



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Jalmar Hövel

**ERAMU ENERGIASÄÄSTLIKU KÜTTESÜSTEEMI
LAHENDUS
ECONOMICAL SOLUTION FOR A PRIVATE HOUSE
HEATING SYSTEM**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: dotsent Toivo Kabanen, PhD

Tartu 2021

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Jalmar Hövel		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Eramu energiasäästliku küttesüsteemi lahendus			
Lehekülgi: 37	Jooniseid: 10	Tabeleid: 9	Lisaid: 3
<p>Osakond/ Õppetool: Energiakasutuse õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17.</p> <p>Energeetikaalased uuringud; T140 Energeetika.</p> <p>Juhendaja(d): Toivo Kabanen</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Eesti Maaülikool, 2021</p>			
<p>Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada, millised on parem võimalikud kütteleahendused asendamaks hetkelist eramu keskkütte katelt. Vajadus selleks on järjest enam suund väiksema keskkonna jalajälje suunas. Selleks on autor valinud sobiva hoone ning teostanud vajalikud mõõdistused kasutades etteantud BV2 programmi. Katla uurimiseks kasutati Testo suitsugaasi analüsaatorit.</p> <p>Vastavalt leitud väärtustele valis autor kaks keskkonna säästlikuma lahendust, milleks oli õhk-vesi- ja maasoojuspump. Kahe pumba ja katla võrdlustest selgus asjaolu, et kuigi tootja lubab kütta kogu meie kliimas lubatud temperatuuride puhul siis mõistlik oleks toetada tahkekütusega. Samuti selgus asjaolu, et kuigi tasuvusaeg on küllaltki pikk siis suuremalt jaolt toob see kaasa mugavushinna. Tööd saab kasutada reaalse projektina kirjeldatud eramus ning autor valiks õhk-vesi soojuspumba. Valikuks osutus seetõttu kuna tasuvusaeg on mõistliku suurusega.</p>			
Märksõnad: Maasoojuspump, õhk-vesi soojuspump, keskküttekatel, soojusanalüüs			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Jalmar Hövel		Curriculum: Engineering	
Title: Economical Solution for a Private House Heating System			
Pages: 37	Figures: 10	Tables: 9	Appendixes: 3
<p>Department / Chair: Chair of Energy Engineering</p> <p>Field of research and (CERC S) code: Natural Sciences and Engineering; 4.17. Energetic Research; T140 Energy research</p> <p>Supervisors: Toivo Kabanen</p> <p>Place and date: Estonian University of Life Sciences, 2021</p>			
<p>The aim of this work is to find out what are the best possible heating solutions to replace the current central heating boiler of a private house. The need for this is increasingly moving towards a smaller environmental footprint. For this purpose, the author has selected a suitable building and performed the necessary surveys using the given BV2 program. A Testo flue gas analyser was used to examine the boiler.</p> <p>According to the values found, the author chose two more environmentally friendly solutions, which were an air-to-water and a ground source heat pump. Comparisons between the two pumps and the boiler show that although the manufacturer promises to heat at all the temperatures allowed in our climate, it would be sensible to support it with solid fuel. It was also revealed that although the payback period is quite long, for the most part it leads to a convenience price. The work can be used in a private house described in the real project and the author would choose an air-water heat pump. The choice was made because the payback period is reasonable.</p>			
Keywords: Ground source heat pump, air-to-water heat pump, central heating boiler, heat analysis			

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS	6
1. ERAMU KIRJELDUS	7
1.1. Ehituslik lahendus	8
1.2. Eramu soojustus ja siseviimistlus.....	8
1.3. Küte ja ventilatsioon.....	8
2. SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE	9
2.1. Arvutamise meetodid	9
2.2. Lähteandmed	10
2.3. BV2 programmi arvutused	11
2.4. Soojuserikadude summa.....	15
3. KÜTTESÜSTEEM	17
3.1. Küttesüsteemi iseloomustus	17
3.2. Küttesüsteemi parameetrid	17
4. VÕIMALIKUD LAHENDUSED.....	20
4.1. Päkeseenergia kasutamine soojuspumba tööpõhimõttes.....	20
4.2. Õhk – vesi soojuspump	21
4.2.1. Atlantic Alfea Excellia A.I. TRI 11 + COZYTOUCH	23
4.3. Maasoojuspump.....	23
4.3.1. NIBE F1155-12.....	26
5. ANALÜÜS	27
KOKKUVÕTE	30
SUMMARY	31
KASUTATUD KIRJANDUS	32
LISAD	34
Lisa 1. Atlantic/Alfea Excellia A.I. tri 11 tehnilised andmed.....	35
Lisa 2. Nibe F1155-12 tehnilised andmed	36
Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	37

TÄHISED JA LÜHENDID

$\phi_{T,i}$ – on köetud ruumi (i) arvutuslik ülekande soojuskadu, W;

$\phi_{T,ix}$ – on köetud ruumi (i) arvutuslik ülekande soojuskadu teise ruumi, W;

$H_{T,ie}$ – soojuskadu köetavast ruumist (i) otse välja (e), $\frac{W}{K}$;

$H_{T,ia}$ – Köetud ruumist (i) külgnevasse ruumi (a), $\frac{W}{K}$;

$H_{T,iae}$ – soojusekadu köetavast ruumist (i) läbi kütmata ruumi (ae) välja (), $\frac{W}{K}$;

$H_{T,iaBE}$ – soojusekadu köetavast ruumist (i) külgnevatesse hoone osadesse (aBE), $\frac{W}{K}$

$H_{T,ig}$ – soojuskadu köetavast ruumist (i) maapinda (g), $\frac{W}{K}$;

$\theta_{int,i}$ – arvutuslik sisetemperatuur, °C

θ_e – arvutuslik välitemperatuur, °C

R_{se} – välimine ülemineku takistus, $(m^2 \cdot K)/W$

R_{si} – ülemineku takistus, $(m^2 \cdot K)/W$

SISSEJUHATUS

Elamute liginullenergia muutmisel tuleb tähelepanu suunata küttesüsteemide ja ventilatsiooni uuendamisele ning välja vahetamisele. Sellele on põhilise tähelepanu suunanud ka riik edendades päikese- ja tuuleenergia parke ning uurides võimalusi kasutusele võtta ka tuleviku ehk vesinikuenergia[14].

Senised riiklikud energiasäästumeetmed on peamiselt keskendunud elamute energiatõhusamaks muutmisele, sest see on 34% energiatarbiv majandusharu. [14]

Eesti kliima oludes peab eramu olema varustatud efektiivse küttesüsteemiga, mis tagaks väikeste kuludega normaalse sisemise kliima. Järjest arenevas tehnika ühiskonnas ei ole mõistlik jätkata amortiseerunud ja vanaaegse süsteemi kasutamist, kui eesmärgiks on võimalikult väike keskkonna jalajälg ning finantsiline kokkuhoid.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on analüüsida eramu küttesüsteemi ning leida energia- ja keskkonnasäästlikum küttelahendus.

Töö esimeses pooles on kirjeldatud eramu arhitektuuriline ja konstruktiivne lahendus, sealhulgas küttesüsteem ning ventilatsioon. Teises osas on arvatud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi poolt välja pakutud programmiga BV2 hoone soojus läbikandetegurid ja soojuskaod köetavatele ruumidele. Kolmandas osas on teostatud ligi 30 aastasele katlale suitsugaasi analüüs leidmaks kasutegurit. Neljandas osas leitakse võimalikud lahendused säästlikuma kaasaegse küttesüsteemi kasutamiseks. Viiendas osas analüüsitakse leitud seadmete tehnilisi andmeid ja võrreldakse ilma ning elektrihinna seoseid.

1. ERAMU KIRJELDUS

Eramu asukoht on Pärnu linnas Pirni tänaval Krundil nr.8A. Juurdepääsud eelpool nimetatud eramule on organiseeritud Pirni tänavalt. Eramu ainuprojekti koostamise aluseks oli tellija soov ehitada eramu ning nimetatud soovi rahuldamiseks on Pärnu Linnavalitsuse poolt 13.aprillil 1990.a. koostatud määrus nr.124, mille aluseks antakse eelpool nimetatud krunt kasutamiseks eramu ehitamiseks. Selle määruse põhjal on omakorda koostatud ehituskrunni nr.1417 looduses eraldamise akt nr.4248 koos geodeedilise krundi plaaniga, mis on kooskõlastatud 27.aprillil 1990.a. Pärnu Linna maakorraldaja poolt ja kinnitatud Pärnu Linna peaarhitekti poolt.



Joonis 1.1. Eramu asukoht ja ilmakaare suund[5].

1.1. Ehituslik lahendus

Eramu on projekteeritud soklikorruse ja kolmel erineval tasapinnal asuvate pealmaakorrustega. Hoone on kaetud kivikatusega. Välisseinad on ehitatud soojustatud seintena, kusjuures soojusisolatsiooni paksuseks on 50mm. Välisseinte kandev osa on ehitatud lapiti laotud narvaplokkidest paksusega 300mm. Väljapoole on ehitatud veel 100mm paksune puhta vuugiga silikaattelistest vooder. Välisseinte paksuseks on 450mm.

Keldri lagi on raudbetoonist paksusega 50mm. Teiste korruste vahelaed on ehitatud puittaladele. Sisemise kandeseinte paksuseks on 300mm.

1.2. Eramu soojustus ja siseviimistlus

Siseviimistluseks projekt juhiseid ei ole andnud sest eramu on ehitatud defitsiidi ajastul. Siseviimistlus välisseinaga on kasutatud peamiselt 10mm kipsplaati ja soojustuseks on klaasvill 50mm. Keldri pealse raudbetooni soojustuseks on kasutatud 100mm vahtpolüstrüreen ja selle peal on täispunn laudis 40mm. Pööning on soojustatud 300mm saepuruga.

1.3. Küte ja ventilatsioon

Hoone kütmiseks on maja soklikorrusele paigaldatud katel. Kohe selle kõrval asub ka kütusehoidla tahke kütuse hoidmiseks.

Maja ventileerimine toimub loomulikult ventilatsiooni abil korstnatesse lõõride kaudu.

Ühtegi mehaanilist ventilatsiooni eramusse ei ole paigaldatud.

2. SOOJUSKADUDE ARVUTAMINE

2.1. Arvutamise meetodid

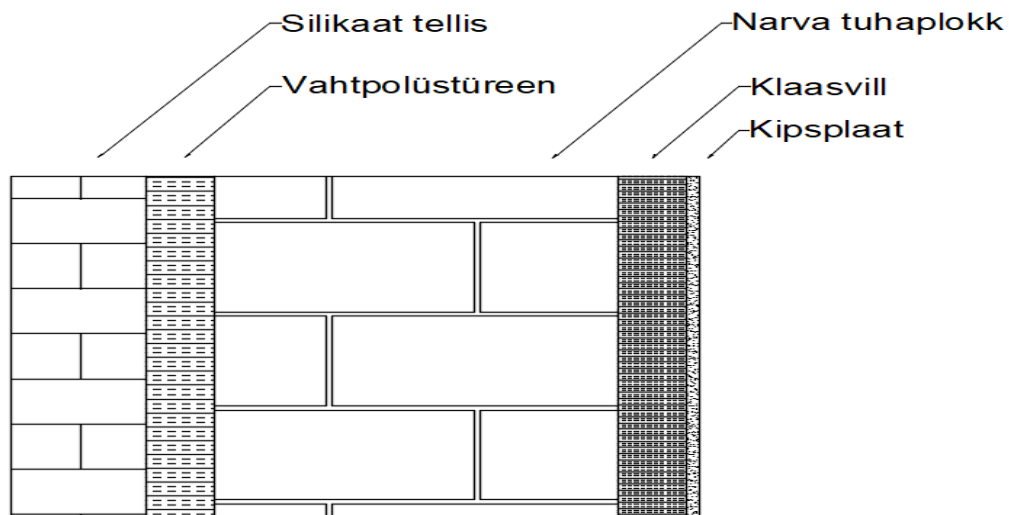
Kõige täpsemaks energiavajaduse arvutamiseks tuleb läbi viia dünaamiline simulatsiooni arvutus. Simulatsiooni käigus arvutatakse hoone kütteenergia tegelik vajadus. Samuti tuuakse arvutuse käigus välja ka põhilised soojuskadude allikad, mis on oluline täieliku ümberehitamise korral. Soojuskadude leidmisel on võimalik kalkuleerida, kui palju on võimalik erinevate materjalide lisamisega kadusid vältida [1].

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium ja Tallinna Tehnikaülikool on koostanud koostöös eestikeelse vabavaralise tabelitöötlus programmi põhjal elamu energiatõhususarvu kalkulaatori, kuna alates 2019. aasta 1. jaanuarist ei tohi enam lihtsustatud meetodiga energiatõhususarvu arvutada, vaid tuleb määrata täpne energiatõhusus arv. Energiatõhusus arvu kutsutakse ka *ETA* väärtusena. Selleks, et antud kalkulaatorit kasutada on vaja esmalt arvutada välitarindite soojustakistused ja seejärel sisestada kalkulaatorisse. Nõutud on ka vastava pädevusega inimest[1].

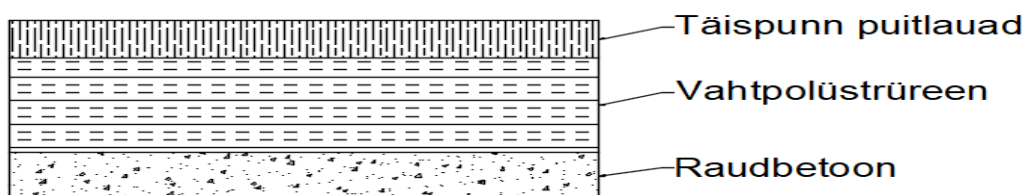
Juhul kui eeltoodud meetodeid ei saa kasutada siis erandina võib kasutada elamu energiaarvutuse läbiviimiseks kasutada tarkvara, mis on loodud Majandus-ja Kommunikatsiooniministeeriumi ja Rootsi ettevõtte CIT Energy Management AB koostöös loodud tarkvara nimega BV2. Programm on eestikeelne ning kasutamiseks on kaasatud ka eestikeelseid juhendeid [1]. Käesolevas töös kasutatakse energiavajaduse kalkulaatorit BV2 otsimaks välja hoone küttemiseks vajav energia. Saadud tulemuse kaudu on võimalik soetada täpselt selline seade, mis vastaks kriteeriumitele.

2.2. Lähteandmed

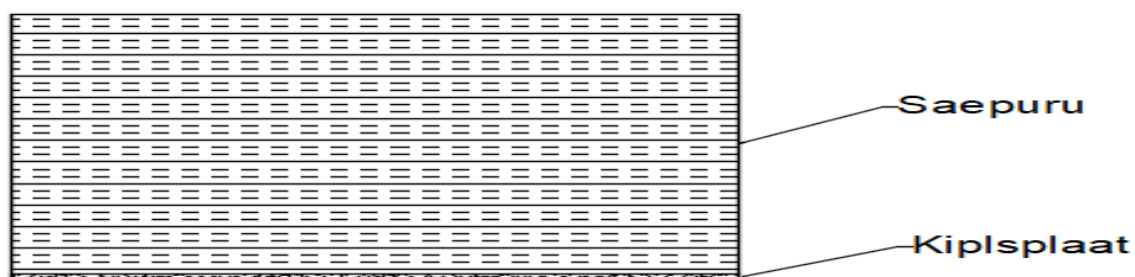
BV2 programmi järgi tuleb koguda kõige pealt vajalikud lähteandmed eramu kohta. Esmalt tuleb mõõta iga välipiirde materjalide läbimõõt ning seejärel energiavajaduse kalkulaatorisse sisestada. Vajadusel tuleb otsida õige materjali soojusjuhtivus ning õige väärtus programmi sisestada. Programm liidab kõik väärtused kokku ja annab vastava tulemuse. Väärtuste arvutamise hulka arvatakse R_{se} (välimine ülemineku takistus) ning R_{si} (Sisemine ülemineku takistus). Välipiirde hulka kuuluvad: seinad, katuselagi, esimese korruse põrand, uksed ja aknad. Kõik joonised on teostatud AUTOCAD joonestusprogrammiga ja kasutatud on programmi poolt ette antud materjalile kuuluv tehniline kuju. Kihtide paksused on mõõdetud standardite ja ehituse käigus meelde jäänud väärtuste kaudu.



Joonis 2.1. Seinä läbilõige.



Joonis 2.2. Põranda läbilõige



Joonis 2.3. Lae läbilõige

2.3. BV2 programmi arvutused

Uuritava pereelamu kõik kasutatavad materjalid ja nende parameetrid on kirjeldatud tabelis 2.1. Valdavalt enamus materjale kirjeldatakse programmis ära, kuid λ väärtus võib erineda tegelikule. Seetõttu kõik kasutatavad kihid on kontrollitud kirjanduse abil ning sisse viidud vajalikud muudatused. Puuduvad materjalid on otsitud kirjeldavast kirjandusest.

Tabel 2.1. Erasmus kasutatavate materjalide läbimõõt ning soojusjuhtivus BV2 programmi arvutustel[1].

Materjal	Kihi paksus d , mm	Soojusjuhtivus λ , W/(m·K)
Silikaattellis	100	0,93
Penoplast	50	0,055
Tuhaplokk	300	0,11
Mineraalvill	50	0,06
Puit	22	0,14
Puit	40	0,14
Kipsplaat	12,5	0,23
Saepuru	300	0,08
Raudbetoon	50	3,85
Raudbetoon	200	3,85

Tabelis 2.2 kirjeldatakse BV2 programmi arvutused tabeli 2.1 andmete põhjal. Seinte U väärtuse arvutamisel on kasutatud $R_{se} = 0,04$ (välimine üleminekutakistus) ja $R_{si} = 0,13$ (Sisemine üleminekutakistus). Piirdetarindi pindade soojustakistus sõltub õhu ja ümbritsevate pindade temperatuurist, kujust, materjali omadustest, liikumis suunast ning õhu liikumise kiirusest. Soojuslähivuse arvutamisel piirdel kasutatakse pindade soojustakistuse arvutussuursusi, mis on toodud tabelis 2.2. Horisontaalse soojusvoo suund võib $\pm 30^\circ\text{C}$ erineda horisontaali suunast.[15]

Tabel 2.2 Piirde pindade soojustakistused soojuslähivuse arvutamisel piirdetarindil [15].

	Üles(lagi)	Horisontaalne (sein)	alla (põrand)
R_{si} ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/W	0.1	0.13	0.17
R_{se} ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/W	0.04	0.04	0.04

Alusplaadi U väärtuse puhul on lähtutud EL normi CEN 89 N455E seostele. Tingimused mis peavad olema täidetud:

- vertikaalne soojustransport seina vundamendiplaadi juures loetakse olevat null
- vundamendiplaadi äärest väljuv soojus on kaduvväike. Eeldatakse, et äärepruss on isoleeritud
- Ehitusmaterjali soojusjuhtivus on konstant
- Põhjavee vool ei mõjuta soojakadu läbi vundamendiplaadi
- Soojusisolatsiooni paksus vundamendis on konstant

- Sisemise põrandapinna ja välimise maapinna taseme kõrguste vahe on väiksem kui 0.6m

U väärtuse arvutamist alustatakse iseloomuliku laiuse B , arvutamisega

$$B = \frac{\text{põrandapind (m}^2\text{)}}{0.5 \cdot \text{põranda ümbermõõt(m)}} \quad (2.1)$$

Maapinnal oleva plaadi pindala ja väärtused on kirjeldatud tabelis 2.4. Plaadi all oleva maapinna valikuks osutus aleuriit, dreneerimata liiv ja kruus, moreen soojuserijuhtivusega 2,3 W/m·K.

Akende puhul on valitud läbipaistev 3 kordne klaas mille päikese faktor on 0,67. U väärtus ja pindalad eri ilmakaartes on esitatud tabelis 2.4.

Ukse arvutamisel on lähtutud tootjapoolsest informatsioonist[3].

Tabel 2.3. Välitarindite U väärtused[3].

Eramu osa	Läbimõõt <i>d</i> , mm	<i>U</i> arv, W/(m ² ·K)
Sein seest puiduga	522	0.203
Sein seest kipsiga	516	0.207
Põrand(vundamendi peal)	190	0.472
Vundament	200	19.2
Kips lagi	312.5	0.251
Puit lagi	322	0.245
Aknad	150	2.1
Uksed	92	0.9

Tabelis 2.4 on kõikide väärtuste puhul arvestatud ilmakaarte suundasid. Kõikide andmete sisestamisel annab programm võimaluse koond U väärtuste väljatrükiks, mis edastatakse .pdf formaadis. Tabel 2.4 on väärtused, mis edastati pdfi formaadis, sisestatud Excelisse käsitsi autori poolt.

Tabel 2.4. U väärtuse koond BV2 programmi tabel

	Katus	Lõuna sein	Ida sein	Lääne sein	Põhja sein	Alusplaat	Summa
Osa, v.a all toodud pinnad (m²)	143.5	57.37	50.82	45.36	48.31	158.4	518.7
U-värde	0.25	0.205	0.207	0.207	0.207	0.7	0.3705
Osa, mis koosneb akendest (m²)		12.5	3.18	8.64	4.49		28.81
U väärtus aknad (W/(m²·K))		2.1	2.1	2.1	2.1		2.1
Osa, mis koosneb välisustest (m²)		2.73					2.73
U väärtus välisused (W/(m²·K))		0.9					0.9
Keskmine U väärtus (W/(m²·K))	0.25	0.5574	0.3185	0.5099	0.368	0.7	0.4637
UA väärtus (W/K)	39.6	40.47	17.2	27.53	19.43	110.9	255.1
Summa UA(W/K)	39.6	40.47	17.2	27.53	19.43	110.9	255.1
Um (W/(m²·K))	0.25	0.5574	0.3185	0.5099	0.368	0.7	0.4637
Pindade summa	143.5	72.6	54	54	52.8	158.4	550.2

2.4. Soojuserikadude summa

Vastavalt standardile EVS-EN 12831-1:2017 leitakse soojuserikadu valemiga[6].

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,iaBE})(\theta_{int,i} - \theta_e), \text{ v\o oi} \quad (2.2)$$

$$\phi_{T,ix} = H_{T,ix} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (2.3)$$

Kus $\phi_{T,i}$ – on k\o etud ruumi (i) arvutuslik \u00fclekande soojuskadu, W;

$\phi_{T,ix}$ – on k\o etud ruumi (i) arvutuslik \u00fclekande soojuskadu teise ruumi, W;

$H_{T,ie}$ – soojuskadu k\o etavast ruumist (i) otse v\alja (e), $\frac{W}{K}$;

$H_{T,ia}$ – K\o etud ruumist (i) k\ulgnevasse ruumi (a), $\frac{W}{K}$;

$H_{T,iae}$ – soojusekadu k\o etavast ruumist (i) l\abi k\utmata ruumi (ae) v\alja (e), $\frac{W}{K}$;

$H_{T,iaBE}$ – soojusekadu k\o etavast ruumist (i) k\ulgnevatesse hoone osadesse (aBE), W/K ;

$H_{T,ig}$ – soojuskadu k\o etavast ruumist (i) maapinda (g), $\frac{W}{K}$;

$\theta_{int,i}$ – arvutuslik sisetemperatuur, °C

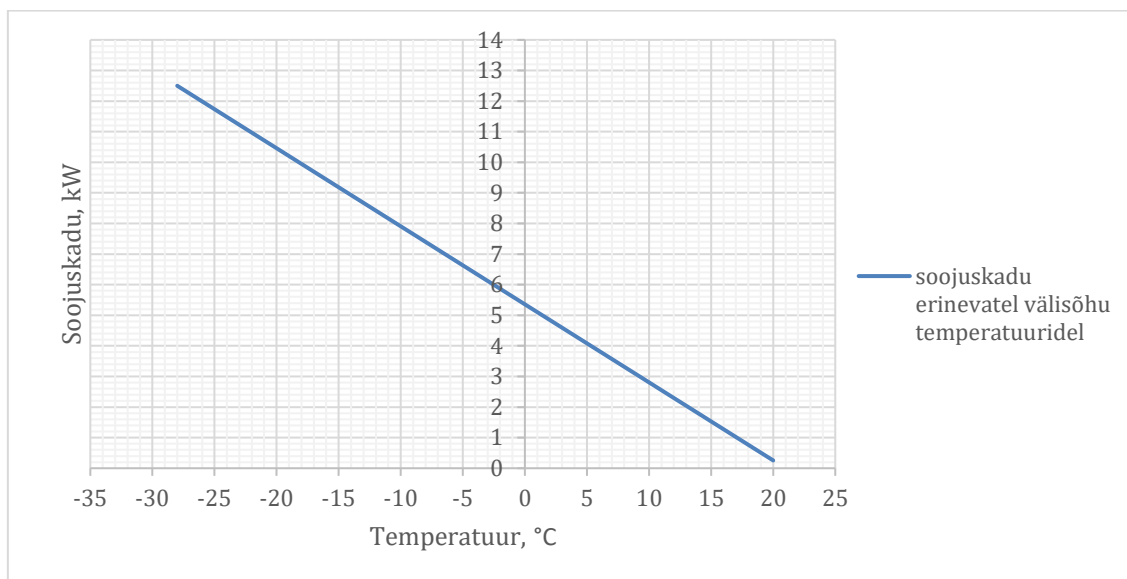
θ_e – arvutuslik v\alitemperatuur, °C

Vastavalt valemile 2.2 saab leida eelnevalt programmi poolt arvatud tulemuste p\o hjal leida kogu hoone arvutusliku soojuskao.

$$\phi_{T,ix} = H_{T,ix} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e),$$

$$\phi_{T,ix} = 255,1 \cdot (21 - (-22)) = 10,97 \text{ kW},$$

$\phi_{T,ix}$ arvutamisel on $H_{T,ix}$ v\o etud tabelist 2.3 summa UA v\alrtus. $\theta_{int,i}$ v\alrtus on sisetemperatuuri keskmine k\utteperioodi v\altel. θ_e v\alrtus n\ai tab P\ar nu arvutusliku v\al is\o hu temperatuuri[7]. $\phi_{T,ix} = 10,97 \text{ kW}$ n\ai tab kui palju on soojuskadu -22 v\al is\o hu temperatuuri korral. Leitud v\al rtuse kaudu saab valida vastava j\o udlusega seadme.



Joonis 2.4. Eramu arvutuslik soojuskadu erinevatel temperatuuridel.

Joonisel 2.4 on näidatud kui palju on vaja soojusenergiat erinevatel väli temperatuuridel et tagada eramus 21°C sisetemperatuur. Otsitav seade peaks pakkuma antud graafiku kõiki soojuskadu vahemike.

3. KÜTTESÜSTEEM

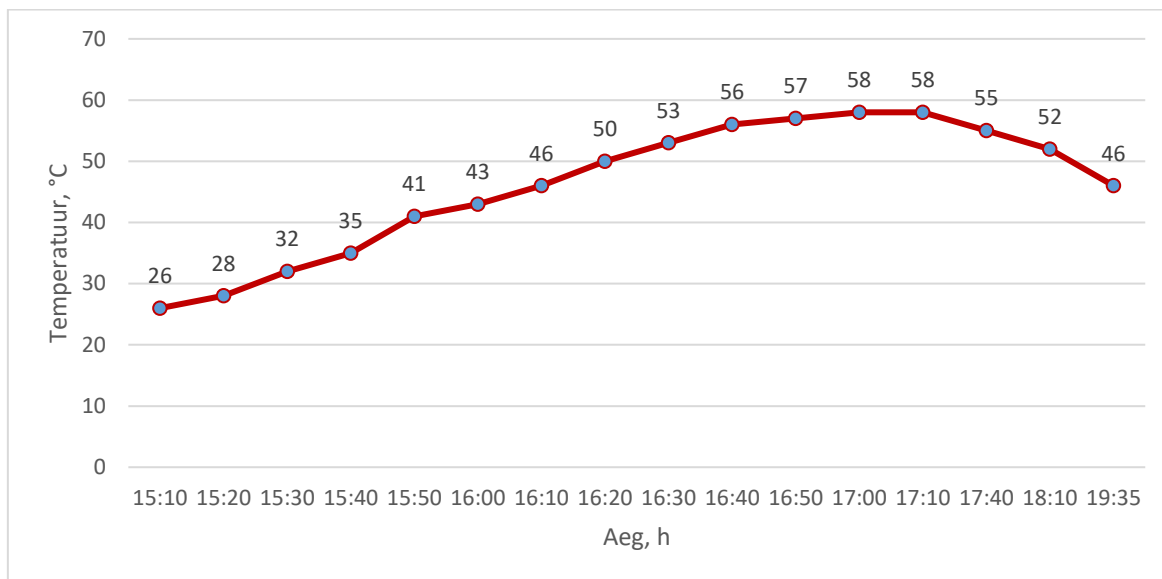
3.1. Küttesüsteemi iseloomustus

Eramu soojavajaduse tagamiseks on soklikorrusel katlaruumis tahkekütuse keskküttekatel. Hoone projekti kohaselt planeeriti ainult ruum katla jaoks ning seetõttu puuduvad ka andmed olemasolevast töötavast katlast. Samas kõrval on ka teine torustikega ühendatud katel millel puudusid juba algupäraselt vajalikud osad töötamiseks seetõttu ei ole see katel oluline. Küttesüsteem jaguneb kahe katla pealt, kus katlast väljuv kütteseevesi kõigepealt soojendab katelde kõrval asuvat 1500 liitrist akupaaki ning siis jaguneb kahe korruse ja ühe poolkorruse malm ja teras radiaatorite vahel. Akupaaki on paigaldatud ehitamise ajal 10kW kütteelemendid ning mida peale esmast katsetust ei ole elektrihinna tõusu tõttu enam tööle lülitatud. Teisel korrusel radiaatoritest kõrgemal asub üle voolutoruga varustatud paisupaak, mis kompenseerib sooja vee poolt põhjustatud paisumise. Paisupaagi suuruseks on 56 liitrit ning üle jooksu ja täitmistoru jooksevad mõlemad esimese korruse pesemisruumi. Eramus on 9 ribi tüüpi malmradiaatorit ja 6 toru tüüpi teras radiaatorit. Malmradiaatorite ribisid on kokku 86 tükki ning katsetuse järgi mahutab 1 ribi 1,5 liitrit vett. Torutüüpi radiaatorid mahutavad arvutuslikult 7,5 liitrit. Kokku mahutab süsteem vett ilma akupaagita umbkaudu 500 liitrit.

3.2. Küttesüsteemi parameetrid

Toimiva ja igapäevases kasutuses oleva keskkütte katsetuse käigus mõõdeti katlast väljuva vee ning ligikaudne kasutegur. Kasutegurit mõõdeti Testo 300 suitsugaasi analüsaatoriga ning temperatuuri katla peal oleva termomeetri abil. Kütuseks kasutati puitbriketti, mille kütteväärtus on tootja andmetel 17,05MJ/kg ja niiskuse sisaldus 7,4%[4]. Kütuse süütamise ajal oli katel jahtunud ning katla vee temperatuur oli 26 °C. Puitbriketti kasutati katse jaoks 2 pakki, mis olid kaalult 10,8kg ja 10,5kg ning kokku 21,3kg. Selline kogus on ka tavapärase

kütmise alustamise kogus. Temperatuur tõusis 58°C ning kuigi akupaagi külmavee peale vool oli kinni keeratud siis soojenes umbes sellest ikkagi pool paaki ehk 750 liitrit.



Joonis 3.1. Katse käigus katla vee temperatuuri analüüs

Testo gaasianalüsaatori kasutamiseks oli vaja esmalt puurida katlast väljuva suitsugaasi toru sisse 8mm auk. Auku sai sisestada analüsaatori mõõdiku ots, mis tuli lükata täpselt toru keskele. Seejärel tuli mõõta täisväärtusliku põlemise ajal vähemalt 3 minutit, et saada loetav tulemus. Ligilähedase tulemuse saamiseks ütles juhend et katset tuleb läbi viia vähemalt 3minutit.

Katla kasuteguriks on keskmiselt 62%. Testo gaasianalüsaator mõõdab efektiivsust kütuse spetsiifilise faktori, heitgaasi – ja keskkonna temperatuuri, vingugaasi ning süsihappegaasi taseme järgi.. Saadud kasutegur järgi võib liigitada antud katelt madala kasuteguriga katlaks sest hetkel müügil olevad tahkekütuse katlad on kasuteguriga 80% ning pelleti katlatel üle 90%.

Tabel 3.1. Eramu kütteperioodil kulutatud energia

Puitbriketi alus	7	tk
Pakkide kogus	770	tk
Paki kaal	10	kg
Kütteväärtus	17.05	MJ/kg
Kütteperioodi kogus	7700	kg
Põletatud kütus	36470.97	kW/h
Ühe aluse maksumus	130	€
Transport	20	€
Kulunud aeg	55.56	Tundi/aastas
Kokku	1050	€

Tabelis 3.1 on pereelamu kütteperioodil kulunud tahkekütuse kogused ning kulunud energia arvutused. Kütteväärtus ja paki kaal on antud tootja poolt. Kaal võib erineda reaalsuses ning seda oli ka näha kütmise katses, seetõttu on võetud kaalutud keskmine.

Kogu kütteperioodi peale põletatud kütuse eest saadud energia arvutati valemiga:

$$Põletatud kütus\left(\frac{kW}{h}\right) = Kütuse\ kogus\ kokku(kg) \cdot kütteväärtus\left(\frac{MJ}{kg}\right) \quad (3.1)$$

Saadud väärtus on teisendatud kW/h

Kulunud ajaks on võetud kõik kütmisega seotud toimingud ehk kütuse teisaldamine väljast kütuselattu, kütmine, tuha eemaldamine ja puhastamine.

4. VÕIMALIKUD LAHENDUSED

Võimalikud lahendused peaksid hõlmama lahendust, mis kaotaks ära aeganõudva ja kuluka kütmissviisi. Soovituslikult valitakse uuteks küttesüsteemideks maa- või õhk-vesi soojuspump sest soojuspumbad ei jäta keskkonnale jalajälge, on madala ülalpidamis kuludega ja efektiivsed.

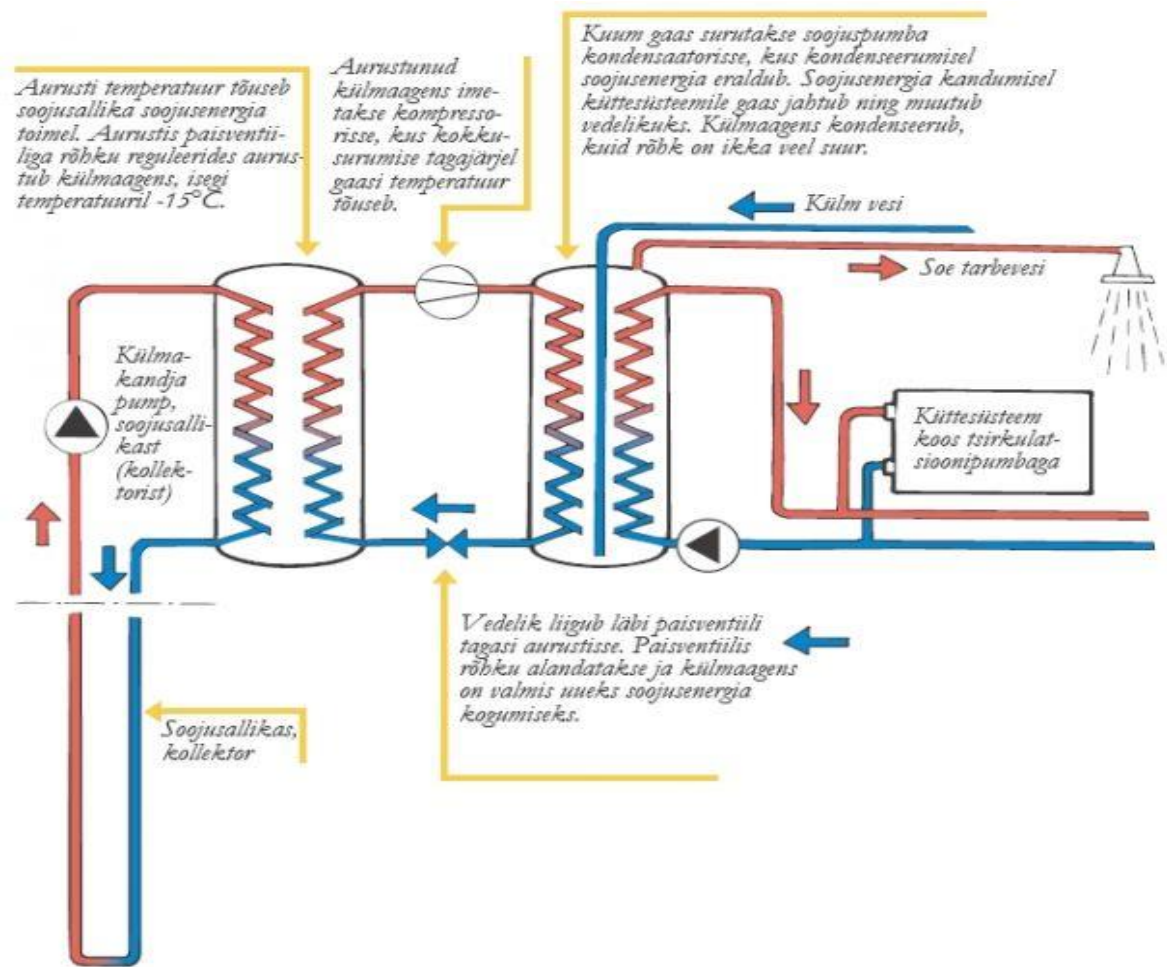
Soojuspumba ja soojusallika valikut mõjutavad mitmed faktorid nagu maja energiavajadus, asukoht ja paigaldatud küttesüsteem. Valik tuleks teha lähtuvalt järgmistest teguritest[8]:

- maja suurus m² (kõetava pinna suurus)
- energiakulu (aastate lõikes statistika, kui palju on kulunud elektrit kWh, õli m³, küttepuid m³)
- maja ehitusaeg, renoveerimisaeg
- maja ehituskonstruktsioone iseloomustav info
- maja ventilatsiooninõuded ja ventilatsiooniseadmed
- krunti iseloomustavad näitajad – pindala, asukoht, pinnas
- majaelanike arv ja iga

Autor on valinud välja kaks võimaliku lahendust. Valiku põhilisteks kriteeriumiteks osutus kasutegur ning paigaldus. Paigalduse all on mõeldud sellist lahendust, mis ei tooks kaasa olulisi konstruktsioonilisi muudatusi.

4.1. Soojuspumba tööpõhimõte

Soojuspumbate põhilisteks konstruktsiooni osadeks on aurusti, paisventiil, kompressor ning kondensaator. Soojusenergia kättesaamine välisõhust toimub suuresti tänu süsteemis ringlevale vedelikule, mille keemispunk on välisõhust madalam. Külma väliõhu toimel hakkab külmaaine keema ning aurude kokkusurumisel kompressoris hakkab temperatuur tõusma. Seejärel surutakse gaas kondensaatorisse, kus gaasi soojusenergia väljutamisel jahtub tagasi vedelikuks. Paisventiili ülesandeks on süsteemis vedeliku rõhu reguleerimine. Saadud soojusenergia kantakse üle kas vesikütteks, tarbeveeks või õhkütteks[16].



4.1. Soojuspumba tööpõhimõtte maasoojuspumba näitel[16].

4.2. Õhk – vesi soojuspump

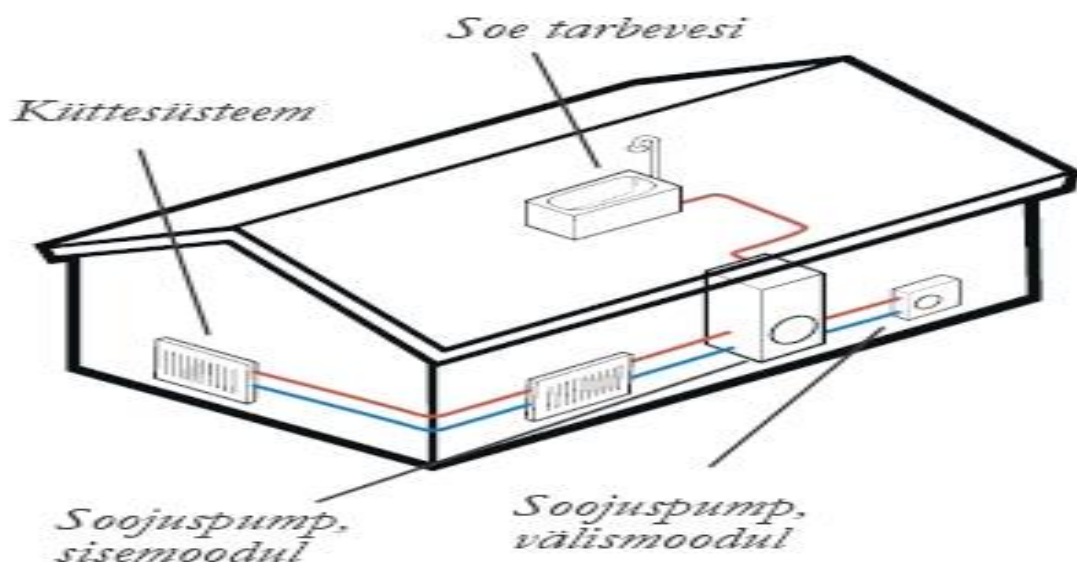
Õhk-vesi soojuspumba välimoodul paigaldatakse välja üldiselt sisemooduli lähedusse kuid mitte kohta, kus võivad ilmastiku olud rikkuda välimooduli tööd. Välimoodulil on peal üks või rohkem ventilaatorit, mis aitavad antud kohas õhku liigutada soojusenergia paremaks kättesaamiseks. Kuna soojuspump saab soojusenergia välisõhust, siis kriitiliseks asjaoluks teeb antud ümbritsev kliima. Tähelepanu tuleb pöörata madalaima temperatuuri peale, mille korral pump on võimeline veel töötama. Põhjamaadele pakutavad pumbad võimaldavad kuni -28°C korral veel toimida aga siseneva elektrienergia ja kätte saadav soojusenergia suhe on minimaalne. Enamus tootelehtedel välja toodud parameetrid on mõõdetud $+7^{\circ}\text{C}$ välisõhu ning siis vastavalt küttesüsteemile omane temperatuur, $+35^{\circ}\text{C}$ põrandaküte või $+50^{\circ}\text{C}$

radiaatorküte. Selliste väärtuse puhul saab umbkaudu 1kWh elektrienergiast tagasi 3kWh soojusenergiat. Madalamate kliimade puhul jääb see suhe 1:1 juurde[8].

Õhk-vesi soojuspumba eripäraks on soojusenergia suunamine kas küttesüsteemi vee või tarbe vee soojendamisele. Võimalus on ka rakendada neid mõlemaid vastava seadmega.

Üldiselt hinnaklassi järgi on mõlema võimalusega variandid kallimad[8].

Kõige olulisemaks faktoriks õhk-vesi soojuspumba valiku juures on tema keskkonna säästlikus CO mitte emiteerimise näol ning kütmisele kuluva aja vabadus. Pump võimaldab andurite kaudu sisekliimat antud vajadusele ise reguleerida. Samuti on eelis õhk-õhk pumba ees tema ühtlane soojuse jaotumine eri paikades olevate küttekehade näol. Maasoojuspumba ees on eelis lihtsas paigalduses, kuna jääb ära maa sisse kontuuride paigaldus[8].



Joonis 4.2. Õhk - vesi soojuspumba ehituslik näide eramule[8].

4.2.1. Atlantic Alfea Excellia A.I. TRI 11 + COZYTOUCH

Valikuks osutus Atlantic Alfea Excellia A.I TRI 11, kuna hinna ja küttevõimsuse suhe oli kõige mõistlikum. Tabelis 4.1 on toodud antud pumba tehnilised näitajad. Hind mõjutab eelkõige tasuvust küttesüsteemi vahetamisel.

Tabel 4.1. Õhk - vesi soojuspumba tehnilised näitajad[17].

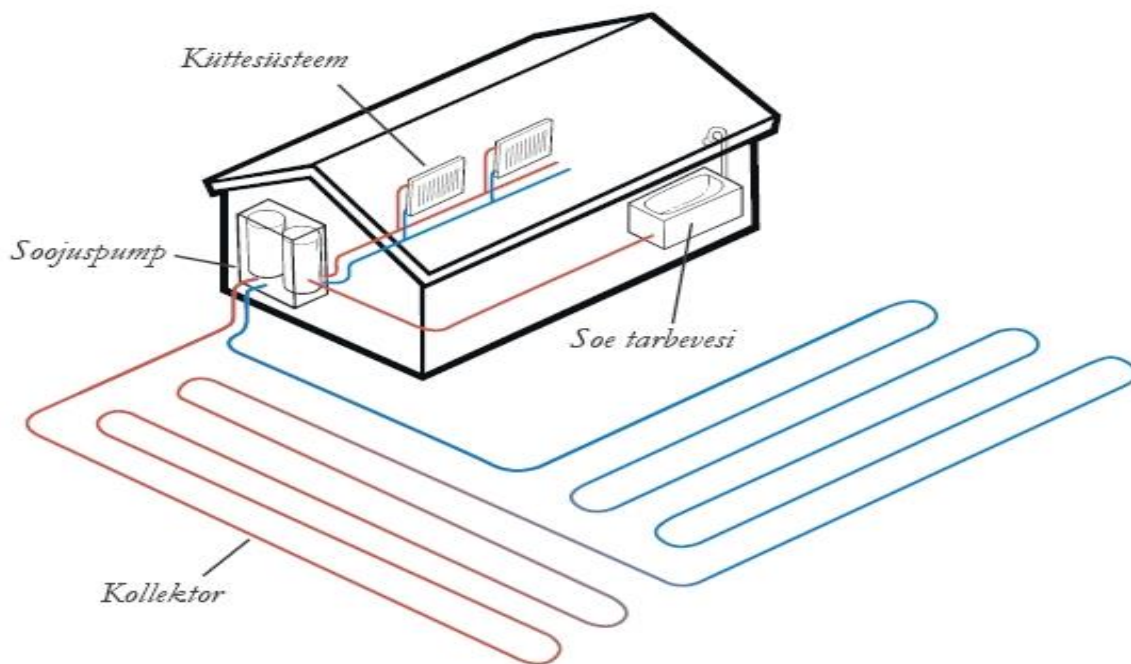
PÕHIOMADUSED		
Küttevõimsus temperatuuridel +7 °C ja +35 °C – pörandaküte korral	10,80	kW
Soojustegur (COP) temperatuuridel +7 °C ja +35 °C – pörandaküte korral	4,30	
Küttevõimsus temperatuuridel -7°C ja +35 °C – pörandaküte korral	10,38	kW
Soojustegur (COP) temperatuuridel -7°C ja +35 °C – pörandaküte korral	2,43	
Küttevõimsus temperatuuridel +7 °C ja +45 °C – madala temperatuuri radiaatorite korral	9,90	kW
Soojustegur (COP) temperatuuridel +7 °C ja +45 °C – madala temperatuuri radiaatorite korral	3,32	
Küttevõimsus temperatuuridel -7°C ja +45 °C – madala temperatuuri radiaatori korral	9,98	kW
Soojustegur (COP) temperatuuridel -7 °C ja +45 °C – madala temperatuuri radiaatorite korral	2,16	
Küttevõimsus temperatuuridel +7 °C ja +55 °C – radiaatorite korral	9,29	kW
Küttevõimsus temperatuuridel -7°C ja +55 °C – radiaatorite korral	9,27	kW
Soojustegur (COP) temperatuuridel -7 °C ja +55 °C – radiaatorite puhul	1,82	
Elektriline lisaküttekeha	9	kw

*Esimene temperatuur on välisõhu ja teine siseõhu korral

4.3. Maasoojuspump

Maasoojuspumba teeb eriliseks tema ehituslik olemus. Nagu nimi ütleb siis soojusenergiat ammutatakse maa või veekogu seest. Maa seest saadakse energiat kas vertikaalselt alla puurkaevu meetodina või maa pinnal horisontaalse kontuuri näol. Veekogu kasutamiseks on vaja piisava sügavusega veekogu lähedust ning luba paigaldada torud kogu põhja. Põhimõte peab olema, et temperatuur soojusallikas oleks pidevalt üle 4°C kraadi. Vastavalt paigaldatud süsteemi olemusele, liidetakse soojusallikast väljuvad torud sisemise agregaadiga. Sisemine moodul muundab saadud maa soojusenergia, kas siis sarnaselt õhk-vesi pumbale

küttesoojuseks või tarbevee soojendamisele. Erinevalt õhk-vee soojuspumbale on maapumbal saadav kütteväärtus suhteliselt lineaarne erinevate välitemperatuuride korral. See annab küttekulude osas suure eelise, kuid esmane finantsiline investeering viib tasuvusaja pikale perioodile. Sarnaselt õhk-vee pumbale on samuti maasoojuspump keskkonna säästlik just CO mitte õhku paiskamisel [9].



Joonis 4.3. Maasoojuspumba ehituslik näide eramu põhjal[9].

Maasoojuspumba erinevad liigid

Maasoojuspump võib kasutada nelja erinevat liiki energiaallikat: energiakaev, maakollektor, põhjavesi ja veekogu põhja paigaldatavad torud[9]. Maasoojuspumbale sobiv energiaallikas valitakse lähtuvalt finantsilisest olukorrast või mis sobib antud keskkonda.

Maakollektor

Maakollektor on suhteliselt populaarne valik tema kerge paigalduse ja suhteliselt soodsama hinna poolest. Ehituslik põhimõte on torude kaevamine umbes 1 meetri sügavusele ning torude vahekaugus jäetakse üksteisest 1 meetri. Torustiku pikkus sõltub valitud võimsusega soojuspumbast. 12kW puhul peaks arvestama umbes 1000m² maa üles kaevamist, mis ei ole ideaalne lahendus valmis haljastatud linna maadel. Torustiku sisse valatakse külmumiskindel vedelik ning mis ringleb pumba mõjul, tuues soojusenergiat elamusse[9].

Veekollektor

Veekollektoriks nimetatakse süsteemi kui soojuspumba torud paigaldatakse veekogu põhja. Veekogu põhja paigaldamiseks on ettenähtud nõuded. Nimelt on vaja saada eriluba veekogu põhja paigaldatavate torude näol ning veekogu peab olema piisavalt sügav, et külmadel talvekuudel põhjani ei jäätuks[9].

Energiakaev

Kõige stabiilsemaks ja kasumlikumaks soojusallikaks loetakse energiakaevu, kuna vertikaalselt maa sisse puurides puudub ilmastiku mõju soojuse ammutamisele. Samuti on selline paigaldusviis kõige kulukam ning oleneb suuresti pinnasetüübist. Puurida vertikaalset puurauku on vaja umbes 50-200meetrit alla poole puurida ning sõltuvalt vajadusest on võib olla vaja veel lisa auku. Augu läbimõõduks on umbkaudu 100-160 mm[9].

Põhjavesi

Põhjavee kasutamine soojusallikana sõltub suuresti rohke põhjavee olemasolul. Samuti peab olema tagatud aastaringne vee olemaolu. Ehituslikult näeb see välja kahe puurkaevu omavaheline koostöö. Nimelt ühest puurkaevust pumbatakse vesi välja läbi maasoojuspumba ja teise pumbatakse tagasi juba kasutatud jääk vesi. Kahe sama sügava kaevu vahel tekib põhjavee kaudu ühendus, seetõttu ei tohi kaevud olla üksteisele liiga lähedal ning ka liiga kaugel. Ideaalne vahemik on kaevudel 15-20 meetrit[9].

4.3.1. NIBE F1155-12

Autor valis antud maasoojuspumba kuna pumba soojusvõimsus sobib eramu soojuskaoga. Ehk pump on 3-12kw, mis jääb sobitud kriteeriumi vahemiku. Samuti on ka sellele seadmele märgitud energiasäästlik süsteem. Kuna kogu hoone platsi pole võimalik üles kaevata siis edasimüüja hinnangul võib puuraugu tegemine võtta umbkaudu 7500 eurot. Seda on peaaegu sama palju kui seade ise maksab. Tootja annab miinimum eluiga seadmele 20 aastat.

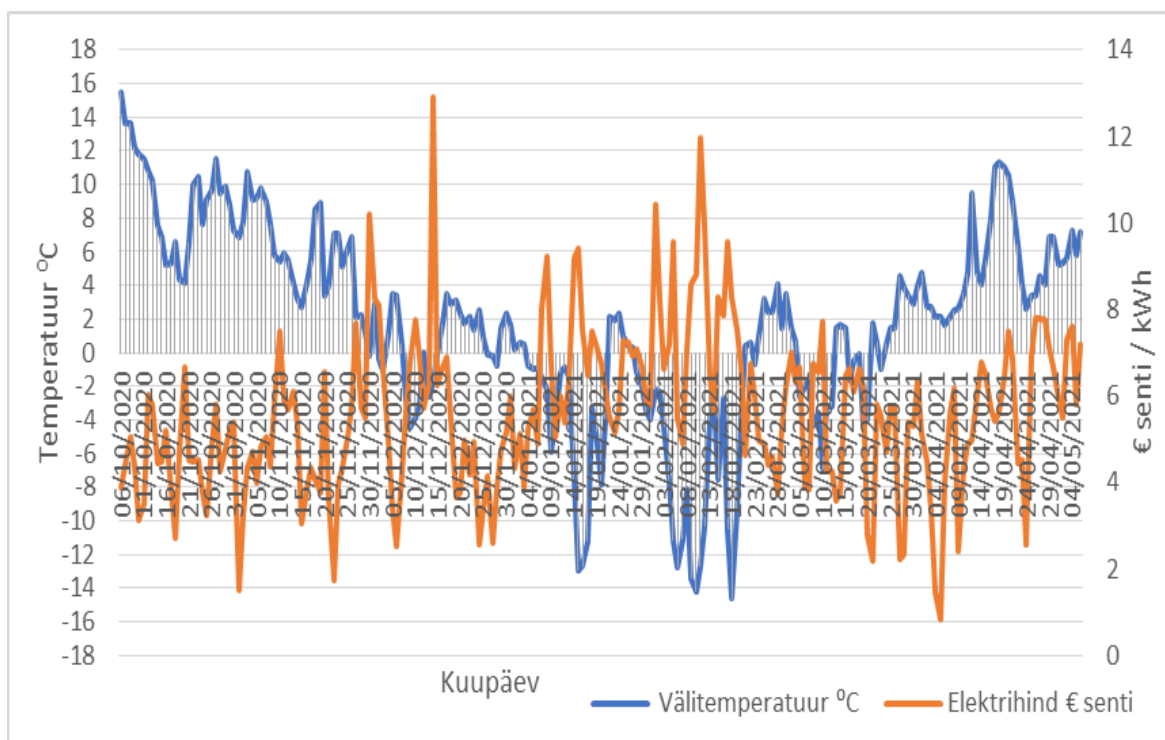
Tabel 4.2. Maasoojuspumba tehnilised andmed[10].

Küttevõimsused		
Küttevõimsus	3-12	kW
Küttevõimsus temperatuuril 0 ja +35 °C	5.06	kW
Küttevõimsus temperatuuril 0 ja +45 °C	4.78	kW
Elektrivõimsused		
Elektrivõimsus temperatuuril 0 ja +35 °C	1.04	kW
Elektrivõimsus temperatuuril 0 ja +45 °C	1.27	kW
Kasutegurid		
Soojustegur COP temperatuuridel 0 ja +35 °C	4.87	
Soojustegur COP temperatuuridel 0 ja +45 °C	3.75	
SCOP külm kliima pördanda kütte 35°C ja radiaatori 55°C	5.4 / 4.3	
SCOP keskmine kliima pörandakütte 35°C ja radiaatorite 55°C	5.2 / 4.1	

Tabelis 4.2 on näidatud Nibe F1155-12 tehnilised andmed

5. ANALÜÜS

Analüüsimise aluseks on võetud Pärnu väliõhu temperatuur ja elektrihind. Mõlemad väärtused on ametliku kütteperioodi 06.10.2020 – 04.05.2021 keskmised väärtused. Joonisel 5.1 on näha, et koos ilma külmenemisega tõuseb ka elektrihind. Elektrihind on eriti oluline soojuspumpade kasutamisel. Nimelt kasutavad soojuspumbad elektrienergiat, et väljutada soojusenergiat. Samuti ilma külmenemisega väheneb elektrienergiast kättesaadav soojus. Seetõttu graafikut vaadates muutub soojusenergia hind oluliselt külmal del kuupäeval. Graafikult on näha, et kõige mõistlikum oleks kütta elektriga -5°C kuni 20°C kraadi juures, et saavutada maksimaalne energiasääst ning külmemate ilmade puhul kombineerida tahkekütuse põletamisega.



Joonis 5.1. Pärnu 2020/2021 keskmine väliõhu temperatuur ning elektrihind kütteperioodil.[12-13]

Tabel 5.1. Õhk - Vesi soojuspumba energia arvutus 55 kraadise sisendvee puhul

Välitemperatuur °C	Küttevõimsus, kW	COP	Tarbitav energia, kW	Kütteperioodi päevade arv	Proгноositud energiakulu, kW	Kulunud küttevõimsus, kW
-15.00	9.18	1.11	8.27	7.00	1389.95	1542.84
-10.00	7.91	1.61	4.91	7.00	825.19	1328.56
-7.00	7.14	1.92	3.72	56.00	4999.96	9599.92
2.00	4.85	2.75	1.76	82.00	3468.62	9538.70
7.00	3.57	3.93	0.91	58.00	1264.98	4971.39
12.00	2.30	5.16	0.44	3.00	32.04	165.30
15.00	1.53	5.39	0.28	3.00	20.45	110.20
Energiakulu kokku	12001.19	kW				
Elektriarve perioodis	684.07	€				
Seadme maksumus	3999.00	€				
Paigaldus	1000.00	€				
Eluiga	15.00	aastat				
Tasuvusaeg	13.66	aastat				

Tabel 5.2. Maakütte energia arvutused 55 kraadise radiaatori vee puhul.

Välitemperatuur °C	Küttevõimsus, kW	COP	Tarbitav energia, kW	Kütteperioodi päevade arv	Proгноositud energiakulu, kW	Kulunud küttevõimsus, kW
-15	9.18	2.3	3.99	7	670.80	1542.84
-10	7.91	2.85	2.77	7	466.16	1328.56
-7	7.14	3.18	2.25	56	3018.84	9599.92
2	4.85	4.12	1.18	82	2315.21	9538.69
7	3.57	4.67	0.76	58	1064.53	4971.38
12	2.30	5.06	0.45	3	32.66	165.30
15	1.53	5.39	0.28	3	20.44	110.20
Energiakulu kokku	7588.68	kW				
Elektriarve kogu perioodi peale	432.55	€				
Seadme maksumus	7596.00	€				
Paigaldus	8500.00	€				
Eluiga	20.00	aastat				
Tasuvusaeg	26.07	aastat				

Tabelitel 5.1 ja 5.2 on võrreldud Õhk-vesi ja maasoojuspumba väärtuseid vastavale temperatuurile. Tabelitesse parameetrid on saadud tootja poolt ette antud arvutatud erinevatel temperatuuridel. Täpsemalt näeb algandmeid Lisas 1 ja 2. Väli temperatuuri arvutamisel on kasutatud joonisel 5.1 olevaid temperatuuri väärtuseid. Päevade arvudeks on loendatud väärtused, mis vastavad etteantud kahe väli temperatuuri keskmisele summale ehk -15 väärtuse puhul on kasutatud loendusfunktsiooni ≥ -12 kuni ≥ -16 . Kõik väärtused on arvutatud Exceli abil. Tasuvus aega arvutatakse valemiga:

$$Tasuvusaeg = \frac{\text{Alginvesteering}}{\text{Investeeringu aastane sissetulev rahavoog}} \quad (5.1)$$

Kus, alginvesteeringuks on võetud kõik uue seadme paigaldamisega seotud kulutused. Aastane sissetulev rahavoog on arvutatud tabeli 3.1. kogu perioodi peale kulunud summa ja lahutatud kogu perioodi peale kulunud elektriarve.

Vastavalt tabelites leitud väärtustele võib öelda, et kõige mõistlikum oleks õhk-vesi soojuspumbaga kütta kuni -5°C kraadini, kuna siis hakkab kasutegur oluliselt langema. Peale -5°C madalamatel kraadidel toetada tahkekütuse katlaga. Tabelist selgus ka asjaolu, et olulist rolli mängib süsteemi hind, nimelt kallima seadme puhul muutub tasuvusaeg üle mõistliku piiri. Samuti mängib rolli ka seadmete pidev uuenemine ning taskukohaseks muutumine. See tähendab, et seadme eluea lõpus on tõenäolisemalt juba täiustatud süsteemid ning et õhk-vesi soojuspump ei sea kohustusi vana seadme alles jätmiseks.

Maasoojuspumba näitajad on kõige efektiivsemad, kuid tänu paigaldamisele kuluvale finantsile muutub tasuvusperiood ebapraktiliselt pikaks. Mõistlik oleks paigaldada juhul, kui maja algprojekti oleks sisse kirjutatud selline süsteem ning kaeve tööd tehtaks ehituse käigus. Antud elamu kohta oleks selline süsteem liiga suure alginvesteeringu ning liiga keeruka ehituse tõttu ebamõistlik.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli leida elamule parem küttesüsteem, mis vähendaks nii keskkonna reostust kui ka energiakulusid. Eesmärgi saavutamiseks koostati soojuskadude arvutused, hetkelise küttesüsteemi seisukord ning leiti võimalikud lahendused. Küttesüsteemi valimiseks võrreldi maasoojuspumba ja õhk-vesi soojuspumba erinevaid efektiivsuse parameetreid. Esmalt tutvuti eramaja projektiga ja seejärel teostati vajalikud mõõdistused soojuskao leidmiseks. Hetkelise küttesüsteemi analüüsimine näitas ära tegeliku vajaduse uue süsteemi järgi sest ligi kolmandik hoone kütmiseks planeeritavast energiast väljub soojuskaona suitsugaasides.

Tulemuste saamiseks pöördui soovitud seadmete edasimüüjate poole kes koostasid hinnapakkumise ja edastasid olulist informatsiooni. Küttesüsteemi puhul oli kaks korda kallim paigaldada maasoojuspumba ning arvutuslikult tuli tasuvusaeg ka liiga pikk ehk 26 aastat. Tasuvusaja tegi pikaks asjaolu, et kütetorud tuleks paigaldada puurkaevu põhimõttel. Õhk-vesi pumba puhul oli tasuvusaeg 13 aastat, mis on prognoositud elueast madalam. Seega arvutuste põhjal valitakse uueks küttesüsteemi seadmeks õhk-vesi soojuspump. Samuti tuli analüüsimise käigus välja, et elektrienergia tõstetakse kõige külmemate perioodide ajal. Kahjuks on just õhk-vesi soojuspumba kasutegur kõige tundlikum külmade ilmade puhul ning seetõttu tuleks tõenäoliselt kombineerida erinevaid küttesüsteemi lahendusi.

Koduplaneedi fossiilse energia varud vähenevad kiiresti. Kasutusele tuleb võtta päikese- ja tuuleenergia põhinevaid küttesüsteeme.

SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was to find a better heating system for the house, which would reduce both environmental pollution and energy costs. To achieve the goal, calculations of heat losses, the condition of the instantaneous heating system and possible solutions were found. To select the heating system, the different efficiency parameters of the ground source heat pump and the air-to-water heat pump were compared. First, the project of a private house was examined and then the necessary measurements were made to find the heat loss. The analysis of the current heating system showed the real need for the new system because almost a third of the energy planned for heating the building comes from heat loss in the flue gases.

In order to obtain the results, the desired equipment resellers were contacted, who prepared a price offer and provided important information. In the case of the heating system, it was twice as expensive to install a ground source heat pump, and the payback period was also too long, is 26 years. The payback period was made long by the fact that the heating pipes should be installed on a borehole basis. For the air-to-water pump, the payback period was 13 years, which is lower than the expected life. Thus, based on the calculations, an air-to-water heat pump is selected as the new heating system device. The analysis also revealed that the price of electricity will increase during the coldest periods. Unfortunately, the efficiency of an air-to-water heat pump is most sensitive to cold weather, and therefore different heating system solutions should probably be combined.

The fossil energy reserves of the home planet are declining rapidly. Solar and wind heating systems must be introduced.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Hoonete energiatõhusus - Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium.
<https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hooneteenergiatohusus> (14.01.2019)
2. Tuhaplokk - ehituslikud näitajad
<https://bauroc.ee/projekteerijale/tehnilised-naitajad/> (28.04.2021)
3. Saksa tüüpi välisuks – tehnilised näitajad
<https://www.arugrupp.ee/akna-ja-uksetehas/puit-ja-puitaluiniiniumtooted/valisuksed/saksa-tuupi-valisuks/aru-nordic-ed-g-92-in-sissepoole-avanevad-valisuksed> (28.04.2021)
4. Hele puitbrikett – tehnilised andmed
<https://www.briketipoisid.ee/#taltech-certificate-3> (05.02.2021)
5. Geoportaal – Maaamet
<https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo> (05.05.2021)
6. EVS-EN 12831-1:2017 Hoonete küttesüsteemid lk 29. (05.2003)
7. Riigiteataja – Plaanilised andmed Eesti kliimaatiliste piirkondade kohta
<https://www.riigiteataja.ee/akt/12930302> (11.08.1997)
8. Soojuspumbaliit – õhk-vesi soojuspumbad
<http://www.soojuspumbaliit.ee/Ohk-vesi-soojuspumbad> (15.05.2021)
9. Soojuspumbaliit – Maasoojuspumbad
<http://www.soojuspumbaliit.ee/Maasoojuspump> (15.05.2021)
10. Prokliima - Maasoojuspump
<https://prokliima.ee/tooted/maasoojuspumbad/nibe-f1155/nibe-f1155-12/>
(20.05.2021)
11. Mitsubishi electric. (04.2020) ecodan r32 air to water heat pumps – *databook*. Japan.
Lk A-53
12. Riigi Ilmateenistus - Vaatlusandmed
<https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/oopaevaandmed/>
(23.05.2021)

13. Eesti Energia – keskmised elektri börsi hinnad.
<https://www.energia.ee/era/elekter/elektritur> (23.05.2021)
14. Energiasääst. - Majandus- ja Kommunikatsiooni ministeerium
<https://www.mkm.ee/et/tegevused-eesmargid/energeetika/energiasaast>(24.05.2021)
15. EVS 908-1:2016 Hoone piirdetarindi soojuslähivuse arvutusjuhend. Osa 1:
Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire lk 28. (05.2010)
16. Soojuspumbaliit – õhk-vesi soojuspumbad
<http://www.soojuspumbaliit.ee/Soojuspumba-toopohimote> (15.05.2021)
17. Soojuspumbad – Õhk-vesi soojuspumbad
<https://www.soojuspumbad.com/tooted/atlantic-alfea-excellia-a-i-tri-11/>(25.05.2021)

LISAD

Lisa 1. Atlantic/Alfea Excellia A.I. tri 11 tehnilised andmed


Ärinimi / Toote nimetus: Atlantic / Alfea Excellia A.I. ...	11		14		tri 11		tri 14		tri 16			
Ekspordikood (varuga)	526350		526351		526352		526353		526354			
Kütteseadmed	35°C	55°C	35°C	55°C	35°C	55°C	35°C	55°C	35°C	55°C		
Deklareeritud osalise koormusega jõudlustegurid sisetemperatuuri jaoks 20°C ja välistemperatuuri jaoks T _j												
T _j = -7°C	COP _d	-	2,57	1,89	2,51	1,89	2,70	1,92	2,54	1,95	2,43	1,83
T _j = +2°C	COP _d	-	3,65	2,80	3,60	2,77	3,70	2,75	3,70	2,87	3,62	2,89
T _j = +7°C	COP _d	-	5,35	3,76	5,35	3,89	5,49	3,93	5,39	4,07	5,51	4,12
T _j = +12°C	COP _d	-	6,90	4,81	6,90	5,11	7,09	5,16	7,04	5,38	7,16	5,50
T _j = bivalentne temperatuur	COP _d	-	2,57	1,89	2,51	1,89	2,70	1,92	2,54	1,95	2,43	1,83
T _j = töotemperatuuri piir	COP _d	-	2,24	1,66	2,38	1,67	2,29	1,61	2,40	1,64	2,28	1,63
Õhk-vesi-soojuspumpade puhul: töotemperatuuri piir	TOL	°C	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
Maksimaalne töotemperatuur vee kütisel	WTOL	°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Varukütteseade												
Nominaalne soojusväljund ⁽²⁾	P _{sup}	kW	1,3	1,3	1,7	2,1	1,4	1,2	1,7	2,0	1,9	2,7
Kasutatav energiatüüp	-	-	Elektriline									
Elektrienergia tarbimine muudel režiimidel peale aktiivse režiimi												
Seiskamisrežiim	P _{OFF}	W	8	8	8	8	14	14	14	14	14	14
Termostaadi seiskamisrežiim	P _{TO}	W	45	22	72	25	44	32	66	43	88	32
Ooterežiim	P _{SB}	W	12	12	12	12	17	17	17	17	17	17
Korpuse vastupanurežiim	P _{CK}	W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muud omadused												
Võimsuse reguleerimine	-	-	Muundur									
Õhk-vesi-soojuspumpade puhul, nominaalne õhu voolukiirus, välistingimused	-	m ³ /h	6200							6900		

⁽¹⁾ Arvutusandmed on saadaval pakendi infolehel. Siseruumi üksus viitab anduritele, termostaatidele ja kaugjuhtimispuhtidele, mis on komplektidega kaasas või mitte.

⁽²⁾ Ruumide kütmiseks mõeldud ja kombineeritud soojuspumpade puhul võrdub arvutuslik soojusväljund P_{nominaalne} arvutusliku kütteväärtusega P_{designh}, ning varukütteseadme arvutuslik soojusväljund P_{sup} võrdub täiendava varukütteseadme arvutusliku kütteväärtusega (T_j).

⁽³⁾ Kui C_{dh} ei määrata mõõtmise teel, on vaikselt kaotegur C_{dh}=0,9.

Lisa 2. Nibe F1155-12 tehnilised andmed

Model(s):		NIBE F1155-12 + VPB300					
Type of heat source/sink:		Brine-to-water					
Low-temperature heat pump:		No					
Equipped with supplementary heater:		Yes					
Heat pump combination heater:		Yes					
Climate condition:		Average					
Temperature application:		Medium temperature (55 °C)					
Applied standards: EN14825 and EN16147							
Rated heat output	Prated	12,4	kW	Seasonal space heating energy efficiency	η_s	157	%
<i>Declared capacity for part load at outdoor temperature Tj</i>				<i>Declared coefficient of performance for part load at outdoor temperature Tj</i>			
Tj = -7 °C	Pdh	11,1	kW	Tj = -7 °C	COPd	3,18	-
Tj = +2 °C	Pdh	6,8	kW	Tj = +2 °C	COPd	4,12	-
Tj = +7 °C	Pdh	4,4	kW	Tj = +7 °C	COPd	4,67	-
Tj = +12 °C	Pdh	2,6	kW	Tj = +12 °C	COPd	5,06	-
Tj = biv	Pdh	12,3	kW	Tj = biv	COPd	2,91	-
Tj = TOL	Pdh	12,3	kW	Tj = TOL	COPd	2,91	-
Tj = -15 °C (if TOL < -20 °C)	Pdh		kW	Tj = -15 °C (if TOL < -20 °C)	COPd		-
Bivalent temperature	T _{biv}	-10	°C	Operation limit temperature	TOL	-10	°C
Cycling interval capacity for heating	P _{cyh}		kW	Cycling interval efficiency	COP _{cyh}		-
Degradation co-efficient	C _{dh}	0,99	-	Heating water operating limit	WTOL	65	°C
<i>Power consumption in modes other than active mode</i>				<i>Supplementary heater</i>			
Off mode	P _{OFF}	0,005	kW	Rated heat output	P _{sup}	0,1	kW
Thermostat-off mode	P _{TO}	0,015	kW				
Standby mode	P _{SB}	0,007	kW	Type of energy input	Electric		
Crankcase heater mode	P _{CK}	0	kW				
<i>Other items</i>							
Capacity control	variable			Rated air flow rate, outdoors			m ³ /h
Sound power level, indoors/outdoors	L _{WA}	44/-	dB				
Annual energy consumption	Q _{HE}	6213	kWh	Rated brine or water flow rate, outdoor heat exchanger		1,46	m ³ /h
<i>For heat pump combination heater:</i>							
Declared load profile	XXL			Water heating energy efficiency	η_{wh}	102	%
Daily electricity consumption	Q _{elec}	9,62	kWh	Daily fuel consumption	Q _{fuel}		kWh
Annual electricity consumption	AEC	2112	kWh	Annual fuel consumption	AFC		GJ
Approved by:							
Contact details	© NIBE Energy Systems - Box 14 - Hannabadsvägen 5 - 28521 Markaryd - Sweden						

Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Jalmar Hövel,

(autori nimi)

sünniaeg 02.06.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

Eramu energiasäästlikum lahendus,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on Toivo Kabanen,

(juhendaja(te) nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Jalmar Hövel

(allkirjastatud digitaalselt)

Tartu, 28.05.2021

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Toivo Kabanen

(juhendaja nimi ja allkiri)

28.05.2021

(kuupäev)