



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**SERVERIMOODULI LISAMISE MAJANDUSLIK MÕJU
PÄIKESEPANEELIDE JA
SOOJUSTAGASTUSSÜSTEEMIGA KORTERIÜHISTULE**

THE ECONOMIC EFFECT OF ADDING A SERVER MODULE TO AN APARTMENT
BUILDING WITH SOLAR PANELS AND A HEAT RECOVERY SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Henry Ginter
/ nimi /

Üliõpilaskood: 153289AAVM

Juhendaja: Lauri Kütt
/ nimi /

Tallinn, 2018.a.

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Henry Ginter	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Serverimooduli lisamise majanduslik mõju päikesepaneelide ja soojustagastussüsteemiga korteriühistule.	
<i>Kuupäev:</i> 25.05.2018	60 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja):</i> Lauri Kütt	
<i>Töö konsultant :</i> Karl Kull	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Lõputöö eesmärgiks oli analüüsida, kuidas mõjutab serverimooduli jääksoojuse ära kasutamine objekti päikesepaneelide ja soojustagastussüsteemi investeeringute tasuvust. Selleks sai välja valitud objekt korteriühistu Pärnu mnt. 135, Tallinn.</p> <p>Arvuti jääksoojuse süsteemi integreerimise tehniliseks lahenduseks oli paigaldada serverimoodul katusel asuva vesi-õhk soojuspumba ning boileriruumis asuva vesi-vesi soojuspumba vahele.</p> <p>Arvuti riistvara valiti krüptoraha kaevandamise tulususe ning tuleviku masinõppe suutlikkuse järgi.</p> <p>Soojusvaheti variantideks olid vesijahutus, mineraalõli jahutus ning madala keemistemperatuuriga inertvedeliku jahutus. Valmis sai ehitatud prototüüp, millega saab katsetada kahe viimast varianti.</p> <p>Objekti ajalooliste tarbimisandmete põhjal sai valmistatud mudel MS Exceliga. Antud mudeliga sai katsetada olemasoleva süsteemi tööd ning kuidas mõjutab energiabilanssi serverimooduli lisamine jääksoojuse allikana.</p> <p>Valmis sai tehtud ka NPV arvutuse mudel, mille põhjal sai võrrelda baasstsenaariumi ning erinevaid serverimooduli riist- ja tarkvara kombinatsioone ning elektrilisi ja soojuslikke võimsusi.</p>	
<i>Märksõnad:</i> päikeseenergia, arvutite jääksoojus, ventilatsiooni soojustagastus, kaugküte, taastuva energia toetused, krüptoraha, soojuspump	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Henry Ginter	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> The economic effect of adding a server module to an apartment building with solar panels and a heat recovery system.	
<i>Date:</i> 25.05.2018	60 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Lauri Kütt <i>Consultant(s):</i> Karl Kull	
<i>Abstract:</i> The purpose of the thesis is to analyse how the utilization of computer waste heat affects the profitability of investments to solar panels and ventilation heat recovery systems. For this an apartment building Pärnu mnt 135, Tallinn was chosen as an example. The technical solution to recover the waste heat from the computer is the following: install the server module in between the pumps on the roof and in the building utilities room. The computer hardware was chosen by the profitability of cryptocurrency mining and the ability to perform machine learning services. For heat exchange there were 3 solutions that were considered: watercooling, mineral oil cooling and 2 phased immersion cooling. A prototype was built with a purpose to test the latter two. An energy model was created in MS Excel using the historic data of the building. The model enabled testing the existing system and how does adding a server module as an additional heat source affect the energy balance of the building. A Net Present Value (NPV) model was made. The profitabilities of different hardware and power capacities were compared to the base scenario.	
<i>Keywords:</i> solar power, computer waste heat, ventilation heat recovery, district heating, renewable energy subsidies, cryptocurrency, heat pump	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	6
Teema põhjendus.....	6
Töö eesmärk	6
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	7
Lähteandmed	7
Eessõna	7
Sissejuhatus.....	8
1. Hajutatud serveripargi mudel.....	9
1.1. Elektriradiaatori asendus	10
1.2. Uuritav lahendus: Serveri paigutamine soojustagastussüsteemiga hoonesse.....	11
1.3. Objekti kirjeldus.....	15
2. Arvuti poolt tehtava töö valik	18
2.1. Arvuti riistvara stsenaariumid	18
3. Serveri soojusvaheti variandid.....	23
3.2. Mineraalõlijahutus.....	25
3.4. Soojusvaheti variantide kokkuvõte	30
3.5. Soojusvaheti prototüübi ehitus	30
3.6. Arvutusseadme paigalduse investering	33
4. Uue kaugkütte ning elektrienergia tarbe arvutus	34
5. Tasuvuse arvutused.....	47
5.1. Diskontomäära valik	47
5.2. Elektri- ja soojusehinna valik	47
5.3. STS	48
5.4. STS + PV.....	49
5.5. Serverimooduli lisamine süsteemi.....	51
5.6. ASIC stsenaarium.....	52
5.7. GPU stsenaarium.....	53
5.8. GPU2 stsenaarium.....	54
5.9. Stsenaariumite võrdlused	56
6. Erinevate võimsuste tasuvuse arvutused.....	56
Lõputöö kokkuvõte	65

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema: Serverimooduli lisamise majanduslik mõju päikesepaneelide ja soojustagastussüsteemiga korteriühistule.

Üliõpilane, üliõpilaskood: Henry Ginter, 153289AAVM

Eriala: Elektroenergeetika

Lõputöö liik: magistritöö

Lõputöö juhendaja: Lauri Kütt

Lõputöö ülesande kehtivusaeg: 31.12.2018

Lõputöö esitamise tähtaeg: 25.05.2018

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktor (allkiri)

Teema põhjendus

Viimasel ajal on palju riiklikult toetatud üle maailma taastuvenergia projekte eesmärgiga vähendada CO₂ emissioone. Selle tulemusena on tehtud mitmeid investeeringuid, mis tavatingimustes ei pruugi olla kasumlikud. Lisaks tavapärastele päikesepaneelidele on üsna tavaliseks muutunud ka ventilatsiooni soojustagastussüsteemid koos soojuspumpadega. Serveriparkide jääsoojus on seni vähe ära kasutatud energiaressurs. Mitte ainult ei lähe see soojus raisku, vaid selle hoonest välja juhtimiseks kulutatakse veel lisaks märkimisväärse koguse elektrienergiat. Antud töö uurib, kas serverimooduli lisamine sellistesse hoonetesse kiirendaks juba tehtud investeeringute tasuvusaega.

Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on analüüsida, kuidas mõjutab serverimooduli lisamine majanduslikult üht konkreetset korteriühistut, mis on juba investeerinud päikesepaneelidesse ning ventilatsiooni soojustagastussüsteemi.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- 3.1. Korterühistu praeguste investeeringute analüüs
- 3.2. Serverimooduli süsteemi integreerimise tehnilised võimalused
- 3.3. Serverimooduli lisamise majandusliku mõju uurimine

Lähteandmed

Hoone juba teostatud investeeringud. Hoone elektritoodang päikesepaneelidest, elektrikulu soojustagastussüsteemile ning soojuste tarbimine. Need andmed saab kätte hoone automaatikasüsteemi veebikeskkonnast Ounet.fi.

Eessõna

Lõputöö teema sai välja valitud isiklikust huvist antud valdkonna potentsiaali vastu.

Täna oma juhendajaid professor Lauri Kütt-i ning doktorant-nooremteadur Karl Kull-i, et nad olid nõus minu vastuolulist teemat juhendama.

Täna Profener OÜ töötajaid Alan Ingel-it ja Aleksander Liin-i. Ilma nendeta poleks olnud võimalik nii täpseid lähteandmeid objekti kohta saada ning arvutusmudelit valmistada.

Täna oma õde Helen Ginter-it, kes ainsa inimesena jõudis realselt mu lõputöö sõna-sõnalt läbi lugeda.

Aadress: Roopa 2-4, Tallinn, 10136

Mobiili number: 5189848

Sissejuhatus

Tänapäeva ühiskonna kasvav nõudlus infotehnoloogiliste lahenduste järele peaaegu igas eluvaldkonnas on muutnud serverikeskused ning nendes sisalduva tehnika üheks suurimaks elektritarbijaks maailmas. Selle arenguga kaasnenud hüved on vaieldamatud - kiire internet, informatsiooni liikumine ning andmete hoiustamine ja ligipääs üle maailma. Samuti on väärtuslik arvutite võime töödelda massiivseid andmeid, mida inimene ise ei suuda teha. Andmete töötlemisest on abi nii finantssektoris kui ka näiteks ilma ennustamisel, meditsiinis ja teadustöös. Rakendusi masinõppele tekib järjest rohkem juurde ning on muutumas osaks meie igapäevaelus.

Andmekeskuste energiatarbimine kasvab koos nõudlusega interneti teenuste ja andmetöötluse järele. Mõned allikad ennustavad, et 2025. aastaks tarbivad andmekeskused kuni 20% kogu maailma poolt genereeritud elektrienergiast.

Arvutiriistvara energiaefektiivsus ei ole muutunud viimased paarkümmend aastat ja umbes 99% protsessori tarbitavast elektrienergiast muundub soojuseks - sama tarbitava võimsuse kohta teostatakse küll järjest rohkem arvutustehteid, kuid enamus tarbitavast elektrienergiast eraldub soojusena transistoride sisetakistuse tõttu. Pikas perspektiivis võib antud probleemile lahendus leiduda näiteks superjuhtivate komponentide või kvantarvutite näol, kuid tõenäoliselt läheks selleni veel mõned kümnendid.

Tegelikult ongi serverikeskused mõnes mõttes soojusenergiajaamad, aga neid ei ole seni nii kasutatud. Praegu on kasvav trend püüda kasutada serverite poolt toodetud soojust lähedal asuvate kontorite ja muude pindade kütteks. Soojusvõrku ühendamisel on aga probleem selles, et serverikeskusest eralduv soojus on ainult umbes 33°C ning seda on kallis kaugele transportida - ühe meetri isoleeritud toru vedamine võib maksta kuni 1500€.

Antud lõputöös uuritakse serveri mooduli paigaldamist korteriühistu boileriruumi lisanduva soojusallikana. Projekt viiakse läbi Tallinnas asuvas kortermajas, kus on hiljuti lõpetatud renoveerimistööd. Serverimoodul paigaldatakse katusel asuva soojustagastusagregaadi ning boileriruumis asuva soojuspumba vahele. Eesmärk on näha, kuidas mõjutab seadme lisamine:

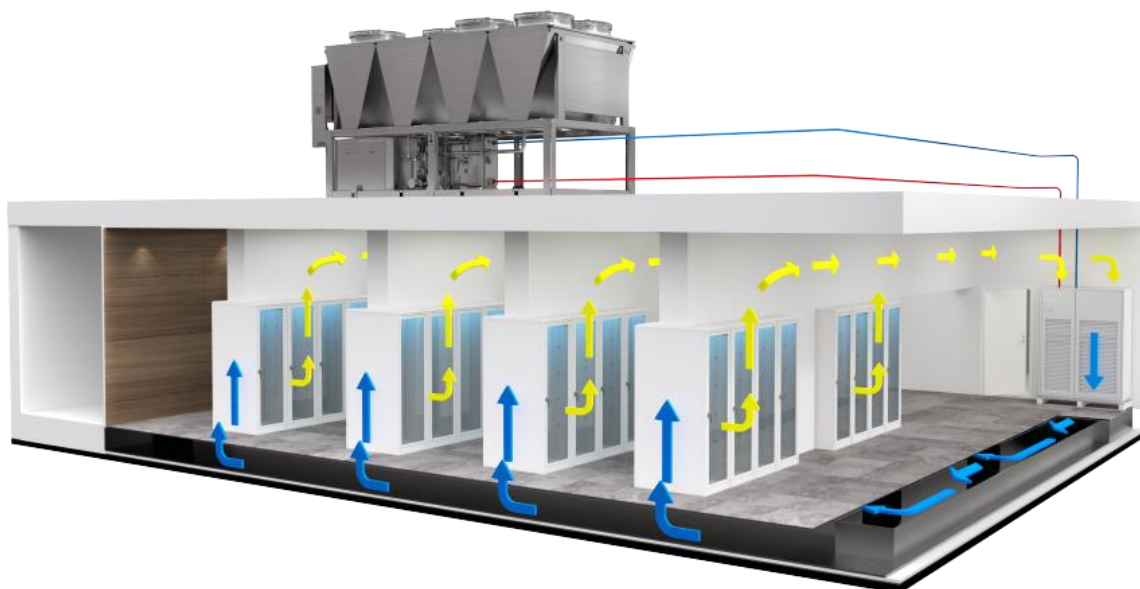
- elektri- ja soojusenergia bilansi
- päikesepaneelide ja ventilatsiooni soojustagastussüsteemi investeeringute tasuvust

1. Hajutatud serveripargi mudel

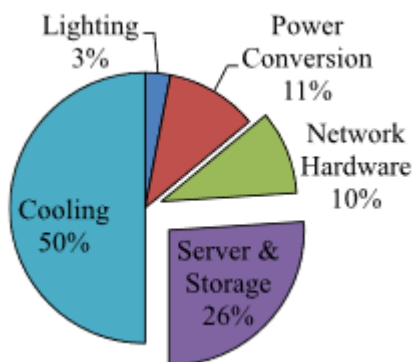
Serveripargi soojuse kasutamine ei ole enam uus lahendus, vaid kasvav trend. Nagu eespool kirjeldatud, uute serveriparkide projekteerimisel tõenäoliselt kaalutakse juba kõikides projektides jääsoojuse kasutamist kas sama hoone kütteks, lähedal asuva büroohoone kütteks või kohaliku soojussõlmega liitumist. Lisaks tavapärasele andmekeskustele on ka mudeleid, kus serverimoodulid endid paigaldatakse soojustarbijate juurde.

Tüüpiline serveripargi integratsioon soojustarbija juurde

Joonisel 1 on tüüpilise serverikeskuse jahutusmudel. [4] Sellise mudeli puhul toimub serveriruumis õhuringlus, kus põrandalt tuleb jahutatud õhk, mis seejärel soojeneb pärast arvutite radiaatorite läbimist ning juhitakse lae alt õhk-vesi soojusvahetisse. Sealt edasi juhitakse jääsoojus vedeliku kujul katusel asuvatesse jahutustornidesse. Joonisel 2 on näha elektri tarbimise jaotumist. Kogu jahutusprotsess on äärmiselt energiakulukas ning võib tarbida kuni 50% kogu andmekeskuse elektrienergiast. Nimelt kõigest 26% elektrist kulub reaalsele arvutustööle. Seega jahutusele kuluva energia vähendamine ja jääsoojusele rakenduse leidmine oleks serverikeskuse omanikele väga väärtuslik.



Joonis 1. Tüüpilise serverikeskuse jahutusmudel



Joonis 2. Andmekeskuse elektri tarbimise jaotus

Arvutitelt eralduv jääksoojus on umbes 25 - 35 °C. Selleks, et juhtida nii madala temperatuuriga soojust keskküttesse, on vaja investeerida soojuspumpa. Kuna see on võrdlemisi suur lisainvesteering, peab serverikeskuse omanik veenduma, et tal on olemas pikaajaline klient soojuse müümiseks.

1.1. Elektriradiaatori asendus

Mõned *start-up* id on loomas täiesti detsentraliseeritud mudeleid, tuues serverimooduli otse tuppa, kus soojust vaja on. Qarnot puhul ehitatakse suurte mõõtmetega passiivsed radiaatorid, mis on spetsiaalselt loodud konkreetse arvutiriistvara jaoks. Selle mudeli puhul on probleem selles, et kui riistvara amortiseerub umbes 3-5 aastaga, siis on vaja välja vahetada ka radiaator. Selle lahenduse puhul on suur piirang arvuti töötundidele – elektriradiaator töötab üldiselt ainult siis kui on sooja vaja.



Joonis 3. Qarnot serverimoodul-elektriradiaator

Teine innovaatiline ettevõtte on Nerdalize. Nemad alustasid umbes sarnase elektriradiaatori mudeliga, kuid tänaseks on nende lahendus muutunud. Kasutades vesijahutust, nad suunavad

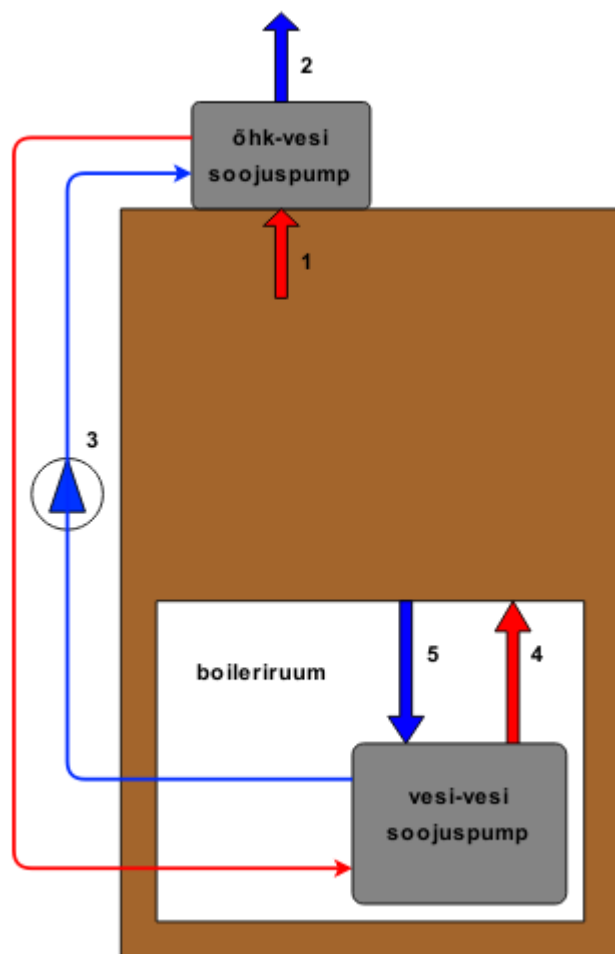
kuuma vee boilerisse. See tähendab, et nad ei paku kütteenust, vaid sooja vett tarbimiseks. Nende koduleht ei selgita, kas nende lahenduse puhul arvutid saaksid töötada ka sellel ajal kui soojust vaja ei lähe. Nende ärimudeli kohaselt nad paigaldavad seadme hoonesse tasuta ning maksavad kinni seadme tarbitud elektri. Ei ole veel selge, kas selline ärimudel on kasumlik.



Joonis 4. Nerdalize serverimoodul, mis toodab kuuma tarbevett

1.2. Uuritav lahendus: Serveri paigutamine soojustagastussüsteemiga hoonesse

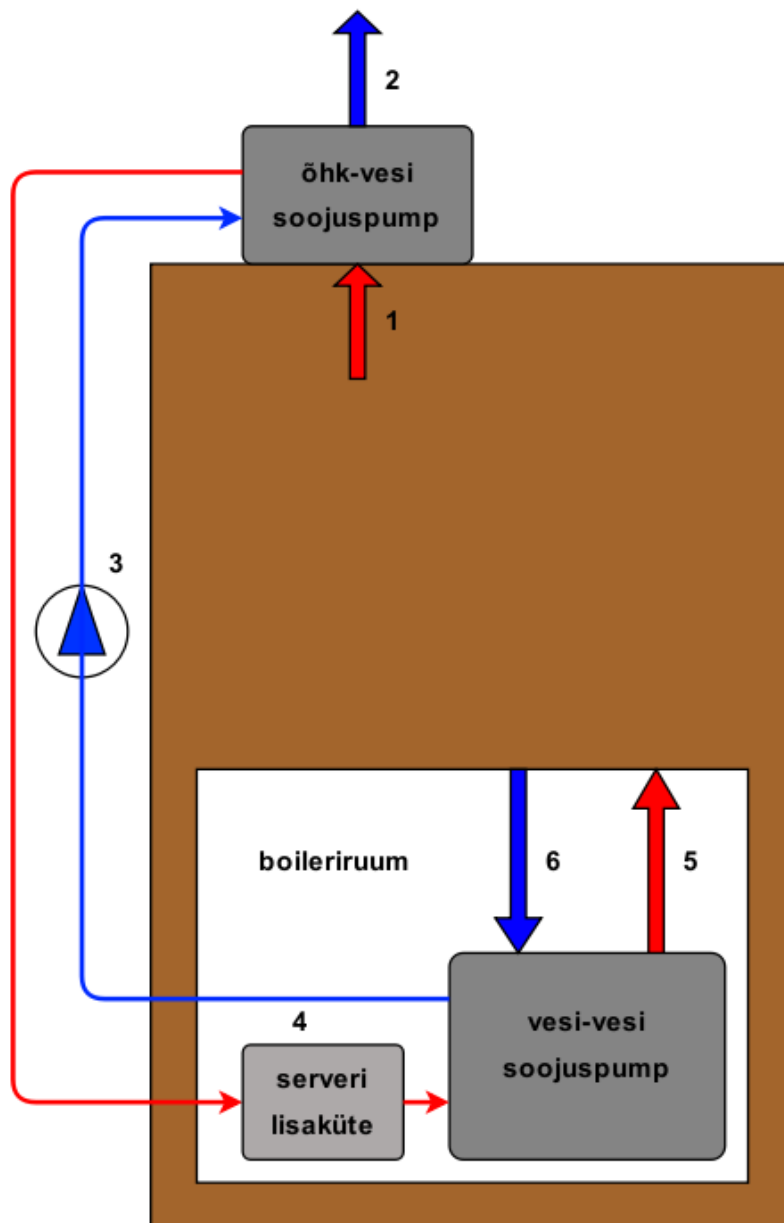
On olemas küll lahendusi, kus eraldi serverite soojuse ära kasutamiseks on paigaldatud eraldi torustik ning soojuspump. Antud töös uuritakse uut ideed - nimelt paigaldada seade hoonesse, kus on juba välja ehitatud ventilatsiooni soojustagastuse süsteem (edaspidi STS). Joonisel 5 on näha sellise süsteemiga hoone põhimõtteskeemi: toatemperatuuriga õhk juhitakse ventilatsiooni kaudu katusele õhk-vesi soojusvahetisse ja soojendatud vesi pumbatakse boileriruumis asuvasse soojuspumpa, mis toodab küllalt kõrge temperatuuriga vett, mida saab kasutada kütteks ja tarbeveeks.



Joonis 1. Soojustagastussüsteemi põhimõtteskeem. 1 – ventilatsiooni soe õhk; 2 – ventilatsiooni õue minev õhk; 3 – tsirkulatsioonipump; 4 – soojendatud vesi keskküttesse ja tarbevette; 5 – ära tarbitud soojusega vesi. Plaan on lisada serverimoodul antud süsteemi katusel asuva ning boileriruumis asuva soojuspumba vahele. Põhimõtteskeemi on näha joonisel 6.

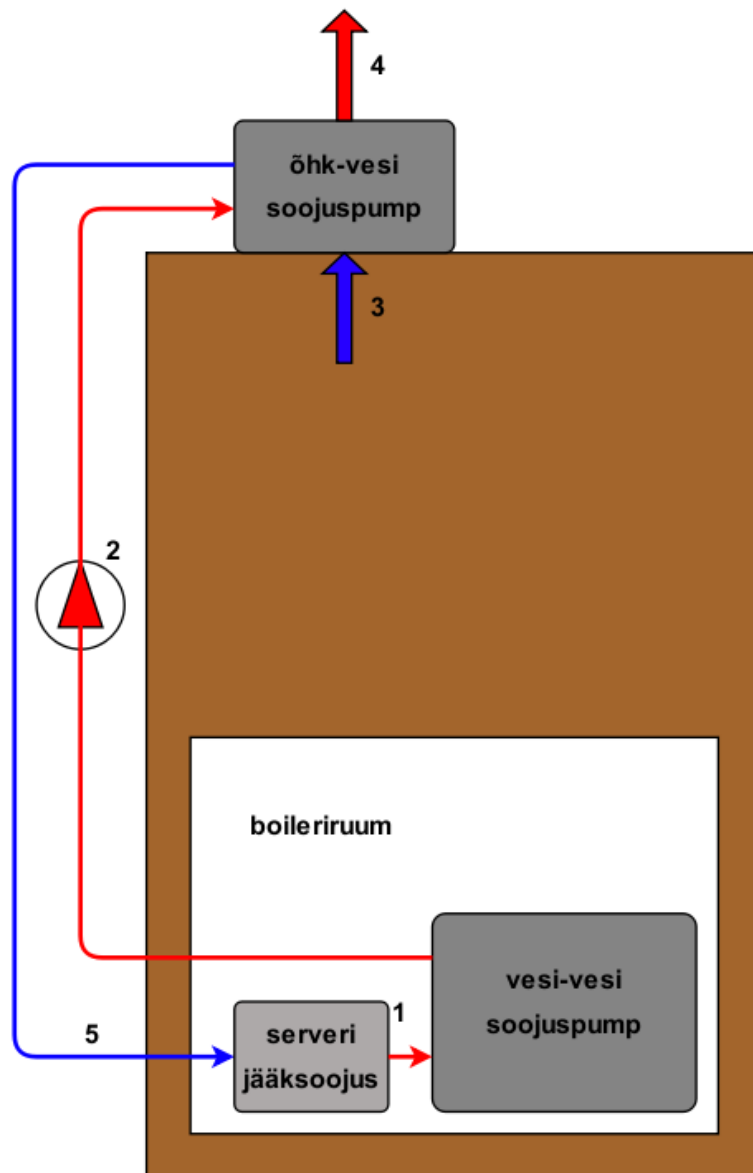
Sellisel mudelil on mitmeid eeliseid:

- Seade tõstab soojuspumba sisse saabuva vee temperatuuri, mis tähendab, et lisaks täiendavale küttele on hüpoteetiliselt võimalik, et tõuseb ka soojuspumba kasutegur.
- Kui soojustarbimist ei ole, on võimalik juhtida kontuuris olevat vett edasi serverimudeli ja katusel oleva soojusvaheti vahel. See tähendab, et arvutit on võimalik maha jahutada aasta ringi sõltumata soojuse tarbimisest (Joonis 7).
- Seade kasutab hoones juba olemasolevat infrastruktuuri – isoleeritud pind, elekter, internet, keskkütte süsteem.



Joonis 6. Serverimooduli lisaküttega süsteemi põhimõtteskeem töötava soojuspumba korral. 1 – ventilatsiooni soe õhk; 2 – ventilatsiooni õue minev õhk; 3 – tsirkulatsioonipump; 4 – serveri lisaküte; 5 - soojendatud vesi keskküttesse ja tarbevette; 6 – ära tarbitud soojusega vesi

Joonisel 6 on näha põhimõtteskeemi, kui soojuspump on töös. Üldine tööpõhimõte on sama nagu Joonisel 5. Ainuke vahe on, et katuselt boileriruumi saabuv soojendatud vesi läheb algul läbi serveri jahutuskontuuri ning alles siis soojuspumpa. Selle tulemusena saab arvutitelt jääksoojus juhitud hoone küttekontuuri.



Joonis 7. Serveri jääsoojuse välja juhtimise skeem soojuse tarbimise puuduse puhul:

1 – serveril tekib jääsoojus 2- tsirkulatsioonipump ajab kontuuri ringi 3 – toatemperatuuriga õhk soojuspumba sisse 4 – soojendatud õhk õue 5 – jahutatud vedelik jõuab ringiga tagasi

Joonisel 7 on näha, kuidas süsteem jahutab arvutit, kui hoone parajasti soojust ei tarbi. Boileriruumis asuv soojuspump jääb seisma, aga tsirkulatsioonipump hoiab kontuuri liikumises. Ventilatsioon tõmbab õhku välja ning juhib arvuti poolt toodetud jääsoojuse õue.

1.3. Objekti kirjeldus

Projekti jaoks valiti hoone Tallinnas aadressiga Pärnu mnt 135.

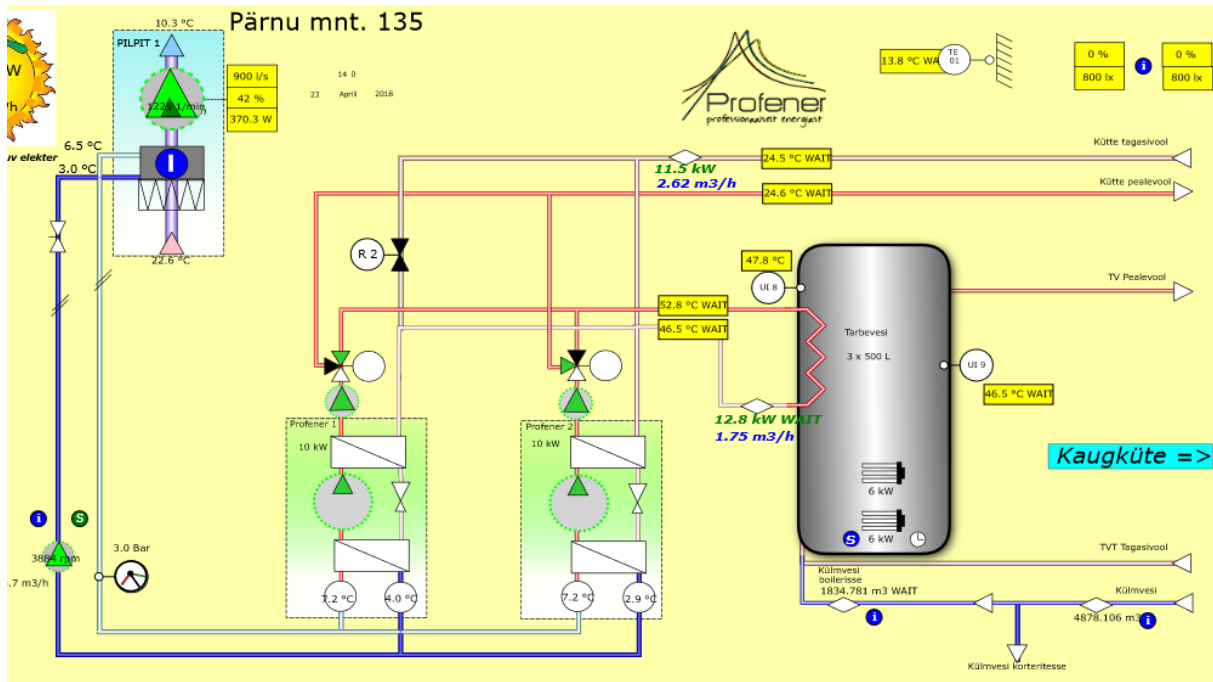


Joonis 8 Pärnu mnt 135 korteriühistu

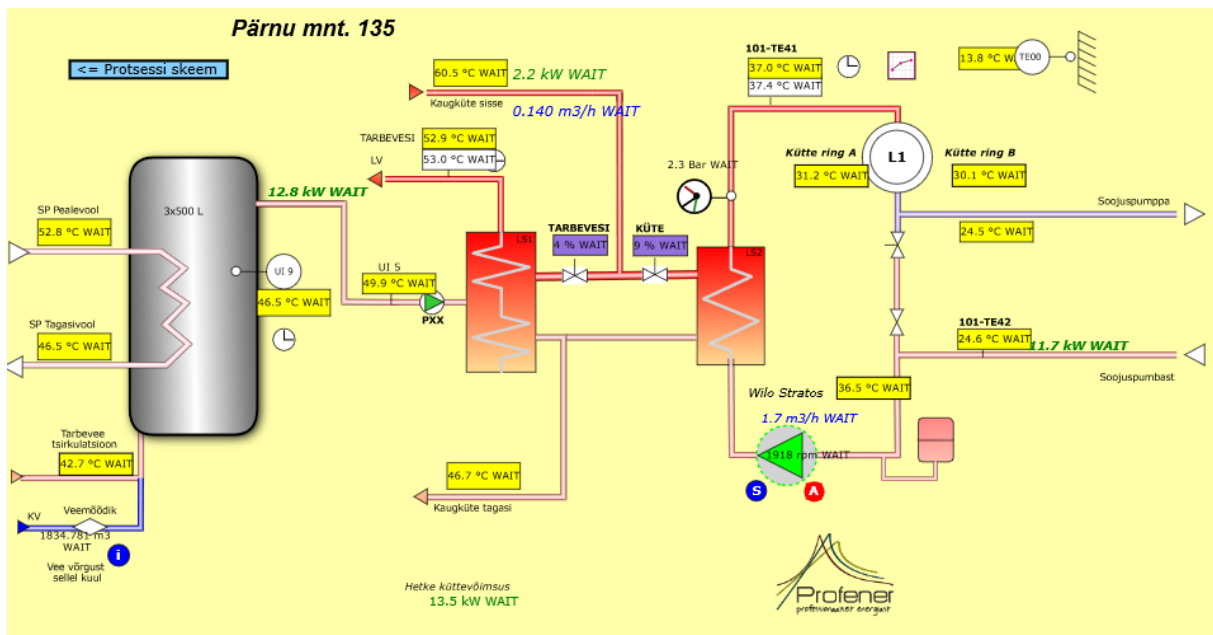
Tegemist on korteriühistuga, mida renoveeriti aastal 2016. Paranduse käigus teostati järgnevad tööd:

- Soojustuse uuendus
- Paigaldati ventilatsiooni soojustagastussüsteem koos soojuspumpadega
- Paigaldati katusele päikesepaneelid

Kogu hoone keskküte ja selle automaatika käib Oumani seadmete abil. Oumanil on välja arendatud veebikeskkond, kus on võimalik vaadelda ning juhtida süsteemi. Joonisel 9 on näha hoone soojuspumpade põhimõtteskeemi ning andurite temperatuuri näite. Korraga töötab 2 soojuspumpa „Profener 1“ ja „Profener 2“. Mõlemad saavad soojuse katusel asuvast õhk-vesi soojuspumbast „Pilpit 1“.



Joonis 9. Hoone soojuspumpade skeem Ounet keskkonnast



Joonis 10. Hoone kaugkütte skeem Ounet keskkonnast

Joonisel 10 on näha kütte-ringi, tarbevee mahutit ning soojussõlmest tarbitavat energiat.

Tabel 1. Hoone energia tarbimise raport aastal 2017

Kuu:	Jaanuar				
Arvesti näidud:	01/01/2017 ... 00:00 ... 31/12/2017 ... 23:59 ...				Teosta
Tallinn Pärnu mnt. 135	<i>Algus</i>	<i>Lõpp</i>	Kokku		
SP toodang küttesse	49.91 MWh	143.71 MWh	93.80 MWh	-	51.2 %
SP toodang sooja vette	34.16 MWh	74.58 MWh	40.42 MWh	-	22.1 %
Kaugküte	24.67 MWh	73.72 MWh	49.05 MWh	-	26.8 %
Soojusenergia kokku	108.74 MWh	292.01 MWh	183.27 MWh	-	100 %
Päikeseelektri müük	1.22 MWh	5.15 MWh	3.93 MWh	-	38.3 %
Päikeseelektri omatarve	5.41 MWh	11.75 MWh	6.34 MWh		61.7 %
Päikeseelekter kokku	6.63 MWh	16.90 MWh	10.27 MWh		100.0 %
Soojustagastusele kulunud elekter	30.80 MWh	70.50 MWh	39.70 MWh		91.6 %
Ostetud elekter	31.46 MWh	68.47 MWh	37.01 MWh		85.4 %
Valgustus ja muud tarbijad			3.65 MWh		8.4 %
Tarbitud elekter kokku			43.35 MWh		100%
Soojendatav vesi	617.876 m ³	1523.635 m ³	905.759 m ³		49.9 %
Külm vesi	1869.716 m ³	2777.895 m ³	908.179 m ³		50.1 %
Tarbevesi kokku	2487.592 m ³	4301.530 m ³	1813.938 m ³		100%
Energiat ventilatsioonist			134.22 MWh		
Sellele kulunud elektrienergia			39.70 MWh		
COP			3.4		
	-			-	
"Tasuta" energiat ventilatsioonist	94.52 MWh			-	70.4 %

Tabelist 1 on näha hoone energia tarbimise ja tootmise andmeid aastal 2017. Tervelt 73% kogu tarbitavast soojusest toodeti soojuspumpade abil.

Tabelis 2 on välja arvatud kui palju korteriühistu säästis eurodes kasutades soojuspumpasid võrreldes kogu energia soojussõlmest ostmisega. Siin arvutuses ei arvestata, et osa tarbitavast elektrist oli toodetud päikesepaneelide abil.

Tabel 2. Majanduslik sääst 2017. aastal soojuspumpade süsteemil kasutamisest

<i>Teenus</i>	Tarbitud energia MWh	Hind €/MWh	Maksumus €
<i>Elektrienergia</i>	39.7	33,2	1318
<i>Võrguteenus</i>	39.7	52,8	2096
<i>Energia ventilatsioonist</i>	134,2	49.9	6705
<i>Sääst</i>			3291

2. Arvuti poolt tehtava töö valik

Erineva otstarbega arvutid toodavad ajas erineva koguse soojust. Andmete hoiustamiseks kasutatavad serverid töötavad peamiselt säästurežiimis ning ei tooda erilist soojusenergiat.

Märksa suuremad energiatarbijad on masinõppe ja renderduse serverid, kus masinas töötavad täiskoormusega 1 või rohkem graafikakaarti, kuid ka nendel masinatel sõltub soojuse tootmise graafik ette antavast tööst.

Viimasel ajal on populaarseks muutunud krüptoraha „kaevandamine“. Tegemist on detsentraliseeritud arvutite võrgustikuga, kus liikmeid premeeritakse konkreetse algoritmi lahendamise eest krüptorahas. Selle protsessi jooksutamine on lihtne, kuna pole vaja leida klienti ning masin saab kasumlikult töötada ööpäev ringi.

Antud projekti eesmärk on keskenduda konkreetsele hajutatud serveripargi tehnoloogilisele lahendusele ja selle tasuvusele jääksoojuse kasutamisel. Teoreetiliselt võiks nende masinate peal joosta kasulikud masinõppe ja renderduse algoritmid, mis toodavad palju sooja. Kuna masinõppe pilveteenuse pakkujaks hakkamine on aga keeruline, on praktilisem alustada antud mudelis krüptoraha kaevandamisega ning keskenduda soojusenergia kasutamisele.

2.1. Arvuti riistvara stsenaariumid

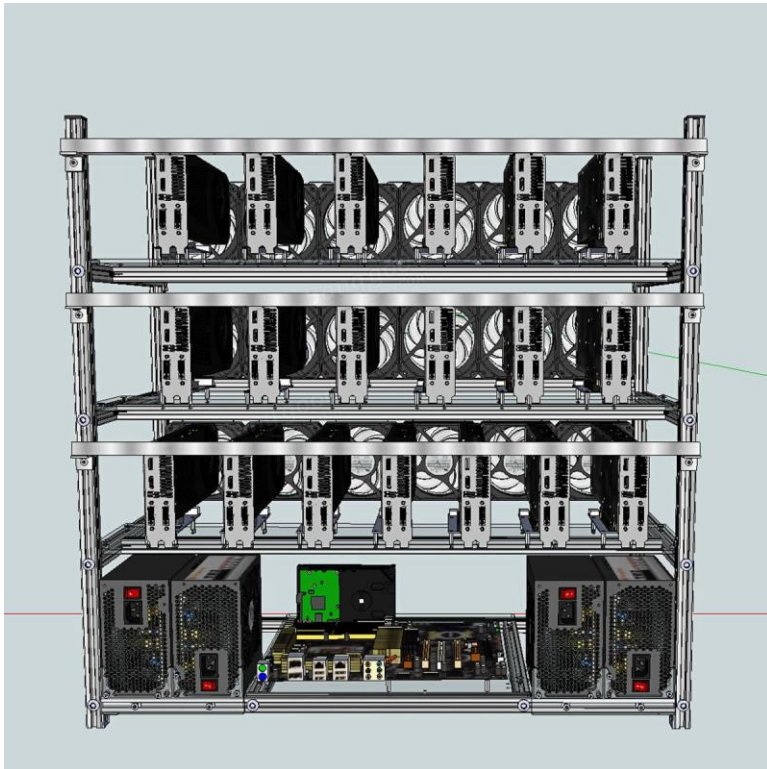
Krüptoraha kaevandamise eesmärgil ehitatava arvuti komponentide valiku kriteeriumid on lihtsad. Eesmärk on võimalikult odava hinnaga saavutada võimalikult kõrge algoritmi lahendamise kiiruse ja energiatarbe suhe. See tähendab, et riistvara jaoks on 2 valikut:

- Graafikakaartidega arvuti
- Spetsiaalse algoritmi lahendamiseks loodud kiipidega trükkplaadid (ASIC).

2.1.1. GPU stsenaarium

Tegemist on tavalise arvutiga, millele võib lisada 1 kuni 19 graafikakaarti ehk 'graphics processing unit'-it (edaspidi GPU). Need kaardid suudavad lahendada sadu erinevaid algoritme

ning neid on võimalik kasutada ka masinõppe eesmärgil. Joonisel 11 on näha, milline näeb välja 19 graafikakaardiga arvuti, mis kasutab tavalist õhkjahutust.

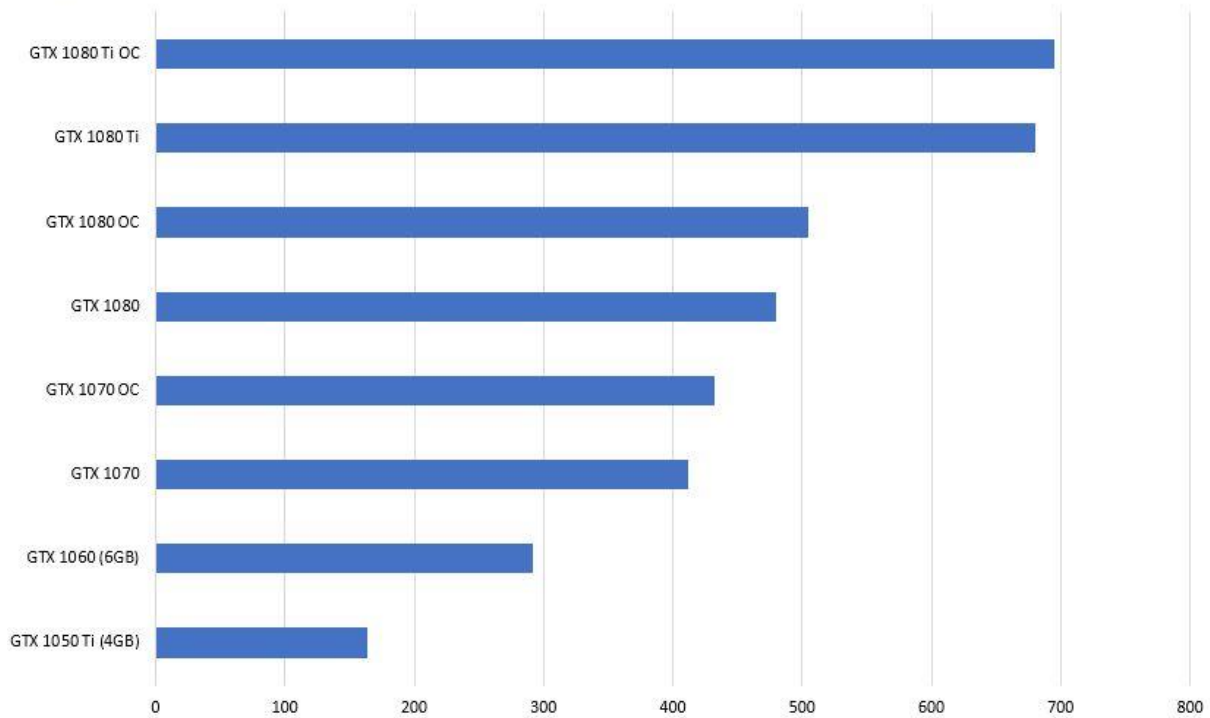


Joonis 11. 19 graafikakaardiga arvuti

Komponentide valikul kõige olulisem otsus on, millised graafikakaardid valida. Nvidia kiibiga kaarte eelistatakse oluliselt masinõppe rakendustel, mistõttu need kaardid on tuleviku perspektiivis parim valik. . Jooniselt 12 on näha, et kõige energiaefektiivsem on GTX 1080 ti kaart. Tegemist on ka kõige kallima variandiga: 29.04.18 seisuga Eestis saadaval hinnaga alates 929€. Kõrge energiatiheduse jaoks on samuti tegu hea valikuga, kuna boileriruumi projekteerides peab arvestama piiratud ruumiga. Investeeringu suurusel lähtudes on kõige kiirema tagasitasuvusajaga GTX 1060.



Zcash Mining on NVIDIA GTX Desktop GPUs Sol/s (Higher is better)



Joonis 12. Nvidia graafikakaartide equihash algoritmi lahendamise energiaefektiivsus

Ühe GTX 1080 ti graafikakaardi elektri tarbimine maksimum koormusel on 250W (tarbimine sõltub algoritmivalikust). Maksimaalne arv graafikakaarte, mida annab hetkel ühele arvutile panna, on 19 (tänu spetsiaalsele emaplaadile ASUS B250 Mining Expert). Sellise arvuti kogu võimsuseks oleks umbes 4800W. Tabelis 3 on välja toodud ühe arvuti komponentide hinnakiri ning kogu komplekt maksab kokku 18843€ (Eesti veebipoodidest 05.05.2018).

Tabel 3. Valitud arvuti komponentide hinnakiri

Komponent	Mudel	Kogus	Hind €/tk	Summa €
Graafikakaart	GTX 1080ti	19	929	17651
Emaplaat	ASUS B250 Mining Expert	1	190	190
Protsessor	Intel Celeron G3930	1	32	32
Muutmälud	CRUCIAL MEMORY DIMM 4GB	2	41	82
Kõvaketas	KINGSTON UV500 120GB	1	45	45
PCIe pikendus	Riser Adapter Card version 009S	19	9	171
Toiteplokk	QOLTEC ATX toiteplokk 1600W	3	214	642
Alumiinium raamid	(Ise kokku pandud)	1	~30	30
Kokku				18843

Tabel 4. Zcashi kaevandamise kasumlikkuse tabel

Töö algoritm	Equihash
Hashrate	13 kH/s
Aastane kaevandatud Zcash kogus	47.66 ZEC (16.05.18 keerukuse tasemega)
Aastane tulu Zcashi müügist	14871 € (turuhind 312 EUR seisuga 16.05.18)
Aastane elektrikulu	4625 € (elektrihinnaga 0.11€/kWh)
Aastane kasum	10246 €
Investeeringu tagasitasuvuse aeg	~1 aasta ja 7 kuud

Tabelis 4 on näha antud riistvara valikul saavutatud kasumlikkus. Siinjuures tuleb märkida, et krüptorahade turuhinnad ning algoritmide keerukuse tasemed muutuvad pidevalt. Mida rohkem antud krüptoraha hind tõuseb, seda rohkem hakatakse selle algoritmi lahendada, seda rohkem tõuseb antud algoritmi keerukus ja seda vähem tulu saab kaevandamise eest sama *hashrate*'i juures.

Viimaste aastate jooksul riistvara ostmise plahvatusliku kasv kaevandamise eesmärgil on tekitanud küsimuse – mis saab sellest riistvarast, kui krüptorahade kaevandamine ei ole enam kasumlik tegevus? Seda probleemi üritavad lahendada mitmed ettevõtted (näiteks Golem, DeepBrain Chain ja VectorDash). Kõigi nende firmade lähenemised on erinevad, kuid eesmärk on sama: luua detsentraliseeritud arvutustehnika rentimise turg. Selline keskkond annab igale inimesele võimaluse pakkuda oma teenuseid kliente otsimata. Tegemist on ideaalse alternatiiviga krüptorahade kaevandamisele.

Kõik nimetatud projektid on küll veel arengujärgus, kuid VectorDash on neist kõige lähemal töötavale keskkonnale. Kodulehel on välja juba toodud graafikakaartide rentimise hinnakiri.

GTX1080 ti rent saab olema 0.54 €/h. 19 kaardi korral oleks kokku hind 10.26 €/h.

Loome juurde stsenaariumi „GPU 2 stsenaarium“, kus 5% ajast masin renditakse välja ning 95% tegeleb kaevandamisega: Arvutused on Tabelis 5.

Tabel 5. „Graafikakaartidega arvuti 2“ kasumi arvutus

Töö algoritm	Equihash + Masinõpe
Hashrate	13 kH/s
Aastane kaevandatud Zcash kogus	43,85 ZEC (16.05.18 keerukuse tasemega)
Aastane tulu Zcashi müügist	13700 € (turuhind 312 EUR seisuga 16.05.18)
Aastane tulu masinõppest	4919 €
Aastane elektrikulu	4625 € (elektrihinnaga 0.11€/kWh)
Aastane kasum	18619 €
Investeeringu tagasitasuvuse aeg	~1 aasta ja 3 kuud

2.1.2. ASIC stsenaarium

Bitcoin kaevandamise kasumlikkus on kaasa toonud spetsiaalne arvutiriistvara arenduse, mis lahendab ainult ühte konkreetset algoritmi (Bitcoin puhul algoritm SHA-256). Tehnoloogia nimetus on 'application-specific integrated circuit' (edaspidi ASIC). See seade on niivõrd energiaefektiivne, et graafikakaartidega Bitcoin kaevandamine ei ole enam konkurentsivõimeline olnud juba paar aastat. Seetõttu kaevandatakse graafikakaartidega teisi krüptorahasid ja algoritme.



Joonis 13. Bitmain Antminer S9 ASIC miner

Joonis 13 on näha Bitmain toodet Antminer S9. Seade koosneb sisuliselt kolmest spetsiaalsete kiipidega trükkplaadist ning kontrolleriist, mille ainus eesmärk on interneti teel Bitcoin plokiahelaga suhtlemine. Seadet annab soetada toiteploki komplektis ning eraldi komponentide ostmise ei ole vajalik.

Seade tarbib konstantselt umbes 1250W elektrit. Antud töö stsenaariumis kasutatakse 4 sellist masinat, et saaks samasuguse soojusliku väljundvõimsuse nagu GPU stsenaariumite puhul.

Tabel 6. ASIC kaevandaja stsenaariumi tasuvuse arvutus

Töö algoritm	SHA-256
Investeeringu suurus	3418 € (4 masinat)
Hashrate	56 TH/s
Aastane kaevandatud Bitcoin kogus	1.24 BTC (16.05.18 keerukuse tasemega)
Aastane tulu Bitcoinini müügist	8688 € (turuhind 7007 EUR seisuga 16.05.18)
Aastane elektrikulu	4818 € (elektrihinnaga 0.11€/kWh)
Aastane kasum	3870 €
Investeeringu tagasitasuvuse aeg	~10 kuud

Kiirem investeeringu tagasitasuvuse aeg tundub küll atraktiivne, kuid see sõltub ühe konkreetse krüptoraha (Bitcoin) hinnast. Antud masinaga ei ole võimalik muid algoritme ega masinõpet teostada nagu graafikakaartidega arvuti puhul.

3. Serveri soojusvaheti variandid

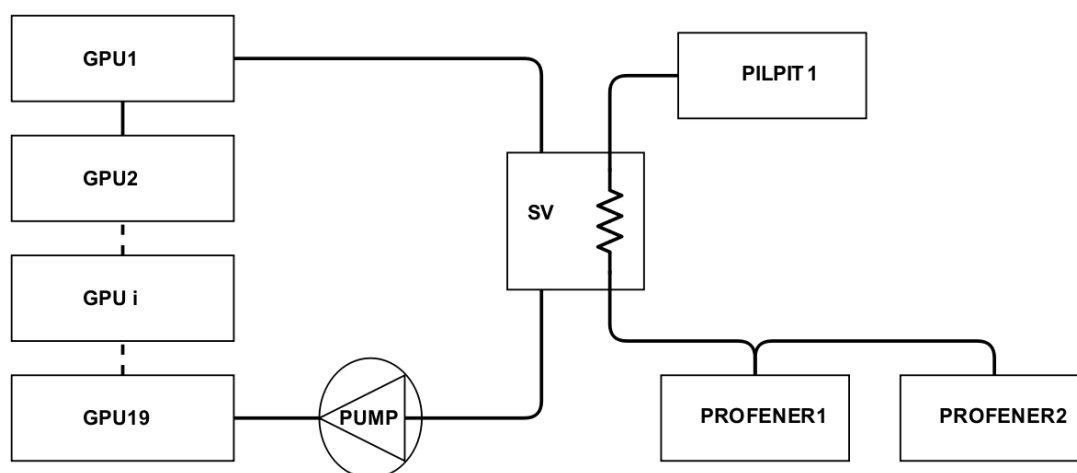
Antud projekti eesmärk on juhtida graafikakaartide kiipidelt eralduv jääsoojus katusel ning boileriruumis asuvate soojuspumpade vahelisse kontuuri, milles voolab 33%-lise piirituse lahus. Traditsiooniline õhkjahutus ei sobi antud mudelisse, kuna õhk on võrdlemisi halb soojusjuht ning õhk-vesi soojuspump võtab palju ruumi ja on kallis lisainvesteering. Oluline on kompaktsus ning vähene hoolduse vajadus (õhkjahutuse puhul koguneb tolm, mida on vaja regulaarselt puhastada).

Antud töös kaalutletakse kolme erinevat varianti graafikakaartide kiipidelt soojuse ära juhtimiseks soojuspumba kontuuri:

1. Vesijahutus
2. Mineraalõlijahutus
3. Madala keemistemperatuuriga inertvedeliku jahutus

3.1. Vesijahutus

Vesijahutusega variandi puhul on vaja soetada igale graafikakaardile eraldi vesijahutuse radiaator ja pidevalt pumbata vett ringi soojusvahetis. Teised arvutikomponendid jäävad õhkjahutusega samaks. Joonis 14 on näha vesijahutusega variandi põhimõtteskeemi. Läbi graafikakaartide radiaatorite pumbatakse vesi reservuaari. Katuseagregaadist voolab jahe piirituslahus läbi spiraalatoru soojuspumpadesse, mille tulemusena vedelik reservuaaris jaheneb ning piirituslahus torus soojeneb.



Joonis 14. Vesijahutusega soojuse süsteemi juhtimise diagramm

Tabelis 7 on välja toodud selle süsteemi komponentide hinnakiri. Tavaliselt vesijahutusel kasutatud D5 pumпасid läheb vaja kolm ning neid võiks paigutada hajevil kaartide vahele, et ühtlustada rõhku kontuuris. Kaaluda tasuks ka varianti teha kolm eraldi vesijahutuse kontuuri, mis jagavad sama reservuaari.

Tabel 7. Vesijahutusega variandi komponentide hinnakiri.

Komponent	Mudel	Kogus	Hind €/tk	Summa €
Vesijahutuse blokk	Alphacool NexXoS GPX	19	95	1805
D5 pump	Alphacool VPP655	3	85	255
Voolikud, kinnitused, reservuaar, vasest spiraalatoru				~600
Kokku				2660

Vesijahutuse eelised:

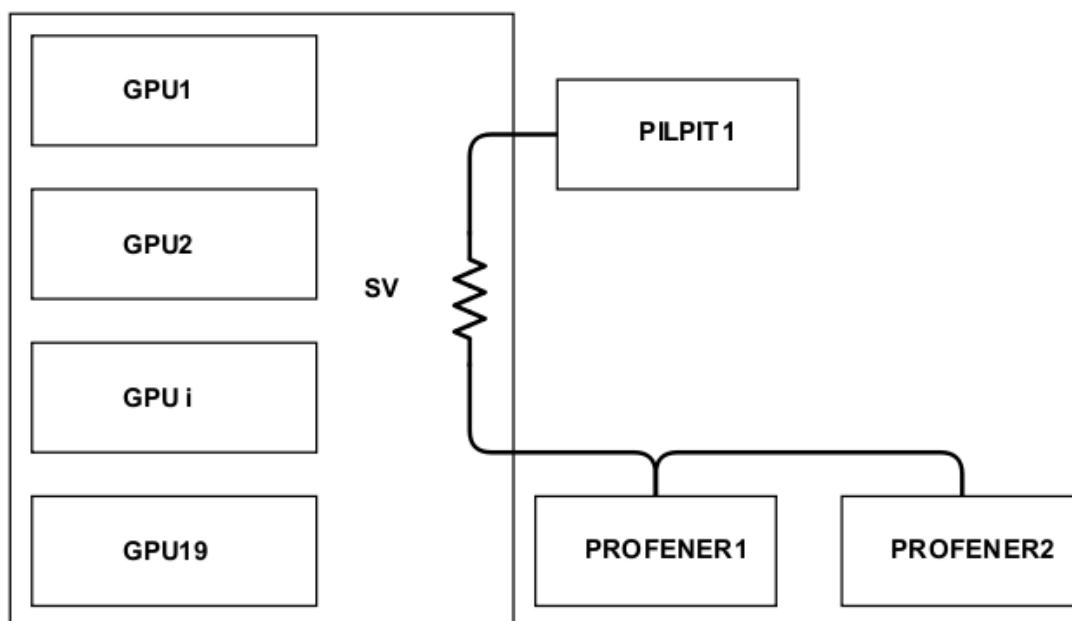
- Võrdlemisi väike lisainvesteering
- Internetis palju informatsiooni
- Populaarseim alternatiiv õhkjahutusele

Vesijahutuse puudused:

- Pumbad on lisanduvad liikuvad osad, mis tarbivad voolu, amortiseeruvad ning võivad seiskuda.
- Väga palju voolikuühendusi, millest igaüks võib lekke korral terve süsteemi lühistada.
- Radiaatorid on graafikakaardi mudeli põhised. See tähendab, et arvuti riistvara vahetamisel tuleb umbes 70% ulatuses ka vesijahutuse komponendid välja vahetada.

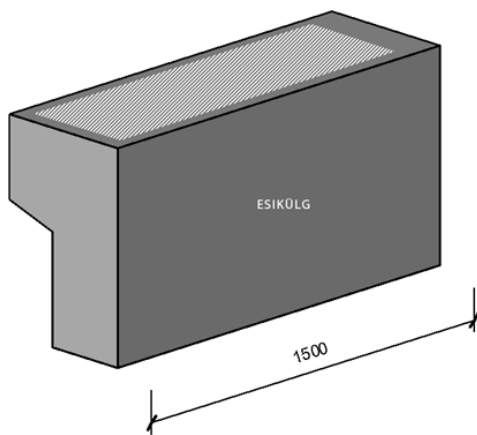
3.2. Mineraalõlijahutus

Joonisel 15 on välja toodud mineraalõlijahutusega variandi põhimõtteskeem. Kõik graafikakaardid ja teised arvutikomponendid on asetatud spetsiaalse mineraalõli sisse, mis ei juhi elektrit. Sama vedeliku sees on vasest spiraalatoru, läbi mille jookseb jahe piirituselahus. Ühelt poolt graafikakaardid kütavad vedeliku temperatuuri üles ning teiselt poolt spiraalatoru jahutab seda maha.

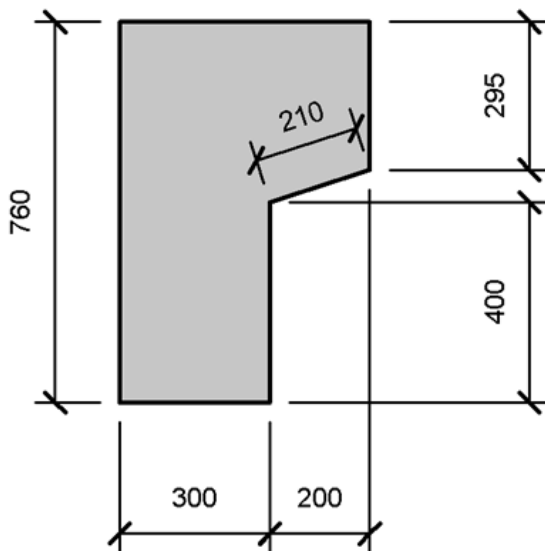


Joonis 15. Mineraalõlijahutusega soojuse juhtimise diagramm

Joonis 16 ning Joonis 17 on näha plaanitava korpuse kuju. Arvutiriistvara käib kitsasse põhja ning spiraalatoru käib kõrgemale laiendatud ääre serva. Eesmärgiks on lihtsustatud ligipääs arvutiriistvarale. Antud joonised on loodud reaalse prototüübi projekteerimise käigus ning kasutatud roostevaba terasest korpuse eritellimuseks. Prototüübi eesmärgiks on katsetada erinevaid arvutiriistvara ja soojusvahetuse variante, mistõttu on selle mõõtmed üle dimensioneeritud. Kui võtta eesmärgiks luua korpus antud projektile valitud riistvara jaoks, siis piisab 1000 mm laiusest. Vedeliku tase saab olema umbes 610 mm, et spiraalatoru ülevalt poolt ulatuks vedeliku sisse. Leidmaks vajalikku mineraalõli kogust, on esialgu vaja leida korpuse külje pindala (vähendatud kõrgusega) ning korrutada korpuse laiusega. Külje pindalaks tuleb $\sim 0.22 \text{ m}^2$ ning vajalik vedeliku ruumala on ~ 220 liitrit.



Joonis 16. Korpuse isomeetiline vaade



Joonis 17. Korpuse külgvaade

Tabel 8. Mineraalõli jahutusega variandi komponentide hinnakiri

Komponent	Mudel	Kogus	Hind €/tk	Summa €
Roostevabast terasest korpus	Eritellimus	1	864	864
Mineraalõli	STEOIL pc miner oil (12 gallons)	5	187	935
Pleksiklaasist kaas	Eritellimus	1	84	84
Kinnitused, tarvikud, vasest spiraalatoru				~400
Kokku				~2300

Mineraalõlijahutuse eelised:

- Võrdlemisi väike lisainvesteering
- Internetis küllaldaselt informatsiooni
- Lihtne disain ja tööpõhimõte

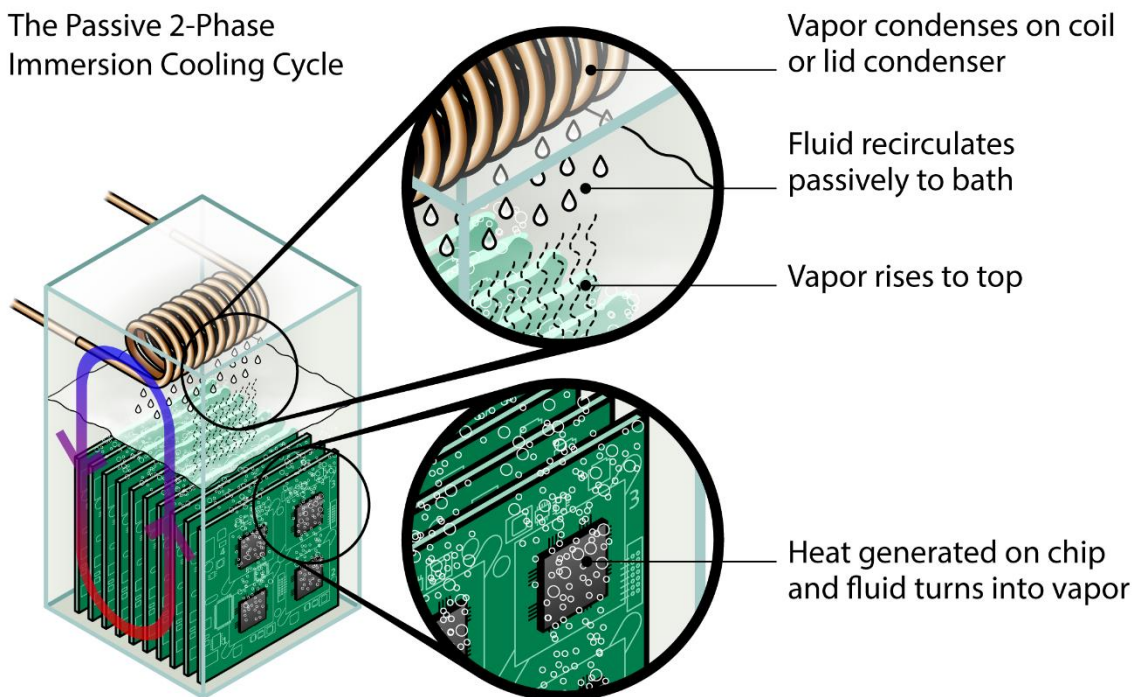
Mineraalõlijahutuse puudused:

- Arvuti riistvara hooldus/vahetus on keeruline, kuna komponendid on vaja õlist ära puhastada.
- Võimalik, et korpuse siseselt tuleb kunstlikult tekitada tsirkulatsiooni, et ühtlustada temperatuuride vahet.
- Võimalik, et vajalik on aktiivse orgaanilise filtri integratsioon.

3.3. Madala keemistemperatuuriga inertvedeliku jahutus

Tegemist on võrdlemisi uue tehnoloogiaga, mis sarnaneb mineraalõli jahutusega, kuid on siiski oluliselt erinev. Nimelt, soojuskandjaks ei ole õli vedelal kujul. Arvutiriistvara on küll üleni vedeliku sees, kuid vedeliku keemise temperatuur on 60 °C ning soojus eraldub kiipidelt gaasina. Sama gaas seejärel kondenseerub jahutatud vasktorul, mis asub vedelikust väljaspool ning tilgub alla tagasi. See tähendab, et kogu jahutuse esimene faas on passiivne ning ei vaja ventilaatorite/pumpade kujul kuluvaid liikuvaid osi.

The Passive 2-Phase Immersion Cooling Cycle



Joonis 18. 2-faasilise passiivse õlijahutus illustratsioon

Antud disaini juures on märkimisväärne, et madala võimsusega kiibid (alla 50W) ei vaja radiaatorit ja võivad töötada otse vedeliku sees. Võimsamate kiipide puhul on vaja kasutada väikest ja õhukest vaskradiaatorit ning katta see spetsiaalse BEC (Boiling enhancement coating) kihiga. Radiaatorite kaotamine/suuruse vähendamine võimaldab oluliselt suuremaid energiatihedusi arvutustehnika valdkonnas (õhkjahutusega võrreldes enam kui 6 korda tihedamini). See võimaldab paigutada suures koguses arvutustehnikat kitsasse ruumi, mis on oluline, kui eesmärk on paigutada arvutiriistvara boileriruumi, kuhu pole projekteeritud selleks ettenähtud kohta.

Disain mineraalõli variandiga on sarnane, kuid vedelikku läheb vaja tunduvalt vähem, kuna see peab ära katma ainult arvutiriistvara. Samas, korpuse sees peab kompenseerima üleliigse rõhu tekkimist ning kiipide jaoks on vaja valmistada spetsiaalse kattekihiga radiaatoreid. Tabel 9 on välja toodud arvatav komponentide hinnakiri. Oluline siinjuures on mainida, et vedeliku kogus (60 liitrit) on arvatud vastavalt valitud korpuse ning arvutiriistvara mõõtmetele. Optimeeritult projekteeritud trükkplaatide, radiaatorite ja korpuse puhul on väidetavalt võimalik saada hakkama alates ühest liitrist 4kW võimsuse kohta. See vähendaks kogu investeeringut enam kui 50% võrra. Kuna tegemist pole turul kergesti kättesaadava tehnoloogiaga, tuleks spetsiaalsed radiaatorid ning optimaalse geomeetriaga riistvara ise valmistada ja selle maksumust on hetkel raske hinnata.

Tabel 9. Inertvedeliku jahutuse variandi komponentide hinnakiri

Komponent	Mudel	Kogus	Hind €/tk	Summa €
Roostevabast terasest korpus	Eritellimus	1	864	864
Spetsiaalne jahutusvedelik	3M Novec 7100 (10L)	6	540	3240
Pleksiklaasist kaas	Eritellimus	1	84	84
Kinnitused, tarvikud, vasest spiraalтору				~400
Rõhu kompenseerimise süsteem	Eritellimus	1	500	500
Kokku				5088

Inertvedeliku jahutuse eelised:

- Kõrge energiatihedusega – võimaldab potentsiaalselt kordades väiksemat korpuse disaini.
- Ei ole lisanduvaid liikuvaid osi – jahutuse esimene faas on tänu vedeliku oleku muutustele passiivne.
- Lihtne hooldada – arvuti riistvara eemaldamisel üleliigne vedelik aurustub õhku ära umbes 20 sekundi jooksul.

Inertvedeliku jahutuse puudused:

- Tehnoloogia ei ole turul kergesti kättesaadav – peale vedeliku midagi otseselt tellida ei anna ja esialgsed tooted saavad värskete tootearenduse tõttu ilmselt väga kallid olema.
- Sisuliselt tuleks kogu tootearendus ise teha, mis on võrdlemisi keeruline, kallid ning aeganõudev.
- Vajalik on aktiivse orgaanilise filtri integratsioon.

3.4. Soojusvaheti variantide kokkuvõte

Tabel 10 võtab kokku erinevate soojusvahetuse variantide omadused. Hetkel kättesaadavatest tehnoloogiatest tundub kõige mõistlikum variant antud projekti teostada mineraalõlijahutuse abil. Vesijahutus on küll levinum tehnoloogia, kuid kallim ning vajab märkimisväärset lisainvesteeringut arvutiriistvara vahetamisel. 2-faasiline passiivne õlijahutus on küll tugeva potentsiaaliga tehnoloogia, kuid vajab veel palju tootearendust enne kui seda reaalselt rakendada saab hakata.

Tabel 10. Soojusvaheti variantide võrdlus

Variant	Hind €	Keerulisus	Töökindlus	Hooldamine
Vesijahutus	2660 (+1805 iga 3a pärast)	Lihtsalt kokkupandav interneti õpetuse järgi	Iga voolikuühendus ning pump on potentsiaalsed rikkeallikad	Voolikuühenduste muutmine ning radiaatorite paigaldamine
Mineraalõlijahutus	2300	Vähem informatsiooni, kuid tööpõhimõte on lihtne	Hea töökindlusega	Välja võetud riistvara tuleb õlist ära puhastada.
2-faasiline passiivne õli jahutus	5088	Võrdlemisi keeruline	Hea töökindlusega, kuid potentsiaalne gaasileke on väga kulukas	Lihtne, vedelik aurustub umbes 20 sekundiga

3.5. Soojusvaheti prototüübi ehitus

Katsetamaks erinevaid soojusvahetuse variante ning arvutustehnikat, valmistati üledimensioneeritud prototüüp. Esmalt esitati eritellimus roostevabast terasest korpusele Joonis 16 järgi. Seejärel telliti pleksiklaasist kaas, millele pandi terasest raamid koos klambritega. Seejärel väänati 20 m pikk 1 cm läbimõõduga vasktoru spiraaliks, et kasutada seda soojusvahetina. Kaablite ja torude jaoks puuriti augud ning paigaldati suletud keskkonnaks vajalikud üleminekud.

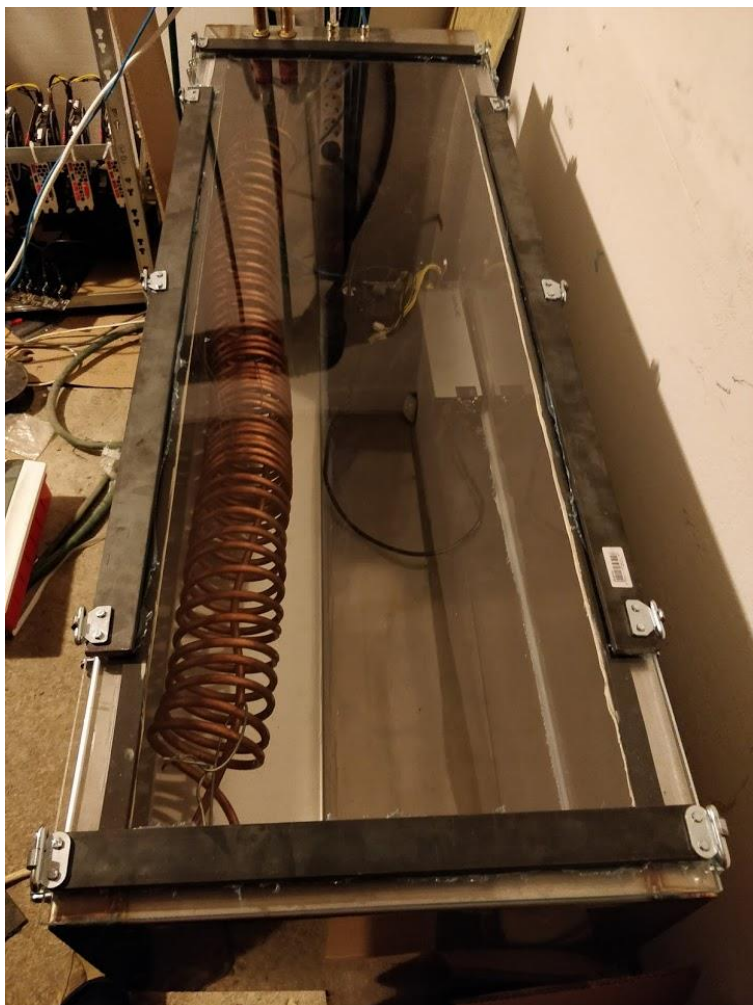
Joonis 19 ja Joonis 20 on näha valmis prototüüpi. Välise keskkonnaga loodud ühendused on: jahe vesi sisse, soojendatud vesi välja, 3-faasiline elektriühendus ning CAT 5E kaabel interneti ühenduseks.



Joonis 19. Prototüübi diagonaalvaade



Joonis 20. Prototüübi eestvaade



Joonis 21. Prototüübi pealtvaade

Masinaga on teostatud mitmeid katsetusi kasutades 2-faasilist passiivset õlijahutust. Selle jaoks asetatakse arvutiriistvara korpuse põhja ning kaetakse spetsiaalse Novec 7100 vedelikuga. Vasest spiraalatoru jääb vedelikust välja ning sellel kondenseerub gaas tagasi vedelale kujule. Toru on jahutatud külma tarbevee poolt. Joonis 21 on katsetusel üks Antminer S7, mis toodab konstantselt umbes 1300W sooja. Samuti katsetati masinat 12 vana graafikakaardiga originaalsete radiaatoritega, kokku võimsust umbes 4000W. Antminer töötas stabiilset kauem, kuid graafikakaartide temperatuur tõusis 84°C tasemele (soovitav on temperatuur stabiilselt hoida alla 70°C). Graafikakaartide pikemaks tööks on vaja valmistada spetsiaalse kattega vaskradiaatorid. Mõlema katsetuse ajal tekkis korpuse sisse kõrge rõhk ning gaas lekkis mitmest kohast, kuigi korpuse kaas on tihendatud ning klambrite abil tõmmatud korpuse külge. Rõhu kompenseerimiseks on vaja lisada süsteemile paisupaak ning vajalik võib olla ka sekundaar-kondensaatoriga rõhu väljalaske ava.

Järgmine plaan on täita korpus tavalise arvuti jahutuse mineraalõliga nii, et vasktoru jääb vedelikukihi alla. Stabiilse töö korral on plaan seade paigaldada Pärnu mnt 135 kortermajja.

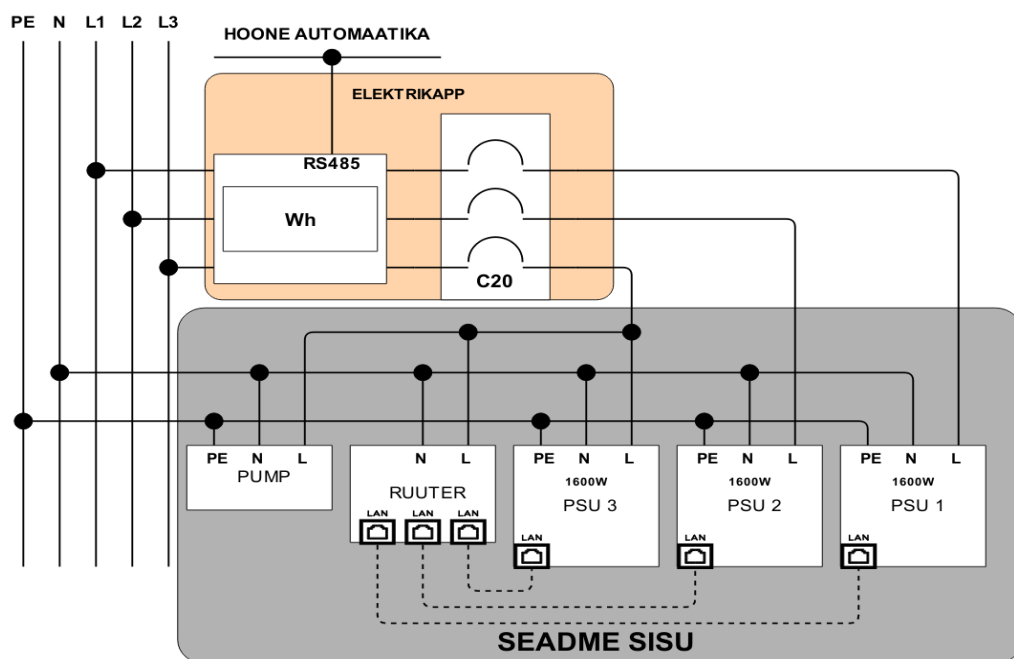
3.6. Arvutusseadme paigalduse investeering

Seadme paigaldamiseks on vaja järgnevaid tooteid ja teenuseid:

Tabel 11. Serverimooduli ja soojusvaheti paigaldamiseks vajalikud investeeringud

Komponent	Mudel	Kogus	Hind	Summa €
3-faasiline kaabel	XPJ-HF-D 5g4	20m	2,55 €/m	51
3-faasiline kaitse C20	ABB SH203-C20	1	7 €/tk	7
3-faasiline elektriarvesti RS485 väljundiga	CARLO GAVAZZI EM24-DIN.AV9.3X	1	309 €/tk	309
Elektriku teenus	Eritellimus	2h	17€/h	34
Lisa torustiku vedamine	Eritellimus	1	~300 €	~300
Kompenseeriv tsirkulatsioonipump		1	~500	~500
Kokku				1200

Need kulud on samasugused kõikide soojusvahetite variantide puhul. Joonis 22 on näha seadme elektriskeem. Kolm arvuti toiteplokki on eraldi faasides ning kolmandasse faasi on lisaks ühendatud tsirkulatsioonipump ja ruuter. Seadmete elektritarvet mõõdetakse 3-faasilise loenduri abil. Elektriloendur on ühendatud RS485 klemmide kaudu hoone automaatikasse. Arvutid on ühendatud kolme erinevasse faasi, et vältida ühe faasi ülekoormamist. Samuti jätab see võimaluse tulevikus riistvara juurde paigaldada.



Joonis 22. Seadme elektriskeem

4. Uue kaugkütte ning elektrienergia tarbe arvutus

Arvutamaks erinevate stsenaariumite tasuvusi, on esmalt vaja täpsemaid lähteandmeid. Andmeid on näha graafikutena Ounet.fi veebikeskkonnas, kus on kättesaadav ka andurite näitude ajalugu CSV failide kujul. Välja sai valitud ajavahemik 01.01.2017 kuni 31.12.2017, kuna see on ainus aasta, mille kohta on terviklikud andmed olemas.

Lähteandmeteks on:

- Kaugkütte hetkvõimsus (kW);
- Soojuspumpade poolt toodetud soojuslik hetkvõimsus (kW); ja
- Kogu soojustagastus süsteemi poolt tarbitud elektriline hetkvõimsus (kW).

Toodetud võimsuste all on arvestatud nii ruumikütte kui ka tarbevee tarbimisega.

Kuna erinevad andurid koguvad mõõteandmeid erineva sagedusega, on vaja need viia ühisele ajateljele. Selle saavutamiseks sai võetud kokku kõik andmed ükshaaval ning arvutatud näitude põhjal tunnikeskmine. Tulemuseks on 8760-realine tabel, kus iga tunni kohta aasta jooksul on välja arvutatud eespool välja toodud hetkvõimsuste keskmised. Kuna keskmised on võetud täpselt ühe tunni jooksul, siis saab lihtsalt kätte ka energiahulga: nt. kui kaugkütte tunnikeskmine hetkvõimsus on 22 kW, siis tarbiti kokku selle tunni jooksul 22 kWh soojusenergiat kaugküttest. Olemasolevas süsteemis kaugkütet kasutatakse ainult siis, kui soojuspumba võimsusest jääb väheks.

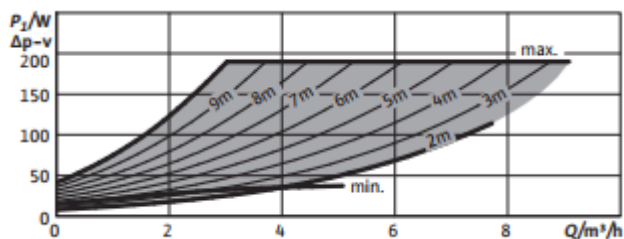
Järgnevalt sai välja arvutatud iga tunni kohta soojustagastussüsteemi kasutegur (COP). Selle valem on järgmine:

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (1)$$

kus Q – soojustagastusest kätte saadud kasulik soojus

W – kogu soojustagastussüsteemile kulunud elektrienergia

Kasutegur varieerub iga tund veidi sõltuvalt keskkonna tingimustest. Terve aasta peale kokku tuleb kasuteguri tulemuseks $COP = 3,37$.



Joonis 23. Tsirkulatsioonipumba Wilo Stratos 30/1-10 voolu tarbimise graafik

Joonisel 23 on näha tsirkulatsioonipumba Wilo Stratos 30/1-10 voolu tarbe sõltuvust tõste kõrgusest ning vajalikult voolukiirusest. Antud juhul hoone kõrgus on umbes 10m ning voolukiirus on üldiselt $4,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Seega pump töötab enamus ajast täisvõimsusel, milleks on 190 W ning tunni jooksul kulutab pump energiat kokku 0.19 kWh.

Seejärel saab hakata iga tunni tarbimisest maha arvestama arvutiriistvara poolt toodetud soojust. Olgu:

Q_{KK} – kaugküttest tarbitud soojusenergia

Q_{SP} – soojuspumba poolt toodetud soojusenergia

Q_{AR} – arvutustehnika poolt toodetud soojusenergia

E_{SP} – soojuspumba poolt tarbitud elektrienergia

P_{SP} – soojuspumba keskmine hetkvõimsus

Q'_{KK} – uus vähendatud kaugkütte energia.

E'_{SP} – uus vähendatud soojustagastussüsteemi elektri energia

P_{TP} – tsirkulatsioonipumba hetkvõimsus (antud juhul alati 190W)

E_{TP} – tsirkulatsioonipumba poolt tarbitud lisa elektrienergia arvuti jahutamiseks

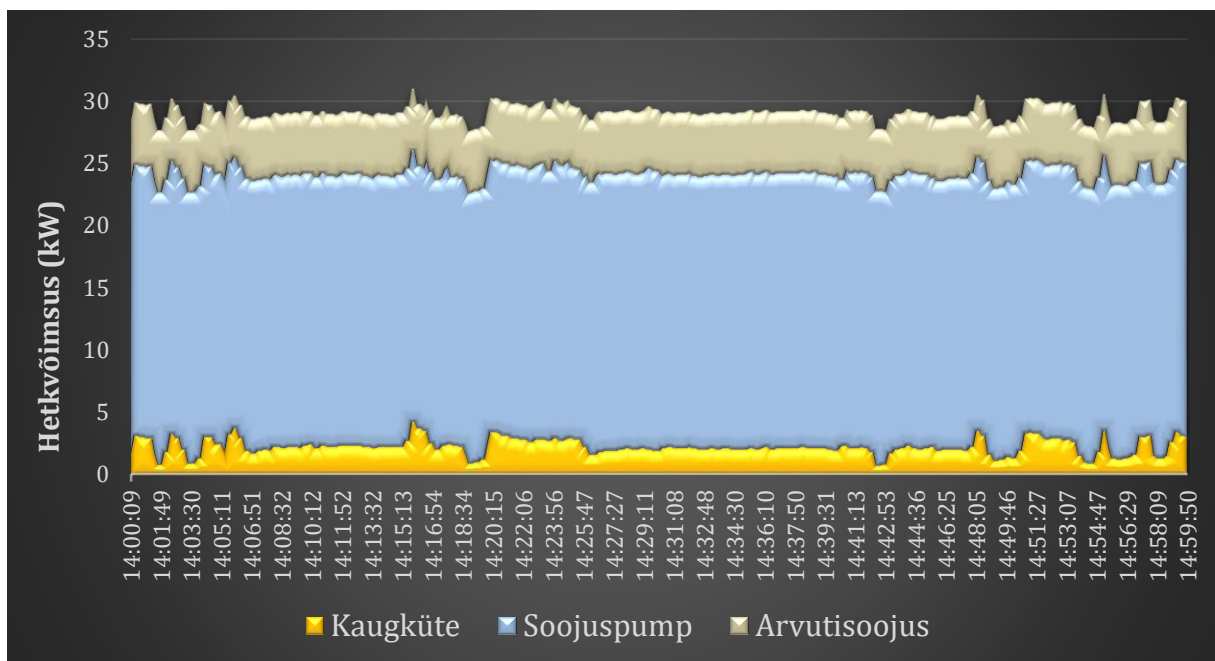
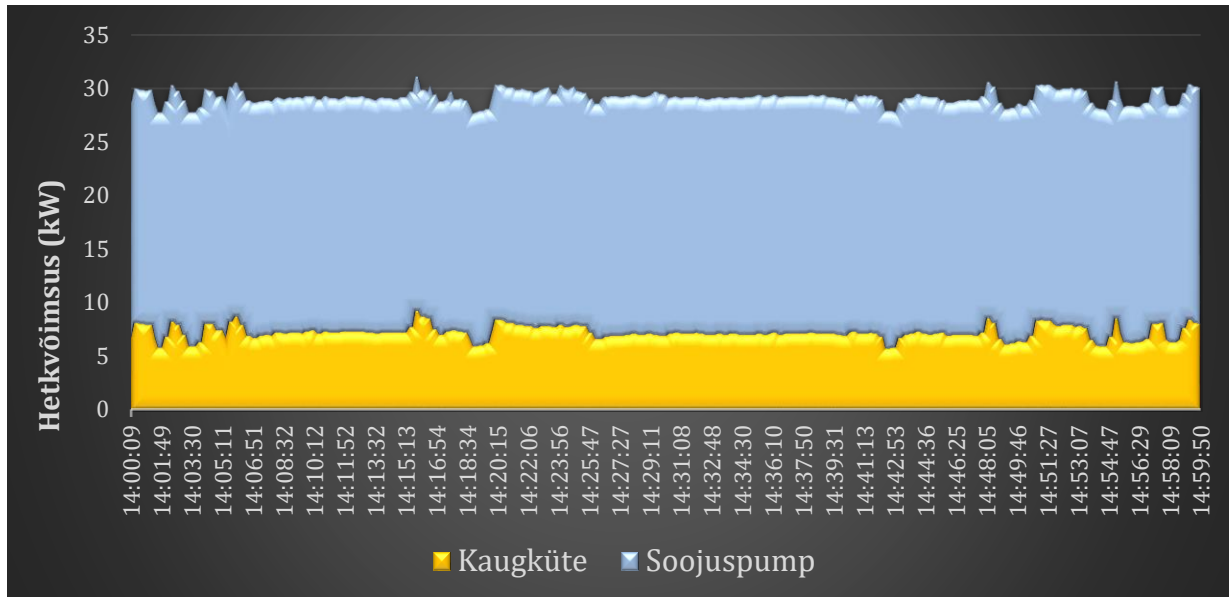
COP_n – soojustagastussüsteemi kasutegur n-ndal tunnil

Sõltuvalt erinevate tundide soojuse tarbimisest, on stsenaariumid järgmised:

$$Q_{KK} > Q_{AR} \Rightarrow Q'_{KK} = Q_{KK} - Q_{AR} \wedge E_{TP} = 0 \quad (2)$$

Kaugküttest tarbitud soojus on suurem kui arvutustehnika poolt toodetav soojus. Üldjuhul hoone tarbib soojust kaugküttest ainult nii palju kui jääb puudu ise toodetud soojusest. Tulemuseks on lihtsalt vähenenud kaugküttest tarbitud soojus. Näidet antud stsenaariumist on

näha Joonisel 24, kus on välja toodud 1 tunni soojuste tarbimine enne ja pärast seadme lisamist. Soojuspumpade elektrikulu ei muutu. Tsirkulatsioonipump lisatööd ei tee, kuna see peab töötama terve aeg kui soojuspumbad töötavad.

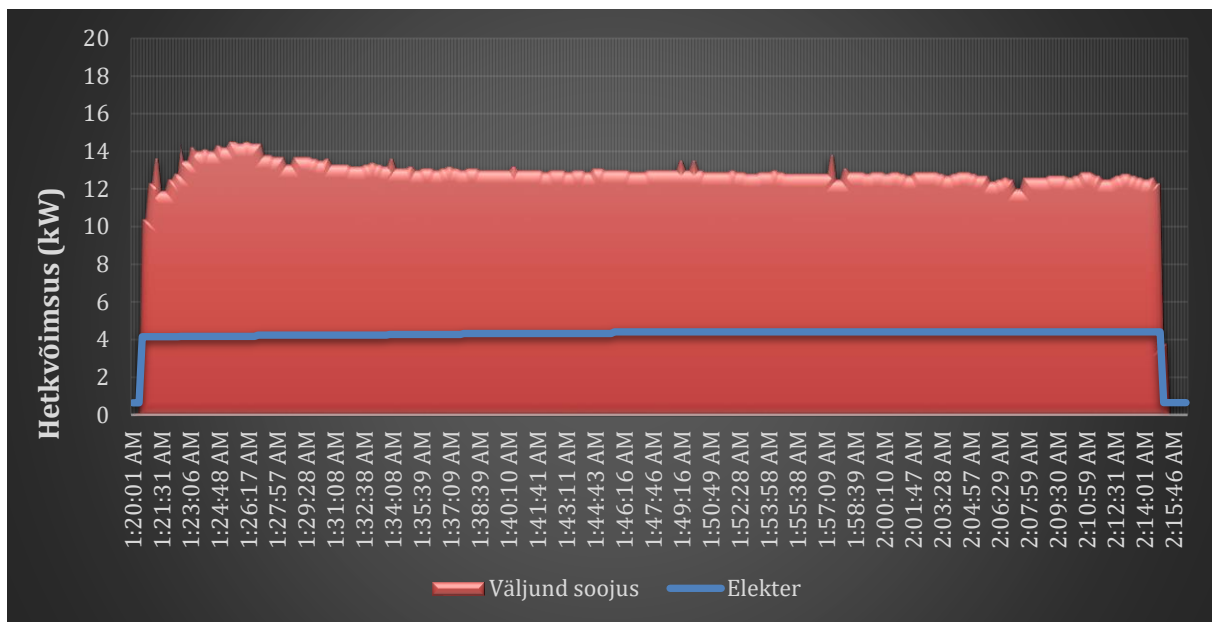


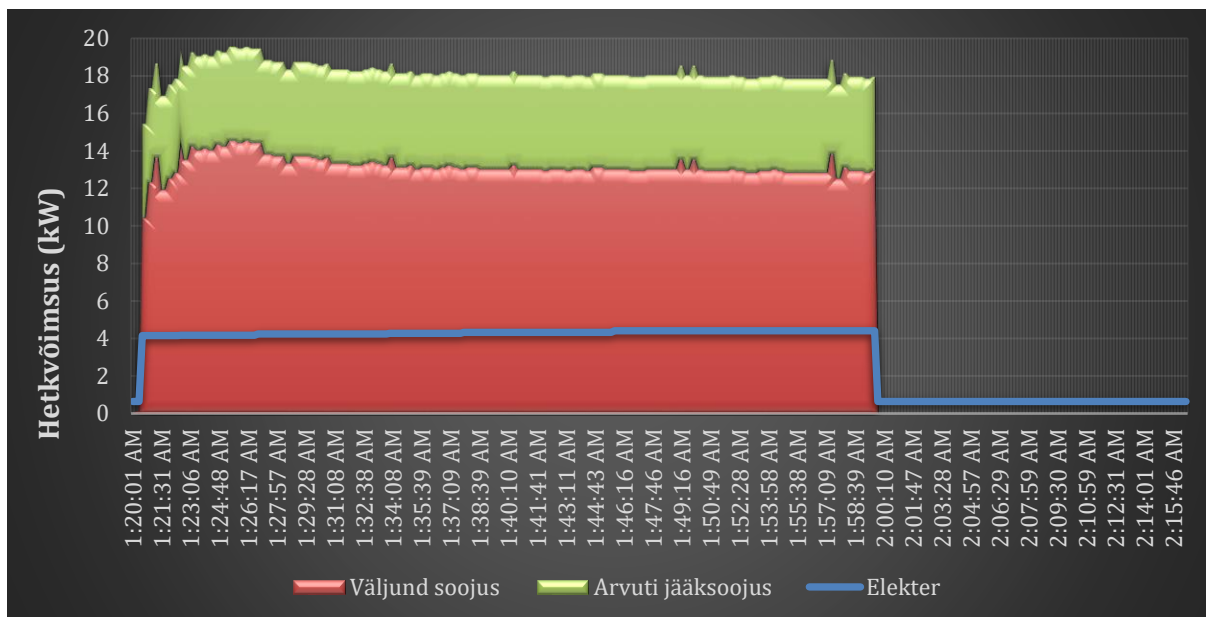
Joonis 24. Hoone soojuste tarbimise osakaalud enne ja pärast serverimooduli lisamist.

$$Q_{KK} < Q_{AR} \wedge Q_{SP} \neq 0 \Rightarrow Q'_{KK} = 0 \wedge E'_{SP} = E_{SP} \frac{P_{SP} * COP_n}{Q_{AR} - Q_{KK} + P_{SP} * COP_n} \quad (3)$$

$$E_{TP} = P_{TP} \left(1 - \frac{E'_{SP}}{E_{SP}} \right) \quad (4)$$

Arvutustehnika poolt toodetud soojus on suurem kui kaugküttest tarbitud soojus ning soojuspump töötab. Kaugkütte uueks tarbeks on 0. Soojus, mis üle jääb, vähendab soojuspumba poolt vajaliku töö tegemist ning seetõttu vähendab soojuspumba poolt tarbitud elektrienergiat. Joonisel 25 on näha soojuspumba elektritarvet ning soojuse toodangut enne ja pärast serverimooduli lisamist. Antud juhul oli soojuspumba eesmärk soojendada tarbevee boiler 49 °C peale. Selleks vajaliku energiakoguse saab kätte arvutades ülemise graafiku pindala (hetkvõimsus korrutada kulunud ajaga). Alumisel graafikul on lisaks soojuspumbale ka serverimooduli soojuslik väljundvõimsus. Tänu suuremale summaarsele väljundvõimsusele saavutatakse samasuurune pindala/energiakogus kiiremini ning soojuspump peab sees olema vähem aega. Tsirkulatsioonipump kulutab antud perioodi jooksul selle ajavahe võrra rohkem elektrienergiat.





Joonis 25. Soojuspumba elektriline ja soojuslik hetkvõimsus enne ja pärast serverimooduli lisamist

$$Q_{KK} = 0 \wedge Q_{SP} = 0 \Rightarrow E_{TP} = P_{TP} * 1h \quad (5)$$

Siis kui maja soojust ei tarbi, peab tsirkulatsioonipump lisaks töötama täisvõimsusel tund aega järjest, et üleliigne serverilt eralduv soojus õue juhtida.

Tabel 12. Lõik tarbimise ajaloo ning uute väärtuste tabelist

Aeg	Q _{KK} (kWh)	Q _{SP} (kWh)	P _{SP} (kWh)	COP _n	Q' _{KK} (kWh)	P' _{SP} (kWh)	P _{LJ} (kWh)
01/01/2017 00:00	1.40	21.38	6.26	3,41	0	5.21	0
01/01/2017 01:00	1.11	22,84	6.02	3,79	0	5.00	0
---	---	---	---	---	---	---	---
22/05/2017 10:00	0.01	1.82	0.65	2,80	0	0.17	0.12
---	---	---	---	---	---	---	---
31/12/2017 23:00	13,07	20.98	6.28	3,34	8.07	6.28	0
Summa (kWh)	49280	134026	39688	3,37(kesk)	25568	355	162

Tabel 12 toob näiteks mõnede tundide vanad ning uued soojuse ja elektri tarbimised. Kõige alumine rida on kõikide ridade summa ning võtab kokku terve aasta tulemused. Soojuspumba kasutegurist (COP) on võetud aasta peale keskmine väärtus.

Serverimooduli võimsuse puhul sai katsetatud erinevaid stsenaariumeid. Maksimaalne võimsus, mida teoreetiliselt paigaldada on võimalik, on 10 kW. Piiranguteks on hoone katusel oleva soojusvaheti võimsus ning elektrikappi jäetud tagavara võimsus.

Valitud stsenaariumid on järgmised:

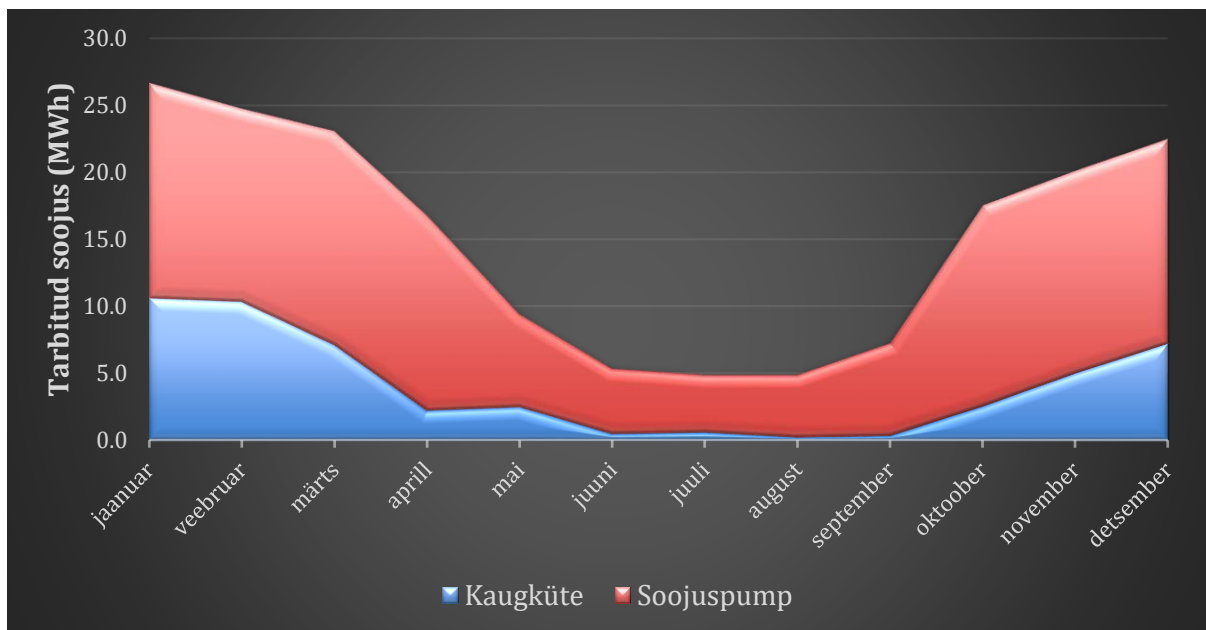
- Baasstsenaarium – korteriühistu praegune seis koos lihtsalt STS-ga ning päikesepaneelidega.
- 2,5 kW arvutusvõimsus
- 5 kW arvutusvõimsus
- 10 kW arvutusvõimsus
- 10 kW arvutusvõimsus, kahekordne päikesepaneelide võimsus (PV)

Joonisel 26 on näha hoone praegust soojuste tarbimist. Arvesse on võetud nii kütteks kui ka tarbeveeks kulunud soojusenergia. Suurema osa aastast peab soojuste tarbimise ära katmiseks kombineerima soojuspumpasid ning kaugkütet. Suvel kaugkütte kulu on 0-lähedane ning tarbevee saab ära kütud 1 soojuspumbaga. Kõige madalam tarbimine on juuli ja augusti kuus, kui kulus enamvähem võrdselt kokku 4,9 MWh soojusenergiat.

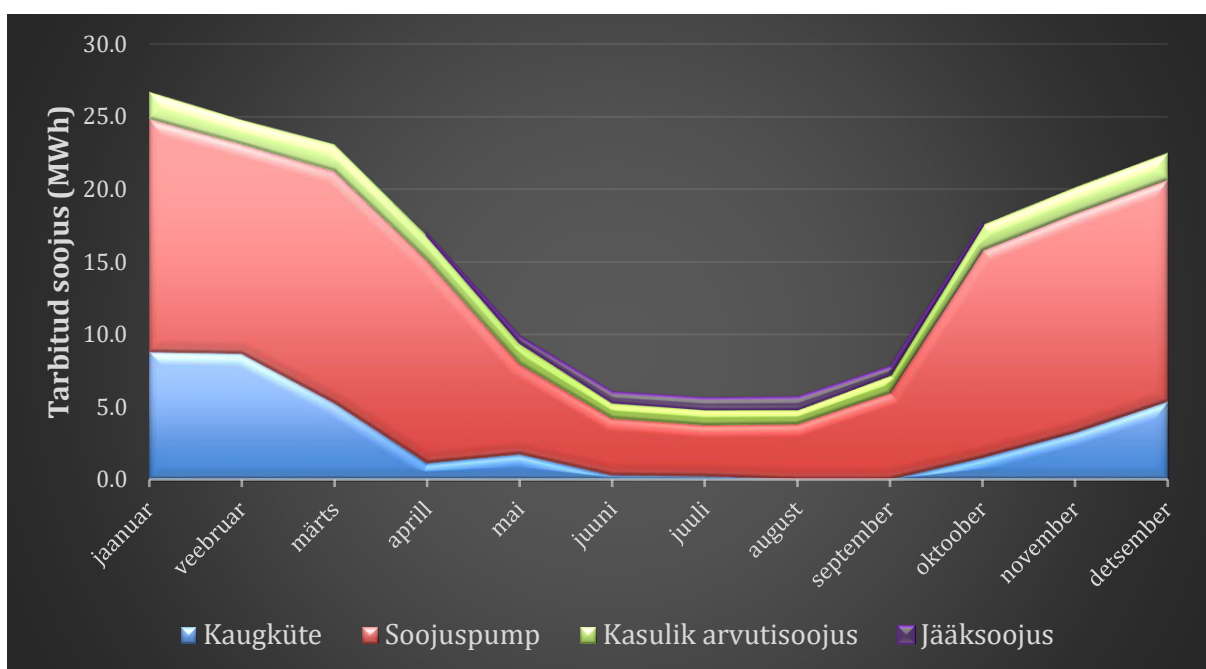
Joonis 27 on näha jääksoojuste järgi optimeeritud varianti, kus kasutatakse 2,5 kW arvutusseadet. Kaugkütte tarve väheneb umbes 33% ning terve aasta peale jääb soojust üle kõigest 3,3 MWh võrreldes eelmise stsenaariumiga, mille puhul on see 9.3 MWh.

Joonis 28 on näha soojuste tarbe ümberjaotumist kui lisada arvuti kujul 5kW konstantne küttekeha. Kaugkütte tarbimine on kokku vähenenud ligi poole võrra. Vähenenud on ka soojuspumba osakaal mõnevõrra. Selline arvutusseade toodab 30 päeva jooksul umbes 3,6 MWh sooja. Suve nõ baaskoormusest jääb küll see küll alla, kuid tarbimise perioodilise iseärasuse tõttu jääb siiski näiteks augustis umbes 2 MWh soojust üle. Üle jääva soojuste vähendamiseks on vaja kas valida väiksema soojusvõimsusega masin või lisada soojuste akumulatsiooni paaki.

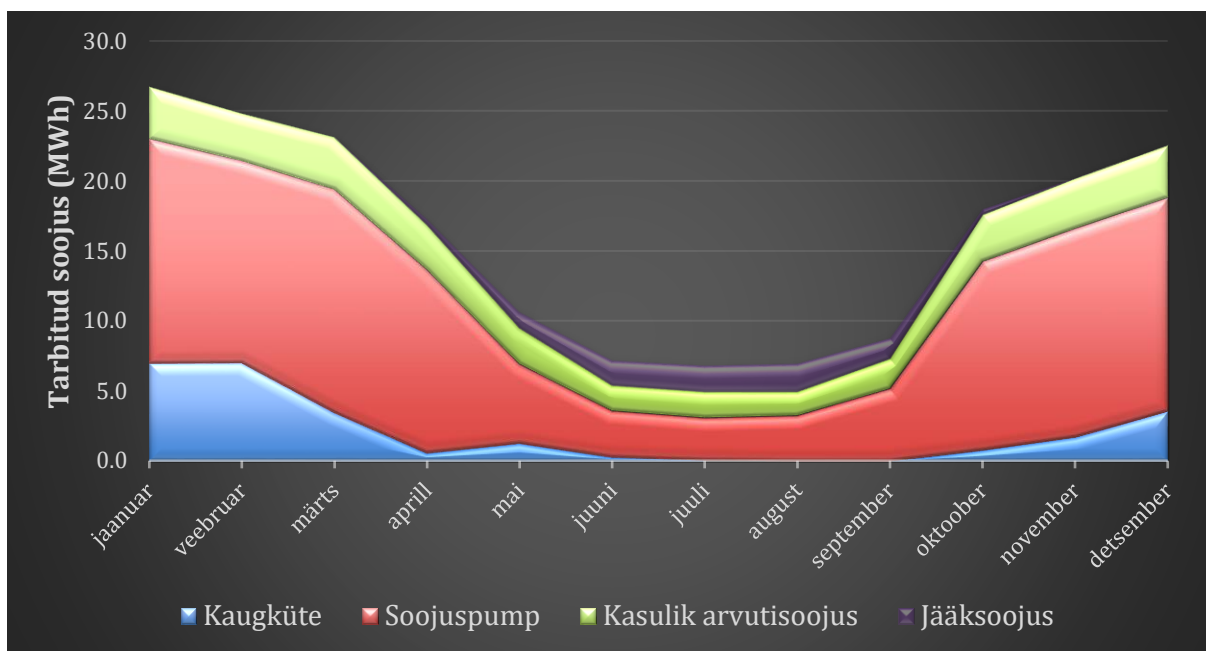
Joonisel 29 on soojuste jaotumine juhul kui lisada 10 kW-ne arvutusseade. Kaugkütte tarve läheb alla umbes 80% ning märgatavalt väheneb ka soojuspumba osakaal. Küll aga jääb soojust arvutist üle 28.3 MWh terve aasta peale. Päikesepaneelide lisamine soojuste bilanssi ei muuda.



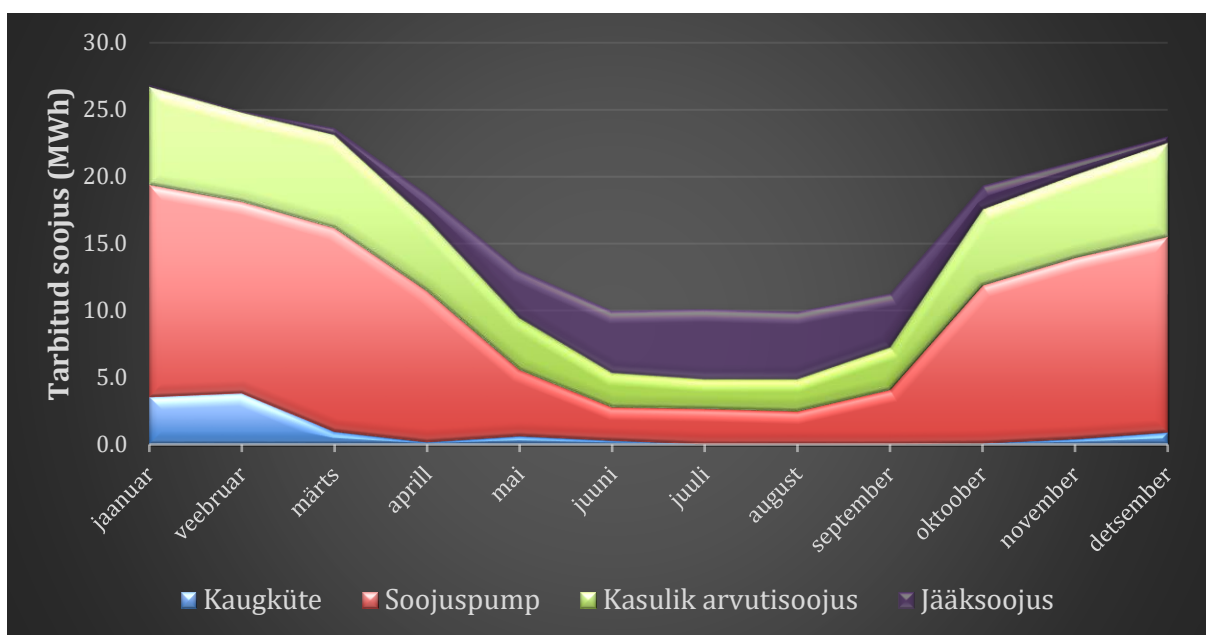
Joonis 26. Baasstsenaariumi soojuse tarbimine



Joonis 27. 2,5 kW stsenaariumi soojuse tarbimine



Joonis 28. 5kW stsenaariumi soojuse tarbimine



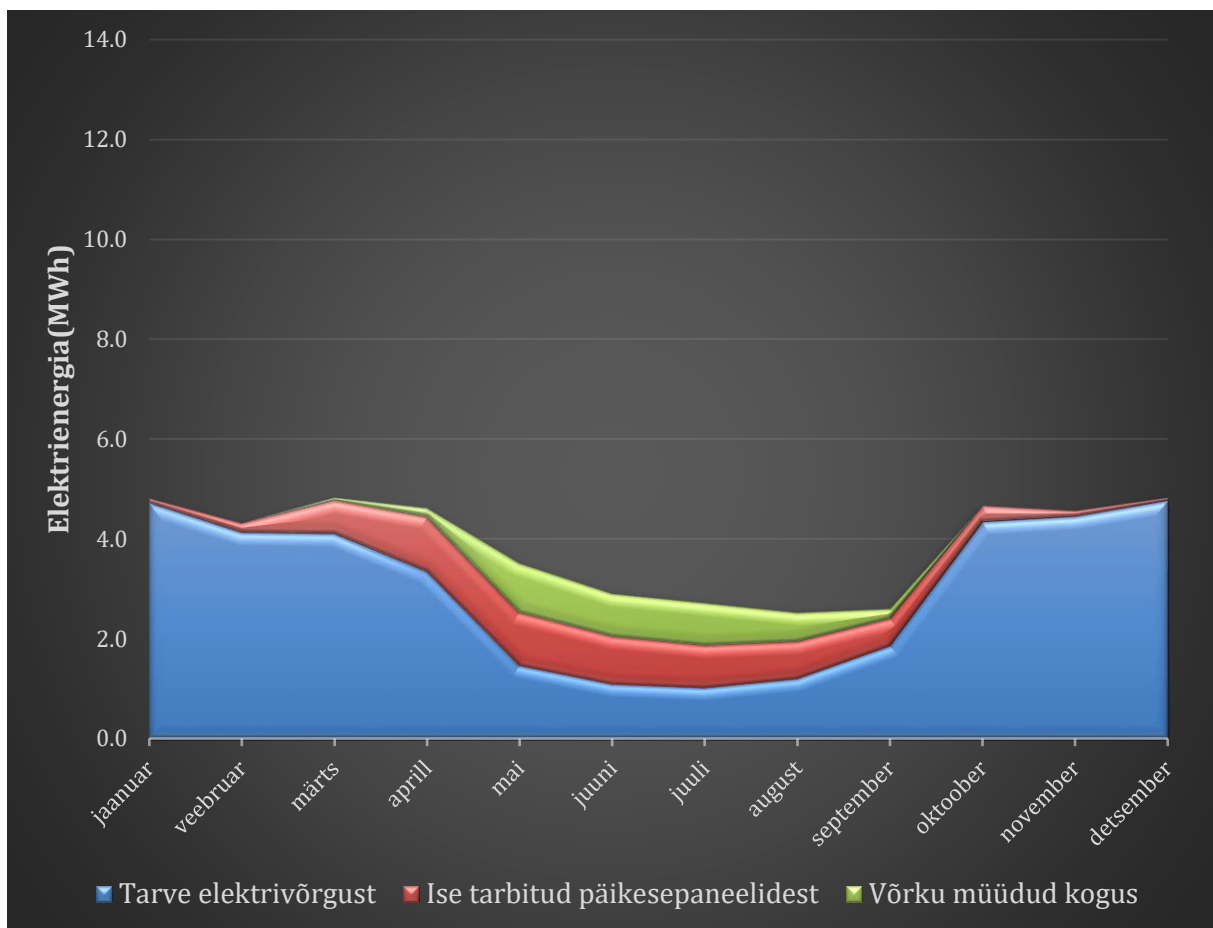
Joonis 29. 10kW stsenaariumi soojuse tarbimine

Joonisel 30 on näha praegu töötava süsteemi elektrienergia bilansi. Enamuse elektrienergiast peab ostma elektrivõrgust. Umbes 65% päikesepaneelide poolt toodetud elektrienergiast tarbitakse ise ära. Joonisel ilmneb ka teada tõsiasi – Eestis pole nõudlus elektrienergia järele sünkroonis päikeseenergia perioodilisusega.

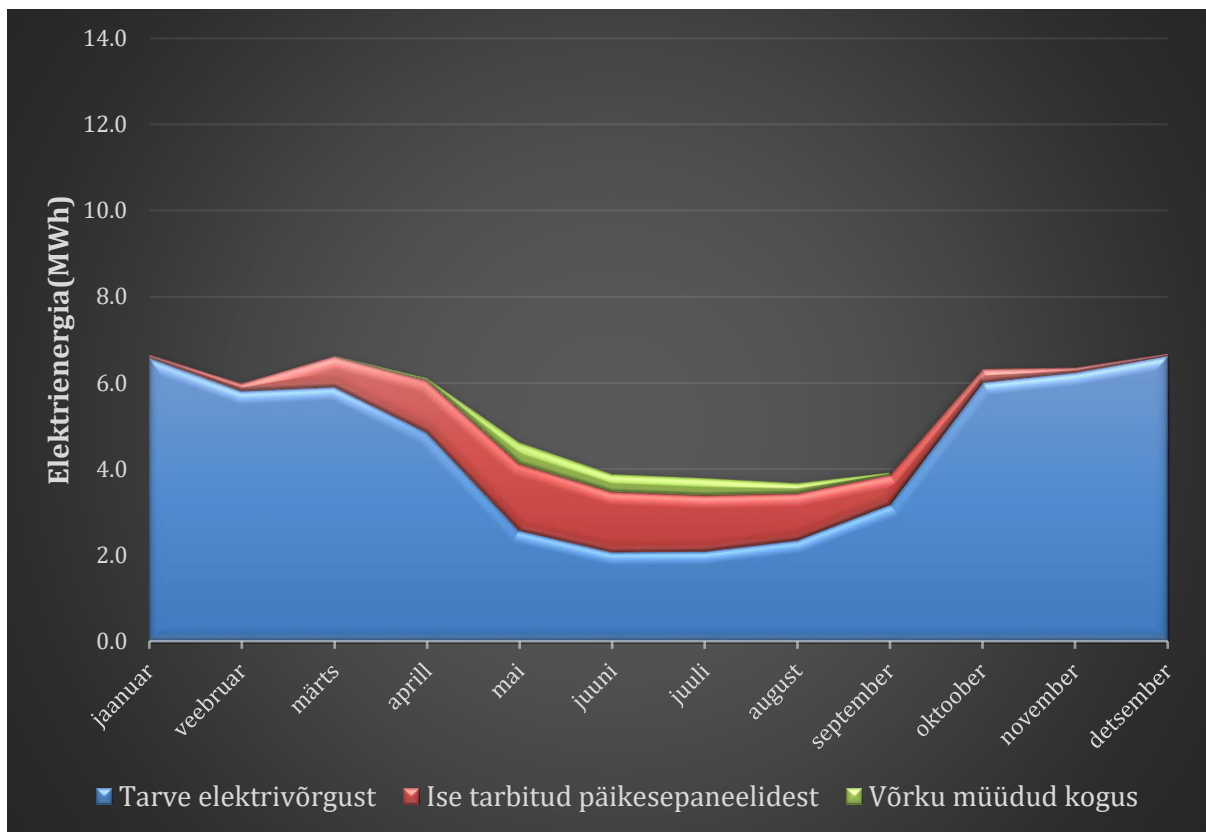
Joonis 31 on süsteemi elektrienergia bilanss koos 2,5 kW arvutusseadmega. Kogu elektritarve on mõnevõrra tõusnud ning päikesepaneelidest toodetud elekter on efektiivsemalt ära kasutatud.

Joonisel 32 on süsteem koos 5 kW arvutusseadmega. Elektrienergia kulu on tõusnud märgatavalt. Samas päikesepaneelide poolt toodetud energia kulutatakse märksa efektiivsemalt ära – nimelt 96% ulatuses.

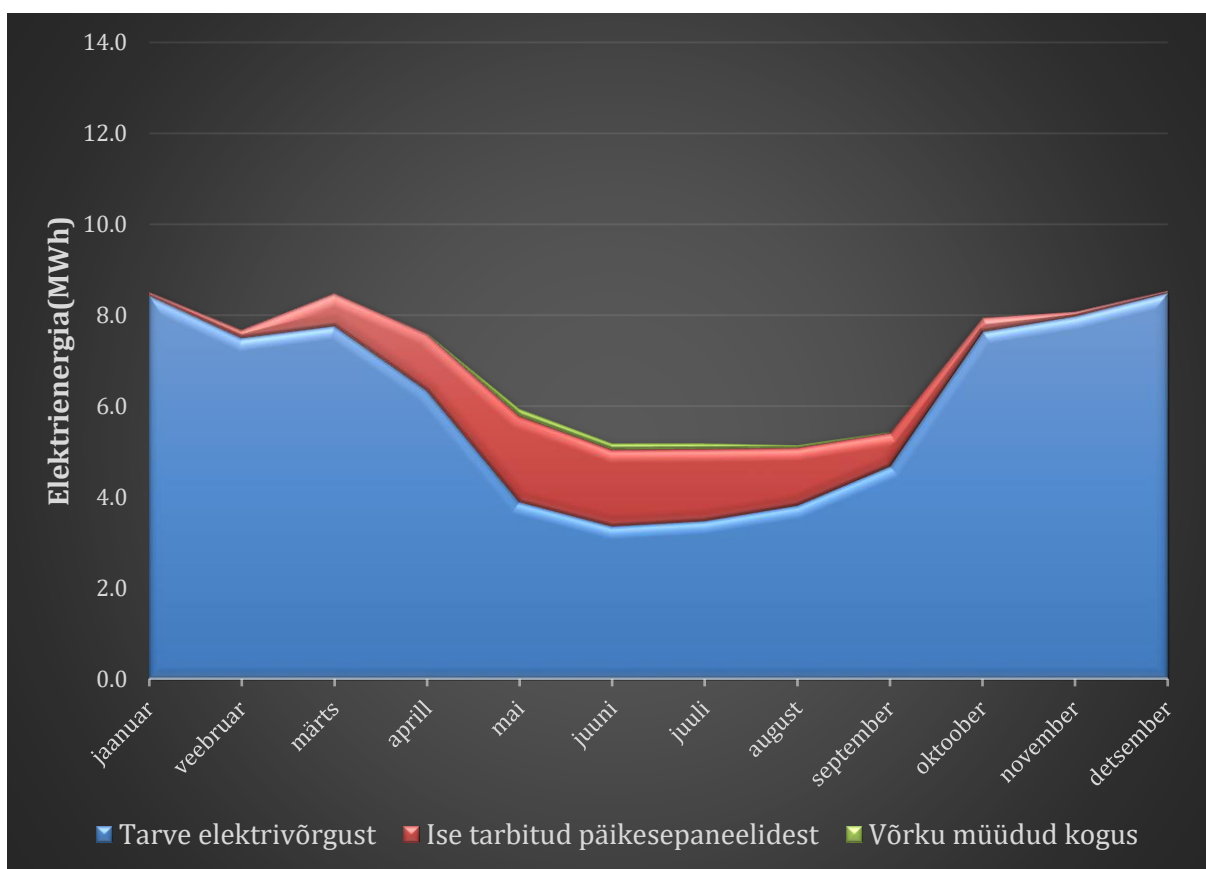
Joonisel 33 on süsteemi elektrienergia bilanss juhul kui paigaldada 10 kW-ne arvutusseade. Elektritarve on sel juhul suurim ning päikesepaneelidest toodetud elektrist tarbitakse kõik ära. Joonis 34 on süsteemi elektrienergia bilanss juhul kui paigaldada 10 kW-ne arvutusseade ning kahekordistada päikesepaneelide koguvõimsus. See kord jääb veidi päikesepaneelidest toodetud energiat üle, kuid kulutatakse efektiivselt ise ära 91%.



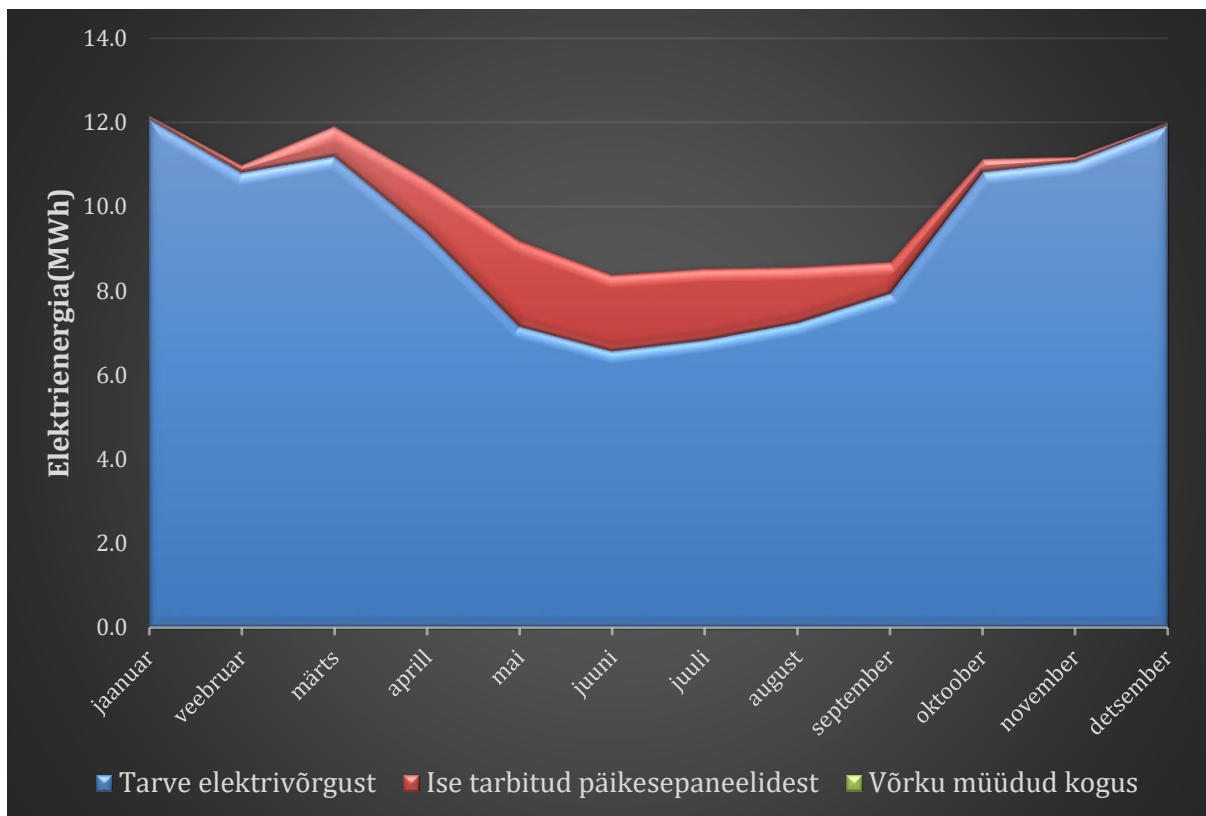
Joonis 30. Baasstsenaariumi elektrienergia bilanss



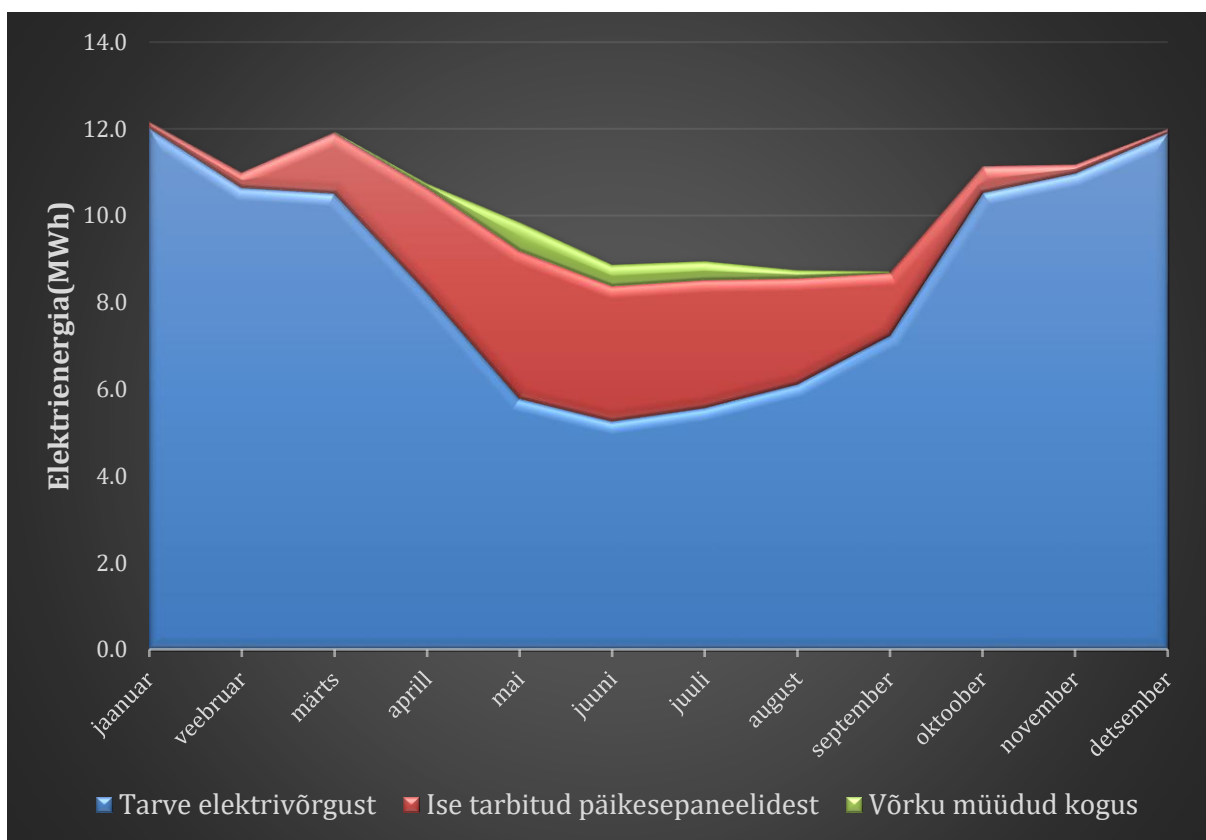
Joonis 31. 2,5 kW stsenaariumi elektrienergia bilanss



Joonis 32. 5 kW stsenaariumi elektrienergia bilanss



Joonis 33. 10 kW stsenaariumi elektrienergia bilanss

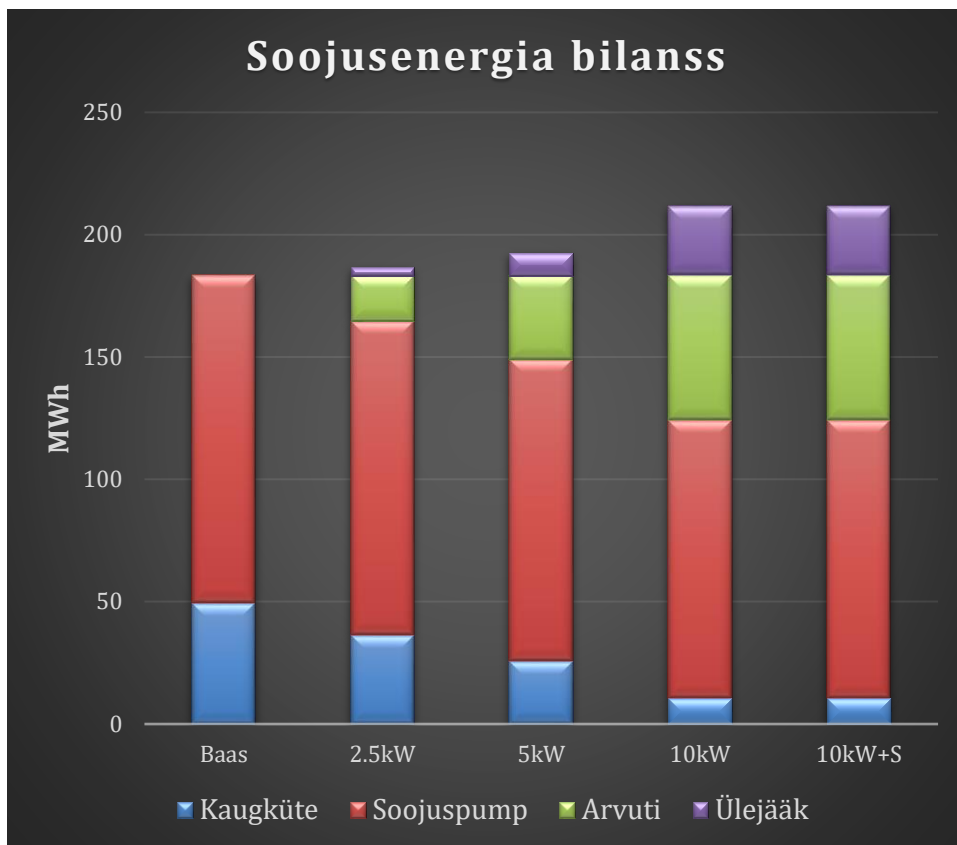


Joonis 34. 10 kW + PV stsenaariumi elektrienergia bilanss

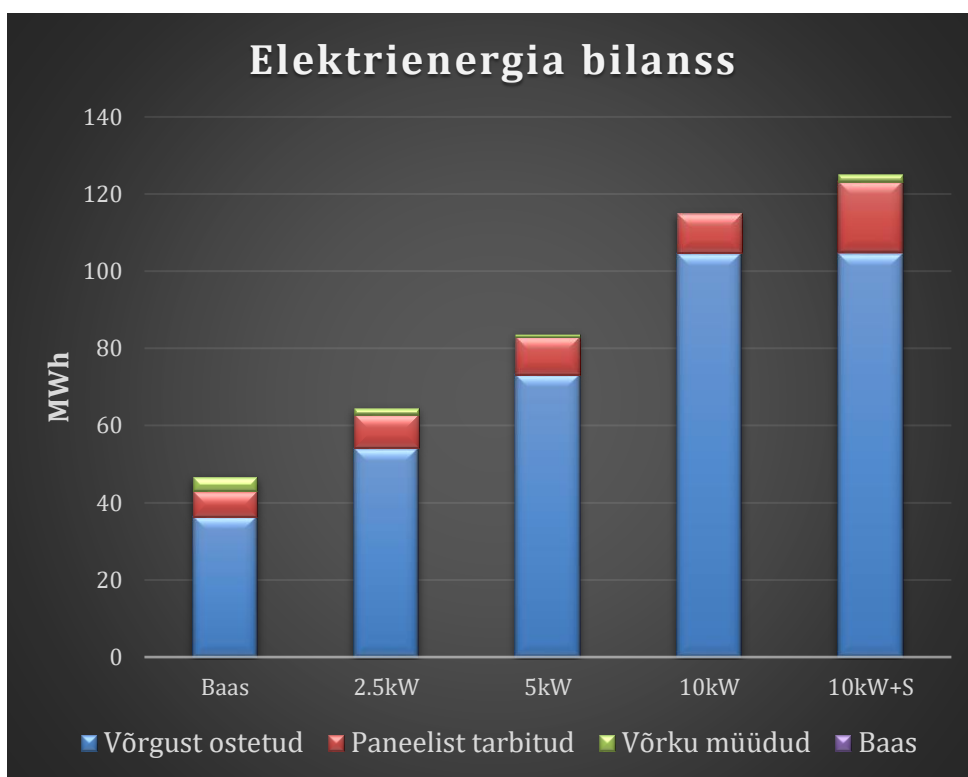
Tabel 13. Hoone energeetilised andmed erinevate stsenaariumite korral

Soojus	Baas	2,5kW	5kW	10kW	10kW+S
Kaugküte		36,2	25,6	10,6	10,6
Soojuspump	134,0	128,5	123,3	113,4	113,4
Arvuti	-	18,6	34,4	59,3	59,3
Ülejääk	-	3,3	9,3	28,3	28,3
Elekter					
STS tarve	39,7	37,3	35,5	31,7	31,7
Valgustus jms	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Arvuti tarve	-	21,9	43,8	97,6	97,6
Lisa jahutuskulu	-	0,3	0,4	0,5	0,5
Elektritarve kokku	43,1	62,9	83,1	123,3	123,3
Paneelide toodang	10,2	10,2	10,2	10,2	20,4
Võrgust ostetud	36,4	54,2	73,3	113,0	104,7
Paneelist tarbitud	6,6	8,6	9,8	10,2	18,6
Võrku müüdnud	3,6	1,6	0,5	0,0	1,8

Tabel 13 võtab erinevate stsenaariumite tulemused kokku ning need on visuaalselt kajastatud joonisel 35 ja joonisel 36. Võib järeldada, et mida rohkem arvutusvõimsust paigaldada, seda vähem on vaja kaugküttest soojust tarbida ning mõnevõrra väheneb ka soojuspumba osakaal. Väikseima jääksoojusega on 2,5 kW variant ning kõige efektiivsemalt kasutavad ära päikesepaneelide poolt toodetud elektrit 5 kW ja 10 kW variandid.



Joonis 35. Hoone aastane soojusenergia bilanss erinevate stsenaariumite korral



Joonis 36. Hoone aastane elektrienergia bilanss erinevate stsenaariumite korral

5. Tasuvuse arvutused

Antud peatükis arvutatakse välja erinevate stsenaariumite kohta NPV ning osadel juhtudel ka tundlikkuse analüüs elektri ja soojuse hinna kõikumisega. Kõikide arvutusseadmetega stsenaariumite korral kasutatakse hetkel 5 kW võimsust. Hiljem katsetatakse edukaimat arvuti riistvara ning algoritmi konfiguratsiooni erinevate võimsustega. Stsenaariumiteks on:

- STS (soojustagastus süsteem)
- STS + PV (baasstsenaarium)
- ASIC
- GPU
- GPU2 (ilma ja koos riigitoetustega)

5.1. Diskontomäärade valik

Euroala spetsialistide ning riiklike seisukohtasid arvesse võttes peab järgneva 25 aasta jooksul arvestama 1-2,1% inflatsiooniga aastas. Parimad pankade tähtajalised hoiused võivad ulatuda 20 aasta jooksul kuni 2% määrani. Seega tuleb diskontomääraks võtta vähemalt 4%. Antud projekti raames on diskontomääraks valitud 5%.

5.2. Elektri- ja soojusehinna valik

Elektrienergia hinnaks on valitud 33,2 €/MWh, mis on 2017 aasta keskmine hind Nordpoolspot koduelehelt. Võrguteenuse, elektriaktsiisi ning taastuvenergia tasu on saadud arve pealt Elektrilevi Võrk 1 paketist. Tabel 14 on näha, et kõikide hinnakomponentide summa ilma käibemaksuta tuleb 99,30 €/MWh. Soojusehinnaks on valitud Tallinna võrgupiirkonna kehtiv piirhind 49,96 €/MWh. Need hinnad võetakse arvutuste aluseks ning tundlikkuse arvutamine toimub varieerumisel nendest hindadest.

Tabel 14. Elektri tervikhinna arvutus.

Hinnakomponent	Hind €/MWh
Elektrienergia	33,20
Võrguteenus	52,80
Taastuvenergia tasu	8,90
Elektriaktsiis	4,47
Kokku	99,30

5.3. STS

Siin stsenaariumis arvutatakse, et kui kasumlik on antud projekti puhul ventilatsiooni soojustagastussüsteemi investeering eraldi võetuna ilma päikesepaneelide ja arvutusseadmeta. Selleks kasutatakse reaalseid elektri ja soojuse tarbimise andmeid 2017 aasta jooksul. Investeeringut ning jooksvaid kulusid on näha tabelis 15. Andmed on saadud antud projekti haldava firma Profener OÜ käest. Süsteemi eluiga täpselt ei osatud täpselt öelda, kuna komponente välja vahetades saab seda väidetavalt igavesti üleval hoida. Küsimus on selles, et tehnoloogia arengu puhul võib näiteks 25 aasta pärast olla mõistlik süsteem täiesti välja vahetada.

Tabel 15. Ventilatsiooni soojustagastussüsteemi investeering (ilma km) ning jooksvad kulud

Komponent	Maksumus €
Esialgne investeering	59500
Üldine hooldus aastas	350
Suurem remont iga 5 aasta tagant	500
Erakordsed rikked	2000

Arvutuste eelduseks on võetud 2017 soojuse ja elektri tarbimise andmed tabelist 1. Süsteemi elueaks sai valitud 25 aastat ning selle jooksul toimub 2 erakorralist riket. Tulemusi on näha tabelis 16. Praeguste elektri- ning soojusehindade juures võib järeldada, et ilma toetuseta antud projekt ei ole kasumlik, kuna NPV ei muutu eluea jooksul positiivseks. „ C_{elekter} “ arvestab lisanduvat elektrikulu, mis kaasneb soojuspumba jooksutamisel. „ $C_{\text{alternatiiv}}$ “ on summa, mida maksaks kui soojuspumba poolt toodetud soojuse asemel ostaks sama koguse kaugküttest. „ $P_{\text{sääst}}$ “ on alternatiivist maha lahutatud elektri- ning remondikulud. Kuna NPV lõppväärtus tuleb negatiivne, ei ole projekt kasumlik.

Tabel 16. Soojustagastussüsteemi tasuvus

Aasta	C _{invest}	Chooldus/ remont	C _{elekter}	C _{alternatiiv}	P _{sääst}	Diskont. rahavoog	Tasuvus
1	59500	350	3941,0	6694,7	2403,6	-54377,5	-54377,5
2	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	2180,2	-52197,3
3	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	2076,3	-50121,0
4	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1977,5	-48143,5
5	0	850	3941,0	6694,7	1903,6	1491,5	-46652,0
6	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1793,6	-44858,4
7	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1708,2	-43150,2
8	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1626,9	-41523,3
9	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1549,4	-39973,9
10	0	2850	3941,0	6694,7	-96,4	-59,2	-40033,1
11	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1405,3	-38627,7
12	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1338,4	-37289,3
13	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1274,7	-36014,6
14	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1214,0	-34800,6
15	0	850	3941,0	6694,7	1903,6	915,7	-33884,9
16	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1101,1	-32783,8
17	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	1048,7	-31735,1
18	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	998,8	-30736,4
19	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	951,2	-29785,2
20	0	2850	3941,0	6694,7	-96,4	-36,3	-29821,5
21	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	862,8	-28958,7
22	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	821,7	-28137,0
23	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	782,6	-27354,5
24	0	350	3941,0	6694,7	2403,6	745,3	-26609,2
25	0	850	3941,0	6694,7	1903,6	562,1	-26047,1

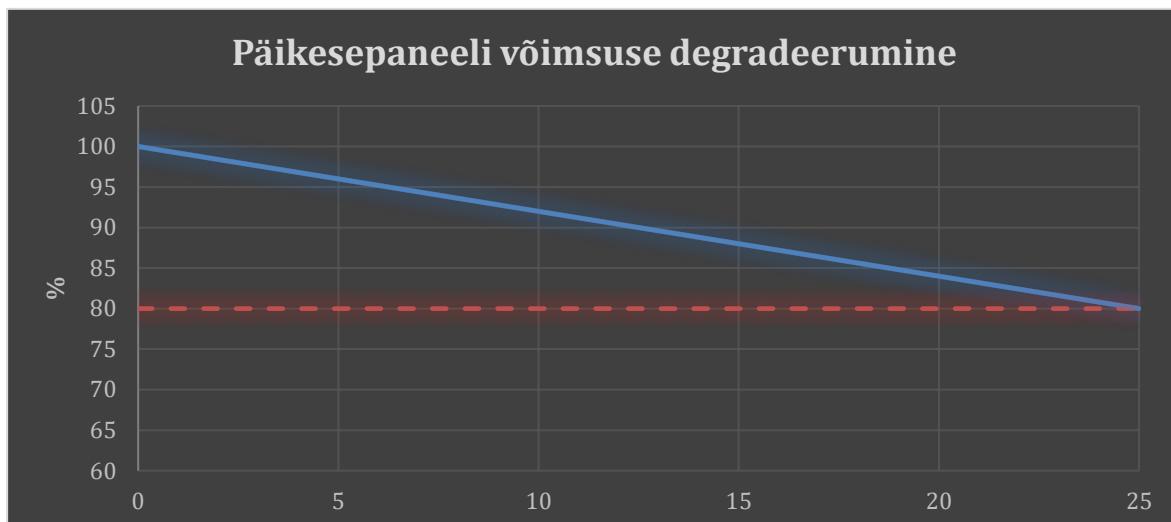
5.4. STS + PV

Antud stsenaariumis arvutatakse kuivõrd tasuv on lisanduv päikesepaneelide investering. Paneelide koguvõimsus on 11 kW, et püsida Elektrilevi mõistes mikrotootjana. Oluline on siinjuures märkida, et päikesepaneelid on ühendatud ainult korteriühistu liitumispunkti. See tähendab, et päikesepaneelide poolt toodetud elektrit kasutatakse ainult soojuspumpade tööks ning üldvalgustuseks. Igal korteril on eraldi liitumispunkt ning nemad paneelidelt odavat elektrit ei saa. Ülejäänud elektrienergia müüakse elektrivõrku koos toetustega ning kasum arvutatakse elanike kommunaalkuludel maha.

Tabel 17. Päikesepaneelide kulu eluea jooksul (ilma km)

Komponent	Maksumus €
Esialgne investeering	12500
Üldine hooldus aastas	160
Inverteri vahetus iga 10a	2500

Tabel 17 on näha päikesepaneelidega seotud kulusid. Kuna liikuvaid osasid ei ole, siis peale paneelide puhastuse erilist hooldust vaja ei lähe. Tera elektritööde lehekülje väitel maksab hooldus umbes 14,6 €/kW aastas, ehk siis antud projekti puhul 160 € aastas. Päikesepaneelide elueaks loetakse üldiselt 25 aastat ning garantii tingimuste kohaselt peab tootlikkus olema eluea lõpuks vähemalt 80% oma nimivõimsusest (graafikut on näha Joonisel 37). Tabel 18 põhjal võib järeldada, et ilma toetusteta päikesepaneelide lisamine teeb investeeringut ainult halvemaks.



Joonis 37. Päikesepaneeli võimsuse degradeerumine eluea jooksul

Tabel 18. Pääkesepaneelidega stsenaariumi tasuvus

a	C _{invest}	Choooldus/ remont	C _{elekter}	C _{alt.}	P _{elekter}	P _{sääst}	Diskont. rahavoog	Tasuvus
1	72000	510	3619,1	6694,7	120,9	2565,6	-66012,9	-66012,9
2	0	510	3624,4	6694,7	119,9	2440,4	2322,3	-63690,7
3	0	510	3629,6	6694,7	118,9	2436,1	2207,1	-61483,5
4	0	510	3634,9	6694,7	118,0	2431,8	2097,7	-59385,8
5	0	1010	3640,2	6694,7	117,0	1927,5	1601,9	-57783,9
6	0	510	3645,4	6694,7	116,0	2423,2	1894,8	-55889,1
7	0	510	3650,7	6694,7	115,1	2418,9	1800,9	-54088,2
8	0	510	3655,9	6694,7	114,1	2414,6	1711,5	-52376,7
9	0	510	3661,2	6694,7	113,1	2410,3	1626,6	-50750,1
10	0	5510	3666,5	6694,7	112,2	-2594,0	-1523,6	-52273,7
11	0	510	3671,7	6694,7	111,2	2401,7	1469,3	-50804,4
12	0	510	3677,0	6694,7	110,2	2397,4	1396,4	-49408,1
13	0	510	3682,3	6694,7	109,3	2393,1	1327,1	-48081,0
14	0	510	3687,5	6694,7	108,3	2388,8	1261,2	-46819,8
15	0	1010	3692,8	6694,7	107,3	1884,5	958,1	-45861,6
16	0	510	3698,0	6694,7	106,4	2380,2	1139,1	-44722,5
17	0	510	3703,3	6694,7	105,4	2375,9	1082,6	-43639,9
18	0	510	3708,6	6694,7	104,4	2371,7	1028,9	-42611,0
19	0	510	3713,8	6694,7	103,5	2367,4	977,8	-41633,2
20	0	5510	3719,1	6694,7	102,5	-2636,9	-955,2	-42588,4
21	0	510	3724,4	6694,7	101,5	2358,8	883,1	-41705,3
22	0	510	3729,6	6694,7	100,6	2354,5	839,3	-40866,0
23	0	510	3734,9	6694,7	99,6	2350,2	797,6	-40068,5
24	0	510	3740,1	6694,7	98,6	2345,9	758,0	-39310,5
25	0	1010	3745,4	6694,7	97,7	1841,6	572,7	-38737,8

5.5. Serverimooduli lisamine süsteemi

Järgnevalt vaatleme, kuidas mõjutab projekti tasuvust serverimooduli lisamine. Arvesse võetakse nii STS, pääkesepaneelid ning lisaks krüptoraha kaevandaja elektrikulu, soojuse eraldus ning krüptoraha kaevandamise tulu. Siin peatükis analüüsime 3 erinevat stsenaariumit:

- ASIC stsenaarium – terve eluea vältel kasutatakse odavamaid spetsiaalse algoritmi lahendajaid koos sarnaste näitajatega nagu on välja toodud tabelis 6.
- GPU stsenaarium – terve eluea vältel kasutatakse tippklassi graafikakaarte koos sarnaste näitajatega nagu tabelis 4 ainult krüptoraha kaevandamiseks.
- GPU2 stsenaarium - terve eluea vältel kasutatakse tippklassi graafikakaarte koos sarnaste näitajatega nagu tabel 5, kuid 5% ajast pakutakse masinõppe teenuseid krüptoraha kaevamise asemel.

Kõikide stsenaariumite korral kasutatakse mineraalõlijahutuse varianti, mille maksumuseks on 2300 (Tabel 8) ning paigalduskulud on 1200 (Tabel 11). Aastaseks hooldustasuks on 100€. Arvuti võimsuseks valitud hetkel 5 kW nagu tabelis 3 ja tabelis 6 valitud komponentidega. Hiljem arvutatakse tasuvusi erinevatel võimsustel kõige kasumlikuma masina ja algoritmi kombinatsiooniga.

5.6. ASIC stsenaarium

Tabel 19 on näha ASIC stsenaariumi NPV arvutust. Juurde on tulnud lahter „P_krüpto“, mis näitab masina aastast tootlikkust. Iga aasta masina tootlikkus väheneb 70% ning iga kolmas aasta ostetakse uuema generatsiooni masin.

Tabel 19. ASIC stsenaariumi tasuvus

a	C _{invest}	Chooldus/ remont	C _{el} ,	C _{alt}	P _{el}	P _{krüpto}	P _{sääst}	Diskont rahavoog	Tasuvus
1	78872	610	7276,1	6694,7	15,6	8253,6	-1191,4	-68375,4	-68375,4
2	0	610	7281,3	6694,7	15,5	5777,5	-1212,1	4155,0	-64220,5
3	0	610	7286,6	6694,7	15,3	4044,3	-1217,3	2455,3	-61765,2
4	3372	610	7291,9	6694,7	15,2	8253,6	-1222,4	3022,9	-58742,2
5	0	1110	7297,1	6694,7	15,1	5777,5	-1727,5	3185,1	-55557,1
6	0	610	7302,4	6694,7	15,0	4044,3	-1232,7	2109,2	-53447,9
7	3372	610	7307,6	6694,7	14,8	8253,6	-1237,8	2600,1	-50847,8
8	0	610	7312,9	6694,7	14,7	5777,5	-1243,0	3079,1	-47768,7
9	0	610	7318,2	6694,7	14,6	4044,3	-1248,1	1811,8	-45956,8
10	3372	5610	7323,4	6694,7	14,5	8253,6	-6253,2	-833,2	-46790,0
11	0	610	7328,7	6694,7	14,3	5777,5	-1258,4	2650,6	-44139,4
12	0	610	7334,0	6694,7	14,2	4044,3	-1263,5	1556,3	-42583,0
13	3372	610	7339,2	6694,7	14,1	8253,6	-1268,6	1923,5	-40659,5
14	0	610	7344,5	6694,7	14,0	5777,5	-1273,8	2281,7	-38377,8
15	0	1110	7349,7	6694,7	13,8	4044,3	-1778,9	1096,3	-37281,5
16	3372	610	7355,0	6694,7	13,7	8253,6	-1284,1	1654,4	-35627,1
17	0	610	7360,3	6694,7	13,6	5777,5	-1289,2	1964,2	-33662,9
18	0	610	7365,5	6694,7	13,5	4044,3	-1294,3	1148,2	-32514,7
19	3372	610	7370,8	6694,7	13,3	8253,6	-1299,5	1422,9	-31091,8
20	0	5610	7376,1	6694,7	13,2	5777,5	-6304,6	-193,7	-31285,5
21	0	610	7381,3	6694,7	13,1	4044,3	-1309,8	986,2	-30299,3
22	3372	610	7386,6	6694,7	13,0	8253,6	-1314,9	1223,7	-29075,6
23	0	610	7391,8	6694,7	12,8	5777,5	-1320,0	1455,4	-27620,1
24	0	610	7397,1	6694,7	12,7	4044,3	-1325,2	847,1	-26773,1
25	0	1110	7402,4	6694,7	12,6	2831,0	-1830,3	299,2	-26473,9

Tasuvus on oluliselt paranenud, kui kogu investeering on siiski oluliselt kahjumis. Pääkesepaneelide poolt toodetud elektrienergia on märksa rohkem ära kasutatud ning seetõttu on ka väiksem müügitulu elektrivõrku.

5.7. GPU stsenaarium

Tabel 20 on näha GPU stsenaariumi NPV arvutust. Serveri eluiga on 5 aastat. Investeering tervikuna on parem kui ainult pääkesepaneelidega variandi puhul, kuid ASIC stsenaariumist on tasuvus tunduvalt kehvem. Tulemus on oodatav, kuna ASIC puhul on loodud võimalikult majanduslikult efektiivne seade ühe konkreetse algoritmi lahendamiseks. GPU masina puhul on tegemist universaalse arvutiga, millele leidub sisuliselt lõpmatult rakendusi.

Tabel 20. GPU stsenaariumi tasuvus

a	C _{invest}	Chooldus/ remont	C _{el} ,	C _{alt}	P _{el}	P _{krüpto}	P _{sääst}	Diskont rahavoog	Tasuvus
1	94343	610	7276,1	6694,7	15,6	14892,0	-1191,4	-76787,4	-76787,4
2	0	610	7281,3	6694,7	15,5	10424,4	-1212,1	8369,8	-68417,6
3	0	610	7286,6	6694,7	15,3	7297,1	-1217,3	5265,2	-63152,4
4	0	610	7291,9	6694,7	15,2	5108,0	-1222,4	3209,2	-59943,2
5	0	1110	7297,1	6694,7	15,1	3575,6	-1727,5	1459,8	-58483,4
6	18843	610	7302,4	6694,7	15,0	14892,0	-1232,7	-3857,0	-62340,4
7	0	610	7307,6	6694,7	14,8	10424,4	-1237,8	6539,3	-55801,1
8	0	610	7312,9	6694,7	14,7	7297,1	-1243,0	4107,6	-51693,5
9	0	610	7318,2	6694,7	14,6	5108,0	-1248,1	2497,5	-49196,0
10	0	5610	7323,4	6694,7	14,5	3575,6	-6253,2	-1635,0	-50831,0
11	18843	610	7328,7	6694,7	14,3	14892,0	-1258,4	-3037,4	-53868,4
12	0	610	7334,0	6694,7	14,2	10424,4	-1263,5	5109,0	-48759,4
13	0	610	7339,2	6694,7	14,1	7297,1	-1268,6	3204,5	-45554,9
14	0	610	7344,5	6694,7	14,0	5108,0	-1273,8	1943,6	-43611,3
15	0	1110	7349,7	6694,7	13,8	3575,6	-1778,9	870,9	-42740,4
16	18843	610	7355,0	6694,7	13,7	14892,0	-1284,1	-2392,0	-45132,4
17	0	610	7360,3	6694,7	13,6	10424,4	-1289,2	3991,6	-41140,8
18	0	610	7365,5	6694,7	13,5	7297,1	-1294,3	2499,9	-38640,9
19	0	610	7370,8	6694,7	13,3	5108,0	-1299,5	1512,4	-37128,5
20	0	5610	7376,1	6694,7	13,2	3575,6	-6304,6	-1023,6	-38152,1
21	18843	610	7381,3	6694,7	13,1	14892,0	-1309,8	-1883,6	-40035,7
22	0	610	7386,6	6694,7	13,0	10424,4	-1314,9	3118,5	-36917,2
23	0	610	7391,8	6694,7	12,8	7297,1	-1320,0	1950,1	-34967,0
24	0	610	7397,1	6694,7	12,7	5108,0	-1325,2	1176,9	-33790,1
25	0	1110	7402,4	6694,7	12,6	3575,6	-1830,3	519,1	-33271,0

5.8. GPU2 stsenaarium

Tabel 21. GPU 2 stsenaariumi tasuvus

a	C _{invest}	Chooldus/ remont	C _{el} ,	C _{alt}	P _{el}	P _{krüpto}	P _{sääst}	Diskont rahavoog	Tasuvus
1	94343	610	7276,1	6694,7	15,6	18619,4	-1191,4	-73237,6	-73237,6
2	0	610	7281,3	6694,7	15,5	13033,6	-1212,1	10736,4	-62501,1
3	0	610	7286,6	6694,7	15,3	9123,5	-1217,3	6842,9	-55658,2
4	0	610	7291,9	6694,7	15,2	6386,4	-1222,4	4261,0	-51397,2
5	0	1110	7297,1	6694,7	15,1	4470,5	-1727,5	2161,0	-49236,2
6	18843	610	7302,4	6694,7	15,0	18619,4	-1232,7	-1075,5	-50311,7
7	0	610	7307,6	6694,7	14,8	13033,6	-1237,8	8393,6	-41918,2
8	0	610	7312,9	6694,7	14,7	9123,5	-1243,0	5343,8	-36574,4
9	0	610	7318,2	6694,7	14,6	6386,4	-1248,1	3321,6	-33252,7
10	0	5610	7323,4	6694,7	14,5	4470,5	-6253,2	-1085,6	-34338,3
11	18843	610	7328,7	6694,7	14,3	18619,4	-1258,4	-858,1	-35196,4
12	0	610	7334,0	6694,7	14,2	13033,6	-1263,5	6561,9	-28634,5
13	0	610	7339,2	6694,7	14,1	9123,5	-1268,6	4173,1	-24461,4
14	0	610	7344,5	6694,7	14,0	6386,4	-1273,8	2589,3	-21872,1
15	0	1110	7349,7	6694,7	13,8	4470,5	-1778,9	1301,4	-20570,7
16	18843	610	7355,0	6694,7	13,7	18619,4	-1284,1	-684,4	-21255,1
17	0	610	7360,3	6694,7	13,6	13033,6	-1289,2	5130,0	-16125,2
18	0	610	7365,5	6694,7	13,5	9123,5	-1294,3	3258,8	-12866,4
19	0	610	7370,8	6694,7	13,3	6386,4	-1299,5	2018,4	-10848,0
20	0	5610	7376,1	6694,7	13,2	4470,5	-6304,6	-686,3	-11534,3
21	18843	610	7381,3	6694,7	13,1	18619,4	-1309,8	-545,7	-12080,0
22	0	610	7386,6	6694,7	13,0	13033,6	-1314,9	4010,5	-8069,5
23	0	610	7391,8	6694,7	12,8	9123,5	-1320,0	2544,8	-5524,8
24	0	610	7397,1	6694,7	12,7	6386,4	-1325,2	1573,3	-3951,5
25	0	1110	7402,4	6694,7	12,6	4470,5	-1830,3	783,4	-3168,1

Tabel 21 on näha tasuvust juhul, kui graafikakaartidega masin teostab aasta jooksul 5% ajast masinõppe teenust. Tasuvus on kategooriliselt parem ning peaaegu muudab kasumlikuks muidu kahjumis investeeringu. Tabel 23 on samale stsenaariumile juurde lisatud riigitoetused. Päikesepaneelide ning STS investeeringust on kinni makstud riigi poolt 40% ning esimesed 12 aastat on subsideeritud võrku müüdud elektrit. Projekt teenib kasumit juba 13ndast aastast. Küll aga on projekti tasuvus ülimalt tundlik nagu on näha tabelist 23. Võib arvata, et tundlikkused vähenevad oluliselt kui masinõppe osakaal aastast suureneb.

Tabel 22. GPU2 stsenaariumi tasuvus koos riigitoetustega

a	C _{invest}	Choodus/ remont	C _{el} ,	C _{alt}	P _{el}	P _{kriipto}	P _{sääst}	Diskont rahavoog	Tasuvus
1	65543	610	7276,1	6694,7	40,8	18619,4	-1191,4	-45785,0	-45785,0
2	0	610	7281,3	6694,7	40,5	13033,6	-1237,2	10736,4	-35048,6
3	0	610	7286,6	6694,7	40,2	9123,5	-1242,1	6842,9	-28205,6
4	0	610	7291,9	6694,7	39,8	6386,4	-1247,0	4261,0	-23944,6
5	0	1110	7297,1	6694,7	39,5	4470,5	-1752,0	2161,0	-21783,6
6	18843	610	7302,4	6694,7	39,2	18619,4	-1256,9	-1075,5	-22859,2
7	0	610	7307,6	6694,7	38,9	13033,6	-1261,8	8393,6	-14465,6
8	0	610	7312,9	6694,7	38,5	9123,5	-1266,8	5343,8	-9121,8
9	0	610	7318,2	6694,7	38,2	6386,4	-1271,7	3321,6	-5800,1
10	0	5610	7323,4	6694,7	37,9	4470,5	-6276,6	-1085,6	-6885,7
11	18843	610	7328,7	6694,7	37,5	18619,4	-1281,6	-858,1	-7743,8
12	0	610	7334,0	6694,7	37,2	13033,6	-1286,5	6561,9	-1181,9
13	0	610	7339,2	6694,7	14,1	9123,5	-1268,6	4173,1	2991,2
14	0	610	7344,5	6694,7	14,0	6386,4	-1273,8	2589,3	5580,5
15	0	1110	7349,7	6694,7	13,8	4470,5	-1778,9	1301,4	6881,8
16	18843	610	7355,0	6694,7	13,7	18619,4	-1284,1	-684,4	6197,4
17	0	610	7360,3	6694,7	13,6	13033,6	-1289,2	5130,0	11327,4
18	0	610	7365,5	6694,7	13,5	9123,5	-1294,3	3258,8	14586,2
19	0	610	7370,8	6694,7	13,3	6386,4	-1299,5	2018,4	16604,5
20	0	5610	7376,1	6694,7	13,2	4470,5	-6304,6	-686,3	15918,3
21	18843	610	7381,3	6694,7	13,1	18619,4	-1309,8	-545,7	15372,6
22	0	610	7386,6	6694,7	13,0	13033,6	-1314,9	4010,5	19383,1
23	0	610	7391,8	6694,7	12,8	9123,5	-1320,0	2544,8	21927,8
24	0	610	7397,1	6694,7	12,7	6386,4	-1325,2	1573,3	23501,1
25	0	1110	7402,4	6694,7	12,6	4470,5	-1830,3	783,4	24284,5

Tabel 23. GPU2 stsenaariumi tasuvuse hinnatundlikkused

Elektrihinna muutus	Δ25%	Δ10%	Δ5%
Mõju tasuvusele	±106%	±42%	±21%

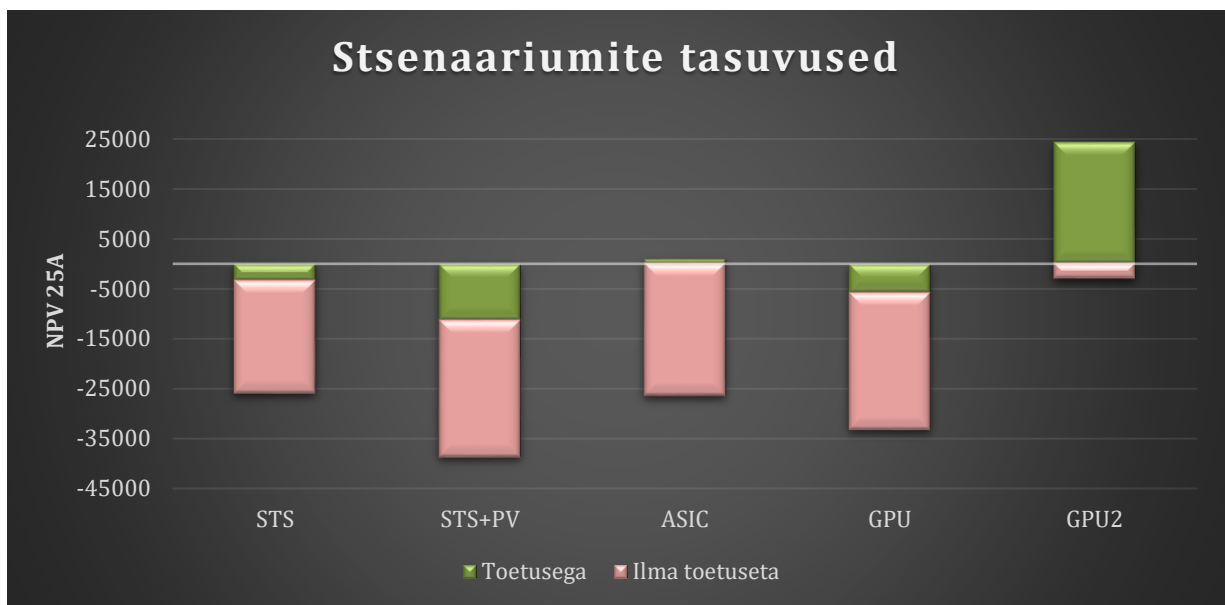
Soojusehinna muutus	Δ25%	Δ10%	Δ5%
Mõju tasuvusele	±97%	±38%	±19%

Krüptoraha hinna muutus	Δ75%	Δ50%	Δ25%
Mõju tasuvusele	±370%	±254%	±137%

Masinõppe % aastas	25%	10%	3%
Mõju tasuvusele	+515%	+143%	-30%

5.9. Stsenaariumite võrdlused

Joonisel 38 on näha tulemusi, Sisuliselt on tegemist hetkel halva investeeringu parandamisega ning kõik variandid parandavad oluliselt baasstsenaariumi ehk STS+PV stsenaariumit. Kõige kasumlikum variant on kasutada GPU2 riistvara ja algoritmi, mis enamuses ajast kaevandab krüptoraha ning 5% ajast teostab masinõpet. Antud stsenaarium muudab peaaegu kogu projekti tasuvaks ilma riigitoetusteta. Koos toetustega on kasum vaieldamatu. Muudest projektidest jõuavad napilt toetusega kasumisse ainult STS variant ning ASIC stsenaarium,



Joonis 38. Stsenaariumite tasuvused (25. aasta NPV)

Tabel 24. GPU2 Stsenaariumite tasuvused

	STS	STS+PV	ASIC	GPU	GPU2
Ilma toetuseta	-26047 €	-38737 €	-26473 €	-33271 €	-3168
Toetusega	-3380€	-11124 €	979 €	-5819 €	24283

6. Erinevate võimsuste tasuvuse arvutused

Eelmisest peatükist sai järeldatud, et kõige kasumlikum on kasutada GPU2 stsenaariumi riistvara ja algoritmi – graafikakaartidega arvutit, mis osaliselt teostab masinõpet. Järgnevates stsenaariumites katsetatakse sama konfiguratsiooniga masinat erinevate võimsuste korral nagu sai tabelis 13 välja valitud. Nendeks on:

- 2,5 kW GPU2
- 5 kW GPU2 - juba eelnevas peatükis tehtud
- 10 kW GPU2
- 10 kW GPU2 + PV - päikesepaneelide koguvõimsus kahekordistatud

Arvutusseadme võimsuse muutusega muutub proportsionaalselt ka arvuti investering ning tema tootlikkus. Tabel 25 näitab tasuvust 2,5 kW võimsuse korral. Eluea jooksul kasumisse ei jõua, kuid on siiski tunduvalt parem kui baasstsenaarium.

Tabel 26 on 10kW GPU2 stsenaarium. Elektritarve on suurim, kuid kasum on märkimisväärselt suur arvestades, et riigitoetusi sellel ei ole. Tabel 27 on näha sama stsenaariumi koos kahekordse päikesepaneelide võimsusega. Lõpptulemus on mõnevõrra väiksem ilmselt seetõttu, et päikesepaneeli toodetud elektrit ei kasutata täielikult ära.

Tabel 25. 2,5 kW võimsusega GPU2 stsenaariumi tasuvus

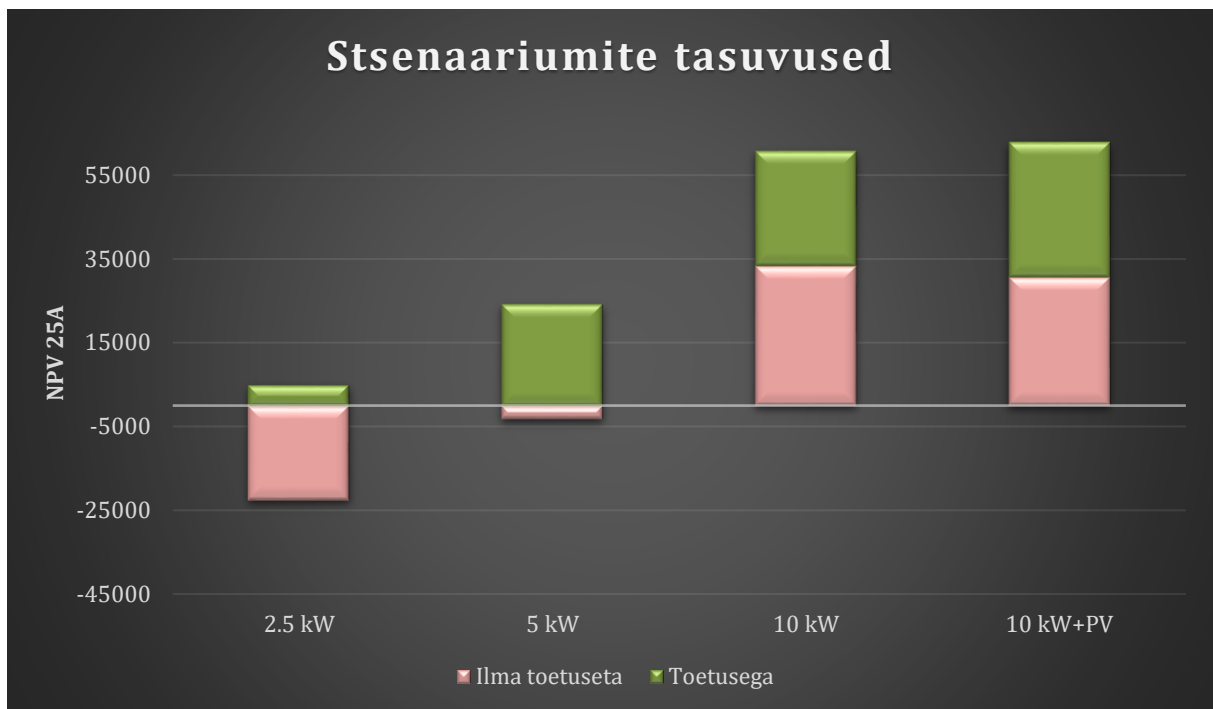
a	C _{invest}	C _{hooldus/remont}	C _{el}	C _{alt}	P _{el}	P _{krüpto}	P _{sääst}	Diskont rahavoog	Tasuvus
1	84921,5	610	5386,2	6694,7	54,3	9309,7	698,4	-71294,4	-71294,4
2	0	610	5391,5	6694,7	53,9	6516,8	639,3	6539,6	-64754,7
3	0	610	5396,8	6694,7	53,4	4561,7	634,5	4534,9	-60219,9
4	0	610	5402,0	6694,7	53,0	3193,2	629,7	3188,7	-57031,2
5	0	1110	5407,3	6694,7	52,6	2235,3	124,8	1890,4	-55140,8
6	9421,5	610	5412,5	6694,7	52,1	9309,7	620,0	418,1	-54722,7
7	0	610	5417,8	6694,7	51,7	6516,8	615,2	5105,3	-49617,4
8	0	610	5423,1	6694,7	51,3	4561,7	610,3	3535,4	-46082,0
9	0	610	5428,3	6694,7	50,8	3193,2	605,5	2481,5	-43600,6
10	0	5610	5433,6	6694,7	50,4	2235,3	-4399,3	-1297,6	-44898,2
11	9421,5	610	5438,9	6694,7	50,0	9309,7	595,9	312,2	-44586,0
12	0	610	5444,1	6694,7	49,5	6516,8	591,0	3985,5	-40600,5
13	0	610	5449,4	6694,7	49,1	4561,7	586,2	2756,1	-37844,4
14	0	610	5454,6	6694,7	48,7	3193,2	581,4	1931,0	-35913,4
15	0	1110	5459,9	6694,7	48,2	2235,3	76,5	1135,2	-34778,2
16	9421,5	610	5465,2	6694,7	47,8	9309,7	571,7	232,6	-34545,6
17	0	610	5470,4	6694,7	47,3	6516,8	566,9	3111,2	-31434,4
18	0	610	5475,7	6694,7	46,9	4561,7	562,1	2148,5	-29285,8
19	0	610	5480,9	6694,7	46,5	3193,2	557,2	1502,6	-27783,2
20	0	5610	5486,2	6694,7	46,0	2235,3	-4447,6	-816,5	-28599,7
21	9421,5	610	5491,5	6694,7	45,6	9309,7	547,6	172,8	-28426,9
22	0	610	5496,7	6694,7	45,2	6516,8	542,8	2428,7	-25998,2
23	0	610	5502,0	6694,7	44,7	4561,7	537,9	1674,9	-24323,3
24	0	610	5507,3	6694,7	44,3	3193,2	533,1	1169,1	-23154,1
25	0	1110	5512,5	6694,7	43,9	2235,3	28,3	681,4	-22472,8

Tabel 26. 10 kW võimsusega GPU2 stsenaariumi tasuvus

a	C _{invest}	C _{hooldus/ remont}	C _{el}	C _{alt}	P _{el}	P _{krüpto}	P _{sääst}	Diskont rahavoog	Tasuvus
1	113186	610	11218,6	6694,7	0,0	37238,8	-5133,9	-77220,1	-77220,1
2	0	610	11223,8	6694,7	0,0	26067,1	-5139,2	18982,3	-58237,8
3	0	610	11229,1	6694,7	0,0	18247,0	-5144,4	11318,5	-46919,3
4	0	610	11234,3	6694,7	0,0	12772,9	-5149,7	6271,6	-40647,7
5	0	1110	11239,6	6694,7	0,0	8941,0	-5654,9	2574,7	-38073,0
6	37686	610	11244,9	6694,7	0,0	37238,8	-5160,2	-4184,4	-42257,3
7	0	610	11250,1	6694,7	0,0	26067,1	-5165,5	14854,4	-27402,9
8	0	610	11255,4	6694,7	0,0	18247,0	-5170,7	8850,5	-18552,4
9	0	610	11260,7	6694,7	0,0	12772,9	-5176,0	4897,0	-13655,4
10	0	5610	11265,9	6694,7	0,0	8941,0	-10181,3	-761,4	-14416,7
11	37686	610	11271,2	6694,7	0,0	37238,8	-5186,5	-3293,9	-17710,7
12	0	610	11276,4	6694,7	0,0	26067,1	-5191,8	11624,2	-6086,5
13	0	610	11281,7	6694,7	0,0	18247,0	-5197,0	6920,7	834,2
14	0	610	11287,0	6694,7	0,0	12772,9	-5202,3	3823,7	4657,8
15	0	1110	11292,2	6694,7	0,0	8941,0	-5707,6	1555,3	6213,2
16	37686	610	11297,5	6694,7	0,0	37238,8	-5212,8	-2592,9	3620,2
17	0	610	11302,8	6694,7	0,0	26067,1	-5218,1	9096,4	12716,6
18	0	610	11308,0	6694,7	0,0	18247,0	-5223,4	5411,6	18128,2
19	0	610	11313,3	6694,7	0,0	12772,9	-5228,6	2985,5	21113,7
20	0	5610	11318,5	6694,7	0,0	8941,0	-10233,9	-487,3	20626,5
21	37686	610	11323,8	6694,7	0,0	37238,8	-5239,1	-2041,1	18585,4
22	0	610	11329,1	6694,7	0,0	26067,1	-5244,4	7118,2	25703,6
23	0	610	11334,3	6694,7	0,0	18247,0	-5249,7	4231,6	29935,2
24	0	610	11339,6	6694,7	0,0	12772,9	-5254,9	2331,1	32266,3
25	0	1110	11344,9	6694,7	0,0	8941,0	-5760,2	939,3	33205,6

Tabel 27. 10 kW võimsusega GPU2 + PV stsenaariumi tasuvus

a	C_{invest}	C_{hooldus/} remont	C_{el}	C_{alt}	P_{el}	P_{krüpto}	P_{sääst}	Diskont rahavoog	Tasuvus
1	125686	770	10390,7	6694,7	64,0	37238,8	-4466,0	-88427,8	-88427,8
2	0	770	10397,7	6694,7	63,5	26067,1	-4536,6	19586,5	-68841,4
3	0	770	10404,8	6694,7	63,0	18247,0	-4543,1	11892,3	-56949,0
4	0	770	10411,8	6694,7	62,5	12772,9	-4549,6	6816,7	-50132,3
5	0	1270	10418,9	6694,7	62,0	8941,0	-5056,2	3092,4	-47039,9
6	37686	770	10425,9	6694,7	61,5	37238,8	-4562,7	-3692,7	-50732,6
7	0	770	10433,0	6694,7	60,9	26067,1	-4569,3	15321,4	-35411,1
8	0	770	10440,0	6694,7	60,4	18247,0	-4575,8	9294,1	-26117,0
9	0	770	10447,1	6694,7	59,9	12772,9	-4582,3	5318,3	-20798,7
10	0	5770	10454,1	6694,7	59,4	8941,0	-9588,9	-361,3	-21160,0
11	37686	770	10461,2	6694,7	58,9	37238,8	-4595,4	-2913,9	-24073,9
12	0	770	10468,3	6694,7	58,4	26067,1	-4602,0	11985,1	-12088,8
13	0	770	10475,3	6694,7	57,9	18247,0	-4608,5	7263,5	-4825,3
14	0	770	10482,4	6694,7	57,4	12772,9	-4615,1	4149,2	-676,1
15	0	1270	10489,4	6694,7	56,8	8941,0	-5121,6	1864,6	1188,5
16	37686	770	10496,5	6694,7	56,3	37238,8	-4628,1	-2299,3	-1110,8
17	0	770	10503,5	6694,7	55,8	26067,1	-4634,7	9375,3	8264,5
18	0	770	10510,6	6694,7	55,3	18247,0	-4641,2	5676,5	13940,9
19	0	770	10517,6	6694,7	54,8	12772,9	-4647,8	3237,1	17178,0
20	0	5770	10524,7	6694,7	54,3	8941,0	-9654,3	-248,4	16929,7
21	37686	770	10531,7	6694,7	53,8	37238,8	-4660,8	-1814,2	15115,4
22	0	770	10538,8	6694,7	53,3	26067,1	-4667,4	7333,7	22449,2
23	0	770	10545,8	6694,7	52,7	18247,0	-4673,9	4436,2	26885,3
24	0	770	10552,9	6694,7	52,2	12772,9	-4680,5	2525,4	29410,7
25	0	1270	10559,9	6694,7	51,7	8941,0	-5187,0	1123,8	30534,6



Joonis 39. GPU2 Stsenaariumite tasuvused

Tabel 28. GPU2 Stsenaariumite tasuvused

	2,5 kW	5 kW	10 kW	10 kW+PV
Ilma toetuseta	-22472 €	-3168 €	33205 €	30534 €
Toetusega	5039 €	24283 €	60634 €	62823 €

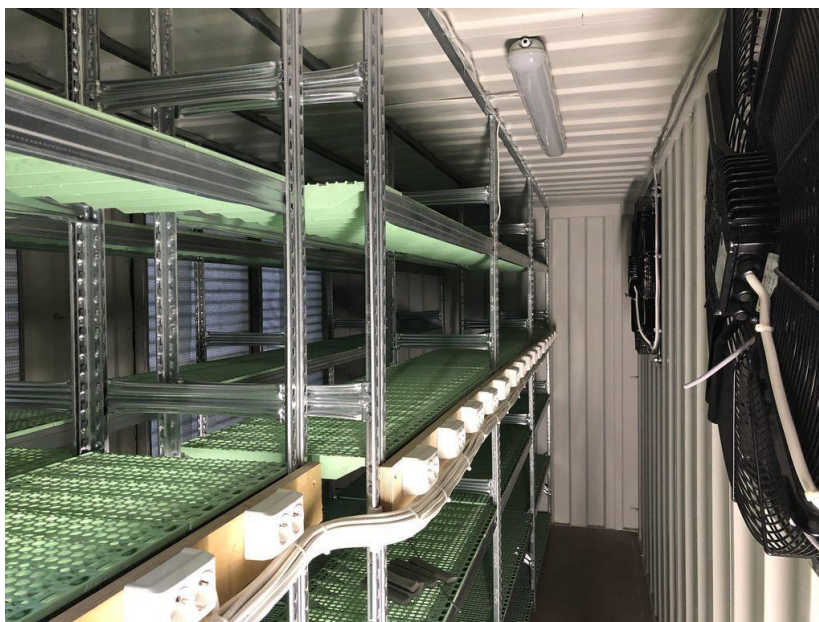
Joonis 39 on näha visuaalselt stsenaariumite tasuvusi. Punane osa tähistab projekti tasuvust ilma toetusteta ning roheline tähistab tasuvust koos toetustega.

6.1. Konteineri krüptoraha farmi stsenaarium

Üsna tavaline stsenaarium on, kus krüptoraha kaevandajad paigaldatakse eraldi konteinerisse, Joonistel on näha Power Mining poolt loodud spetsiaalset konteinerit krüptoraha kaevandamise jaoks. Sisse on ehitatud vajalik kaabeldus, riiulid ning ka jahutuse lahendus. Kui kasutada energiatihedaid ASIC masinaid, saab sinna sisse panna kuni 250kW jagu kaevandajaid, GPU kaevandajaid mahub 100kW jagu.



Joonis 40. Power Mining konteineri küljevaade



Joonis 41. Power Mining konteineri sisemine vaade

Tabel 29. Konteineri paigalduse maksumus elektri jaama (andmed pärit reaalsest hinnapakkumisest)

Komponent	Hind €
Konteineri investeering	20000
100kW kaabeldus ning jaotuskilp	10656
Fiiberoptilise kaabli vedu	1300
Valvesüsteemi paigaldus	340
Investeering kokku	32296

Tabel 29 andmed on päris reaalsest hinnapakumisest elektriijaama poolt. Elektriinna pakkumine on 65 €/MWh. Konteineri tootjate sõnul õhuvoolu tekitamiseks vajalike ventilaatorite võimsus on 6 kW.

Tabel 30. Konteineri kaevanduse projekti tasuvus madala elektriinnaga

Aasta	Cinvest	Chooldus	Celekter	P_krüpto	rahavoog	Diskonteeritud rahavoog	NPV
1	20457,8	100	3017,8	18619,4	-4956,24	-4720,2	-4720,2
2	0	100	3017,8	13033,6	9915,75	8993,9	4273,6
3	0	100	3017,8	9123,5	6005,68	5187,9	9461,6
4	0	100	3017,8	6386,4	3268,63	2689,1	12150,7
5	0	100	3017,8	4470,5	1352,69	1059,9	13210,6
6	18843	100	3017,8	18619,4	-3341,44	-2493,4	10717,1
7	0	100	3017,8	13033,6	9915,75	7046,9	17764,1
8	0	100	3017,8	9123,5	6005,68	4064,9	21828,9
9	0	100	3017,8	6386,4	3268,63	2107,0	23935,9
10	0	100	3017,8	4470,5	1352,69	830,4	24766,4
11	18843	100	3017,8	18619,4	-3341,44	-1953,7	22812,7
12	0	100	3017,8	13033,6	9915,75	5521,5	28334,1
13	0	100	3017,8	9123,5	6005,68	3184,9	31519,1
14	0	100	3017,8	6386,4	3268,63	1650,9	33170,0
15	0	100	3017,8	4470,5	1352,69	650,7	33820,6
16	18843	100	3017,8	18619,4	-3341,44	-1530,8	32289,9
17	0	100	3017,8	13033,6	9915,75	4326,2	36616,1
18	0	100	3017,8	9123,5	6005,68	2495,5	39111,6
19	0	100	3017,8	6386,4	3268,63	1293,5	40405,1
20	0	100	3017,8	4470,5	1352,69	509,8	40914,9
21	18843	100	3017,8	18619,4	-3341,44	-1199,4	39715,5
22	0	100	3017,8	13033,6	9915,75	3389,7	43105,2
23	0	100	3017,8	9123,5	6005,68	1955,3	45060,5
24	0	100	3017,8	6386,4	3268,63	1013,5	46074,0
25	0	100	3017,8	4470,5	1352,69	399,5	46473,4

See kogus jagatakse samuti 20 arvuti vahel ning 1 arvuti kohta tuleb lisavõimsus 0,3 kW. Antud juhul on kasutatud GPU 2 stsenaariumi arvuteid, mida mahub antud konteinerisse 20tk. Kõik kulud on jagatud masinate arvuga, et saada kätte tasuvuse informatsioon 1 masina kohta. Tabel 22 on näha projekti tasuvus, Kasum hakkab pihta juba teisest aastast ning projekt on tunduvalt kasumlikum kui võrrelda eelnevate stsenaariumitega.

Tabel 31. Konteineri elektriijaama stsenaariumi hinnatundlikkused

Elektrihinna muutus	$\Delta 25\%$	$\Delta 10\%$	$\Delta 5\%$
Mõju tasuvusele	$\pm 20\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$

Krüptoraha hinna muutus	$\Delta 25\%$	$\Delta 10\%$	$\Delta 5\%$
Mõju tasuvusele	$\pm 61\%$	$\pm 25\%$	$\pm 12\%$

Masinõppe % aastas	25%	10%	3%
Mõju tasuvusele	+259%	+65%	-26%

Tabel 32 on toodud stsenaarium, kus investeeringud on kõik samad, kuid elektrihind on koos võrgutasuga. Kasumit saab samuti juba teisest aastast alates. Kui võrrelda riigitoetustega GPU2 stsenaariumiga, siis lõplik NPV jääb alla.

Tabel 32. Konteineri kaevanduse projekti tasuvus tavalise elektrihinnaga

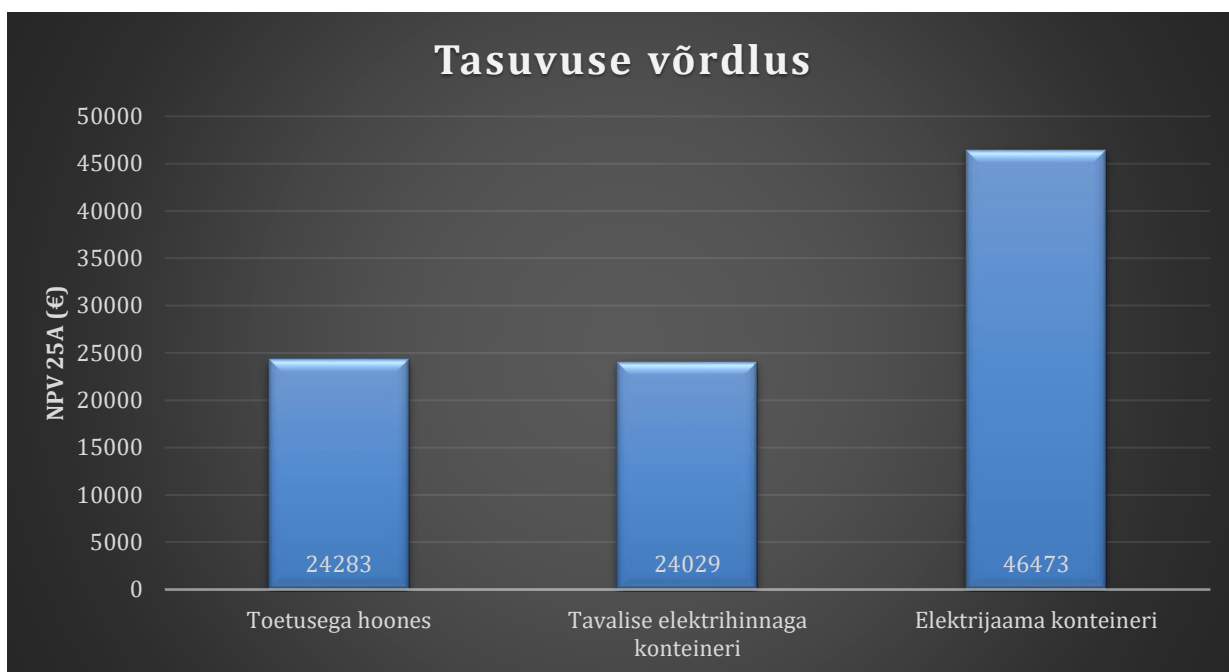
Aasta	Cinvest	Chooldus	Celekter	P_krüpto	rahavoog	Diskont. rahavoog	NPV
1	20457,8	100	4610,3	18619,4	-6548,72	-6236,9	-6236,9
2	0	100	4610,3	13033,6	8323,27	7549,4	1312,6
3	0	100	4610,3	9123,5	4413,20	3812,3	5124,9
4	0	100	4610,3	6386,4	1676,15	1379,0	6503,8
5	0	100	4610,3	4470,5	-239,79	-187,9	6315,9
6	18843	100	4610,3	18619,4	-4933,92	-3681,8	2634,2
7	0	100	4610,3	13033,6	8323,27	5915,2	8549,4
8	0	100	4610,3	9123,5	4413,20	2987,0	11536,4
9	0	100	4610,3	6386,4	1676,15	1080,5	12616,9
10	0	100	4610,3	4470,5	-239,79	-147,2	12469,6
11	18843	100	4610,3	18619,4	-4933,92	-2884,8	9584,9
12	0	100	4610,3	13033,6	8323,27	4634,7	14219,6
13	0	100	4610,3	9123,5	4413,20	2340,4	16560,0
14	0	100	4610,3	6386,4	1676,15	846,6	17406,6
15	0	100	4610,3	4470,5	-239,79	-115,3	17291,2
16	18843	100	4610,3	18619,4	-4933,92	-2260,3	15030,9
17	0	100	4610,3	13033,6	8323,27	3631,4	18662,4
18	0	100	4610,3	9123,5	4413,20	1833,8	20496,1
19	0	100	4610,3	6386,4	1676,15	663,3	21159,4
20	0	100	4610,3	4470,5	-239,79	-90,4	21069,1
21	18843	100	4610,3	18619,4	-4933,92	-1771,0	19298,1
22	0	100	4610,3	13033,6	8323,27	2845,3	22143,4
23	0	100	4610,3	9123,5	4413,20	1436,8	23580,2
24	0	100	4610,3	6386,4	1676,15	519,7	24099,9
25	0	100	4610,3	4470,5	-239,79	-70,8	24029,1

Tabel 33. Konteineri tavalise elektrihinna stsenaariumi hinnatundlikkused

Elektrihinna muutus	$\Delta 25\%$	$\Delta 10\%$	$\Delta 5\%$
Mõju tasuvusele	$\pm 68\%$	$\pm 27\%$	$\pm 14\%$

Krüptoraha hinna muutus	$\Delta 25\%$	$\Delta 10\%$	$\Delta 5\%$
Mõju tasuvusele	$\pm 119\%$	$\pm 48\%$	$\pm 24\%$

Masinõppe % aastas	25%	10%	3%
Mõju tasuvusele	+501%	+125%	-50%



Joonis 42. Konteineri stsenaariumite tasuvuse võrdlus hoonesse seadme paigaldusega (koos riigitoetustega)

	Toetusega hoones	Tavalise elektri hinnaga konteiner	Elektri jaama konteiner
Ilma toetuseta	24283 €	24029 €	46473 €

Lõputöö kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli analüüsida, kuidas mõjutab serverimooduli jääksoojuse ära kasutamine objekti päikesepaneelide ja soojustagastussüsteemi investeeringute tasuvust. Selleks sai välja valitud korteriühistu Pärnu mnt. 135, mis tarbib aastas umbes 183 MWh soojusenergiat ning mille päikesepaneelid toodavad aastas umbes 10,2 MWh elektrienergiat. Hoonele teostati renoveerimine aastal 2016, mille käigus paigaldati muuhulgas ventilatsiooni soojustagastussüsteem. Lõputöö on võimalik suuresti tänu koostööle antud objekti haldava firmaga Profener OÜ.

Arvuti jääksoojuse süsteemi integreerimise tehniliseks lahenduseks on olemasoleva infrastruktuuri ära kasutamine – paigaldada serverimoodul katusel asuva vesi-õhk soojuspumba ning boileriruumis asuva vesi-vesi soojuspumba vahele. Muidu olemasolevates lahendustes on vaja paigaldada eraldi soojuspump, et oleks võimalik ära kasutada madala temperatuuriga arvuti jääksoojust. Valitud lahendus võimaldab arvuti maha jahutada ka siis kui hoonel soojuse tarvet hetkel ei ole.

Kõige pealt sai koostatud stsenaariumid erinevate arvuti riistvarade ning tehtava arvutuslikkude tööde kohta. Jõuti järeldusele, et kõige lihtsam variant on alustada krüptoraha kaevandamisega, kuna nende jooksumine on lihtne ning need toodavad aasta läbi sama palju sooja. Koostati 2 realistlikku arvuti riistvara varianti: mitme graafikakaardiga server ning spetsiaalsete algoritmide lahendamiseks loodud kiipidega trükkplaadid.

Analüüsiti erinevaid variante, kuidas juhtida muidu õhkjahutusega kiipidelt soojust piirituselahuse kontuuriga torudesse. Soojusvaheti variantideks olid vesijahutus, mineraalõli jahutus ning madala keemistemperatuuriga inertvedeliku jahutus. Viimase kahe tehniline lahendus on sarnane ning on ka mõistlikumad pikas perspektiivis võrreldes vesijahutusega. Töö käigus sai valmis ehitatud prototüüp ning katsetatud inertvedelikuga jahutust erinevate arvutusseadmetega. Lõputöö arvutuste raames sai välja valitud mineraalõli jahutus.

Järgnevalt sai töödeldud objekti ajaloolisi andmeid. Hoonesse on paigaldatud Ouman ventilatsiooni soojustagastussüsteemi seadmed ning süsteemi hallatakse Ounet.fi veebikeskkonnas. Sealt sai CSV failide kujul kätte hoone soojuse ja elektri tarbe ning päikesepaneelide tootlikkuse. Välja sai valitud perioodiks aasta 2017. Nende andmete põhjal sai valmis ehitatud MS Excelis mudel, kus eelnevalt nimetatud andmed olid olemas tunnikaupa. Mudeli abil oli võimalik analüüsida nii nende praegust töötavat süsteemi kui ka simuleerida uusi stsenaariumeid.

Uuriti, kuidas mõjutab objekti elektri- ja soojusbilanssi 2,5 kW, 5 kW ning 10 kW serverimooduli paigaldamine. Samuti sai katsetatud, kuidas mõjutaks seisu päikesepaneelide koguse kahekordistamine. Arvuti jääksoojuse ära kasutamise efektiivsuse poolest oli kõige optimaalsem 2,5 kW variant. Selleks, et ära kasutada kogu päikesepaneelide poolt toodetud elektrienergia, oli vaja paigaldada 10 kW arvutusvõimsust.

Järgnevalt sai valmis tehtud stsenaariumite tasuvuse arvutamiseks NPV mudel. Kõige pealt analüüsiti, kuidas tasub ära nende praegune investering soojustagastussüsteemi ning päikesepaneelidesse. Üllatavaks tulemuseks on, et kui võtta eeldusteks diskonto määra 5%, tänased elektri- ja soojusehinnad ning hoone energiabilansi 2017 andmed, siis nende tehtud investeeringud ei tasu 25-aastase eluea jooksul ära isegi riigilt saadud toetustega. Korterühistu võttis hoone renoveerimiseks laenu Kredexilt ning nende kogu investering maksti kinni 40% ulatuses. Samuti nad saavad 12 aastat toetust elektrivõrku müüdü energia eest.

NPV mudeliga sai katsetatud erinevaid arvuti riistvara variante 5 kW võimsuse juures. Kõige kasumlikum variant oli kasutada graafikakaartidega arvutit. Enamuse ajast seade kaevandab krüptoraha ning 5% ajast aastas pakub masinõppe teenuseid selleks ettenähtud detsentraliseeritud arvutusvõimsuse rentimise turul. Kui võtta arvesse riigitoetusi hoone renoveerimiseks, siis antud stsenaarium muutis kogu projekti kasumlikuks.

Seejärel sai katsetatud sama arvuti riistvara ja tarkvara konfiguratsiooni võimsustega 2,5 kW ning 10 kW. Koos toetustega muutus projekt napilt kasumlikuks juba 2,5 kW paigaldamise korral. 10 kW puhul projekt tasub ära isegi ilma toetusteta ning kasumit on oodata juba 13. aastast. Lisaks sai proovitud eraldi stsenaariumit, kus 10 kW arvutusvõimsuse puhul kahekordistati päikesepaneelide võimsust ilma toetusteta. Tasuvus langes seejärel umbes 10%. Võiks arvata, et kui optimeerida paigaldatavate päikesepaneelide võimsust serverimooduli tarbimise järgi, siis tasuvus jääks umbes samaks. Toetuste lisamine sisuliselt kahekordistab tasuvust.

Lõpuks sai võrreldud 5 kW masina stsenaariumi tasuvust tavapärase krüptoraha kaevandamise operatsioonidega. Juhul kui riik toetab päikesepaneelide ja soojustagastussüsteemi investeringut, siis projekti tasuvus on konkurentsivõimeline operatsiooniga, kus krüptoraha kaevatakse võrgust ostetud elektriga. Juhul kui on võimalik paigaldada krüptoraha kaevandajad otse elektrijaama, siis muutub tavapärase operatsioon umbes 2 korda kasumlikumaks.

Üldiselt korteriühistu seisukohast tundub serverimooduli paigaldamine süsteemi igati kasumlik. Proovitud sai erinevaid variante arvutusvõimsuse optimeerimiseks, kuid tasuvuse arvutuste järgi võib järeldada, et mida rohkem võimsust paigaldada, seda tasuvam projekt on. Põhjuseks on ilmselt asjaolu, et valitud stsenaariumites on kasum krüptoraha kaevandamisest tunduvalt suurem kui sääst elektri- ja soojustarbimise pealt. Krüptoraha kaevandajatesse investeerimine on võrdlemisi riskantne tegevus, kuigi alates aastast 2009 kui Bitcoin loodi, on kaevandamine olnud siiaani kasumlik. Konservatiivse lähenemisena võiks hetkel kaaluda odavama kasutatud masina integreerimist ning tulevikus on siis võimalik paigaldada rohkem võimsust ja kallimaid masinaid.

Lisaks siin töös välja pakutud variantidele võiks kaaluda ka soojusakumulatsiooni paagi lisamist. Selle abil oleks võimalik ära kasutada kogu arvutite poolt toodetud soojus isegi suuremate võimsuste juures. Küll aga eeldab paagi paigaldus, et boileriruumis on jätud muude seadmete kõrvale küllalt ruumi. Variant on ka päikesekollektori süsteemiga ühendamine – talvel kui kollektor ise erilist soojust ei tooda, annaks selle akumulatsioonipaaki ära kasutada arvutusvõimsuse soojuse kogumiseks.

Siin töös arutatud objekti puhul on plaan soojusvaheti koos arvutusseadmetega realselt ära paigaldada aasta jooksul. Hetkel käivad soojusvaheti prototüübiga katsetused kodustes tingimustes. Inertvedeliku jahutuse katsetustel on tekkinud mitmed tehnilised iseärasused, mis panevad kaaluma üleminekule mineraalõli lahendusele.

2019. aastast peavad kõik uued avaliku sektori hooned ning aastast 2021 kõik rajatavad erasektori hooned vastama liginullenergiahoone nõuetele. Nendel hoonetel on sisuliselt kohustuslik paigaldada päikesepaneelid ja soojustagastussüsteem. Antud töös käsitletud variant on hea lähenemine, kuidas neid seadmeid efektiivsemalt ära kasutada.

Kirjandus

- [1] A, S, Andrae, *Total Consumer Power Consumption Forecast*, Nordic Digital Business Summit, 2017,
- [2] P, Ulloa, *Potential for Combined Heat and Power and District Heating and Cooling from Waste-to-Energy Facilities in the U,S, – Learning from the Danish Experience*”, Columbia University, 2007,
- [3] Y, W, Miyuru Dayarathna, „Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey,“ *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, kd, 18, nr 1, 2016,
- [4] „Systemair,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.systemair.com/Global/Solutions/Data-Center-Cooling/>, [Kasutatud 19 4 2018],
- [5] S, S, M, P, J, M, Mikko Wahlroos, „Utilizing data center waste heat in district heating – impacts on energy efficiency and,“ *Energy*, 2017,
- [6] „Sound To Sight,“ [Võrgumaterjal], Available: <http://sound-to-sight.com/references/qarnot-computing/>,
- [7] „Nerdalize - Facebook lehekülg,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.facebook.com/Nerdalize-335942266516857/>,
- [8] „Balti Vara koduleht,“ [Võrgumaterjal], Available: <http://www.baltivara.ee/portfolio-view/parnu-mnt-135-tallinn/>,
- [9] „Ounet keskkütte automaatika veebikeskkond,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.ounet.fi/>,
- [10] „Nord Pool Spot,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data/Dayahead/Area-Prices/EE/Yearly/?view=table>,
- [11] „Elektrilevi võrguteenuste paketid,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.elektrilevi.ee/>

/doc/6305157/kliendile/el_hinnakiri_vorguteenused_01112017_est.pdf,

- [12] „Utilitas soojuse hinnad,“ [Võrgumaterjal], Available: https://www.utilitas.ee/soojuse_hinnad/,
- [13] „Pinterest,“ [Võrgumaterjal], Available: <http://www.pinterest.com>,
- [14] „Arvutitark veebipood,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.arvutitark.ee>, [Kasutatud 5 5 2018],
- [15] „Server The Home - artikkel Zcashi kaevandamisest,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.servethehome.com/zcash-mining-on-nvidia-pascal-gpus-we-benchmark-and-compare/>,
- [16] „Nvidia ametlik koduleht,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.geforce.com/hardware/desktop-gpus/geforce-gtx-1080-ti/specifications>,
- [17] „Mineshop - krüptoraha kaevamise riistvara veebipood,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://mineshop.eu>, [Kasutatud 5 5 2018],
- [18] „Zcash kaevandamise keerukuse taseme ajalugu,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.coinwarz.com/difficulty-charts/zcash-difficulty-chart>,
- [19] „Golem,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://golem.network/>,
- [20] „DeepBrain Chain,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.deepbrainchain.org/pc/en/index.html>,
- [21] „Vector Dash,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://vectordash.com/>,
- [22] „Bitmain eepood,“ [Võrgumaterjal], Available: https://shop.bitmain.com/antminer_s9_asic_bitcoin_miner.htm,
- [23] „STEOIL veebipood,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://store.steoil.com/12-gallons-submerged-mineral-oil-pc/>,
- [24] K, Cabrera, „3M™ Novec™ 2-Phase Liquid Immersion Coolin - Presentatsioon,“ [Võrgumaterjal], Available: <http://prec.pr/symposium/2014/pdfs/feb20-pm/Kevin-Cabrera.pdf>,
- [25] „3M Two-Phase Immersion Cooling – High Level Best Practices for System Fabrication,“

- [Võrgumaterjal], Available: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1010266O/3m-two-phase-immersion-cooling-best-practices-technical-paper.pdf>,
- [26] „Bitmain S7 manual,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://file.bitmain.com/shop-bitmain/download/Antminer%20S7%20user%20guide.pdf>,
- [27] „Esvika epood,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.esvika.ee/toode/xpj-hf-d-5g4-prysmian-hal-vaba-paigalduskaabel/>,
- [28] „Elektrikaup.ee veebileht,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.elektrikaup.ee/3-faasilised-moodulkaitseulitid-abb/4257/moodulkaitseuliti-3-faasiline-c-20a-abb-sh203-c20-2cds213001r0204.html>,
- [29] „Farnell epood,“ [Võrgumaterjal], Available: <http://ee.farnell.com/carlo-gavazzi/em24-din-av9-3x-is-p/meter-em24-3-input-modbus-64a/dp/1947816>,
- [30] „Wilo Stratos 30/1-10 datasheet,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.pumpsukltd.com/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FFile-1398429585.pdf>,
- [31] „Tera elektritööd,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.tera.ee/hooldus/>,
- [32] „Power Mining veebipood,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://powerminingshop.com/products/crypto-mining-container>,
- [33] „Clarke Energy,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.clarke-energy.com/natural-gas/data-centre-chp-trigeneration/>, [Kasutatud 19 4 2018],
- [34] „Nordpool Spot,“ [Võrgumaterjal], Available: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/ALL1/Yearly/?view=table>,

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Henry Ginter	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Serverimooduli lisamise majanduslik mõju päikesepaneelide ja soojustagastussüsteemiga korteriühistule,	
<i>Kuupäev:</i> 25,05,2018	60 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja):</i> Lauri Kütt	
<i>Töö konsultant :</i> Karl Kull	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Lõputöö eesmärgiks oli analüüsida, kuidas mõjutab serverimooduli jääksoojuse ära kasutamine objekti päikesepaneelide ja soojustagastussüsteemi investeeringute tasuvust, Selleks sai välja valitud objekt korteriühistu Pärnu mnt, 135, Tallinn,</p> <p>Arvuti jääksoojuse süsteemi integreerimise tehniliseks lahenduseks oli paigaldada serverimoodul katusel asuva vesi-õhk soojuspumba ning boileriruumis asuva vesi-vesi soojuspumba vahele,</p> <p>Arvuti riistvara valiti krüptoraha kaevandamise tulususe ning tuleviku masinõppe suutlikkuse järgi,</p> <p>Soojusvaheti variantideks olid vesijahutus, mineraalõli jahutus ning madala keemistemperatuuriga inertvedeliku jahutus, Valmis sai ehitatud prototüüp, millega saab katsetada kahe viimast varianti,</p> <p>Objekti ajalooliste tarbimisandmete põhjal sai valmistatud mudel MS Exceliga, Antud mudeliga sai katsetada olemasoleva süsteemi tööd ning kuidas mõjutab energiabilanssi serverimooduli lisamine jääksoojuse allikana,</p> <p>Valmis sai tehtud ka NPV arvutuse mudel, mille põhjal sai võrrelda baasstsenaariumi ning erinevaid serverimooduli riist- ja tarkvara kombinatsioone ning elektrilisi ja soojuslikke võimsusi,</p>	
<i>Märksõnad:</i> päikeseenergia, arvutite jääksoojus, ventilatsiooni soojustagastus, kaugküte, taastuva energia toetused, krüptoraha, soojuspump	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Henry Ginter	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> The economic effect of adding a server module to an apartment building with solar panels and a heat recovery system,	
<i>Date:</i> 25,05,2018	60 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Lauri Kütt <i>Consultant(s):</i> Karl Kull	
<i>Abstract:</i> The purpose of the thesis is to analyse how the utilization of computer waste heat affects the profitability of investments to solar panels and ventilation heat recovery systems, For this an apartment building Pärnu mnt 135, Tallinn was chosen as an example, The technical solution to recover the waste heat from the computer is the following: install the server module in between the pumps on the roof and in the building utilities room, The computer hardware was chosen by the profitability of cryptocurrency mining and the ability to perform machine learning services, For heat exchange there were 3 solutions that were considered: watercooling, mineral oil cooling and 2 phased immersion cooling, A prototype was built with a purpose to test the latter two, An energy model was created in MS Excel using the historic data of the building, The model enabled testing the existing system and how does adding a server module as an additional heat source affect the energy balance of the building, A Net Present Value (NPV) model was made, The profitabilities of different hardware and power capacities were compared to the base scenario,	
<i>Keywords:</i> solar power, computer waste heat, ventilation heat recovery, district heating, renewable energy subsidies, cryptocurrency, heat pump	