui mechaninio vėdinimo sistemoje, kurio skaičiavimai atliekami "GAEA" programa. Antroji yra nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis, naudojamas į pastatą tiekiamo šalto vandens pirminiam pašildymui, atgaunant dalį šilumos iš duše susidariusių nuotekų. Pastatui reikiamas metinis šilumos ir vėsos energijos kiekis gaminamas šilumos siurbliu su vertikaliu gręžiniu grunte, kurio skaičiavimams naudojama "EED" programa. Gręžinių gyliai yra suskaičiuoti kiekvienam pastato energijos balansų variantui. Atlikti ekonominiai skaičiavimai rodo gruntinio ir nuotekų šilumos atgavimo šilumokaičių įdiegimo pastate ekonominę naudą. Pateikti rezultatai rodo kiekvieno varianto energijos poreikius ir gręžinio grunte gylį priklausomai nuo pastato varianto atitvarų šiluminių savybių bei taikomų energijos taupymo sprendimų.

Darbą sudaro 9 dalys: įvadas, 6 skyriai, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 64 psl. teksto, 41 paveikslai, 14 lentelės, 31 bibliografinis šaltinis.

Prasminiai žodžiai: šilumos atgavimas, mažaenergis pastatas, grunto šiluma, GAEA, EED, CASAnova, gręžinys, šilumos siurblys, nuotekų šiluma, gruntinis oro šilumokaitis, metinis šildymo ir vėsinimo poreikis

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Building Energetics

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Energy Engineering and Planning** study programme Master Graduation Thesis
4 (Energy Engineering)
Title **Integrated Usage of Ground and Surplus Heat in Low Energy Building**
Author **Kipras Gataveckas**
Academic supervisor **Prof Dr Habil Vytautas Martinaitis**

**Thesis
language:** Lithuanian

Annotation

The final master thesis presents technical analysis of low-energy residential building in Vilnius, Lithuania. Building has low temperature floor heating, mechanical ventilation with heat recovery unit and hot water preparation with buffer tank systems. Using "CASA nova" software is calculated fourth energy balances of building according fourth different heat transfer coefficients of the walls. All heating and cooling energy demand of a building is generated from the ground. It is made by using a heat pump with single borehole. A calculation of borehole sizing is made with "EED" software. Two energy saving technologies are analysed for a building. The first idea is to reduce heat energy consumption of hot water preparation. There is calculated benefit of waste water heat recovery heat exchanger which function is to pre-heat hot water using waste water from the shower. Second idea is to reduce heat energy consumption for fresh air heating in air handling unit. There is calculated benefit of earth-to-air heat exchanger using "GA EA" software. Final result of all calculations shows influence of heat transfer coefficient and energy saving technologies to building annual energy balance and depth of borehole. Economic benefit of using energy saving technologies is calculated.

Structure: introduction, 6 chapters, conclusions and suggestions, references.

Thesis consists of 64 p. of text, 41 figures, 14 tables and 31 bibliographical entries.

Keywords: wastewater heat recovery, earth-to-air heat exchanger, CASA nova, GEAE, EED, heat pump, borehole, low-energy buildings, annual energy balance

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo
bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Kipras Gataveckas, 20083170

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Energijos inžinerija ir planavimas, ENmf-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2014 m. birželio 3 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Integruotas grunto ir mažaenergio pastato atliekinės šilumos panaudojimas“ patvirtintas 2012 m. lapkričio 8 d. dekanų potvarkiu Nr. 342ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas prof. habil. dr. Vytautas Martinaitis.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Kipras Gataveckas

(Vardas ir pavardė)

Turinys

IVADAS	12
Darbo problematika.....	13
Darbo tikslas.....	13
Baigiamojo darbo uždaviniai ir atlikimo schema.....	14
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	16
1.1. Energetika ir AEI Lietuvoje	16
1.2. Grunto energijos panaudojimas	17
1.2.1. Šilumos siurblys	18
1.2.2. Grunto energija vėdinimo sistemoje	20
1.3. Pastato atliekinė šiluma	22
1.4. Literatūros apžvalgos santrauka	27
2. ĮRANKIAI BAIGIAMOJO DARBO SKAIČIAVIMUI	29
2.1. Pastato energijos balansas	29
2.2. EHX šilumokaitis	30
2.3. Vertikalūs gręžinys šilumos siurbliui	30
3. ANALIZUOJAMAS OBJEKTAS.....	31
4. TAIKOMI TECHNINIAI SPRENDIMAI.....	32
4.1. Gruntinis šilumokaitis EHX	32
4.2. Nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis WWHR	36
4.3. Vertikalūs gręžiniai grunte šilumos siurbliui	38
5. SKAIČIAVIMŲ REZULTATAI.....	40
5.1. Pastato energijos poreikių skaičiavimas	40
5.2. Gruntinis šilumokaitis šviežio oro pašildymui	42
5.2.1. Grunto rūšies įtaka gaunamos šilumos kiekiui.....	42
5.2.2. EHX pritaikymas BD objektui	43
5.3. Nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis	48
5.4. Bendro pastato energijos balanso ir gręžinio grunte rezultatai.....	50
6. EKONOMINIS VERTINIMAS	57

6.1. WWHR ekonominis vertinimas	57
6.2. EHX ekonominis vertinimas	58
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	60
LITERATŪROS SĄRAŠAS	62

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Magistro baigiamojo darbo atlikimo schema	15
2 pav. Žemės šilumos srautas Lietuvoje	17
3 pav. Horizontalaus kolektoriaus išvedžiojimas grunte	18
4 pav. Vertikalių kolektorių prijungimo principinė schema (U tipo vamzdelis gręžinyje)	19
5 pav. Sistemos veikimo schema žiemą (kairėje) ir vasarą (dešinėje) [26]	21
6 pav. „Oro šulinio“ ir mechaninio vėdinimo sistemų kartu veikimo schema [26].....	21
7 pav. EHX veikimo schema [26].....	22
8 pav. Tipinių gyvenamųjų pastatų Kanadoje ir JAV energijos balanso struktūra [16]	23
9 pav. Šilumos iš nuotekų gavimo būdų schemos [26].....	24
10 pav. Nuotekų šilumos panaudojimas centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje [26]	24
11 pav. Nuotekų šilumos atgavimas naudojant šilumos siurbį [3]	25
12 pav. Energijos poreikis k. v. ruošimui ir ekserginis potencialas [4]	26
13 pav. Nuotekų šilumos atgavimo šilumokaičio vaizdas ir veikimo schema [25].....	27
14 pav. Analizuojamo pastato pietinis fasadas	31
15 pav. Variantas be jokių šilumos atgavimo priemonių.....	32
16 pav. Variantas su EHX.....	33
17 pav. Įprastinis mechaninės vėdinimo sistemos variantas.....	33
18 pav. Įprastinis variantas su EHX ir plokšteliu šilumogražiu.....	33
19 pav. EHX drenažo įrengimo vieta.....	35
20 pav. EHX drenažo šulinio funkcinė schema	35
21 pav. WWHR funkcinė schema.....	36
22 pav. WWHR šilumokaičio srautų judėjimo funkcinė schema [13]	36
23 pav. Vertikalaus gręžinio grunte principinė schema	38
24 pav. Pastato metinis energijos poreikis šildymui ir vėsinimui.....	39
25 pav. Ketvirtąjo varianto šildymo poreikis.....	40
26 pav. Naudingi saulės ir vidiniai šilumos pritėkiai.....	41
27 pav. Atgaunamas šilumos kiekis priklausomai nuo grunto rūšies	42
28 pav. Šviežio oro temperatūra prieš ir po EHX	43
29 pav. Oro ir vamzdžio sienutės temperatūros išilgai EHX sausio 1 d.....	44
30 pav. Oro ir vamzdžio sienutės temperatūros išilgai EHX balandžio 1 d.	44
31 pav. Vėdinimo sistemos variantų metiniai energijos poreikiai oro šildymui.....	46
32 pav. EHX sutaupomos energijos kiekis ketvirtajam variantui	47

33 pav. Pastato variantų šilumos poreikio dalis tenkanti k. v. ruošimui (mėlyna spalva)	49
34 pav. Pastato inžinerinių sistemų schema be energiją tausojančių sprendinių	50
35 pav. Pastato inžinerinių sistemų su EHX ir WWHR sprendiniais schema	51
36 pav. Ketvirtojo pastato energijos poreikis šildymui ir vėsinimui taikant EHX ir WWHR...	52
37 pav. Pirmojo pastato varianto 117 m gręžinio šilumnešio temperatūros	54
38 pav. Ketvirtojo pastato varianto 49 m gręžinio šilumnešio temperatūros.....	55
39 pav. Ketvirtojo varianto 41 m gręžinio šilumnešio temp. naudojant EHX ir WWHR	55
40 pav. WWHR GDV ir atsipirkimo laikotarpis	58
41 pav. EHX GDV ir atsipirkimo laikotarpis	59

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Grunto savybių įtaka iš gręžinio gaunamam energijos kiekiui	19
2 lentelė. Analizuojamo pastato skaičiuotų variantų U, W/m ² K koeficientų reikšmės	31
3 lentelė. Pastato ketvirtojo varianto en. poreikis šildymui pamėnesiui	41
4 lentelė. Vėdinimo sistemos en. poreikiai pritaikius skirtingas en. taupymo priemones	45
5 lentelė. Ketvirtojo varianto be ir su EHX energijos poreikis pastato šildymui pamėnesiui ...	46
6 lentelė. Šilumos energijos poreikis karšto vandens ruošimui	48
7 lentelė. Pastato variantų metiniai energijos poreikiai šildymui ir kv. ruošimui.....	49
8 lentelė. EHX ir WWHR sprendinių įtaka ketvirtojo pastato varianto en. poreikiams	51
9 lentelė. Pirmojo pastato varianto 117 m gręžinio šilumnešio temperatūros	53
10 lentelė. Ketvirtojo pastato varianto 49 m gręžinio šilumnešio temperatūros.....	53
11 lentelė. Ketvirtojo varianto 41 m gręžinio šilumnešio temp. naudojant EHX ir WWHR	54
12 lentelė. Pastato variantų atitvarų savybių ir taikomų sprendinių įtaka gręžinio gyliui	56
13 lentelė. WWHR duomenys ekonominiam vertinimui.....	57
14 lentelė. EHX duomenys ekonominiam vertinimui.....	59

SANTRUMPOS

EED – Šiluminių polių skaičiavimo programa (angl. Earth Energy Designer).

GAEA – Gruntinio šilumokaičio modeliavimo kompiuterinė programa (vok. Graphische Auslegung von Erdwärme Austauschern).

CASAnova – Energijos poreikių šildymui ir vėsinimui modeliavimo programa.

EHX – Gruntas-oras šilumokaitis, skirtas tiekiamo į pastatą oro pirminiam pašildymui (angl. Earth-to-Air Heat exchanger).

WWHR – Šilumos iš nuotekų atgavimas (angl. Waste Water Heat Recovery).

AHU – mechaninio vėdinimo sistemos ventkamera (angl. Air Handling Unit).

BD – Baigiamasis darbas.

ŠS – Šilumos siurblys.

k. v. – karštas vanduo.

AEI – Atsinaujinantys energijos ištekliai.

IVADAS

Baigiamajame darbe nagrinėjama galimybė mažaenergio pastato šildymo ir vėsinimo poreikius padengti naudojant tik grunto ir pastato atliekinės šilumos energiją. Darbo objektas yra individualus gyvenamasis namas, skirtas trijų asmenų šeimai, esantis Vilniuje, Lietuvoje. Iš pradžių yra atlikti pastato energijos poreikių skaičiavimai naudojant „CASAnova“ kompiuterinę programą ir pateikiami rezultatai, rodantys šilumos ir vėsos poreikių priklausomybę nuo pastato atitvarų šiluminių savybių. Visą pastato šildymo ir vėsinimo poreikį padengia šilumos siurblys, energiją imantis iš vieno grunte įrengto gręžinio, kurio skaičiavimai atliekami naudojant „EED“ skaičiavimo programą. Pastate, kaip energijos taupymo priemonė, pritaikomas gruntinis šilumokaitis, kuris skirtas tiekiamo į pastatą oro pirminiam pašildymui. Šilumokaičio skaičiavimai atliekami naudojant programą „GAEA“. Baigiamajame darbe taip pat analizuojama galimybė, pastato karšto vandens ruošimo sistemoje pritaikyti šilumokaitį, kuris iš duše susidarančių nuotekų galėtų atgauti dalį šilumos. Galutiniai baigiamojo darbo rezultatai pateikiami kaip lyginamieji rodikliai, kad būtų galima įžvelgti pastato atitvarų šiluminių savybių ir taikomų energijos taupymo technologijų daromą įtaką pastato energijos balansui bei gręžinio grunte gyliui. Galiausiai atlikti ekonominiai skaičiavimai norint išsiaiškinti gruntinio ir nuotekų šilumos atgavimo šilumokaičių atsipirkimo laikotarpius.

Darbo problematika

Bene svarbiausias uždavinys, siekiant didinti šalies energetinę nepriklausomybę, yra energijos poreikių mažinimas bei efektyvesnis jos vartojimas. Didelis dėmesys turėtų būti skirtas pastatų suvartojamam energijos kiekiui, nes Europos Sąjungoje šis sektorius suvartoja apie 40 % visos galutinės energijos kiekio [1]. Daugelio keliami tikslai yra populiarinti ir skatinti mažaenergių pastatų projektavimą ir statybą. Derėtų atsižvelgti į tai, kad tokių pastatų šildymo energijos poreikis yra santykinai mažas, bet vėsinimo poreikis sudaro nemažą dalį bendrame pastato energijos balanse [2]. Todėl būtina ieškoti naujų, galinčių patenkinti inžinerinių pastato sistemų būtent tokius specifinius energijos poreikius. Pastebėta, kad mažaenergiuose pastatuose energijos poreikis karštam vandeniui ruošti gali sudaryti net pusę pastato metinio šilumos energijos poreikio, todėl energijos taupymui karšto vandens ruošimo sistemose turėtų būti skiriama tiek pat dėmesio kaip ir pastato šildymui ar vėsinimui [25]. Didelis energijos taupymo potencialas galėtų būti išnaudotas atgaunant dalį šilumos iš pastato nuotekų sistemos [4]. Nes apie 90 % energijos, sunaudotos karštam vandeniui ruošti, virsta nuotekomis. Be to mažaenergių pastatų energijos poreikis šildymui labiausiai yra sumažėjęs dėl ypač gerų atitvarų šiluminių savybių bei atitvarų konstrukcijos sandarumo, todėl tokiuose pastatuose dėl oro infiltracijos praktiškai nėra šilumos nuostolių. Pastate reikiamai oro kaitai užtikrinti naudojama mechaninė vėdinimo sistema, kuri vartoja dalį šilumos energijos šviežiam orui pašildyti. Dalis šios energijos gali būti gauta panaudojant grunto ir iš pastato šalinamo oro šilumą [15]. Praktikoje aptinkamas dažnas reiškinys, kad pastato projekto ruošimo stadijoje nebūna užtikrintas racionalus inžinerinių sistemų sprendinių pasirinkimas, o tai ženkliai nulemia bendrą galutinio produkto kokybę. Dažniausiai tokios problemos kyla, dėl atskirų projekto dalių projektuotojų bendradarbiavimo ir susikalbėjimo stokos. Taip pat atskirų projekto dalių inžinieriai, retai kada gali pateikti pavyzdžių arba lyginamųjų rodiklių apie naujausias pastato inžinerines sistemas, jų veikimą tam tikromis sąlygomis, bei sistemų stipriąsias ir silpnąsias puses.

Darbo tikslas

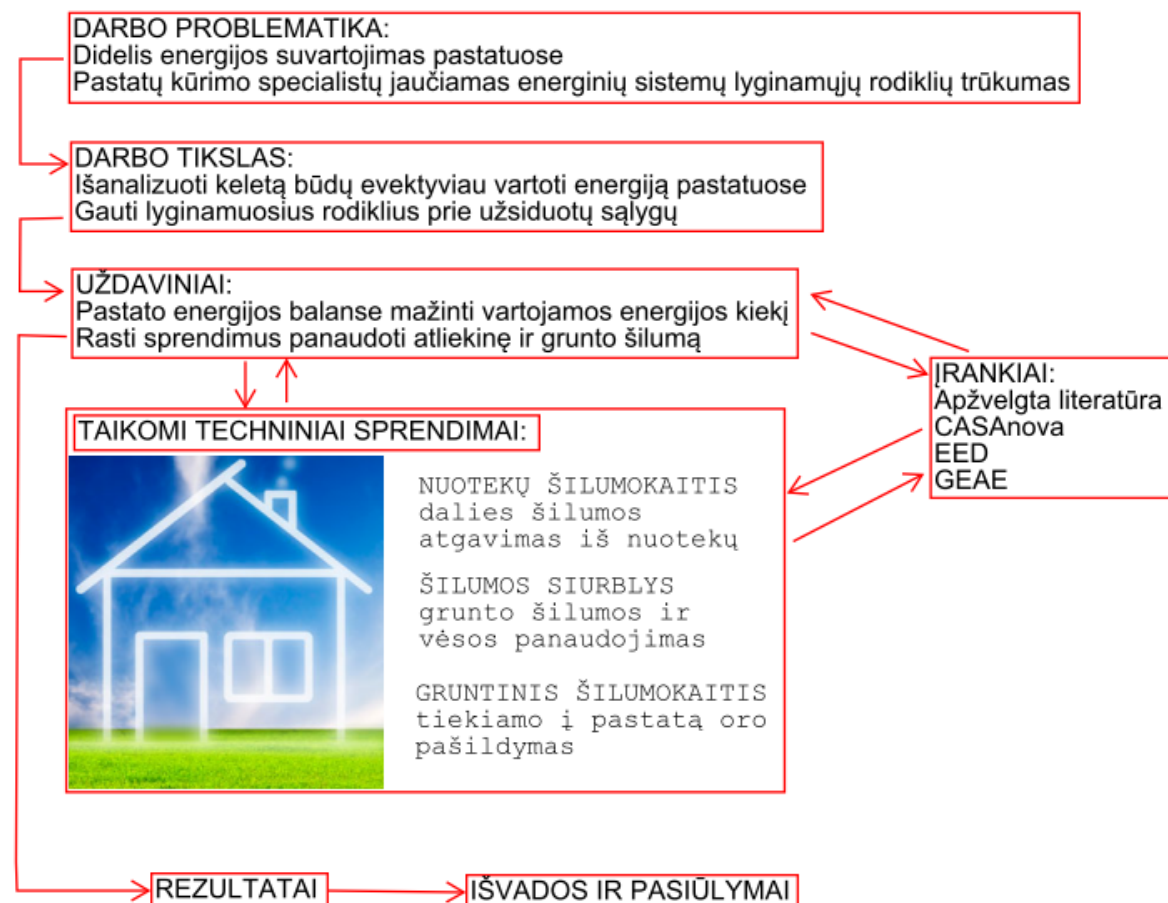
Siekiant sumažinti šildymo, vėdinimo ir karšto vandens ruošimo energijos poreikį pastate, ketinama rasti ir įvertinti galimybes, kuo daugiau energijos gauti iš grunto ir pastato atliekinės šilumos. Stengtis maksimaliai išnaudoti lokalius atsinaujinančius energijos šaltinius ir neišvengiamai pastate vykstančius šilumos bei masės mainų srautus, panaudojus kuo mažiau išorinių energijos generavimo būdų. Todėl dalį pastatui reikalingos šilumos energijos ketinama atgauti be papildomų energijos generavimo šaltinių, bet iš jau egzistuojančių šilumos srautų, tokių kaip atliekinė šiluma, o visą pastatui reikiamą šilumos ir vėsos energijos kiekį ketinama pagaminti

panaudojus tik gruntą. Taip pat darbe ketinama suskaičiuoti keletą pastato variantų su skirtingomis atitvarų šiluminėmis savybėmis, o tai galėtų parodyti pastato šildymo energijos poreikio mažėjimą, o vėsinimo – didėjimą. Ketinama gauti energinius lyginamuosius rodiklius, kurie parodytų taikomų energijos taupymo priemonių naudą. Rodikliai gaunami esant pasirinktoms sąlygoms, tokioms kaip klimatas, pastato konstrukcija bei gyventojų skaičius. Darbe gauti lyginamieji rodikliai turėtų būti naudingi projektuotojų komandai kaip orientyras, ieškant energijos taupymo sprendimų pastatuose.

Baigiamojo darbo uždaviniai ir atlikimo schema

Įvertinus darbo problematiką ir norint pasiekti išsikeltus tikslus, sudaryta darbo atlikimo schema ir uždaviniai:

- Atlikti literatūros apžvalgą;
- Sumodeliuoti keturis gyvenamojo pastato variantus su skirtingais atitvarų šilumos perdavimo koeficientais naudojant kompiuterinę programą „CASAnova“;
- „CASAnova“ programa sumodeliuotam pastatui pritaikyti gruntinį šilumokaitį (EHX), kuris mechaninėje vėdinimo sistemoje naudojamas šviežio oro pirminiam pašildymui. Skaičiavimams naudojama „GAEA“ kompiuterinė programa;
- Suskaičiuoti ir įvertinti galimybę panaudoti šalinamų nuotekų šilumą pirminiam karšto vandens pašildymui, naudojant nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitį (WWHR);
- Atsižvelgiant į pastato sumažėjusius energijos poreikius dėl pritaikytų prieš tai minėtų technologijų, sumodeliuoti šilumos siurblio sistemą, kuri pastatui reikalingos energijos gamybai naudotų tik grunto šilumą ir vėsą. Skaičiavimus atlikti „EED“ („Earth Energy Designer“) programa;
- Gavus kiekvienos pritaikytos ir suskaičiuotos pastatui sistemos rezultatus, įvertinti, kaip tai pakeičia pastato energijos balansą, ir kaip tai veikia šilumos siurblio, kaip šilumos šaltinio, naudojamo gręžinio grunte ilgį;
- Apžvelgti darbe analizuotų sistemų viena kitai įtaką ir įtaką metiniams pastato energijos poreikiams.



1 pav. Magistro baigiamojo darbo atlikimo schema

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Energetika ir AEI Lietuvoje

Nuolatos besikeičiantys ir augantys visuomenės vartojimo įpročiai, smarkiai veikia energetikos sektorių ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje. Vis didėjančios išlaidos energijai ir neretai atsirandančios galimybės energijos tiekimo sutrikimui verčia susimąstyti, kad iškastinio kuro išteklių yra riboti. Beje, vartojant iškastinį kurą, į atmosferą išmetama didelis kiekis CO₂ dujų, kurios skatina šiltnamio efektą. Būtina ieškoti būdų energiją vartoti efektyviau, t.y. vartoti mažiau energijos. Energijos vartojimo efektyvumas padeda ekonomiškai efektyviai mažinti išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir taip švelninti klimato kaitą. Siekiant didinti energijos vartojimo efektyvumą, vienas iš Europos Sąjungos tikslų yra iki 2020 m. energijos vartojimą sumažinti 20 %, t. y. pagal 2007 m. parengtas prognozes 2020 m. pirminės energijos suvartojimas sudarytų 1 842 mln. tne 20 % sumažinus energijos suvartojimą, 2020 m. bus suvartojama 1 474 mln. tne, t. y. 368 mln. tne mažiau, palyginti su prognozėmis [1]. Direktyvoje pabrėžta, kad pastatai sunaudoja 40 % viso galutinės Europos Sąjungos suvartojamos energijos kiekio. Taigi siekiama pasinaudoti ekonomikos augimo ir užimtumo galimybėmis amatų ir statybos sektoriuose, taip pat statybos produktų gamybos srityje ir tokiose profesinės veiklos srityse, kaip architektūra, konsultavimas ir inžinerija.

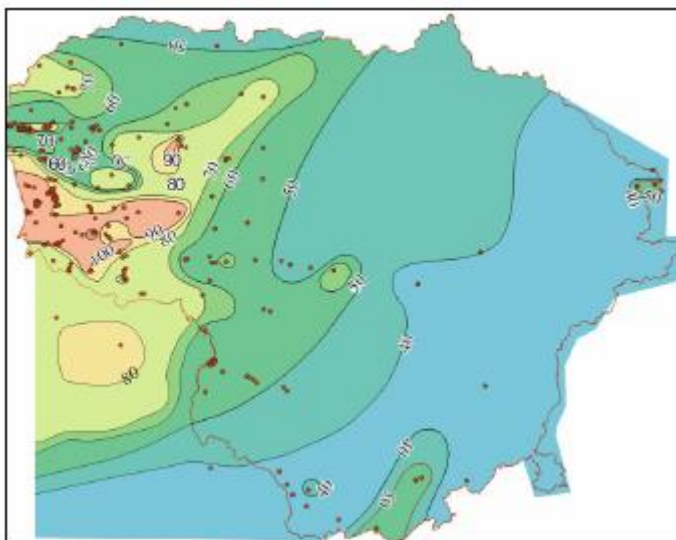
Lietuva turi nepakankamai savų pirminės energijos išteklių, todėl šalies ekonomika stipriai priklauso nuo importuojamų išteklių. Tai nulemia didelę energetinę priklausomybę nuo kaimyninių šalių. Atsiradus energijos tiekimo sutrikimams, tai žymiai gali veikti energijos kainas, kaip pavyzdys galėtų būti paminėtos Lietuvai tiekiamos dujos tik iš vieno šaltinio. Todėl atsinaujinantys energijos ištekliai turėtų sudaryti kuo didesnę dalį šalies pirminės energijos balanse. Būtent tai būtų vienas iš būdų stabilizuoti energijos rinkos kainas ir didinti šalies energetinę nepriklausomybę [22].

Siekiant sumažinti iškastinio kuro naudojimą, būtina skatinti atsinaujinančių energijos išteklių naudojimą. Todėl 2011 m. gegužės 12 d. priimto atsinaujinančių energijos išteklių įstatymo pagrindinis uždavinys yra užtikrinti, kad atsinaujinančių išteklių energijos dalis, palyginti su šalies bendruoju galutiniu energijos suvartojimu, 2020 m. sudarytų ne mažiau kaip 23 % ir ši dalis toliau būtų didinama, tam panaudojant naujausias ir veiksmingiausias atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo technologijas ir skatinant energijos vartojimo efektyvumą [20]. Žvelgiant į privačių namų ūkių sektorių, direktyva reikalauja atsinaujinančių energijos išteklių dalį šildymui sunaudojamų energijos išteklių balanse padidinti ne mažiau kaip iki 80 %. Gyventojai, besirenkantys atsinaujinančius energijos išteklius, yra skatinami subsidijomis, pvz. šilumos siurblių pastatuose naudojama elektros energija bus pigesnė.

1.2. Grunto energijos panaudojimas

Geoterminės energijos panaudojimas Lietuvoje sparčiai plinta. Pagrindiniai objektai yra gyvenamieji namai ar jų kvartalai, taip pat ir didelio galingumo įrenginių panaudojimo pavyzdys – Klaipėdos geoterminė jėgainė, susidurianti su tam tikrais technologiniais ir ekonominiais sunkumais. Šilumos siurblių įrangos gamintojai ir pardavėjai pristato geoterminį šildymo būdą kaip pigiausią, geriausią ir ekologiškiausią, tačiau realiai ši technologija reikalauja detalaus techninio ir ekonominio vertinimo [20].

Lietuva yra viename iš seniausių Rytų Europos platformoje, kuriai būdingas nedidelis tektoninis aktyvumas. Tokios platformos yra santykinai vėsios, todėl tokiose vietose retai imamas komercinių projektų. Tačiau Lietuvos vakarinė dalis sudaro svarbią išimtį, nes Rytų Europos platformoje šilumos srautas iš gelmių yra apie 42 mW/m^2 , o Vakarų Lietuvoje, ypač pietinėje dalyje, padarius gręžinius buvo nustatyta, jog srautas siekia $70 - 80 \text{ mW/m}^2$, o kai kuriuose net $90 - 100 \text{ mW/m}^2$ (žr. 2 pav.). Vakarų Lietuvos geoterminės anomalijos prigimtis yra dvejopa. Pirmiausia tai yra specifinė kristalino pamato uolienų sudėtis. Pagrindinę Žemės šilumos dalį sudaro šiluma, kurią generuoja uolienose esančių elementų, tokių kaip K, Th, U, radioaktyvus skilimas. Lietuvoje ištirta virš 300 kristalo pamato bandinių ir nustatyta, kad Vakarų Lietuvos uolienos generuoja gerokai daugiau šilumos, nei Rytų Lietuvoje. Vakarų Lietuvoje aptinkamas didžiausias geoterminis gradientas yra apie $40 - 45 \text{ }^\circ\text{C/km}$, o rytinėje Lietuvos dalyje gradientas tėra tik $20 - 25 \text{ }^\circ\text{C/km}$ [23].



2 pav. Žemės šilumos srautas Lietuvoje

1.2.1. Šilumos siurblys

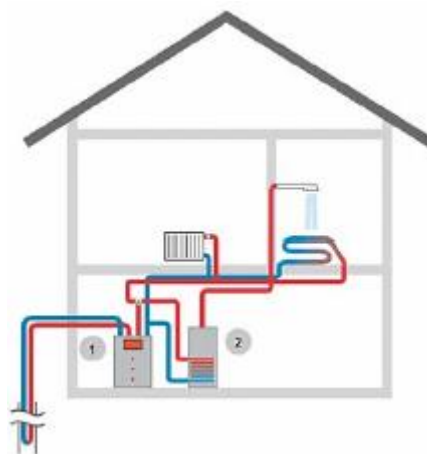
Lietuvoje labiausiai paplitęs grunto šilumos panaudojimo būdas yra seklioji geotermija, kuri turi milžinišką potencialą. Dažniausiai naudojama individualių namų vartotojų su šilumos siurblių pagalba.

Šilumos siurblio schema primena šaldytuvą, tačiau atlieka šildymo funkciją, nors esant vėsinimo poreikiui karštomis dienomis, gali gaminti ir vėsą. Šiluma ir vėsa iš grunto gali būti imama įvairiausiais būdais, priklausomais nuo geologinės aplinkos. Dažniausiai apie 1 metro gylyje (žr. 3 pav.) kieme yra išvedžiojamas vamzdynas – kolektorius, kuriuo cirkuliuoja šilumnešis (neužšalantis skystis), absorbuojantis šiluminę energiją, kuri perduodamas freonui šilumos siurblyje ir toliau yra naudojama pastato patalpų šildymui arba k. v. ruošimui [23]. Tačiau tokia šilumos siurblio sistema su horizontaliu kolektoriumi ne taip tinkanti pastato variantui, kuriame yra santykinai didelis vėsinimo poreikis vasarą.



3 pav. Horizontalaus kolektoriaus išvedžiojimas grunte

Grunto šiluma taip pat gali būti panaudojama įrengiant vertikalius gręžinius grunte ir juos naudojant kaip šilumokaičius. Gręžiniai šilumą ima maždaug iš 70 – 120 m gylio. Tokio sprendinio privalumas tai, kad nereikalingas didelis žemės plotas, lyginant su horizontaliu kolektoriumi. Taip pat vertikalus kolektorius labiau rekomenduotinas naudoti mažaeenergiuose pastatuose, kuriuose energijos poreikis šildymui ir vėsinimui yra maždaug vienodas metiniame pastato energijos balanse. Trūkumai būtų tokie, kad investicijos į tokius gręžinius yra kur kas didesnės, nes naudojama brangi gręžimo technika ir technologija [20].



4 pav. Vertikalių kolektorių prijungimo principinė schema (U tipo vamzdelis gręžinyje)

Vertikalaus kolektoriaus su šilumos siurbliu prijungimo schema prie pastato šildymo ir karšto vandens ruošimo sistemų principinė schema pavaizduota 4 paveiksle. Renkantis vertikalių kolektorių sistemą, svarbu teisingai apskaičiuoti ir parinkti gręžinio vietą: tarp dviejų gręžinių turi būti ne mažesnis nei 5 m tarpas, daugiau kaip 3 m nuo komunikacijų, 6 m nuo privataus drenažo ar nuotekų, 15 m valymo įrenginių (talpų su bakterijomis), 15 m nuo miesto vandentiekio ir nuotekų. Toliau 1 lentelėje pateikti lyginamieji rodikliai, parodantys iš gręžinio gaunamos energijos kiekio priklausomybę nuo grunto savybių, kuriame įrengimas vertikalus kolektorius [20].

1 lentelė. Grunto savybių įtaka iš gręžinio gaunamam energijos kiekiui

Grunto tipas	Energijos emisija gręžiniui W/m	Reikalingas gręžinio gylis išgauti 1 kW šiluminės energijos
Sausas gruntas	30 W/m	25 m
Drėgnas gruntas	60 W/m	13 m
Uola, šlapias gruntas	80 W/m	10 m

Švedijoje viena populiariausių sistemų, kada šilumos siurblys naudojamas kartu su vertikaliu gręžiniu grunte [6]. Seklios geotermijos instaliacijos Lietuvoje taip pat sparčiai populiarėjantis energijos generavimo būdas. Vien įmonė „Naujos idėjos“ šalyje įrengė virš 1000 vienetų. Tarp stambių objektų paminėta Šv. Petro ir Povilo bažnyčia Vilniuje, taip pat planuojamos panašios instaliacijos kitose Lietuvos bažnyčiose. Šiuo metu Lietuvoje veikia keliolika įmonių, montuojančių šilumos siurblius. Sparčiai didėjančią seklios geoterminės energijos paklausą lemia kylančios dujų, mazuto, biomasės kainos. Tai energijos vartotojus verčia ieškoti alternatyvių sprendimo būdų, mažinant išlaidas patalpų šildymui ir karšto vandens ruošimui.

Šiuo metu pasaulyje šilumos siurbliai naudojami daugiau kaip trisdešimtyje šalių, jų instaliuota apie pusantro milijono vienetų, daugiausia Šiaurės Amerikoje ir Europoje. Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje, metinis instaliuotų šilumos siurblių sistemų skaičius paauga maždaug 24 % [20].

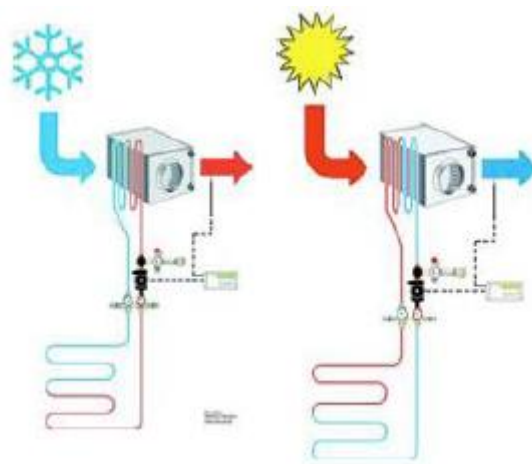
Šveicarijoje šilumos siurblių sistemos, kaip šilumos šaltinis, diegiamos jau ilgą laiką. Individualiuose vienbučiuose namuose naujai instaliuotų sistemų skaičius yra jau pasiekęs apie 20000 ir daugiausiai yra naudojamos pastatų šildymui ir vėsinimui. Bene populiariausios sistemos yra šilumos siurbliai, naudojami kartu su vertikaliais gręžiniais grunte. Šveicarijoje populiariausias dvigubas „U“ tipo kolektorius vertikaliame gręžinyje. Taigi šilumos siurblys su vertikaliu kolektoriumi dažnai naudojamas ne tik pastato šildymui šaltuoju metų periodu, bet ir vėsinimui. Tokia sistema turi galimybę veikti natūralaus vėsinimo režimu, t.y. šiltuoju metų laikotarpiu esant patalpų vėsinimo poreikiui imti šilumą iš patalpų oro ir nukreipti ją į vertikalų kolektorių grunte, nenaudojant šilumos siurblio, kaip šaldymo mašinos. Tokiu atveju šilumos siurblys nevaržo elektros energijos, nes pakankamai žema grunto temperatūra gręžinyje užtikrina šilumos mainus tarp šilumnešio ir grunto. Taigi projektuojant mažą energiją gyvenamąjį pastatą iš anksto derėtų kompleksiskai įvertinti šildymo ir vėsinimo poreikius ir tai derinti su energijos gamyba šilumos siurbliu iš gręžinio grunte. Būtina pastebėti, kad tokioje sistemoje įrengtas gręžinys grunte veikia kaip akumuliatorius, kuris vasarą gali būti pakraunamas – vėsinant, o žiemą iškraunamas šildant – pastatą. Toks sprendinys užtikrina sklandesnį sistemos veikimą visą metų laikotarpį [2, 6].

1.2.2. Grunto energija vėdinimo sistemoje

Baigiamojo darbo tikslas yra mažinti mažą energiją pastato metinės energijos sanaudas, naudojant tik grunto arba pastato atliekinę šilumą. Anksčiau buvo aptarti grunto energijos panaudojimo būdai pastato šildymo ir vėsinimo sistemoms. Tačiau norint energijos vartojimą pastate padaryti dar efektyvesniu, derėtų atkreipti dėmesį į vėdinimo sistemą, kurios suvartojamas energijos kiekis, panašiai kaip ir energijos kiekis tenkantis karšto vandens ruošimui, priklauso nuo žmonių. Kadangi šilumos energijos poreikis oro pašildymui mechaninėje vėdinimo sistemoje išlieka toks pat, ir netgi atitvarų šiluminės savybės priartinus prie mažą energiją pastato reikšmių, šis energijos poreikis sudaro santykinai didelią dalį bendrame pastato energijos balanse. Taip pat mažą energijoje pastatuose, šilumos nuostolių dėl oro infiltracijos praktiškai nėra, nes pastato konstrukcija privalo būti labai sandari [15].

Vienas iš grunto energijos panaudojimo būdų yra neužšalančio skysčio gruntinis šilumokaitis, kurio viena pusė yra žemėje, o kita mechaninio vėdinimo sistemos įrenginyje. Veikimo principas yra toks, kad neužšalantis skystis tekėdamas per kolektorių įrengtą grunte, – pašyla arba atvėsta. Šilumnešis teka į vėdinimo įrenginyje esantį kaloriferį, kuris sušildo arba atvėsina į pastatą tiekiamą

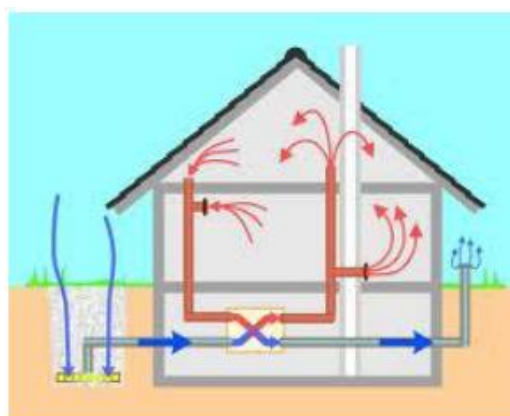
orą. Sistemoje šilumnešio (arba šaltnešio) cirkuliacijai užtikrinti naudojamas siurbliukas. Įrenginio veikimo principas pavaizduotas 5 paveiksle [27].



5 pav. Sistemos veikimo schema žiemą (kairėje) ir vasarą (dešinėje) [27]

Tokio šilumokaičio vamzdžius rekomenduojama kloti grunte arba medžiagoje turinčioje geras šiluminio laidumo savybes. Taip pat mechaninio vėdinimo įrenginyje, kur instaliuojamas šios sistemos kaloriferis, derėtų numatyti drenažą kondensatui ir angas, kurios naudojamos sistemos aptarnavimui ir išvalymui [27].

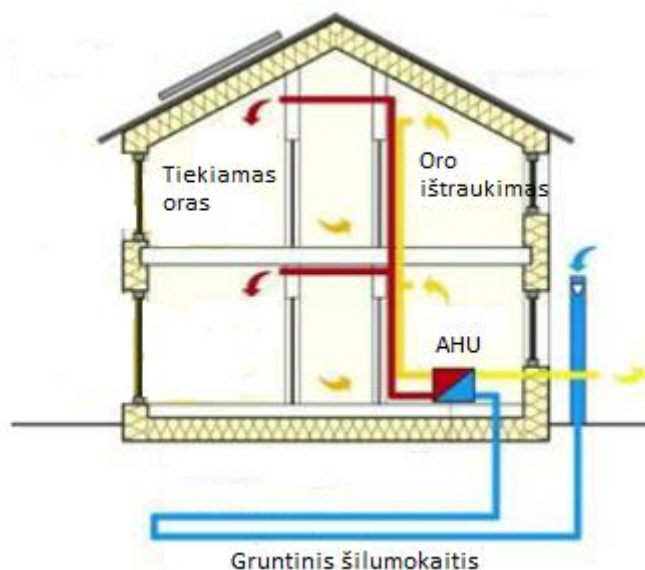
Sekantis energijos iš grunto gavimo būdas vėdinimo sistemai vadinamas „oro šuliniu“. Tai tarsi kitokios konstrukcijos grunto šilumokaitis, kurio funkcija yra ne kiek šviežio oro pašildymas arba vėsinimas, o oro filtravimas ir įvairiausių žiedadulkių, bakterijų išvalymas. „Oro šulinys“, – tai lyg duobė pripildyta žvyro, smėlio arba plytų nuolaužų. Taip pat šios sistemos funkcija yra oro sausinimas vasaros metu ir oro drėkinimas žiemą, nes „oro šulinyje“ gali kondensuotis arba išgaruoti besikaupiantis kondensatas. Sistemos veikimo schema pateikta 6 paveiksle [27].



6 pav. „Oro šulinio“ ir mechaninio vėdinimo sistemų kartu veikimo schema [27]

Grunto šiluma gali būti naudojama, norint sumažinti energijos poreikį, oro pašildymui mechaninio vėdinimo sistemoje pastate įdiegus grunto šilumokaitį (trump. EHX) [23]. Tai yra po žeme įrengtas vamzdis, pro kurį tiekiamas į pastatą šviežias oras [27]. Sistemos principinė schema

pateikta 7 paveiksle. EHX yra sujungiamas kartu su mechaninės vėdinimo sistemos įrenginiu į bendrą sistemą.



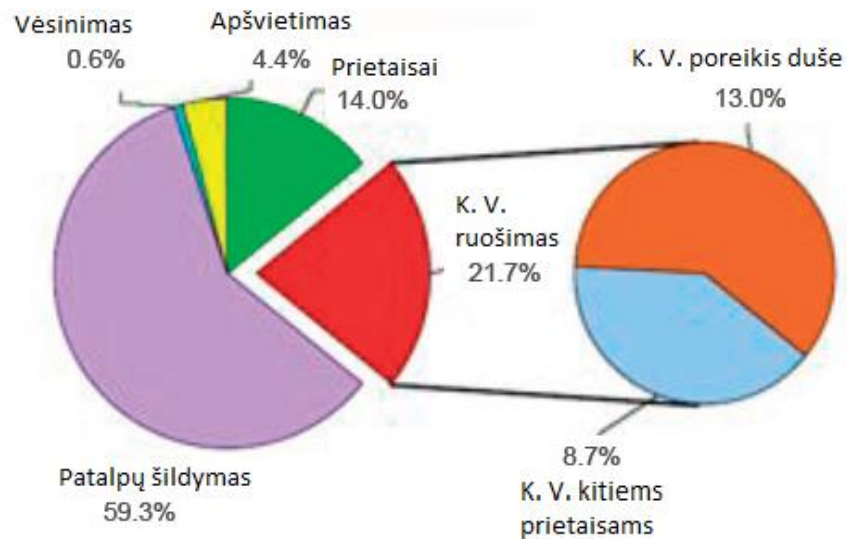
7 pav. EHX veikimo schema [27]

Naudojant EHX šilumokaitį, viena iš dažniausiai iškylančių problemų, yra vamzdyje susidarantis didelis kiekis kondensato šiltuoju metų laikotarpiu, kada EHX naudojamas oro vėsinimui. Per dieną šilumokaityje gali susidaryti net iki kelių litrų kondensato, todėl būtina EHX padaryti mažiausiai su 2 % nuolydžiu į drenažo šulinėlio pusę. Tačiau šilumokaitis turėtų turėti gerą vamzdžio sienutės šiluminį laidumą, sudaryti mažus bei stabilius aerodinaminius nuostolius dėl trinties, išlikti ilgą laiką higieniškas, o taip pat dėl konstrukcijos nesudėtingumo ir kompaktiškumo turėtų būti lengvai valomas [27]. EHX panaudojimas gali būti itin naudingas šalto klimato zonose, kur šaltojo periodo metu ilgai laikosi žema lauko temperatūra ir dažnai atsiranda tikimybė įprastinio šilumogražio užšalimui. Tokiu atveju naudojamas elektrinis šildytumas šilumogražio atitirpinimui arba itin žemos temperatūros oro pirminiam pašildymui. Taigi naudojant EHX galima sutaupyti santykinai didelį pirminės energijos kiekį, nes dažniausiai atitirpinimo šildytuvai vėdinimo įrenginiuose naudoja elektros energiją [15].

1.3. Pastato atliekinė šiluma

Baigiamajame darbe kalbant apie atliekinę pastato energiją, turima omeny šiluminę energiją, kuri dingsta iš pastato per nuotekų sistemą. Skiriant vis daugiau dėmesio mažaeenergių pastatų populiarinimui ir tyrimams pastebėta, kad bendrame pastato balanse energijos kiekis, tenkantis karšto vandens ruošimui stebėtinai išauga. Taip atsitinka, nes tokiuose pastatuose šilumos nuostoliais per atitvaras sumažinti iki minimumo, ir energijos dalis k. v. ruošimui sudaro santykinai

didelį dydį. Dvidešimtojo amžiaus pabaigoje statytuose namuose metinė energijos dalis tenkanti k. v. ruošimui sudaro apie 10 – 20 %. Tačiau naujai statomų pasyvių namų energijos poreikis šildymui yra $15 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$, o šilumos energijos karšto vandens ruošimui gali būti net apie $50 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$ [4]. Taip pat, pavyzdžiui tipiniame gyvenamajame name Kanadoje, metinė energijos dalis tenkanti k. v. ruošimui, sudaro apie 20 % [25]. Šioje publikacijoje pabrėžiama, kad mažaeenergiuose pastatuose karšto vandens energijos poreikiui turėtų būti skiriama tiek pat dėmesio kaip ir pastato šildymo ar vėsinimo energijos poreikiams.



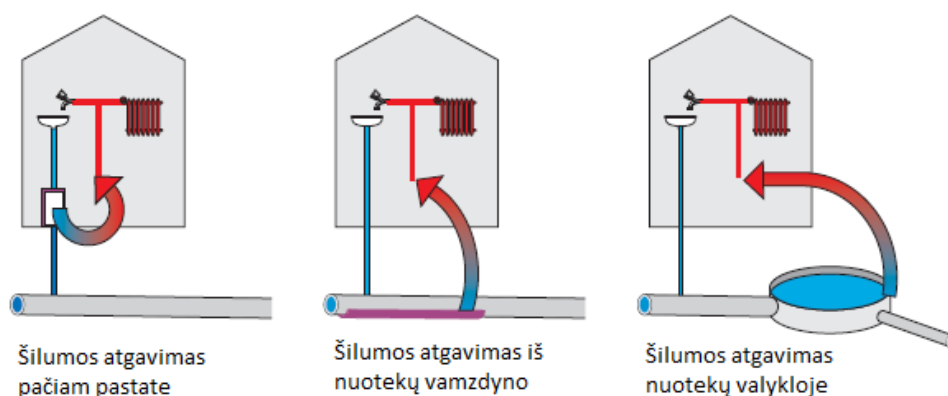
8 pav. Tipinių gyvenamųjų pastatų Kanadoje ir JAV energijos balanso struktūra [16]

Aukščiau pateiktame 8 paveiksle matyti skritulinės diagramos parodančios energijos dalį tenkančią karšto vandens ruošimui gyvenamuosiuose namuose Kanadoje ir Jungtinėse Amerikos Valstijose. Šilumos energijos dalis tenkanti k. v. ruošimui yra 21,7 %, o energijos kiekis sunaudojamam k. v. duše siekia 13 % bendrame pastato energijos balanse [16].

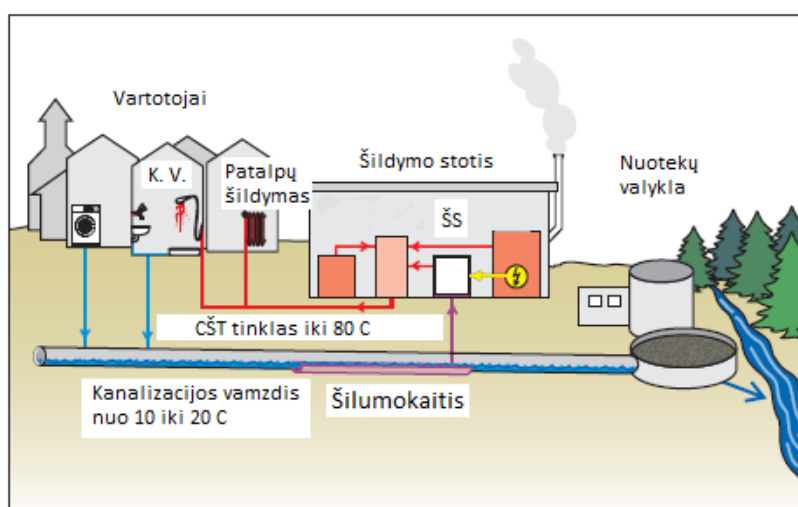
Kaip žinia, praktiškai visas pastate panaudotas karštas vanduo virsta nuotekomis. Kadangi karšto vandens temperatūros yra ganėtinai aukštos, tai reiškia, jog pastatas per nuotekas nuolatos netenka didelio šilumos energijos kiekio. Galima daryti išvadą, kad nuotekos yra aukšto potencialo šilumos šaltinis, kuris su šilumos siurblio pagalba gali būti panaudotas pastatų šildymui. Ši technologiją yra paprasta ir įrodyta. Tokio tipo sistemos pradėtos diegti jau daugiau kaip prieš 20 metų. Šiuo metu pasaulyje veikia apie 500 instaliuotų sistemų su šilumos siurbliais, kurie kaip energijos šaltinį naudoja nuotekas. Tokių sistemų galia gali būti nuo 10 kW iki 20 MW. Remiantis Šveicarijoje ir Vokietijoje atliktomis studijomis, galima teigti, kad apie 3 % šalyje esančių pastatų, galima aprūpinti šilumos energija, nuotekas panaudojus kaip šilumos šaltinį. Remiantis praktika, pastebėta, kad nuotekų temperatūra gali būti apie 10 – 25 °C ištisus metus, o tai lemia efektyvų šilumos siurblių veikimą. Šveicarijoje 1993 m., Šveicarijos Federalinis Energetikos ofisas (angl.

Swiss Federal Office of Energy) apdovanojo Šveicarijos Energetikos Agentūrą (angl. Swiss Energy Agency), už nuotekų energijos naudojimo pastatų šildymui ir vėsinimui, plėtojimą ir populiarinimą. Šios aktyvios programos rezultatas toks, kad Šveicarija tapo šilumos atgavimo iš nuotekų srities tarptautinė lyderė [31].

Pastatuose susidaranti nuotekos gali būti potencialus šilumos šaltinis panaudojus šilumos siurblius. Tarkim šilumos siurblio garintuvas gali šilumą imti iš nuotekų valyklos nuotekų rezervuaro arba iš centralizuoto miesto nuotekų tinklo, įrengus specialius šilumokaičius nuotekų vamzdynuose. Šiluma atgauta iš nuotekų yra pripažinta atsinaujinančios energijos šaltiniu [26]. Pagrindiniai nuotekų energijos panaudojimo būdai yra pateikti toliau esančiame 9 paveiksle. Dalį nuotekų šilumos galima atgauti iškart pastate po karšto vandens panaudojimo (žr. 9 pav. schema kairėje). Taip pat nuotekų šiluma gali būti naudojama pastatų šildymui, šilumą siurbiant iš nuotekų esančių centralizuoto nuotekų tinklo vamzdynuose (žr. 9 pav. schema viduryje). Arba nuotekų šiluma gali būti imama iš nuotekų valykloje esančių rezervuarų (žr. 9 pav. schema dešinėje) [31].



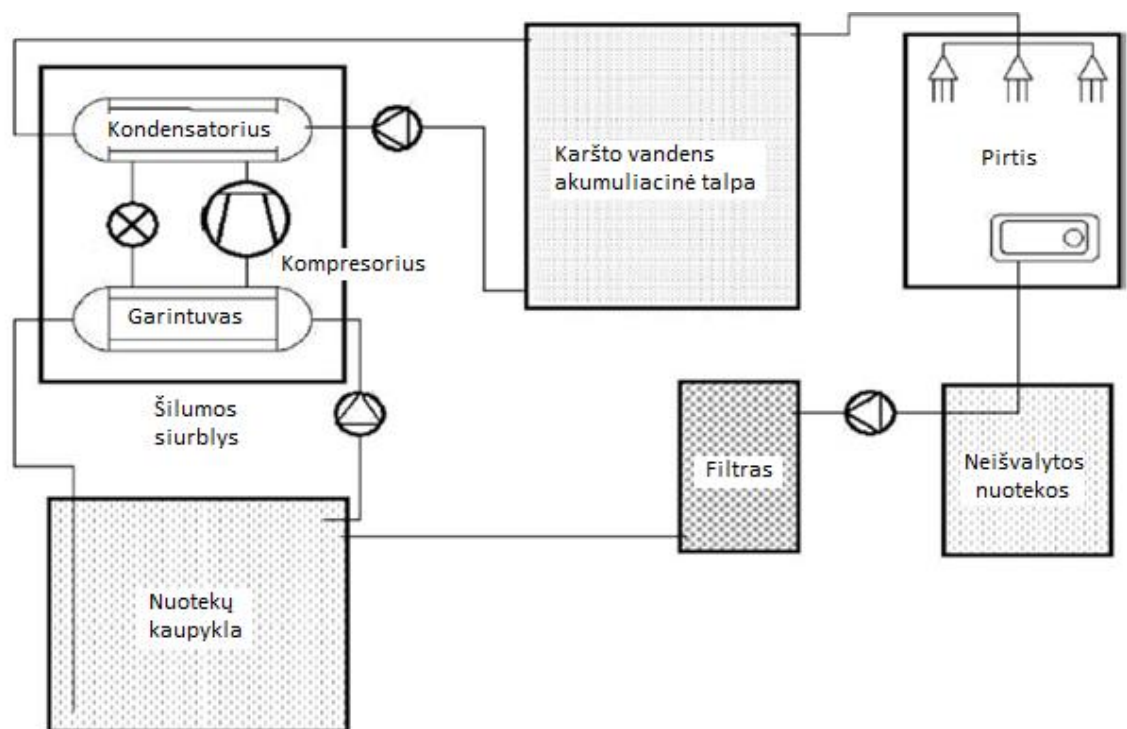
9 pav. Šilumos iš nuotekų gavimo būdų schemas [31]



10 pav. Nuotekų šilumos panaudojimas centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje [31]

Ankščiau pateiktame 10 paveiksle yra principinė schema sistemos, kuri nuotekų šilumą panaudoja centralizuoto šilumos tiekimo sistemoje. Šioje sistemoje naudojamas šilumos siurblys, kurio garintuvas įrengtas lygiagrečiai miesto nuotekų vamzdynų. Preliminarus nuotekų kanalo diametras turėtų būti ne mažesnis kaip 800 mm, nuotekų debitas ne mažesnis kaip 30 l/s ir ne mažiau kaip 0,8 m² kanalo ploto, viename nuotekų kanalo ilgio metre, turėtų būti padengta nuotekomis, esant sausam orui [31].

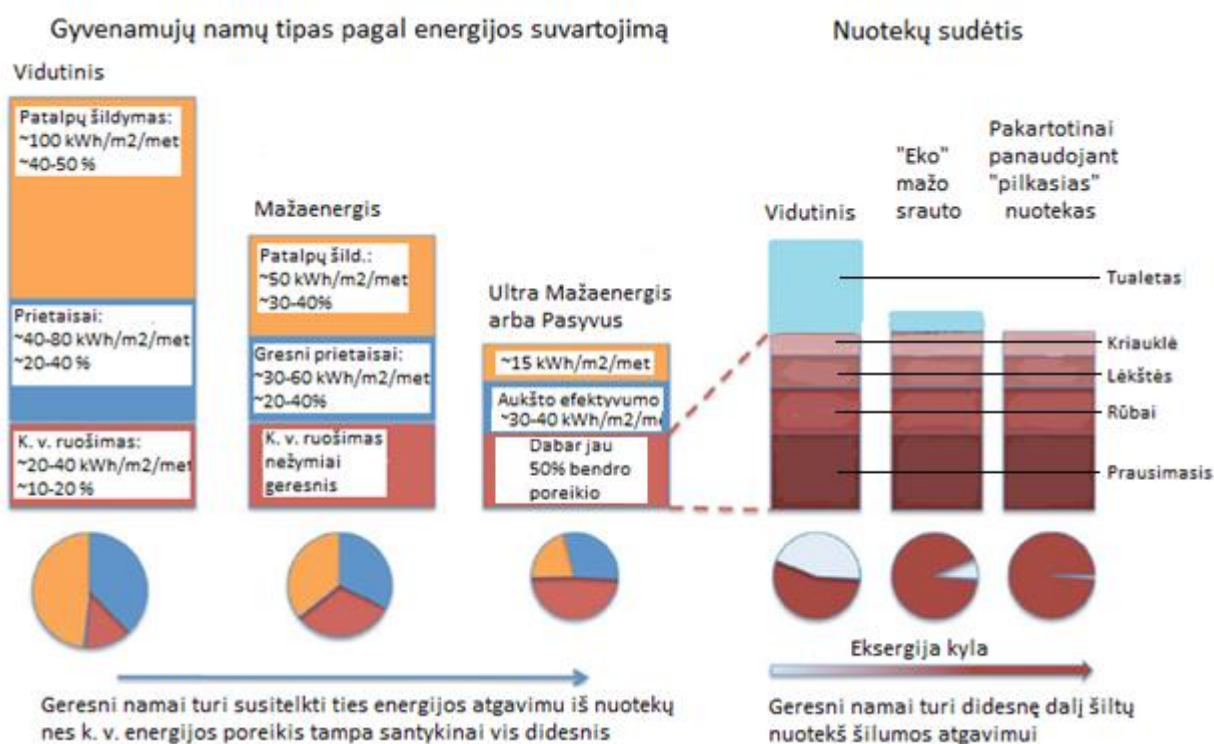
Žvelgiant lokaliau ir susitelkiant labiau ties pačiu pastatų bei jame viename susidarančiomis nuotekomis, taip pat yra daugelis šilumos iš nuotekų atgavimo būdų. Vienas iš jų galėtų būti šilumos siurblio panaudojimas, imant šilumą iš pastate įrengto nuotekų rezervuaro ir karštą vandenį šildant akumuliacinėje talpoje [3]. Sistema su nuotekų rezervuaru ir karšto vandens akumuliacine gali efektyviai akumuliuoti didelį energijos kiekį, todėl karšto vandens akumuliacinėje talpoje vanduo yra šildomas ne piko metu, kada elektros energija yra pigesnė. Analizuojamas pastatas yra viešbutis, kuriame įrengta pirtis, todėl pastate yra didelis ir dažnai netolygus šilumos energijos poreikis karšto vandens ruošimui. Paveiksle 11 pateikta principinė šilumos ir nuotekų atgavimo su šilumos siurbliu schema [3].



11 pav. Nuotekų šilumos atgavimas naudojant šilumos siurbį [3]

Studijos rezultatai rodo, kad tokioje sistemoje, metinis šilumos siurblio naudingo veiksmo koeficientas (angl. Coefficient Of Performance) siekia apie 4,8. Nustatyta, kad šilumos siurblys gali patenkinti 100 % viso metinio karšto vandens poreikio išskyrus savaitgalius žiemos metu. Taip pat šilumos siurblys naudodamas nuotekų šilumą, gali padengti dalį šilumos poreikio šildymui [3].

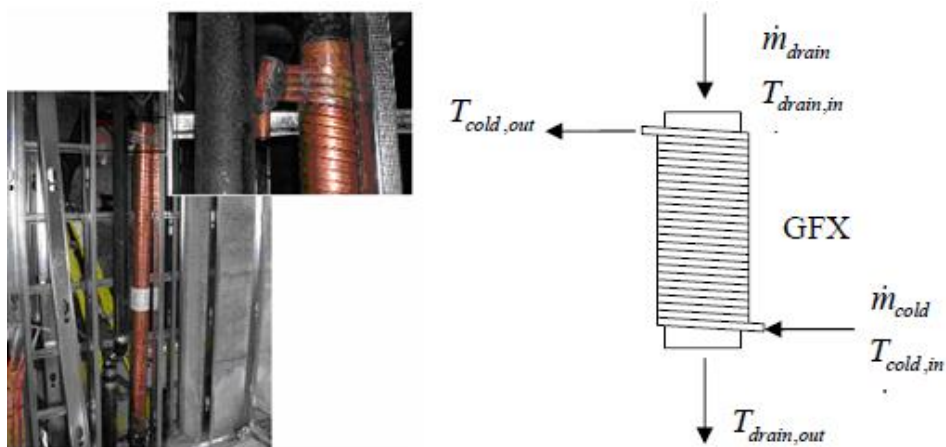
Pastato bendrame energijos balanse, ne tik karšto vandens srautas, bet ir nuotekų srautas turi aukštą ekserginę vertę (žr. 12 pav.). Vanduo yra didelę šiluminę talpą turinti medžiaga, todėl nuotekos taip pat gali būti potencialus ir koncentruotas šilumos šaltinis. Taip pat naudojamo k. v. temperatūros pakankamai aukštos, apie 40 – 50 °C. Atliekant ekserginę analizę, galima nustatyti, kad nuotekos gali būti kokybiškas šilumos šaltinis dėl savo santykinai aukštų temperatūrų. Tai verčia ieškoti integruotų sistemų, kurios leistų minimizuoti temperatūrų gradientą ir mažinti temperatūrinius nuostolius, tokiu būdu mažinant ne tik energinius, bet ir ekserginius nuostolius, o tai palengvintų pastato pirminės energijos poreikio mažinimą [4].



12 pav. Energijos poreikis k. v. ruošimui ir ekserginis potencialas [4]

Vienas iš energijos taupymo būdų karšto vandens ruošimo sistemoje, galėtų būti nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis, kuris detalai pristatytas leidinyje [16]. Šilumokaičio veikimo principas ir funkcija yra pašildyti į pastatą tiekiamą šviežią vandenį, panaudojant duše arba vonioje susidariusių nuotekų šilumą. Šilumokaičio vaizdas ir principinė schema pateikta 13 paveiksle. Toks paprasto veikimo šilumokaitis gali padėti sutaupyti iki 35 % išlaidų karšto vandens ruošimui. Šilumokaitis paprastai instaliuojamas ir aptarnaujamas, taip pat jame nėra jokių judančių detalių, kurioms reikėtų specialios periodinės priežiūros. Vien 2011 metais Ontarijo provincijoje, Kanadoje, tokių šilumokaičių buvo instaliuota virš 6000 į naujai statomus namus, iki dabar iš viso yra instaliuota daugiau nei 15000 tokių sistemų. Daugiau nei šimtas namų statytojų šilumos iš nuotekų atgavimo šilumokaitį įtraukė į standartiškai name instaliuojamų pastato inžinerinių sistemų sąrašą.

Norint sutaupyti dalį energijos skiriamos k. v. ruošimui, pastate galima įrengti saulės kolektorių sistemą arba specialų šilumokaitį, kuris geba atgauti dalį šilumos iš duše susidarančių nuotekų [25].



13 pav. Nuotekų šilumos atgavimo šilumokaičio vaizdas ir veikimo schema [25]

Publikacijoje išnagrinėtų variantų rezultatai rodo, kad k. v. ruošimo sistemoje pritaikius saulės kolektorių, galima sutaupyti apie 56 % metinio en. poreikio k. v. ruošti. Jeigu pritaikoma nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis (toliau – WWHR), atgaunamos šilumos iš nuotekų kiekis svyruoja maždaug nuo 36 % iki 49 %, kas sudaro nuo 691 kWh/metus iki 934 kWh/metus. Studijoje vertinama, kad metinis energijos poreikis k. v. ruošimui yra 5060 kWh/metus. Vertinant variantą, kada k.v. ruošimo sistemoje naudojama WWHR ir saulės kolektoriai, toks sprendinys metinį en. poreikį sumažina apie 69 % [25].

Kadangi nuotekos yra ne tik energiška bet ir eksergiškai naudingas šilumos šaltinis, šilumą iš nuotekų būtų racionaliausia atgauta, kada jos yra aukščiausios temperatūros [4]. Tai galima padaryti pastato karšto vandens ruošimo sistemoje įdiegus WWHR šilumokaitį, dėl kurio instaliavimo vietos, nuotekos gali būti atvėsintos į šilumokaitį patekę iškart po karštą vandenį naudojančio prietaiso. Taip pat WWHR šilumokaitis yra labai paprastas inžinerinis sprendimas, lengvai instaliuojamas, neturi jokių judančių detalių, kurios dėvėtųsi, WWHR nevartoja elektros energijos.

1.4. Literatūros apžvalgos santrauka

Baigiamajame darbe atliktos literatūros apžvalgos tikslas, – sukaupiti reikiamą žinių kiekį, apie galimybes, mažaeenergiuose pastatuose panaudoti pastato atliekinę ir grunto šilumą. Remiantis rasta pavyzdžiais ir atliktomis studijomis, ketinama analizuoti galimybę, šildymo ir vėsinimo metinius poreikius padengti naudojant šilumos siurblių su vertikaliu gręžiniu grunte. Šis sprendimas atrodo patraukliausias, būti panaudojamas mažaeenergiame pastate, kuriame vėsinimo poreikis gali

būti netgi didesnis už šildymo, o šilumos siurblys su vertikalius gręžiniu gali užtikrinti sklandų šilumos ir vėsos tiekimą ištisus metus.

Kitas grunto šilumos panaudojimo būdas būtų naudoti gruntinį šilumokaitį, tiekiamo į pastatą oro pirminiam pašildymui. Sprendimas priimtas remiantis tuo, kad šilumos energijos poreikis vėdinimui priklauso nuo tiekiamo oro kiekio, t. y. nuo žmonių, ir bendrame mažoenergetinio pastato energijos balanse gali sudaryti santykinai didelį kiekį. Taip pat gruntinio šilumokaičio, kaip oro pirminio pašildytuvo, sprendimas gali būti naudingas šaltesnio klimato zonose, kuriose dėl žemų lauko oro temperatūrų, dažnai atsiranda pavojus dėl mechaninio vėdinimo sistemos įrenginio šilumogrąžio užšalimo.

Literatūros apžvalgoje aptartos idėjos, apie pastato atliekinės šilumos panaudojimą, kuri yra šiluma panaudota karšto vandens ruošimui ir po to šalinama iš pastato kartu su nuotekomis. Taigi aptarta, kad nuotekų šiluma yra didelį potencialą turintis šilumos šaltinis. Svarstant apie galimybę atgauti dalį šilumos iš nuotekų, baigiamajame darbe ketinama analizuoti nuotekų šilumos atgavimo šilumokaičio efektyvumą ir naudą. Šilumokaitis naudojamas iškart po karšto vandens naudojimo duše, nes tuomet nuotekų temperatūra yra aukščiausia ir dalis jos iškart gali būti panaudojama šalto vandens pirminiam pašildymui. Be to apžvelgus keletą šilumos atgavimo iš nuotekų techninių sprendimų, pasirinktas šilumokaitis atrodo patraukliausias dėl savo konstrukcijos įrengimo paprastumo.

2. ĮRANKIAI BAIGIAMOJO DARBO SKAIČIAVIMUI

Siekiant baigiamojo darbo tikslų ir užsiduotų uždavinių atlikimo, darbe ketinama naudoti kompiuterines skaičiavimo programas. Ketinama atlikti energiją vartojančių sistemų analizę, stebint sistemų energijos suvartojimą ir veikimo efektyvumą visų metu bėgyje. Baigiamajame darbe ketinama naudoti keletą skirtingų programų, kurios parinktos pagal savo tinkamumą, užsiduotų uždavinių atlikimui. Siekta, kad pasirinkta programa galėtų pateikti detalius rezultatus, kurie toliau būtų naudojami kaip įvesties duomenys atliekant skaičiavimus su kitomis programomis, arba pateikiami kaip galutiniai BD rezultatai.

2.1. Pastato energijos balansas

Baigiamajame darbe pastato energijos poreikiai buvo skaičiuoti su dvejomis programomis.

Pirmoji iš jų buvo kompiuterinė modeliavimo programa „DesignBuilder“ [29]. Tai programa skirta kurti pastato trimatį modelį ir vertinti architektūros daromą įtaką energijos poreikiams. Šioje programoje galima detaliai kurti pastato atitvaras, įvertinant kiekvieno sluoksnio savybes. Taip pat programoje galima naudotis sukurtais šablonais. Programa naudoja „EnergyPlus“ skaičiavimo platformą. „DesignBuilder“ yra puikus įrankis tiek projektuotojui tiek inžinieriui ar konsultantui. Programa gali būti naudojama praktiškai visose pastato projektavimo stadijose. Išėties duomenys gali būti pateikti įvairiausių grafikų ir lentelių pavidalu, kas toliau gali būti naudojama kitose programose.

Antroji kompiuterinė programa, su kuria buvo skaičiuojami pastato energijos poreikiai, buvo „CASAnova“, sukurta Siegen universitete Vokietijoje [11]. Programos skirta pateikti rezultatus padedančius suprasti kaip pastato energijos poreikius įtakoja pastato geometrija, orientacija pasaulio šalių atžvilgiu, sienų apšiltinimas, įstiklinimas, vidiniai ir saulės šilumos pritekėjimai. Šilumos poreikio skaičiavimai šioje programoje atliekami pagal Europinę normą EN 832 [5].

Baigiamajame darbe pasirinkta naudoti „CASAnova“ programą, nes jos naudojimas yra paprastesnis ir patogesnis. Kadangi atliekant energijos poreikių skaičiavimus svarbiausia gauti pastato energijos poreikius šildymui ir vėsinimui pamėnesiui, taigi pasirinkta programa buvo kur kas patogesnė. Energijos poreikius buvo galima suskaičiuoti ir su „DesignBuilder“, tačiau su „CASAnova“ nereikia kurti trimačio pastato modelio ir detalizuoti daugelio pastato detalių. „DesignBuilder“ nėra kažkuo prastesnė modeliavimo programa, tiesiog šio baigiamojo darbo uždaviniams atlikti parankiau naudoti „CASAnova“, kurios rezultatai bus naudojami tolimesniuose skaičiavimuose kaip įvesties duomenys.

2.2. EHX šilumokaitis

Gruntinio šilumokaičio (EHX) skaičiavimams atlikti buvo rasta skaičiavimo programa „PHluft“ [28]. Programa yra sukurta Pasyvių Namų Institute, Vokietijoje. „PHluft“ naudojama kaip papildomas pagalbinis įrankis kartu su pasyvių namų skaičiavimo ir projektavimo programa „PHPP“ [30]. Atlikus pasyvaus namo skaičiavimus, „PHluft“ naudojama papildomiems gruntinio šilumokaičio skaičiavimams atlikti, kuris naudojamas padidinti vėdinimo sistemos efektyvumą.

EHX skaičiavimams taip pat buvo rasta programa „GAEA“ [11]. Ši programa sukurta tame pačiame, Siegen universitete Vokietijoje, kaip ir ankščiau aprašyta „CASAnova“. „GAEA“ programa labai panaši į „PHluft“. Atliekant EHX skaičiavimus vertinama EHX ilgis, užkasimo grunte gylis, vamzdžio diametras, grunto šiluminis laidumas bei klimatiniai duomenys. Greitai galima suskaičiuoti gruntinio šilumokaičio ekonominę naudą ir sužinoti metinį gaunamos energijos kiekį iš grunto bei gauti metinį oro temperatūrų pasiskirstymo grafiką šilumokaityje.

Baigiamajame darbe, EHX skaičiavimams atlikti buvo pasirinkta „GAEA“ programa, nes „PHluft“ programoje nėra Lietuvos klimatinio duomenų, ir deja, „PHluft“ naudojama tik vokiečių kalba.

2.3. Vertikalus gręžinys šilumos siurbliui

Vertikalių gręžinių grunte ir šilumos siurblio skaičiavimams buvo naudojama „EED – Earth Energy Designer“ kompiuterinė programa [12]. Ši programa yra gan paprasta todėl ją galima greitai suskaičiuoti įvairiausias gręžinių grunte kombinacijas. „EED“ geba atlikti reikiamo gręžinių gylio skaičiavimus iki 1200 gręžinių skaičiaus ir net iki keleto TWh metinio energijos poreikio apkrovos. Programa turi didelę klimatinio duomenų bazę, kurioje baigiamojo darbo skaičiavimams pasirenkama Vilniaus duomenys. Šioje programoje gręžinio gylis ir parametrai suskaičiuojami remiantis pasirinkta gręžinio konstrukcija, šilumnešio rūšimi, grunto tipu, bei metiniu pastato energijos poreikiu šildymui ir vėsinimui pamėnėsiui. Taigi „EED“ programoje, metinis energijos poreikis yra įvesties duomenys, kurie gaunami atlikus pastato energijos poreikių skaičiavimus su programa „CASAnova“.

3. ANALIZUOJAMAS OBJEKTAS

Baigiamojo darbo tiriamasis objektas yra individualus gyvenamasis namas, kurio teorinis modelis sukurtas naudojant programą „CASAnova“. Tolimesniuose skaičiavimuose naudojami gauti duomenys, toki kaip: Metinis energijos poreikis šildymui ir vėsinimui, lyginamieji energiniai rodikliai pastato ploto vienetui, pirminės energijos poreikiai, saulės šiluminiai pritekėjimai į pastatą pro skaidrias atitvaras.



14 pav. Analizuojamo pastato pietinis fasadas

Skaičiuojami keturi pastato variantai, turintys skirtingus atitvarų šilumos perdavimo koeficientus. Suskaičiuotų variantų tikslas, – parodyti, kaip atitvarų šilumos perdavimo koeficientai įtakoja pastato metinius energijos poreikius. Keturiems pastato variantams priimti koeficientai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Analizuojamo pastato skaičiuotų variantų U , W/m^2K koeficientų reikšmės

Variantai		Pirmasis	Antrasis	Trečiasis	Ketvirtasis
Atitvarų šilumos perdavimo koeficientai U , W/m^2K	Išorinė siena	0,22	0,18	0,15	0,11
	Grindys ant grunto	0,24	0,22	0,17	0,14
	Stogas	0,20	0,16	0,13	0,10
	Langai ir Durys	1,90	1,40	1,00	0,70

Taigi kuriant pastato modelį su „CASAnova“, pasirenkami Vilniaus klimatiniai duomenys. Pastato pagrindinis fasadas yra orientuotas į pietus. Programoje aprašoma pastato geometrija ir pasirenkami mikroklimato parametrai. Priimta, kad pastato šildymo sistema yra šilumos siurblys su žematemperatūra (t.y. šilumnešio parametrai šildymo sistemoje yra $35/28\text{ }^{\circ}\text{C}$) grindinio šildymo sistema. Patalpų vidaus temperatūra, šildymo sezono metu, neturėtų būti mažesnė kaip $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, o šiltuoju metų periodu (vėsinimo sezono metu), neturėtų būti aukštesnė už $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

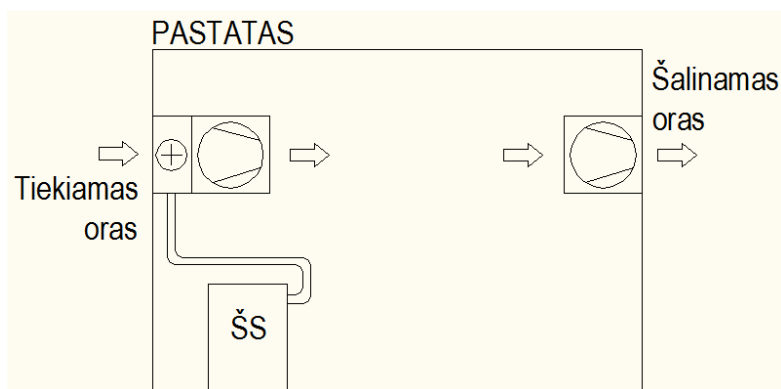
Siekiant tikslo, mažinti energijos poreikius pastate ir didinti energijos vartojimo efektyvumą, toliau baigiamajame darbe taikomi ir analizuojami du techniniai sprendimai, t.y. gruntinis šilumokaitis (trump. EHX) ir šilumos iš nuotekų atgavimo šilumokaitis (trump. WWHR).

4. TAIKOMI TECHNINIAI SPRENDIMAI

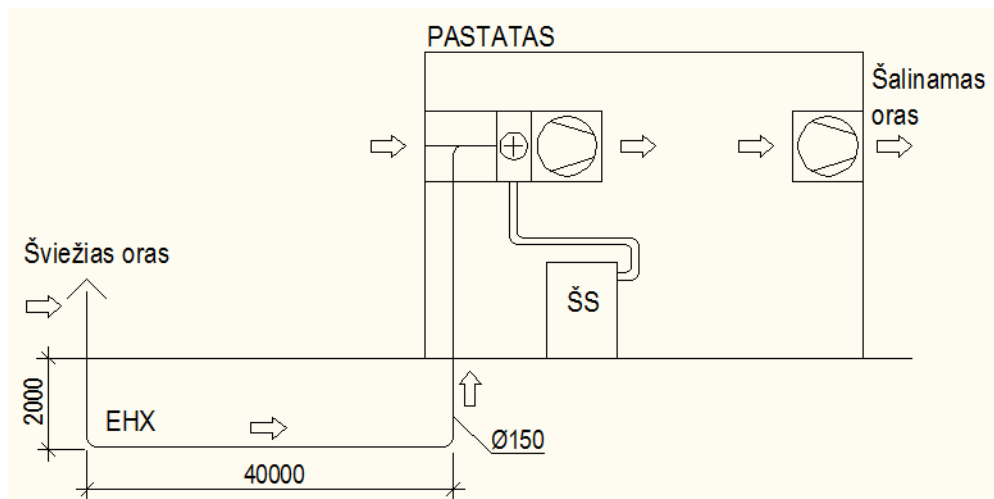
4.1. Gruntinis šilumokaitis EHX

Gruntinis šilumokaitis (toliau trump. EHX) yra vamzdis arba kolektorius užkastas po žeme (žr. 18 pav.). Pro šilumokaitį, pastato mechaninė vėdinimo sistema tiekia orą į pastatą. Tokiu būdu oras yra pašildomas šildymo sezono metu. Toks reiškinys vyksta todėl, kad visų metų laikotarpyje, grunto temperatūra yra maždaug vienoda. Internetiniame šaltinyje rastas gamintojo pavyzdys [7], kuomet įrengiamas specialus kolektorius po žeme prie gyvenamojo namo. EHX energetinių rodiklių ir gaunamos šilumos stebėjimai atlikti gyvenamojo pastato vėdinimo sistemoje [8].

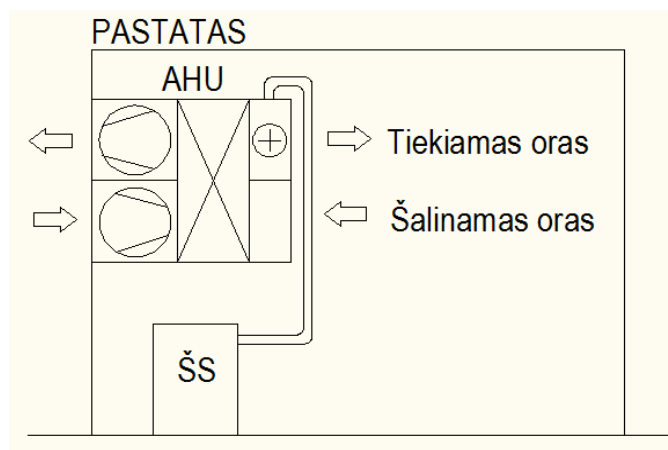
Baigiamajame darbe analizuota ir lyginta tarpusavyje skirtingi vėdinimo sistemų variantai, norint parodyti kiekvienos iš jų vartojamos energijos kiekius ir EHX sutaupomos energijos kiekius. Pirmoji analizuojama pastato sistema, tai mechaninio vėdinimo sistema be jokių šilumos atgavimo įrenginių, kurios principinė schema pavaizduota 15 paveiksle. Toliau analizuojamas vėdinimo sistemos variantas pavaizduotas 16 paveiksle. Tai sistema, kuri dalį šilumos energijos, reikalingos oro pašildymui, ima iš grunto, naudojant EHX. Taip pat analizuojamas įprastinis mechaninės vėdinimo sistemos variantas, kuris turi plokštelinį šilumokaitį ir oro pašildymo sekciją. Principinė sistemos schema pavaizduota 17 paveiksle. Paskutinytis, ketvirtasis variantas yra įprastinis mechaninės vėdinimo sistemos variantas su EHX (žr. 18 pav.), kuris naudojamas tiekiamo į pastatą oro pirminiam pašildymui. Kadangi EHX naudojamas tik šaltuoju metų laikotarpiu, tai pereinamuoju laikotarpiu, oras į pastatą tiekiamas tiesiai į vėdinimo įrenginį.



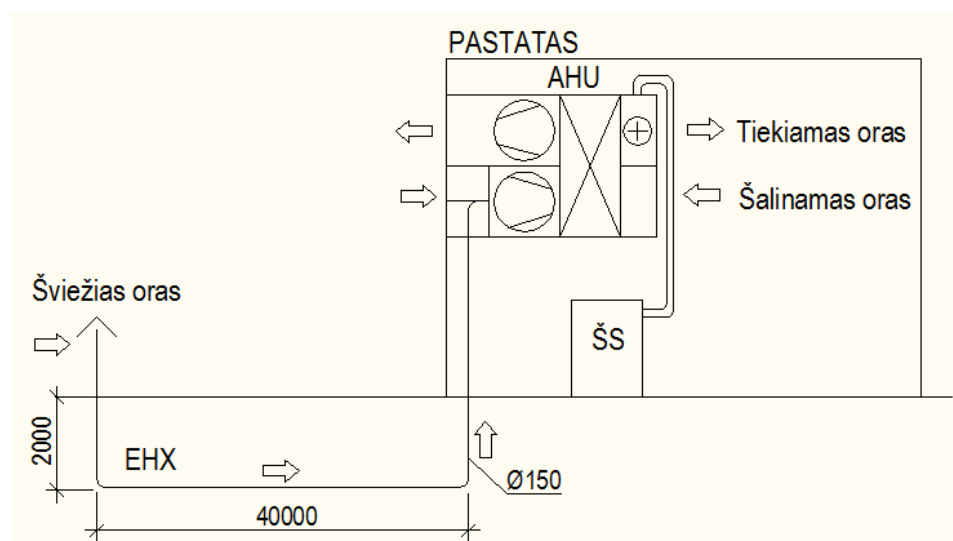
15 pav. Variantas be jokių šilumos atgavimo priemonių



16 pav. Variantas su EHX



17 pav. Įprastinis mechaninės vėdinimo sistemos variantas



18 pav. Įprastinis variantas su EHX ir plokšteline šilumogražiu

Baigiamajame darbe išanalizuota gruntinio šilumokaičio konstrukcija, t. y. vienas vamzdis, užkastas šalia pastato, dviejų metrų gylyje. Svarbiausi EHX matmenys matomi 18 paveiksle, t.y. ilgis, įgilinimas ir vamzdžio diametras. Taigi „GAEA“ skaičiavimuose priimta, kad šilumokaitis užkasamas dviejų metrų nuo pastato atstumu, dviejų metrų gylyje, aplink visa pastatą. Programoje parinkta grunto tipas, kuris yra labiausiai vyraujantis Vilniuje ir jo rajone, – priemolis. Taip pat parinkti Vilniaus klimatiniai duomenys.

Įprastiniame mechaninės vėdinimo sistemos modeliuojamame variante priimta, kad per šilumokaitį bus tiekiamas $150 \text{ m}^3/\text{h}$ oro kiekis, t.y. priimama šviežio oro norma trims žmonėms [17]. Šilumokaičio naudojimas šviežio oro pirminiam pašildymui numatomas, kada išorės oro temperatūra nukrenta žemiau 10°C , vėsinimui – kada oro temperatūra pakyla aukščiau 25°C . Taip pat yra priimama ventiliatoriaus efektyvumo koeficientas bei nekintantys aerodinaminiai slėgio nuostoliai, kurie susidaro dėl oro ėmimo grotelių ir kitų vėdinimo sistemos elementų.

Mechaninio vėdinimo sistemoje EHX, numatoma naudoti nuosekliai su AHU šilumogrąžiu (žr. 18 pav.). Taigi darbe apskaičiuota dviejų nuosekliai sujungtų šilumokaičių, šilumos atgavimo efektyvumas. Skaičiuojant AHU šilumogrąžio efektyvumą, naudota tiekiamo šviežio oro temperatūros po EHX, kurios buvo gautos atlikus skaičiavimus „GAEA“ programa.

Naudojant „GAEA“ programą, gauta lauko išorės oro ir šviežio oro po EHX temperatūros visų metų laikotarpyje. Toliau pateikiama formulė 4.1, buvo naudota atliekant, energijos atgaunamos iš oro skaičiavimus:

$$Q_{rec} = \frac{V}{3600} \cdot \rho \cdot C_{p,oro} (T_{out} - T_{in}) t, kWh / men. \quad 4.1$$

Čia:

Q_{rec} – Energijos kiekis, kuris atgaunamas arba reikalingas užsiduoto oro kiekiui pašildyti iki norimos temperatūros, kWh/mėn;

V – visada į pastatą tiekiamo šviežio oro kiekis $150 \text{ m}^3/\text{h}$;

$C_{p,oro}$ – oro savitoji šiluma $1,0055 \text{ kJ/kgK}$;

ρ – oro tankis $1,200 \text{ kg/m}^3$;

T_{in} – oro prieš EHX, AHU šilumogrąžį arba AHU šildytuvą temperatūra $^\circ\text{C}$;

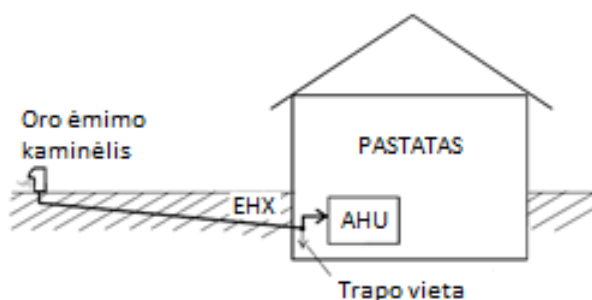
T_{out} – oro temperatūra po EHX, AHU šilumogrąžio arba AHU oro pašildytuvo $^\circ\text{C}$;

t – laikotarpis, kurio metu yra atgaunama šiluminė energija arba naudojama oro pašildymui, h.

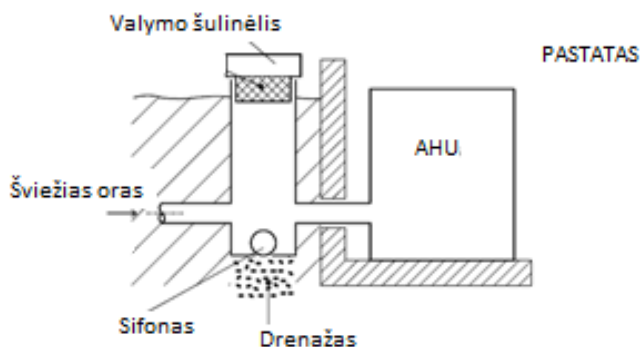
Energijos, gaunamo iš grunto ir šalinamo iš pastato oro, skaičiavimai atlikti kiekvienam mėnesiui, visų metų laikotarpyje. Priimta prielaida, kad šviežio oro kiekis (t.y. šviežio oro norma trims žmonėms $150 \text{ m}^3/\text{h}$) tiekama į pastatą ištisus metus be pertraukimo. Skaičiavimuose

panaudotos metinės lauko išorės temperatūros yra paimtos iš „CASA^{anova}“ programos [11]. Tai pat būtina žinoti AHU šilumogrąžio efektyvumą ne tik prie lauko išorės temperatūrų, bet ir prie tiekiamo oro temperatūros kuri yra po EHX, gavus dalį oro pašildymui reikalingos energijos iš grunto. Taigi norint nustatyti ankščiau minėtas temperatūras, parinktas konkretaus gamintojo šilumokaitis ir naudojant internetinę šilumokaičių parinkimo programą, buvo gauti reikiami duomenys [14]. Pastato vidaus patalpų temperatūra priimta – 20 °C.

Norint EHX instaliuoti į pastato inžinerinių sistemų visumą, derėtų atsižvelgti į keletą specifinių šio įrenginio ypatybių. Viena iš jų būtų tokia, kad jeigu EHX naudojamas oro vėsinimui, vamzdyje yra galimybė susidaryti kondensatui, todėl būtina EHX montuoti su nuolydžiu į pastato pusę ir įrengti drenažinį šulinį. Principinis sprendimas pavaizduotas žemiau esančiame 19 paveiksle. Taip pat 20 paveiksle detalai pavaizduota drenažo šulinio konstrukcija su sifonu, kuris būtinas norint išvengti blogo kvapo EHX viduje.



19 pav. EHX drenažo įrengimo vieta

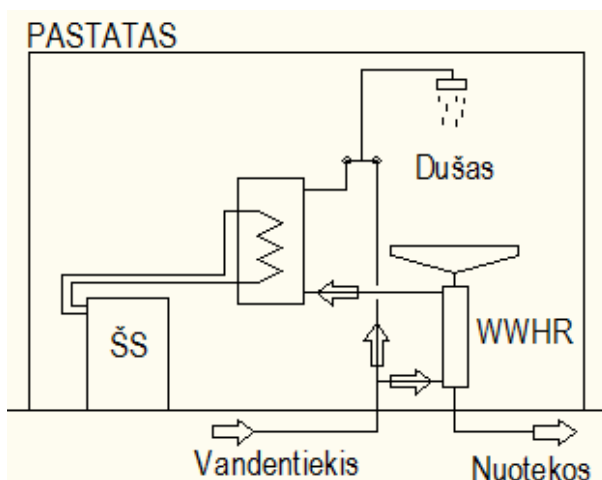


20 pav. EHX drenažo šulinio funkcinė schema

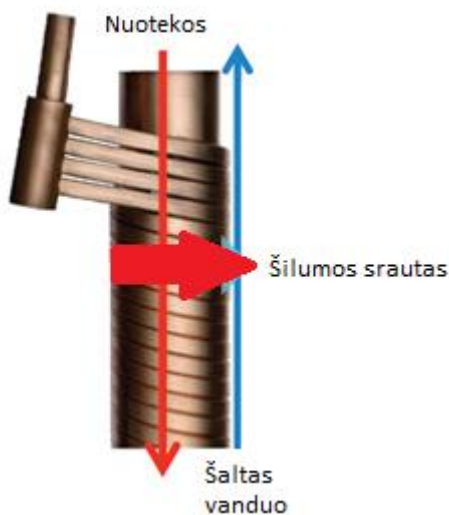
Dar vienas niuansas į kurį derėtų atkreipti dėmesį, – aerodinaminiai slėgio nuostoliai, susidarantys EHX šilumokaityje dėl trinties. Pagal „GAEA“ skaičiavimus, slėgio nuostoliai vamzdyje yra apie 15 Pa. Taigi vertinant EHX naudą, kaip energiją taupančio įrenginio, būtina atkreipti dėmesį į tai, kad atsiradę papildomi aerodinaminiai nuostoliai vėdinimo sistemoje, gali padidinti oro tiekimo ventiliatoriaus elektros sąnaudas.

4.2. Nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis WWHR

Antrasis pastate taikomas energijos taupymo sprendimas yra šilumokaitis, kuris atgauna šilumą iš pastato nuotekų (toliau – WWHR). Atgauta nuotekų šiluma naudojama šalto vandens pirminiam pašildymui, ir tik po to vanduo šildomas akumuliacinėje talpoje iki reikiamos karšto vandens temperatūros. Toliau 21 paveiksle pavaizduota pastato karšto vandens ruošimo sistemos schema su WWHR šilumokaičiu.



21 pav. WWHR funkcinė schema



22 pav. WWHR šilumokaičio srautų judėjimo funkcinė schema [13]

Baigiamajame darbe pasirinktas konkretaus tipo ir gamintojo šilumokaitis [13]. Tai yra varinis šilumokaitis, kurio nuotrauka ir veikimo principas pavaizduoti 22 paveiksle. Raudona ir mėlyna rodyklės yra šiltų nuotekų ir vandentiekio vandens srautų kryptys, taip pat pavaizduota ir šilumos atidavimo kryptis.

Pastato metinis karšto vandens poreikis ir susidarančių nuotekų srautai duše skaičiuojami remiantis metodika [10] ir rasta duomenimis [16]. Numatytas karšto vandens kiekis vienam žmogui yra 35 litrai per dieną, taigi iš viso analizuojamam pastatui per parą reikia 105 litrų. Energijos poreikis k. v. ruošimui skaičiuojamas, naudojant toliau pateiktą formulę 4.2:

$$Q_{cons} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{hot} - T_{cold}) \cdot 365, kWh / metai \quad 4.2$$

Čia:

Q_{cons} – Energijos poreikis karštam vandeniui ruošti per visus metus, kWh/metai;

V – diennis karšto vandens suvartojimas 0,105 m³/diena;

C_p – vandens savitoji šiluma 1,670 Wh/kgK;

ρ – vandens tankis 1000 kg/m³;

T_{hot} – numatyta ruošiamo karšto vandens temperatūra 50 °C;

T_{cold} – šalto vandens temperatūra, numatyta tokia pat kaip metinė grunto paviršiaus temperatūra 6,0 °C (metinė grunto temperatūra paimama iš „EED“ programos [12]).

Skaičiavimuose naudojant ankščiau pateiktą formulę, priimama prielaida, kad karšto vandens suvartojimas yra vienodas visus metus.

Baigiamajame darbe analizuojamame variante priimama prielaida, kad šilumos energija bus atgaunama tik iš duše susidarančių nuotekų. Taigi metinis atgautos energijos kiekis yra apskaičiuojamas naudojant formulę 4.3, kuri pateikta toliau:

$$Q_{rec.} = \left(\frac{v_{mix} \cdot N_{occ} \cdot N_{sd} \cdot t_{du}}{1000} \right) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{drain,in} - T_{drain,out}) \cdot 365; kWh / metus \quad 4.3$$

Čia:

$Q_{rec.}$ – metinis šilumos energijos kiekis atgautas iš dušo nuotekų, kWh/metai;

v_{mix} – karšto ir šalto vandens mišinio srautas duše, numatyta 9,0 ltr/min [10];

N_{occ} – gyventojų skaičius pastate;

N_{sd} – vieno žmogaus prausimosi dažnumas per dieną, numatyta 0,7 kartai [10];

t_{du} – žmogaus prausimosi trukmė duše, numatyta 6 minutės [10];

C_p – vandens specifinė savitoji šiluma 1,670 Wh/kgK;

ρ – vandens tankis 1000 kg/m³;

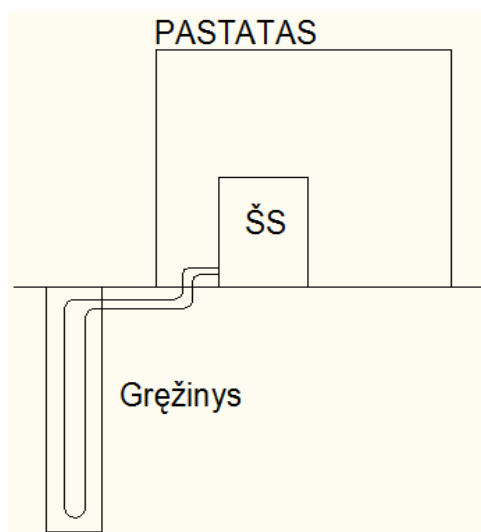
$T_{drain,in}$ – numatyta nuotekų vandens temperatūra patenkanti į WWHR 38 °C [16];

$T_{drain,out}$ – numatyta nuotekų vandens temperatūra po WWHR 23 °C [16].

Kadangi baigiamajame darbe analizuojamas realus WWHR šilumokaitis, tai derėtų atsižvelgti į keletą gaminio ypatybių. Viena iš jų būtų tai, kad šilumokaičio ilgi yra apie 1,50 m ir gamintojo rekomendacijose teigiama, jog šilumokaitis privalo būti montuojamas vertikalioje pozicijoje. Todėl dažniausiai tokį WWHR šilumokaičiai montuojami pastatuose kurie yra kelių aukštų arba turi rūšį, nes šilumokaičiui reikia pakankamo patalpos aukščio, kad WWHR galėtų būti montuojamas po karšto vandens vartojimo prietaisais (t.y. dušas, kriauklė, vonia).

4.3. Vertikalūs gręžiniai grunte šilumos siurbliui

Baigiamajame darbe analizuojama galimybė, pastato metinį poreikį šildymui ir vėsinimui, padengti su šilumos siurbliu, kuris kaip energijos šaltinį naudotų grunte įrengtą vertikalų gręžinį. Grunto vėšą ketinama panaudoti šiltuoju metų laikotarpiu, kada pastate atsiranda poreikis vėsinimui. O šaltuoju metų periodu, šiluma iš grunto su ŠS pagalba, tiekama į pastato grindinio šildymo ir mechaninio vėdinimo sistemas. Taip pat visų metų laikotarpyje, grunto šiluma naudojama karšto vandens ruošimui. Taigi šioje skaičiavimų dalyje ketinama nustatyti gręžinio gylį, kuris gebėtų padengti, su „CASAnova“ suskaičiuotą, metinį pastato energijos poreikį. Šios dalies skaičiavimams naudojama vertikalių gręžinių skaičiavimo programa – „EED“ (angl. Earth Energy Designer).



23 pav. Vertikalaus gręžinio grunte principinė schema

Pasirinktos grunto savybės būdingos Vilniaus regionui:

- Grunto šiluminis laidumas – $2,220 \text{ W/mK}$, pasirinkto grunto parametrai yra tokie pat kaip ir gruntinio šilumokaičio skaičiavimuose, t.y. priemolis;
- Žemės paviršiaus temperatūra – $6,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Geoterminis šilumos srautas Vilniaus mieste – $0,040 \text{ W/m}^2$.

Gręžinyje naudojamas šilumnešis, – metanolis, kurio užšalimo temperatūra apie -14 °C. Pasirinktas gręžinių tipas “SINGLE-U”, t.y. vienas gręžinys, kuriame yra viena „U-tipo“ vamzdžio kilpa. Pagrindiniai gręžinio parametrai:

- Gręžinio diametras – 0,110 m;
- U-vamzdžio diametras – 0,020 m;
- U-vamzdžio sienutės storis – 0,002 m;
- U-vamzdžio sienutės šiluminis laidumas – 0,420 W/mK.
- Vidutinė žemiausia šilumnešio temperatūra – 0 °C.
- Didžiausia vidutinė šilumnešio temperatūra – +15 °C.

Base load			
☐ Annual energy and monthly profile ☒ Monthly energy values			
[MWh]	Heat	Cool	Ground
Annual	21.200	0.000	
SPF	3.000	3.000	Update
January	0.925	0.000	0.617
February	0.687	0.000	0.458
March	0.545	0.001	0.362
April	0.419	0.035	0.233
May	0.430	0.193	0.029
June	0.416	0.268	-0.080
July	0.430	0.310	-0.127
August	0.430	0.240	-0.033
September	0.416	0.058	0.200
October	0.444	0.044	0.237
November	0.667	0.000	0.445
December	0.902	0.000	0.601

24 pav. Pastato metinis energijos poreikis šildymui ir vėsinimui

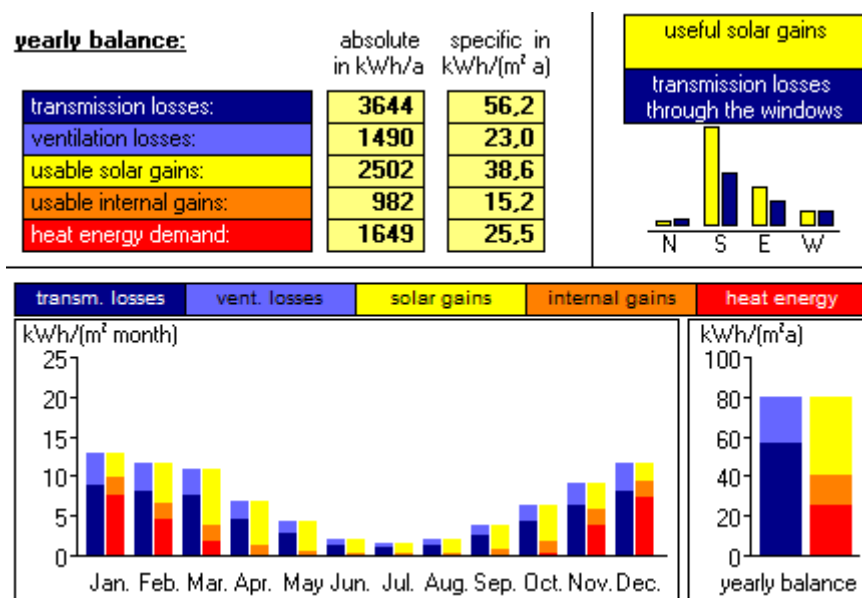
Programoje priimami šilumos siurblio sezoniniai naudingumo koeficientai „SPF“ (angl. Seasonal Performance Coefficient) yra – 3,00. Taip pat užsiduodamas pastato šilumos ir vėsos poreikis pamėnesiui (žr. 24 pav.), kuris gaunamas atlikus skaičiavimus programa „CASAnova“. Numatoma, kad naudojant šilumos siurblį, iš gręžinio imama grunto energija bus panaudojama pastato šildymui, vėsinimui ir karšto vandens ruošimui ištisus metus. Analizuojama, jog vienas gręžinys turėtų padengti visus metinius pastato šilumos ir vėsos poreikius.

5. SKAIČIAVIMŲ REZULTATAI

5.1. Pastato energijos poreikių skaičiavimas

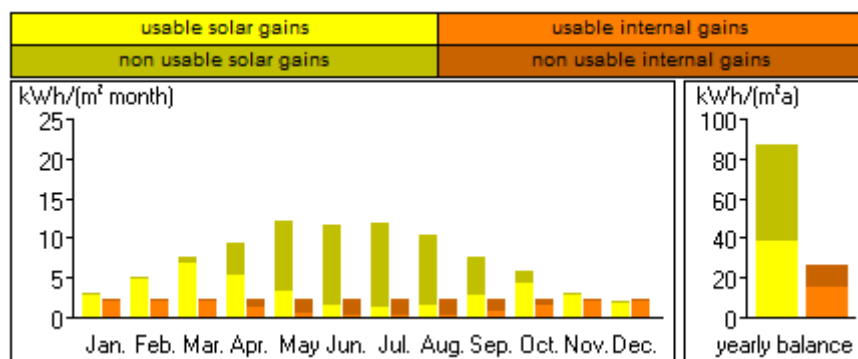
Baigiamajame darbe analizuojamo pastato energijos poreikiai, skaičiuojami naudojant „CASAnova“ skaičiavimo programą. Skyriuje 3, 2 lentelėje pateikti suskaičiuotų skirtingų pastato variantų atitvarų šilumos perdavimo koeficientai. Kiekvienam variantui suskaičiuota metinis energijos balansas, t.y. energijos poreikis šildymui ir vėsinimui. Šiame skyriuje pateikiami detalūs ketvirtojo pastato varianto energijos poreikių skaičiavimų rezultatai. Daugiausiai dėmesio skiriama būtent šiam pastato variantui, nes dėl gerų atitvarų šiluminių savybių yra mažiausiai energijos vartojantis pastato variantas. Taip pat sekančiuose baigiamojo darbo skaičiavimuose būtent šiam pastato variantui taikomi energijos taupymo sprendiniai, norint dar labiau sumažinti metinį energijos poreikį.

Detalus ketvirtojo pastato metinis energijos poreikis šildymui grafiškai pavaizduotas 25 paveiksle. Kuriame matyti šilumos nuostolių per atitvaras (angl. transmission losses) ir dėl vėdinimo (angl. ventilation losses) dydžiai. Taip pat parodyta panaudojamų vidinių (angl. usable internal gains) ir saulės šilumos (angl. usable solar gains) pritėkių dalis, kuri padeda sumažinti energijos poreikį šildymui (angl. heat energy demand).



25 pav. Ketvirtojo varianto šildymo poreikis

Paveiksle 26 grafiškai pavaizduota saulės ir vidinių šilumos pritėkių kiekiai pamėnesiui, taip pat išskirta šilumos energijos dalis, kuri padengia dalį šilumos nuostolių.



26 pav. Naudingi saulės ir vidiniai šilumos pritėkiai

Metinio energijos poreikio šildymui skaičiavimų skaitiniai dydžiai pateikti 3 lentelėje. Duomenys yra paimti iš "CASA nova" programos skaičiavimų ataskaitos. Išreikšta šilumos nuostolių dydžiai, iš kurių yra atimta vidinių ir saulės šilumos pritėkių panaudojama dalis. Galutinis ir svarbiausias dydis yra energijos poreikis šildymui, kuris ketvirtajam pastato variantui yra 1649 kWh/metus.

3 lentelė. Pastato ketvirtojo varianto en. poreikis šildymui pamenesiui

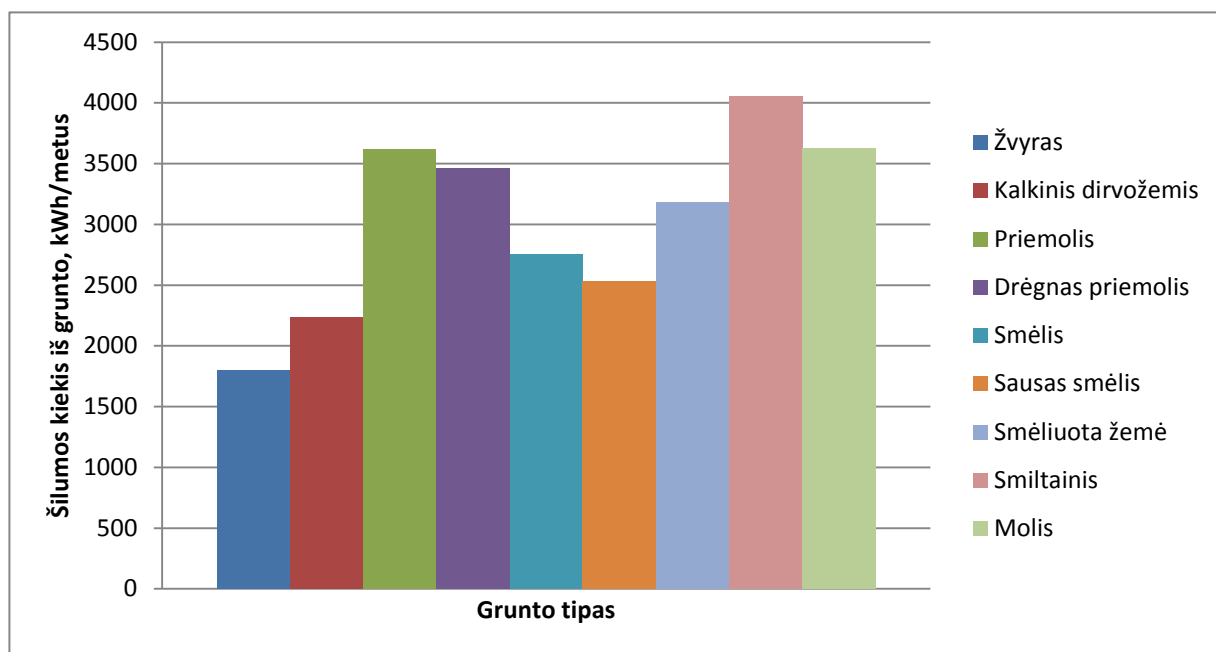
Ketvirtasis variantas	Pastato šilumos nuostoliai per atitvaras, kWh	Pastato šilumos nuostoliai dėl vėdinimo, kWh	Vidiniai pritėkiai, kWh	Saulės pritėkiai, kWh	Pritėkių panaudojimo faktorius	Energijos poreikis šildymui, kWh
Sausis	578	236	138	181	1	495
Vasaris	518	212	123	308	0,99	299
Kovas	483	198	129	437	0,93	115
Balandis	299	122	77	341	0,58	3
Gegužė	182	74	39	217	0,28	0
Birželis	83	34	18	99	0,14	0
Liepa	62	25	13	74	0,1	0
Rugpjūtis	81	33	20	94	0,14	0
Rugsėjis	163	67	51	179	0,38	0
Spalis	275	113	104	270	0,76	14
Lapkritis	401	164	133	181	1	251
Gruodis	519	212	138	121	1	472
Suma:	3644	1490	983	2502		1649

Taigi 3 lentelėje pateikti duomenys bus naudojami tolimesniuose skaičiavimuose. Ketinama analizuoti šilumos nuostolius dėl vėdinimo, nes mechaninio vėdinimo sistemoje ketinama analizuoti galimybę panaudoti grunto šilumą, pritaikius EHX šilumokaitį.

5.2. Gruntinis šilumokaitis šviežio oro pašildymui

Pirmasis pastatui taikomas energiją taupantis sprendimas yra gruntinis šilumokaitis (EHX), kuris naudojamas šviežio tiekiamo į pastatą oro pirminiam pašildymui (žr. 18 pav.). Šilumokaičio pritaikymo analizei naudojama ankščiau minėta kompiuterinė programa „GAEA“ [11].

5.2.1. Grunto rūšies įtaka gaunamos šilumos kiekiui



27 pav. Atgaunamas šilumos kiekis priklausomai nuo grunto rūšies

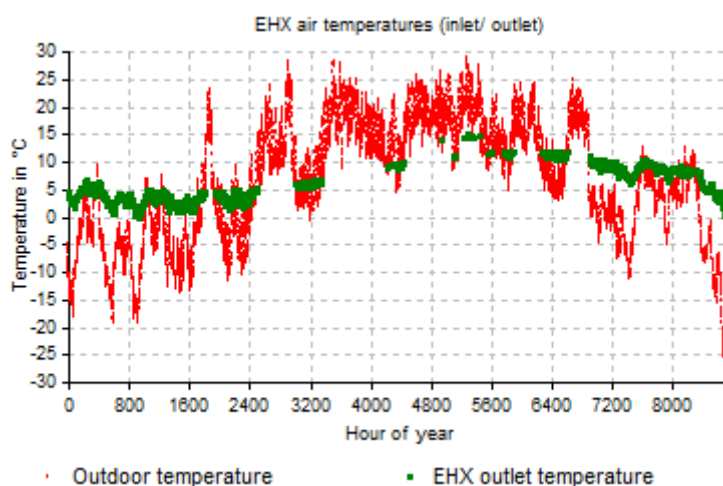
Pirmasis skaičiavimas atliktas norint parodyti, kokią didelę įtaką gali turėti grunto rūšis, gaunamam metiniam šilumos energijos kiekiui iš grunto. Aukščiau esančiame 27 paveiksle pateikti metiniai gaunamos energijos kiekiai, EHX sistemai esant skirtingo tipo grunte. Šiuose skaičiavimuose priimtas tiekiamo oro kiekis yra $300 \text{ m}^3/\text{h}$, taip pat visi skaičiuoti variantai yra toje pačioje klimatinėje zonoje, – Vilniuje. Rezultatai esantys 27 paveiksle vaizdžiai rodo, kad labiausiai netinkamas EHX įrengimui grunto savybės turi žvyras, kalkinis dirvožemis, smėlis ir sausas smėlis. Lengviausiai energija gali būti gaunama iš priemolio, drėgno priemolio, molio arba smiltainio akmens tipo grunto. Akivaizdu, kad gaunamam šilumos kiekiui didžiausią įtaką turi grunto drėgnumas, o tiksliau grunto šiluminis laidumas. Kuo grunto šiluminis laidumas didesnis, tuo geresnius rezultatus galime pasiekti naudojant EHX. Nes kaip žinia grunto savybės, gaunamos energijos kiekį gali įtakoti net beveik dvigubai.

5.2.2. EHX pritaikymas BD objektui

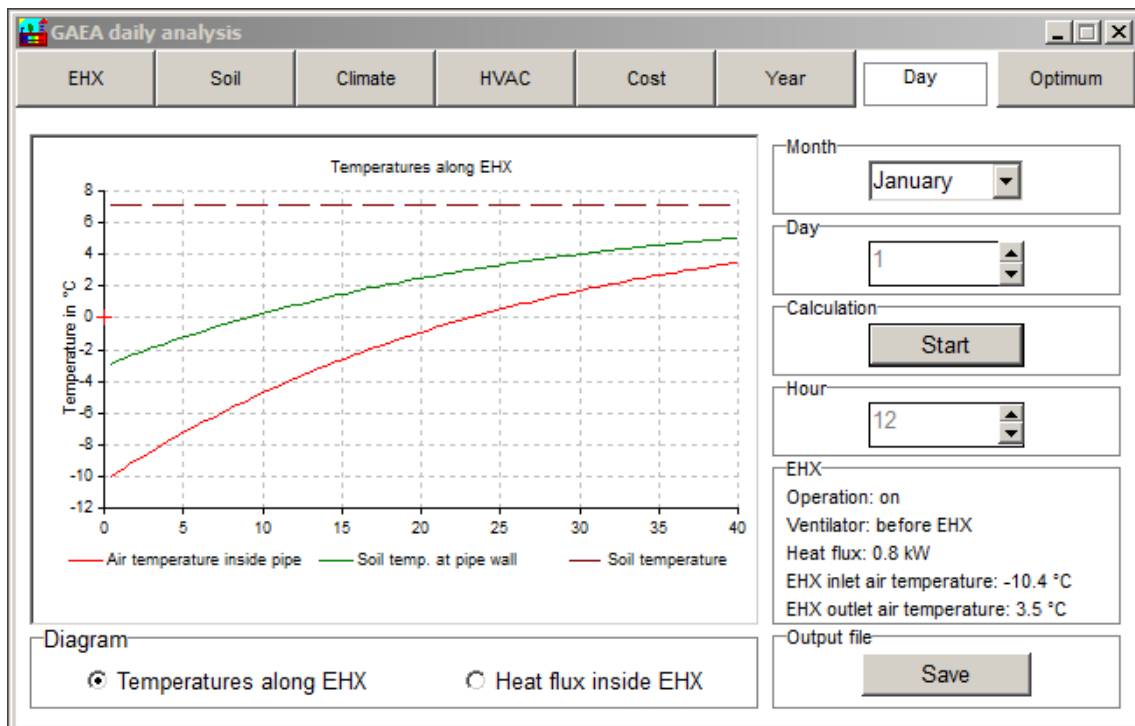
Baigiamajame darbe analizuojamo pastato šilumos poreikių sumažinimui, taikomas gruntinis šilumokaitis, kuris skaičiuojamas $150 \text{ m}^3/\text{h}$ šviežio į pastatą tiekiamo oro kiekiui. EHX funkcija yra atliekamas pirminis tiekiamo oro į pastatą pašildymas prieš AHU (žr. 18 pav.).

Naudojant „CASA nova“, suskaičiuotas pastato šilumos energijos poreikis, kuris bus naudojamas tolimesnėje analizėje. Pastate numatoma mechaninė vėdinimo sistema, kurios AHU įrenginyje instaliuoto šilumogrąžio sezoninis naudingumo koeficientas yra 0,7. Buvo suskaičiuota energijos poreikiai, esant skirtingoms mechaninio vėdinimo sistemos kombinacijoms. Vienas iš variantų, kada pastate nenaudojama jokių šilumos energijos taupymo priemonės vėdinimo sistemoje, t.y. nenaudojama EHX ir AHU šilumogrąžis. Šio varianto energijos poreikis naudojamas kaip orientyras, įvertinti šilumos atgavimo galimybes, kitose sistemose naudojant EHX ir AHU šilumogrąžį.

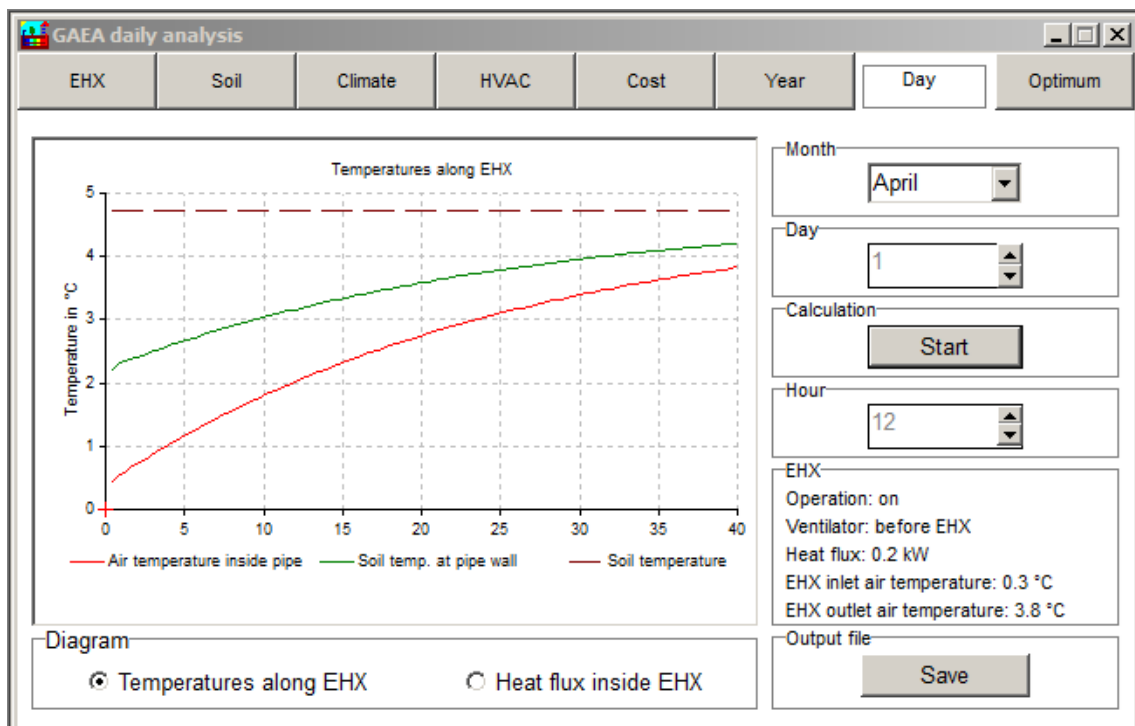
Atliekant gaunamos šilumos energijos iš grunto skaičiavimus, „GEAE“ programoje gaunama oro temperatūros, prieš ir po EHX, kurios naudojamos tolesniuose skaičiavimuose (žr. 28 pav.). Energijos metinis kiekis šviežio oro pašildymui, suskaidomas į tris dalis, tai – energijos kiekis gaunamas iš grunto naudojant EHX, energijos kiekis atgaunamas su AHU šilumogrąžiu iš šalinamo iš patalpos oro, ir energijos kiekis reikalingas galutinai pašildyti šviežią orą iki patalpos temperatūros, t.y – 20°C . Visų minėtų variantų suskaičiuoti energijos poreikiai pateikti 4 lentelėje. Kiekvieno vėdinimo sistemos varianto metiniai energijos poreikiai yra išskaidyti ir pavaizduoti grafiškai 31 paveiksle. Taip pat 29 ir 30 paveiksluose pavaizduota oro ir šilumokaičio vamzdžio temperatūrų kitimas išilgai EHX šilumokaitį.



28 pav. Šviežio oro temperatūra prieš ir po EHX



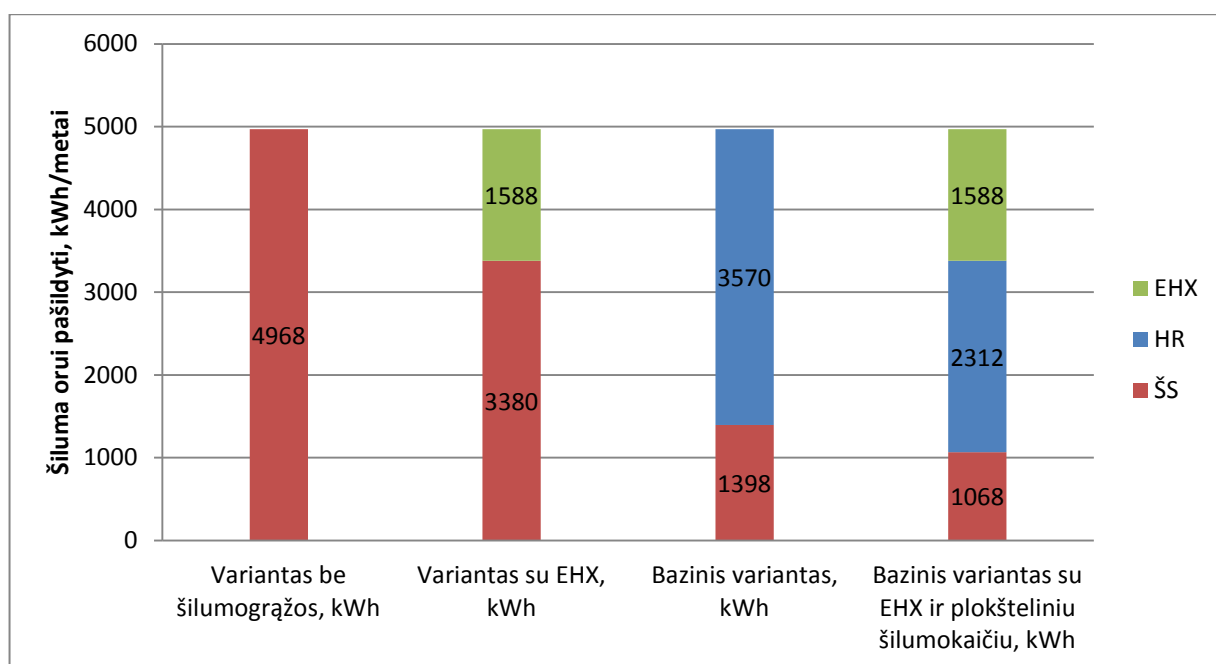
29 pav. Oro ir vamzdžio sienutės temperatūros išilgai EHX sausio 1 d.



30 pav. Oro ir vamzdžio sienutės temperatūros išilgai EHX balandžio 1 d.

4 lentelė. Vėdinimo sistemos en. poreikiai pritaikius skirtingas en. taupymo priemones

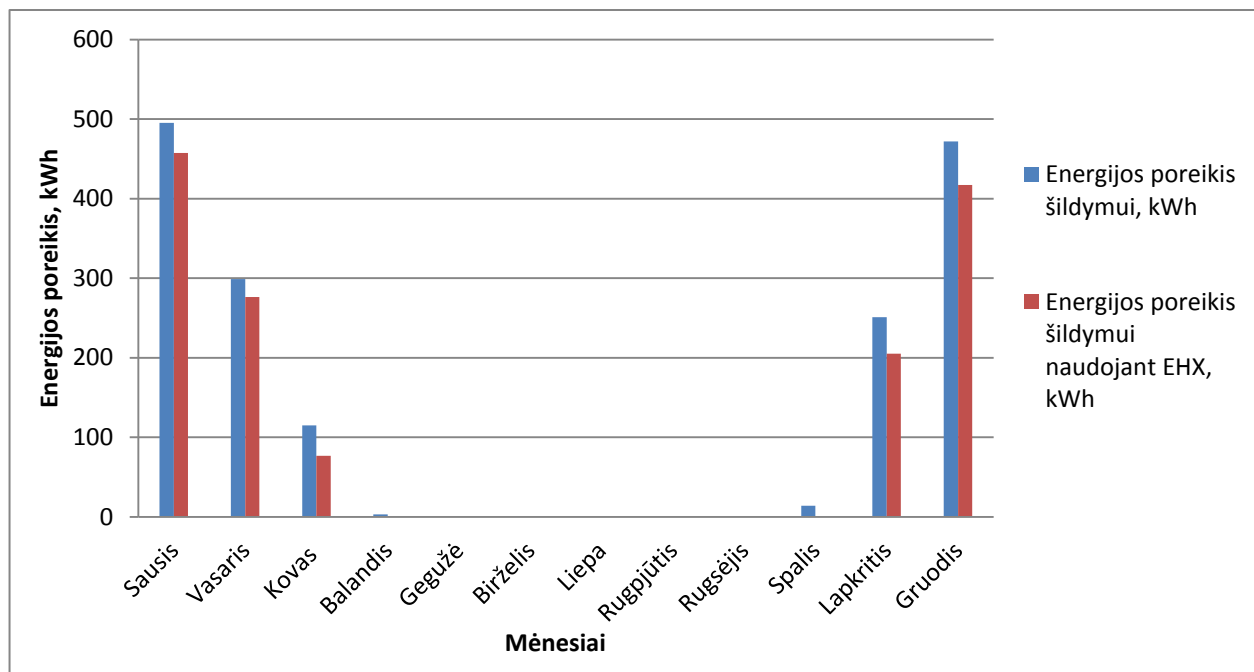
	Mėnesio dienų skaičius	Mėnesio valandų skaičius	Sistemos veikimo trukmė, h	Sistemos veikimo laikotarpio vidutinė išorės temperatūra, °C	Mėnesio vidutinė lauko temperatūra, °C	Tiekiamo oro temperatūra po EHx, °C	Tiekiamo oro temperatūra po AHU šilumogrąžio, °C	Šilumos en. kiekis gautas su EHx, kWh	Šilumos en. kiekis atgaunamas su AHU šilumogrąžiu, kWh	En. poreikis oro pašildymui naudojant EHx ir AHU šilumogrąžį , kWh	Šilumos en. poreikis be EHx ir AHU šilumogrąžio, kWh	Ketvirtinio varianto en. poreikis tik su AHU šilumogrąžiu, kWh
Sausis	31	744	744	-5,3	-5,3	3	14,7	310	438	198	946	236
Vasaris	28	672	672	-5,1	-5,1	2	14,4	240	419	189	848	212
Kovas	31	744	600	-3	-1,2	3	14,7	181	353	160	694	198
Balandis	30	720	336	-2	6,5	4	14,9	101	184	86	372	122
Gegužė	31	744	288	5	12	6	15,5	14	138	65	217	74
Birželis	30	720	0	0	16,2	0	0	0	0	0	0	0
Liepa	31	744	0	0	17,3	0	0	0	0	0	0	0
Rugpjūtis	31	744	0	0	16,5	0	0	0	0	0	0	0
Rugsėjis	30	720	192	8	12,6	11	17,1	29	59	28	116	67
Spalis	31	744	408	5	7,9	10	16,8	103	139	66	308	113
Lapkritis	30	720	672	1,8	1,8	9	16,5	243	253	118	615	164
Gruodis	31	744	744	-2,8	-2,8	7	15,8	367	329	157	853	212
	365	8760	4656					1588	2312	1068	4968	1398



31 pav. Vėdinimo sistemos variantų metiniai energijos poreikiai oro šildymui

5 lentelė. Ketvirtąjo varianto be ir su EH energijos poreikis pastato šildymui pamėnesiui

Ketvirtasis variantas	Pastato šilumos en. nuostoliai, kWh	Pastato vėdinimo šilumos nuostoliai, kWh	Pastato vėdinimo šilumos nuostoliai naudojant EH, kWh	Vidiniai pritekiai, kWh	Saulės pritekiai, kWh	Pritėkių panaudojimo faktorius	Energijos poreikis šildymui, kWh	Energijos poreikis šildymui naudojant EH, kWh
Sausis	578	236	198	138	181	1	495	457
Vasaris	518	212	189	123	308	0,99	299	276
Kovas	483	198	160	129	437	0,93	115	77
Balandis	299	122	86	77	341	0,58	3	0
Gegužė	182	74	65	39	217	0,28	0	0
Birželis	83	34	0	18	99	0,14	0	0
Liepa	62	25	0	13	74	0,1	0	0
Rugpjūtis	81	33	0	20	94	0,14	0	0
Rugsėjis	163	67	28	51	179	0,38	0	0
Spalis	275	113	66	104	270	0,76	14	0
Lapkritis	401	164	118	133	181	1	251	205
Gruodis	519	212	157	138	121	1	472	417
Suma:	3644	1490	1068	983	2502		1649	1433



32 pav. EHX sutaupomos energijos kiekis ketvirtajam variantui

Lentelėje 5 pateikta ketvirtojo pastato varianto energijos poreikis šildymui pamėnesiui, vėdinimo sistemoje naudojant ir nenaudojant EHX šilumokaitį. Lentelėje pateiktą energijos poreikį šildymui sudaro šilumos nuostoliai per atitvaras ir šilumos kiekis reikalingas oro pašildymui. Šių energijos poreikių skirtumas grafiškai pavaizduotas 32 paveiksle. Grafike matoma sutaupomos energijos kiekis, integruojant EHX į ketvirtojo pastato varianto vėdinimo sistemą, kuris sudaro apie 13 % metinio energijos poreikio pastato šildymui.

Į pastatą numatyta nuolatos tiekti $150 \text{ m}^3/\text{h}$ oro kiekį ištisus metus. Taigi kaip vienas iš energijos taupymo būdų, norint palyginti jo efektą su EHX naudojimu, buvo suskaičiuota energijos poreikis, numatant jog $150 \text{ m}^3/\text{h}$ oro kiekis nebus tiekiamas visada ištisus metus. Numatant, kad darbo dienomis pastate, nuo 9 val. iki 15 val. gyventojai bus išvykę (darbe, mokykloje, darželyje ir pan.), tiekiamo oro kiekis bus $50 \text{ m}^3/\text{h}$, visa kitą likusią paros dalį ir savaitgalius bus tiekiama $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Sudarius tokį grafiką vėdinimo sistemai, ketvirtojo pastato varianto metinį šilumos energijos poreikį galima sumažinti maždaug 8 %. Jei pastato ketvirtajam variantui pritaikoma EHX ir vėdinimo sistemos oro mažinimo grafikas, metinis pastato šilumos poreikis gali būti sumažinamas maždaug 19 %.

5.3. Nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis

Pastato metinis energijos poreikis karštam vandeniui ruošti pateiktas 6 lentelėje. Skaičiuoti dveji pastato energijos poreikių variantai, kada pastate nėra naudojama jokių šilumos atgavimo priemonių iš nuotekų, ir kada karšto vandens ruošimo ir nuotekų sistemoje įdiegiamas nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitis (trump. WWHR). Gauti rezultatai rodo, kad iš duše susidarančių nuotekų šilumos WWHR atgauna apie 47 % energijos. Šis dydis bendrame karšto vandens ruošimo sistemos energijos poreikio balanse sudaro 37 %. Rezultatai atrodo panašūs į gautuosius [25] publikacijoje, kuri buvo aptarta literatūros apžvalgoje. WWHR efektyvumas bendrame balanse pamažėja, nes šiluma atgaunama tik iš duše susidarančių nuotekų.

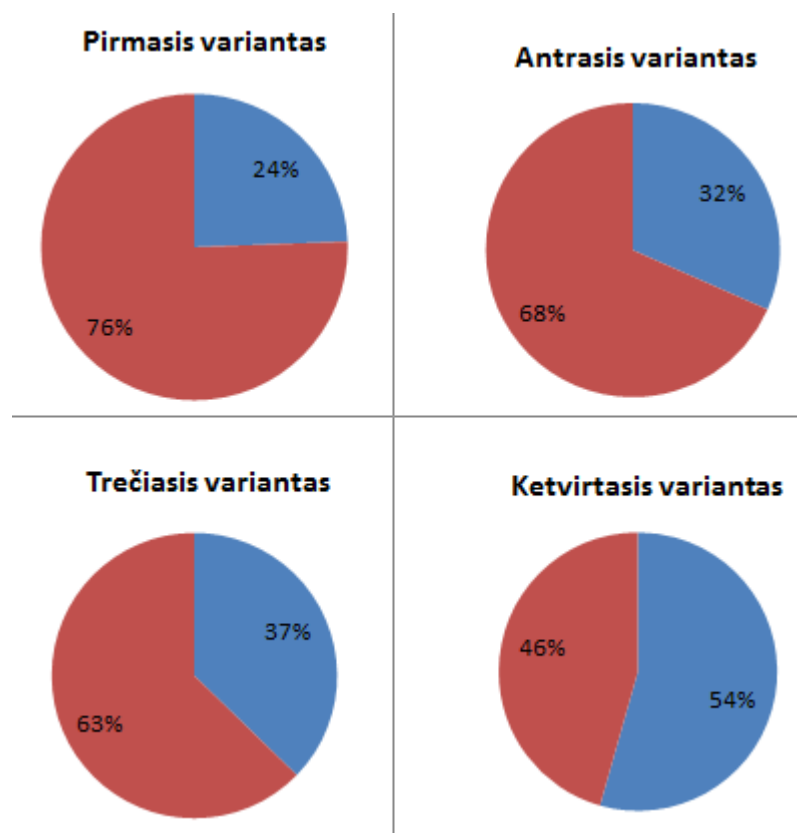
6 lentelė. Šilumos energijos poreikis karšto vandens ruošimui

	Mėnesio dienų skaičius	K.v. ruošimas		K.v. ruošimas naudojant WWHR		
		Energija k.v. ruošimui, kWh	En. dalis k.v. ruošimui duše, kWh	Energija k.v. ruošimui, kWh	En. dalis k.v. ruošimui duše, kWh	WWHR atgaunamos en. kiekis iš dušo nuotekų, kWh
Sausis	31	167	131	106	70	62
Vasaris	28	151	119	95	63	56
Kovas	31	167	131	106	70	62
Balandis	30	162	127	102	67	60
Gegužė	31	167	131	106	70	62
Birželis	30	162	127	102	67	60
Liepa	31	167	131	106	70	62
Rugpjūtis	31	167	131	106	70	62
Rugsėjis	30	162	127	102	67	60
Spalis	31	167	131	106	70	62
Lapkritis	30	162	127	102	67	60
Gruodis	31	167	131	106	70	62
	365	1967	1545	1243	821	724

7 lentelėje pateikti visų keturių pastato variantų energijos poreikiai šildymui ir karšto vandens ruošimui. Rezultatai rodo, kad gerėjant pastato atitvarų šiluminėms savybėms, šilumos poreikis šildymui mažėja, bet energijos poreikis karšto vandens ruošimui lieka toks pat, ir sudaro vis didesnę dalį bendrame pastato energijos balanse. Didėjantis energijos poreikis karšto vandens ruošimui, grafiškai pavaizduotas 33 paveiksle.

7 lentelė. Pastato variantų metiniai energijos poreikiai šildymui ir kv. ruošimui

	Pirmasis pastato variantas		Antrasis variantas		Trečiasis pastato variantas		Ketvirtasis pastato variantas	
	Energijos poreikis šildymui, kWh	Energijos poreikis šildymui ir k.v. ruošimui, kWh	Energijos poreikis šildymui, kWh	Energijos poreikis šildymui ir k.v. ruošimui, kWh	Energijos poreikis šildymui, kWh	Energijos poreikis šildymui ir k.v. ruošimui, kWh	Energijos poreikis šildymui, kWh	Energijos poreikis šildymui ir k.v. ruošimui, kWh
Sausis	1452	1619	1064	1231	859	1026	495	662
Vasaris	1093	1244	779	930	614	765	299	450
Kovas	768	935	513	680	379	546	115	282
Balandis	184	346	89	251	47	209	3	165
Gegužė	16	183	4	171	1	168	0	167
Birželis	1	163	0	162	0	162	0	162
Liepa	0	167	0	167	0	167	0	167
Rugpjūtis	1	168	0	167	0	167	0	167
Rugsėjis	37	199	12	174	4	166	0	162
Spalis	296	463	171	338	109	276	14	181
Lapkritis	891	1053	634	796	499	661	251	413
Gruodis	1349	1516	991	1158	801	968	472	639
	6088	8055	4257	6224	3313	5280	1649	3616

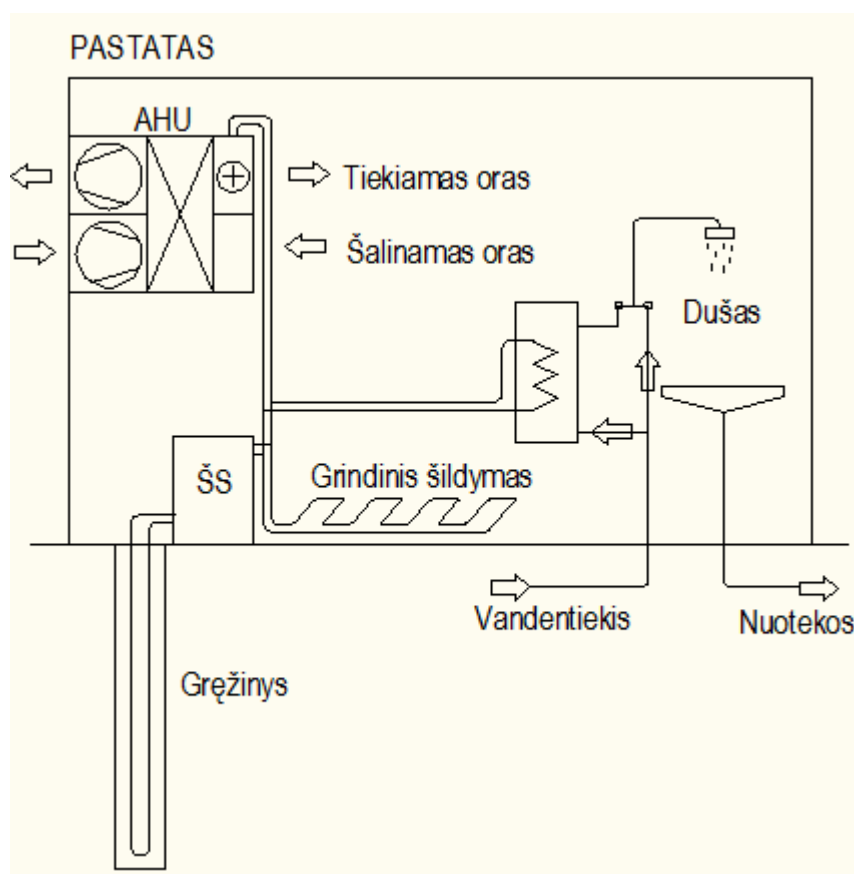


33 pav. Pastato variantų šilumos poreikio dalis tenkanti k. v. ruošimui (mėlyna spalva)

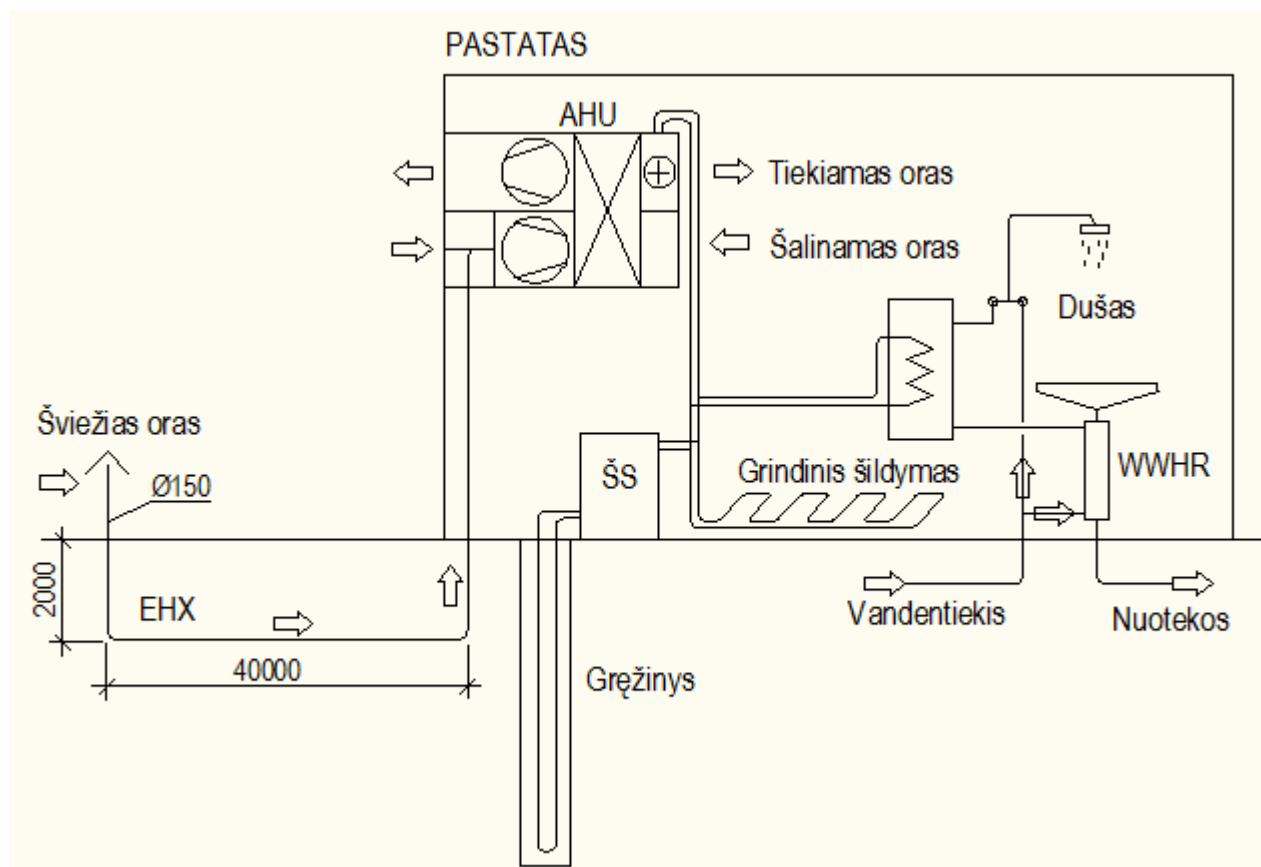
33 paveiksle matyti, kad šilumos energijos poreikis karštam vandeniui ruošti nesikeičia, nes tai priklauso tik nuo suvartojamo vandens kiekio, ir nepriklauso nuo pastato atitvarų šiluminių savybių. Siekiant suprojektuoti mažai energijos vartojantį pastatą svarbu ne tik dėmesį skirti geroms pastato atitvarų šiluminėms savybėms. Taigi rezultatai rodo, kad energijos poreikio k. v. ruošimui dalis bendrame pastato šilumos poreikio balanse gali svyruoti nuo 24 % iki 54 %.

5.4. Bendro pastato energijos balanso ir gręžinio grunte rezultatai

Baigiamajame darbe, norint sumažinti pastato metinį šilumos energijos poreikį, analizuojama galimybė panaudoti pastato atliekinę ir grunto šilumą. Ketvirtajam pastato variantui numatyta taikyti energiją tausoti padėsiančias technologijas bei gauti lyginamuosius rodiklius, parodančius pastate įdiegtų sistemų naudą. Šilumos ir vėsos generavimui pastate, numatytas šilumos siurblys, kuris veiks kartu su grunte įrengtu vertikaliu gręžiniu. Toliau esančiuose 34 ir 35 paveiksluose pavaizduota pastato inžinerinių sistemų principinės schemos, kuriose matyti šilumos siurblio, gręžiniu grunte ir energiją vartojančių inžinerinių sistemų sujungimas į vientisą sistemą.



34 pav. Pastato inžinerinių sistemų schema be energiją tausojančių sprendinių

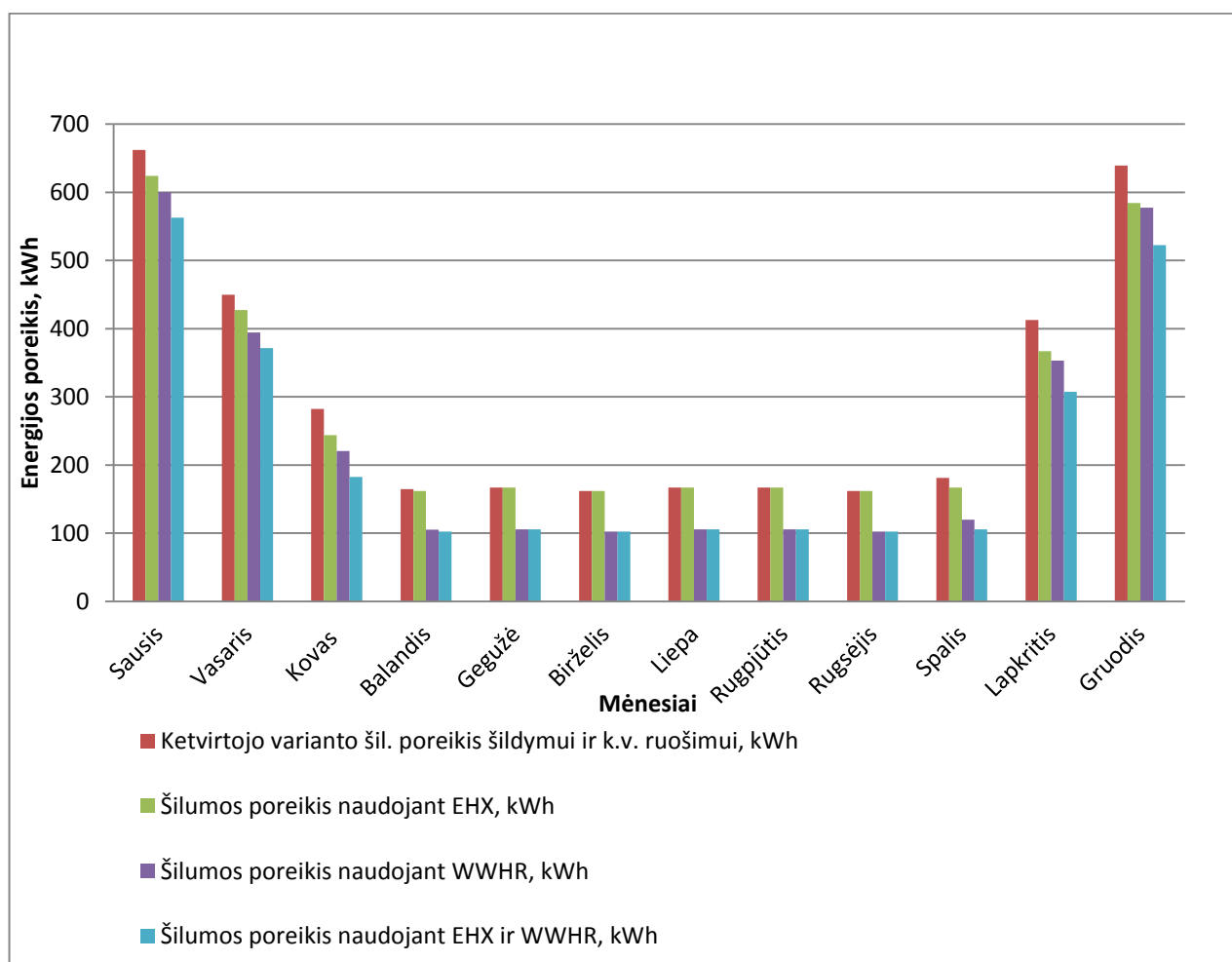


35 pav. Pastato inžinerinių sistemų su EHX ir WWHR sprendiniais schema

8 lentelė. EHX ir WWHR sprendinių įtaka ketvirtąjo pastato varianto en. poreikiams

	Ketvirtąjo varianto šild. poreikis, kWh	Ketvirtąjo varianto šild. poreikis naudojant EHX, kWh	Energijos k.v. ruošti poreikis, kWh	Energijos poreikis k.v. ruošti naudojant WWHR, kWh	Ketvirtąjo varianto šil. poreikis šildymui ir k.v. ruošimui, kWh	Šilumos poreikis naudojant EHX, kWh	Šilumos poreikis naudojant WWHR, kWh	Šilumos poreikis naudojant EHX ir WWHR, kWh	Vėsinimo poreikis, kWh
Sausis	495	457	167	106	662	624	601	563	0
Vasaris	299	276	151	95	450	427	394	372	0
Kovas	115	77	167	106	282	244	221	182	1
Balandis	3	0	162	102	165	162	105	102	35
Gegužė	0	0	167	106	167	167	106	106	193
Birželis	0	0	162	102	162	162	102	102	268
Liepa	0	0	167	106	167	167	106	106	310
Rugpjūtis	0	0	167	106	167	167	106	106	240
Rugsėjis	0	0	162	102	162	162	102	102	58
Spalis	14	0	167	106	181	167	120	106	44
Lapkritis	251	205	162	102	413	367	353	307	0
Gruodis	472	417	167	106	639	584	578	523	0
	1649	1433	1967	1243	3616	3400	2892	2676	1149

8 lentelėje pateikti ketvirtojo pastato varianto energijos poreikiai pamėnėsiui karštam vandeniui ruošti, pastatui šildyti ir vėsinti. Kartu pateikta energijos poreikiai, pastate pritaikius EHX ir WWHR. Pastato inžinerinių sistemų principinė schema, su pastatui pritaikytais EHX ir WWHR sprendiniais pateikta 35 paveiksle. Pritaikytų sprendinių nauda lyginama su ketvirtojo (t.y. turinčiu geriausias atitvarų šilumines savybes) pastato varianto energijos poreikiais. Taigi rezultatai rodo, kad pastate pritaikius EHX yra sutaupoma apie 6 % metinio šilumos energijos poreikio. Pritaikius WWHR, – apie 20 %. Jeigu pritaikoma EHX ir WWHR kartu, sutaupomos energijos kiekis išauga iki 26 % metinio šilumos energijos poreikio.



36 pav. Ketvirtojo pastato energijos poreikis šildymui ir vėsinimui taikant EHX ir WWHR

Ankščiau pateiktame 36 paveiksle grafiškai pavaizduota kiekvieno iš energijos taupymo sprendinių įtaka energijos poreikiams pamėnėsiui. Taigi žalios spalvos stulpeliai rodo pastato šilumos poreikį pastate įdiegus tik EHX šilumokaitį. Lyginant su ketvirtojo pastato varianto šilumos poreikiu (raudoni stulpeliai) matome, kad EHX daugiausiai šilumos sutaupo šaltojo metų periodo mėnesiais, kuomet yra didelis šildymo poreikis. Violetinės spalvos stulpeliai rodo energijos poreikį naudojant WWHR šilumokaitį. Šiuo atveju sutaupomos šilumos kiekis kiekvieną mėnesį yra vienodas, nes

karšto vandens vartojimas numatytas vienodas visų metų laikotarpyje. Grafike matomas šilumos energijos poreikis vasaros mėnesiais yra skirtas karšto vandens ruošimui.

Atlikus visų pastato variantų metinių energijos poreikių skaičiavimus, „EED“ programa buvo atlikti gręžinio grunte skaičiavimai. Svarbiausi gręžinio grunte skaičiavimo rezultatai, gręžinio gylis ir gręžinyje cirkuliuojančio šilumnešio mėnesio vidutinės temperatūros 30 metų laikotarpyje. Toliau esančiose 9, 10 ir 11 lentelėse, pateikta vidutinės šilumnešio temperatūros iš gręžinio pamėnesiui. Lentelėse pateikta suskaičiuotų gręžinių temperatūros šiems pastato variantams: pirmajam, ketvirtajam ir ketvirtajam su pritaikytais WWHR ir EHX sprendiniais.

9 lentelė. Pirmojo pastato varianto 117 m gręžinio šilumnešio temperatūros

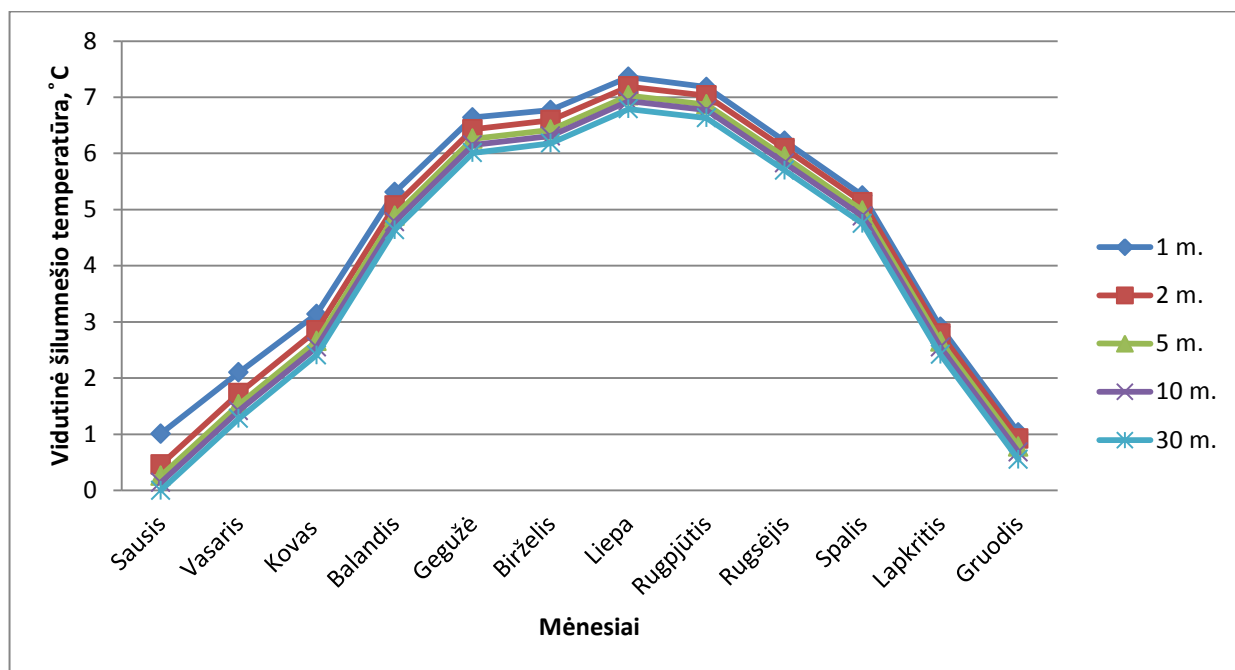
Pirmasis variantas					
Mėnesiai	Metai				
	1 m.	2 m.	5 m.	10 m.	30 m.
Sausis	1,01	0,46	0,26	0,14	0
Vasaris	2,1	1,73	1,53	1,42	1,28
Kovas	3,14	2,85	2,66	2,55	2,41
Balandis	5,31	5,07	4,89	4,78	4,64
Gegužė	6,64	6,43	6,26	6,15	6,01
Birželis	6,77	6,59	6,42	6,31	6,18
Liepa	7,36	7,19	7,03	6,93	6,79
Rugpjūtis	7,18	7,03	6,87	6,77	6,63
Rugsėjis	6,22	6,09	5,94	5,83	5,7
Spalis	5,25	5,13	4,98	4,88	4,75
Lapkritis	2,91	2,79	2,65	2,55	2,42
Gruodis	1,03	0,92	0,78	0,68	0,55

10 lentelė. Ketvirtojo pastato varianto 49 m gręžinio šilumnešio temperatūros

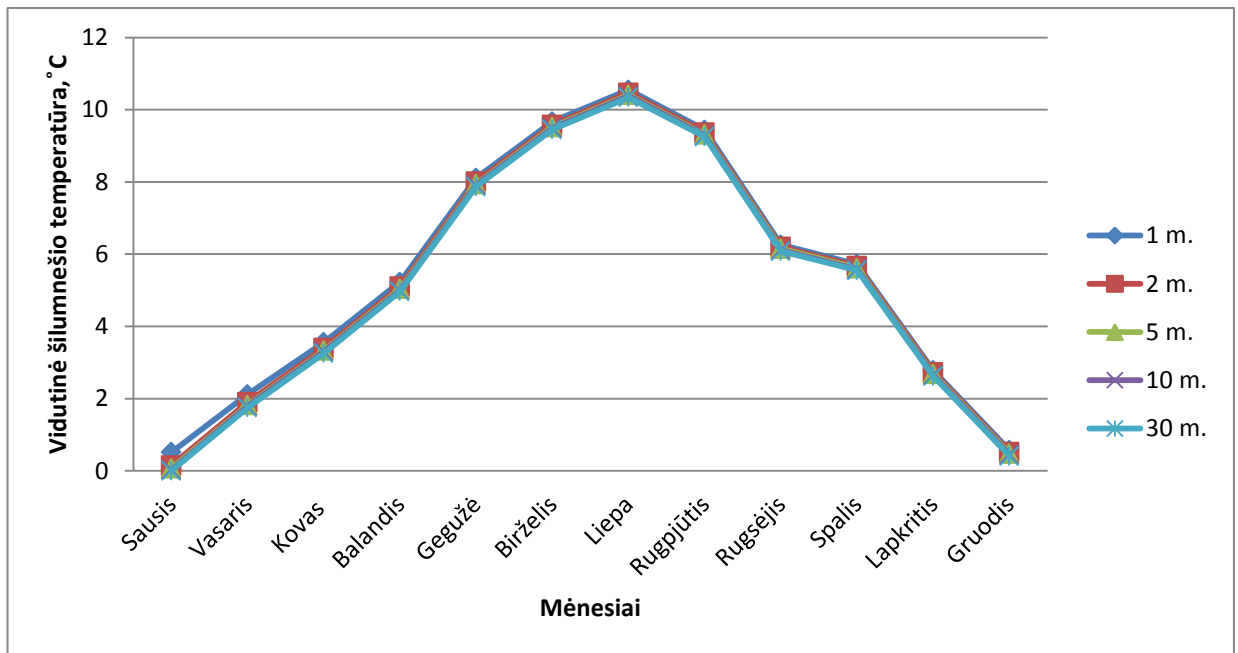
Ketvirtasis variantas					
Mėnesiai	Metai				
	1 m.	2 m.	5 m.	10 m.	30 m.
Sausis	0,52	0,15	0,07	0,03	0
Vasaris	2,12	1,9	1,82	1,79	1,75
Kovas	3,56	3,4	3,33	3,3	3,26
Balandis	5,23	5,1	5,04	5	4,97
Gegužė	8,11	8,01	7,94	7,91	7,87
Birželis	9,67	9,58	9,52	9,49	9,45
Liepa	10,55	10,47	10,41	10,38	10,34
Rugpjūtis	9,44	9,37	9,31	9,28	9,25
Rugsėjis	6,26	6,2	6,15	6,11	6,08
Spalis	5,72	5,67	5,61	5,58	5,55
Lapkritis	2,78	2,73	2,68	2,65	2,62
Gruodis	0,57	0,52	0,48	0,45	0,41

11 lentelė. Ketvirtąjo varianto 41 m gręžinio šilumnešio temp. naudojant EHX ir WWHR

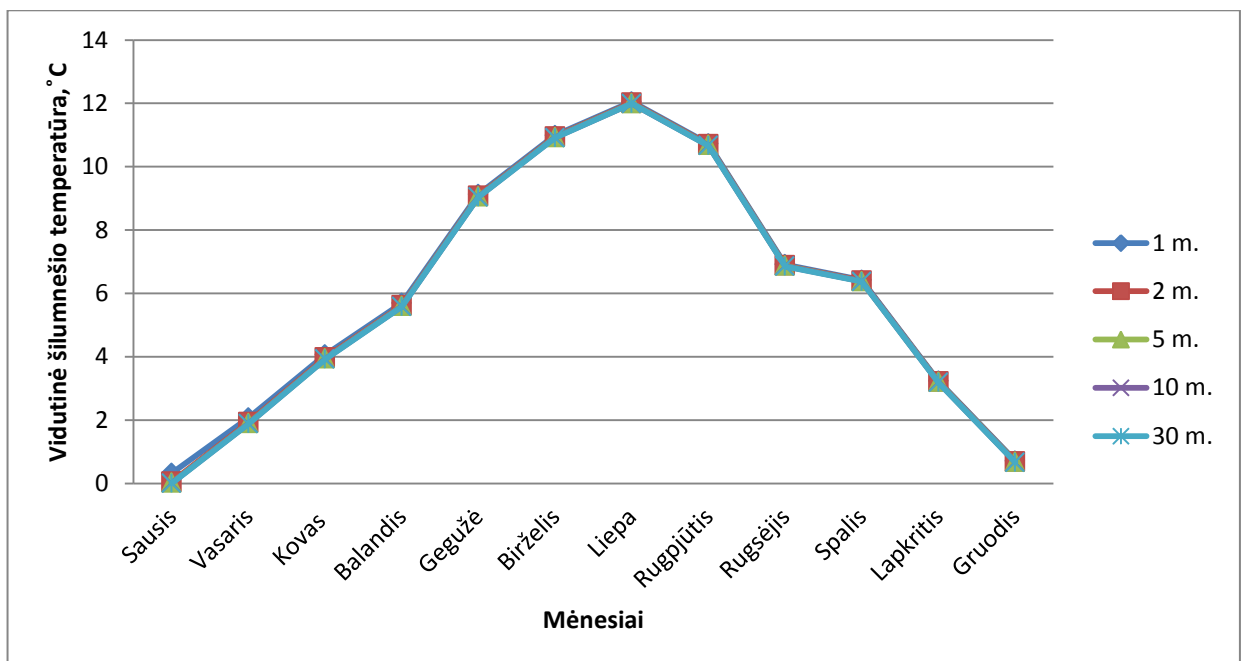
Ketvirtasis variantas + EHX + WWHR					
Mėnesiai	Metai				
	1 m.	2 m.	5 m.	10 m.	30 m.
Sausis	0,32	0,05	0,02	0,01	0
Vasaris	2,07	1,93	1,9	1,89	1,88
Kovas	4,06	3,97	3,94	3,93	3,92
Balandis	5,69	5,62	5,6	5,59	5,58
Gegužė	9,13	9,08	9,06	9,05	9,04
Birželis	10,99	10,95	10,93	10,92	10,91
Liepa	12,05	12,02	12	11,99	11,99
Rugpjūtis	10,73	10,7	10,68	10,67	10,66
Rugsėjis	6,91	6,88	6,87	6,86	6,85
Spalis	6,42	6,4	6,38	6,38	6,37
Lapkritis	3,23	3,21	3,2	3,19	3,18
Gruodis	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66



37 pav. Pirmojo pastato varianto 117 m gręžinio šilumnešio temperatūros



38 pav. Ketvirtąjo pastato varianto 49 m gręžinio šilumnešio temperatūros



39 pav. Ketvirtąjo varianto 41 m gręžinio šilumnešio temp. naudojant EHX ir WWHR

Ankščiau pateiktų 9, 10 ir 11 lentelių rezultatai yra grafiškai pavaizduoti 37, 38 ir 39 paveiksluose. Lyginant atskirų pastato variantų gręžinių duomenis pateiktus grafiškai, aiškiau matyti gręžinių veikimo ypatumai 30 metų laikotarpyje. Taigi lyginant pirmajam (žr. 37 pav.) ir ketvirtajam (žr. 38 pav.) pastato variantams suskaičiuotus gręžinių rezultatus, matyti, kad ketvirtąjo pastato varianto gręžinio temperatūros pakinta, kur kas mažiau, 30 metų laikotarpyje. Ketvirtąjo pastato varianto gręžinys atvėsta kur kas mažiau, nes šio pastato varianto energijos poreikis šildymui yra kur kas mažesnis, o poreikis vėsinimui, – didesnis. Tai reiškia, kad dalis žiemą iš gręžinio naudotos

šilumos, gali būti sugražinta vasarą vėsinant pastatą. Analizuojant ketvirtojo pastato varianto, kuriam pritaikyta WWHR ir EHX, gręžinio temperatūras (žr. 11 lentelė), pastebima, kad 30 metų laikotarpyje šilumnešio temperatūros gręžinyje išlieka dar mažiau pakitę, lyginant su ketvirtuoju variantu (žr. 38 ir 39 pav.), kuriam nepritaikyta WWHR ir EHX. Taip atsitinka dėl to, kad pastate pritaikius EHX ir WWHR sprendinius, sumažinamas energijos poreikis šildymui, o tai lemia sklandesnį gręžinio grunte veikimą visų metų laikotarpyje ir dar labiau galimą sumažinti gręžinio gylį.

Toliau 12 lentelėje, pateikti esminiai baigiamojo darbo rezultatai. Suskaičiuoti visų pastatų variantų, turinčių skirtingas atitvarų šilumines savybes, metiniai energijos poreikiai ir jiems daroma įtaka dėl diegiamų EHX ir WWHR energijos taupymo sprendinių. Taip pat 12 lentelėje pateikta kiekvienam pastato variantui suskaičiuoto gręžinio grunte gylis. Analizuojant rezultatus, matyti atitvarų šiluminių savybių gerinimo ir diegiamų energijos taupymo technologijų įtaka gręžinio gyliui.

12 lentelė. Pastato variantų atitvarų savybių ir taikomų sprendinių įtaka gręžinio gyliui

Variantai		Pirmasis	Antrasis	Trečiasis	Ketvirtasis	Ketvirtasis + EHX	Ketvirtasis + WWHR	Ketvirtasis + EHX + WWHR
Atitvarų šilumos laidumo koeficientai U, W/m ² K	Išorinė siena	0,22	0,18	0,15	0,11			
	Grindys ant grunto	0,24	0,22	0,17	0,14			
	Stogas	0,20	0,16	0,13	0,10			
	Langai ir durys	1,90	1,40	1,00	0,70			
Kiekvieno varianto en. poreikis, kWh	Šildymui	6088	4257	3313	1649	1433	1649	1433
	Vėsinimui	455	481	551	1149	1149	1149	1149
	K.v. ruošimui	1967	1967	1967	1967	1967	1243	1243
Vertikalaus gręžinio en. poreikiui padengti gylis, m		117	91	77	49	46	43	41
En. poreikis patalpų šildymui, kWh/m ² ×metus		76,1	53,2	41,4	20,61	17,91	20,61	17,91
En. poreikis šildymui ir kv. ruošimui, kWh/m ² ×metus		100,7	77,8	66,0	45,20	42,50	36,15	33,45
En. poreikis vėsinimui, kWh/m ² ×metus		5,7	6,0	6,9	14,4	14,4	14,4	14,4

12 lentelėje pateikti rezultatai rodo, kad pastato atitvarų šilumines savybes priartinus beveik iki pasyvaus namo rodiklių, pastato energijos poreikis šildymui sumažėja beveik keturis kartus, t.y. nuo 6008 kWh/metus iki 1649 kWh/metus bet užtat poreikis vėsinimui išauga maždaug 2,5 karto, t.y. nuo 455 kWh/metus iki 1149 kWh/metus. Lyginant pirmąjį ir ketvirtąjį pastato variantus matome, kad reikiamo šilumos siurbliui gręžinio grunte gylis sumažėjo daugiau nei dvigubai, nuo 117 m iki 49 m. Taip pat jeigu pastate įdiegiama EHX ir WWHR šilumokaičiai, gręžinio grunte gylis gali būti sumažinamas dar 8 metrais. O energijos kiekis karštam vandeniui ruošti ir patalpoms šildyti kvadratiniam pastato ploto vienetui sumažėja nuo 45,20 kWh/m² × metus iki 33,45 kWh/m² × metus.

6. EKONOMINIS VERTINIMAS

Baigiamajame darbe atlikta trumpa analizė, kurios tikslas įvertinti pastate taikomų energijos taupymo sprendinių ekonominę naudą. Svarbiausias skaičiavimų rezultatas yra sprendinių grynoji dabartinė vertė ir atsipirkimo laikotarpis. Skaičiuojant energijos kainą buvo priimta, kad elektros energijos kaina yra 0,474 Lt/kWh [18]. Šilumos energijos kaina yra 0,160 Lt/kWh, tai kaina suskaičiuota elektros kainą padalinus iš šilumos siurblio metinio naudingo veiksmo koeficiento (COP).

6.1. WWHR ekonominis vertinimas

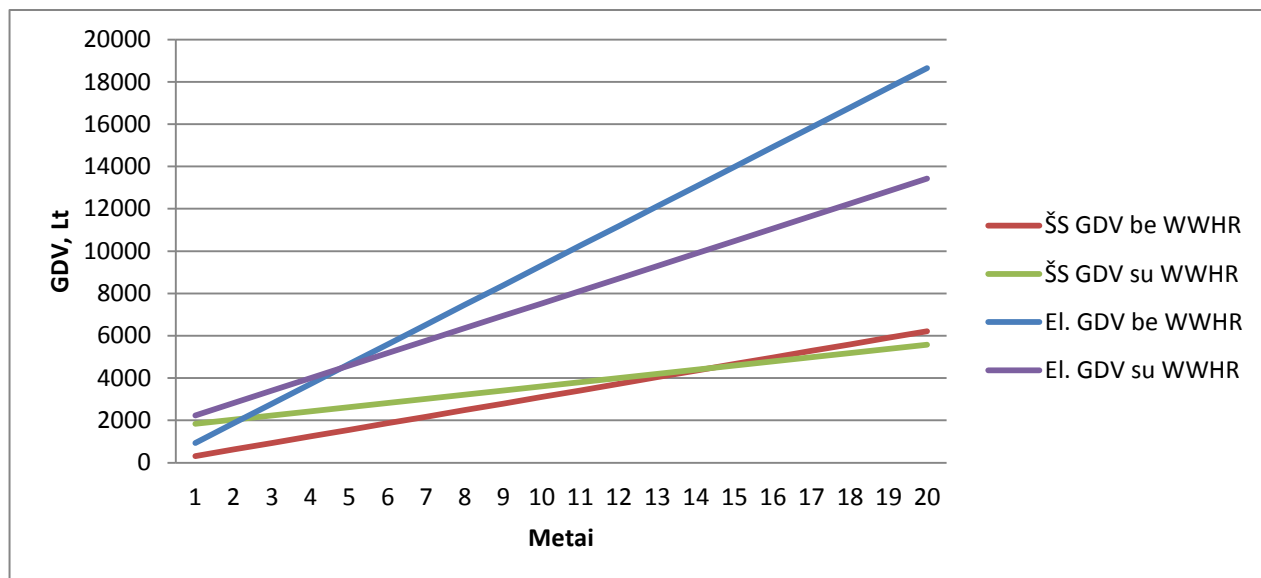
Analizuojant WWHR ekonominę naudą, tarpusavyje buvo vertinti du pastato karšto vandens ruošimo sistemų variantai:

- Standartinė sistema (žr. 34 pav.);
- Sistema su WWHR (žr. 35 pav.).

Toliau suskaičiuota metinės energijos išlaidos karšto vandens ruošimui, jeigu karštas vanduo ruošiamas šilumą pagaminant su šilumos siurbliu ir jeigu vanduo yra pašildomas naudojant elektros energiją. Skaičiuojant investicijos dydį į WWHR buvo vertinta šilumokaičio kaina 1623 Lt [19] ir šiluminės izoliacijos kaina apie 20 Lt. Skaičiavime naudoti duomenys pateikti toliau esančioje 13 lentelėje.

13 lentelė. WWHR duomenys ekonominiam vertinimui

Energijos poreikis k.v. ruošti, kWh/metus	
K.v. ruošimas be WWHR	1967
K.v. ruošimas su WWHR	1243
Energijos kaina, Lt/kWh	
El. energijos kaina	0,474
Šilumos kaina pagaminta su ŠS	0,16
Šilumos siurblio COP	3,0
Metinės išlaidos energijai, Lt/metus	
K.v. ruošimas ŠS be WWHR	311
K.v. ruošimas ŠS su WWHR	196
K.v. ruošimas El. be WWHR	933
K.v. ruošimas El. su WWHR	589
Investicija į WWHR sistemą, Lt	
WWHR šilumokaitis + izoliacija	1643



40 pav. WWHR GDV ir atsipirkimo laikotarpis

Atlikus skaičiavimus matyti (žr. 40 pav.), kad pastate, kuriame šiluma gaminama šilumos siurbliu, įdiegus WWHR, jo atsipirkimo laikotarpis yra apie 14,4 metai (žr. raudonos ir žalios kreivių susikirtimo tašką 40 pav.). Jeigu vertinama, kad pastate karštas vanduo ruošiamas naudojant elektros energiją, – atsipirkimo laikotarpis yra apie 4,8 metai (žr. mėlynos ir violetinės kreivių susikirtimo tašką 40 pav.).

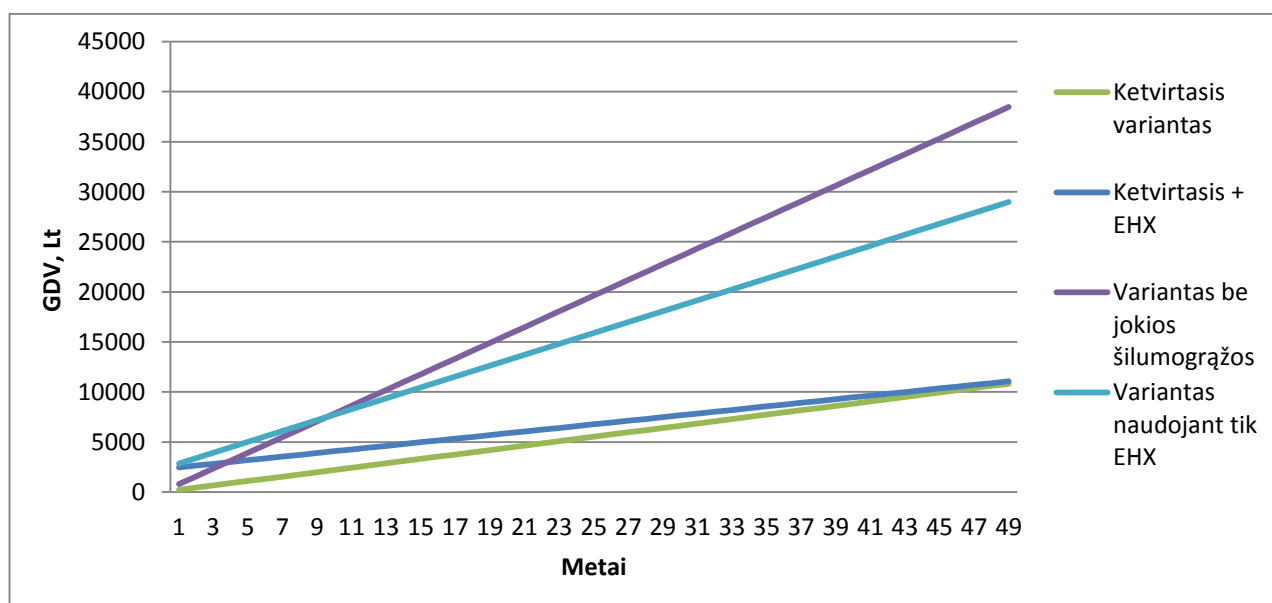
6.2. EHX ekonominis vertinimas

Analizuojant EHX ekonominę naudą, buvo atlikti du skaičiavimai. Vertinta ketvirtasis pastato variantas naudojantis (žr. 18 pav.) ir nenaudojantis EHX savo mechaninio vėdinimo sistemoje (žr. 17 pav.). Taip pat buvo vertinta pastato variantas, kuris visai nenaudoja jokių šilumos atgavimo priemonių vėdinimo sistemoje (žr. 15 pav.) su pastato variantu, kuris vėdinimo sistemoje kaip oro pašildymo įrenginį naudoja tik EHX (žr. 16 pav.). Taigi kiekvienam variantui yra suskaičiuota metinės išlaidos energijai. Vertinta, kad šiluma reikalinga oro pašildymui vėdinimo sistemoje gaminama šilumos siurbliu. Investicijos į EHX sistemą dydis siekia apie 2290 Lt. Taip pat numatyta, jog naudojant EHX, dėl atsiradusių papildomų slėgio nuostolių, padidėja oro tiekimo ventiliatoriaus galia ir elektros energijos sąnaudos. Apskaičiuota, kad išlaidos el. energijai vėdinimo sistemoje padidėja apie 10 Lt/metus. Šis dydis, kaip ir metinės išlaidos šilumos energijai, vertinamas skaičiuojant grynąją dabartinę vertę. (trump. GDV). Skaičiavimuose naudoti duomenys pateikti toliau esančioje 14 lentelėje.

Atlikus skaičiavimus matyti (žr. 41 pav.), kad ketvirtojo pastato varianto mechaninėje vėdinimo sistemoje pritaikius EHX, jo atsipirkimo laikotarpis – 54,8 metai (žr. tamsiai mėlynos ir žalios kreivių susikirtimo tašką 41 pav.).

14 lentelė. EHX duomenys ekonominiam vertinimui

Energijos poreikis vėdinimui, kWh/metus	
Ketvirtasis variantas	1398
Ketvirtasis + EHX	1068
Be jokios šilumogrąžos	4968
Tik su EHX	3380
Energijos kaina, Lt/kWh	
Šilumos kaina pagaminta su ŠS	0,16
Šilumos siurblio COP	3,0
En. išlaidos vėdinimui, Lt/metus	
Ketvirtasis variantas	221
Ketvirtasis + EHX	10
	169
Variantas be jokios šilumogrąžos	785
Variantas naudojant tik EHX	10
	534
Investicija į EHX sistemą	
Vamzdis viso 40 m	1500
Alkūnės 90°	240
Oro ėmimo kaminėlis	25
Trapas su sifonu	25
Kasimo darbai	500
Investicijos suma:	2290



41 pav. EHX GDV ir atsipirkimo laikotarpis

Pastato variantui, kuris nenaudoja jokių šilumos tausojimo priemonių vėdinimo sistemoje, pritaikius EHX atsipirkimo laikotarpis – 9,5 metai (žr. šviesiai mėlynos ir violetinės kreivių susikirtimo tašką 41 pav.).

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Baigiamajame darbe atlikta pastato metinių energijos poreikių ir energiją taupančių sprendinių pritaikymo atvejo analizė parodė:

1. Didinant pastato atitvarų šiluminę varžą, mažėja šilumos energijos poreikis šildymui, bet didėja poreikis vėsinimui. Taip atsitinka todėl, kad pastatas tampa jautresnis vidiniams ir saulės šilumos pritekėjimams, ypač pereinamuoju metų laikotarpiu. Tokiu atveju mažėja galimybė išnaudoti saulės šilumos pritekėjimus į patalpą.
2. Lyginant pirmąjį ir ketvirtąjį pastato variantus, poreikis patalpų šildymui sumažinamas nuo $76,1 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$ iki $20,6 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$, bet vėsinimo poreikis išauga nuo $5,70 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$ iki $14,40 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$. Tokie rezultatai verčia manyti, kad mažaaenergiuose pastatuose gali būti racionaliai išnaudotas šilumos siurblys su vertikaliu gręžiniu grunte, nes žiemos metu išsiurbta šiluma iš gręžinio gali būti į jį sugrąžinta vasarą. Tai puikiai matyti atliktuose gręžinių šilumnešio temperatūros skaičiavimuose, 30 metų bėgyje. Grafikuose matyti, jog lyginant pirmąjį su ketvirtuoju pastato variantus, ketvirto pastato varianto gręžinio šilumnešio temperatūros tampa kur kas stabilesnės, o ketvirtajam pastato variantui pritaikius WWHR ir EHX, šilumnešio temperatūros gręžinyje, beveik nekinta 30 metų laikotarpyje.
3. Kiekvienam pastato variantui buvo suskaičiuota reikiamo gręžinio grunte parametrai ir reikiamas ilgis. Lyginant pirmąjį ir ketvirtąjį pastato variantus, gręžinio grunte ilgis buvo sumažintas nuo 117 m iki 49 m, o pastatui dar pritaikius WWHR ir EHX gręžinys sumažėjo 8 m, t. y. iki 41 m ilgio.
4. Pagerinus atitvarų šilumines savybes, energijos poreikis karštam vandeniui ruošti ir šviežio oro pašildymui išlieka toks pat, nes jis praktiškai priklauso tik nuo pastato gyventojų. Baigiamajame darbe gauti rezultatai rodo, kad mažaaenergių pastato šilumos energijos metiniame poreikių balanse, energija reikalinga karšto vandens ruošimui gali sudaryti net 54 %. Taigi, projektuojant mažaaenergius pastatus, derėtų atkreipti dėmesį, jog šioje vietoje slypi didelis energijos atgavimo ir taupymo potencialas.
5. Ketvirtajam pastato variantui, tik dušo sistemai, pritaikius nuotekų šilumos atgavimo šilumokaitį WWHR, galima atgauti apie 37 % metinio šilumos energijos poreikio karštam vandeniui ruošti. Šis sutaupomos energijos kiekis, ketvirtojo pastato varianto metiniame šilumos poreikyje sudaro apie 20 % ir padeda sumažinti energijos poreikį nuo $45,20 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$ iki $36,15 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$. Mechaninio vėdinimo sistemoje pritaikant grąntinį šilumokaitį EHX, galima sutaupyti apie 6 % pastato metinio šilumos energijos poreikio, šis dydis sudaro poreikio sumažėjimą nuo $45,20 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$ iki $42,50 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$.

Pastate numatant įrengti WWHR ir EHX kartu, šilumos energijos poreikis sumažėja 26 %, iki $33,45 \text{ kWh/m}^2 \times \text{metus}$.

6. Ekonominiame vertinime gauti rezultatai rodo, kad ketvirtajam pastato variantui pritaikius WWHR šilumokaitį, jo atsipirkimo laikas – apie 14 m., su sąlyga jei k. v. ruošiamas naudojant šilumą pagamintą šilumos siurbliu, bet jeigu k. v. šildytuvas elektrinis, tai WWHR atsipirkimo laikotarpis – 5 m.
7. Atliekant EHX ekonominį vertinimą, kartu įvertintas ir metinis elektros sąnaudų padidėjimas dėl papildomų aerodinaminių nuostolių vėdinimo sistemoje. Analizuojant atvejį, jog EHX diegiamas ketvirtajam pastato variantui, kuris turi įprastinę mechaninę vėdinimo sistemą su plokšteline šilumogražiu, atsipirkimo laikotarpis gautas net 55 m. Tačiau, jeigu pastate nėra jokių šilumos atgavimo priemonių, jam pritaikius EHX, investicijos atsipirkimo laikotarpis yra apie 9,5 m.
8. Gruntinio šilumokaičio (EHX) pritaikymas mažaenergiame pastate galėtų būti naudingesnis, jei tiekiamo oro kiekis į pastatą būtų didesnis. Tokiu atveju energijos poreikis orui pašildyti sudarytų didesnę dalį bendrajame metiniame šilumos energijos balanse. Taip pat derėtų geriau paanalizuoti atvejį, pastate įvedant vėdinimo režimą, kuomet $150 \text{ m}^3/\text{h}$ oro kiekis į pastatą tiekiamas ne visuomet. Ketvirtajam pastato variantui suskaičiavus atvejį, kada penkias dienas per savaitę, 6 valandas per dieną, tiekiamo oro kiekis sumažinamas iki $50 \text{ m}^3/\text{h}$, gauti rezultatai rodo, kad metinis šilumos energijos poreikis (bendras šildymui ir k. v. ruošimui) sumažėja apie 3,5 %.
9. Tolimesnėse studijose būtų racionalu įvertinti galimybę panaudoti saulės kolektorius karšto vandens ruošimui [25], bet tai turėtų būti daroma tik po to, kada jau įvertinta galimybė vartoti mažiau energijos karšto vandens ruošimui, kas ir analizuojama šiame baigiamajame darbe. Taip pat diegiant WWHR sistemą pastate, iš anksto derėtų numatyti, kad šilumokaitį privaloma montuoti vertikaliai ir tam dažniausiai reikalingas rūsys. Toki niuansai būtinai turi būti derinami su architektais ir konstruktoriais dar priešprojektinėje stadijoje.
10. Baigiamajame darbe atlikus energiją taupančių sprendinių pritaikymo analizę, tarpusavyje lyginant EHX ir WWHR šilumokaičius, galima teigti, kad norint sutaupyti santykinai didelį kiekį energijos, nenaudojant papildomų energijos generavimo būdų, WWHR sprendinys yra kur kas patrauklesnis. Nes investicija į WWHR sistemą lyginant su EHX, kur kas mažesnė, ir šilumokaičio įrengimas paprastesnis be to šilumos atgavimo iš nuotekų potencialas mažaenergiame pastate – stebėtinai didelis.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Europos parlamento ir tarybos direktyva 2012/27/ES „Dėl energijos vartojimo efektyvumo“, kuria iš dalies keičiamos direktyvos 2009/125/ES ir 2010/30/ES bei kuria panaikinamos direktyvos 2004/8/EB ir 2006/32/EB 2012 m. spalio 25 d. 56 p.
2. Pahud, D.; Belliardi, M.; Caputo, P.; 2012. Geocooling potential of borehole heat exchangers systems applied to low energy Office buildings, *Renewable energy* 45: 197–204.
3. Baek, N.C.; Shin, U.C.; Yoon J.H.; 2004. A study on the design and analysis of a heat pump heating system using wastewater as a heat source, iš *Solar Energy* 78:427-440.
4. Meggers, F.; Leibundgut, H.; 2010. The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump, iš *Energy and Buildings* 41:879-886.
5. BS EN 832:2000 Thermal performance of buildings. Calculation of energy use for heating. Residential buildings. Brussels, 1999. 36 p.
6. Karlsson, F; Axell, M; Fahlen, P;. 2003. Heat Pump Systems in Sweden – Country Report for IEA HPP Annex 28. Boras, 29p.
7. „Pro-vent“ gruntinis šilumokaitis. Žiūrėta 2013-05-07. Interneto prieiga: <http://www.wymiennikgruntowy.pl/budowa-wymiennika,en,0.html>
8. Cremers, B.; Long term monitoring of residential heat recovery ventilation with ground heat exchanger. Nederland (PZW).
9. Šilumos atgavimo iš nuotekų šilumokaičiai. Žiūrėta 2013-05-18. <http://www.hei-tech.nl/en/recoh-vert.html>
10. Hayton, J.; 2012 October. Waste Water Heat Recovery Systems (Instantaneous Shower): Method statement for recognition in SAP, 3-6.
11. „CASAnova“ ir „GAEA“ skaičiavimo programų oficiali internetinė svetainė. Žiūrėta 2013-09-10. Interneto prieiga: <http://nesa1.uni-siegen.de/>
12. „EED“ skaičiavimo programos oficiali internetinė svetainė. Žiūrėta 2013-09-10. Interneto prieiga: <http://www.buildingphysics.com/index-filer/Page1099.htm>
13. WWHR šilumokaičio oficiali internetinė svetainė. Žiūrėta 2013-10-20. Interneto prieiga: <http://powerpipehr.com/>
14. „Heatex“ šilumogražių parinkimo internetinė svetainė. Žiūrėta 2013-11-05. Interneto prieiga: <http://heatexselect.heatex.com/>
15. GIESELER, U.D.J.; BIER, W.; HEIDT, F.D.; Cost efficiency of ventilation systems for low-energy buildings with earth-to-air heat exchanger and heat recovery. Siegen, Germany. Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Toulouse (2002).

16. Drain water heat recovery systems. Žiūrėta 2013-11-05. Interneto prieiga:
http://www.resnet.us/uploads/documents/conference/2012/pdfs/Buchalter-Drain_Water_Heat_Recovery_Systems.pdf
17. STR 2.09.02:2005 Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas. Vilnius, 2005. 56 p.
18. „lesto“ oficiali internetinė svetainė. Žiūrėta 2013-11-05. Interneto prieiga:
<http://www.lesto.lt/lt/privatiems/elektros-energijos-kainos-ir-tarifu-planai/visuomenines-elektros-energijos-kainos-2014.html>
19. „Homedepot“ internetinė parduotuvė parduodanti WWHR šilumokaitį. Žiūrėta 2013-03-05. Interneto prieiga: <http://www.homedepot.com/p/Power-Pipe-3-in-x-48-in-Drain-Water-Heat-Recovery-Unit-R3-48/203456041#specifications>
20. UAB „AF – TERMA“. Studijos ataskaita. „Požeminės šiluminės energijos panaudojimo pastatų šildymui ir vėsinimui šalyje galimybių įvertinimas ir rekomendacijų dėl šios energijos panaudojimo minėtiems tikslams parengimas“. Žiūrėta 2014-04-05. Interneto prieiga:
http://www.ena.lt/Ataskaitos/Geoterm_energ.pdf
21. Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas. 2011 m. Gegužės 12 d. Nr. XI-1375, Vilnius.
22. Lietuvos nacionalinė energetikos strategija. 2007 m. sausio 18 d. Nr. X-1046. Vilnius
23. Saulius Šliaupa „Geoterminė energetika Lietuvoje: dabartis ir perspektyvos“. Žiūrėta 2013-03-05. Interneto prieiga:
http://www.geotermijosasociacija.lt/dokumentai/014_Mokslas_ir_gyvenimas.pdf
24. Calculation tool for earth heat exchangers „GAEA“. Žiūrėta 2014-03-05. Interneto prieiga:
http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS1997%5CBS97_P008.pdf
25. „On the combine effect of wastewater heat recovery and solar domestic hot water heating“ iš Canadian Solar Buildings Conference, Montreal. Žiūrėta 2014-05-05. Interneto prieiga:
http://sbrn.solarbuildings.ca/c/sbn/file_db/Doc_File_e/On%20the%20combined%20effect%20of%20wastewater%20heat.pdf
26. Water Environment Federation Position Statement. „Renewable Energy Generation From Wastewater“. Priimta 2011 Spalio 14 d.
27. Wolfgang Ringer, „Heating and Ventilation Systems in Low Energy and Passive Houses in Europe“, 2011 m. rugpjūtis, Austrija. Žiūrėta 2014-05-10. Interneto prieiga:
<http://web.jrc.ec.europa.eu/radpar/>
28. Programa gruntinio šilumokaičio skaičiavimams „PHluft“. Žiūrėta 2013-10-05. Interneto prieiga: http://www.passiv.de/old/07_eng/04_pub/Literatur/PHLuft/PHL_F.htm

29. Pastato energijos poreikių ir balanso modeliavimo programa „DesignBuilder“. Žiūrėta 2013-04-05. Interneto prieiga: <http://www.designbuilder.co.uk/>
30. Pasyvių namų projektavimo ir modeliavimo programa „PHPP“. Žiūrėta 2013-04-15. Interneto prieiga: http://www.passiv.de/en/04_phpp/04_phpp.htm
31. Schmid, F.; 2013 „Sewage water: Interesting heat source for heat pumps and chillers“, SwissEnergy Agency for Infrastructure Plants, Zurich, Switzerland.