

TTÜ Inseneriteaduskond  
Energiatehnoloogia instituut

**KAUGJAHUTUSE INTEGRERIMINE  
KOOSTOOTMISJAAMAS  
MUSTAMÄE CHP NÄITEL**

**INTEGRATION OF DISTRICT COOLING IN COMBINED  
HEAT AND POWER PLANTS BY EXAMPLE OF  
MUSTAMÄE CHP**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Erik Joel Petrov  
/nimi/

Üliõpilaskood 179576EACB

Juhendaja: Kertu Lepiksaar, doktorant-  
nooremteadur  
/nimi, amet/

Tallinn 2021

(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.

Autor: .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

Juhendaja: .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Erik Joel Petrov, 179576EACB  
**Õppekava, peeriala:** EACB17/17, Energiatehnoloogia  
**Juhendaja(d):** Doktorant-nooremteadur, Kertu Lepiksaar, +372 58162989

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Kaugjahutuse integreerimine koostootmisjaamades*

(inglise keeles) Integration of district cooling in combined heat and power plants

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tutvuda kaugjahutuse põhiseadmete tööprotsessi ning iseloomuga
2. Hinnata võimalust paigaldada Mustamäe koostootmisjaama kaugjahutuse blokk
3. Hinnata potentsiaalsete kaugjahutuse klientide olemasolu Mustamäe piirkonnas

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tutvuda töö teoreetilise osaga	19.03.21
2.	Koguda andmeid Mustamäe Koostootmisjaamas saadavalolevast energiast ning potentsiaalsetest klientides Mustamäe piirkonnas	16.03.21
3.	Analüüsida töö tulemusi ning koostada järeldused	28.05.21

**Töö keel:** Eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "03" juuni 2021 a.

**Üliõpilane:** Erik Joel Petrov .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Kertu Lepiksaar .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Programmijuht:** Oliver Järvik .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA .....	5
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1 KOLMIKTOOTMINE .....	8
1.1 Kolmiktootmine .....	8
1.2 Jahutusseadmed .....	9
1.2.1 Elektrilised jahutusseadmed .....	9
1.2.2 Absorptsioonjahutid .....	10
2 KAUGJAHUTUS MUSTAMÄEL .....	12
2.1 Potentsiaalsed kliendid ning jahutuskoomused .....	12
2.2 Absorptsioonseadme dimensioneerimine .....	14
2.3 Torustike dimensioneerimine .....	16
3 TULEMUSTE ANALÜÜS .....	18
3.1 Kaugjahutusblokk Mustamäel .....	18
3.2 Kaugjahutustrass A .....	19
3.3 Kaugjahutustrass B .....	22
3.4 Kaugjahutustrass C .....	24
3.5 Kaugjahutustrass D .....	26
3.6 Kaugjahutustrass E .....	29
3.7 Järeldused .....	31
KOKKUVÕTE .....	32
SUMMARY .....	33
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	34
LISAD .....	36

## **EESSÕNA**

Bakalaureusetöö teema sõnastati lõputöö juhendaja Kertu Lepiksaare ning autori Erik Joel Petrovi ühisel otsusel. Teema on aktuaalne, kuna kaugjahutuse integreerimine koostootmisjaamades oleks positiivse mõjuga nii jahutuse kui ka jaama enda kasutegurile.

Töös kasutatavad andmed pärinevad Mustamäe Koostootmisjaamast ning nende kogumisel oli abiks AS Utilitas Tallinn kaugjahutusüksuse juhataja Tanel Kirs ja tootmisjuht Vladislav Mašatin. Töös kasutatavate jahutuskoormuste andmed pärinevad Uus Haldus OÜ halduskonsultandilt Ivo Kivirannalt, PERHi keskkonnatehnika vanemtehnikult Argo Klaanilt ning Taltechi haldustalituse juhatajalt Kalev Leppojalt.

Töö raames on uuritud kaugjahutuses kasutatavate seadmete tööprotsesse ning võimalusi, kuidas oleks võimalik koostootmisjaamas olemasolevates liinides kasutust mittenägevat soojusenergiat kasutada, et seeläbi kogu koostootmisjaama tööd efektiivsemaks muuta.

Kaugjahutus, absorptsioonjahuti, koostootmisjaam, energiatõhusus, soojustagastus

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

KTJ – Koostootmisjaam

COP – Efektiivsusnäitaja jahutus- ning soojuspumpseadmetele

PERH – Põhja-Eesti regionaalhaigla

$\Delta t$  – temperatuuride vahe soojusseadme tagasi- ning pealevoolu vahel (K)

$c_{p, H_2O}$  – vee erisoojus jääval rõhul (kJ/kgK)

$d_{min}$  – minimaalne diameeter tagamaks kiirust torus (m)

$d_{sise}$  – torustiku siseläbimõõt (m)

$g$  – raskuskiirendus (m/s<sup>2</sup>)

$h_{hõõrde}$  – hõõrdekaod torustikus ( [mH<sub>2</sub>O)

$l_{torustik}$  – torustiku kogupikkus (m)

$\dot{m}$  – vee masskulu (kg/s)

$u_{def}$  – defineeritud soovitud kiirus torustikus (m/s)

$u_{kesk}$  – voolu keskmine kiirus (m)

$Q$  – soojusseadme soojusvõimsus (J)

$Q_{sisse}$  – Absorberisse sisseantav soojusenergia (J)

$Q_{välja}$  – Absorberist kaugjahutusvõrku antav soojusenergia (J)

$\lambda$  – Darcy hõõrdetakistustegur

$\rho_t$  – vee tihedus kõrgema temperatuuriga kontuuripoleel

## SISSEJUHATUS

Kaugjahutus on maailmas arenev ja üha enam potentsiaali koguv jahutusviis. Kaugjahutust võib lugeda kaugkütte analoogprotsessiks, kus hoonete kütmise asemel neid jahutatakse. Jahutamisel kogutav soojus eraldatakse fluidumist jahutites, ning jahutatud fluidum läheb tagasi jahutusvõrku. Protsessis eralduvat soojust on võimalik ära kasutada muudes protsessides, nagu näiteks kütte ja tootmine.

Eestis on kaugjahutus kasutusel Tartus, Pärnus ja Tallinnas. AS Fortum on Tartusse ehitanud kaks kaugjahutusjaama, 13 MW Kesklinna Külmajaam, mis jahutab Kvartali kaubanduskeskust ning 9,2 MW Aardla külmajaam, millega jahutatakse Lõunakeskuse kaubanduskeskust ja selle läheduses asuvaid hooneid. Samuti on AS Fortum rajanud ka Pärnusse külmajaama, mis jahutab kesklinnas asuvaid hooneid. AS Utilitas rajas Tallinnasse Ülemistele külmajaama, mis jahutab Fahle Pargis asuvaid hooneid. AS Utilitasel on plaanis laiendada kaugjahutust ka Rotermanni, Sadama ja Kesklinna aladele Tallinnas ning ka Juhkentali piirkonda.

Antud töö uurib kaugjahutuse rajamise võimalusi ning potentsiaali Mustamäe piirkonnas, kus on olemas büroohooned ning ka kaubanduskeskused ja kus oleks võimalik kaugjahutust kasutades märgatavalt vähendada tavaliste jahutusseadmete tööga kaasneva hoonete jahutamise keskkonnamõju. Elektriliste jahutusseadmete töö käigus tekib tööprotsessi tõttu süsteemis heitsoojus, mis üldjuhul paisatakse atmosfääri. Kaugjahutususeadmete korral tsirkuleeritakse jahutusseadmetes kasutatav soenenud vesi tagasi kaugjahutusjaama, kus see uuesti jahutatakse. Seega selle asemel, et igal hoonel oleks katustel eraldi kütte-, ventilatsiooni- ja jahutus (KVJ) seadmed, kus toimub vastavalt kütmine või jahutus, on hoonel nii kaugkütte kui kaugjahutuse kontuurid.

Selline kaugjahutussüsteem kombineerituna koostootmisega aitab kokku hoida hoone elektritarvet, vähendades hoone süsinukujalajälge, mis tuleneb elektri tootmisest fossiilsete kütuste baasil.

Käesolev bakalaureusetöö koosneb kolmest osast. Esimeses osas antakse ülevaade kaugjahutuses kasutatavatest jahutusseadmetest ning nende tööpõhimõtetest.

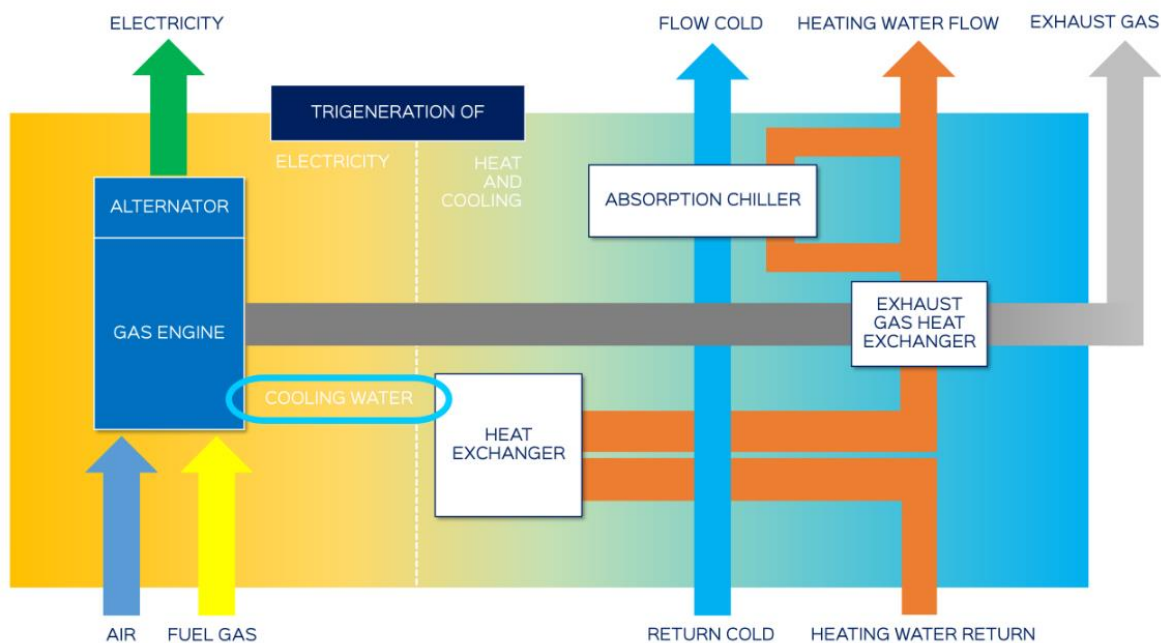
Teises osas hinnatakse kaugjahutuse paigalduse võimalust Mustamäe koostootmisjaama ning ka seda, kui palju oleks sellel kliente ning ümbritsevat nõuet.

Kolmandas osas analüüsitakse kogutud andmete põhjal kaugjahutuse tarbimise potentsiaali ning antakse lõplik hinnang kaugjahutuse bloki rajamise reaalsusele Mustamäe CHP jaama.

# 1 KOLMIKTOOTMINE

## 1.1 Kolmiktootmine

Kolmiktootmine on protsess, kus ühel ajal toodetakse nii elektri-, soojus- kui ka jahutusenergiat. Üldjuhul toodetakse protsessis algul gaasi- või auruturbiiniga elekter, seejärel turbiini läbinud gaasid või aur kaugkütte soojusvahetisse et saada kätte allesjäänud soojusenergiat. Soojemal ajal, kui kaugkütte vajadus on väiksem, suunatakse osa gaasidest, aurust või küttevast jahutusseadmesse.



Joonis 1. Kolmiktootmise põhimõtteskeem [1]

Kuigi kolmiktootmise alginvesteering on koostootmise ja eraldi soojuse ning elektri tootmise alginvesteeringust suurem, on kolmiktootmine pikemas perspektiivis ökonoomsem ning keskkonnasõbralikum kui mainitud protsessides eraldi [2]. Samuti on kolmiktootmisel kõrgem kasutegur, kui koostootmisel ning sooja ja elektri eraldi tootmisel. Kolmiktootmise kasutegur jääb vahemikku 86-93%, kui eraldi tootmisel on see 30-40% ning koostootmisel 60-80% [3, 4]. Kuna jahutuse jaoks on kasutada elektritootmise jääksoojus, on optimaalseim kasutada absorptsioonjahuteid [5]. Selleks, et tõsta süsteemi kasutegurit veelgi on võimalik kasutada kontsentreerivaid päikesepaneele, et soojendada ette vett absorptsioonjahuti jaoks. Selline ühendatud süsteem on üpriski tõhus ja säästlik, sest jahutusvajadus ning Päikese intensiivsus on tihedalt seotud [5, 6].

Kuna jahutusvajadus on kõrgem sel ajal, kui kütmiss vajadus on madalam, siis saab kolmiktootmisjaama kasutada efektiivsemalt, kui koostootmisjaama. Suvel on võimalik



elektritootmisest tekkivat jääsooja kasutada absorberis jahutuseks, mitte ei pea jahutite või gradiiriga jahutama protsessivett õhku. Talvel, kui on aga külmad ilmad ning kütmissvajadus on kõrge, saab jahutusblokk seista.

Eesti Energia hakkas 2011. aastal rajama Painkülla kolmiktootmisjaama, mis valmis 2013. aastal. Jaamaga oli plaanis varustada Painküla tööstusalale elektrit, sooja ning jahutust. Küll aga ei näinud jaam tööd ning demonteeriti 2013. aastal [7, Lisa 2].

## **1.2 Jahutusseadmed**

### **1.2.1 Elektrilised jahutusseadmed**

Tänapäeval laialdaselt kasutuses olevad jahutusseadmed töötavad suuresti elektril või muul energial [8]. Mudeldatud ennustused [9] näitavad, et jahutusvajadus maailmas on 21. sajandil eksponentsiaalses tõusutrendis, kasvades 2031. aastaks üle 5000 PJ ning 2071. aastaks 35000 PJ-ni, aeglustudes seejärel mõnevõrra. Selline kasv toob kaasa järsu suureneva nõudluse elektrienergiale. 2018. aasta seisuga toodeti 86,1% [10] energiast fossiilsete kütustega (k.a. tuumakütus). Elektrit toodeti kõige enam söest, kuid taastuvatest allikatest toodetud elekter on näitamas tugevat kasvutrendi. Elektril töötavate jahutusseadmete süsinukujalajalg on seega seotud kütusega, millest elektrijaamas elektrit toodetakse.

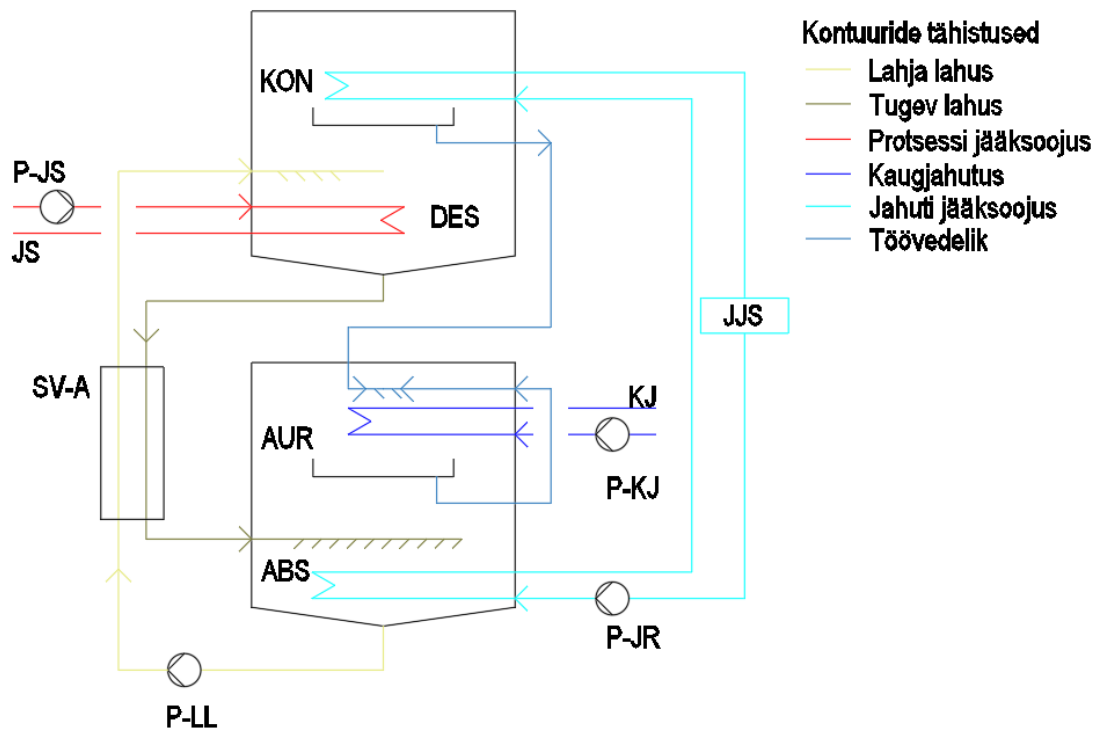
### 1.2.2 Absorptsioonjahutid



Joonis 2. Absorptsioonjahuti York YIA. [11]

Absorptsioonjahuti on jahutusseade, mis kasutab soojust, et läbi viia jahutusprotsessi. Sel põhjusel on seda võimalik kasutada soojuselektrijaamades, kus protsessis tekkivat jääksoojust saab kasutada jahutusprotsessi läbiviimiseks. Absorptsioonjahutis on erinevalt tavalistest jahutusseadmetest jahutusagensiks kas vesi-liitiumbromiidi (LiBr) lahus või vesi-ammoniaak [12]. Kui nõutavad temperatuurid ei ole alla 0°C, siis on tuntuimaks jahutusagensiks vee-LiBr segu. Sel põhjusel on absorptsioonjahutid keskkonnasäästlikumad kui muud jahutusseadmed, mis kasutavad fluorosüsivesinikel põhinevaid jahutusagense [13].

Absorptsioonjahuti põhimõtteskeem on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Absorptsioonjahuti põhimõtteskeem, autor 2021

Järgnevalt on kirjeldatud absorptsioonjahuti põhimõttelist tööprotsessi [14, 15]. Lahja lahus pumbatakse alumisest absorbeerimiskambri (ABS) läbi soojusvaheti ülemises kambris asuvasse desorberisse (DES), kus lahust soojendatakse jaamas tekkiva jääksoojusega. Selle tulemusel eraldub absorbaat (vesi) absorbendist (LiBr), vesi aurustub ning tekib kontsentreeritud LiBr lahus, mis liigub läbi soojusvaheti tagasi alumisse kambrisse, kus seda pritsitakse, et see absorbeeriks vett. Ülemises kambris tekkinud veeaur suunatakse kondensaatori alasse (KON), kus aur kondenseerub, ning tsirkuleeritakse tagasi alumisse kambrisse aurustustsooni (AUR). Kuna absorberis on vaakumilähedased (8 mbar) tingimused, aurustub vesi koheselt. Külma auru puutub kokku kaugjahutuse torustikega, ning jahutab nendes voolavat vett. Absorptsioonialas (ABS) tõmbab kontsentreeritud LiBr lahus tugevalt enda külge aurumolekule, tekitades seeläbi kambris alarõhu. Kui aurumolekulid liituvad LiBr molekulidega, tekib keemilise reaktsiooni tulemusena soojus, mis eemaldatakse jahuti jääksoojuse kontuuriga. Kontuur läbib ka ülemise kambri kondensatsioonitsooni, et kondenseerida lahusest separeeritud veeaur.

Kuna absorptsioonjahutil puuduvad liikuvad osad, on seadme hooldus- ning elutsüklikulud madalad ja töö vaikne [13].

## 2 KAUGJAHUTUS MUSTAMÄEL

### 2.1 Potentsiaalsed kliendid ning jahutuskoormused

Käesolevas töös potentsiaalsete kaugjahutuse klientide hindamiseks on Mustamäe koostootmisjaama ümber 3 km raadiuses leitud suuremad kaubanduskeskused, mis on välja toodud joonisel 4.



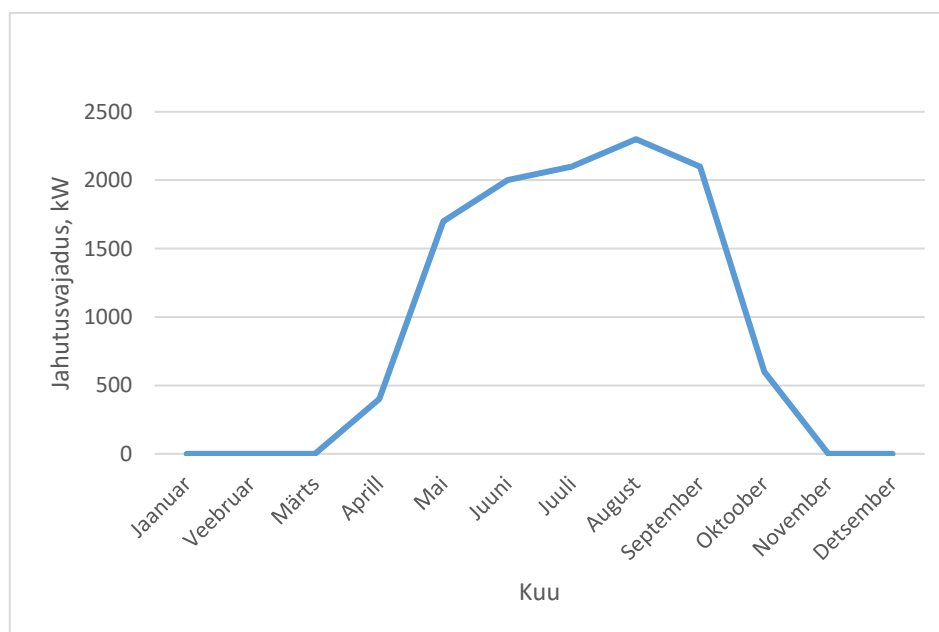
Joonis 4. Suuremad kaugjahutuse kliendid Mustamäe KTJ ümber, autor 2021

Joonisel on näha, et Mustamäe KTJ ümber on neli suuremat kaubanduskeskust, Rocca al Mare (1), Mustika keskus (2), Mustamäe keskus (3) ning Magistrali keskus (4). Lisaks on lähiehitistes veel Põhja-Eesti Regionaalhaigla (PERH, 5), Telia serveriruum (6) ja Taltech'i linnak (7). Kaubanduskeskuste jahutusvõimsuste osas sai autor infot vaid Mustamäe keskuse osas, kuid arvestades asjaolu, et keskused on sarnase suurusega, saab üldistada kaubanduskeskuste keskmist jahutustarvet.

Taltech'i linnaku summaarne hinnanguline jahutusvõimsus on 7 400 kW, ning on ära jaotatud loodusmaja, infotehnoloogia maja, IT kolledži, majandusteaduskonna, raamatukogu, NRG hoone ja põhihoone vahel.

PERH-i jahutusseadmete summaarne jahutusvõimsus tänasel päeval on 6000 kW, küll aga mainiti, et lähiaastatel on plaanis laiendada jahutussüsteemi 3000 kW võrra. Sellel põhjusel on PERH-i koguvõimsus arvestatud lähiaastatel väljaehitatava blokiga, seega koguvõimsusega 9000 kW.

Mustamäe keskuses on projekteeritud jahutusseadmete summaarne jahutuslik võimsus 2300 kW. Projekteeritud võimsus kirjeldab tipuvõimsuseks vajalikku jahutusvõimsust. Sellest on võimalik järeldada, et normaaltöö olukorras võib vajalik jahutusvõimsus olla 1800 kW. Seda infot kinnitas ka AS Fortum Tartu, kes jahutab Tartu Lõunakeskust. Nende andmetel on keskuse keskmine töökoormus 1500 kW, tipukoormus 2000 kW. Allpool joonisel 5 on toodud välja Mustamäe keskuse teoreetiline jahutuskoormuse graafik.



Joonis 5. Mustamäe keskuse teoreetiline jahutuskoormus kuude lõikes, autor 2021

## 2.2 Absorptsioonseadme dimensioneerimine

AS Utilitas tootmisjuhi Vladislav Mašatini käest tulid järgnevad sisendandmed:

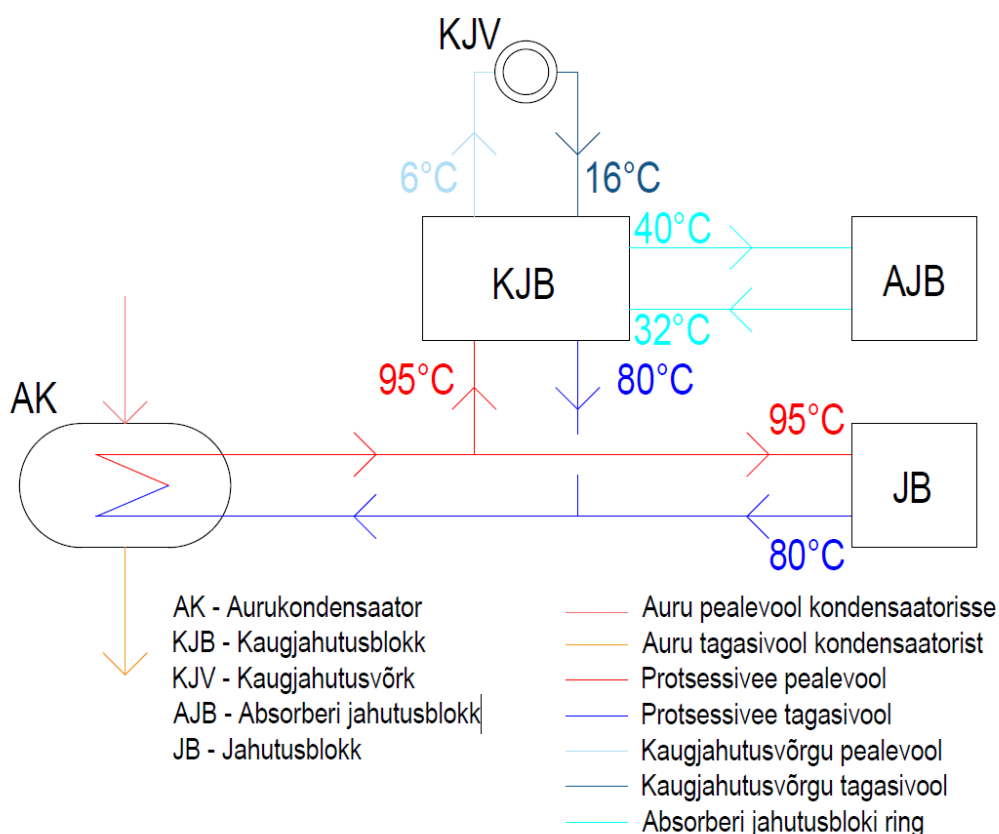
- Kaugjahutuse temperatuurigraafik 6 °C pealevool, 16 °C tagasivool
- Absorberi küttekontuuri pealevoolu temperatuur 95 °C
- Kasutatav soojuslik võimsus 25 MW

Lisaks andmed potentsiaalsetelt klientidel:

- Mustamäe keskuse jahutuse tipukoormus 2 300 kW
- PERHi jahutuse tipukoormus 9 000 kW
- Taltechi linnaku jahutuse tipukoormus 7 400 kW

Absorptsioonjahutite tarnijad on näiteks Carrier/Sanyo, Hitaci, Johnson Controls, York. Kolmiktootmise lahendusi pakub ka Clarke Energy. Antud töös on valitud kasutatavaks absorptsioonjahutiks Johnson Controlsi Yorki YIA tüüpi üheefektiline kuumal veel töötav absorptsioonjahuti, maksimaalse jahutusvõimsusega 4 840 kW [14]. Samat tüüpi absorptsioonjahuti paigaldati ka Painkülla [Lisa 2].

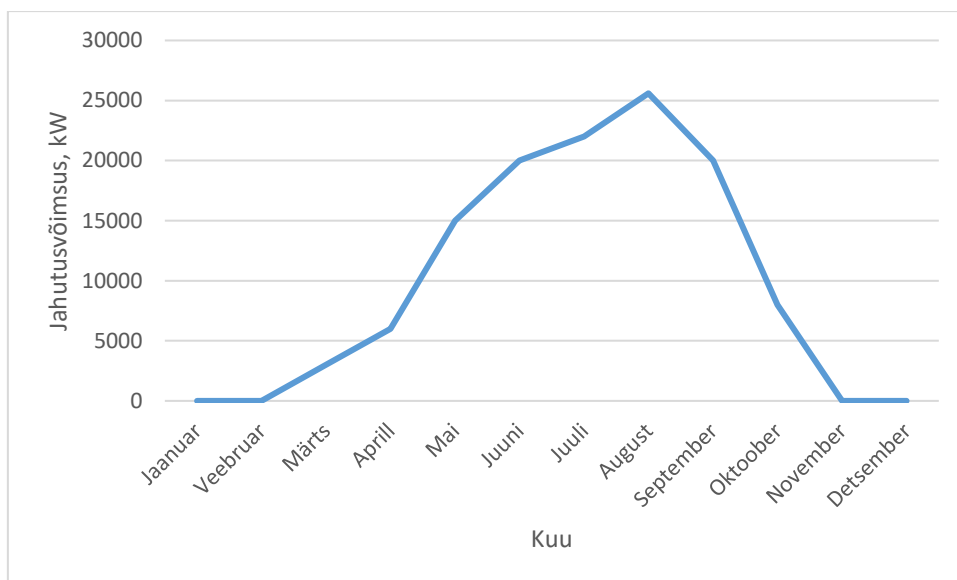
Joonisel 6 on toodud kogu kaugjahutusprotsessi lihtsustatud skeem.



Joonis 6. Protsessi lihtsustatud skeem, autor 2021

Absorberi käitamiseks vajaliku soojuse saab võtta aurukondensaatori jahutusringist. Praegusel hetkel on ring ühendatud jahutitega jaama katusel, mis jahutavad

kondensaatorist tulevat vett. Antud ringist on võimalik aastaringi kätte saada 25 MW soojusenergiat, kuna turbiin töötab aastaringiselt. Kondensaatori veepooles on võimalik hoida pidevalt pealevoolu temperatuuri 95 °C. Sellise töötemperatuuri hoidmine alandab küll veidi turbiini efektiivsust, aga parendab jahutite tööd ning lubab ka absorberi töö. Arvestades potentsiaalset klientuuri kaubanduskeskuste, TTÜ linnaku ning PERH-i näol, saame summaarseks jahutusvõimsuseks 25 600 kW. Joonisel 7 on toodud Mustamäe piirkonna teoreetiline jahutusgraafik.



Joonis 7. Mustamäe piirkonna teoreetiline jahutusvõimsuse graafik

Üheefektsete absorberite kasutegur COP on üldjuhul vahemikus 0.6-0.7, ning on defineeritud järgnevalt:

$$COP = \frac{Q_{välja}}{Q_{sisse}}, \quad (1)$$

kus

$Q_{in}$  on absorberisse sisseantav soojusenergia (J);

$Q_{out}$  on absorberist kaugküttevõrku antav jahutusenergia (J).

Absorberi jahutuskontuuri võimsus on üldjuhul 2.5 korda suurem kui kaugkütte kontuuri võimsus. See tuleneb vee ning LiBr liitumise eksotermilisest reaktsioonist ning veeaurude kondenseerimisest absorberi ülemises kambris [1, 14, 15].



## 2.3 Torustike dimensioneerimine

Kaugkütte ning -jahutuse torustike projekteerimisel on tähtsal kohal nii rõhu kui soojuskadude vähendamine. Kuna trassid võivad olla kümnete kilomeetrite pikkused, peavad kaod olema minimaalsed. Hea inseneritava kohaselt on soovitatav torustikes hoida vee voolukiirused alla 2 m/s, tavaliselt kiiruse 1,6 m/s lähedal, sel juhul välditakse müra torustikes, liigset värinat. Voolukiirus kaugküttetorustikes võib olla isegi alla 1 m/s. Samuti on selliste kiiruste korral rõhukaod mõistlikkuse piires, kuna rõhukaod on seotud kiiruse ruuduga. Liiga väikeste kiiruste korral aga langeb kulumõõtjate täpsus [16].



Joonis 8. Eelisooleeritud torud

Arvestades ülevalolevat ning punktis 2.3 toodud absorberi kütte- ning kaugjahutuspoole temperatuurigraafikut, saame leida optimaalse torusuuruse ning voolukiiruse torustikes. Arvutamaks vee kiirust torus, tuleb esmalt leida vee masskulu soojusbilansist:

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_p \Delta t} \quad (2)$$

Kus

$Q$  on soojusseadme soojusvõimsus (J)

$c_p$  on vee erisoojus (4,186 kJ/kgK)

$\Delta t$  on temperatuuride vahe soojusseadme tagasi- ning pealevoolu vahel (K).

Leidmaks optimaalset torudiametrit, tuleb esmalt defineerida soovitatav kiirus torustikus. Teades valemist 2 saadud masskulu, saab avaldada minimaalse torudiametri järgnevalt:

$$d_{min} = \sqrt{\frac{4 * (\dot{m} / \rho_t)}{u_{def} \pi}} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{Q}{c_p \Delta t} / \rho_t)}{u_{def} \pi}} \quad (3)$$

Kus

$\rho_t$  on vee tihedus kõrgema temperatuuriga kontuuripoolel (kg/m<sup>3</sup>)

$u_{def}$  on defineeritud soovitatav kiirus torustikus (m/s)

Torustikes hõõrdekao leidmiseks kasutame Darcy valemit

$$h_{hõõrde} = \lambda \frac{lu_{kesk}^2}{2gd_{sise}} \quad (4)$$

Kus



$\lambda$  on hõõrdetakistustegur, mille väärtus sõltub toru suhtelisest karedusest ja Reynoldsi arvust

$l_{torustik}$  on torustiku kogupikkus (m)

$U_{kesk}$  on voolu keskmine kiirus (m/s)

$g$  on raskuskiirendus 9,81 m/s<sup>2</sup>

$d_{sise}$  on torustiku siseläbimõõt (m)

Torustike suhteline karedus on leitav järgmise valemiga:

$$\text{suhteline karedus} = \frac{\varepsilon}{d_{sise}}$$

Kus  $\varepsilon$  on toru absoluutne karedus (m)

Uutel terastorudel on absoluutne karedus vahemikus 0.02-0.05 mm [17], arvutustes kasutame karedust 0.05 mm.

## 3 TULEMUSTE ANALÜÜS

### 3.1 Kaugjahutusblokk Mustamäel

Kaugjahutusbloki väljaehitamiseks Mustamäe KTJ katastrialal ruumi ei ole. Seega tuleb rajada kaugjahutusblokk mujale, Mustamäe KTJ lähedale. Joonisel 9 on välja toodud asukohad, kuhu võiks saada bloki rajada.



Joonis 9. Potentsiaalsed kaugjahutusbloki asukohad, autor 2021

Objektid on küllaltki lähedal Mustamäe KTJ-le, mis vähendab kuuma poole torutööde mahtu ning ka soojuskadusid torustikes.

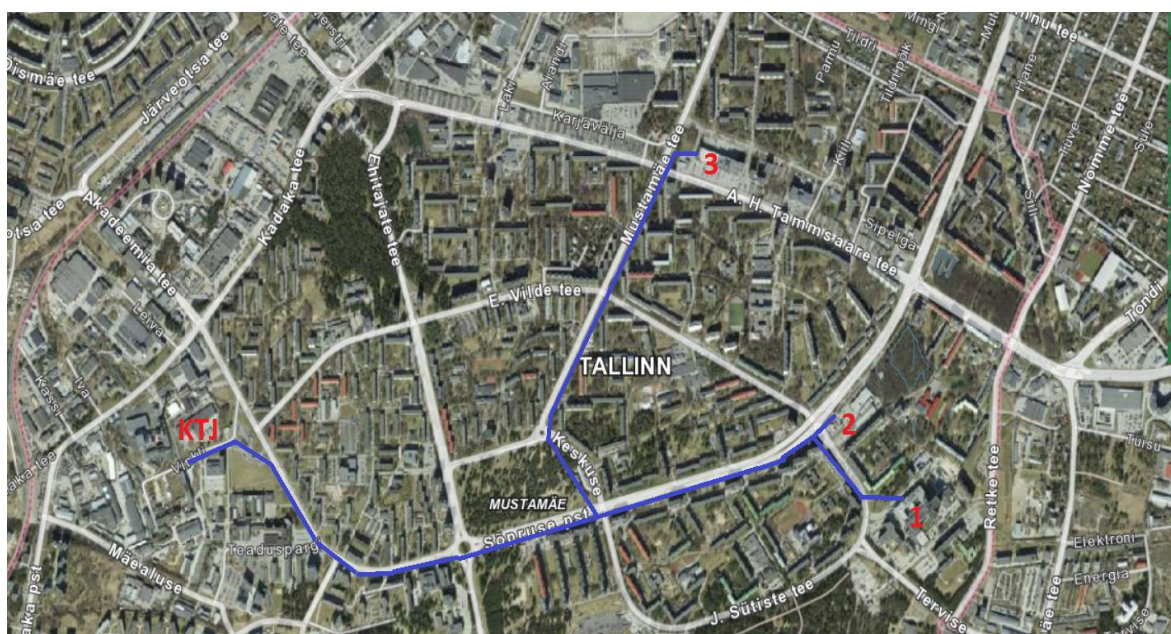
Sõltuvalt kuuma poole saadavalolevast võimsusest 25 000 kW ning väiksemale COP arvule 0,6, saame maksimaalseks võrgu jahutusvõimsuseks 15 000 kW. Sellest tulenevalt peab siinkohal tegema valiku, kellele on võimalik jahutust tarnida ilma, et oleks vajalik välja ehitada uus katelsüsteem või hakata lisasooja mujalt juurde võtma. Erijuhul vaatame olukorda, kus klientideks oleksid Taltechi linnak ja PERH, sel juhul peab absorberi COP olema minimaalselt 0,66. Vaatame järgnevaid potentsiaalseid tarbijakooslusi:

- A. PERH, Mustamäe/Mustika ja Magistrali keskus (13 600 kW)
- B. Rocca al Mare, Mustika, Mustamäe ja Magistrali keskus (9 200 kW)
- C. Taltechi linnak, Mustamäe, Mustika ja Magistrali keskus (14 300 kW)
- D. Taltechi linnak, Rocca al Mare, Mustamäe/Mustika ja Magistrali keskus (14 300 kW)
- E. Taltechi linnak ja PERH (16 400 kW)

## 3.2 Kaugjahutustrass A

Kaugjahutuse võimsuse 13 600 kW korral peab kuuma poole võimsuseks olema 22 667 kW, vastavalt joonisel 5 näidatud temperatuurigraafikule ning valemile 3, tuleb minimaalseks toruläbimõõduks 546 mm soovitava voolukiiruse 1,6 m/s korral. Vastavalt Logstori tootekataloogile [17] vastab sellisele toruläbimõõdule torusuurus DN600. Arvestades toru märgatavalt suurt mõõtu tuleb väiksem torupikkus investearingumõttes soodsam.

Kaugjahutuse trassi korral on soovitatav hoida kiirus torustikus 1 m/s lähedal, kuna sellisel juhul on minimeeritud kaod torustikes, nii nagu on valitud kiirused ka kaugküttetrassides. Minimaalseks läbimõõduks kaugküttetrassil 13 600 kW jahutusvõimsuse ning joonisel 5 näidatud temperatuurigraafiku järgi on 644 mm. Logstori tootekataloogi järgi sobib toruks seega DN700 toru. Kuigi kaugjahutustrass on suure läbimõõduga torust, siis on võimalik astmeliselt vähendada trassi suurust. Seda on võimalik teha, kui põhitrassis on väljaviigud klientide poole. Mida rohkem vett suunatakse eemale põhitrassist seda väiksemaks saab selle muuta. Samuti on võimalik vähendada torusuurst kui kliendid on toru suhtes järjestikku. Joonisel 10 on toodud trassi võimalik trajektoor ning PERH (1), Magistrali (2) ja Mustamäe keskus(3). Mustamäe ja Mustika keskuse trassi võib piltlikult lugeda üheseks, kuna keskused asuvad väga lähestikku, seega saab trass A olla valik Mustamäe keskus ja Mustika keskus vahel.



Joonis 10. Kaugjahutustrassi potentsiaalne trajektoor kliendivaliku A korral, autor 2021

Trass A jaoks sobiksid kaks York YIA absorberit jahutusvõimsusega 4 840 kW ning üks võimsusega 3 920 kW. Absorberite rõhukadu oleks 2.8 mH<sub>2</sub>O 4842 kW absorberil korral ning 2.1 mH<sub>2</sub>O 4343 kW absorberil korral [14]. 4037 kW võimsusega absorberil

kasutamine ei oleks otstarbekas väga kõrge rõhukao, 11.8 mH<sub>2</sub>O, tõttu. Trassi kogupikkus oleks 9.6 km, millest 3.6 km on DN700 toru, 3.2 km on DN600 toru ning 2.8 km DN300 toru. Hõõrdekaod antud torustikus on 10.4 mH<sub>2</sub>O. Arvestades rõhukadudele 25% varu kohttakistuselementide jaoks, saame seega valida võrgupumba tootlikkusega 1171 m<sup>3</sup>/h ning tõstekõrgusega 13 mH<sub>2</sub>O. Sellistele tööparameetritele sobiksid näiteks pumbad Grundfos LS 250-200-305C ja KSB Etaline R SN 350-340.



Joonis 11. Grundfos LS tüüpi monoblokkpump



Joonis 12. KSB Etaline-R tüüpi inline pump

Tabelis 1 on toodud arvutusandmed trassilõikude kaupa.

Tabel 1. Kaugjahutustrassi A dimensioneerimisarvutuste tulemused trassilõikude kaupa

<b>Parameeter</b>	<b>Põhimagistraal</b>	<b>Mustamäe keskus</b>	<b>Magistrali keskus + PERH</b>	<b>PERH</b>
Masskulu [kg/s]	324.89	54.95	269.95	215.00
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /s]	0.33	0.06	0.27	0.22
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /h]	1170.78	198.00	972.78	774.78
Ristlõike pindala [m <sup>2</sup> ]	0.33	0.06	0.27	0.22
Toru läbimõõt [m]	0.643	0.265	0.587	0.523
Eelisooleeritud toru nimiläbimõõt	DN700	DN300	DN600	DN600
Eelisooleeritud toru siseläbimõõt [m]	0.695	0.3127	0.5958	0.5958
Trassi pikkus [m]	3600	2800	2400	800
Reaalne voolukiirus torus [m/s]	0.86	0.72	0.97	0.77
Reynoldsi arv voolamisel	598000	225000	578000	459000
Suhteline karedus	0.00007194	0.00015990	0.00008392	0.00008392
Hõõrdetakistustegur	0.01379	0.01655	0.01400	0.01441
Hõõrdekaod [mH <sub>2</sub> O]	2.82	4.08	2.84	0.62

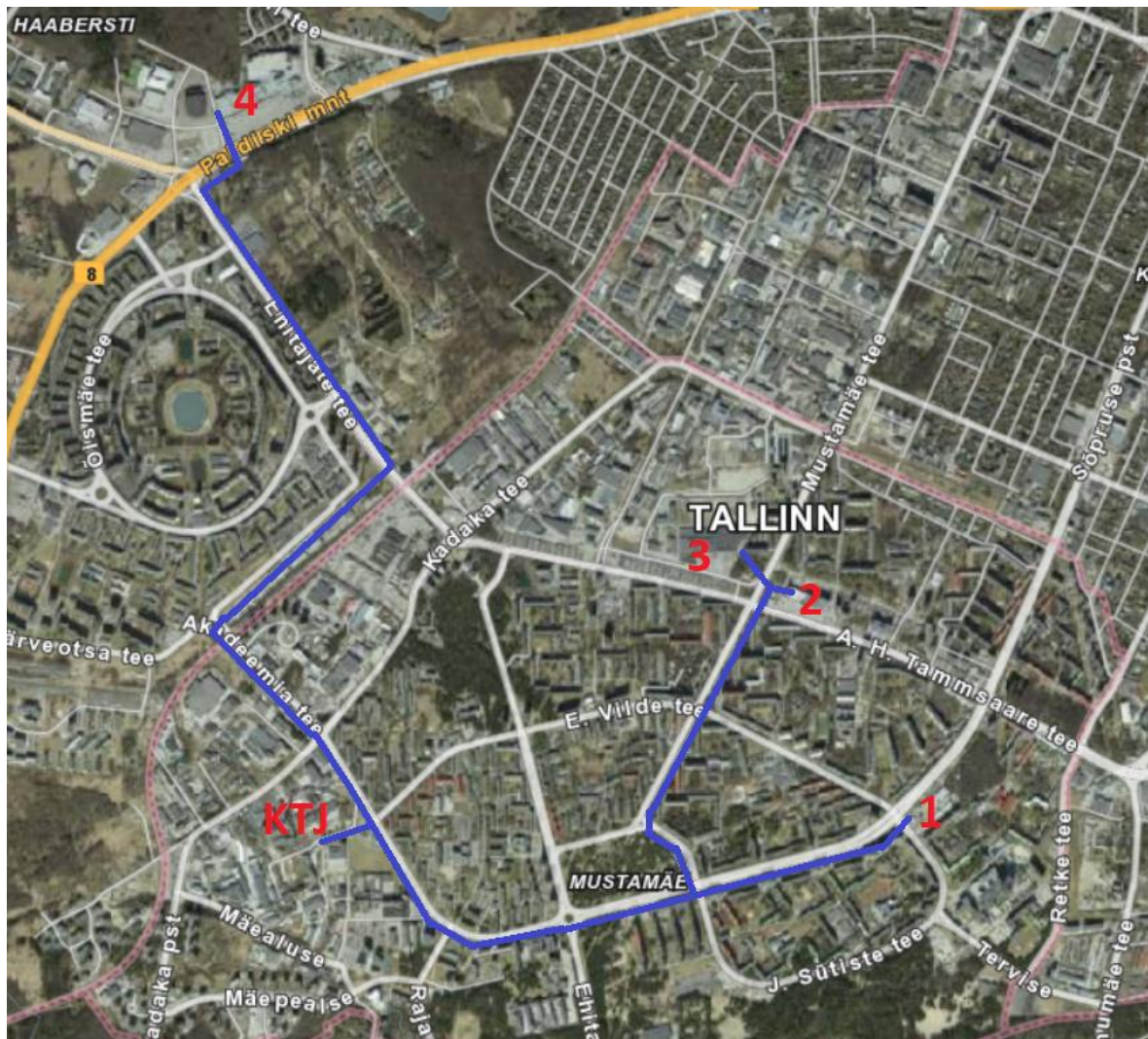
Lähtudes kaugjahutusvõimsusest 13 600 kW ning punktis 2.2 mainitud absorberi jahutuskontuuri võimsust, tuleks absorberi jahutuskontuuri jaoks rajada kas 34 MW jahutustorn või jahutusagregaadid.



### 3.3 Kaugjahutustrass B

Kaugjahutuse võimsuse 9 200 kW korral peab kuuma poole võimsuseks olema 15 334 kW, vastavalt joonisel 5 näidatud temperatuurigraafikule ning valemile 3, tuleb minimaalseks toruläbimõõduks 450 mm soovitava voolukiiruse 1,6 m/s korral. Logstori tootekataloogis vastab sellisele toruläbimõõdule torusuurus DN500.

Minimaalseks läbimõõduks kaugküttetrassil 9 200 kW jahutusvõimsuse ning joonisel 5 näidatud temperatuurigraafiku järgi on 530 mm. Logstori tootekataloogi järgi sobib toruks seega DN600 toru. Joonisel 11 on toodud trassi võimalik trajektoor ning Magistrali (1), Mustamäe (2), Mustika (3) ja Rocca al Mare (4) keskused.



Joonis 13. Kaugjahutustrassi potentsiaalne trajektoor kliendivaliku B korral, autor 2021

Trassi B jaoks sobiksid kaks York YIA absorberit jahutusvõimsusega 4 600 kW. Rõhukadu ühes absorberis võimsusega 4842 kW oleks 2.8 mH<sub>2</sub>O. Trassi kogupikkus oleks 16 km, millest 600 m on DN600 toru, 3.5 km on DN500 toru, 2.7 km on DN400 toru ja 9.2 km on DN300 toru. Hõõrdekadod selles torustikus on 25.42 mH<sub>2</sub>O. Arvestades rõhukao varu 25% saame valida võrgupumba parameetritega 792 m<sup>3</sup>/h ning 31.8

mH<sub>2</sub>O. Näitlikud pumbad sellistele tööparameetritele oleksid Grundfos LS 200-150-381A ning KSB Etaline R SN 250-400 või Etanorm RS 300-500.



Joonis 14. KSB Etanorm tüüpi monoblokkpump

Tabelis 2 on toodud arvutusandmed trassilõikude kaupa.

Tabel 2. Kaugjahutustrassi B dimensioneerimisarvutuste tulemused trassilõikude kaupa

<b>Parameeter</b>	<b>Põhi- magistraal</b>	<b>Magistrali, Mustamäe ja Mustika keskus</b>	<b>Magistrali keskus</b>	<b>Mustamäe ja Mustika keskus</b>	<b>Rocca al Mare</b>
Masskulu [kg/s]	219.78	164.84	54.95	109.89	54.95
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /s]	0.22	0.17	0.06	0.11	0.06
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /h]	792.00	594.00	198.00	396.00	198.00
Ristlõike pindala [m <sup>2</sup> ]	0.22	0.17	0.06	0.11	0.06
Toru läbimõõt [m]	0.529	0.458	0.265	0.374	0.265
Eelisooleeritud toru nimiläbimõõt	DN600	DN500	DN300	DN400	DN300
Eelisooleeritud toru siseläbimõõt [m]	0.5958	0.4954	0.3127	0.3938	0.3127
Trassi pikkus [m]	600	3520	1800	2700	7400
Reaalne voolukiirus torus [m/s]	0.79	0.86	0.72	0.90	0.72
Reynoldsi arv voolamisel	471000	426000	225000	354000	225000
Suhteline karedus	0.000084	0.000101	0.000160	0.000127	0.000160
Hõõrdetakistustegur	0.01436	0.01473	0.01655	0.01533	0.01655
Hõõrdekaod [mH <sub>2</sub> O]	0.48	4.12	2.62	4.60	10.79

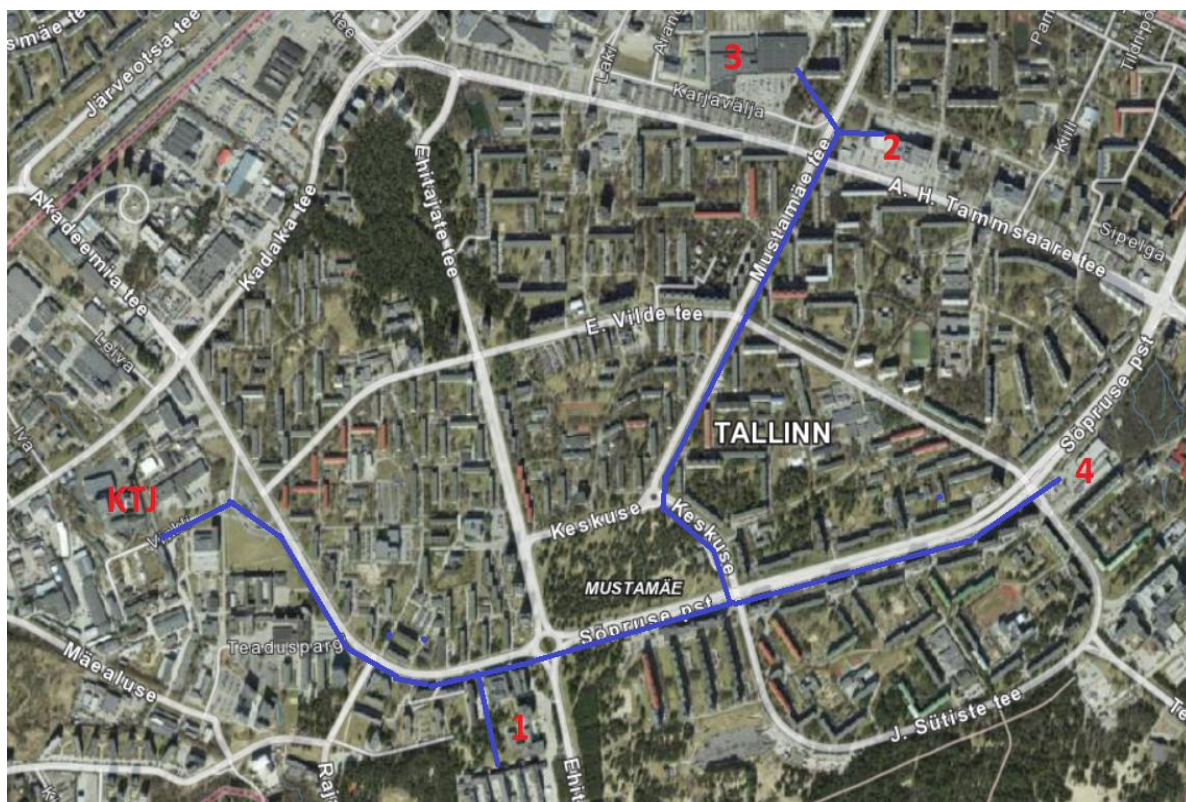


Lähtudes kaugjahutusvõimsusest 9 200 kW ning punktis 2.2 mainitud absorberi jahutuskontuuri võimsust, tuleks absorberi jahutuskontuuri jaoks rajada kas 23 MW jahutustorn või jahutusagregaadid.

### 3.4 Kaugjahutustrass C

Kaugjahutuse võimsuse 14 300 kW korral peab kuuma poole võimsuseks olema 23 834 kW, vastavalt joonisel 5 näidatud temperatuurigraafikule ning valemile 3, tuleb minimaalseks toruläbimõõduks 561 mm soovitava voolukiiruse 1,6 m/s korral. Logstori tootekataloogis vastab sellisele toruläbimõõdule torusuurus DN600.

Minimaalseks läbimõõduks kaugküttetrassil 14 300 kW jahutusvõimsuse ning joonisel 5 näidatud temperatuurigraafiku järgi on 660 mm. Logstori tootekataloogi järgi sobib toruks seega DN700 toru. Joonisel 12 on toodud trassi võimalik trajektoor ning Taltech'i linnak (1), Mustamäe (2), Mustika (3) ja Magistrali (4) keskused.



Joonis 15. Kaugjahutustrassi potentsiaalne trajektoor kliendivaliku C korral, autor 2021

Trassi C jaoks sobiksid kaks York YIA absorberit jahutusvõimsusega 4 840 kW ning üks võimsusega 4 620 kW. Rõhukadu ühes 4842 kW absorberis oleks 2.8 mH<sub>2</sub>O. Trassi C kogupikkus oleks 8.4 km, millest 2 km on DN700 toru, 1.9 km on DN500 toru, 2.7 km on DN400 toru ja 1.8 km on DN300 toru. Hõõrdekaod selles torustikus on 14.1 mH<sub>2</sub>O. Arvestades rõhukao varu 25% saame valida võrgupumba parameetritega 1231 m<sup>3</sup>/h ning 17.63 mH<sub>2</sub>O. Näitlikud pumbad sellistele tööparameetritele oleksid Grundfos LS



250-200-305C ning KSB Etaline R SN 350-340. Tabelis 3 on toodud arvutusandmed trassilõikude kaupa.

Tabel 3. Kaugjahutustrassi C dimensioneerimisarvutuste tulemused trassilõikude kaupa

<b>Parameeter</b>	<b>Põhimagistraal</b>	<b>Taltechilinnak</b>	<b>Magistrali, Mustamäe ja Mustika keskus</b>	<b>Mustamäe ja Mustika keskus</b>	<b>Magistrali keskus</b>
Masskulu [kg/s]	341.61	176.78	164.84	109.89	54.95
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /s]	0.34	0.18	0.17	0.11	0.06
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /h]	1231.04	637.04	594.00	396.00	198.00
Ristlõike pindala [m <sup>2</sup> ]	0.34	0.18	0.17	0.11	0.06
Toru läbimõõt [m]	0.660	0.475	0.458	0.374	0.265
Eelisoleeritud toru nimiläbimõõt	DN700	DN500	DN500	DN400	DN300
Eelisoleeritud toru siseläbimõõt [m]	0.695	0.4954	0.4954	0.3938	0.3127
Trassi pikkus [m]	2000	500	1400	2700	1800
Reaalne voolukiirus torus [m/s]	0.90	0.92	0.86	0.90	0.72
Reynoldsi arv voolamisel	626000	456000	426000	354000	225000
Suhteline karedus	0.000072	0.000101	0.000101	0.000127	0.000160
Hõõrdetakistustegur	0.01371	0.01460	0.01473	0.01533	0.01655
Hõõrdekaod [mH <sub>2</sub> O]	1.72	0.67	1.64	4.60	2.62

Lähtudes kaugjahutusvõimsusest 14 300 kW ning punktis 2.2 mainitud absorberi jahutuskontuuri võimsust, tuleks absorberi jahutuskontuuri jaoks rajada kas 35.75 MW jahutustorn või jahutusagregaadid.

### 3.5 Kaugjahutustrass D

Kaugjahutuse võimsuse 14 300 kW korral peab kuuma poole võimsuseks olema 23 834 kW, vastavalt joonisel 5 näidatud temperatuurigraafikule ning valemile 3, tuleb minimaalseks toruläbimõõduks 561 mm soovitava voolukiiruse 1,6 m/s korral. Logstori tootekataloogis vastab sellisele toruläbimõõdule torusuurus DN600.

Minimaalseks läbimõõduks kaugküttetrassil 14 300 kW jahutusvõimsuse ning joonisel 5 näidatud temperatuurigraafiku järgi on 660 mm. Logstori tootekataloogi järgi sobib toruks seega DN700 toru. Joonisel 13 on toodud trassi võimalik trajektoor ning Taltech'i linnak (1), Mustamäe/Mustika (2), Magistrali (3) ja Rocca al Mare (4) keskused.



Joonis 16. Kaugjahutustrassi potentsiaalne trajektoor kliendivaliku D korral, autor 2021

Trassi D jaoks sobiksid kaks York YIA absorberit jahutusvõimsusega 4 840 kW ning üks võimsusega 4 620 kW. Rõhukadu ühes 4842 kW absorberis oleks 2.8 mH<sub>2</sub>O. Trassi kogupikkus oleks 16 km, millest 2.2 km on DN700 toru, 500 m on DN500 toru, 1.4 km on DN400 toru ja 11.9 km on DN300 toru. Hõõrdekaod selles torustikus on 24.71 mH<sub>2</sub>O.

Arvestades rõhukao varu 25% saame valida võrgupumba parameetritega 1231 m<sup>3</sup>/h ning 31 mH<sub>2</sub>O. Näitlikud pumbad sellistele tööparameetritele oleksid Grundfos LS 250-200-381B ning KSB Etaline R SN 300-360. Tabelis 4 on toodud arvutusandmed trassilõikude kaupa.

Lähtudes kaugjahutusvõimsusest 14 300 kW ning punktis 2.2 mainitud absorberi jahutuskontuuri võimsust, tuleks absorberi jahutuskontuuri jaoks rajada kas 35.75 MW jahutustorn või jahutusagregaadid.

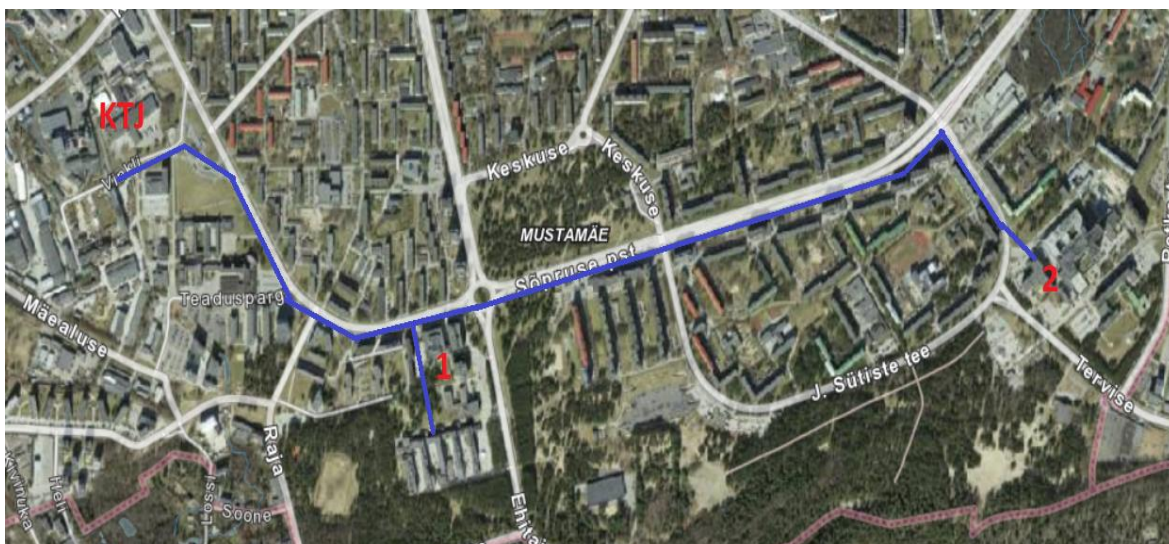
Tabel 4. Kaugjahustrassi D dimensioneerimisarvutuste tulemused trassilõikude kaupa

<b>Parameeter</b>	<b>Põhimagistraal</b>	<b>Taltechilinnak, Magistrali ja Mustika/Mustamäe keskus</b>	<b>Taltechilinnak</b>	<b>Magistrali ja Mustamäe/Mustika keskus</b>	<b>Magistrali keskus</b>	<b>Mustika/Mustamäe keskus</b>	<b>Rocca al Mare</b>
Masskulu [kg/s]	341.61	286.67	176.78	109.89	54.95	54.95	54.95
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /s]	0.34	0.29	0.18	0.11	0.06	0.06	0.06
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /h]	1231.04	1033.04	637.04	396.00	198.00	198.00	198.00
Ristlõike pindala [m <sup>2</sup> ]	0.34	0.29	0.18	0.11	0.06	0.06	0.06
Toru läbimõõt [m]	0.660	0.604	0.475	0.374	0.265	0.265	0.265
Eelisooleeritud toru nimiläbimõõt	DN700	DN700	DN500	DN400	DN300	DN300	DN300
Eelisooleeritud toru siseläbimõõt [m]	0.695	0.695	0.4954	0.3938	0.3127	0.3127	0.3127
Trassi pikkus [m]	600	1600	500	1400	1800	2700	7400
Reaalne voolukiirus torus [m/s]	0.90	0.76	0.92	0.90	0.72	0.72	0.72
Reynoldsi arv voolamisel	626000	528000	456000	354000	225000	225000	225000
Suhteline karedus	0.000072	0.000072	0.000101	0.000127	0.000160	0.000160	0.000160
Hõõrdetakistustegur	0.01371	0.01401	0.01460	0.01533	0.01655	0.01655	0.01655
Hõõrdekaod [mH <sub>2</sub> O]	0.52	0.99	0.67	2.39	2.62	3.94	10.79

### 3.6 Kaugjahutustrass E

Kaugjahutuse võimsuse 16 400 kW ning absorberi COP arvu 0.66 korral peab kuuma poole võimsuseks olema 24 850 kW. Vastavalt joonisel 5 näidatud temperatuurigraafikule ning valemile 3, tuleb küttepoole minimaalseks toruläbimõõduks 573 mm soovitava voolukiiruse 1,6 m/s korral. Logstori tootekataloogis vastab sellisele toruläbimõõdule torusuurus DN600.

Minimaalseks läbimõõduks kaugküttetrassil 16 400 kW jahutusvõimsuse ning joonisel 5 näidatud temperatuurigraafiku järgi on 530 mm. Logstori tootekataloogi järgi sobib toruks seega DN600 toru. Joonisel 14 on toodud trassi võimalik trajektoor ning Taltech'i linnak (1) ja PERH (2).



Joonis 17. Kaugjahutustrassi potentsiaalne trajektoor kliendivaliku C korral, autor 2021

Trassi E jaoks sobiksid kolm York YIA absorberit jahutusvõimsusega 4 840 kW ning üks võimsusega 1 880 kW või neli absorberit jahutusvõimsusega 4 100 kW. Rõhukadude mõttes on optimaalsem valida neli absorberit jahutusvõimsusega 4 100 kW, kus rõhukadu absorberis oleks 2,1 mH<sub>2</sub>O. Trassi kogupikkus oleks 6.3 km, millest 2 km on DN800 toru, 3.8 km on DN600 toru ja 500 m on DN500 toru. Hõõrdekaad selles torustikus on 6.85 mH<sub>2</sub>O. Arvestades rõhukao varu 25% saame valida võrgupumba parameetritega 1412 m<sup>3</sup>/h ning 8.6 mH<sub>2</sub>O. Näitlikud pumbad sellistele tööparameetritele oleksid Grundfos LS 300-250-305E ning duubeldatud KSB Etaline R SN 350-340. Tabelis 3 on toodud arvutusandmed trassilõikude kaupa.

Tabel 5. Kaugjahutustrassi C dimensioneerimisarvutuste tulemused trassilõikude kaupa

<b>Parameeter</b>	<b>Põhimagistraal</b>	<b>Taltech'i linnak</b>	<b>PERH</b>
Masskulu [kg/s]	391.78	176.78	215.00
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /s]	0.39	0.18	0.22
Mahtkulu [m <sup>3</sup> /h]	1411.83	637.04	774.78
Ristlõike pindala [m <sup>2</sup> ]	0.39	0.18	0.22
Toru läbimõõt [m]	0.707	0.475	0.523
Eelisoleeritud toru nimiläbimõõt	DN800	DN500	DN600
Eelisoleeritud toru siseläbimõõt [m]	0.7954	0.4954	0.5958
Trassi pikkus [m]	2000	500	3800
Reaalne voolukiirus torus [m/s]	0.79	0.92	0.77
Reynoldsi arv voolamisel	628000	456000	459000
Suhteline karedus	0.000063	0.000101	0.00008392
Hõõrdetakistustegur	0.01359	0.01460	0.01441
Hõõrdekaod [mH <sub>2</sub> O]	1.14	0.67	2.94

Lähtudes kaugjahutusvõimsusest 16 400 kW ning punktis 2.2 mainitud absorberi jahutuskontuuri võimsust, tuleks absorberi jahutuskontuuri jaoks rajada kas 41 MW jahutustorn või jahutusagregaadid.

### 3.7 Järeldused

Käesoleva bakalaureusetöö tulemusena on võimalik väita, et Mustamäe piirkonnas on mitmeid võimalusi, kuidas pakkuda kaugjahutust piirkonnas olevatele klientidele. Klientide kombinatsioon on mitmeid, ning samuti on võimalik ka trasse vedada mitte ainult antud töös välja toodud trajektoore pidi. Kaugjahutusbloki rajamine olemasolevasse Mustamäe Koostootmisjaama parendaks ka jaama kasutegurit, kuna pidevalt kättesaadavat 25 MW soojusenergiat on võimalik kasulikult ära kasutada.

Küll aga tuleb välja tuua absorptsioonjahutite jahutusringi suurt soojuslikku võimsust. Kuna jahutuskontuuri võimsus on 2.5 korda suurem, kui kaugjahustrassi antav võimsus, siis tuleb lisaks panustada kas jahutustornide, jahutusagregaatide või võimalusel jõgede, järvede või mere kasutusvõimalust jahustrassi vee jahutamiseks. Kuna autor sai andmeid vaid piirkonnas asuva Mustamäe keskuse jahutuskooormuse kohta, siis tuleb teistelt piirkonna kaubanduskeskustelt küsida jahutuskooormuste info üle, kui mingil ajahetkel otsustatakse Mustamäele kaugjahutus välja ehitada. Kui küsijaks on süsteemi projekteerija, siis võivad kaubanduskeskused olla vastutulelikumad oma andmete jagamisega. Samuti jäi hindamata võimalust kasutada Telia Eesti AS serveriruumi kliendina, kuna ka Telia ei avaldanud andmeid autorile.

Trasside valikust oleks ilmselt optimaalseim trass E, mille puhul on veetava trassi pikkus minimaalseim ning jahutuskooormus antud töö kontekstis maksimaalseim. Trasside B ja C korral on miinuseks Rocca al Mare paiknemine kaugel teistest keskustest ning vajadust vedada üksikut trassi pikalt, mis tekitab selles lõigus märgatavalt suurema rõhukao kui teistes lõikudes. Mõeldav oleks teostada ka trasse A ja D, mille tulemusel küll tuleks vedada trassist E rohkem lõike, kuid trasside võimsus on suurem kui trassil B ning kliendid on lähemal kui trasside B ja C korral.



## KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös hinnatakse võimalust välja ehitada Mustamäe Koostootmisjaama kaugjahutussüsteemi blokk.

Töö keskendub Mustamäe piirkonnas paiknevate potentsiaalsete klientide defineerimisele ning trasside ja jahutusseadmete dimensioneerimisele. Antud tööd on võimalik kasutada lähteülesandena süsteemi projekteerimisel ning trasside paiknemise hindamisel.

Töö esimeses osas antakse ülevaade kolmiktootmisest ning protsessi eelistest nii üksik- kui ka koostootmise ees. Samuti antakse ülevaade maailma energiatarbimisest ning jahutusvajadusest, kirjeldades sügavamalt absorptsioonjahuteid ning nende tööprotsessi.

Töö teises osas defineeritakse lähiümbruses asuvad kliendid ning vajalikud sisendparameetrid kaugjahustrassi ning jahutusseadme soojustehniliseks projekteerimiseks.

Töö kolmandas osas uuritakse erinevaid kliendikooslusi piirkonnas, kellele on võimalik olemasolevat süsteemi ära kasutades jahutust tarnida. Tuuakse välja võimalikud trassikoridorid, mida mööda on võimalik kaugjahustrassi klientideni viia, ning on leitud trassidele ka võimalike pumbasüsteemide näited. Tuuakse välja ka võimalikud asukohad koostootmisjaama vahetus läheduses, kuhu oleks võimalik rajada kaugjahutusblokk.

Töö tulemusena võib väita, et klientuur kaugjahutuse jaoks on Mustamäe piirkonnas olemas, ning on ka huvitatud kaugjahutusega liitumisest. Lisaks tõstaks kaugjahutusbloki välja ehitamine jaama kasutegurit, tõhustades seeläbi koostootmisjaama kütusekasutust.



## **SUMMARY**

In this bachelor's thesis the possibility of building a district cooling block in Mustamäe CHP is evaluated.

The work in this thesis focuses on defining potential clients for district cooling in Mustamäe area and dimensioning possible pipelines and cooling equipment. This work can be used as a starting point in district cooling system design and in evaluating the location of pipe routes.

In the first part of the thesis, an overview of trigeneration is given alongside listing the advantages of the process over both single generation and cogeneration. Furthermore it also provides an overview of the world's energy consumption and cooling needs, going more in depth into absorption chillers and how they function.

In the second part of the thesis the potential clients in close proximity to the cogeneration plant and the necessary input parameters for the thermal engineering design process of the district cooling line and the cooling equipment is defined.

The third part of the thesis looks into different combinations of clients in the Mustamäe area, to whom it is possible to supply cooling using the existing thermal energy from the cogeneration plant. Possible routes of district cooling pipelines are outlined and examples of possible pump systems have also been listed for the different routes. Possible locations in the immediate vicinity of the CHP, to where it would be possible to build a district cooling unit, are also indicated.

As the result of this thesis, it can be stated that there exists a clientel in Mustamäe for district cooling, and that they are interested in joining with the system were there a possibility of joining it. Furthermore the addition of a district cooling block into the cogeneration plant would increase the efficiency of the plant, therefore increasing the efficacy of fuel usage in the plant.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] "Trigeneration: CCHP: Combined Cooling Heat Power." Edina, [www.edina.eu/power/trigeneration-cchp](http://www.edina.eu/power/trigeneration-cchp).
- [2] Temir, Galip, and Durriye Bilge. "Thermoeconomic Analysis of a Trigeneration System." *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, no. 17-18, 2004, lk. 2689–2699., doi:10.1016/j.applthermaleng.2004.03.014.
- [3] "CHP Benefits." EPA, Environmental Protection Agency, 26 apr. 2021, [www.epa.gov/chp/chp-benefits](http://www.epa.gov/chp/chp-benefits).
- [4] Proceedings of the Intensive Programme 2011. 1st ed. Pilsen: University of West Bohemia. Faculty of electrical engineering. Department of electrical power engineering and environmental engineering, 2011, s. 47-50. ISBN 978-80-261-0010-2.
- [5] Arabkoohsar, A., ja G.B. Andresen. "Design and Optimization of a Novel System for Trigeneration." *Energy*, vol. 168, 2019, lk. 247–260., doi:10.1016/j.energy.2018.11.086.
- [6] Weber, Christine, et al. "Solar Cooling with Water–Ammonia Absorption Chillers and Concentrating Solar Collector – Operational Experience." *International Journal of Refrigeration*, vol. 39, 2014, lk. 57–76., doi:10.1016/j.ijrefrig.2013.08.022
- [7] Vedler, Sulev. "Eesti Energia Tahab Uhiuue Elektri jaama Lammutada." *Eesti Ekspress*, *Eesti Ekspress*, 4 apr. 2013, [ekspress.delfi.ee/artikkel/65918558/eesti-energia-tahab-uhuuue-elektri-jaama-lammutada](http://ekspress.delfi.ee/artikkel/65918558/eesti-energia-tahab-uhuuue-elektri-jaama-lammutada).
- [8] Lundgren-Kownacki, Karin, et al. "Challenges of Using Air Conditioning in an Increasingly Hot Climate." *International Journal of Biometeorology*, vol. 62, no. 3, 2017, lk. 401–412., doi:10.1007/s00484-017-1493-z.
- [9] Isaac, Morna, and Detlef P. Van Vuuren. "Modeling Global Residential Sector Energy Demand for Heating and Air Conditioning in the Context of Climate

- Change." *Energy Policy*, vol. 37, no. 2, 2009, lk. 507–521., doi:10.1016/j.enpol.2008.09.051.
- [10] IEA (2020), *World Energy Balances: Overview*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>
- [11] "Absorption Chillers for CHP Systems (DOE CHP Technology Fact Sheet Series) – Fact Sheet, 2017." *Energy.gov*, 2017, [www.energy.gov/eere/amo/downloads/absorption-chillers-chp-systems-doe-chp-technology-fact-sheet-series-fact-sheet](http://www.energy.gov/eere/amo/downloads/absorption-chillers-chp-systems-doe-chp-technology-fact-sheet-series-fact-sheet).
- [12] "Trigerung: Combined Cooling Heat and Power: CCHP." *Clarke Energy*, 24 mai 2021, [www.clarke-energy.com/trigeneration/](http://www.clarke-energy.com/trigeneration/).
- [13] Evans, Paul. "Absorption Chiller, How It Works." *The Engineering Mindset*, 26 sept. 2017, [theengineeringmindset.com/absorption-chiller-works/](http://theengineeringmindset.com/absorption-chiller-works/).
- [14] Johnson Controls. „YIA Single-Effect Absorption Chillers Steam And Hot Water Chillers“, 2010. [https://www.johnsoncontrols.com/-/media/jci/be/united-states/hvac-equipment/chillers/be\\_engguide\\_yia\\_singleeffect-absorption-chillers-steam-and-hot-water-chillers.pdf](https://www.johnsoncontrols.com/-/media/jci/be/united-states/hvac-equipment/chillers/be_engguide_yia_singleeffect-absorption-chillers-steam-and-hot-water-chillers.pdf)
- [15] Welch, Terry. "Module 10: Absorption Refrigeration." *CIBSE Journal*, Nov. 2019, [www.cibsejournal.com/cpd/modules/2009-11/](http://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2009-11/).
- [16] SusDev Consulting OÜ. „Soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga seotud põhivarade kasuliku (tehnilise) eluea määramine (hindamine)“, 2012. [https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/09\\_soojuse\\_tootmise\\_jaotamise\\_ja\\_m\\_giga.pdf](https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/09_soojuse_tootmise_jaotamise_ja_m_giga.pdf)
- [17] "Absolute Roughness of Pipe Material" *Neutrium*, 19 May 2012, [neutrium.net/fluid-flow/absolute-roughness-of-pipe-material/?web=1&wdLOR=c846257F7-83DB-402D-9A22-07544912F1CF](http://neutrium.net/fluid-flow/absolute-roughness-of-pipe-material/?web=1&wdLOR=c846257F7-83DB-402D-9A22-07544912F1CF).
- [18] Logstor. „Product Catalogue, Version 2018.06“, aprill 2018. <https://www.logstor.com/media/5918/product-catalogue-uk-201806.pdf>

## **LISAD**

Lisa 1 – Kaugjahutusprotsessi lihtsustatud skeem

Lisa 2 – Eesti Energia AS Painküla tehas kinnistule seatud hoonestusõiguse ja Painküla CHP tehnoloogia enampakkumise alginfo