



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Energiatehnoloogia instituut

TÖÖSTUSE JÄÄKSOOJUSE KASUTAMISE ANALÜÜS ETTEVÕTTE AKZO NOBEL BALTIC AS NÄITEL

INDUSTRIAL WASTE HEAT RECOVERY ANALYSIS BASED ON THE EXAMPLE
OF AKZO NOBEL BALTIC AS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sander Seeman

Üliõpilaskood: 176441MASM

Juhendaja: Andrei Dedov, dotsent

Tallinn 2019

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: Sander Seeman

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja: Andrei Dedov

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Energiatehnoloogia instituut
MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sander Seeman, 176441MASM
Õppekava, peeriala: MASM02/15 - Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika
Juhendaja: dotsent Andrei Dedov
Konsultandid:

Lõputöö teema:

Tööstuse jääsoojuse kasutamise analüüs ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS näitel

Industrial waste heat recovery analysis based on the example of Akzo Nobel Baltic AS

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade tööstusliku jääsoojuse potentsiaalid.
2. Analüüsida ettevõttes Akzo Nobel Baltic AS tekkiva jääsoojuse parameetreid.
3. Hinnata soojuspumbaga taaskasutamissüsteemi tasuvust.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teoreetilise osa kirjutamine	12.04.19
2.	Mõõtmistulemuste töötlemine ja analüüs	31.04.19
3.	Erinevate stsenaariumitega tasuvusaja arvutamine	17.05.19
4.	Lõputöö vormistamine	30.05.19

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 31.05.2019

Üliõpilane: Sander Seeman ".....".....201....a
/alkiri/

Juhendaja: Andrei Dedov ".....".....201....a
/alkiri

SISUKORD

EESSÕNA.....	7
SISSEJUHATUS	8
1.JÄÄKSOOJUSE POTENTIAAL.....	10
1.1. Euroopa Liit ja Eesti.....	13
2 JÄÄKSOOJUSE KASUTAMIST MÕJUTAVAD TEGURID	16
3. AKZO NOBEL BALTIC AS.....	19
3.1. Ülevaade ettevõttest	19
3.2. Jääksoojuse tekkimine tootmises	20
3.3. Tekkivat jääksoojust iseloomustavad parameetrid	22
4. SOOJUSPUMBAGA SOOJUSE TAASKASUTAMISE SÜSTEEM	27
4.1. Ettevõtte soojustarbimine	28
4.2. Soojuspumba energiatoodang.....	29
4.3. Toodetud soojusenergia kasutamine.....	30
4.4. Soojuspumba soojustegur (COP)	32
5. SOOJUSPUMBAGA SÜSTEEMI TASUVUSARVUTUSED	34
5.1. Soojusenergia ostuhinna mõju tasuvusajale	36
5.2. Elektrihinna mõju tasuvusajale.....	38
5.3. Soojusenergia müügihinna mõju tasuvusajale	39
5.4. Jääksoojuse soojushulga mõju tasuvusajale.....	39
5.4.1. Variant 1	40
5.4.2. Variant 2	42
5.4.3. Kolme erineva variandi võrdlus	44
KOKKUVÕTE	47
SUMMARY	49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	51
LISAD	53
Lisa 1. Soojuspumba põhimõtteline skeem	53
Lisa 2. Müügisõlme põhimõtteline skeem	54
Lisa 3. Asendiplaan.....	55

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 33. riigi hinnanguline jääsoojuse potentsiaal [2].....	11
Joonis 1.2 Euroopa riikide jääsoojuse potentsiaal ja riigi energiatarbimine [2]	12
Joonis 1.3 Euroopa riikide jääsoojuse potentsiaal ja tööstussektori energiatarbimine [2]	13
Joonis 1.4 Euroopa riikide jääsoojuse potentsiaal ja energiatarbimine 2005 – 2015 [4].....	14
Joonis 1.5 Eesti energia lõpptarbimine sektorite kaupa 2006 – 2015 [4].....	15
Joonis 3.1 Alkүүditsehhis toimuv tootmise- ja jahutuskeem [13]	21
Joonis 3.2 Tekkiva jääsoojuse parameetrid.....	22
Joonis 3.3 Jahutusprotsesside soojuskoormus	23
Joonis 3.4 Soojuskoormuse kestvusgraafik.....	24
Joonis 3.5 Pealevoolu temperatuur mõõtmisperioodi jooksul.....	24
Joonis 3.6 Vooluhulk mõõtmisperioodi jooksul.....	25
Joonis 4.1 Ettevõtte seitsme aasta soojustarbimise ülevaade [15]	28
Joonis 4.2 Ettevõtte soojustarbimise jaotus koos soojuspumbaga	31
Joonis 4.3 Erakütte Rapla katlamaja normaalaastale taandatud soojuse toodangud [17].....	32
Joonis 5.1 Kolme erineva stsenaariumi tasuvusaegade võrdlus.....	46

TABELITE LOETELU

Tabel 4.1 Soojuspumba parameetrid [14].....	27
Tabel 4.2 Erinevate aastate soojustarbimine [15]	29
Tabel 4.3 Soojuspumba energiatoodang erinevatel väljundvõimsustel.....	29
Tabel 4.4 Ettevõtte soojustarbimine ja soojuspumba toodang.....	30
Tabel 4.5 Soojuspumba soojustegur COP sõltuvalt elektrilisest võimsusest.....	33
Tabel 5.1 Algandmed arvutuste tegemiseks	34
Tabel 5.2 Soojuspumbaga süsteemi rahalised kulud ja tulud.....	35
Tabel 5.3 Tasuvusaeg	36
Tabel 5.4 Rapla linna Erakütte võrgupiirkonna soojuse hinna prognoos aastani 2026 [17].....	37
Tabel 5.5 Soojusenergia hinna mõju tasuvusajale.....	37
Tabel 5.6 Elektrihinna mõju tasuvusajale	38
Tabel 5.7 Soojusenergia müügihinna mõju tasuvusajale.....	39
Tabel 5.8 Ettevõtte soojustarbimine ja soojuspumba toodangud variant 1 korral	40
Tabel 5.9 Algandmed arvutuste tegemiseks	41
Tabel 5.10 Soojuspumbaga süsteemi rahalised kulud ja tulud variant 1 korral	41
Tabel 5.11 Tasuvusaeg variant 1 korral.....	41

Tabel 5.12 Ettevõtte soojustarbimine ja soojuspumba toodangud variant 2 korral	42
Tabel 5.13 Algandmed arvutuste tegemiseks	43
Tabel 5.14 Soojuspumbaga süsteemi rahalised kulud ja tulud variant 2 korral	43
Tabel 5.15 Tasuvusaeg variant 2 korral.....	44
Tabel 5.16 Ettevõtte aastane soojustarbimine ja soojuspumba toodangud kolmel erineval stsenaariumil.....	44
Tabel 5.17 Aastased tulud ja kulud kolme erineva stsenaariumi korral	45
Tabel 5.18 Kolme erineva stsenaariumi tasuvusaegade võrdlus	45

FOTODE LOETELU

Foto 2.1 Aerofoto ettevõtte tootmisterritooriumist [11]	19
Foto 3.2 Olemasolev gradiir jahutusbasseiniga (paremal) ja tühjana seisev bassein (vasakul) (autori foto).....	26

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema kujunes välja ettevõttes ICP Solutions OÜ, kus soojustagastussüsteemi projekteerimise projekt töösse võeti ja kus töötab ka lõputöö autor, kes eelmainitud teemaga tegelema hakkas. Lõputöö jaoks kogutud mõõtmised toimusid ettevõtte ICP Solutions OÜ tellimusel ning nendest said põhilised andmed, millele lõputöö arvutused tuginevad.

Töö autor soovib tänada lõputöö juhendajat dotsent Andrei Dedovi, kolleege ettevõttest ICP Solutions OÜ, ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS personali ja kõiki teisi, kes töö valmimisele kaasa aitasid.

SISSEJUHATUS

Üha kasvav energianõudlus maailmas on viinud ka suuremate CO₂ emissioonideni, mis Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) andmetele tuginedes oli 2018. aastal rekordiliselt kõrge 33,1 Gt ning aastane tõus oli samuti rekordiline 1,7 %. See oli suurim aastane tõus alates aastast 2013. Suurenenud CO₂ emissioonide põhjuseks 2018. aastal oli eelkõige kasvanud energiatarbimine tulenevalt tugevnenud maailma majandusest ning kliimaatilistest tingimustest mõnes maailma paigus [1]. Praegune maailma suund, kus suur tähelepanu on CO₂ emissioonide vähendamine ning nende võimaluste leidmine, mille arvelt seda saavutada, on tööstuses tekkival jääksoojusel suur energeetiline potentsiaal. Lisaks on tööstussektor maailmas üks kolmest suurimast energiatarbijast, seega on jääksoojuse ära kasutamine väga tähtsal kohal. Seda soojust saab ära kasutada erinevates protsessides seal samas kohapeal (vee või põlemisõhu eelsoojendamine, kütteks, tarbeveeks jne) või muundada see elektri-, külma- või soojusenergiaks. Kui erinevate tööstusprotsesside käigus tekkivat soojust ära ei kasutata, siis juhitakse kogu selles sisalduva energiaga atmosfääri. Valitsustevaheline kliimamuutuste rühm (IPCC) leiab, et jääksoojuse ära kasutamine on üks võimalikke lahendusi CO₂ emissioonide leevendamiseks. [2]

Lõputöö eesmärgiks on analüüsida värvi-, laki- ja liimitoodete tootmise ning müügiga tegeleva ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS alküüditsehhis aset leidva tootmisprotsessi käigus tekkiva jääksoojuse tähtsamaid parameetreid, anda ülevaade võimalikust lahendusest soojuspumba näol ning hinnata projekti majanduslikku tasuvust. Kui lugeda erinevaid artikleid ja uudiseid, mis ettevõtte kohta on ajakirjanduses ilmunud, siis läbiv hoiak Akzo Nobel Baltic AS-l on olla keskkonnasäästlik ja roheline mõtlemisega ettevõtte. Eks see olegi põhjus, miks selline projekt on käima pandud, sest praegusel kujul suunatakse jääksoojuses sisalduv energeetiline potentsiaal lihtsalt keskkonda ning selle ära kasutamine vähendaks kindlasti loodusele tekitavat kahju.

Töö esimeses osas antakse ülevaade teadusartiklitest leitud infole tuginedes maailma, Euroopa Liidu ja Eesti tööstussektori jääksoojuse hinnangulisest potentsiaalidest, kus erinevatel graafikutel on neid võrreldud nii konkreetse riigi energiatarbimisega, kui ka riigi tööstussektori energiatarbimisega. Lähemalt on uuritud ka Eesti tööstussektori energiatarbimist ja võrreldud hinnatud jääksoojuse potentsiaaliga. Lisaks on vaatluse all mõningad uuringud, mis annavad ülevaate tööstusliku jääksoojuse kasutamisest ja selle valdkonna eesmärkidest tulevikus nii Euroopa Liidu kui ka Eesti kohta. Samuti on antud lühike ülevaade, mis tegurid on jääksoojuse kasutamisel olulise tähtsusega ning peamised takistused selle kasutamiseks.

Lõputöö teises pooles keskendutakse ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS jääsoojuse analüüsile. Algatuseks antakse lühiülevaade, kus ja millega ettevõtte tegeleb, mis on tootmisprotsess, kus jääsoojust pidevalt tekib ja kuidas on olemasoleva süsteemiga vee jahutus toimumas. Kirjeldatakse lühidalt toodetavaid tooteid, antakse ülevaade jahutusprotsesside ajalisest kestvusest ning parameetritest. Töö ühes kõige olulisemas peatükis on vaatluse all mõõtmistulemuste andmed, mille põhjal on analüüsitud jääsoojuse parameetreid ning millele tuginevad ka põhilisemad arvutused hilisemas töös.

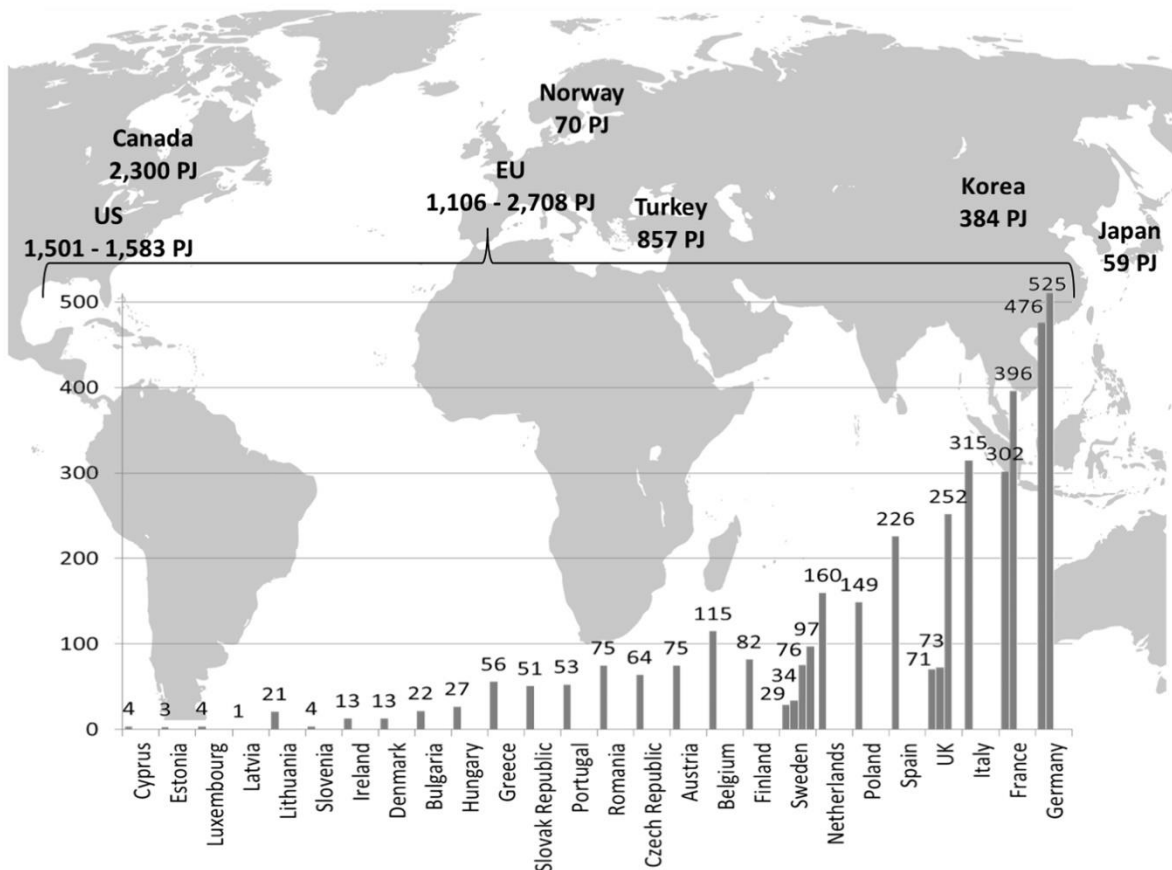
Töö eelviimases peatükis antakse lühike ülevaade planeeritavast lahendusest soojuspumba näol ning arvutatakse välja soojuspumba aastane võimalik soojusenergia toodang ning soojustegur COP. Vaatluse all on ka ettevõtte soojustarbimine ning soojuspumbaga taaskasutamissüsteemi soojusenergia toodangute jaotumine erinevate kuude lõikes.

Töö viimane peatükk kuulub planeeritava süsteemi tasuvusarvutuste tegemiseks, kus vaatluse all on erinevad stsenaariumid ja uuritakse erinevate oluliste parameetrite mõju, nagu elektri- ja soojusenergia hind, tasuvusajale.

1. JÄÄKSOOJUSE POTENTSIAAL

Tööstuslikku jääsoojust võib defineerida kui soojushulka, mis jääb suure lisandväärtusega toote tootmisprotsessi käigus täielikult kasutamata. See soojus sisaldub soojuskandjas endas [4]. Ülemaailmse kliimasoojenemise ja sellest tulenevalt ka CO₂ emissioonide vähendamise valguses tuleb üle vaadata energiatarbimine kaupade tootmiseks tööstussektoris. Tööstused ülemaailma kasutavad 38% kogu toodetud energiast, mis teeb umbes 58600 TWh. See on ka põhjus, miks on oluline üle vaadata tööstuslike protsesside efektiivsus ja vähendada energiatarbimist selles sektoris. Kuid ka väga efektiivsetes ja optimeeritud tööstuslike protsesside käigus tekib paratamatult üle jäävat soojust, mida on võimalik teistes vähem energiat nõudvates protsessides ära kasutada. Lisaks otsesele jääsoojuse ära kasutamisele on erinevate tehnoloogiate abil võimalik tõsta selle soojuse energeetilist potentsiaali ja seeläbi toota külma, sooja või isegi elektrit. Tööstusliku jääsoojuse ära kasutamine on pikka aega jäänud tähelepanuta, sest see on palju killustatum kui elektritootmine. Kuna tööstused üle maailma kasutavad üle kolmandiku kogu energiast, siis on selle uurimine vägagi põhjendatud. Kõige rohkem jääsoojust tekib järgnevates tööstussektorites: metallitööstus, keemiatööstus, mittemetalsete mineraalide tööstus, toidu- ja tubakatööstus, tselluloosi- ja paberitööstus. [5]

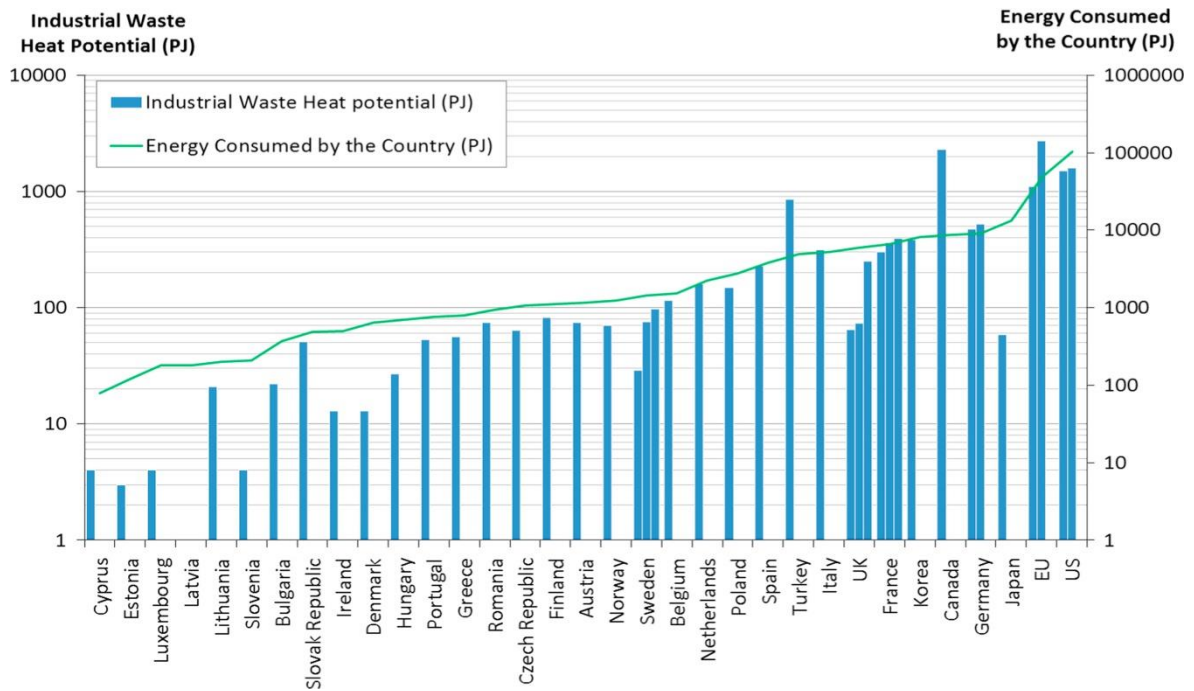
Kui rääkida jääsoojuse potentsiaali hindamisest, siis üldiselt tuleb eristada kolme erinevat: teoreetiline/füüsikaline potentsiaal, tehniline potentsiaal ja majanduslikult teostatav potentsiaal. Teoreetiline potentsiaal võtab arvesse ainult füüsikalisi piiranguid – ainult soojus, mis on ümbritsevast keskkonnast kõrgem. Sel juhul ei võeta arvesse energia kättesaamise võimalikust soojuskandjast ega ka soojuse taaskasutamise võimalusi süsteemis. Sellega arvestatakse tehnilise potentsiaali hindamisel – sõltub kasutatavast tehnoloogiast. Tehnilised piirangud võivad olla seotud minimaalsete temperatuuridega protsessides, temperatuuri kadudega soojusülekanedes jne. Viimane hinnang on majanduslik, kus võetakse arvesse erinevaid andmeid – energiahinnad, intressimäärasid, tasuvusaega jne.[5]



Joonis 1.1 33. riigi hinnanguline jääsoojuse potentsiaal [2]

Joonisel 1.1 on välja toodud 33. riigi hinnanguline jääsoojuse potentsiaal maailmas. Mõningatel juhtudel on riigi kohta leitud rohkem kui üks väärtus jääsoojuse hinnangulisele potentsiaalile ning sel juhul on joonisel kajastatud potentsiaal mitme võimaliku väärtusega või väärtuste vahemiku abil. Euroopa kohta on välja toodud andmed 27. riigi kohta tulpdiaagrammi kujul. Väga vähe informatsiooni on Aasia, Lõuna-Ameerika, Aafrika ja Okeaania jääsoojuse potentsiaali kohta. Nagu jooniselt näha, siis Euroopa kohta on hinnanguline potentsiaal väga laias vahemikus (1106-2708 PJ). Esimene väärtus (1106PJ) on võetud 2006. aastal tehtud uuringust, kus rakendati Rootsi soojuse taaskasutamisetegurit leidmaks 32 Euroopa riigi hinnanguline jääsoojuse potentsiaal. Uuema analüüsi kohaselt, 2013 aasta, on jääsoojuse potentsiaaliks hinnatud juba 2708 PJ.[2]

Nagu jooniselt 1.1 näha on selle uuringu kohaselt Eesti jääsoojuse potentsiaaliks hinnatud 3 PJ ehk 0,83 TWh, millele jääb alla ainult Läti (1PJ=0,28 TWh). Kõige suuremaks on jääsoojuse potentsiaali hinnatud Kanadas (2300PJ=639TWh) ning üpris suur on see ka Ameerika Ühendriikides (1501-1583PJ=417-440TWh).



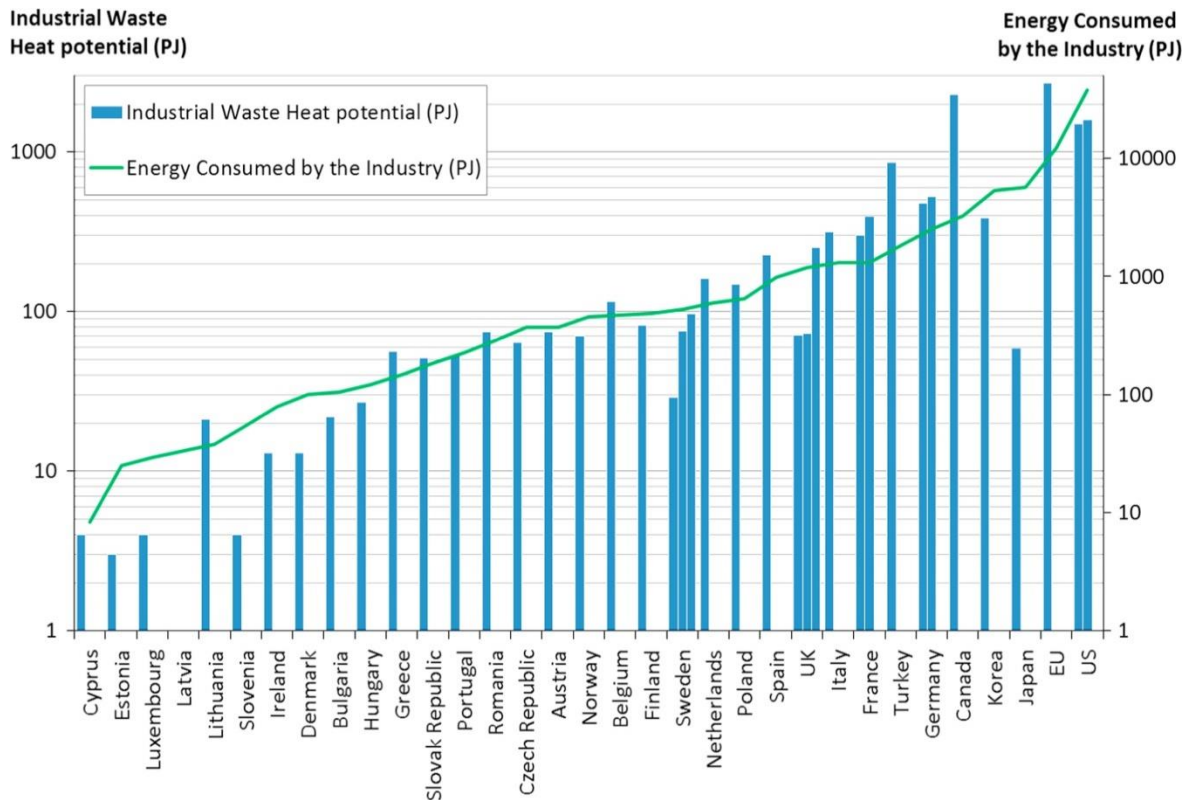
Joonis 1.2 Euroopa riikide jääsoojuse potentsiaal ja riigi energiatarbimine [2]

Joonisel 1.2 on välja toodud riikide tööstusliku jääsoojuse kasutamise potentsiaal vasakul teljel ja riigi kogu energiatarbimine paremal teljel. Mõne riigi kohta on hinnanguid rohkem kui üks ja nendel juhtudel on need kajastatud ka joonisel. Joonisel on riigid järjestatud kogu energiatarbimise järgi kasvavalt. Üldiselt joonistub välja tendents, et mida suurem on riigi energiatarbimine seda suurem on ka jääsoojuse kasutamise potentsiaal. [2]

Näiteks Türgi, Kanada ja Saksamaa on riigid, kus jääsoojuse potentsiaali hinnatakse kõrgemaks, kui on kogu riigi energiatarbimine ning Euroopa Liidus tervikuna on sama hinnang. On väga mitmeid riike, mis on väga lähedal sellele piirile või lausa piiri peal - Slovakkia, Holland, Itaalia, Prantsusmaa jne.

Joonisel 1.3 on kajastatud seost riikide jääsoojuse potentsiaali (vasak telg) ja tarbitava energiakoguse (parem telg) kohta tööstussektoris. Nagu eelnevalt on üldine seos tarbitava energia ja jääsoojuse potentsiaali kohta märgatav ehk mida rohkem tööstussektoris energiat tarbitakse seda suurem on ka jääsoojuse potentsiaal. [2]

Siin on juba päris palju riike, kus jääsoojuse potentsiaali hinnatakse kõrgemaks, kui riigi energiatarbimist tööstussektoris ja väga mitmed riigid on sellele väga lähedal. Eesti jääb nende hinnangute kohaselt kindlalt joone alla, kuid näiteks Leedus hinnatakse jääsoojuse potentsiaali suuremaks.

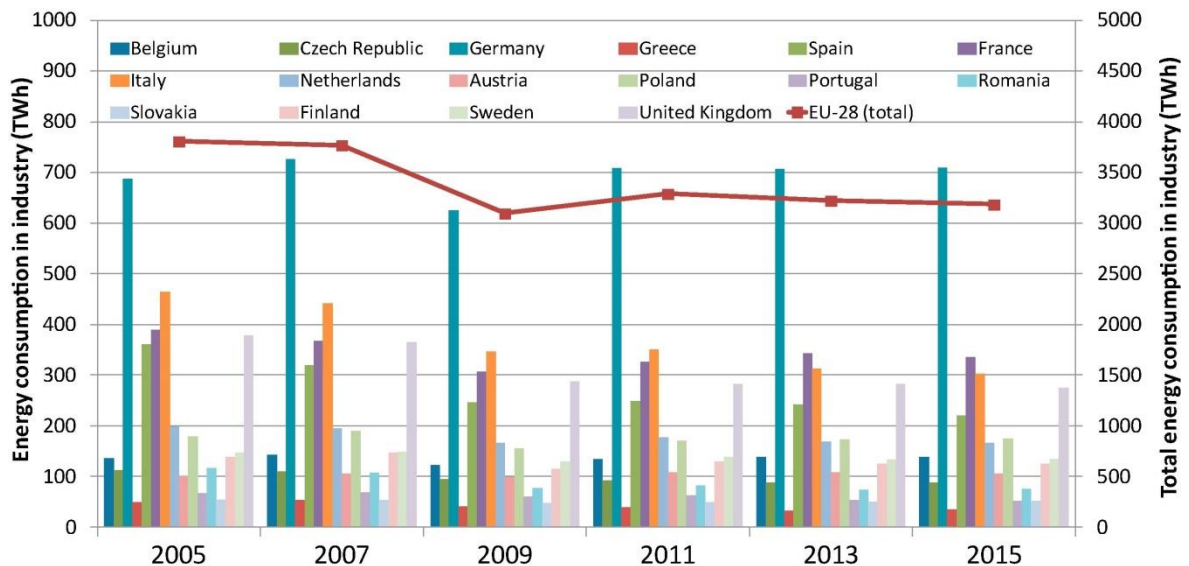


Joonis 1.3 Euroopa riikide jääsoojuse potentsiaal ja tööstussektori energiatarbimine [2]

1.1. Euroopa Liit ja Eesti

Eurostati 2015. aasta andmete põhjal on kogu Euroopa Liidu tööstussektori energiatarbimine umbes 3200 TWh, mis moodustab kogu energiatarbimisest umbes 26%. Protsentuaalne osakaal kõigub riigiti palju, olles umbes 15% Küprosel, Luksemburgis ja Taanis ning ulatudes Soomes ja Slovakkias isegi üle 40%. Alates 2000. aastast on tööstussektori energiatarbimise osakaal kogu energiatarbimisest näidanud kahanemise märke, millel on kolm peamist põhjust: [4]

1. Tööstussektoris on rakendatud energiatõhususe meetmeid;
2. Muutused Euroopa Liidus tegutsevates tööstusharude liikides;
3. Kasvanud on teiste sektorite energiatarbimine, peamiselt hoonete, teenuste ja transpordisektoris.

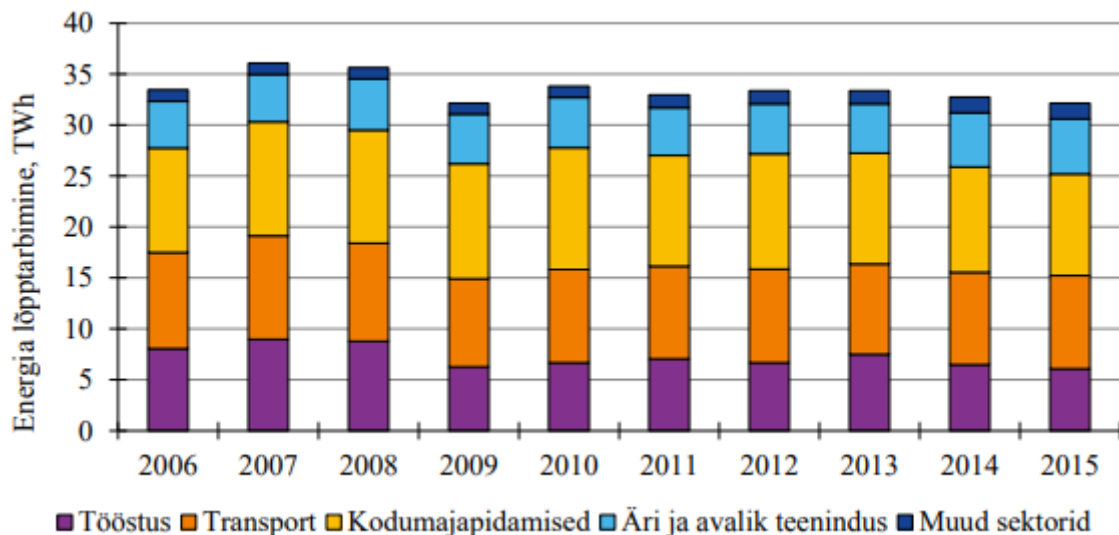


Joonis 1.4 Euroopa riikide jääsoojuse potentsiaal ja energiatarbimine 2005 – 2015 [4]

Joonisel 4 on välja toodud suurimate Euroopa Liidu riikide tööstussektori aastane energiatarbimine (kujutatud tulpdiaagrammidena) ja kõigi 28 Euroopa Liidu riigi kogu energiatarbimine tööstussektoris (punane joon). Suurimad energiatarbijad on oodatult Euroopa suurriigid – Saksamaa, Itaalia, Prantsusmaa, Suurbritannia ja Hispaania. Need viis riiki kokku kasutavad ligi 60% Euroopa Liidu tööstussektori energiatarbimisest.[4]

Eelnevalt oli välja toodud, et Euroopa Liidu tööstussektori jääsoojuse potentsiaal erinevate uuringute kohaselt on vahemikus 1106-2708 PJ (joonis 1.1), mis on 307-752 TWh. Kui kogu Euroopa Liidu tööstussektori energiatarbimine on 3200 TWh, siis jääsoojuse potentsiaal moodustab sellest 9,6-23,5%.

Ühingu Euroheat & Power tellitud uurimuse kohaselt kasutati Euroopa Liidus 2010. aastal tööstusliku jääsoojust ära 7 TWh jagu ning pikema eesmärgi kohaselt on plaan jõuda 105 TWh-i aastaks 2050. Uurimuse kohaselt nähakse Euroopa Liidus kaugkütte osakaalu tõusu 12 protsendilt 2010. aastal kuni 50 protsendini aastaks 2050 ning oma osa sellel on ka tööstusliku jääsoojuse ära kasutamisel. Uuringu avaldamise ajaks (2013) oli tööstusliku jääsoojuse ära kasutamise protsent kaugküttesüsteemidesse ainult 3% [7]. Euroopa Liidu hinnanguline jääsoojuse potentsiaal on kõige madalamate hinnangute kohaselt 307 TWh-i ning kui aastaks 2050 on plaan jõuda selle kasutamisest 105 TWh-ni, siis tegelikult moodustab see ainult kolmandiku võimalikust maksimumist. Kui vaadata kõige optimistlikumat hinnangut jääsoojusele (752 TWh), siis kasutatav 105 TWh, moodustaks võimalikust ainult 13%.



Joonis 1.5 Eesti energia lõpptarbimine sektorite kaupa 2006 – 2015 [4]

Eesti tööstussektori energiatarbimine on aastate jooksul üsna palju kõikunud (joonis 1.5) ning 2015. aastal tarbiti selles sektoris umbes 6 TWh energiat. Keskmine tööstussektori energiatarbimine kogu lõpptarbimisest moodustab 22%. Kõige energiamahukamad tööstusharud Eestis on: puidutöötlemine, paberi ja paberitoodete tootmine, keemiatööstus, toiduainetööstus, muude mittemetalsete mineraalidest toodete tootmine (ehitusmaterjal). Nende summaarne energiatarbimine on umbes 4,4 TWh. [6]

Joonise 1.1 põhjal on Eesti jääsoojuse potentsiaaliks hinnatud ligi 3 PJ, mis on 0,83 TWh. Sama tulemuseni on jõutud ka Euroheat & Power tellitud uuringus. 2015. aastal oli tööstussektori energiatarbimine ligikaudu 6 TWh ehk jääsoojuse potentsiaal moodustab sellest 13,8 %

Eesti energiamajanduse arengukavas aastani 2030 on välja toodud sektorid, kus riigi energiapoliitika rakendamise raames viiakse läbi energiasäästu tegevusi. Üks neljast sektorist on justnimelt tööstus, mis on kolmanda olulise lõpptarbimisega sektor ning kus nähakse, et energiatarbimine ja – hinnad hakkavad olulisel määral sektori konkurentsivõimet mõjutama. Selles samas arengukavas näeb Eesti soojusmajanduse arengu visioon aastani 2050 ette, et tööstuses (sealhulgas energiatööstuses, andmeladudes jms) tekkiva jääsoojuse ärakasutamiseks on kasutusele võetud soojuse akumuleerimistehnoloogiad, mis annavad võimaluse soojuse kasutamiseks kaugküttevõrkudes ja/või lokaalseks soojusvajaduse katmiseks ning seeläbi saavutatakse primaarenergia sääst. Tööstussektori olulisusele riigi jaoks viitab ka riiklik rahastamine. 2018-2021 riigi rahastatud tegevuste kogumaksumuseks on 380 miljonit eurot, millest suurima osa saavad tööstus ning tänavavalgustus (101,2 miljonit eurot). [6].

2 JÄÄKSOOJUSE KASUTAMIST MÕJUTAVAD TEGURID

Jääksoojusena on kõige levinumad gaasilised voolused (heitgaasid, põlevgaasid, madala kvaliteediga aur, jahutusõhk jne), vedelad voolused (kuumad õlid, jahutusvesi jne) ja tahked kehad (kaubad ja tooted, näiteks kuum teras). Jääksoojus jahutatakse üldjuhul oma algtemperatuurini, kuid ka seal võib olla piiravaid tegureid, näiteks ei jahutata heitgaase diislikütuse tööstuskateldes alla 120 °C, et vältida veeauru kondenseerumist ja seeläbi väävelhappe tekkimist. Kõrge temperatuuriline jääksoojus on enamasti saadaval tahketes kehaes, aga selle kasutusele võtmine on väga keeruline ja tänapäeval ei ole tehnoloogiat selle teostamiseks. On leitud, et suurem osa jääksoojusest on alla 250 °C, kas vedelal või gaasilisel soojuskandja kujul.[4]

Olenevalt tööstussektorist ja protsessi iseärasustest võib jääksoojuse ära kasutamine olla küllaltki keeruline. Meetodeid selleks on erinevaid, kuid teiselt poolt on ka palju piiravaid tegureid – maksumus, sääst, temperatuuri piirangud, jääksoojuse keemiline koostis, soojuse rakendamisele omased piirangud, ligipääsmatus või transporditavus. Kui jääksoojuse kättesaadavus ja karakteristika on selgeks tehtud, siis on mitmeid võimalikke lahendusi selle ära kasutamiseks. Sõltuvalt rakendusest võib tegu olla aktiivsete tehnoloogiatega, mis muundavad jääksoojuse kasutatavaks soojuseks, külmaks või elektrienergiaks, või passiivsete tehnoloogiatega nagu soojusvahetid või soojusenergia salvestamine [2]. Tehnoloogiate erinevus seisneb selles, et aktiivse tehnoloogia korral muundatakse jääksoojus teist liiki energiaks või viiakse see kõrgemale temperatuurile, aga passiivse tehnoloogia korral kasutatakse jääksoojust otse samal või madalamal temperatuuril. Soojusvahetid ja soojusenergia salvestamine on kaks levinumat passiivset tehnoloogiat ning kasutatakse enamasti tööstuses mingi protsessi soojendamiseks või eelsoojendamiseks. Olgu tehnoloogia milline tahes, lõppeesmärk on nendel kõigil üks – kasutada ära energiat, mis muidu läheks raisku. [3]

Jääksoojuse ära kasutamise teostatavuse hindamiseks tuleb väga täpselt selgeks teha kasutatava soojuse karakteristika ning keskkond kuhu see kantakse. Järgnevalt on välja toodud tähtsamad parameetrid, mille peab kindlaks määrama: [8]

- Jääksoojuse kogus
- Jääksoojuse temperatuur/kvaliteet
- Koostis
- Minimaalne lubatud temperatuur

- Jääksoojuse tekkimise graafik, kättesaadavuse ja muu sellega seonduv

Need parameetrid aitavad hinnata jääksoojuse kvaliteeti ja kogust ning annavad esimese ülevaate võimalikest materjali/konstruksiooni piirangutest. Näiteks on jääksoojuse ära kasutamisel soojusülekanne keskkonna korrosioon märkimisväärne oht isegi kui soojuse kvaliteet ja kogus on kasutamiseks piisav [8].

Jääksoojuse kasutatavuse seisukohalt on kõige tähtsam parameeter kahtlemata jääksoojuse temperatuur, mis võivad kõikuda väga suurtes piirides. Tootmisprotsesside jahutusveed omavad suhteliselt madalat temperatuuri [40 - 90°C] ning näiteks klaasitööstuse sulatusahjude suitsugaas on temperatuuriga üle 1320°C. Järgnevalt on välja toodud jääksoojuse jaotumine temperatuuri alusel: [8]

- Kõrge temperatuuriline 649°C ja kõrgem
- Keskmise temperatuuriline 232°C kuni 649°C
- Madala temperatuuriline 232°C ja madalam

Temperatuuril on ka suur roll soojusvahetite ja kogu süsteemi materjalide valikul. Korrosiooni ja oksüdeerumise, nagu kõigi keemiliste protsesside, kiirenemine toimub temperatuuri tõustes. Kui jääksoojus peaks veel sisaldama korrodeerumist soodustavaid lisandeid, on materjalide õige valiku ning jääksoojuse täpse koostise määramine kriitilise tähtsusega. Süsinikterasid hakkavad temperatuuril üle 425°C ja roostevabad terased temperatuuril üle 650°C oksüdeeruma. Sellega seoses tuleb kõrgematel temperatuuridel kasutada täiustatud sulameid või komposiitmaterjale [8].

Kuigi jääksoojuse keemiline koostis ei mõjuta otseselt saadava energiakoguse kvaliteeti ega kogust on sellel siiski oma mõju materjalide valikule ja jääksoojuse kasutamise protsessile üldiselt. Keemiline koostis ja jääksoojuse faas määravad ära termilise juhtivuse ja soojusmahtuvuse, mis mõjutavad soojusvaheti efektiivsust. Keemilisest koostisest hakkab sõltuma ka soojusvaheti konstruktsioon, materjal ja hind. [8]

Minimaalne lubatud temperatuur jääksoojusele on tihti väga tihedalt seotud materjalide korrosiooni probleemidega. Põlemisega seotud suitsugaasid sisaldavad erinevas kontsentratsioonis süsinikdioksiidi, veeauru, NO_x , SO_x. Kui heitgaasid jahutatakse allapoole kastepunkti temperatuuri hakkab gaasides sisalduv aurustunud vesi kondenseeruma ning moodustub korrosiivne kiht soojusvaheti pinnale. Odavamast materjalist valmistatud

soojusvahetid ei pea sellisele asjale vastu ning saavad kahjustusi. Seetõttu on soojusvahetid üldjuhul konstrueeritud selliselt, et heitsoojuse temperatuur püsiks kõrgemal kastepunktist. Minimaalne temperatuur korrosiooni vältimiseks oleneb kütuse koostisest ning maagaasi põletamisel eralduvaid suitsugaase võib jahutada temperatuurini 120°C, kuid kütteõli ja söe põletamise suitsugaase, mis on suurema väevli sisaldusega, minimaalselt temperatuurini 175°C. Heitgaaside minimaalset temperatuuri võivad mõjutada ka tootmisprotsessiga seotud ühendid. Näiteks klaasi sulatusahjudes eralduvates suitsugaasides sisalduvad sulfaadid mõjuvad kahjustavalt soojusvahetile temperatuuridel alla 270°C. On olukordi, kus temperatuuride alandamine on väga põhjendatud ning nendel juhtudel kasutatakse kallimatest materjalidest soojusvaheteid, mis on kahjustavatele mõjudele vastupidavamad, kuid seetõttu ka kallimad. [8]

Lisaks on mitmeid teisi faktoreid, mis mõjutavad süsteemi tasuvust. Näiteks väiksema mahulistes tootmisprotsessides on soojustagastussüsteemide paigaldamine vähem tõenäolisem, sest tasuvusajad on üldjuhul pikemad. Ka tootmisprotsesside graafik võib olla takistav asjaolu, kui jääksoojust tekib piiratud aegadel päevast, siis soojusvaheti on mõjutatud nii madalast kui ka kõrgest temperatuurist – selline temperatuuride kõikumine ei ole materjalile hea. Lisaks on enamikel juhtudel oluline, et oleks ka piisav soojustarbimine, mis kattuks soojustootmisega. Kui need ei kattu, siis on võib juhtuda, et tuleb projekteerida lisa süsteem selle jaoks. [8]

Lisaks eelnevale on veel väga oluline faktor ligipääsevus jääksoojusele. Mõningatel juhtudel, tulenevalt seadmete/torude füüsilisest paigutusest, ei ole lihtne jääksoojust kätte saada, vaid see eeldaks ka teiste seadmete ümber paigutamist. Ka transporditavus on oluline – Kuumade vedelike transport on väga laialt transporditav jääksoojus, kuna see on lihtsasti transporditav. Seevastu kuumad tahked voolused (valuplokid, valandid, tsement klinkrid) võivad sisaldada suures koguses soojusenergiat, aga selle kättesaadavus on keeruline. [8]

3. AKZO NOBEL BALTIC AS

3.1. Ülevaade ettevõttest

Akzo Nobel Baltic AS, mis kuulub rahvusvahelisse kontserni Akzo Nobel, on kaasaegsete värvi-, laki- ja liimitoodete tootmise ning müügiga tegelev ettevõtte, mille peakontor asub Tallinnas ja tootmisüksus Raplas. Ettevõttes töötab 150 inimest, kellest 100 on tööl Raplas. Rapla tootmisüksuses toodetakse puidukaitsevahendeid Baltikumi, Skandinaavia ning Ida- ja Kesk-Euroopa turgudele.[9]

Ettevõtte Raplas asuv tootmine jaguneb kahe suure osa vahel: alküüditsehh ja värvitsehh. Alküüditsehhis toodetud lahustipõhised sideained (alküüdvaigud ja vesipõhised sideained) alküüdemulsioonid lähevad värvitsehhi toodangu valmistamiseks ja müügiks. [10]

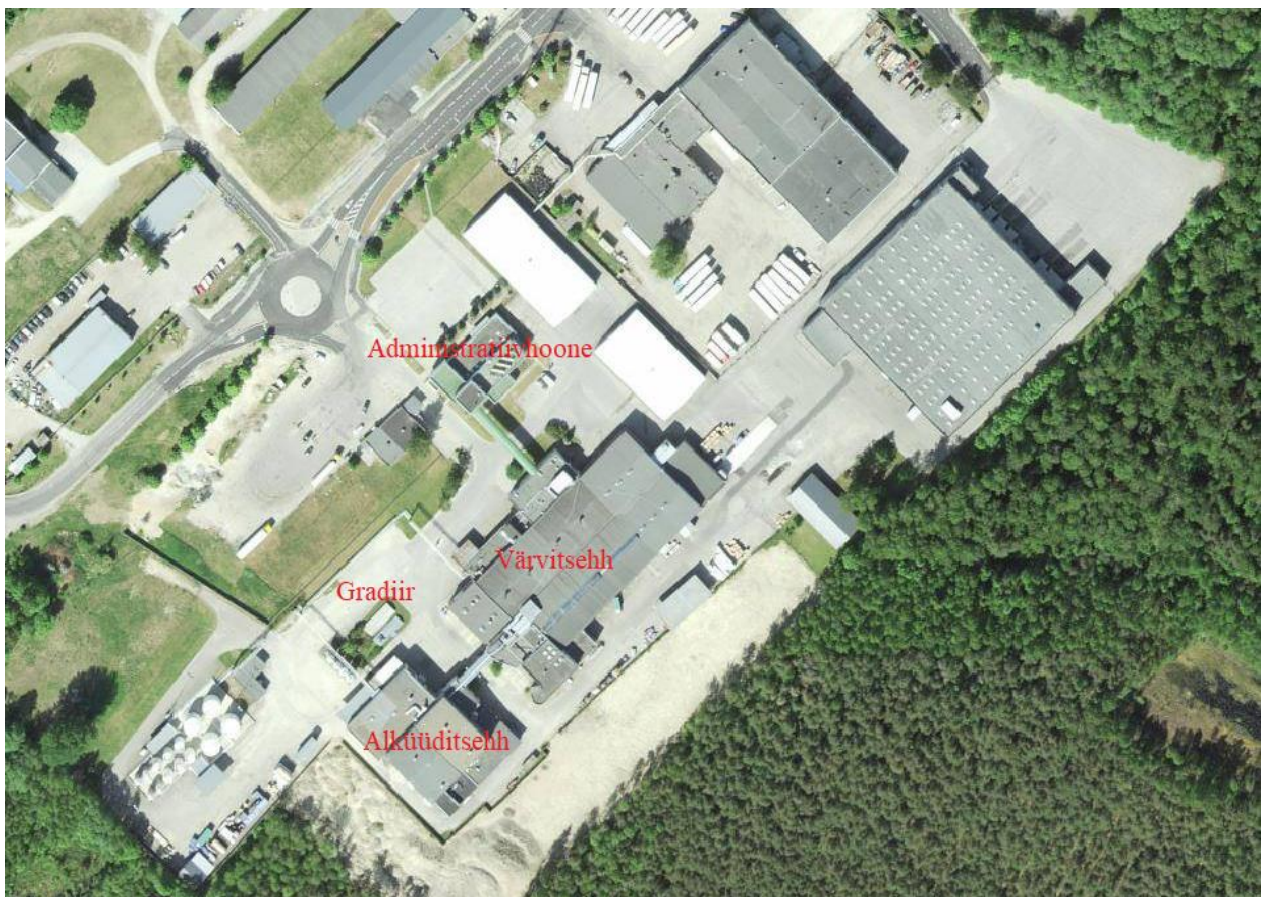


Foto 2.1 Aerofoto ettevõtte tootmisterritooriumist [11]

3.2. Jääsoojuse tekkimine tootmises

Jääsoojuse tekkimine tootmisprotsessi käigus on seotud alküüditsehhiga, kus toodetakse alküüdvaike ja alküüdemulsioone. Alküüditsehhis toimub tootmine viiel päeval nädalas (esmaspäevast reedeni), kuid olenevalt tootmistahtudest, mis kevadel ja suvel on suuremad, võib tootmine toimuda ka mõningatel nädalavahetustel. [12]

Üldiselt on kaks protsessi, mille käigus on jahutus vajalik:

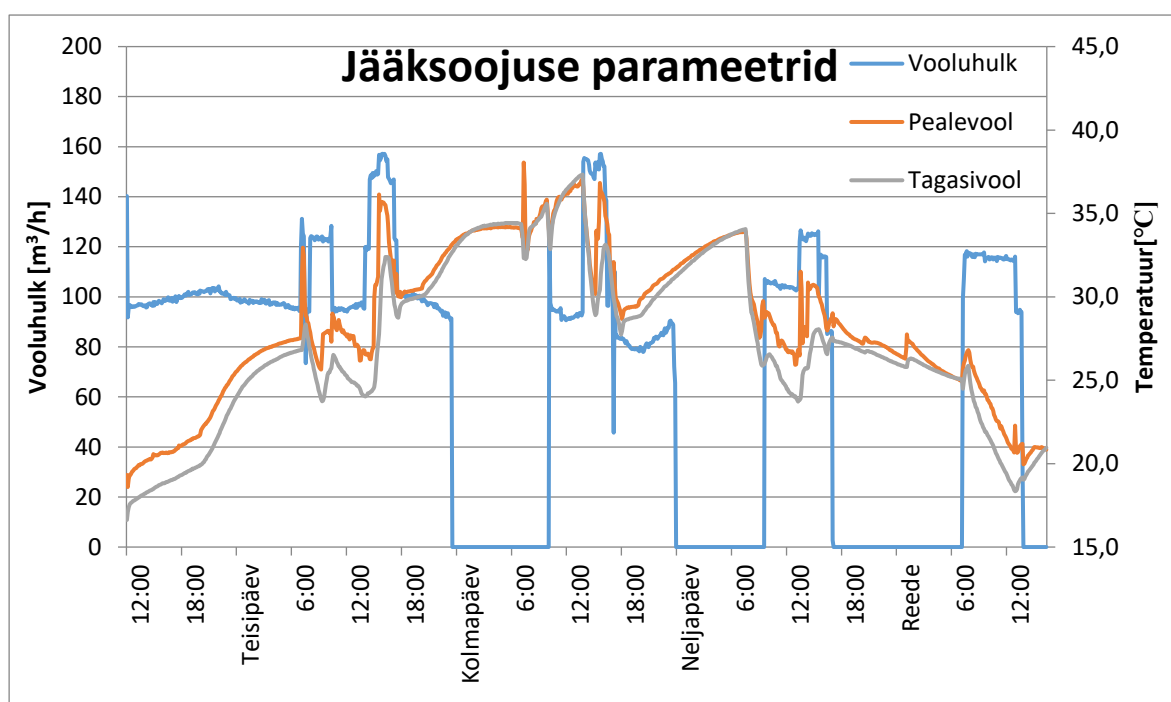
1. Reaktor (10 m³), kus toodetakse alküüdvaike ning kokku on tsehhis kaks sellist reaktorit. 2018. aastal toodeti nendes reaktorites 285 partiid. Reaktori tööperioodi pikkus on umbes 24 tundi (esmaspäevast reedeni), sel ajal töötab jahutuskontuur pidevalt lahjendusmahutites, deflegmaatorites ja kondensaatorites. Suurim kogus jahutusvett aga kulub termoõli jahutamiseks, mida omakorda kasutatakse reaktori jahutamiseks temperatuurini 70-130 °C. Eelnevalt soojendatakse see sama termoõli temperatuurini 300 °C (600 kW võimsusega elektrikatlas Konus Kessel), millega omakorda toimub reaktori, lahjendustankide ja kaalutankide soojendamine. [12]
2. Emulgeerimise reaktor (20 m³) alküüdemulsioonide valmistamiseks, kusjuures nende valmistamiseks on eelnevalt vaja toota reaktoris alküüdvaik ja siis see emulgeeritakse. 2018. aastal toodeti 67 partiid alküüdemulsioone ning nädalas toodetakse umbes 1-2 partiid. Emulgaatori soojendamine toimub kuni 100 °C veega (150 kW elektrikatlas). Selles etapis kasutatakse jahutust 28 tundi järjest – kõigepealt destillatsiooni korral kondensaatori jahutuseks (10 tundi, toimub päeval) ja seejärel emulsiooni jahutamiseks (18 tundi). [12]

Siinkohal on oluline ära märkida, et kuna toodetakse erinevate retseptide alusel erinevaid partiisid, mis kõik nõuavad natuke erinevaid temperatuure ja ajalisi kestvust, siis ei pruugi olla igapäevane jahutusprotsess ja soojushulgad samad, vaid varieeruvad vastavalt tootmistahtudele ja toodetavatele partiidele. [12]

Kogu alküüditsehhis kasutatav jahutusvesi suunatakse kõrval asuvasse jahutusvee basseini, mis on jaotatud kaheks osaks (soe ja külm), kummagi maht ca 30 m³. Protsessist tulev soe vesi suunatakse basseini sooja poolde, kust see siis omakorda pumbatakse gradiiri jahutamiseks ning jahutatud vesi suunatakse basseini külma poolde, et uuesti alküüditsehhis jahutamiseks kasutada. Gradiiri jahutusvõimsus on umbes 500 kW. [12]

3.3. Tekkivat jääsoojust iseloomustavad parameetrid

Jääsoojust iseloomustavate parameetrite teada saamiseks toimusid ettevõttes mõõtmised perioodil 05.11.18-11.11.18 ehk kogu nädala registreeriti minutilise vahega jahutusvee vooluhulk, peale- ja tagasivoolutemperatuur, hetkeline võimsus (kW) ning kogu perioodi jooksul jahutuse käigus tekkinud soojusenergia. Kõik selles alapeatükis esitatud graafikud on koostatud justnimelt nende mõõtmistulemuste põhjal. Mõõtmiste nädalal töötasid alküüdvaikude tootmiseks vajalikud reaktorid ning emulgeerimise reaktorid sel nädalal ei töötanud.



Joonis 3.2 Tekkiva jääsoojuse parameetrid

Joonisel 3.2 on välja toodud ettevõttes tööpäevadel tekkivat jääsoojust iseloomustavad parameetrid. Jooniselt on teadlikult välja jäetud reede õhtu ja sellele järgnev nädalavahetus, sest sel ajal tootmisprotsessi ei olnud ja jääsoojust ei tekkinud. Graafik kajastab jääsoojust, mis tootmisprotsessi käigus on tekkinud ja mis on suunatud gradiiri maha jahutamisele, et siis uuesti seda tootmises kasutada. Väga oluline on graafikul vooluhulk (m^3/h), mis annab aimu kui palju ja mis aegadel jääsoojust tekib. Nagu näha, siis on jahutus toimunud ka ühel ööl (esmaspäev vastu teisipäeva) ning järgnevatel öödel ei ole jääsoojust tekkinud. Kui jätta välja perioodid, mil vooluhulk oli võrdne nulliga, ning vaadata ainult seda perioodi, kus jahutusprotsess aset leidis, siis keskmine vooluhulk oli $105 \text{ m}^3/\text{h}$. Ning samal perioodil gradiiri mineva jahutusvee keskmine temperatuur oli $27,3 \text{ }^\circ\text{C}$, mis näitab, et tegu on väga madala temperatuurilise jääsoojusega.

Järgneva joonise koostamiseks on kasutatud valemit:

$$Q = m * c * (T_1 - T_2) \quad (3.1)$$

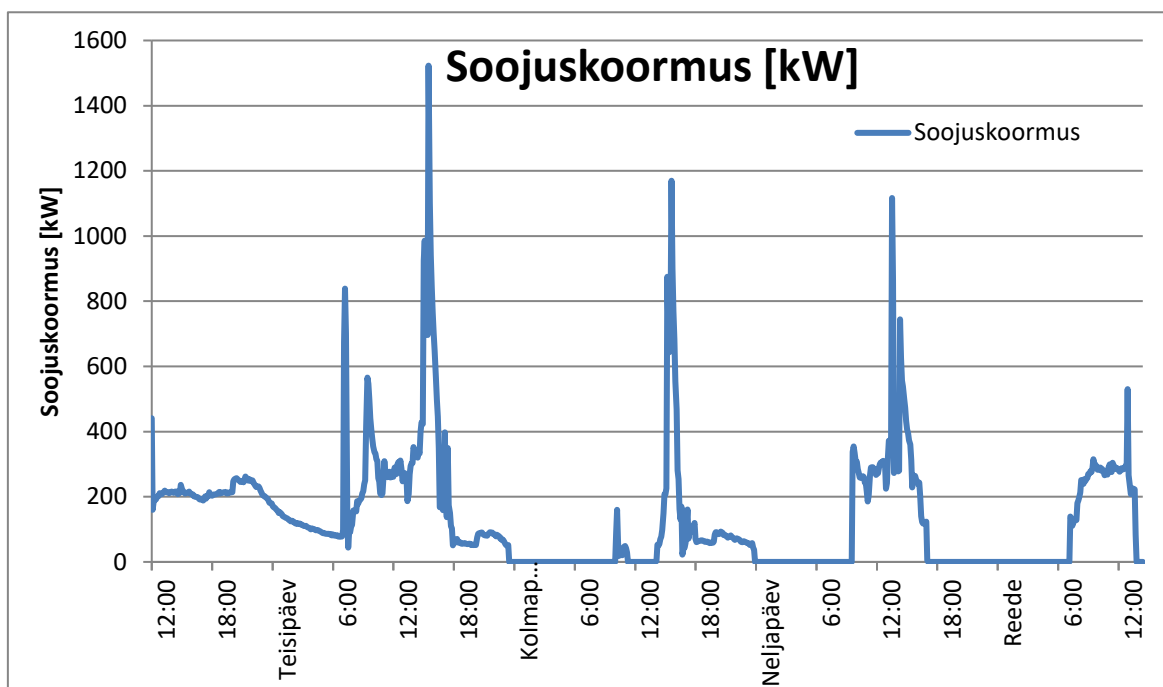
kus Q – soojuskoormus, kW,

m – vooluhulk, m³/h,

c – vee erisoojus, kJ/(kg*K),

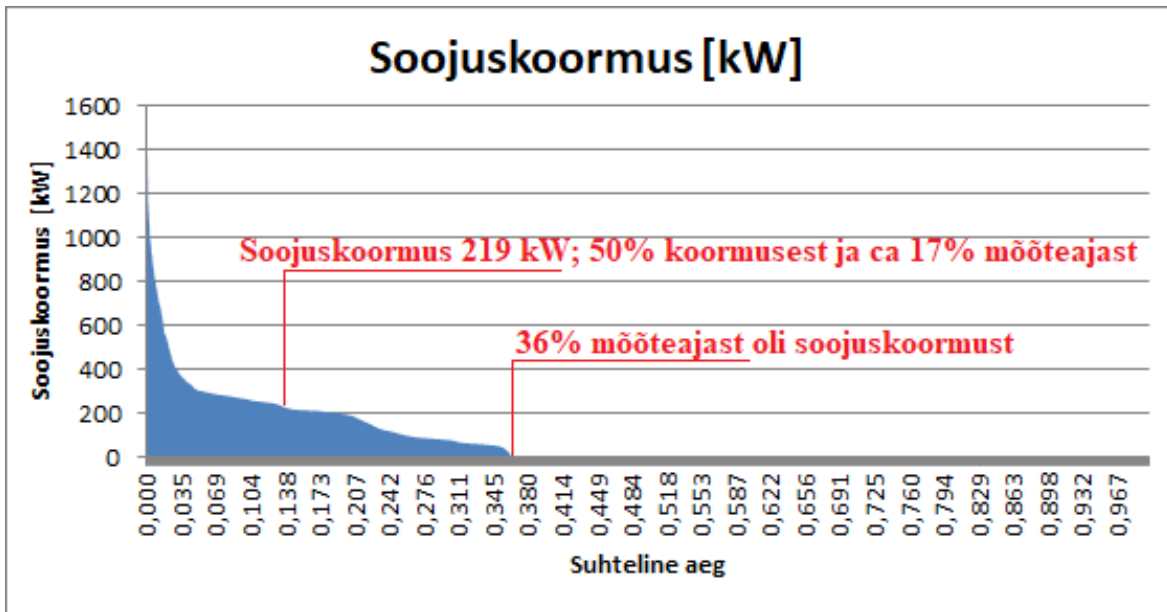
T₁ – pealevoolu temperatuur, °C,

T₂ – tagasivoolu temperatuur, °C.



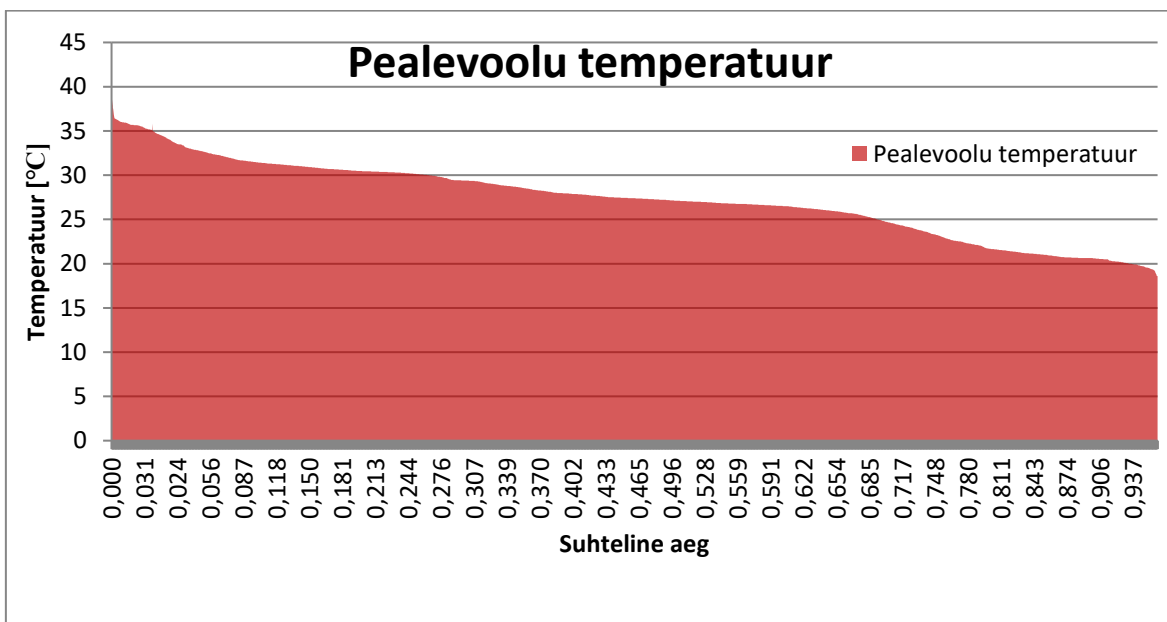
Joonis 3.3 Jahutusprotsesside soojuskoormus

Joonis iseloomustab hetkelist soojuskoormust, mis tootmisprotsesside jahutamisel nädala jooksul tekib. See sõltub suurel määral vooluhulgast ning temperatuuride vahest enne ja pärast gradiiri. Kogu see soojus suunatakse jahutusbassein ning juhitakse gradiiri kasutades keskkonda. Nagu näha on kohati tootmisprotsesside jahutamiseks vajalik soojuskoormus suur, mille igapäevane muster (kella 13:00-16:00) on graafikult hästi välja loetav. Perioodiliselt tekib jahutamisel isegi üle 1000 kW soojusenergiat. Perioodi keskmine soojuskoormus, kui välja jätta periood, mil jahutusprotsessi ei toimunud, oli 219 kW.



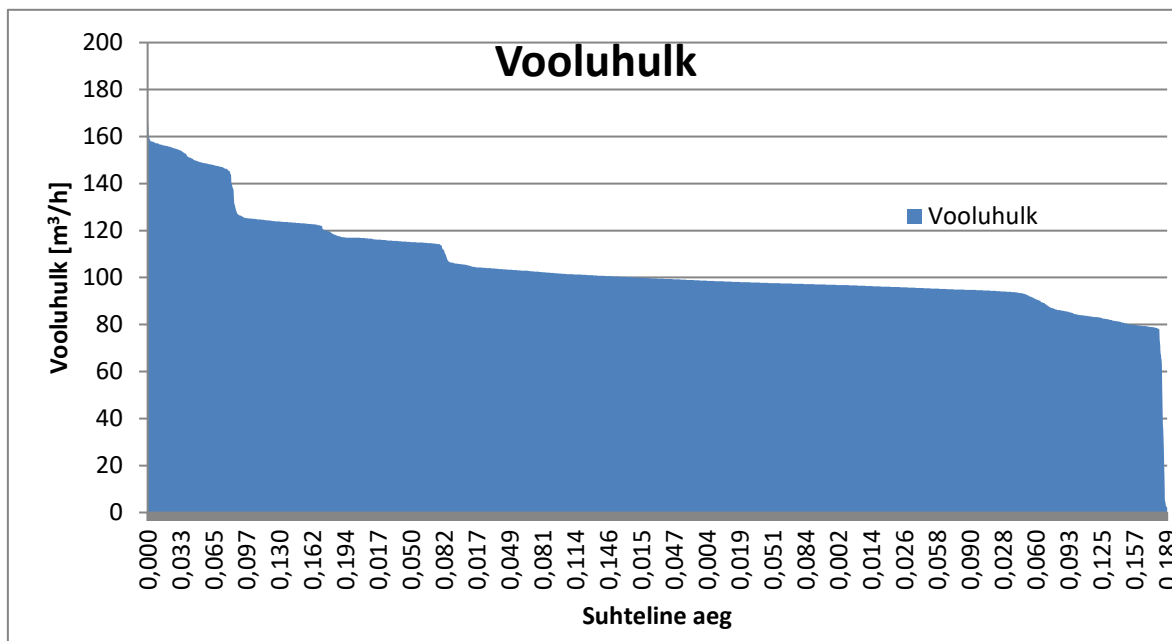
Joonis 3.4 Soojuskoormuse kestvusgraafik

Joonisel on välja toodud jahutusbasseini suunatav soojuskoormus reastatuna alates suuremast väärtusest kuni väiksemani ning ajaperioodiks on üks nädal (esmaspäev kuni pühapäev). Nagu näha on nädala jooksul alküüditsehhis tekkivat jääsoojust 36% protsendil ajast, mis kõik langeb tööpäevadele, sest mõõteperioodil nädalavahetusel tootmist ei toimunud. Keskmine soojuskoormus, mis nädala jooksul tootmisprotsesside jahutamisel tekib on 219 kW ning see moodustab 17% kogu mõõtejast. Maksimum soojuskoormused on küündinud isegi üle 1000 kW, aga nende ajaline periood on väga lühike. Mõõtmiste perioodil jahutuse käigus tekkinud kogu soojuskoormus oli 13 275 kWh.



Joonis 3.5 Pealevoolu temperatuur mõõtmisperioodi jooksul

Kuna jääsoojuse temperatuur on väga oluline parameeter, mille alusel hinnatakse selle potentsiaali, siis selle ka eelmine joonis välja toob. Graafik iseloomustab jahutusvee temperatuuri ühe nädala jooksul, mis suunatakse gradiiri, kui toimub reaalne alküüditsehhis olevate protsesside jahutus (36 % mõõtejast). Maksimaalne jahutusvee temperatuur on 38,6°C ning minimaalne 18,0°C ja keskmine selle perioodi jooksul oli 27,3°C.



Joonis 3.6 Vooluhulk mõõtmisperioodi jooksul

Teine väga oluline parameeter lisaks temperatuurile, mille järgi hinnata jääsoojuse ära kasutamise potentsiaali on kahtlemata jahutusprotsessideks vajaminev vooluhulk, mis on ka joonisel välja toodud reastatuna suuremast väärtusest väiksemani. Graafik kajastab loomulikult ainult seda perioodi, mil on toimunud reaalne jahutusprotsess, sest ülejäänud perioodil on vooluhulk võrdne nulliga. Kõige suurem vooluhulk mõõteperioodi jooksul oli 175,3 m³/h ning kõige väiksem vooluhulk registreeriti mõningatel juhtudel isegi 2 m³/h. Kogu perioodi keskmine vooluhulk oli 105,1 m³/h.

Kokkuvõttes võib öelda, et kuna mõõtmiste nädalase perioodi ajal töötasid ainult alküüdvaikude tootmiseks mõeldud kaks reaktorit ning tol nädalal emulgeerimise reaktor (20 m³) alküüdemulsioonide valmistamiseks töös ei olnud (kus samuti toimub jahutusprotsess), siis autori hinnangul on tegelik nädalane jahutuse käigus tekkinud soojushulk suurem, kui see kajastub mõõtmistulemustes. Alküüdemulsioonide reaktor toodab aastas ligi 70 partiid, mis teeb nädalas 1-2 partiid. Kuna mõõtmised toimusid novembris, mis ettevõtte jaoks ongi tootmise mõttes vähem aktiivsem kuu, siis sel ajal kõik protsessid ei pruugigi töös olla. Ilma mõõtmistulemusteta

on raske hinnata soojushulka, mis tekiks alküudemulsioonide tootmisprotsessi jahutamise käigus. Seega kasutab töö autor olemasolevaid mõõtmistulemusi edaspidiste arvutuste läbi viimiseks.



Foto 3.2 Olemasolev gradiir jahutusbasseiniga (paremal) ja tühjana seisev bassein (vasakul) (autori foto)

4. SOOJUSPUMBAGA SOOJUSE TAASKASUTAMISE SÜSTEEM

Eelnevates peatükkides kirjeldatud jahutusvee ära kasutamiseks on planeeritud paigaldada 200 kW sisendvõimsusega soojuspump, mis võimaldab taaskasutada protsessijahutuses ülejäävat soojusenergiat küttesüsteemis. [14]

Paigaldatava täisautomaatse soojuspumba parameetrid:[14]

Tabel 4.1 Soojuspumba parameetrid [14]

Sisendkontuur	Jahutusvesi avatud basseinist
Sisendtemperatuur, min/max	20 °C/30 °C
Sisendtemperatuurituur dimensioneerimiseks	20 °C
Sisendtemperatuuri ΔT	3 °C
Sisendkontuuri planeeritud rõhukadu	25 kPa
Sisendvõimsus	200 kW

Väljundkontuur	Pehmendatud ja filtreeritud vesi küttesüsteemist
Sisend-/väljundtemperatuur	40 °C/75 °C
Planeeritud rõhukadu	25 kPa
Planeeritud väljundvõimsus	250-300 kW
Sisendkontuuri planeeritud rõhukadu	25 kPa
Sisendvõimsus	200 kW

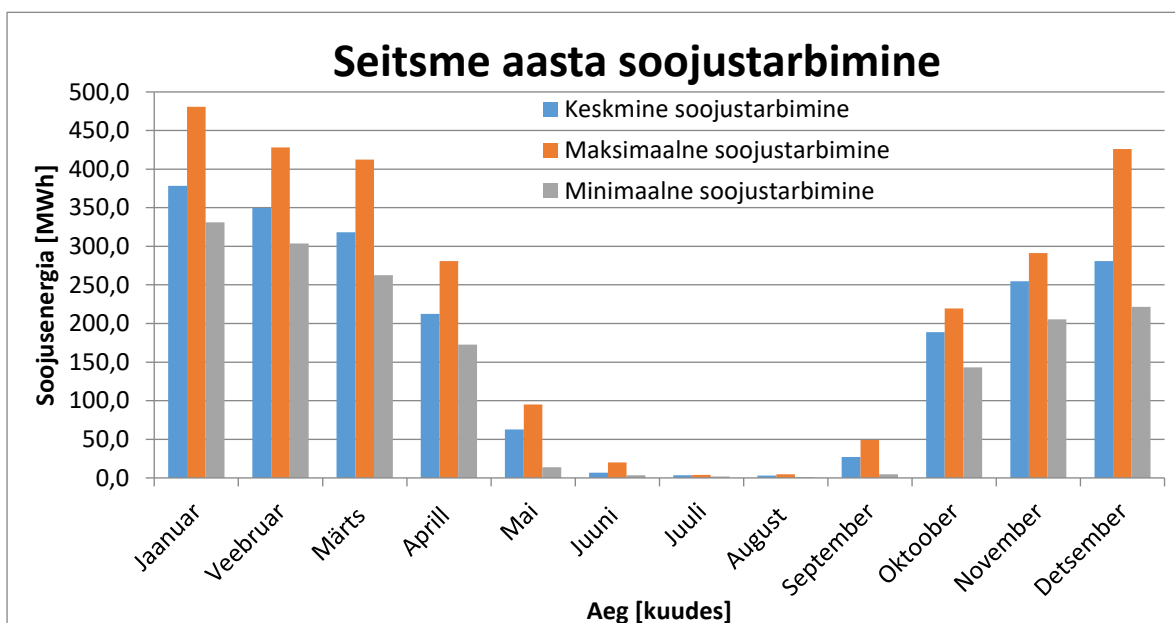
Elektriline osa	400 Vac, 50 Hz
Elektriline osa	50-75 kW
	Ei ole ATEX

Soojuspump on varustatud soojus- ja elektrienergia mõõteseadmetega, mis võimaldavad tuvastada seadme kasutegurit ning jälgida seadme tööd. Süsteemi ühendatakse 18 m³ mahutavusega akumulatsioonipaak soojusenergia salvestamiseks. Toodetud soojusenergia kasutatakse ära Akzo Nobel'i enda küttesüsteemis kütte- ja soojatarbevee tootmiseks. Kuna suvel on ettevõtte soojustarbimine väike ning soojuspumba poolt toodetud soojusenergia ülejääk on märkimisväärne, siis ehitatakse välja soojusenergia müümiseks soojussõlm Utilitase võrku. Soojuspumba projekteerimisel on arvestatud Utilitase poolt ettenähtud maksimaalse tagastuva temperatuuriga nende võrku, milleks on 45°C.

Soojuspump paigaldatakse küttega konteineris olemasoleva gradiiri kõrvale asuvasse tühja ja kasutamata basseini (foto 3.1). Kõrvalolevasse basseini, kuhu suunatakse tootmises tekkinud jahutusvesi, paigaldatakse ujukiga lahendus soojuspumba sisendkontuuri jaoks. Ujukiga lahenduse eesmärk on basseinist saada maksimaalselt kõrge temperatuuriga jahutusvett, mis saavutatakse tänu pidevalt pinnalähedase vee kasutamisele basseinist (veetaseme tõus ja langus basseinis).

4.1. Ettevõtte soojustarbimine

Järgneva graafiku koostamisel on kasutatud ettevõtte Akzo Nobel soojustarbimise andmeid alates 2011. aastast kuni 2018. aastani (puudu on 2016 aasta andmed). Perioodi soojustarbimise keskmised väärtused koos seitsme aastase perioodi maksimaalse ja minimaalse tarbimise väärtusega kuu lõikes on koondatud järgnevasse graafikusse.



Joonis 4.1 Ettevõtte seitsme aasta soojustarbimise ülevaade [15]

Kõnealuse perioodi absoluutne maksimum soojustarbimine oli 2014. aasta jaanuar (480,7 MWh) ja absoluutne miinimum 2012. aasta august (0,9 MWh). Suveperioodi (juuni, juuli, august) aastate keskmine on jäänud 3-4 MWh juurde, kuid näiteks aastal 2011 juuni kuus oli energiatarbimine nii suur kui 19,9 MWh.

Järgnevalt on välja toodud aastane kogutarbimine alates aastast 2011. Nagu eelnevalt mainitud, siis tabelis pole kajastatud aastat 2016, sest autoril vastavad andmed puudusid.

Tabel 4.2 Erinevate aastate soojustarbimine [15]

Aasta	Soojustarbimine (MWh)
2011	1982,2
2012	2462,9
2013	2299,1
2014	2145,0
2015	1957,2
2017	1849,6
2018	1905,0
Keskmine	2085,9

4.2. Soojuspumba energiatoodang

Tabelis 4.1 on välja toodud planeeritava soojuspumba põhiparameetrid ning sealt lähtuvalt on planeeritud väljundvõimsuseks 250-300 kW. Soojuspump töötab ainult sel perioodil, kui toimub tootmisprotsesside jahutus veega, mis tähendab 36% ajast. Aastas töötab soojuspump seega 3154 tundi, kuus 263 tundi ja nädalas 61 tundi. Näiteks 250 kW väljundvõimsuse korral oleks aastane soojustoodang:

$$Q_{pump} = 250 * 3154 = 788\,500 \text{ kWh} = 788,5 \text{ MWh} \quad (4.1)$$

Järgnevas tabelis 4.3 on analoogselt arvatud kolme väljundvõimsuse korral iga kuised ja aastane soojusenergia toodang. Erinevus mõningate kuude lõikes seisneb selles, et on arvestatud erinevate päevade arvuga kuudes.

Tabel 4.3 Soojuspumba energiatoodang erinevatel väljundvõimsustel

	250 kW	275 kW	300 kW
Kuu	Soojuse toodang (MWh)	Soojuse toodang (MWh)	Soojuse toodang (MWh)
Jaanuar	66,9	74,4	80,4
Veebruar	60,5	67,2	72,6
Märts	66,9	74,4	80,4
Aprill	64,8	72,0	77,8
Mai	66,9	74,4	80,4
Juuni	64,8	72,0	77,8
Juuli	66,9	74,4	80,4
August	66,9	74,4	80,4
September	64,8	72,0	77,8
Oktoober	66,9	74,4	80,4
November	64,8	72,0	77,8
Detsember	66,9	74,4	80,4
Aasta kokku	788,5	876,0	946,3

4.3. Toodetud soojusenergia kasutamine

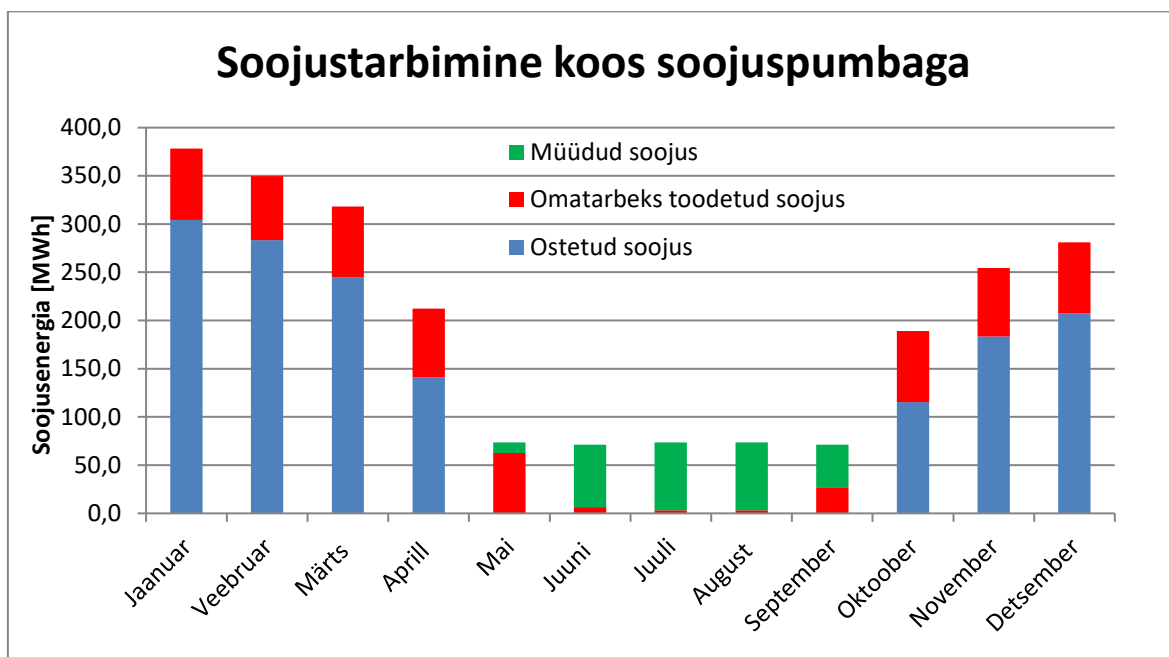
Järgnevalt on vaadeldud, kui palju iga kuu ettevõtte soojustarbimisest saab katta jääksoojuse ära kasutamisel soojuspumbaga ning olukorras, kus soojuspumba soojusetoodang on suurem soojustarbimisest on välja toodud ka müüdava soojuse kogus. Lisaks on protsentuaalselt esitatud see osa iga kuu, mille kogu soojustarbimisest katab ära soojuspumba poolt toodetud soojusenergia. Kõige lõpuks on arvatud ka kaugküttevõrgust vaja mineva soojusenergia kogus. Ettevõtte soojustarbimiseks on võetud viimase seitsme aasta keskmise soojuskoormuse andmed (peatükk 4.1) ning soojuspumba toodang on arvatud 275 kW väljundvõimsuse korral (peatükk 4.2).

Tabel 4.4 Ettevõtte soojustarbimine ja soojuspumba toodang

Nimetus	Tarbimine	Soojuspumba toodang	Palju pumba toodang katab	Müüdav soojus	Kaugkütte võrgust ostetav soojus
Tähis	Q_{kokku}	Q_{pump}	-	$Q_{\text{müük}}$	$Q_{\text{võrk}}$
Ühik	MWh	MWh	%	MWh	MWh
Jaanuar	378,3	74,4	19,7	0	303,9
Veebruar	349,8	67,2	19,2	0	282,6
Märts	318,1	74,4	23,4	0	243,7
Aprill	212,5	72,0	33,9	0	140,5
Mai	62,6	74,4	100,0	11,8	0
Juuni	6,6	72,0	100,0	65,4	0
Juuli	3,3	74,4	100,0	71,2	0
August	3,1	74,4	100,0	71,3	0
September	27,2	72,0	100,0	44,8	0
Oktoober	189,0	74,4	39,4	0	114,6
November	254,6	72,0	28,3	0	182,6
Detsember	280,9	74,4	26,5	0	206,5
Aasta kokku	2085,9	876,0	29,3	264,5	1474,3

Aasta kõige külmematel kuudel (detsember kuni märts), kus ettevõtte soojustarbimine on kõige suurem, on soojuspumba poolt toodetud soojusenergiaga võimalik katta kuni veerand kogu vajalikust soojusenergiast. Sügiskuudel ja varakevadel isegi kuni 40 %. Mai ja september on sõltuvalt aastast väga erineva iseloomuga, kus võib juhtuda, et külmade ilmadega jääb soojuspumba toodangust väheks. Kolm suvekuud seevastu on väga väikese soojustarbimisega ning kuna tootmisprotsess toimub samas mahus ka suvisel ajal, siis jääb märkimisväärne osa soojuspumba toodangust kohapeal kasutamata. Selle lahendamiseks, nagu eelnevalt töös on mainitud, ehitatakse välja soojusenergia müümiseks soojussõlm ning ülejääva osa saab müüa Utilitase võrku. Kogu müüdava soojusenergia kogus on keskmiselt pea 265 MWh aastas. Kui

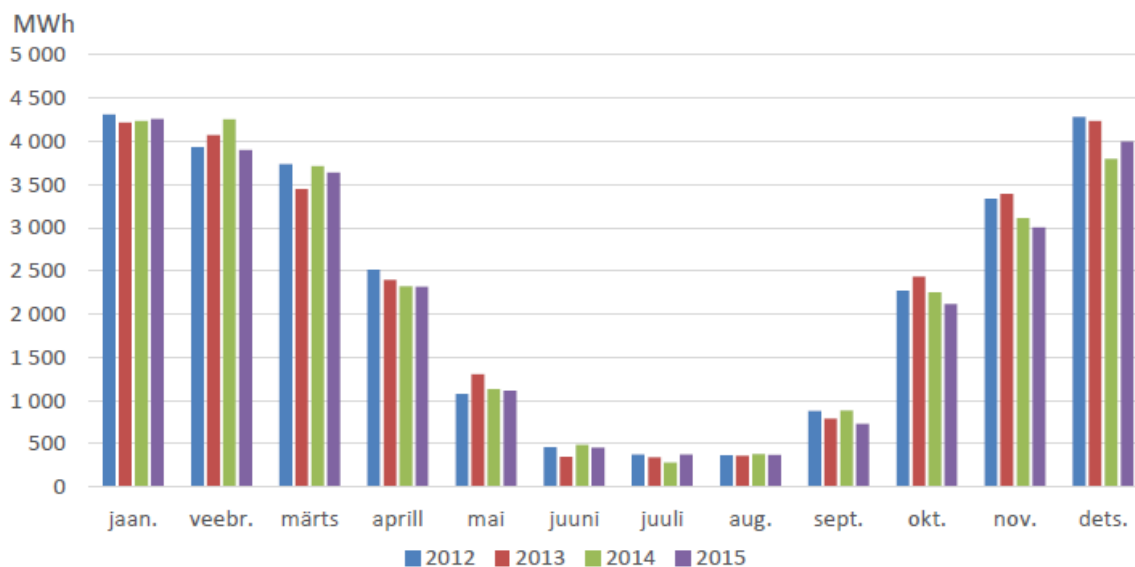
vaadata aastaseid numbreid, siis kogu aastasest tarbimisest on soojuspumbaga võimalik ära katta ligi kolmandik. Kui ilma soojuspumbata oli ettevõtte aastate keskmine võrgust ostetav soojusenergia kogus 2085,9 MWh, siis soojuspumpa kasutades väheneks see 1474,3 MWh-ni.



Joonis 4.2 Ettevõtte soojustarbimise jaotus koos soojuspumbaga

Joonis 4.2 annab visuaalse ülevaate, kui suure osa iga kuu soojustarbimisest on soojuspumbaga toodetud energiast võimalik ära katta, mida iseloomustavad punased tulbad graafikul. Sellest tulenevalt on vaja osta võrgust vähem soojusenergiat, mida näitavad sinised tulbad. Soojem periood, kui soojustarbimine on väike on võimalik ülejääv osa müüa tagasi küttevõrku, mida graafikul kajastavad rohelised tulbad.

Graafik kajastab soojustarbimise viimase seitsme aasta keskmist ning nende põhjal saab mai ja septembrikuus kogu omatarbimise pumba toodanguga katta ja osa jääb veel müügiks. Kui süveneda ettevõtte erinevate aastate soojustarbimisse just eelnimetatud kuudel, siis maikuu on see, kus olenevalt aastast võib soojustarbimine olla väga kõikuv (joonis 4.1). Näiteks 2018. aasta maikuu kogu soojustarbimine oli viimase seitsme aasta kõige madalam - 13,9 MWh. Kuid 2017. aasta sama kuu soojustarbimine seevastu oli 6,5 korda suurem - 90,4 MWh. Riigi Ilmateenistuse andmetel oli kahe järjestikuse aasta maikuu Eesti keskmise õhutemperatuuri vahe tervelt 5,1 kraadi (2017 aastal on temperatuur 1,1 kraadi normist madalam ja 2018 aastal seevastu 4,0 kraadi normist kõrgem) [16]. Eks selliseid normist kõrvalekaldeid tuleks soojuspumba tööaastate jooksul kindlasti ette, kuid keskmine pilt võiks olla joonisega 4.2 kajastatud.



Joonis 4.3 Erakütte Rapla katlamaja normaalaastale taandatud soojuse toodangud [17]

Eelneval graafikul on Rapla kaugkütte katlamaja erinevate aastate soojuse toodangud. Nagu näha siis suvised toodangud kõiguvad umbes 250-500 MWh vahemikus. Kui suvised ettevõtte Akzo Nobel soojuspumba poolt ülejäävad toodangud müügiks on umbes 70 MWh igas kuus (tabel 4.4), siis oleks sellega võimalik Rapla suvisest koormusest võimalik katta kuni kolmandik. Ülejäänud soojus tuleb toota kohalikus katlamajas.

4.4. Soojuspumba soojustegur (COP)

Järgnevat valemit kasutades arvutame välja, mis on soojuspumba soojustegur COP: [8]

$$COP = \frac{Q}{W} \tag{4.2}$$

kus COP – soojustegur

Q – toodetud soojusenergia, MWh,

W – kasutatud elektrienergia, MWh.

Paigaldatava soojuspumba parameetrite põhjal (tabel 4.1) on seadme elektrilise osa võimsus vahemikus 50 – 75 kW. Arvutame soojusteguri kolmel erineval elektrilisel võimsusel ning soojuspumba poolt toodetud soojusenergiaks võtame 876,0 MWh, mis vastab pumba aastasele soojustoodangule juhul, kui selle väljund võimsus on 275 kW (tabel 4.3). Kõigepealt aga arvutame järgnevalt soojuspumba aastase elektrikulu, kus peame arvestama sellega, et jääsoojust tekib 36% ajast, mis tähendab ka seda, et sama osa ajast töötab ka soojuspump.

Soojuspumba aastase elektrikulu arvutus, kui aastane võimsus on 50 kW:

$$Q_{elekter} = 8760 * 0,36 * 50 = 157\,680 \text{ kWh} = 157,7 \text{ MWh} \quad (4.3)$$

Ning sel juhul tuleks vastavalt valemile 4.1 soojusteguriks (COP):

$$COP = \frac{876,0}{157,7} = 5,55 \quad (4.4)$$

Analoogiliselt on läbiviidud ka teised arvutused ning saadud tulemused on koondatud järgmisse tabelisse.

Tabel 4.5 Soojuspumba soojustegur COP sõltuvalt elektrilisest võimsusest

Soojusetoodang	Elektriline võimsus 50 kW		Elektriline võimsus 62,5 kW		Elektriline võimsus 75 kW	
	Elektritarbimine	COP	Elektritarbimine	COP	Elektritarbimine	COP
MWh	MWh	-	MWh	-	MWh	-
876,0	157,7	5,6	197,1	4,4	236,5	3,7

Soojustegur on sõltuvalt elektrikulust vahemikus 3,7 kuni 5,6. Edaspidistes arvutustes kasutame selle keskmist väärtust 4,4. See tähendab, et kulutatud 1 kWh elektrienergiaga toodab soojuspump 4,4 kWh soojusenergiat.

5. SOOJUSPUMBAGA SÜSTEEMI TASUVUSARVUTUSED

Süsteemi tasuvusarvutuste läbiviimiseks tuleb teha rida arvutusi, kus on mitmeid muutujaid, mida selles projekti faasis veel ei tea (süsteemi kogumaksumus koos ehitusega), kuidas muutuvad elektri- ja soojusehinnad ettevõtte jaoks, mis hinnaga hakkab ettevõtte suvel soojust tagasi võrku müüma, kui palju realselt soojust jahutusprotsessi tekkima hakkab jne. Seega tuleb arvutuste läbiviimiseks kasutada mõningatel juhtudel keskmisi väärtusi ning olulisemate muutujate korral, mis hakkavad tasuvust väga tugeval määral mõjutama, tuleb vaadata erinevaid stsenaariume.

Kõigepealt vaatame olukorda, mis vastab mõõtmistulemustele ning tabel 4.4 soojustarbimise andmed on aluseks rahaliste arvutuste tegemisel. Arvutuste tegemiseks kasutame tabelis 5.1 väljatoodud algandmeid.

Tabel 5.1 Algandmed arvutuste tegemiseks

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Soojuse hind tarbijale	H_{tarbija}	56	Eur/MWh
Soojuse müügihind kaugküttevõrku	$H_{\text{müük}}$	40	Eur/MWh
Elektrihind	H_{elekter}	55	Eur/MWh
Soojustegur COP	COP	4,4	-
Aastane elektritarbimine	$Q_{\text{el.}}$	197,1	MWh

Tabelis väljatoodud soojusenergia ostuhind on ettevõtte 2019 aasta reaalne ostuhind. Elektrihind sõltub 50% ulatuses börsihinnast ning seega on muutuv, kuid ettevõtte hinnangul oleks arvutustes kõige õigem kasutada 55 Eur/MWh hinda. Soojus müügihinna kohta ei ole autoril mitte mingisugust infot – seega on autor selle ise valinud. Soojustegur COP ja aastane elektritarbimine on tabelist 4.5 ning need on arvutatud soojuspumba arvestusliku elektritarbimise keskmisel väärtusel.

Kõigepealt arvutame välja soojuspumba 1 MWh soojusenergia rahalise kulu, mis sõltub soojustegurist COP ja elektrihinnast:

$$H_{\text{pump}} = \frac{1}{\text{COP}} * Q_{\text{el.}} = \frac{1}{4,4} * 55 = 12,4 \text{ Eur/MWh} \quad (5.1)$$

Selgub, et valitud algandmete põhjal maksab soojuspumbaga toodetud 1 MWh soojusenergiat 12,4 eurot, mis on võrreldes kaugküttevõrgust ostetava soojuse hinnaga 4,5 korda odavam.

Järgnevalt arvutame näitena läbi tabelis 5.2 kajastatud arvutustulemuste jaanuarikuu.

Kaugküttevõrgust ostetud soojuse rahaline kulu:

$$K_{ost} = Q_{võrk} * H_{tarbija} = 303,9 * 56 = 17\,018 \text{ Eur} \quad (5.2)$$

Soojuspumbaga omatarbeks toodetud soojuse rahaline kulu:

$$K_{omatarb.} = Q_{pump} * H_{pump} = 74,4 * 12,4 = 921 \text{ Eur} \quad (5.3)$$

Soojusenergiale kulunud kogu rahaline kulu:

$$K_{kokku} = K_{ost} + K_{omatarb.} = 17\,018 + 921 = 17\,938 \text{ Eur} \quad (5.4)$$

Soojuspumbaga toodetud soojuse müügitulu:

$$T_{müük} = Q_{müük} * H_{müük} = 0 * 40 = 0 \text{ Eur} \quad (5.5)$$

Soojuspumbaga toodetud soojusenergia arvelt kaugküttevõrgust ostmata jäänud soojuse tulu:

$$\begin{aligned} T_{soojus} &= (Q_{pump} * H_{ost}) - (Q_{pump} * H_{pump}) = (74,4 * 56) - (74,4 * 12,4) \\ &= 3246 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Soojuspumbaga süsteemi jaanuarikuu kogutulu:

$$T_{kokku} = T_{müük} + T_{soojus} = 0 + 3246 = 3246 \text{ Eur} \quad (5.7)$$

Samamoodi arvutame ka ülejäänud kuude tulud ja kulud ning kõik kokku liites saame aastased summad. Saadud tulemused on koondatud tabelisse 5.2.

Tabel 5.2 Soojuspumbaga süsteemi rahalised kulud ja tulud

Nimetus	Ostetud soojuse rahaline kulu	Omatarbeks toodetud soojuse rahaline kulu	Kogu kulu soojusele(pump +ost)	Toodetud soojuse müügitulu	Ostmata jäänud soojuse tulu	Kogutulu(müük +pumba tootmine)
Tähis	K_{ost}	$K_{omatarb.}$	K_{kokku}	$T_{müük}$	T_{soojus}	T_{kokku}
Ühik	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur
Jaanuar	17 018	921	17 938	0	3 246	3 246
Veebruar	15 826	832	16 658	0	2 932	2 932
Märts	13 649	921	14 570	0	3 246	3 246
Aprill	7 866	891	8 757	0	3 141	3 141
Mai	0	774	774	326	2 730	3 057
Juuni	0	82	82	1 807	288	2 094
Juuli	0	40	40	1 966	143	2 108
August	0	39	39	1 969	136	2 105

September	0	337	337	1 237	1 187	2 424
Oktoober	6 417	921	7 338	0	3 246	3 246
November	10 224	891	11 115	0	3 141	3 141
Detsember	11 563	921	12 483	0	3 246	3 246
Kokku	82 563	7 568	90 131	7 305	26 680	33 985

Arvutuste põhjal on soojuspumpa kasutades ettevõtte aastane kulu soojusenergiale 90 131 eurot ning ilma pumbata (kogu soojus ostetak스 kaugküttevõrgust) oleks aastane kulu 26 680 eurot suurem ehk kokku 116 811 eurot. Lisaks saab suvise soojuse müügi pealt 7305 eurot, mis kogu tuluks teeb 33 985 eurot. Ettevõttele tähendaks see aastast rahalist kokkuhoidu umbes 30% võrreldes olemasoleva süsteemiga.

Hinnanguline soojuspumbaga süsteemi hind (seadmed, tööd, materjalid jne) jääb vahemikku 250 000 – 290 000 eurot.

Saame arvutada lihttasuvusaja (näitena 250 000 euro puhul):

$$T_{\text{tasuvusaeg}} = \frac{\text{Investeering}}{T_{\text{kokku}}} = \frac{250\,000}{33\,985} = 7,4 \text{ aastat} \quad (5.8)$$

Sarnaselt arvutame ka teiste investeeringute summa puhul ning arvutused on koondatud tabelisse 5.3.

Tabel 5.3 Tasuvusaeg

Investeering	Tasuvusaeg
Eur	aasta
250 000	7,4
260 000	7,7
270 000	7,9
280 000	8,2
290 000	8,5

Nagu näha, siis tasuvusaeg on sõltuvalt alginvesteeringu suurusest vahemikus 7,4 – 8,5 aasta.

5.1. Soojusenergia ostuhinna mõju tasuvusajale

Loomulikult on palju muutujaid, millest tasuvus sõltuma hakkab (elektrihind, soojusehind, COP, tarbimine, jääksoojuse hulk jne), siis vähemalt soojusenergia hinna kohta on tehtud Rapla linna soojusmajanduse arengukavas 2016 – 2026 prognoos, mis on välja toodud tabelis 5.4.

Tabel 5.4 Rapla linna Erakütte võrgupiirkonna soojuse hinna prognoos aastani 2026 [17]

	Hind	Aastane muutus
Aasta	Eur/MWh	%
2018	55,06	-
2019	55,99	1,66
2020	56,96	1,70
2021	57,79	1,44
2022	58,64	1,45
2023	59,52	1,48
2024	60,43	1,51
2025	61,36	1,52
2026	62,32	1,54
	Keskmine	1,54

Tuleb välja, et 2016. aastal koostatud arengukavas nähti käesoleva aasta soojusehinnaks Rapla linna Erakütte klientidele 55,99 eurot/MWh, mis oli väga täpne prognoos, sest õige hind on 56 eurot/MWh. Arengukava kohaselt tõuseb soojusehind aastaks 2026 62,32 euroni/MWh eest, mis tähendab, et aastane keskmine hinnatõus oleks 1,54 protsenti. Kuna soojusehind mõjutab ka iga aastast rahalist kokkuhoidu ettevõttele ning seeläbi ka tasuvusaega, siis järgnevalt kasutame tabeli 5.4 andmeid ning arvutame iga aastase tulu sõltuvalt soojusenergia hinnast ja vaatame kui palju tasuvusaeg lüheneb. Elektri hind ja soojuse müügi hind jääb samaks.

Tabel 5.5 Soojusenergia hinna mõju tasuvusajale

Aeg	Soojuse hind	Aastane tulu	Investeering				
			250 000 €	260 000 €	270 000 €	280 000 €	290 000 €
Aasta	Eur/MWh	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur
0	-	-	-250 000	-260 000	-270 000	-280 000	-290 000
1	55,99	33 974	-216 026	-226 026	-236 026	-246 026	-256 026
2	56,96	34 561	-181 465	-191 465	-201 465	-211 465	-221 465
3	57,79	35 068	-146 397	-156 397	-166 397	-176 397	-186 397
4	58,64	35 588	-110 809	-120 809	-130 809	-140 809	-150 809
5	59,52	36 126	-74 683	-84 683	-94 683	-104 683	-114 683
6	60,43	36 683	-38 000	-48 000	-58 000	-68 000	-78 000
7	61,36	37 252	-748	-10 748	-20 748	-30 748	-40 748
8	62,32	37 839	37 091	27 091	17 091	7091	-2909
9	62,32	37 839	-	-	-	-	34 930
	Tasuvus	Aasta	7,0	7,3	7,5	7,8	8,1

Nagu näha siis sõltuvalt alginvesteeringust väheneb tasuvusaeg 4 – 5 kuu võrra. Kui püsiva soojusehinna juures (56 Eur/MWh) oli 250 000 eurose investeeringu puhul tasuvusajaks 7,4 aastat, siis soojusehinna iga aastane kasv lühendas tasuvusaega seitsme aastani. Ka investeeringult saadav aastane tulu sõltub soojuse hinnast, mida kajastab tabeli kolmas veerg.

Kuna 290 000 alginvesteeringu korral oli tasuvusaeg üle kaheksa aasta, siis tuli lisada veel üks aasta juurde, mis väljus juba arengukavas soojuse hinna prognoosi viimasest aastast. Kasutasime siinkohal viimase aasta soojusehinda ja seega ka aastast tulu, et arvutada kõige suurema investeeringu tasuvusaeg.

5.2. Elektri hinna mõju tasuvusajale

Soojuspumba poolt toodetud soojusenergia hind sõltub ainult elektri hinnast ning kuna sellele on kogu süsteemi tasuvusele väga suur mõju, siis vaatame kuidas see tasuvust mõjutab. Et tasuvusajad oleks võrreldavad tabelis 5.5 arvatud tasuvusaegadega, siis on kõik algparameetrid (sh. soojuse ostuhind 56 eur/MWh) samad – ainuke muutuv parameeter on elektri hind. Arvutused on tehtud elektri hinna vahemikus 40 – 55 Eur/MWh ning on kasutatud samu valemeid, mis tabeli 5.2 koostamiseks peatüki 5 alguses.

Tabel 5.6 Elektri hinna mõju tasuvusajale

Elektri- hind	Omahind	Müüdud soojuse tulu	Omatarbe tulu	Kogu tulu	250 000 €	260 000 €	270 000 €	280 000 €	290 000 €
Q _{el.}	H _{pump}	T _{müük}	T _{soojus}	T _{kokku}	-	-	-	-	-
Eur	Eur/MWh	Eur	Eur	Eur	aasta	aasta	aasta	aasta	aasta
40	9,0	8 195	28 738	36 933	6,8	7,0	7,3	7,6	7,9
45	10,1	7 897	28 049	35 947	7,0	7,2	7,5	7,8	8,1
50	11,3	7 599	27 361	34 960	7,2	7,4	7,7	8,0	8,3
55	12,4	7 302	26 672	33 974	7,4	7,7	7,9	8,2	8,5
60	13,5	7 004	25 983	32 987	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8
65	14,6	6 706	25 295	32 001	7,8	8,1	8,4	8,7	9,1
70	15,8	6 408	24 606	31 014	8,1	8,4	8,7	9,0	9,4

Elektri hind mõjutab soojuspumba poolt toodetud soojusenergia hinda – iga lisanduv 5 eurot elektri hinnale tõstab pumba poolt toodetud soojuse hinda 1,13 eurot/MWh kohta. Elektri hinna korral 40 Eur/MWh on pumba omatoodangu soojuse hind 9,0 Eur/MWh, kuid elektri hinna tõustes 70 Eur/MWh tõuseb ka pumba poolt toodetud soojuse hind vastavalt valemile 4.1 15,8 Eur/MWh. Selle tulemusena kõigub aastase kogu tulu võimalik suurus tervelt 6000 euro vahemikus. Ka tasuvusajale on elektri hinna mõju väga suur – näiteks 250 000 eurose alginvesteeringu korral on tasuvusaeg 6,8 – 8,1 aastat, kus vastav elektri hind on 40 – 70 Eur/MWh.

5.3. Soojusenergia müügihinna mõju tasuvusajale

Kolmas väga oluline parameeter, mis tasuvusaega mõjutab on hind, millega ettevõtte saab soojust müüa, kui omatarbimine on pumba toodangu jaoks piisavalt madal ja tekib ülejääk (suvine aeg). Kuna selle hinna kohta ei ole selles projekti faasis veel ühtegi konkreetset numbrit, siis vaatame erinevaid stsenaariume. Soojuse ostuhind kaugküttevõrgust on 56 Eur/MWh ning ärioloogiliselt on müügihind kindlasti sellest madalam. Seega vaatame müügihinna vahemikku 30-50 Eur/MWh, kuid milline saab olema reaalne hind, seda näitab tulevik. Kõik teised algparameetrid jäävad samaks, et erinevad tulemused oleks võrreldavad.

Tabel 5.7 Soojusenergia müügihinna mõju tasuvusajale

Müügi- hind	Omahind	Müüdüd soojuse tulu	Omatarbe tulu	Kogu tulu	250 000 €	260 000 €	270 000 €	280 000 €	290 000 €
H _{müük}	H _{pump}	T _{müük}	T _{soojus}	T _{kokku}	-	-	-	-	-
Eur	Eur/MWh	Eur	Eur	Eur	aasta	aasta	aasta	aasta	aasta
50	12,4	9 946	26 672	36 618	6,8	7,1	7,4	7,6	7,9
45	12,4	8 624	26 672	35 296	7,1	7,4	7,6	7,9	8,2
40	12,4	7 302	26 672	33 974	7,4	7,7	7,9	8,2	8,5
35	12,4	5 979	26 672	32 652	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9
30	12,4	4 657	26 672	31 329	8,0	8,3	8,6	8,9	9,3

Soojusenergia müügihind valitud vahemikus 50-30 Eur/MWh tähendab natuke üle 5000 euro suurust vahet müügitulus, mis omakorda kandub samas suurusjärgus üle ka kogu teenitud tulule. Taaskord mõjutab vaatluse all olev parameeter märgatavalt süsteemi tasuvusaega – seekord siis valitud hinnavahe vahemikus on tasuvusaja erinevus natuke üle aasta.

5.4. Jääksoojuse soojushulga mõju tasuvusajale

Jääksoojuse parameetreid iseloomustavas lõputöö kolmandas peatükis jõudsimel järeltulele, et tulenevalt mõõtmiste aegsest tootmisprotsessist, kus kõik reaktorid ei olnud töös, hindab töö autor tegelikku jääksoojuse soojushulka suuremaks, kui mõõtmised näitasid. Seetõttu vaatame, kui palju mõjutab suurem tekkiv soojushulk tulust ja kulusid ning tasuvusaega. Mõõtmiste põhjal toimusid jahutusprotsessid 36% ajast nädala jooksul. Käesolevas peatükis võtame vaatluse alla olukorrad, kus sooja tekiks 45% ja 55% ajast – kui palju see realselt olema saab on raske hinnata. Kõik muud eelnevalt kasutatud parameetrid jäävad samaks – soojuspumba keskmine sisendvõimsus 200 kW ja väljundvõimsus 275 kW.

5.4.1. Variant 1

Esimese variandi korral vaatame olukorda, kus jääsoojust tekib 45 protsendil ajast ehk, siis sama aja töötab ka soojuspump ning kui aastas on 8760 tundi, siis 45 protsenti sellest on 3942 tundi. Aastane soojuspumba soojuse toodang oleks seega soojuspumba keskmisel 275 kW väljundvõimsuse korral:

$$Q_{aasta} = 3942 * 275 = 1084050 \text{ kWh} = 1084,2 \text{ MWh} \quad (5.1)$$

Järgnevalt on selle stsenaariumi korral välja toodud igakuised soojuspumba toodangud, protsentuaalselt on näidatud, kui palju iga kuu saab soojuspumbaga omatarbeks ära katta ning müüdava soojusenergia kogus. Analoogne tabel 4.4 on võrdluseks ka juhul kui sooja tekib 36 protsendil ajast (peatükk 4.3).

Tabel 5.8 Ettevõtte soojustarbimine ja soojuspumba toodangud variant 1 korral

Nimetus	Tarbimine	Soojuspumba toodang	Palju pumba toodang katab	Müüdav soojus	Kaugkütte võrgust ostetav soojus
Tähis	Q_{kokku}	Q_{pump}	-	$Q_{\text{müük}}$	$Q_{\text{võrk}}$
Ühik	MWh	MWh	%	MWh	MWh
Jaanuar	378,3	92,1	24,3	0,0	286,2
Veebruar	349,8	83,2	23,8	0,0	266,6
Märts	318,1	92,1	28,9	0,0	226,1
Aprill	212,5	89,1	41,9	0,0	123,3
Mai	62,6	92,1	100,0	29,5	0,0
Juuni	6,6	89,1	100,0	82,5	0,0
Juuli	3,3	92,1	100,0	88,8	0,0
August	3,1	92,1	100,0	89,0	0,0
September	27,2	89,1	100,0	61,9	0,0
Oktoober	189,0	92,1	48,7	0,0	96,9
November	254,6	89,1	35,0	0,0	165,5
Detsember	280,9	92,1	32,8	0,0	188,8
Aasta kokku	2085,9	1084,2	35,1	351,7	1353,4

Võrreldes mõõtmistulemuste põhjal tehtud arvutustega, siis juhul kui jääsoojust tekiks 9 protsendil rohkem ajast oleks soojuspumba soojusenergia toodang aastas 208,2 MWh suurem. Selle arvelt tõuseks ka pumbaga kaetav soojustarbimise osa pea 6 protsenti – 29,3 protsendilt 35,1 protsendini. Ülejääva soojuse kogus, mille kaugküttevõrku saab tagasi müüa oleks 351,7 MWh – kasv pea 90 MWh.

Tabel 5.9 Algandmed arvutuste tegemiseks

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Soojuse hind tarbijale	H_{tarbija}	56	Eur/MWh
Soojuse müügihind kaugküttevõrku	$H_{\text{müük}}$	40	Eur/MWh
Elektrihind	H_{elekter}	55	Eur/MWh
Soojustegur COP	COP	4,4	-
Aastane elektritarbimine	$Q_{\text{el.}}$	246,4	MWh

Tasuvus arvutusteks kasutame välja toodud algandmeid, kus soojustegur COP (elektrilisel võimsusel 62,5 kW) on arvutatud valemi 4.2 põhjal ning aastane elektritarbimine valemit 4.3 kasutades.

Järgneva tabeli 5.10 arvutused on analoogilised peatükis 5 tabeli 5.2 arvutustele.

Tabel 5.10 Soojuspumbaga süsteemi rahalised kulud ja tulud variant 1 korral

Nimetus	Ostetud soojuse rahaline kulu	Omatarbeks toodetud soojuse rahaline kulu	Kogu kulu soojusele (pump +ost)	Toodetud soojuse müügitulu	Ostmata jäänud soojuse tulu	Kogutulu (müük +pumba tootmine)
Tähis	K_{ost}	$K_{\text{omatarb.}}$	K_{kokku}	$T_{\text{müük}}$	T_{soojus}	T_{kokku}
Ühik	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur
Jaanuar	16 028	1 151	17 178	0	4 006	4 006
Veebruar	14 932	1 039	15 971	0	3 618	3 618
Märts	12 659	1 151	13 810	0	4 006	4 006
Aprill	6 907	1 114	8 021	0	3 876	3 876
Mai	0	782	782	811	2 722	3 534
Juuni	0	82	82	2 269	287	2 556
Juuli	0	41	41	2 443	142	2 585
August	0	39	39	2 446	136	2 582
September	0	340	340	1 702	1 184	2 886
Oktoober	5 427	1 151	6 578	0	4 006	4 006
November	9 266	1 114	10 380	0	3 876	3 876
Detsember	10 572	1 151	11 723	0	4 006	4 006
Kokku	75 792	9 155	84 947	9 672	31 864	41 536

Kogu aastane tulu soojuspumbaga süsteemi kasutades kasvaks 41 536 euronit aastas, mis tähendaks ettevõttele aastas rahalist kokkuhoidu 35,5 protsenti.

Valemit 5.8 kasutades arvutame selle stsenaariumi korral kogu süsteemi tasuvusaja.

Tabel 5.11 Tasuvusaeg variant 1 korral

Investeering	Tasuvusaeg
Eur	aasta
250 000	6,0

260 000	6,2
270 000	6,5
280 000	6,7
290 000	7,0

Tasuvusaeg olenevalt alginvesteeringu suuruselt jääb vahemikku 6,0 – 7,0 aastat.

5.4.2. Variant 2

Teise variandi korral vaatame olukorda, kus jääsoojust tekib 55 protsendil ajast ehk, siis sama aja töötab ka soojuspump ning kui aastas on 8760 tundi, siis 55 protsenti sellest on 4818 tundi. Aastane soojuspumba soojuse toodang oleks seega soojuspumba keskmisel 275 kW väljundvõimsuse korral:

$$Q_{aasta} = 4181 * 275 = 1324950 \text{ kWh} = 1324,95 \text{ MWh} \quad (5.2)$$

Järgnevalt on selle stsenaariumi korral välja toodud igakuised soojuspumba toodangud, protsentuaalselt on näidatud, kui palju iga kuu saab soojuspumbaga omatarbeks ära katta ning müüdava soojusenergia kogus. Analoogne tabel 4.4 on võrdluseks ka juhul kui sooja tekib 36 protsendil ajast (peatükk 4.3).

Tabel 5.12 Ettevõtte soojustarbimine ja soojuspumba toodangud variant 2 korral

Nimetus	Tarbimine	Soojuspumba toodang	Palju pumba toodang katab	Müüdav soojus	Kaugkütte võrgust ostetav soojus
Tähis	Q_{kokku}	Q_{pump}	-	$Q_{\text{müük}}$	$Q_{\text{võrk}}$
Ühik	MWh	MWh	%	MWh	MWh
Jaanuar	378,3	112,9	29,8	0,0	265,4
Veebruar	349,8	101,6	29,1	0,0	248,2
Märts	318,1	112,5	35,4	0,0	205,6
Aprill	212,5	108,9	51,3	0,0	103,5
Mai	62,6	112,5	100,0	50,0	0,0
Juuni	6,6	108,9	100,0	102,3	0,0
Juuli	3,3	112,6	100,0	109,3	0,0
August	3,1	112,5	100,0	109,4	0,0
September	27,2	108,9	100,0	81,7	0,0
Oktoober	189,0	112,5	59,5	0,0	76,5
November	254,6	108,9	42,8	0,0	145,7
Detsember	280,9	112,5	40,1	0,0	168,3
Aasta kokku	2085,9	1325,4	41,8	452,7	1213,2

Võrreldes mõõtmistulemuste põhjal tehtud arvutustega, siis juhul kui jääsoojust tekiks 19 protsendil rohkem ajast oleks soojuspumba soojusenergia toodang aastas 449,4 MWh suurem. Selle arvelt tõuseks ka pumbaga kaetav soojustarbimise osa pea 13 protsenti – 29,3 protsendilt

41,8 protsendini. Ülejääva soojuse kogus, mille kaugküttevõrku saab tagasi müüa oleks 452,7 MWh – kasv pea 190 MWh

Tabel 5.13 Algandmed arvutuste tegemiseks

Nimetus	Tähis	Väärtus	Ühik
Soojuse hind tarbijale	H_{tarbija}	56	Eur/MWh
Soojuse müügihind kaugküttevõrku	$H_{\text{müük}}$	40	Eur/MWh
Elektrihind	H_{elekter}	55	Eur/MWh
Soojustegur COP	COP	4,4	-
Aastane elektritarbimine	Q_{el}	301,1	MWh

Tasuvus arvutusteks kasutame välja toodud algandmeid, kus soojustegur COP (elektrilisel võimsusel 62,5 kW) on arvutatud valemi 4.2 põhjal ning aastane elektritarbimine valemit 4.3 kasutades.

Järgneva tabeli 5.14 arvutused on analoogilised peatükis 5 tabeli 5.2 arvutustele.

Tabel 5.14 Soojuspumbaga süsteemi rahalised kulud ja tulud variant 2 korral

Nimetus	Ostetud soojuse rahaline kulu	Omatarbeks toodetud soojuse rahaline kulu	Kogu kulu soojusele (pump + ost)	Toodetud soojuse müügitulu	Ostmata jäänud soojuse tulu	Kogutulu (müük + pumba tootmine)
Tähis	K_{ost}	$K_{\text{omatarb.}}$	K_{kokku}	$T_{\text{müük}}$	T_{soojus}	T_{kokku}
Ühik	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur
Jaanuar	14 864	1 398	16 262	0	4 922	4 922
Veebruar	13 897	1 259	15 156	0	4 433	4 433
Märts	11 513	1 394	12 908	0	4 908	4 908
Aprill	5 799	1 349	7 148	0	4 750	4 750
Mai	0	775	775	1 380	2 729	4 109
Juuni	0	82	82	2 825	288	3 113
Juuli	0	40	40	3 018	143	3 161
August	0	39	39	3 021	136	3 158
September	0	337	337	2 256	1 187	3 443
Oktoober	4 281	1 394	5 675	0	4 908	4 908
November	8 157	1 349	9 506	0	4 750	4 750
Detsember	9 427	1 394	10 821	0	4 908	4 908
Kokku	67 938	10 811	78 749	12 500	38 062	50 562

Kogu aastane tulu soojuspumbaga süsteemi kasutades kasvaks 50 562 euronit aastas, mis tähendaks ettevõttele aastas rahalist kokkuhoidu 43,2 protsenti.

Valemit 5.8 kasutades arvutame selle stsenaariumi korral kogu süsteemi tasuvusaja.

Tabel 5.15 Tasuvusaeg variant 2 korral

Investeering	Tasuvusaeg
Eur	aasta
250 000	4,9
260 000	5,1
270 000	5,3
280 000	5,5
290 000	5,7

Tasuvusaeg olenevalt alginvesteeringu suuruselt jääb vahemikku 4,9 – 5,7 aastat.

5.4.3. Kolme erineva variandi võrdlus

Selles alapeatükis võtame kolme erineva stsenaariumi tulemused kokku – kui jääksoojust tekib 36 protsendil, 45 protsendil ja 55 protsendil ajast. Kõik siin peatükis esinevad arvutustulemused on eelnevates peatükkides juba läbi tehtud.

Tabel 5.16 Ettevõtte aastane soojustarbimine ja soojuspumba toodangud kolmel erineval stsenaariumil

Nimetus	Tarbimine	Soojuspumba toodang	Palju pumba toodang katab	Müüdav soojus	Kaugkütte võrgust ostetav soojus
Tähis	Q_{kokku}	Q_{pump}	-	$Q_{\text{müük}}$	$Q_{\text{võrk}}$
Ühik	MWh	MWh	%	MWh	MWh
36%	2085,9	876,0	29,3	264,5	1474,3
45%	2085,9	1084,2	35,1	351,7	1353,4
55%	2085,9	1325,4	41,8	452,7	1213,2

Mida rohkem jääksoojust ajaliselt tekib, seda suurem on ka soojuspumba toodang ning rohkem soojusenergiat saab omatarbeks ära kasutada. Kui mõõtmiste järgi tehtud arvutuste tulemusena katab soojuspumba toodang aastas kogu tarbimisest ära 29,3 protsenti, siis see kasvab rohkema jääksoojuse tekkimise korral märkimisväärselt – näiteks kui jääksoojust tekib 55 protsendil ajast, siis pumba toodang katab tervelt 41,8 protsendi tarbimisest. Ka müüdava soojuse kogus kasvab 264,6 MWh kuni 452,7 MWh-ni. Need mõlemad näitajad mõjutavad märkimisväärselt ka saadavat tulu, mida järgmine tabel ka kajastab.

Tabel 5.17 Aastased tulud ja kulud kolme erineva stsenaariumi korral

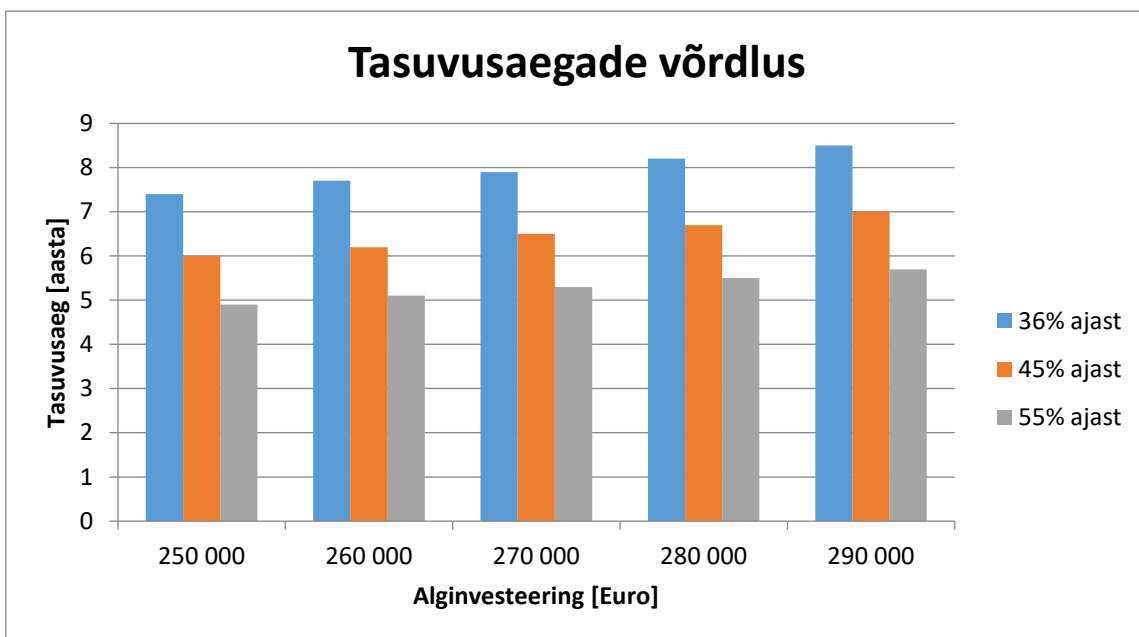
Nimetus	Ostetud soojuse rahaline kulu	Omatarbeks toodetud soojuse rahaline kulu	Kogu kulu soojusele (pump + ost)	Toodetud soojuse müügitulu	Ostmata jäänud soojuse tulu	Kogutulu (müük + pumba tootmine)
Tähis	K_{ost}	$K_{omatarb.}$	K_{kokku}	$T_{müük}$	T_{soojus}	T_{kokku}
Ühik	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur	Eur
36%	82 563	7 568	90 131	7 305	26 680	33 985
45%	75 792	9 155	84 947	9 672	31 864	41 536
55%	67 938	10 811	78 749	12 500	38 062	50 562

Tänu soojuspumba suuremale toodangule ja seeläbi ka soojusenergia omatarbe suurenemisele langeb märkimisväärselt kaugküttevõrgust ostetava soojusenergiale kuluv summa. Kokku vähenevad ettevõtte jaoks soojusenergiale tehtavad kulutused natuke üle 11 000 euro võrra. Väga suur rahaline tulu tekib müüdavast soojusest, millelt saadav tulu kasvab natuke üle 5000 euro. Aastane kogutulu tõus on märkimisväärne – kasvab 45 % jääsoojuse tekkimise korral 7500 euro võrra ning kui jääsoojust tekib ajaliselt 55 protsenti, siis on aastane kasv 16 500 eurot.

Tabel 5.18 Kolme erineva stsenaariumi tasuvusaegade võrdlus

	36%	45%	55%
Investeering	Tasuvusaeg	Tasuvusaeg	Tasuvusaeg
Eur	aasta	aasta	aasta
250 000	7,4	6	4,9
260 000	7,7	6,2	5,1
270 000	7,9	6,5	5,3
280 000	8,2	6,7	5,5
290 000	8,5	7	5,7

Kogu projekti tasuvusaega mõjutab tekkiva jääsoojuse kogus märkimisväärselt ning vaatluse all olnud stsenaariumite korral võib olla tasuvusaja erinevus lausa 2,8 aastat – alginvesteeringu 290 000 eurot korral, kui jääsoojust tekib 36 ja 55 protsendil ajast. Kõige mustema stsenaariumi korral, kui jääsoojust tekib 36 protsendil ajast ja projekti maksumus ulatub 290 000 euroni on tasuvusaeg 8,5 aastat. Kõige parema stsenaariumi korral on tasuvusaeg napilt alla viie aasta – jääsoojust tekib 55 protsendil ajast ja projekti maksumus 250 000 eurot. Kogu erinevate tasuvusaegade tabel on kajastatud ka järgmisel joonisel.



Joonis 5.1 Kolme erineva stsenaariumi tasuvusaegade võrdlus

Kokkuvõttes võib tasuvusarvutuste kohta öelda, et olemasolevat mõõtmiste põhjal ja praeguseid hindasid kasutades tuleb tasuvusajaks kõige madalama alginvesteeringu korral ligi 7,5 aastat. Soodsate elektri- ja soojusenergia hinna muutuste korral võib see langeda märkimisväärselt. Kahtlemata mängib tasuvusaja juures kõige suuremat rolli jääksoojuse tekkimise ajaline kestus tootmises ning selle tõustes 10 % võrra langeb projekti tasuvusaeg pea poolteist aastat. Juba 20 protsendiline tõus kärbib tasuvusajast kaks ja pool aastat.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli analüüsida ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS alküüditsehhis aset leidvate tootmisprotsesside käigus tekkiva jääksoojuse tähtsamaid parameetreid. Töö teises pooles tuua välja soojuspumbaga taaskasutamissüsteemi mõju ettevõtte soojustarbimisse. Ning eelneva alusel arvutada soojusetaaskasutamise projekti tasuvusaeg erinevate alginvesteeringute korral ning näidata mitmesuguste parameetrite mõju tasuvusele.

Tööstuslik jääksoojus on soojushulk, mis jääb mingi tootmisprotsessi käigus täielikult kasutamata ning juhitakse keskkonda (jahutusvesi, heitgaasid, aur jne). Kuna tööstussektor kasutab 38 % kogu ülemaailmselt toodetud energiast, siis on praeguses keskkonna- ja energiasäästlikuse poole pürgivas maailmas oluline just tööstussektori energiaefektiivsus ja energiatarbimise vähendamine, mille tulemusena väheneb keskkonna mõju, eeskätt CO₂ heitmete näol. Kuna jääksoojuse hinnangulise potentsiaali kohta on keeruline andmeid koguda, siis täpset numbrit on raske anda, kuid uuringute kohaselt on see märkimisväärselt suur Kanadas (639 TWh), Ameerika Ühendriikides (417 – 440 TWh) ja Euroopa Liidus (307 – 752 TWh). Näiteks suure tööstussektoriga riigi Hiina kohta andmeid ei leitud. Erinevad uuringud näevad tööstusliku jääksoojuse ära kasutamisel suurt potentsiaali – Euroopa Liidus on plaan jõuda 2050. aastaks 105 TWh-ni (2010. aastal kasutati kõigest 7 TWh). Ka Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030 kohaselt on riigi visioon aastaks 2050 üha rohkem ära kasutada tööstuslikku jääksoojust ja seeläbi saavutada primaarenergia sääst. Kuid jääksoojuse ära kasutamisel on mitmeid piiravaid tegureid – temperatuuri piirangud, koostis, kättesaadavus, transporditavus, maksumus jne.

Ettevõttes Akzo Nobel Baltic AS eraldub mõõtmistulemuste põhjal tootmisprotsesside jahutamise käigus nädalas 13 275 kWh soojusenergiat, mis olemasoleva süsteemi tulemusena suunatakse gradiiri kasutades keskkonda. Jahutusprotsessid toimusid 36 protsendil nädalast, mil keskmine soojuskoormus oli 219 kW. Jahutusvee keskmine gradiiri suunatav temperatuur oli perioodi kestel 27,3 °C ja vooluhulk 105,1 m³/h. Jääksoojuse kasutamiseks on planeeritud paigaldada 250-300 kW väljundvõimsusega soojuspump, mille aastane soojusetoodang keskmisel võimsusel on 876 MWh. Sellega on talvistel kõige külmematel kuudel võimalik ettevõtte soojustarbimisest ära katta umbes viiendik. Suvisel perioodi ja septembris (olenevalt aastast ka mais) on ülejääv soojusenergia võimalik müüa kaugküttevõrku. Soojuspumba soojustegur COP jääb arvutuste põhjal olenevalt soojusetoodangust ja elektritarbimisest vahemikku 3,7 – 5,6.

Eelnevate arvutuste ja ettevõttest saadud algandmete (elektri- ja soojusehind) põhjal on ettevõtte aastane kulude kokkuvõtte soojuspumbaga süsteemi korral pea 34 000 eurot. Projekti maksumus on hinnanguliselt 250 000 – 290 000 eurot, mis tähendab tasuvusajaks 7,4 – 8,5 aastat. Elektri- ja soojusenergia hinnal tarbijale ning suvisel soojusenergia müügihinnal on väga suur mõju tasuvusajale. Prognooside kohaselt suureneb soojusenergia hind iga aasta 1,54 protsenti ning selle tulemusena kasvab iga aasta kulude kokkuvõtte ja seeläbi lüheneb ka tasuvusaeg 4 – 5 kuu võrra. Elektriinna 25 % langus või tõus tänaselt ettevõtte ostuhinnalt mõjub tasuvusajale vastavalt 6 -7 kuulise tasuvusaja lühenemise või pikenedisega. Hind millega ettevõtte ülejääva soojusenergia tagasi kaugküttevõrku müüb ei ole selles projekti faasis veel selge, kuid valitud vahemikus 50 – 30 Eur/MWh on tasuvusaegade erinevus olenevalt alginvesteeringu suuruselt aasta ja kolm-neli kuud. Kõigi nende erinevate stsenaariumite korral jääb tasuvusaeg olenevalt alginvesteeringu suuruselt 6,8 – 9,4 aasta vahele.

Kuna mõõtmised viidi läbi nädalal, kus kõik tootmisprotsessid töös ei olnud, sest november ongi tootmise mõttes vähemaktiivsem periood, siis võib eeldada, et suuremal osal aastast tekib jahutusprotsesside käigus suurem soojushulk, kui seda kajastasid mõõtmistulemused. Kui jahutus töötaks 45 protsendil ajast (mõõtmiste järgi oli 36%), siis aasta kulude kokkuvõtte suureneks 7500 euro võrra ja tasuvusaeg jääks vahemikku 6 – 7 aastat. Kui aga jahutuse aeg tõuseks 55 protsendile ajast, siis aastane kulude kokkuvõtte suureneks võrreldes esialgsega 16 500 euro võrra ja tasuvusaeg lüheneks 4,9 – 5,7 aastani.

Töö eesmärgid said autori hinnangul täidetud: analüüsi jäaksoojuse parameeterid, arutati nende põhjal soojuspumba soojusenergia toodangud ning leiti tasuvusaegade vahemikud erinevate stsenaariumite korral. Tasuvusaeg kasutatud mõõtmistulemuste põhjal jääb soodsate hindade korral 6 – 7 aasta vahele, kuid mustema stsenaariumi korral võib olla isegi üle 9 aasta, mis sellise projekti puhul on üpris pikk aeg. Autori soovitus on korrata mõõtmisi ja seda perioodil, kus kõik jahutusprotsessid on töös, sest selliselt töötavad need enamiku osa aastast ja saadud tulemused oleks võimalikult lähedal reaalsele olukorrale.

SUMMARY

The purpose of this thesis was to analyse company's Akzo Nobel Baltic AS alkyd plant's most important parameters of the waste heat which is a byproduct produced by cooling in its production processes. Second part of the paper ascertains heat pump recovery system's impact to company's overall heat consumption. On the basis of the above waste heat recovery project's payback period was calculated in case of different initial investments and various factors.

Industrial waste heat is a heat quantity, which is not used entirely in production processes and is released into the environment (cooling water, exhaust fumes, steam etc.). Because 38 % of the energy produced in the world is used by industrial sector, then in nowadays aspiration for environmental friendly and energy efficiency world, industrial sector energy efficiency and reducing total energy consumption in this sector is a key factor, which leads to lower environmental impact, in particular for CO₂ emissions. Because of collecting data about waste heat estimated potential is complicated, then exact number is difficult to determine, but different studies show that it's significantly large in Canada (639 TWh), United States of America (417 – 440 TWh) and European Union (307 – 752 TWh). But for example there was no data about China, which has a big industrial sector. Different researches are pointing out huge potential for industrial waste heat recovery – European Union has a plan to reach 105 TWh by the year 2050 (in 2010 only 7 TWh was used). Also Estonian National Development Plan of the Energy Sector until 2030 has a vision to use more and more industrial waste heat by 2050 and this way to achieve primary energy savings. But there might be different limiting factors for waste heat recovery – temperature limits, consist of waste heat, access, transportation, cost, etc.

Based on the measurement results in Akzo Nobel Baltic AS during the cooling processes in production 13 275 kWh energy is released in one week, which at the moment is released into the environment. Cooling processes were in use 36 percent of time in one week period where heat load average was 219 kW. Cooling water average temperature released into cooling basin were 27,3 °C and water flow 105,1 m³/h. There is a plan to install heat pump for waste heat recovery with output power of 250 – 300 kW, which yearly heat production on average load would be 876 MWh. With this system it's possible to cover one fifth of company's heat consumption in winter's coldest months. During summer period and in September (also May, depending on the year) it is possible to sell excess heat back to the district heating system. Based on the calculations heat

pump Coefficient of performance (COP) would be between 3,7 – 5,6, depending on electricity price and heat production.

Based on previous calculations and data from Akzo Nobel Baltic AS (prices of electricity and heat) company's annual cost savings with heat pump system is almost 34 000 euros. Cost of the project is estimated to be between 250 000 – 290 000 euros, which means payback period between 7,4 – 8,5 years. Prices of electricity, heat and also sale price of heat in summer period has a huge impact to payback period. Future prognosis show that price of heat energy will rise every year 1,54% and as a result annual cost savings will rise as well and payback period shortens by 4 – 5 months. Rise and fall in electricity prices by 25% from today's price would accordingly shorten or lengthen payback period by 6-7 months. Heat energy resale price is not yet known at this stage of the project, but with selected prices between 50 – 30 Euros/MWh payback period difference is a year and three-four months, depending on exact cost of the project. In case all of these different scenarios payback period stays between 6,8 – 9,4 years, depending on initial investment of the project.

Because of the fact that measurements took place in the period when all cooling processes were not in use, because November is less active period in company's production line, then we can assume that in greater part of the year larger quantity of heat from cooling is received than measurement results reflected. When cooling processes would take place 45 percent of the time (during measurements it was 36%), the annual cost savings would increase by 7500 euros and payback period would be between 6 -7 years. But if cooling processes would take place 55 percent of the time, the annual cost savings would increase by 16 500 euros and payback period shortens to 4,9 – 5,7 years.

The author of the paper finds objectives of this thesis to be fulfilled: parameters of waste heat were analysed, based on these analyses heat energy production of the heat pump and payback period was calculated for different scenarios. Based on the measurement results payback period in case of positive scenario will be between 6 – 7 years, but in worst possible scenario might be even over 9 years, which is a long time for this type of project. Author recommendation is to repeat measurements and during the period where all cooling processes are in use, because that's how these work most time of the year and results would be as close to the real situation.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Global Energy & CO2 Status Report - The latest trends in energy and emissions in 2018. [WWW] <https://www.iea.org/geco/emissions/> (30.03.19)
2. Miro, L., Brückner, S., Cabeza, L, F. Mapping and discussing Industrial Waste Heat (IWH potentials for different countries – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 51, 847 – 855. ScienceDirect (30.03.19)
3. Brückner, S., Liu, S., Miro, L., Radspieler, M., Cabeza, L, F., Lävemann, E. Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies - Applied Energy, 2015, 151, 157 -167. ScienceDirect (12.04.19)
4. Papapetrou, M., Kosmadakis, G., Cipollina, A., Commare, U, L., Micale, Giorgio. Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country – Applied Thermal Engineering, 2018, 138, 207-216. ScienceDirect (04.04.19)
5. Brueckner, S., Miro, Cabeza, L, F., Pehnt, M., Laevemann, E. Methods to estimate the industrial waste heat potential of regions – A categorization and literature review - Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 38, 164 -171. ScienceDirect (06.04.19)
6. Energiamaajanduse arengukava aastani 2030. [WWW] https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf (11.04.2019)
7. Connolly, D., Mathiesen, B, V., Østergaard, P, A., Möller, B., Nielsen, S., Lund, H., Persson, U., Werner, S., Grözinger, J., Boermans, T., Bosquet, M., Trier, D. HEAT ROADMAP EUROPE 2050: SECOND PRE-STUDY FOR THE EU27. Denmark, Aalborg : Department of Development and Planning, Aalborg University, 2013
8. BCS, Incorporated aastal 2008, USA. Waste Heat Recovery. Technology and Opportunities in U.S. Industry
9. Akzo Nobel. [WWW] <http://www.varvimaailm.ee/et/> (28.04.19)
10. Adepte Ekspert OÜ 2016, Tallinn. Akzo Nobel Baltic AS keskkonnakompleksloa lähteolukorra aruanne.

11. Maaameti kaart [WWW].

https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1529&HEIGHT=878&zlevel=10,545941.40625,6539663.5742187&setlegend=SHYBR_ALUS01_82A=0,SHYBR_ALUS02_82A=1 (01.05.19)

12. Ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS sisedokumentatsioon (12.05.19)

13. Petrosyan, V. Alküdemuulsiioonide tootmistehnoloogia juurutamine Akzo Nobel Baltics AS-s. : magistritöö. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2014.

14. Petrov, E. Akzo Nobel Baltic AS – Tehnoloogilise jahutusvee soojuse taaskasutamise süsteem. Eelprojekt, Tallinn 2019

15. Akzo Nobel Baltic AS. Kastani Rapla 7 Soojustarbimise andmed (08.05.2019)

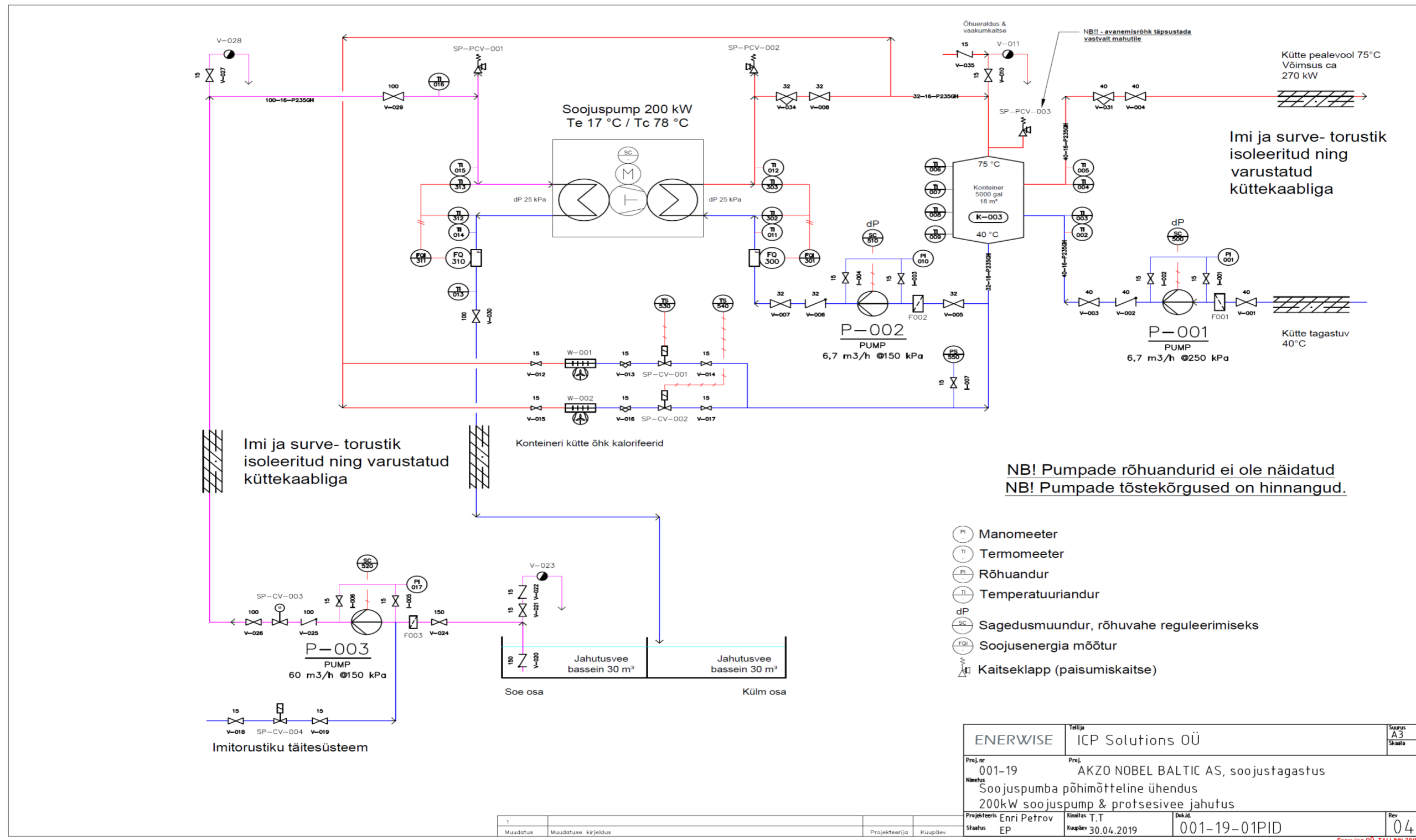
16. Riigi ilmateenistus – kuukokkuvõtted. [WWW]
<http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/> (15.05.19)

17. AF-Consulting AS. Rapla linna soojusmajanduse arengukava 2016 – 2026, Tallinn 2016.

18. ICP Solutions OÜ. Soojuse taaskasutamissüsteem ettevõttes Akzo Nobel Baltic AS. Projekt.

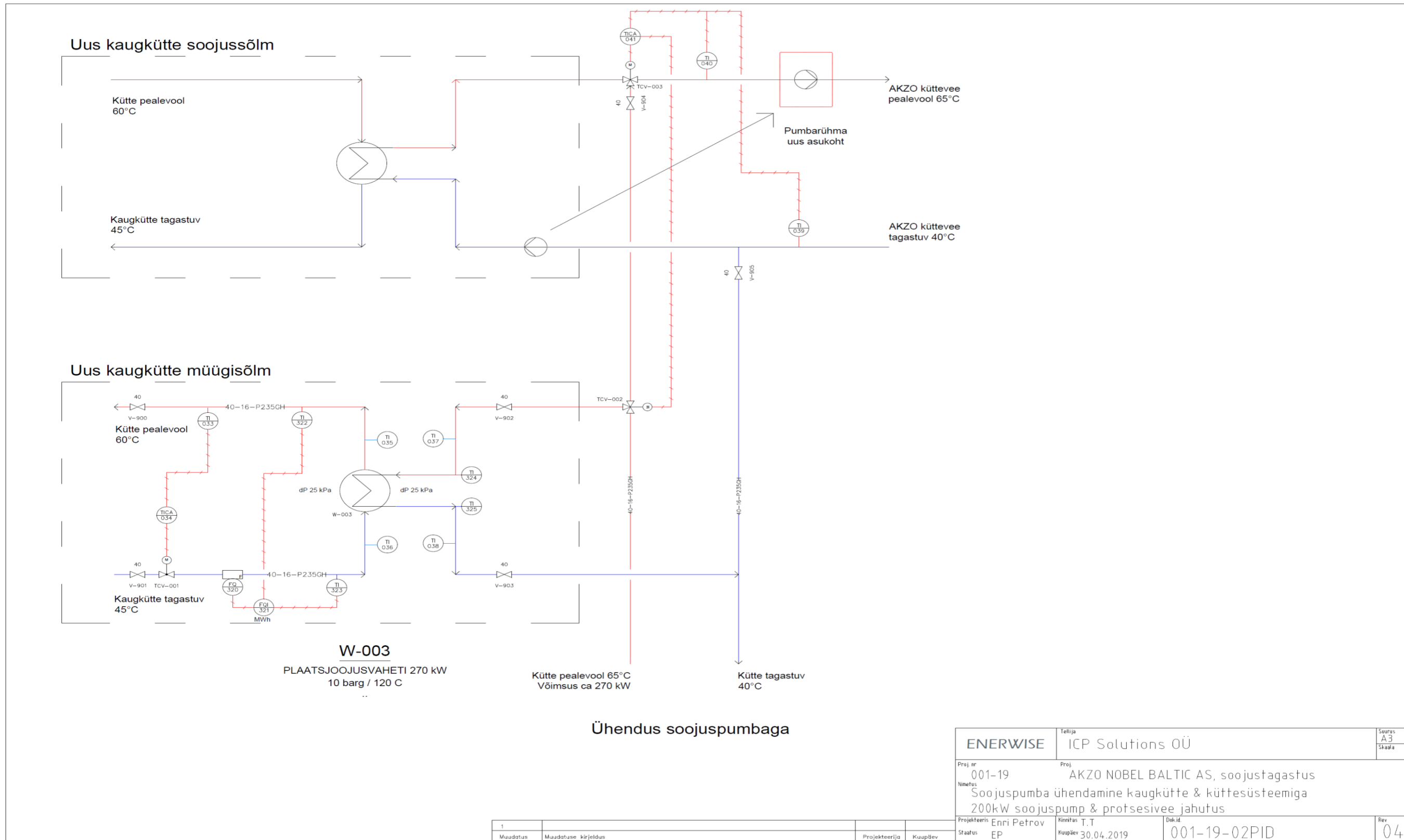
LISAD

Lisa 1. Soojuspumba põhimõtteline skeem



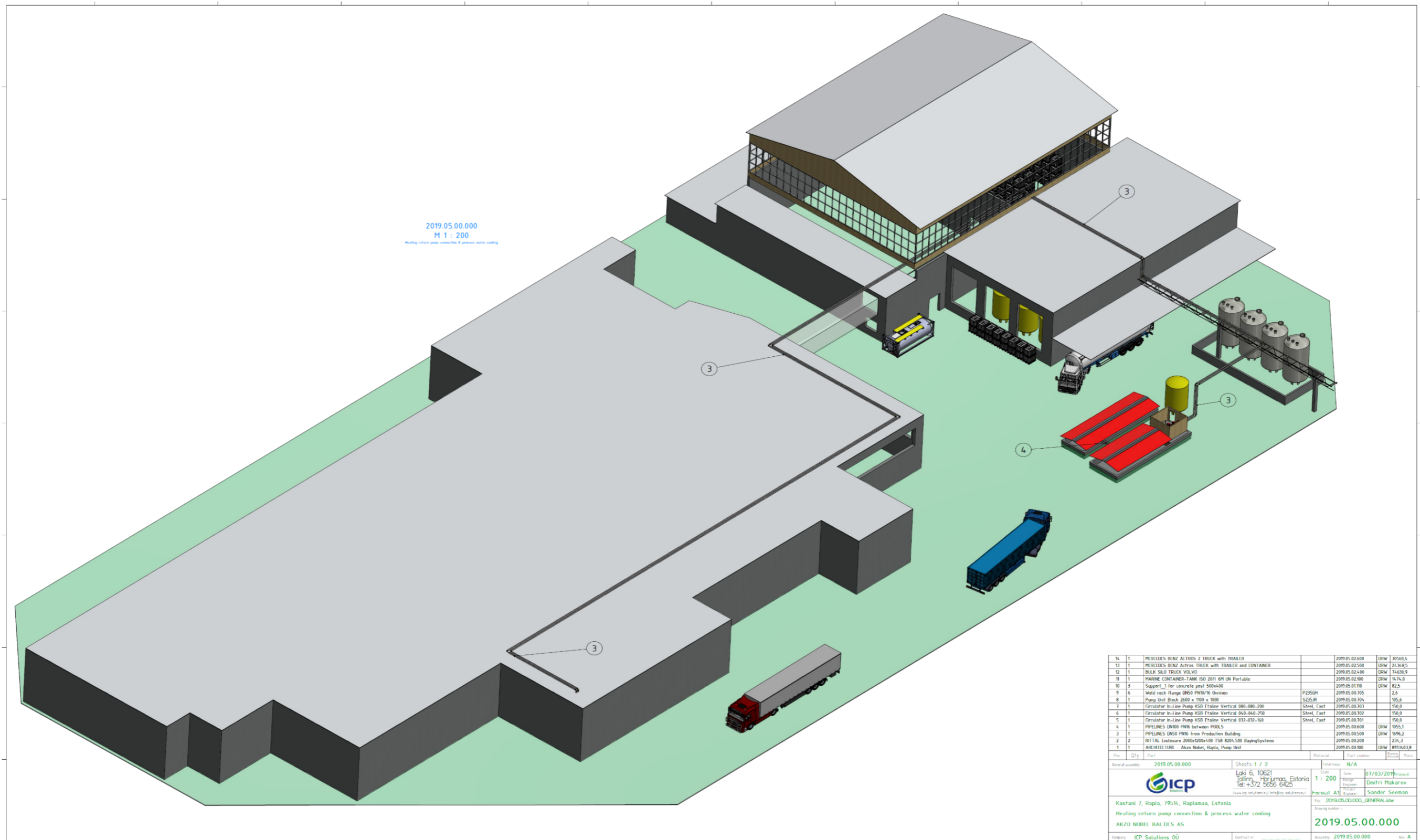
Joonis. Soojuspumba põhimõtteline ühendus PID skeem [14]

Lisa 2. Müügisõlme põhimõtteline skeem



Joonis. Müügisõlme põhimõtteline PID skeem [14]

Lisa 3. Asendiplaan



Joonis. Asendiplaan [18]