

Energiatehnoloogia instituut

TALLINNA KESKLINNA KAUGJAHUTUS

DISTRICT COOLING IN THE CENTRE OF TALLINN

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tanel Kirs

Üliõpilaskood 183215MASM

Juhendaja: Eduard Latõšov

Tallinn 2020

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

"....." 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Tanel Kirs (sünnikuupäev: 22.03.1983)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Tallinna kesklinna kaugjahutus“

mille juhendaja on Eduard Latõšov

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

27.05.2020

Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tanel Kirs, 183215MASM

Õppekava, peeriala: MASM, soojusenergeetika

Juhendaja(d): Eduard Latõšov

Konsultandid:

Lõputöö teema:

Leida tootmislahendus AS Utilitas Tallinna poolt koostatud Tallina kesklinna eeldatavale
kaugjahutuse jaotusvõrgustikule ja selle tootmisprotsessi analüüsimine.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kaugjahutuse kirjeldus.
2. Olemasoleva kaugjahutuse tehnoloogia kirjeldus ning AS Utilitas Tallinna võimalusi ja Tallinna geograafilist asukohta arvestades, parima asukoha ja tootmisprotsessi määramine.
3. Valitud tootmisprotsessi analüüs.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema kinnitamine	Oktoober 2019
2.	Parima võimaliku tehnoloogia määramine ja arvutused	Veebruar 2020
3.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	Mai 2020

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "27" mai 2020 a

Üliõpilane: Tanel Kirs "....."202....a
/allkiri/

Juhendaja: Eduard Latõšov "....."202....a
/allkiri

Konsultant:
"....."202....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
SISSEJUHATUS	9
1 KAUGJAHUTUS	11
1.1 Kaugjahutuse määratlemine.....	11
1.2 Kaugjahutus maailmas	12
1.3 Kaugjahutus Eestis	13
1.4 Kaugjahutuse võrdlus alternatiivsete lahendustega	14
1.5 Kaugjahutustehnoloogiad.....	15
1.5.1 Vabajahutus	15
1.5.2 Veejahutid.....	17
1.5.3 Absorbtsioonseadmed	20
1.5.4 Soojuspumbad	20
1.5.5 Energiasalvestus	21
2 KAUGJAHUTUS TALLINNA KESKLINNAS	23
2.1 Jaotusvõrgustik	23
2.2 Kaugjahutusjaama võimsuse hindamine Tallinna kesklinnas	24
2.3 Kaugjahutusjaama asukoha määramine.....	25
2.4 Kaugjahutusjaama rajamise takistused.....	27
3 TALLINNA KESKLINNA KAUGJAHUTUSJAAMA ARVUTUS	30
3.1 Tallinna kesklinna kaugjahutusjaama kontseptsiooni valiku alused	30
3.2 Kaugjahutussüsteemi rajamise periood.....	31
3.3 Kaugjahutusjaama võimsus	32
3.3.1 Üksikute jahutusseadmete võimsus	33
3.4 Jahutusseadmete ühendus	36
3.4.1 Merevee voluhulk ja soojus.....	37
3.5 Seadmete elektritarve	40
3.6 Energiatõhususe suhtarv EER	41
3.6.1 EERi sõltuvus merevee temperatuurist	43
3.7 Keskkonnasääst.....	46
4 Tulemuste analüüs ja arutelu	49
4.1 Kaugjahutusjaama rajamine Tallinnas	49
4.2 Kaugjahutusjaama tehnoloogiline lahendus	50
4.3 Kaugjahutusjaama efektiivsus	51
4.4 Kaugjahutuse mõju keskkonnavalastele eesmärkidele.....	52
KOKKUVÕTE	53

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	55
5 LISAD	57

EESSÕNA

Käesolev magistritöö teema on valitud AS Utilitas Tallinna ja magistritöö kirjutaja koostööna. Magistritöö eesmärk on koostada AS Utilitas Tallinna planeeritava Tallinna kesklinna kaugjahutusvõrgule tootmislahendus, selle tehniline arvutus ning analüüs.

Vajalikud sisendid planeeritava võimsuse ja trasside osas on saadud AS Utilitas Tallinna uuringute osakonnast. Muu vajalik info on kogutud Eestis.

Töö autor tänab inimesi, kes aitasid antud töö valmimisele kaasa.

Märksõnad: kaugjahutus, kaugjahutus Tallinn, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

ENMAK – energiamajanduse arengukava

SEAP – Tallinna säästva energiamajanduse tegevuskava

CWS – cold water storage

ISS – ice storage system

DES – district energy solutions, kaugenergia lahendus

EER - energy efficiency ratio, energiatõhususe suhtarv

SEER – seasonal energy efficiency ratio, hooajaline energiatõhususe suhtarv

COP – coefficient of performance

KMH – keskkonnamõjude hindamine

GWP – global warming potentsial

ETA – energiatõhususe arv

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö teema on valitud AS Utilitas Tallinna vajadusest arendada välja Tallinna kesklinnas kaugjahutusvõrk ja tootmisjaam. Lõputöö eesmärk on pakkuda välja tootmislahendus AS Utilitas Tallinna poolt koostatud Tallinna kesklinna kaugjahutusvõrgule. Magistritöö käigus leiame, mis oleks selle kaugjahutusjaama efektiivsus võrreldes alternatiivsete lahendustega ning, millest see efektiivsus sõltub.

Keskkonnasääst ja energiatõhusus on märksõnad, mis saadavad meid tänapäeval mitmetes eluvaldkondades. Eriti tähtis on see just energeetika valdkonnas, milles üritatakse suurendada pidevalt taastuvate energiaallikate osakaalu[1]. Sellised nõuded panevad energeetika valdkonna insenerid otsima pidevalt ka efektiivsemaid ja keskkonnasõbralikumaid lahendusi, mis aitaks püstitatud eesmärke saavutada. Üks võimalik energeetika valdkond, milles Tallinnas saaks teha potentsiaalse arengu, on hoonete jahutus. Seni kasutusel olevad saaks asendada tsentraalse jahutusenergia tootmisega, mis oleks efektiivsem ja keskkonnasõbralikum.

Tallinnas on väga hästi arenenud kaugküttevõrk ja ka tootmine, mida on aastate jooksul pidevalt kaasajastatud ja muudetud rohelisemaks ning efektiivsemaks. See on loonud tingimuse, kus kaugküttepiirkond on seadusega määratud ning selles piirkonnas kaugküttele lubatavaid alternatiive ei ole palju. Peamiseks alternatiiviks kaugküttele on soojuspumbad, mis kasutavad maasoojust energiavaiade kaudu. Need alternatiivid võimaldavad teha hoonetele efektiivseid terviklahendusi, mis seovad tehnoloogiliselt kütte ja jahutuse. Et kindlustada kaugkütte jätkusuutlikkust ka tulevikus, peaksime täna juba välja töötama kaugenergia lahenduse, mis sisaldab nii kütet kui ka jahutust.

Kaugjahutus on Euroopas ja maailmas üsna levinud toode. Euroopas on seda aastakümneid arendatud ja kõige kaugemale on jõudnud Põhja-Euroopa riigid eesotsas Rootsi, kus hoonete sisekliimanõudeid rangelt järgitakse. See on pannud tugeva aluse kaugjahutusvõrkude rajamisele.

Lõputöö tutvustab kaugjahutust ja selle rolli tänapäeval ning selle käsitlemist Eestis. Kirjeldame selleks kasutatavaid tehnoloogiaid, et leida parim lahendus Tallinna kesklinna kaugjahutusjaamale arvestades Tallinna geograafilist asukohta ning AS Utilitas Tallinna võimalusi kaugjahutusjaama optimeerimiseks ja integreerimiseks kaugküttega.

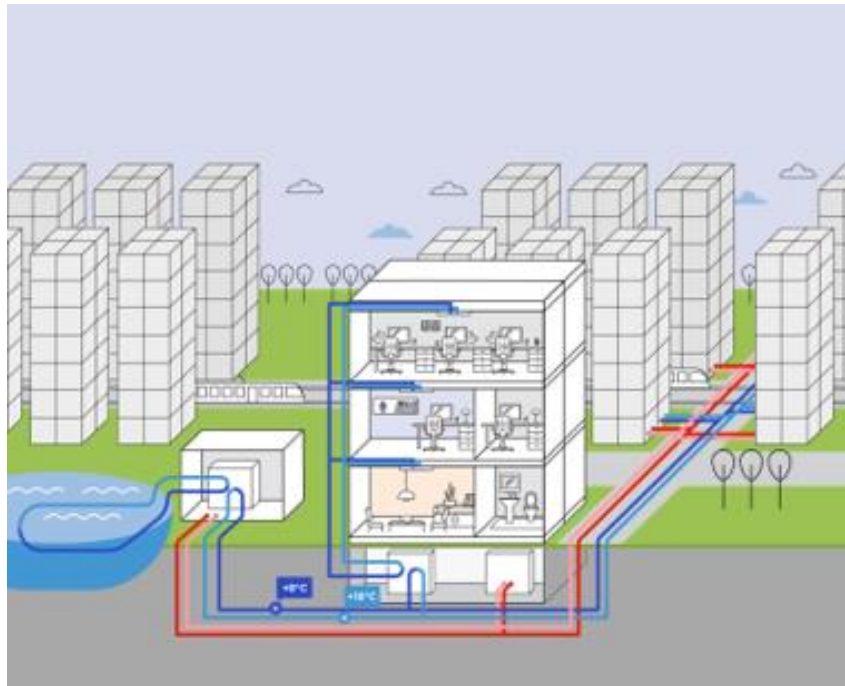
Töö koosneb neljast peatükist. Esimeses käsitleb kaugjahutust, selle arengut ja rolli tänapäeval Eestis ning samuti ka tehnoloogiaid. Teises peatükis analüüsitakse kaugjahutuse potentsiaali Tallinnas ja otsitakse kaugjahutusjaama rajamiseks võimalust. Kolmandas peatükis valitakse tehnoloogiline lahendus ja tehakse

kaugjahutusjaama tehnilisi arvutusi, et aru saada täpselt, milliste parameetritega jaam tööle hakkaks ja lõpetame peatüki kaugjahutuse potentsiaalse keskkonnasäästuga. Neljandas ehk viimases peatükis analüüsime magistritöö tulemusi ning vaatama, kas kaugjahutuse rajamine Tallinna kesklinna oleks parem lahendus, kui hetkel töötavad lokaalsed seadmed, ning kas kaugjahutus aitab kaasa ka energiapoliitilistele eesmärkidele.

1 KAUGJAHUTUS

1.1 Kaugjahutuse määratlemine

Kaugjahutus on süsteem, mis koosneb ühest või mitmest jahutusjaamast ning jaotusvõrgustikuga ühendatud tarbijatest. Kaugjahutusjaamast väljuv külma energiakandja, milleks reeglina on vesi, suunatakse läbi tarbijasõlmede ja seal soojenenud energiakandja tagasi kaugjahutusjaama (joonis 1.1).



Joonis 1.1. Kaugjahutus

Tarbijateks võivad olla äri- ja büroohooned, kaubanduskeskused, avalikud hooned ja muud võimalikud hooned, kus on vaja jahutust. Lisaks ruumide jahutusele saab kaugjahutust kasutada ka protsessijahutuseks, milleks võivad olla erinevad jahutust vajavad seadmed. Selline tsentraalne tootmine teeb kaugjahutusest efektiivse, kõrge varustuskindlusega ja keskkonnasõbraliku teenuse. Kaugjahutus on hea lahendus tihedalt asustatud piirkondades, kus on palju hooneid, mis vajavad jahutust [2].

1.2 Kaugjahutus maailmas

Kaugjahutus hakkas arenema välja juba ligi 60 aastat tagasi Ameerika Ühendriikides, täpsemalt aastal 1963 Hartfordis Connecticutis, kus kohalik ettevõtte Connecticut Natural Gas tuli välja ideega hakata tsentraalsetes konditsioneerimissüsteemides kasutama maagaasi [2]. Vaatamata küllaltki varajasele kaugjahutussüsteemile, hakkas suurem areng ja levik siiski 1990-ndatel.

Euroopas hakati kaugjahutust esimesena arendama Prantsumaal Pariisis 1960-ndatel lõpus, kuid suurem kaugjahutuse areng selles piirkonnas algas siiski 1990-ndatel, kui peamisteks eestvedajateks antud valdkonnas oli Rootsi. Tänapäevaks on just põhjamaad riigid, kus rangelt järgitakse sisekliimanorme ja arendatakse kaugjahutusvõrke [3]. Tabelis 1.1 on toodud mõningate Euroopa linnade kaugjahutuse hetke võimsused ja tuleviku potentsiaal. Tabelis on näha, et kaugjahutust arendatakse mitte ainult suurtes, vaid ka väiksemates linnades. Tabelist on ka näha, et Rootsis on kaugjahutusvõrke mitmetes linnades, nii väikestes kui ka suurtes.

Tabel 1.1 Kaugjahutus Euroopas [4].Linn	Riik	Elanikke kesklinnas	Hetke võimsus/ potentsiaalne võimsus, MW	Tehniline lahendus
Barcelona	Hispaania	1 600 000	69/- ¹	Absorbtsioon, elektrilised veejahutid, merevesi, CWS
Kopenhaagen	Taani	537 000	22/150	Absorbtsioon, elektrilised veejahutid, merevesi
Göteborg	Rootsi	510 000	60/100	Absorbtsioon, elektrilised veejahutid, jõevesi
Halmstad	Rootsi	58 000	7/30	Absorbtsioon, elektrilised veejahutid, merevesi, CWS
Helsingi	Soome	738 000	130/250	Absorbtsioon, elektrilised veejahutid, merevesi, CWS
Pariis	Prantsusmaa	2 234 000	290/- ¹	Elektrilised veejahutid, CWS, ISS, soojuspump
Solna/Sundberg	Rootsi	108 000	43/60	Merevesi, soojuspumbad elektrilised veejahutid, CWS
Stockholm	Rootsi	868 000	250/- ¹	Merevesi, soojuspumbad, elektrilised veejahutid

Viin	Austria	1 730 000	57/200	Absorbtsioon, elektrilised veejahutid, jõevesi
Växjö	Rootsi	61 000	13/35	Absorbtsioon, elektrilised veejahutid, järve vesi, CWS

¹ – andmed puuduvad

1.3 Kaugjahutus Eestis

Kaugjahutus on väga sarnane kaugküttega – tsentraalne tootmine ja jaotusvõrgustikuga ühendatud tarbijate kütte- või jahutussõlmed. Kaugküte on Eestis väga pikkade traditsioonidega teenus ning seda on viimaste aastate jooksul väga palju arendatud ning muudetud keskkonnasõbralikumaks ja efektiivsemaks. Kaugkütte keskkonnasõbralikkus ja efektiivsus on selle teenuse muutnud ka võrguteeninduspiirkonnas kütte lahendust valides kohustuslikuks. Alternatiividena saab kasutada ainult kütusevabadest taastuvatest allikates muundatud soojusenergiat [5]. Kaugjahutus ei ole seadustes nii täpselt defineeritud ning sellepärast ei saa ka üheselt väita, mida täpselt selle teenuse all seaduse silmis mõistetakse. Lähtudes kaugjahutuse sarnasustest kaugküttega, võib tema defineerimisel sellest sarnasusest ka lähtuda. Eestis võiks hakata kaugjahutust ja kaugkütet kirjeldama lähtudes inglisekeelsest lühendist DES – district energy solutions, ehk kaugenergia lahendus.

Tänapäeva energiatõhususe nõuded hoonetele suunavad panustama paremetele ja efektiivsematele seadmele, et saavutada vastavad energiatõhususe näitajaid. Üheks selliseks optimeerimise võimaluseks on ära kasutada lokaalset jahutussüsteemi – on võimalik uusarenduste puhul välja ehitada süsteem, mille jahutusseade suvel soojade ilmadega jahutab hoonet ning sama seade ka talvel kütab hoonet. Tegemist on soojuspumbaga, mille üheks soojusvahetiks on hoone all olevad vaiad, kus voolab energiakandja. Need vaiad jahutavad suvel jahutusseadme kondensaatorile vajalikku energiakandjat ning talvel toob vaiades ringlev energiakandja soojuspumba aurustisse soojust. Selline süsteem on tänapäeval hästi välja töötatud ning võimalusel ka alati sellega projekteerimisel arvestatakse. Tallinnas on energiavaiade ja soojuspumpade lahendusi mitmeid, näiteks ministeeriumite ühishoones Suur-Ameerika 1, ja nendega arvestatakse hoone projekteerimisel, kui pinnas võimaldab energiavaiu rajada piisavalt, et soojusvahetus toimiks. Selline tehnoloogia pealetung tähendab, et jahutust ja kütet nähakse kui ühte lahendust lokaalsete seadmetega või DES lahendusega. Tekkinud

olukord tähendab kaugkütte pakkuja jaoks vajadust arendada välja ka kaugjahutusvõrk, et pakkuda klientidele terviklahendust hoonete sisetemperatuuri reguleerimiseks nii talvel kui ka suvel.

Energiamajanduse Arengukava (ENMAK) ja Tallinna säästva energiamajanduse tegevuskava (SEAP) seavad energeetikaga seotud pikaajalised eesmärgid. ENMAK käsitleb tervet Eestit ning SEAP Tallinnat. Mõlema poolt on muuhulgas seatud eesmärkideks vähendada CO₂ heitmeid, suurendada taastuvenergia allikate osakaalu, parandada primaarenergia kasutust ja vähendada elektrienergia lõpptarbimist [6], [7]. Kaugjahutus ja kaugküte ehk DES on hoonete sisetemperatuuri reguleerimise lahendus, mis võrreldes alternatiividega aitab nendele eesmärkidele kaasa rohkem.

Kaugjahutus on Eestis esindatud teenus, kuid küllaltki tagasihoidlikult. Tartu on selles olnud eestvedaja ning sealsed insenerid avasid esimese kaugjahutusjaam võimsusega 8,4 MW aastal 2016 ning juba ka teise jahutusjaama võimsusega 5,4 MW aastal 2017. Lisaks Tartule on sama ettevõtte poolt rajatud kaugjahutusjaam ka Pärnusse aastal 2019, võimsusega 3 MW [8].

Kaugjahutus ei ole reglementeeritud. Kuna kaugjahutust ei reguleerita seadustega nii nagu kaugkütet, ei ole Kaug jahutusel ka ametlikku võrgu teeninduspiirkonda. Olemasolevatel kaugjahutusjaamadel võrguteeninduspiirkond siiski tekib, kuid selles asuvad tarbijad ei ole kohustatud jahutuslahendust otsides kaugjahutusvõrguga liituma ning võivad valida endale sobivama lahenduse. Jahustehnoloogiatest võib kasutada ka kaugjahutuse olemasolul kõiki teisi alternatiive, kui neid just ei keela detailplaneering või projekteerimistingimused.

1.4 Kaugjahutuse võrdlus alternatiivsete lahendustega

Kaugjahutuse tootmisel kasutatavad põhiseadmed ja hoonetesse paigaldatavad lokaalsed jahutusseadmed on oma tööpõhimõttelt samad ning põhinevad kõik Carnot pöördringprotsessil [9]. Jahutusseadmeid eristab jahutusvõimsus ja võimsusest tulenevad tehniliselt erinevaid komponente kasutatavad jahutusseadmed ja nendega saavutatav EER (energy efficiency ratio, enegiatõhususe suhtarv), mis näitab mitu ühikut jahutusenergiat toodeti ühest ühikust elektrist. Väiksemate jahutusvõimsuste

puhul kasutatakse väiksemaid ja odavamaid komponente ning suurte jahutusvõimsuste puhul juba tööstusliku kvaliteediga kallimaid komponente.

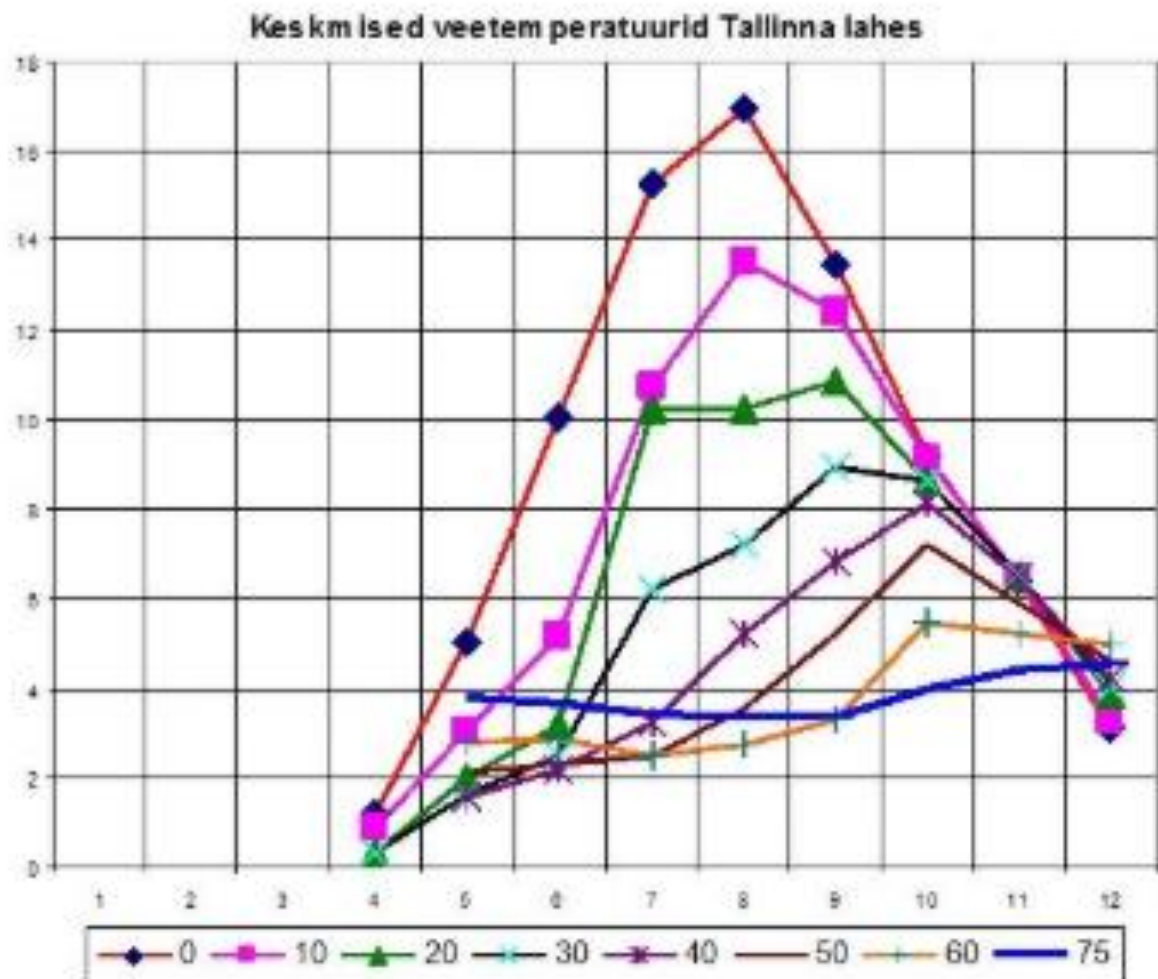
Seadmete valik. Sarnastele seadmetele ja tehnoloogiale vaatamata on lokaalsete jahutusüsteemide ja kaugjahutussüsteemide ülesehituse põhimõtted väga erinevad. Lokaalsete lahenduste puhul dikteerib valitud lahendus hind ja tegurid, mis määravad valitud lahenduse sobivust antud hoonesse – müra, suurus, vajalik voolutugevus ja muud märksõnad. EER võib sellisel juhul jääda tahaplaanile. Kaugjahutuse puhul lähtutakse alati efektiivsusest ja tõhususest ning kogu kaugjahutuse mudel ehitatakse selle ümber. Erinevalt lokaalsest lahendusest koostatakse kaugjahutussüsteem mitmest hoolega valitud jahutustehnoloogiast võttes arvesse võimalikult täpselt antud geograafilise kohta ja muid saada olevaid optimeerimise võimalusi. Eesmärgiks on projekteerida võimalikult efektiivne, tõhus ja keskkonnasõbralik kaugjahutusjaam. Läbi nende valikute on võimalik saavutada CO₂ heitmete vähendamist ja primaarenergia kasutuse sääst, mis on osa energiapoliitika eesmärkidest ja reeglina ei ole otsustavad lokaalsete lahenduse projekteerimisel.

1.5 Kaugjahutustehnoloogiad

1.5.1 Vabajahutus

Vabajahutuse all mõistetakse jahutusprotsessi, mille käigus kasutatakse välisõhu või veekogu loomulikku jahutuspotsentiaali. Eelpool mainitud vabajahutuse allikateks on õhk ja vesi. Mõlema vabajahutuse potentsiaal sõltub geograafilisest asukohast ja vee puhul ka veekogu sügavusest ja liigist. Kõige parem vabajahutuse lahendus oleks piisavalt sügava veekogu olemasolu, et tagada aastaringselt jahe vesi. Sellisel juhul piisaks kaugjahutusjaamas vabajahutussüsteemist ning SEER (seasonal energy efficiency ratio, hooajaline energiatõhususe suhtarv) oleks väga kõrge. Nii head tingimust tihti ei esine ning enamjaolt piirduakse vabajahutusega ainult talvel, kevadel ja sügisel ehk siis, kui vesi on jahe ja välistemperatuurist sõltuv jahutuskooormus ei ole veel tekkinud ning on vaid protsessijahutus. Siiski annab ka kirjeldatud olukorras hooajaline vabajahutus suure panuse jaama efektiivsusesse.

Vesi. Mereäärse linnana on hea võimalus kasutada merevett vabajahutusena. Sõltuvalt geograafilisest asukohast on võimalik rajada ka erinevate jahutuspotentsiaalidega vabajahutussüsteeme. See sõltub eelkõige mere sügavusest, kuhu õnnestub veetoru paigaldada. Mida sügavamale, seda külmem vesi ning teatud sügavusest on juba vesi piisavalt külm, et tagada vabajahutus aastaringsest. Joonisel 1.2 on toodud keskmised merevee temperatuurid Tallinnas lahes ning sealt on näha, et juba 20 m sügavusel oleks keskmine merevee temperatuur suvekuudel ka ligikaudu 10 °C. See tähendaks juba suurt vabajahutuse kasutusvõimalust, kuna kaugjahutusvõrk on Tallinna kesklinnas planeeritud temperatuuridel 6/16 °C. Antud info põhjal võib öelda, et vabajahutus saaks ka suvekuudel anda peaaegu 50% vajalikust jahutusvõimsusest. Lisaks on vee baasil vabajahutussüsteemid peaaegu müravabad, täielikult hoones sees ja võimsust arvestades küllaltki kompaktsed. Selline tehnoloogia sobib hästi kaugjahutusjaama põhiliseks tootmisseadmeiks.



Joonis 1.2. Keskised merevee temperatuurid Tallinnas [10].

Õhk. Õhu loomulikku jahutuspotentsiaali õnnestub samuti edukalt ära kasutada hooajalises protsessjahutuses, kuid see süsteem tähendab suurte võimsuste puhul ka suuri lamellsoojusvaheteid, mis peavad olema väljaspool kaugjahutusjaama. Kesklinna piirkondades võib antud lahendusest kujuneda probleem müra ja visuaalse vaatepildi tõttu. Õhu kasutamisel vabajahutusena on ka väiksem vabajahutuse potentsiaal. Tabelis 1.2 on toodud viimase 5 üksiku aasta ja viimase 5 aasta keskmised õhutemperatuurid Tallinnas. Sealt selgub, et suvekuudel, kui jahutusvajadus on kõige suurem, vabajahutust õhku kasutades enam saadaval ei ole. Välistemperatuur on liiga lähedal tagastuva energiakandja temperatuurile või on juba üle selle.

Tabel 1.2. Keskmised õhutemperatuurid Tallinnas [11]

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015	-0,9	0,2	2,8	5,1	9,8	13,5	15,9	16,6	13	5,9	4,8	3,3
2016	-7,2	0,6	0,5	5,3	12,6	15,2	17,4	15,9	12,8	5	0,1	0,9
2017	-1,8	-2,3	1	2,9	9,2	13,1	15,5	16,1	12,1	5,7	3	1,1
2018	-1,7	-6,4	-3,1	5,6	14,4	14,9	20,2	18,2	14	7,6	3,5	-1,5
2019	-4,1	0,3	1	6,5	10,2	17,7	16,9	16,6	12,3	7,1	3	2,5
keskmine	-3,1	-1,5	0,4	5,1	11,2	14,9	17,2	16,7	12,8	6,3	2,9	1,3

1.5.2 Veejahutid

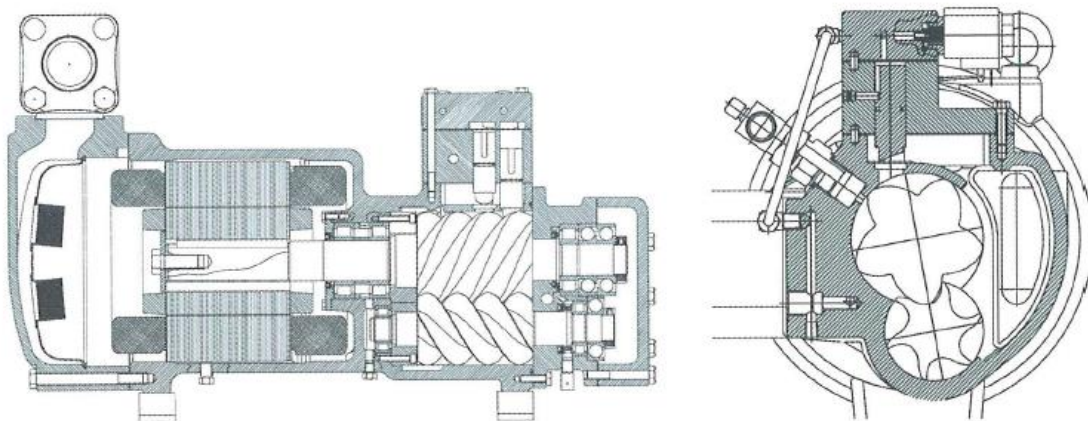
Veejahutid ehk chillerid on seadmed, mille puhul Carnot pöördringprotsessi liikuma panevaks osaks on elektriline kompressor, mis ajab külmaainet ringi kahe soojusvaheti vahel, millest ühes võetakse soojusenergia energiakandjalt ning teises soojusvahetis antakse soojus energiakandjale. Tegemist on vana ja ennast tõestanud tehnoloogiaga, millel tuginevad enamik arvestatava suurusega tänapäeva hoonetest. Veejahuteid on väga erinevate võimsustega – mõnekümnest kilovatis kuni mitmekümnete megavattideni. Eristatakse õhkjahutusega ja vesijahutusega veejahuteid. Õhkjahutuse on väiksemad ja lihtsamad seadmed, mida suurtemates konditsioneerimissüsteemides tihti ei kasutata. Suuremates kasutatakse pigem vesijahutusega süsteeme, kuna nendele on võimalik ka juurde ehitada vabajahutusmooduli süsteemi efektiivsuse tõstmiseks.

Kompressorid. Kõige tähtsama komponendi – kompressori – järgi eristatakse väikeseid veejahuteid scrollkompressoritega, keskmiste võimsuste veejahuteid kruvikompressoritega ning suuri veejahuteid tsentrifugaalkompressoritega. Scrollkompressoreid (joonis 1.3) kasutatakse peamiselt väiksemate kuni keskmiste suurustega kliimaseadmete puhul. Nagu jooniselt 1.3 näha, on tegemist ühe pöörleva spiraalse kettaga teise sees. Kruvikompressoreid (joonis 1.4) kasutatakse alates

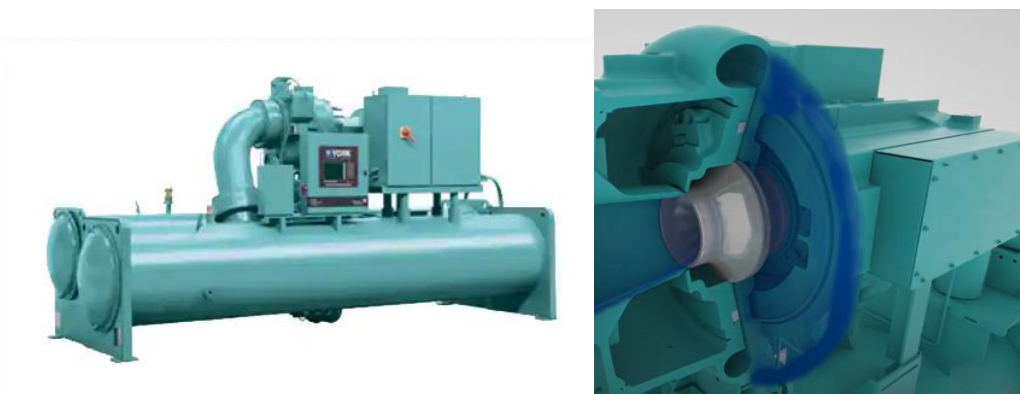
keskmiste suurusega veejahutite puhul. Selliste seadmete võimsused võivad ulatuda paarisajast kW-st kuni paari MW-ni. Kruvikompressoris antakse pöörlemiseks jõud ühele kruvile ja see veab omakorda teist kaasa. Nende vahel otsest kontakti ei olegi, vaid see tekib tänu õlile, mida kruvide vahele pidevalt pritsitakse. Tegemist on väga töökindlate seadmetega. Scroll- ja kruvikompressor on oma efektiivsuses küllaltki võrreldavad, kuid tsentrifugaalkompressorid on oluliselt efektiivsemad. Nad on ka kallimad ning nende suurus jahutusvõimsuse tõttu ei õnnestu neid enamjaolt lokaalsete jahutuslahendustena kasutada ja nad on jäänud põhiliselt tsentraalseteks tootmiseseadmeteks (joonis 1.5).



Joonis 1.3. Scrollkompressor [12]



Joonis 1.4. Kruvikompressor [12]



1



2

Joonis 1.5. 1 – tsentrifugaalkompressoriga veejahuti. 2 – absorptsioonjahuti [13].

1.5.3 Absorbtsioonseadmed

Absorbtsioonseadmete (joonis 1.5) puhul on ringprotsessi liikuma panevaks jõuks elektrilise kompressori asemel soojus ehk tegemist termokeemilise komprimeerimisega. Absorbtsioonseadmes olevat termodünaamilist keha kuumutades osa sellest aurustub, rõhk tõuseb ning ringprotsess algab. Need seadmed võivad kasutada sisendina otsepõletust gaasi või mõne muud kütuse näol või kuuma vett. Tegemist on reeglina väga aeglaste ja suurte jahutusvõimsustega seadmetega. Sobivad rohkem stabiilses režiimis tööks. Väga levinud on kaugjahutussüsteemides kontseptsioon, kus absorbtsioonseadmed kasutavad sisendina jääksoojust, mis tekib suvisel ajal energiamuundamisprotsessides või ka tööstuslikes protsessides. Võimalusel kasutada ära jääksoojust, on absorbtsioonseadmete puhul tegemist väga efektiivsete seadmetega, kui arvestada EER-i - näiteks kuuma vett sisendina kasutatav ja 2627 kW võimsust andev seade kulutab elektrit kõigest 14,3 kW (lisa 1) pluss jääksoojuse transport ja kondensaatori jahutusvee pump. Absorbtsioonseadmeid, mis töötavad kuuma vee pealt, eristatakse ka sisendi temperatuuri järgi madala- ja kõrgetemperatuurilisteks. Sisendi temperatuurist sõltub ka seadme EER, mis madalatemperatuurilistel seadmetel võib jääda 0,6 – 0,8 ja kõrgema temperatuurilistel 0,8 – 1 lähedale. Seega, mida kõrgema temperatuuriga sisend, seda kõrgem EER.[14]

1.5.4 Soojuspumbad

Soojuspumbad on oma põhimõttelt samad, mis veejahutid, kuid soojuspumpade puhul kaugjahutusjaamas on kasulikuks energiaks soojuspumba mõlemas soojusvahetis toodetud energia. Aurustis jahutatakse kaugjahutusvett ning kondensaatoris soojendatakse vett, mis antakse edasi otse tarbijale või kaugküttevõrku. Soojuspumba puhul on kompressor valitud selline, et ta suudab töötada suurtemate surveastmete puhul, sest eesmärk on toota lisaks külmale veele ka sooja vett. Veejahutiga võrreldes hakkab soojuspump sama jahutusenergia tootmiseks tarbima rohkem elektrit, kuid soojuspumba puhul soojusvahetite võimsused liidetakse ja jagatakse elektritarbijatega ning sellisel juhul on soojuspumba COP, (coefficient of performance) mis näitab soojuspumba puhul ühest ühikust elektrist toodetud kasuliku energia ühikuid, parem kui veejahutil. Kaugjahutusjaamale on võimalik projekteerida lahendus, mille puhul soojuspump saab töötada ka lihtsalt veejahutina kui soojust vaja ei ole.

1.5.5 Energiasalvestus

Energiasalvestustehnoloogiatest on kaugjahutuses kasutusel peamiselt kaks erinevat varianti – veemahutid ja jääpangad. Energiasalvestus võib liigitada ka pikaajaliseks salvestuseks ja lühiajaliseks salvestuseks. Esimene neist salvestab energiat mingiks pikemaks perioodiks, näiteks nädalaks, kuuks või ka mõneks kuuks. Lühiajalise energiasalvestuse puhul on tegemist näiteks ühe päeva pikkuse perioodiga. Kaugjahutuse puhul on just lühiajaline salvestus meetod, mis annab võimaluse kasutada salvestust tipukoormuste katmiseks ja seeläbi säästa investeeringutelt seadmetesse. See tähendab, et mida lühem on tipukoormuse kestvus päeval, seda suurema võidu annab salvestus.

Veemahutite ehk akumulatsioonipaake kasutatakse tihti võrgu kaugemates osades suurema võimsuse saavutamiseks toru läbimõõte suurendamata. See annab võimaluse pumbata öösel, kui tarbimist on minimaalselt, paak jahedat vett täis ning koormuse tekkides kompenseeritakse akumulatsioonipaagist trassidelt puudujäävat võimsust. Sellised mahutid on kaugjahutuse võimsusi arvestades küllaltki suured (joonis 1.6) ning arvestades, et suuremad tarbijad koonduvad kesklinna kokku, on sellisele mahutile sobivat asukohta keeruline leida [15].



Joonis 1.6. Energiasalvestus Halmstadis.

Jääpangad (joonis 1.7) kasutavad ära vee suurt latentset soojust ja on selle tõttu mahult oluliselt väiksemad võrreldes akumulatsioonipaakidega. Jääpangad on end toiduainetetööstustes tõestanud tehnoloogia ning edukalt on neid rakendatud ka kaugjahutusüsteemides. Jääpangasid jahutatakse öösel, kui elekter on odavam ja klientidel jahutuskooormust ei ole ning päeval müüakse klientidele veejahutite ja ka jääpangade võimsus ja salvestusmaht. Jääpangade kasutamine annab võimaluse rakendada juba ostetud veejahutiteid öisel ajal jääpangade jahutamiseks. Nii saab investeeritud varast rohkem kasulikku tööd kätte.

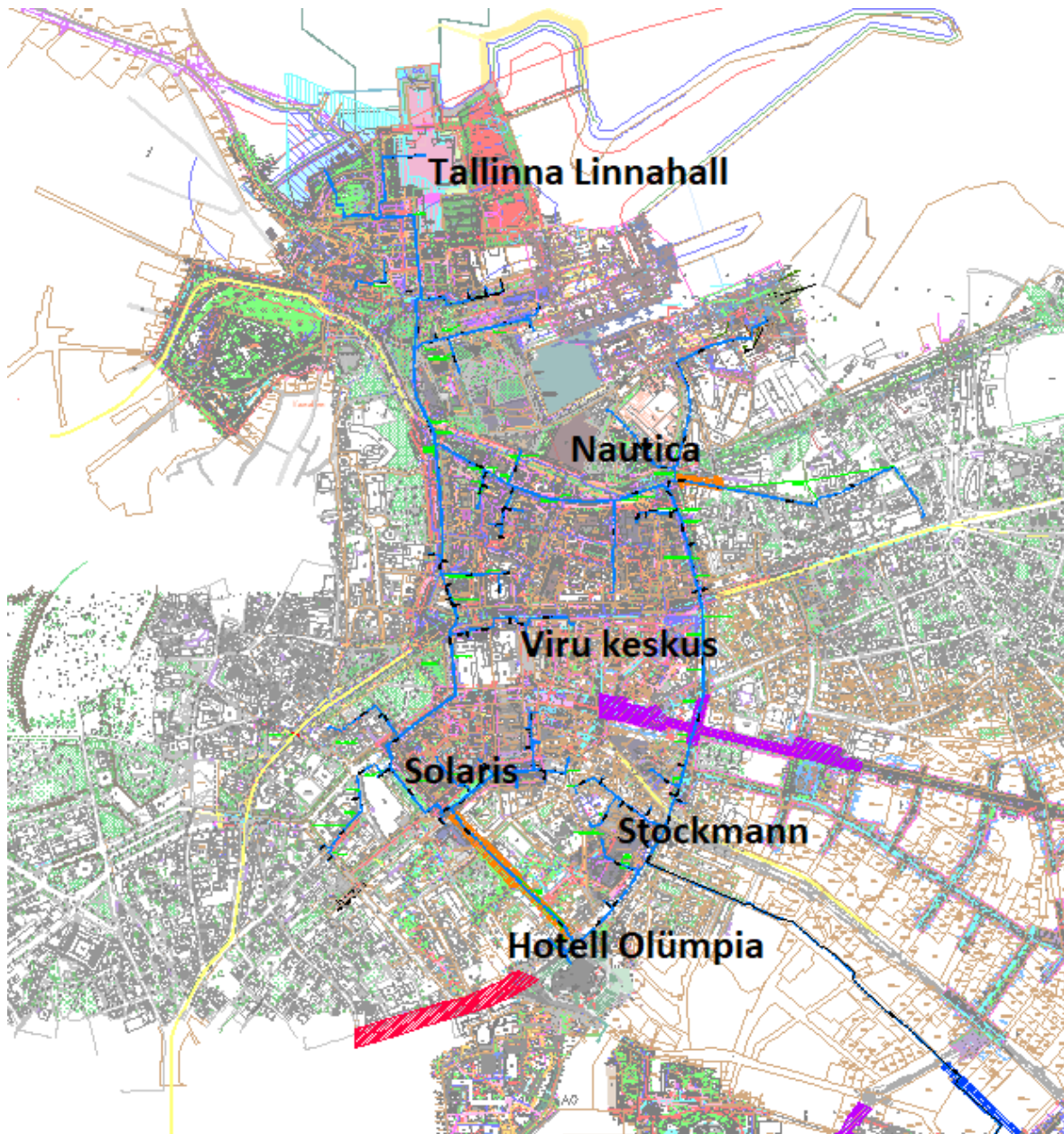


Joonis 1.7. Jääpank New Yorgis [16].

2 KAUGJAHUTUS TALLINNA KESKLINNAS

2.1 Jaotusvõrgustik

AS Utilitas Tallinn on analüüsinud Tallinnas kesklinnas asuvaid büroo-, kaubandushooneid ja hotelle ning on hinnanud ka olemasoleva info põhjal tulevasi kinnisvaraarendusi, mis oleks järgnevatel aastatel tulemas.



Joonis 2.1. Tallinna kesklinna kaugjahutusvõrk

Sellest infost lähtuvalt on koostatud kaugjahutusvõrk Tallinna kesklinnas ja hinnatud ka potentsiaalset jahutusvõimsust. Jooniselt 2.1 on toodud valminud kaugjahutusvõrk

ümbert kesklinna, kus asuvad peamised kliendid. Antud magistritöö eesmärgiks on leida koostatud kaugjahutusvõrgule tehnoloogiline lahendus ja seda analüüsida.

Jooniselt 2.1 on näha, et tegemist on ringvõrguga ümbert Tallinna kesklinna. Kaugjahutusvõrgu hakkab Tallinna Linnahalli juures minema mööda Mere pst ja Ahtri tänavat. Üks haru läheb mööda Liivalaia tänavat kuni Olümpia hotellini ja keerab seal Laikmaa tänavale ning läheb Väliministeeriumi ja Solarise juurde. Teine haru tuleb mööda Mere pst Viru keskusest mööda kuni Solariseni. Nii tekitatakse ringistus, millega saavutatakse mõnes kohas väiksemate diameetritega torud. Ringistus tõstab ka kaugjahutusvõrgu varustuskindlust.

2.2 Kaugjahutusjaama võimsuse hindamine Tallinna kesklinnas

AS Utilitas Tallinn poolt koostatud eeldatavat kaugjahutusvõrgu trasside asukoha ja selle teeninduspiirkonda jäävate tarbijate mudelit kasutatakse antud magistritöö sisendina kaugjahutusjaama täpse jahutusvõimuse määramiseks. Selleks võtame võrgu koostamiseks kasutatud Netsimi mudelist vajaliku info, milleks on massvooluhulk m kg/s kaugjahutusjaama sisenemisel. Kasutades valemit 2.1 [12] saame määrata jahutusjaama maksimaalse jahutusvõimsuse. Kaugjahutusvõrgu puhul on energiakandja temperatuuridena arvestatud 6/16 °C. Kasutades neid temperatuure ja massvooluhulka, saame määrata maksimaalse jahutusvõimuse, mida on torustiku mudeli koostamisel arvestatud. Mudeli koostamisel on aluseks võetud energiakandja temperatuurid 6/16 °C ja rõhu erikadu 50 Pa/m.

$$Q = m * C * \Delta t, \text{ kW} \quad (2.1)$$

kus, Q – jahutusvõimsus, kW,

M – massvooluhulk, kg/s, 2321,46 kg/s, [AS Utilitas Tallinn, avaldamata andmed]

C – energiakandja erisoojus, KJ/kg*K, 4,19 KJ/kg, [17]

Δt – temperatuuride vahe, K.

Valemit 2.1 kasutades saame eeldatava kaugjahutusvõrgu andmeid kasutades kaugjahutusjaama jahutussvõimsuseks 97,3 MW.

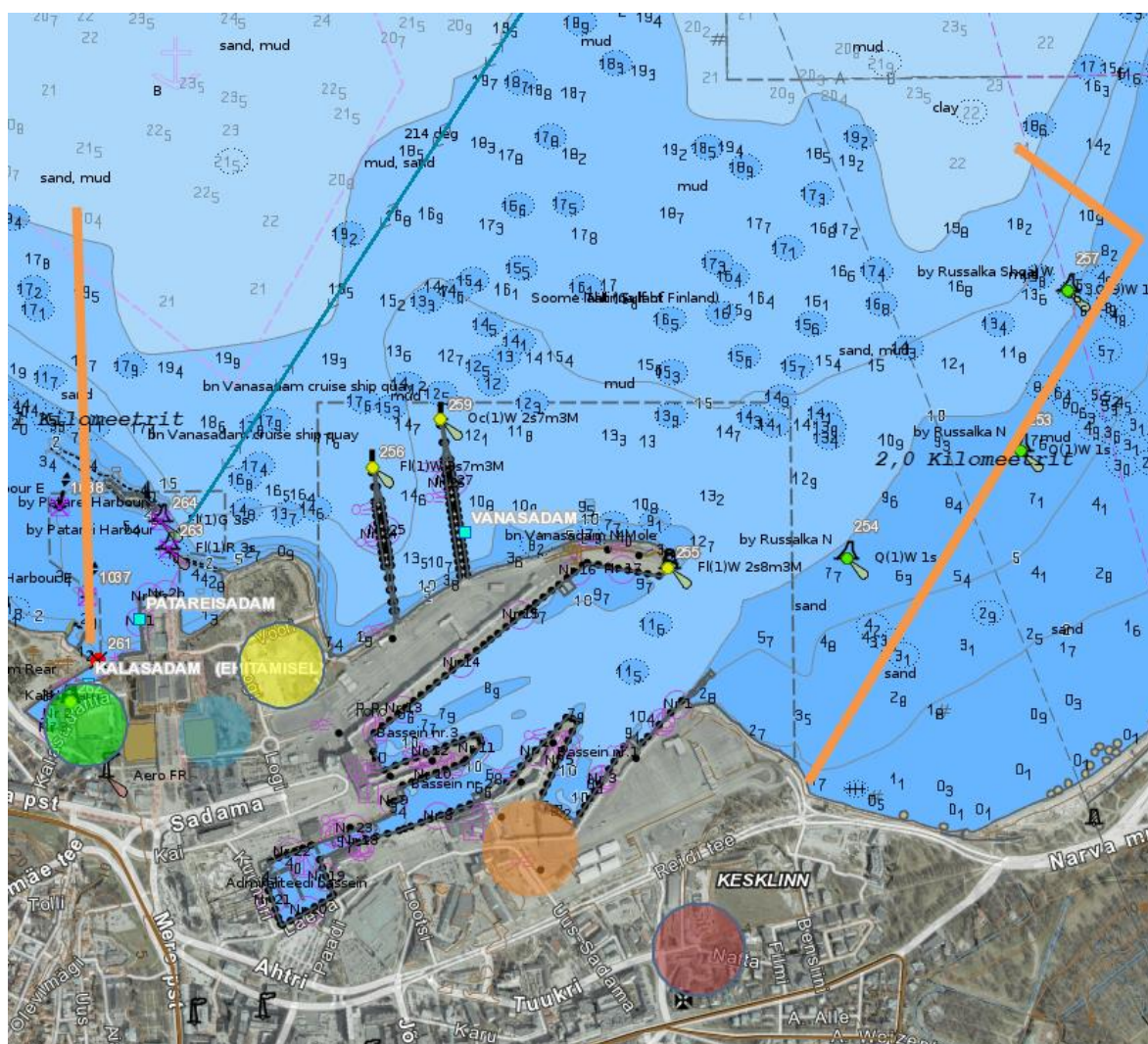
2.3 Kaugjahutusjaama asukoha määramine

Tallinnas kui mereäärses linnas on kaugjahutusjaama asukohaks hea võimalus leida sobiv koht mere ääres. Asukoht mere ääres peaks tagama ligipääsu mereveele, et kasutada vabajahutust ja jahutusvett seadmetele. Vabajahutuse kasutamine on hea võimalus muuta kaugjahutus keskkonnasõbralikumaks ja efektiivsemaks.

Asukoht. Ligipääs mereveele tähendaks ka kaugjahutusjaama paiknemist suhteliselt mere lähedal. Selliseid vabu kinnistuid mere ääres, kuhu oleks võimalik rajada kaugjahutusjaam, ei ole palju. Joonisel 2.2 on toodud viis potentsiaalselt piirkonda, kus võiks leida kaugjahutusjaamale vajaliku maa:

- Roheline piirkond. Antud piirkonnas on hetkel ruumi Põhja pst 35 ja Kalasadama 10, et rajada kaugjahutusjaam. Põhja pst 35 on Tallinna Linna omand ja Kalasadama 10 kinnisvaraarendajate käes. Mõlemad kinnistud sobiksid oma asukoha poolest hästi, sest nad oleksid eeldatava kaugjahutustrassi kõrval ning nende puhul oleks vajalik merevee toru pikkus 1 km.
- Helesinises alas on Tallinna Linnahalli parkla ja Tallinna linna tühje kinnistuid, kuhu oleks võimalik kaugjahutusjaam rajada. Nendest kohtadest pääseks toruga merele ilmselt ainult ümber Linnahalli, et mitte segada laevaliiklust. See lisab pikkust merevee torule.
- Kollane ala on Tallinna Sadama maa, millele koostatakse detailplaneeringut. Seal oleks piisavalt ruumi, et eralda kaugjahutusjaama vajalik osa. Ka sellelt alalt tuleks minna merevee toruga ümber Linnahalli, kuna otse merele minnes segame laevaliiklust ja laevad segaksid ka meid vett keerutades. Lisaks sellele, jääb antud asukoht eelneva kahega võrreldes kaugjahutus trassidest kaugemale.
- Oranž ala on samuti Tallinna Sadama ala, kuhu oleks võimalik leida ruumi kaugjahutusjaama jaoks. Eelnevatega võrreldes läheb olukord keerulisemaks, kuna kaugjahutus trassid jäävad veel kaugemale ning pääs merele läheb ka pikemaks. Sellest alast pääseb mere Kadrioru poolt ning jooniselt 2.2 on näha, et merevee toru pikkus seal oleks hinnanguliselt 2 km.
- Punane ala. Selles alas on Tallinna linnal kinnistu, kuhu oleks võimalik rajada kaugjahutusjaam. Tingimused on siin aga eelnevatega võrreldes kõige

halvemad, kuna kaugjahutustrassid jäävad veel kaugemale ja ka merevee toru pikkus on suur.



Joonis 2.2. Kaugjahutusjaama asukoht [18].

Jääksoojuse kasutamine. Lisaks vabajahutusele ja elektriliste kompressoritega veejahutitele saab kaugjahutusjaama sisendina kasutada ka soojust, mis õnnestub punktis 1.5.3 kirjeldatud absorptsioonseadmete abil muundada jahutusenergiaks. AS Utilitas Tallinna, kes hakkab ka arendama kaugjahutust Tallinnas, põhitegevuseks on kaugkütte teenuse pakkumine Tallinnas. Talvisel ajal pakutakse klientidele kütet ja tarbevee soojendamist. Suvisel ajal jääb aga kütte arvelt suur osa soojusenergiat üle ning antud jääksoojust saaks kaugjahutusjaama absorptsioonseadmete sisendina ära kasutada. Jääksoojuseks on kuum vesi temperatuuriga 75 – 90 °C. Sellest piisab sisendiks kaugjahutusjaamas olevatele absorptsioonseadmetele, kui kasutada madalatemperatuurilist vett kasutavad absorptsioonseadmed. Nende COP on väga

madal, meie sisendi temperatuuri juures ligikaudu 0,75. valitud väärtus on pärit York absorptsioonseadme andmelehel (Lisa 1). AS Utilitas Tallinnal on jääksoojust suvisel ajal saadaval hinnanguliselt 50 MW, mis teeks jahutusvõimuseks $50 \cdot 0,75$, ehk 37,5 MW. See on suur osa planeeritud jahutusvõimusest Tallinna kesklinna kaugjahutusjaamast. Selleks, et jääksoojust kasutada, peaks kaugjahutusjaam asuma ka piisvalt lähedal piisavalt suurele kaugkütte torustikule. Kauguse järgi kaugkütte magistraalid ritta pannes oleks eelistatud asukoha järjestus:

1. Roheline ala. Piisava läbimõõduga kaugkütte toru on lähedal.
2. Sinine. Piisaval läbimõõduga kaugkütte toru on lähedal.
3. Kollane. Kaugkütte toru jääb juba kaugemale.
4. Oranž. Piisava läbimõõduga kaugkütte toru lähedal ei ole ja see tuleks rajada.
5. Punane. Piisava läbimõõduga kaugkütte toru lähedal ei ole ja see tuleks rajada.

Kokku võttes selgub, et joonisel 2.2 näidatud roheline ala oleks mitmel põhjusel parem teistest potentsiaalsetest asukohtadest ja sobiks kaugjahutusjaama rajamiseks. Kaugjahutusjaam asuks aadressil Põhja pst 35 või Kalasadama 10, kust mereveetoru ligikaudne vajalik pikkus oleks 1000 meetrit ja piisava läbimõõduga kaugkütte toru, DN500 [AS Utilitas Tallinn, avaldamata andmed], oleks lähedal. Antud pikkusega saame ligipääsu umbes 20 m sügavusele mereveele, kus vastavalt joonisele 1.2 on vee temperatuur suvekuudel keskmiselt 10 – 11 °C. Kaugjahutusvõrk töötab temperatuuridel 6/16 °C ja see tähendaks, et mingil määral oleks vabajahutus saadaval aastaringi.

2.4 Kaugjahutusjaama rajamise takistused

Merevee kasutamise puhul vabajahutuseks tuleb lähtuda seadustest, mis määravad keskkonnamõjude hindamist ja vee erikasutust. Vabajahutuse puhul loetakse toru paigaldust mere põhja tahkete ainete uputamiseks. Teatud mahust alates loetakse seda olulise keskkonnamõjuga tegevuseks ning selle tuleb teha KMH (keskkonnamõjude hindamine) [18]. Prognoositud veehulk, mida kaugjahutusjaama jaoks pumbatakse

merest võib jääda nii väikeseks, et piisab keskkonnamõjude eelhindangust [19]. Kui keskkonnamõjude eelhindangu käigus ei selgu käesoleva projekti kohta midagi väga olulist, mis võiks kahjustada keskkonda meres, siis piisab vee erikasutusloast. Samas võib keskkonnamõjude eelhindangu käigus osutuda vajalikuks keskkonnamõjude hinnang, mille tulemusena ei lubata merevett sellisel otstarbel kasutada.

Merevee kasutamise teiseks takistuseks võib ka kujuneda laevade liiklus Tallinna Sadamas ja uute kaide lisandumine lääne poole sadamat. Laevad keerutavad meres vett ning segavad ka muidu mittesegunevaid kihte. See tekitab ohu, et suvisel ajal võib laevade vee segamise tõttu olla vesi 20 m sügavusel soojem kui keskmine näitaja antud sügavuse kohta. Vabajahutuse kogutoodang aasta kohta sellisel juhul langeks.

Absorbtsioonseadmete kasutamisel Tallinna kesklinna kaugjahutusjaamas võib olla eelnavate tehnoloogiatega võrreldes rohkem takistusi.

- vee temperatuur jääksoojuse ärakasutamisel. Nimelt tuleb jääksoojus transportida absorbtsioonseadmeteni kasutades kaugküttetorustikku. Kaugküttes on suvisel ajal, mil jahutuskooormus on suurim, oma võrgugraafik, mille järgi pealevoolu temperatuur on ligikaudu 79 °C [AS Utilitas Tallinn, avaldamata andmed]. Sellest on absorbtsioonseadmete ei piisa ja vajalik oleks temperatuuri tõsta ligikaudu 90 °C - ni. Selline muutus tähendab kaugküttevõrgu jaoks soojuskadude suurenemist. Soojuskaod on olulised efektiivsusnäitajad ning nendega tuleb kindlasti arvestada.
- absorbtsioonseadmete kasutamisel võib olla liiga kuuma vee tagastamine kaugkütte trassi. Absorbtsioon kasutab sisendis 90 °C ja tagastab ligikaudu 70 °C. Keskmine tagastuv temperatuur suvisel ajal Tallinna kesklinna piirkonnas on umbes 50 °C. Tekib olukord, kus kaugjahutusjaama absorbtsioonseadmete kuum tagastuv vesi tõstab kaugkütte tagastuva vee temperatuuri üles. See tähendab kahju selle ajal töötavale koostootmisjaamale, mille vasturõhuturbiini ja suitsugaasi kondensaatori kasutegurid langevad. Suitsugaasi kondensaatorid võivad koostootmisjaamas suvisel ajal ka seista, kuid vasturõhuturbiinile mingi kahju tekiks.

Klientide liitmisel kaugjahutusega võib tekkida olukord, kus klient soovib liituda võrgupiirkonnas, kuhu kaugjahutustrassid veel jõudnud ei ole, kuid on tulemas. Sellisel juhul on võimalus kasutada mobiilseid kaugjahutusjaamu, mida saab paigaldada kliendi lähedale. Kui trassid jõuavad kliendini, mobiilne jaam viiakse ära. Teine variant on paigaldada ajutised seadmed kliendi ruumidesse, mis ka trasside jõudes ära viiakse. Mobiilsete jahutusjaamade ja ajutiste seadmete puhul on

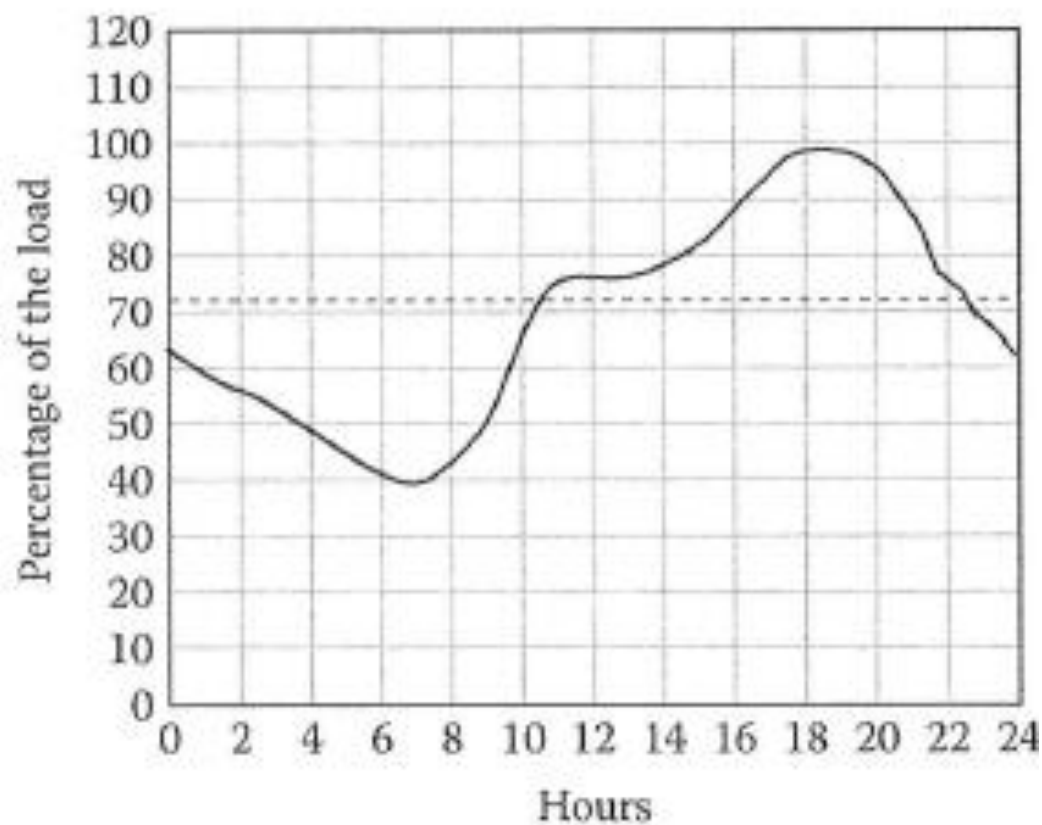
probleemiks jahutite kondensaatorid – sõltuvalt tarbijast on need suured soojusvahetid, millele tuleb leida ajutine sobiv koht. See aga ei pruugi olla tiheda asustusega kesklinnas lihtne. Lisaks sellele on müra probleem – mobiilsed konteinerisse paigaldatud seadmed teevad müra ning sellest võib samuti kujuneda probleem. Sarnaste ajutiste lahenduste otsimisel on väga heaks lahenduseks soojuspump, mis annab oma kondenseerumissoojuse kaugküttesse, kuna siis ei ole vajadust väliste soojusvahetite järele.

3 TALLINNA KESKLINNA KAUGJAHUTUSJAAMA ARVUTUS

3.1 Tallinna kesklinna kaugjahutusjaama kontseptsiooni valiku alused

Kaugjahutusjaama jahutusseadmete valik ja nende osakaal kogu tootmises on väga oluline kaugjahutusjaama SEER-i kujunemisel ja seega ka kaugjahutusjaama majandusliku tasuvuse kujunemisel. Lisaks tehnoloogiale teevad kaugjahutuse tootmise projekteerimise keerulisemaks ka eeldatavate klientide tarbimisprofiilid. Enamus tarbijaid Tallinna kesklinna piirkonnas on kontorihooned. Uute arenduste puhul annab kaugjahutusteenuse osutaja kliendile soovitud võimsuse. Kliendile müüdud võimsus ja seega kaugjahutusjaama rajatud võimsus on saadud hoonete projekteerijatelt, kes on selle leidnud analüütiliselt, ja seega on tegemist prognoosiga. Kuna hoonete jahutuse puhul on tegemist välistemperatuurist ja õhuniiskusest sõltuva koormusega, siis prognoosi tegemisel on muutujaid, mille puhul võetakse arvutustes aastate keskmised ja tagasihoidlikumad maksimaalsed väärtused. Kõik see kokku tähendab, et projekteerijate poolt küsitud võimsus võib olla keskmisi välistemperatuure arvestades väga suur. Kaugjahutusjaama projekteerimisel tuleb arvestada, et suurema osa ajast, mil jahutuskooormus on suur, töötab jaam ligikaudu 70 %-ga, kuna välistemperatuurid ei ulatu tihti projekteeritud maksimaalsete välistemperatuurideni. Ülejäänud 30% on osa, mille hoonete projekteerijad arvestasid varuga. See tähendab, et kaugjahutusjaama koormus jääb suvisel päeval ajal keskmisel 70% juurde ja vahest väga kuum ja niiske ilmaga tõuseb 100%-ni.

Jahutustehnoloogia valikul peab sellisel juhul arvestama, et umbes 70% võimsusest peaks olema kaetud tehnoloogiaga, mis on antud kaugjahutusjaamale kõige efektiivsemad ja kasulikumad. 30% seadmetest võib jääda tipukoormuse seadmeteks, mille puhul peamisteks nõudmisteks on seadme kiire käivitus ja võimalikult palju lubatud käivutuskordi mingi aja jooksul ning väga suur võimsuse reguleerimise vahemik. Joonisel 3.1 on toodud tüüpilise büroohoone tarbijaprofiil kuumas ilmaga. Jooniselt 3.1 selgub ka võimsus 80%– 100% on keskmiselt 6 tundi päevas, kella kolmest päeval kuni kella üheksani õhtul ning keskmine koormus on umbes 72% juurde. Siit järeldub ka, et tüüpilise tarbija profiili puhul oleks võimalik ka kasutada energiasalvestust, kuna tipukoormuse aeg on suhteliselt lühike



Joonis 3.1 Tarbija profiil [3]

3.2 Kaugjahutussüsteemi rajamise periood

Tallinna kesklinna kaugjahutuse puhul on tegemist küllaltki suure tarbijate hulgaga ning nendeni jõudmine kaugjahutustorustikuga on aeganõudev protsess. Osaliselt juba sellepärast, et kesklinna piirkonnas on sellises mahus kaevamistöid keeruline teha kuna need sõltuvad reeglina teistest töödest, näiteks teede ehitusest. Kaugjahutustorustiku välja ehitamine Tallinna keskkonnas koos teedeehituse plaanidega võtab aega hinnanguliselt 15 aastat. See tähendab ka, et kaugjahutusjaama välja arendamine täies mahus võtab sama kaua aega. Mõistlik oleks arendada kaugjahutusjaama samas tempos tarbijate liitumisega, sest see vähendab riske, mis seotud võimalike takistustega arendusperioodil.

Arendusperioodil on mõju ka seadmete valikule. Eelmises peatükis käsitletud idee, et 70% kaugjahutusjaama võimsusest peaks olema kaetud kõige efektiivsema tehnoloogia, rakendamisel võib tulla pika arendusperioodi tõttu takistusi. Eelkõige tekib takistus absorptsioonseadmete kasutamisel. Need seadmed on võimsuselt suured ja väljundvõimsuse reguleerimise kiirus on suhteliselt aeglane. Tekib olukord, kus esimeste aastate väheste kaugjahutusvõrguga liitujate tõttu on jahutusjaama koormus väike ja kõigub välistemperatuuri tõttu palju. Sellises olukorras ei ole absorptsioonseadmeid hea kasutada ja sobiksid rohkem elektriliste kompressoritega veejahutid. Ehk pika arendusperioodi puhul on mõistlikum esimeste aastatega paigaldada tipukoormusemasinad, mis saavad sellistes tingimustes kergemini hakkama. Kaugjahutusvõrgu laienedes ja tarbijate lisandudes saab hakata mõtlema juba ka absorptsioonseadmete peale, kuna suurem arv tarbijaid tähendab suuremat ja stabiilsemat koormust.

3.3 Kaugjahutusjaama võimsus

Valemi 2.1 abil arvutasime maksimaalse võimuse, mida saaks eeldatavate kaugjahutustrassidega edastada. Selleks on 97,3 MW.

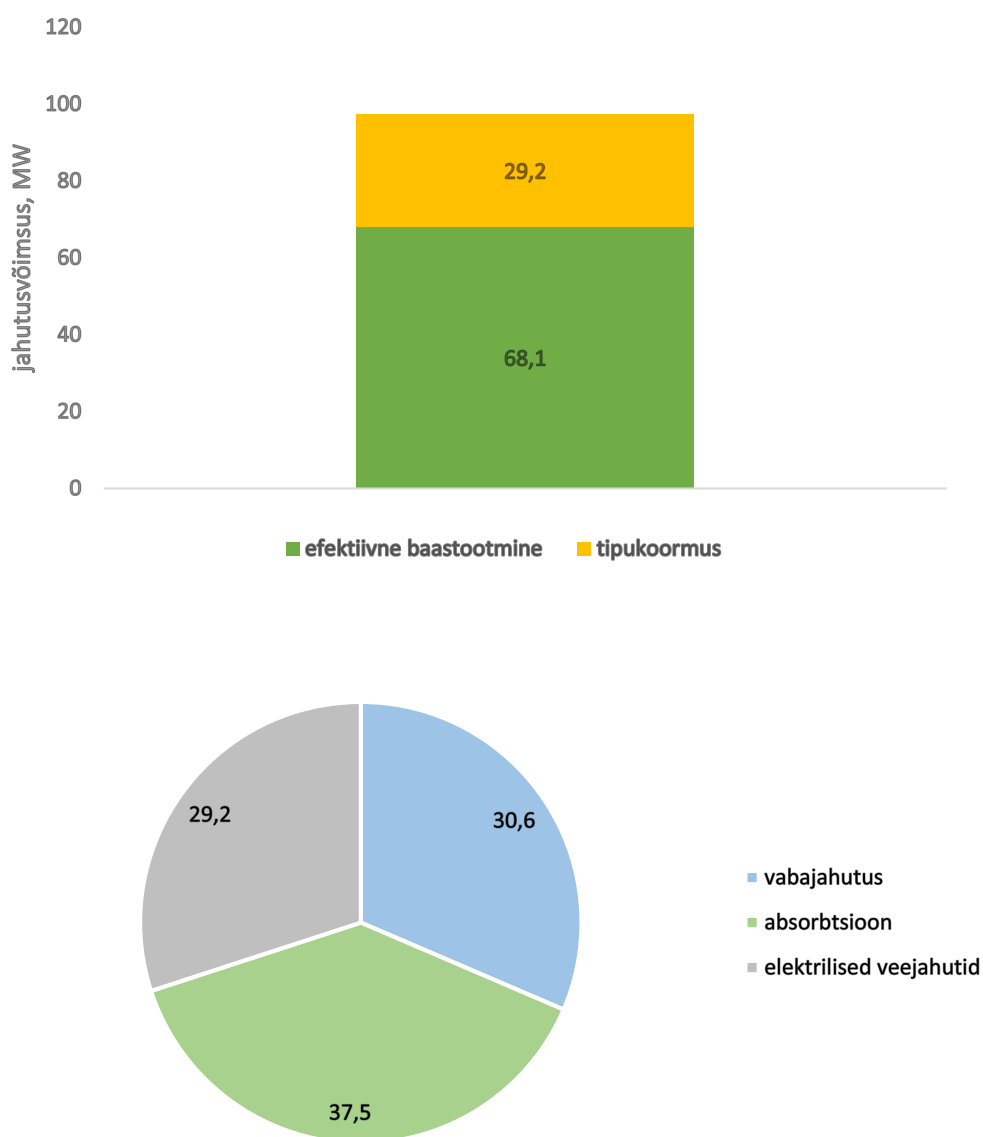
Vastavalt peatükis 3.1 kirjutatule peaks 97,3 MW-st 70%, ehk 68,1 MW koosnema saadaval olevates tehnoloogiatest kõige efektiivsematest. Peatükis 2.4 kirjutatud jääksoojuse kasutamisest saadav jahutusvõimsus oleks hinnanguliselt 37,5 MW. See tähendab, et vabajahutus merest võiks olla 30,6 MW. Ülejäänud 30%, ehk 29,2 MW võiks olla elektriliste kompressoritega veejahutid. Selline võimsuse jaotus annab võimaluse kaugjahutusjaama esimestel aastatel välja ehitada kasutades kergemini opereeritavaid elektriliste kompressoritega veejahuteid. Kui kaugjahutusega liitub keskmise suurusega tarbijaid juba ligikaudu 10 tükki siis sellega seoses kasvab ka kaugjahutusjaama baaskoormus nii suureks, et saab juba kasutada ka suurmaid absorptsioonseadmeid. Elektriliste kompressoritega veejahutid jääksid siis tipukoormuse ja võimsuse kiire reguleerimise jaoks ning absorptsioonist koos vabajahutusega moodustuks baastootmine.

3.3.1 Üksikute jahutusseadmete võimsus

Vastavalt eelnevale peatükile koosneb kaugjahutusjaam:

- Vabajahutus 30,6 MW
- Absorbtsioon 37,5 MW
- Elektrilised veejahutid 29,2 MW

Võimsuste jaotust iseloomustab joonis 3.2.



Joonis 3.2. Jahutusvõimused.

Need võimsused jaotame omakorda sellisteks osadeks, mis tagavad kaugjahutusjaama efektiivse töö erinevatel koormustel.

Vabajahutus koosneb plaatsoojusvahetitest ning nende võimsusi saab valida vastavalt soovile. Meile sobiks vabajahutussüsteem, mis koosneks vähemalt kahest plaatsoojusvahetist:

- Esimene soojusvaheti 15,3 MW
- Teine soojusvaheti 15,3 MW

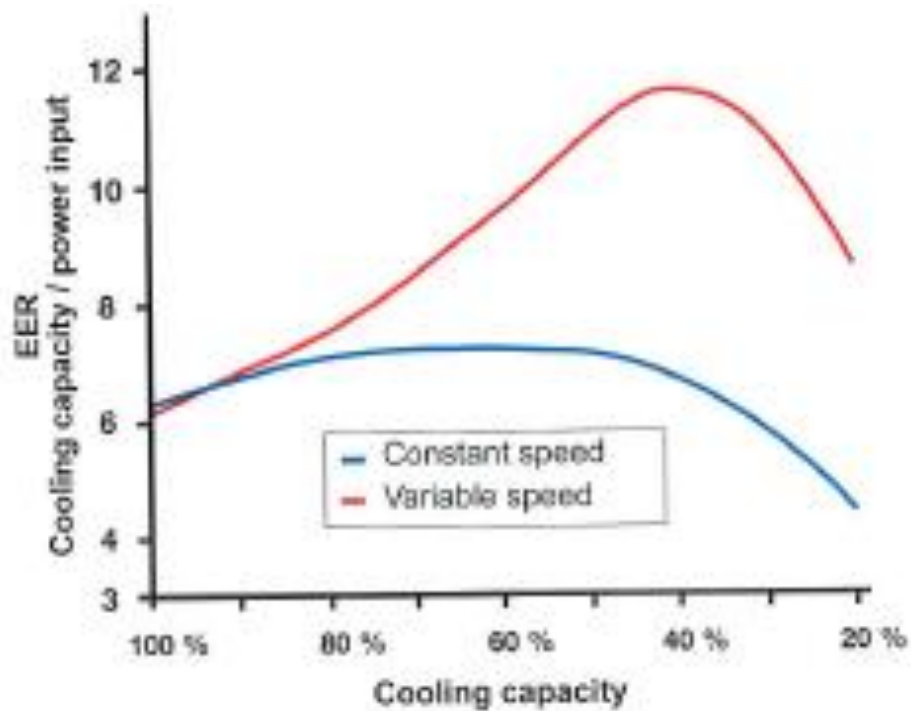
Vähemalt kaks plaatsoojusvahetit on vajalik, et tagada varustuskindlus. Kui mingil põhjusel on vaja plaatsoojusvaheteid kinni keerata ja korralist või erakorralist hooldust või remonti teha, siis saab seda teha ükshaaval kaugjahutusjaama seisma jätmata.

Absorbtsioonseadmed võimsusega 37,6 MW jaotame järgnevateks osadeks:

- Esimene seade 15 MW
- Teine seade 10 MW
- Kolmas seade 7 MW
- Neljas seade 3 MW
- Viies seade 2,6 MW

Absorbtsioonseaded on jaotatud rohkemateks osadeks, kuna nende minimaalne võimsus on 20%. Eelpool toodud jaotus annab meile võimaluse rakendada absorbtsioon seadmeid kaugjahutusjaama kõikides arendusetappides.

Elektriliste kompressoritega veejahutite valikul lähtud sellest, et kasutama peaks tsentrifugaalkompressoritega seadmeid nende efektiivsuse pärast. Arvestades, et hakkame veejahutite kondensaatoreid jahutama mereveega, mille temperatuur on suvisel ajal meie veevõtukohas keskmiselt 10 – 12 °C, siis saame need kompressorid tööle väga efektiivselt. Mida väiksem on aurustumisrõhu ja kondenseerumisrõhu vahe, seda efektiivsemalt kompressor töötab. Tsentrifugaalkompressorite minimaalne kondensaatorisse siseneva vee temperatuur on 20 °C ja selle me saama talle tagada aastaringelt. Joonisel 3.3 on toodud ühe tootja sagedusmuunduriga tsentrifugaalkompressori EER-i osakoormustel. Tingimused graafiku koostamisel on aurustist väljuva vee temperatuur 7 °C ja kondensaatorisse siseneval 30 °C. Jooniselt on näha, et madalamatel koormustel on EER oluliselt kõrgem. Sellest lähtuvalt peab tegema ka seadmete valiku kaugjahutusjaama jaoks.



Joonis 3.3 Tsentrifugaalkompressori EER osakoormustel. YORK tootekataloog.

Vajalik jahutusvõimsus nendelt seadmetelt on 29,2 MW. Selle jaotame järgnevateks osadeks:

- Esimene seade 10 MW
- Teine seade 5 MW
- Kolmas seade 5 MW
- Neljas seade 5 MW
- Viies seade 3 MW
- Kuues seade 1,2 MW

Piisavalt erinevate võimustega seadmete valik tagab meile võimaluse kasutada tsentrifugaalkompressoreid võimalikult paljudel koormusel ka tema kõige efektiivsemal osakoormusel. Lisaks sellele on nende seadmete puhul tegemist ka tipukoormuse masinatega, mis tähendab võimalikult suurt võimsuse reguleerimise ala ja kiiret reageerimist. Eelpool toodud valikuga õnnestub see meil hästi.

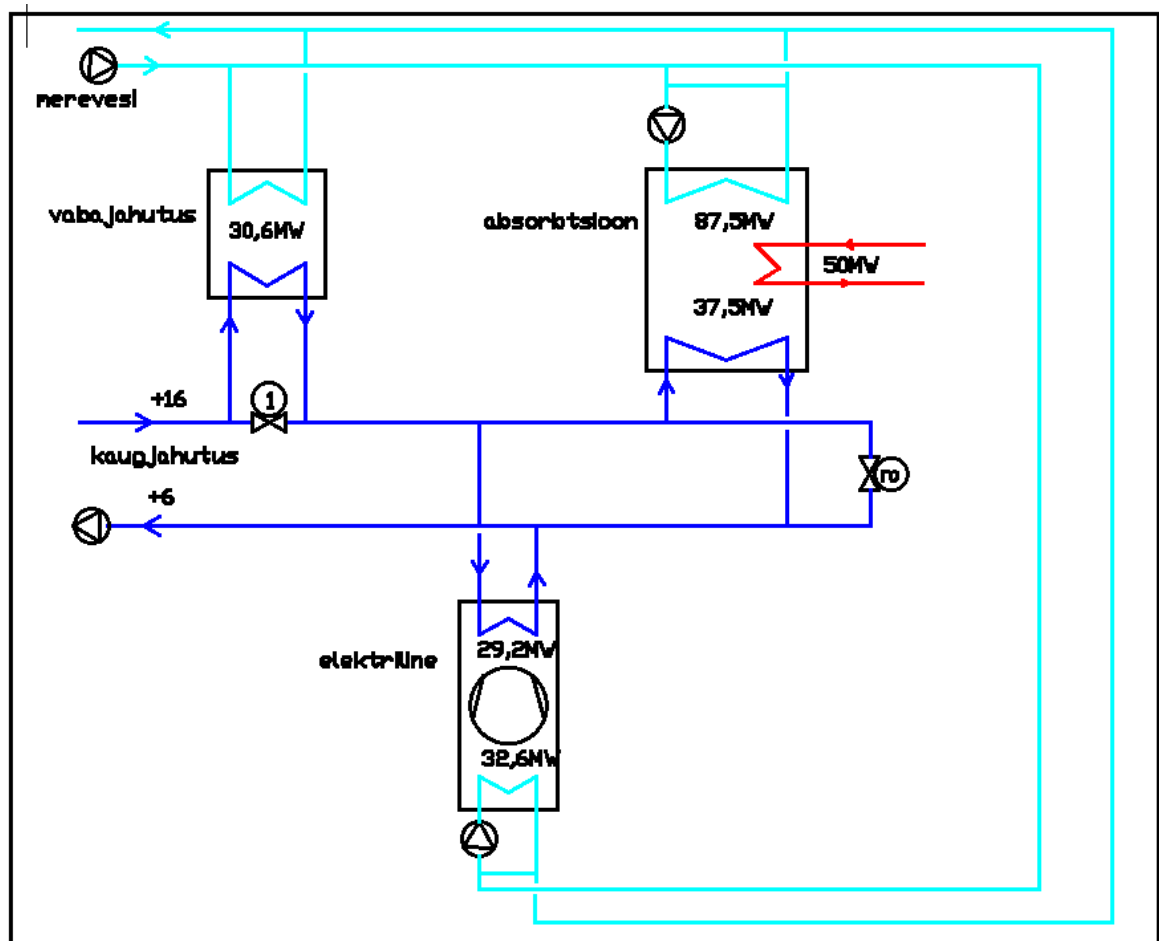
3.4 Jahutusseadmete ühendus

Jahutusseadmeid saab ühendada kaugjahustorustikuga järjestikku ehk jadamisi ja paralleelselt.

Järjestikku ühendamine tähendab, et kogu energiakandja hulk käib läbi kõikide järjestikku ühendatud jahutusseadmete. Eeliseks sellise ühenduse puhul on võimalus optimeerida erinevate seadmete tööparameetritega. Näiteks kõik jahutid ei pea töötama parameetritel, mis väljastaks jahutusseadmest energiakandjat temperatuuriga 6 kraadi. Süsteemis eespool ühendatud jahutusseadmed saaksid töötada efektiivsematel parameetritel. Puuduseks sellise ühenduse puhul on see, et suurte jahutusvõimuste ja vooluhulkade puhul ei õnnestu jahutusseadmetest kogu energiakandjat läbi pumbata. Eriti juhul kui üksikute jahutusseadmete võimsused on suhteliselt väikesed võrreldes kogu kaugjahutusjaama võimsusega. Järjestikku ühendus töötaks paremini juhul, kui jahuteid on väiksem arv ja üksikute jahutite võimused on suured võrreldes kogu võimsusega.

Paralleelselt ühendamine on teine variant, kuidas saab jahuteid kaugjahutusjaamas ühendada. Sellise ühenduse puhul on jahutid ühendatud kaugjahustorustikuga paralleelselt ning iga üksik jahuti jahutab oma võimsuse ulatuses energiakandjat seadepunktini. Eelneva ühendusega võrreldes ei õnnestu siin jahutite tööparameetreid väga optimeerida, kuna iga üksik jahuti peab saavutama energiakandja temperatuuriks 6 °C. Sellise ühenduse kasutamine on meile palju sobivam, kuna ei teki seadmetes liiga suuri vooluhulkasid ja rõhukadu üksikutes jahutites ei lähe suureks.

Tallinna kesklinna kaugjahutusjaam. Joonise 3.4 olen koostanud, et kujutada Tallinna kesklinna kaugjahutusjaama potentsiaalset ühendusskeemi. Joonisel on lihtsustamiseks kujutatud erinevad tootmisseadmed ühe seadmena. Nagu sealt näha, on tegemist kombineeritud ühendusega. Energiakandja siseneb kaugjahutusjaama ning esmalt läbi vabajahutuse soojusvahetid. Need on ühendatud nii, et kogu vooluhulga saab juhtida läbi soojusvahetite. Kui rõhulang läheb liiga suureks, saab reguleerventiili nr 1 avades seda vähendada. Edasi liigub eeljahutatud energiakandja läbi absorptsioonjahutite või elektriliste veejahutite. Nendest saab vastavalt jahutuskooormusele valida sobivaima ja hetkel efektiivseima jahuti. Skeemil on reguleerventiil nr 2. Tema eesmärk juhtida vooluhulk jahutitest mööda, kui vabajahutus suudab ära teha kogu vajaliku jahutuse. Joonisel on kujutatud ka merevee põhimõtteskeem. Merevett pumbatakse vabajahutuse jaoks ning ka kõikide jahutite kondensaatorite jahutamiseks. Jahutitele on tekitatud oma väike ring pumbaga sellepärast, et jahutitesse ei saa juhtida liiga külma vett. Väike ring hakkab hoida minimaalset võimalikku kondensaatorisse siseneva vee temperatuuri.



Joonis 3.4. Kaugjahutusjaama põhimõtteskeem

3.4.1 Merevee vooluhulk ja soojus

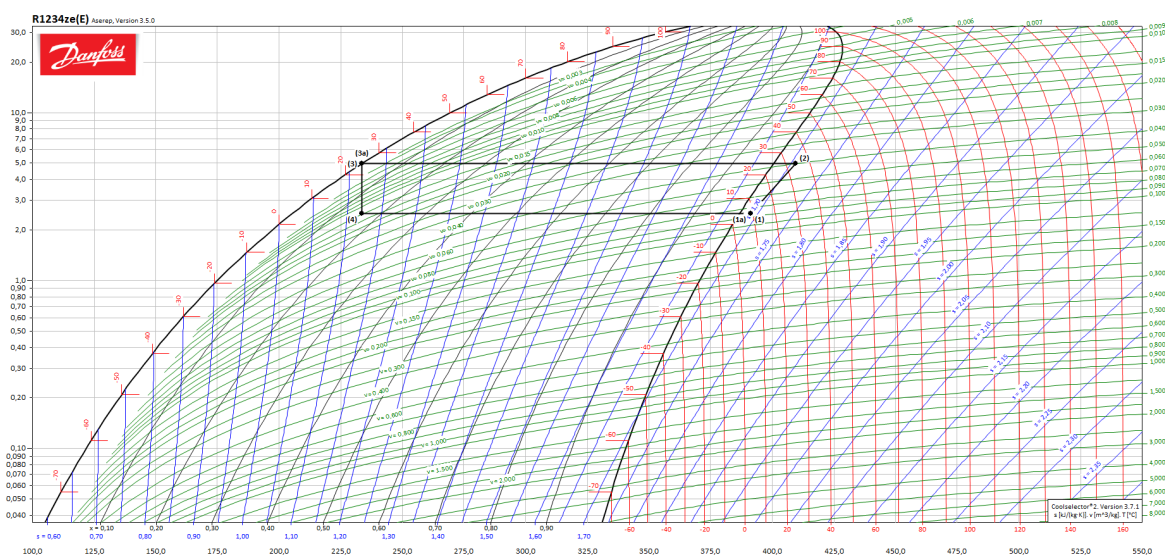
Kõikides arvutustes on merevee erisoojuseks võetud $4,19 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ja tiheduseks 1000 kg/m^3 [20].

Vabajahutuse puhul on mereveele soojus arvestatud keskmise merevee temperatuuri $11 \text{ }^\circ\text{C}$ juures. Soojusvahetisse siseneb vesi temperatuuriga $11 \text{ }^\circ\text{C}$ ja väljub $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Mõlemalt poolelt läheb kaduma 1 K . Soojusvahetite peaksid andma sellistel tingimustel välja võimsuse $30,6 \text{ MW}$. Vastavalt valemile 2.1 saame arvutada soojusvahetite massvooluhulga m . Selleks on $1825,8 \text{ kg/s}$.

Absorptsioonjahutite puhul on kondensaatorite ehk mereveega jahutavate osade võimsuseks $87,5 \text{ MW}$. See number saadakse absorptsioonjahutite puhul kui liita seadme jahutusvõimsus ja sisendina kasutatud võimsus. Ehk meie puhul 50 MW sisendit ja sisend korda COP, mis on väljund. Kokku teeb $87,5 \text{ MW}$. Seadmete pakujate tootelehtedelt on näha, et kondensaatori jahutus töötab absorptsioonseadmetel temperatuurigraafikuga 20/30. Meie vee temperatuuri $11 \text{ }^\circ\text{C}$ tõttu on seadmetele

vajalikud oma pumpade ja 3T ventiilidega väikesed ringid, mis hakkavad hoidma õiget seadmesse sisenevat vee temperatuuri. Vastavalt valemile 2.1 saame arvutada ka absorptsioonjahutite vajaliku merevee massvooluhulga m . Selleks on 1099,1 kg/s.

Elektriliste kompressoritega veejahutite kondensaatorite võimused arvutame Carnot pöördringprotsessi põhjal, mida kujutame logph diagrammil (joonis 3.5, lisa 2). Sinna on joonistatud meie parameetritel töötav ja R1234ZE külmaainet kasutav veejahuti pöördringprotsess. Ringprotsessis on lõigud 4-1 aurustumine, 1-2 komprimeerimine, 2-3 kondenseerumine ja 3-4 drosseldamine. Aurustumistemperatuuriks T_e on valitud 4 °C ja kondenseerumistemperatuuriks T_c 25 °C, mahajahutus 0K ja ülekuumendus 5 K. Meile arvutusteks vajalikud lõigud on 4-1 ja 2-3. Diagramm on koostatud kasutades Danfossi valikuprogrammi Coolselector 2, mille abil saab iga punkti väärtused täpselt määrata. Saadud väärtused on toodud tabelis 3.1. Külmaaine on valitud põhjusel, et tema GWP (Global Warming Potentsial) on 7. Vastavalt Euroopa Liidu määrusele 517/2014 kehtivad külmaainete kasutamise piirangud ning need karmistuvad järgnevate aastatega. Piirama hakatakse kõrge GWP-ga külmaainete kasutamist [21]. Et seda probleemi vältida, kasutan vastavates seadmetes külmaainet R1234ZE, mis nende piirangute alla ei lähe.



Joonis 3.5. R1234ze Logph (lisa 2). Danfoss Coolselector 2.

Kondensaatori võimsuse arvutamiseks on vaja teada veejahutite jahutusvõimust ja entalpiat aurustumisprotsessi alguses ja lõpus (valem 3.1).

$$Q_a = m * (h_1 - h_4), \text{ kW} \quad (3.1)$$

Kus, Q_a – jahutusvõimsus, kW,

m – massvooluhulk, kg/s,
 h_1 – entalpia aurustumise lõpus, kJ/kg,
 h_4 – entalpia aurustumise alguses, kJ/kg.

Selle kaudu saame teada vajaliku massvooluhulga kg/s. selle sama koguse ja kondenseerumise entalpiate põhjal saame ka kondensaatorite võimsused [12]. vajalike ringprotsessi punktide entalpiad on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Logph diagrammi andmed

	1	2	3	4
h, kJ/kg	391,2	409,6	233,7	233,7
t, °C	9	34,2	25	4
P, bar	2,5	5	5	2,5

Valemist 3.1 saama massvooluhulgaks jahutusvõimsuse 29,2 MW puhul 185,4 kg/s. Kasutades seda valemis 3.2 saame kondensaatori võimsuseks 32,6 MW. Kasutades valemit 2.1 saame määrata ka merevee vooluhulga. Tingimusel, et kondensaatori väikesesse ringi siseneva vee temperatuur on 11 °C ja väljuva vee temperatuur on 24 °C, saame merevee vooluhulgaks 598,5 kg/s.

$$Q_k = m * (h_2 - h_3), kW \quad (3.2)$$

Kus, Q_k – kondensaatori võimsus, kW,
 m – massvooluhulk, kg/s,
 h_3 – entalpia kondenseerumise lõpus, kJ/kg,
 h_2 – entalpia kondenseerumise alguses, kJ/kg.

Liites kokku absorptsioonjahutite ja elektriliste kompressoritega veejahutite kondensaatorite võimsused ja vajalikud merevee vooluhulgad, saame tulemuseks:

- Kogu vooluhulk merevee süsteemis 3523,4 kg/s ehk 12684,24 m³/h.
- Kogu merre suunatav soojuslik võimsus 150,7 MW.
- Kui merevee temperatuur on vastavalt joonisele 2 11 °C, siis tagastuv. merevee temperatuur vastavalt valemile 2.1 on 21,2 °C.

3.5 Seadmete elektritarve

Vabajahutuse ehk merevee pumpamise elektrikulu määramiseks on kasutatud Grundfos Eesti veebilehel olevat valikuprogrammi ja müügiinseneri abi, et valida toodete hulgast pump, mis antud tingimustel töotaks. Valituks osutunud pumba elektritarve vooluhulga 999,9 m³/h juures on 215,9 kW (lisa 3). Kasutan neid numbreid, et määrata arvutusteks merevee pumpamise elektri erikulu kW/1000 m³/h kohta. Tulemuseks on merevee pumpamise elektri erikulu 215,9kW 1000 m³/h kohta. Peatükis 3.4.1 toodud vabajahutuse vooluhulk on 1825,8 kg/s ehk 6572,9 m³/h. Sellise koguse merevee pumpamiseks tarbiks pumbad 1419,08 kW.

Absorbtsioonjahutite elektritarve määramiseks kasutan lisa 1. Sellelt on näha, et jahutil on mõned pumbad, mille elektriline võimsus on kokku tagasihoidlikud 14,3 kW. Sellest lähtuvalt kasutan arvutustes elektri erikulu 5,44 kW 1 MW jahutusvõimsuse kohta. Lisaks sellele tuleb arvutada kondensaatori jahutusvee pumpamise elektrikulu. Vastavalt peatükile 3.4.1 on merevee vooluhulk absorptsioonjahutite kondensaatoris 1099,1 kg/s ehk 3956,76 m³/h. Kasutades eelnevas punktis arvutatud elektri erikulu, saame absorptsioonjahutite merevee pumpamise elektrikuluks 854,23 kW. Jahutitele arvestan ka väikese ringi pumbad, mille elektritarbe arvutan Grundfosi valikprogrammi abil (lisa 4). Sellelt selgub, et vooluhulk 350 m³/h tähendab pumba elektritarve 15,42 kW. Absorbtsioonjahuti kondensaatori ring töötab parameetritel 20/30 °C ning võimsuse 87,5 MW juures oleks vooluhulk vastavalt valemile 2.1 7517,89 m³/h. Kasutades eespool toodud pumba võimsust, saame pumpade elektriliseks võimsuseks 331,2 kW. Kokku absorptsioon seadmete elektritarve 1389,43 kW.

Elektriliste kompressoritega veejahutite elektrikulu määramiseks on vaja samuti tootelehtedelt võtta seadme EER, mida arvutustes kasutada. Võtan selleks 7,8. See tähendab, et jahutusvõimsuse 29,2 MW saamiseks on vaja elektrimootorite võimsust 3743,6 kW. Lisaks selle ka merevee kulu kondensaatorites, kui temperatuuride vahe on 13 K. Vooluhulgaks 598,5 kg/s ehk 2154,6 m³/h. Elektri erikulu 215,9 kW/1000 m³ kasutades, saame merevee pumpamise elektrikuluks 465,18 kW. Kondensaatori väikese ringi pumpamise elektrikulu saame arvutada vee temperatuuridel 18/24 °C ning võimsusel 32,6 MW. Vooluhulk väikeses ringis vastavalt valemile 2.1 tuleb 4668,3 m³/h. Pumpamise elektri erikulu 15,42 kW 350 m³/h kohta. Kondensaatori väikese ringi elektrikulu vastavalt valemile 2.1 205,67 kW. Kokku seega elektriliste kompressoritega veejahutite elektritarve on 4414,45 kW.

3.6 Energiatõhususe suhtarv EER

Võttes arvesse eelmises peatükis arvatud seadmete elektritarbimist ja peatükis 3.3.1 toodud jahutusvõimsusi, saame määrata kaugjahutusjaama erinevate tehnoloogiate EER-i.

- Vabajahutuse jahutuvõimsus 30600kW ja elektritarve 1419,08 kW. Seega EER 21,56.
- Absorptsioonjahutute jahutusvõimsus on 37500 kW ja elektritarve 1389,43 kW. Seega EER 26,99
- Elektriliste kompressoritega veejahutite jahutusvõimsus on 29200 kW ja elektritarve 4414,45 kW. Seega EER 6,62.

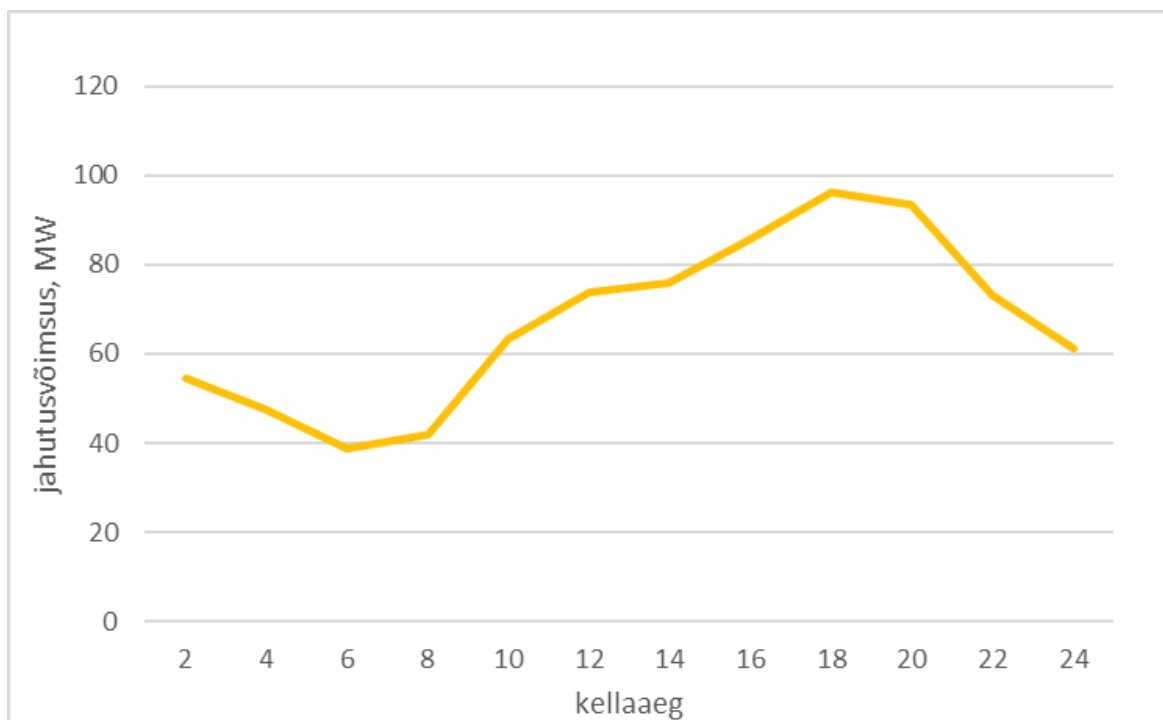
Siit näeme, et elektritarbimise seisukohalt kõige kasulikum oleks töötada absorptsioonseadmetega, seejärel vabajahutus ja ning viimasena kompressoritega veejahutid. Absorptsioonjahutid on kõige efektiivsemad kuna nende elektritarbes ei kajastu sisendi transport.

EER. Jahutusvõimsused ja elektritarbe kokku liites saame kaugjahutusjaama EERiks täisvõimsusel 13,4. Antud EER-id on arvatud, kui kõik seadmed töötavad 100% jahutusvõimsusega. Ilmselt sellist olukorda tihti ei juhtu kuna vastavalt joonisele 3.1 on maksimaalse jahutusvõimsusega tööaeg suhteliselt lühike. Joonist 3.1 kasutades, saab koostada tabeli (tabel 3.2) ja graafiku (joonis 3.6), kus on märgitud kaugjahutusjaama koormus MW-des suvisel ajal ööpäeva jooksul.

Tabel 3.2. Kaugjahutusjaama koormus ööpäevas

tunnid	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
jahutuskooormus, %	56	49	40	43	65	76	78	88	99	96	75	63
jahutusvõimsus, MW	54,5	47,7	38,9	41,8	63,2	73,9	75,9	85,6	96,3	93,4	73,0	61,3
vabajahutus, MW	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6
absorptsioon, MW	23,9	17,1	8,3	11,2	32,6	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	30,7
el. Veejahutid, MW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	7,8	17,5	28,2	25,3	4,9	0,0

Tabelist 3.2 ja jooniselt 3.6 on näha, et elektriliste kompressoritega veejahutid töötavad kuumal ajal ainult mõned tunnid päevas ja enamuse tööst teevad ära vabajahutus ja absorptsioonseadmed. See tähendab, et kaugjahutusjaama EER ei ole enamuse ajast 13,4, mis on maksimaalse koormuse korral.



Joonis 3.6. Kaugjahutusjaama koormus.

Kasutades antud peatükis arvutatud seadmete elektritarvet kogu võimsuse kohta, saame välja arvutada erinevate jahutite ja vabajahutuse elektri erikulu kW/MW kohta:

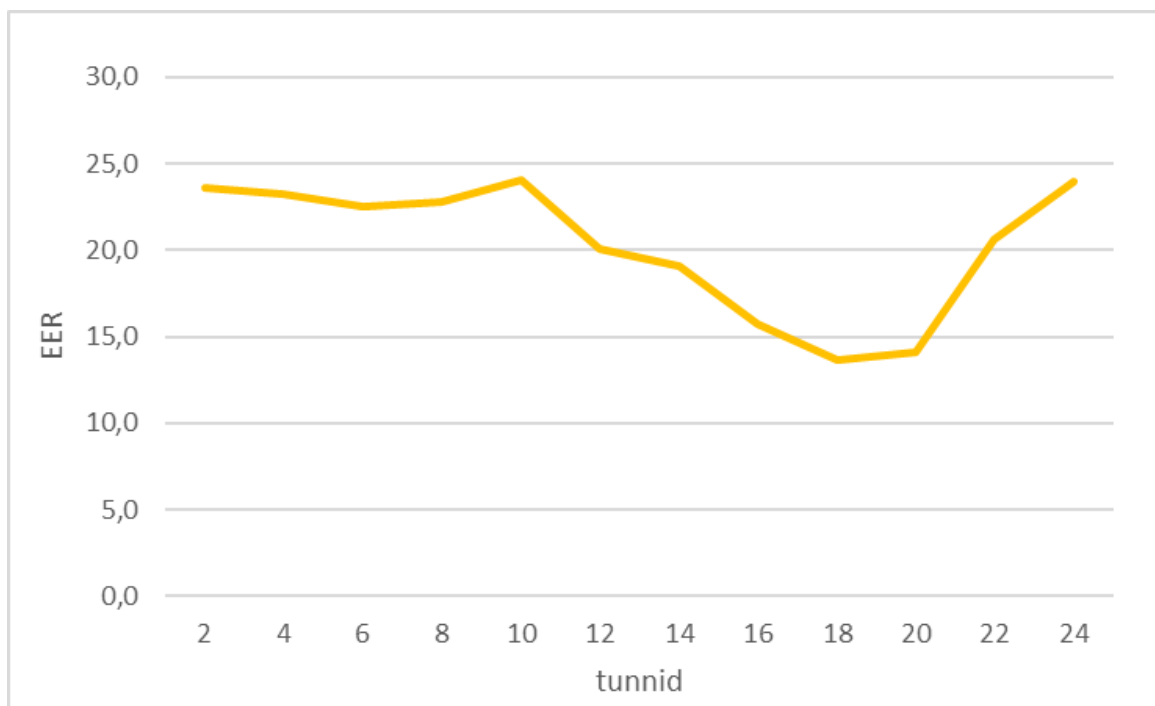
- Vabajahutus 30,6 MW jahutusvõimsust elektritarbimisega 1419,08 kW. Elektri erikulu 46,37 kW elektrit 1 MW jahutuse kohta.
- Absorbtsioon. 37,5 MW jahutust elektritarbimisega 1389,43 kW. Erikulu 37,05 kW/MW
- Elektriliste kompressoritega veejahutid. 29,2 MW jahutust elektritarbimisega 4414,45 kW. Erikulu 151,18 kW/MW.

Kasutades arvutatud elektri erikulu kW/MW kohta ja tabelis 3.2 toodud jahutusvõimsusi, saame koostada tabeli elektrikuludega seadmete kohta (tabel 3.3) ning arvutada selle kaudu tunnipõhise EER-i suvisel ajal ööpäevas.

Tabel 3.3. Tunnipõhine elektritarbimine.

jahutusvõimsus, MW	54,5	47,7	38,9	41,8	63,2	73,9	75,9	85,6	96,3	93,4	73,0	61,3
vabajahutus, kW	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08	1 419,08
absorbtsioon, kW	885,1	632,7	308,3	416,4	1 209,5	1 389,4	1 389,4	1 389,4	1 389,4	1 389,4	1 389,4	1 137,4
el veejahutid, kW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	876,8	1 178,3	2 649,3	4 267,4	3 826,1	737,0	0,0
EER	23,6	23,2	22,5	22,8	24,1	20,1	19,0	15,7	13,6	14,1	20,6	24,0

Ööpäevane EER-i muutumine kujutatud graafikuna joonisel 3.7.



Joonis 3.7. EER ööpäevas

3.6.1 EERi sõltuvus merevee temperatuurist

Kaugjahutusjaama maksimaalne võimsus ja EER on arvutatud keskmise merevee temperatuuriga 11 °C vastavalt joonisele 1.2. Vastavalt peatükile 3.4.1 peaksime pumpama merevett 12684,24 m³/h temperatuuride vahel 10,2 K. Merevee süsteemi võimuseks oleks sellistel tingimustel 150,7 MW. Kui merevee temperatuur peaks muutuma, omab see ka suurt mõju kaugjahutusjaama tööle. Kui merevee temperatuur hakkab langema alla 11 °C, siis sama võimsuse saamiseks peaksime pumpama vähem merevett. Tabelis 3.4 on toodud merevee temperatuuri mõju vooluhulgale.

Tabel 3.4. Merevee temperatuuri mõju pumpamisele.

merevee temp, °C	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
Δt	17,21	16,21	15,21	14,21	13,21	12,21	11,21	10,21
võimsus, MW	150,69	150,69	150,69	150,69	150,69	150,69	150,69	150,69
vooluhulk, m ³ /h	7 524,33	7 988,59	8 513,92	9 113,19	9 803,22	10 606,30	11 552,70	12 684,54

Kui merevee temperatuur hakkab tõusma, mõjutab see kõige rohkem vabajahutuse võimsust. Võttes aluseks, et peatükis 3.5 toodud vabajahutuse vooluhulk 6572,9 m³/h on maksimaalne vooluhulk, mida saame läbi soojusvahetite pumbata, hakkab tõusva

merevee temperatuuriga vabajahutuse võimsus ja ka kogu kaugjahutusjaama võimsus langema. Tabelis 3.5 on toodud merevee temperatuuri tõusu mõju vabajahutuse ja kogu kaugjahutusjaama võimsusele.

Tabel 3.5. Vabajahutuse ja kaugjahutusjaama võimsus merevee tõusu puhul.

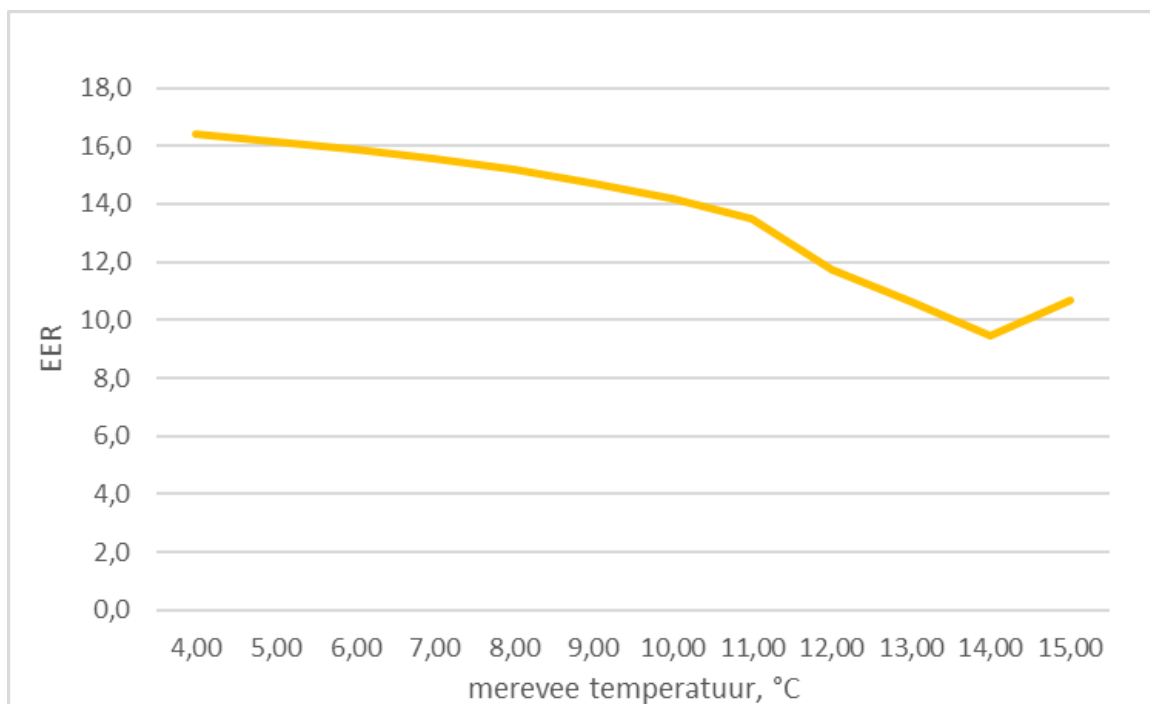
merevee temp, °C	11	12	13	14	15
vooluhulk, m ³ /h	6572,9	6572,9	6572,9	6572,9	6572,9
Δt	4,0	3,0	2,0	1,0	0,0
vabajahutuse, MW	30,6	23,0	15,3	7,7	0,0
kogu jaam, MW	97,3	89,7	82,0	74,4	66,7

Saame ka arvutada erinevatel merevee temperatuuridel seadmete elektritarbimised ja läbi selle ka EER-i. Tabelis 3.6 on toodud erinevate jahutusseadmete elektritarbimised merevee temperatuuridel ja vastavalt ka EER.

Tabel 3.6. Elektritarbimised erinevatel merevee temperatuuridel.

merevee temp, °C	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
absorptsioon, kW	1159,3	1184,2	1211,3	1240,7	1272,8	1307,9	1346,6	1389,3	1436,7	1489,8	1549,4	1617,1
el.veejahutid, kW	4251,6	4267,5	4285,2	4305,0	4327,2	4352,4	4381,2	4414,4	4453,2	4499,0	4554,0	4621,2
vabajahutus, kW	516,0	567,6	630,7	709,5	810,9	946,0	1135,3	1419,1	1745,7	1745,7	1745,7	0,0
EER	16,4	16,2	15,9	15,6	15,2	14,7	14,2	13,5	11,7	10,6	9,5	10,7

Kuna merevee langedes hakkab pumpamise kulu vähenema, hakkab iga langeva merevee temperatuuri kraadiga tõusma kaugjahutusjaama EER. Tõustes üle 11 °C hakkab lisaks merevee pumpamise kulule vähenema ka vabajahutuse ja kogu kaugjahutusjaama võimsus. Kuna muutuvad nii merevee pumpamise kulu kui ka kaugjahutusjaama võimsus, on näha EER-i kiiremat langust alates temperatuurist 11 °C-st kõrgemate puhul. Joonisel 3.8 on merevee temperatuuri mõju EER-ile kujutatud ka graafiliselt. Tabeli koostamisel on lähtutud peatükis 3.4.1 ja 3.5 tehtud arvutustest. Jooniselt on näha, et merevee temperatuuri tõustes langeb EER. Alates temperatuurist 15°C EER mõnevõrra tõuseb kuna vabajahutuse vooluhulk on null ja pumpamise kulu väheneb. Kaugjahutusjaama võimsuseks on sellisel juhul 66,7 MW ja EER-iks 10,7. Tegemist on EER-iga, kui kaugjahutusjaam töötab täiskoormusel.



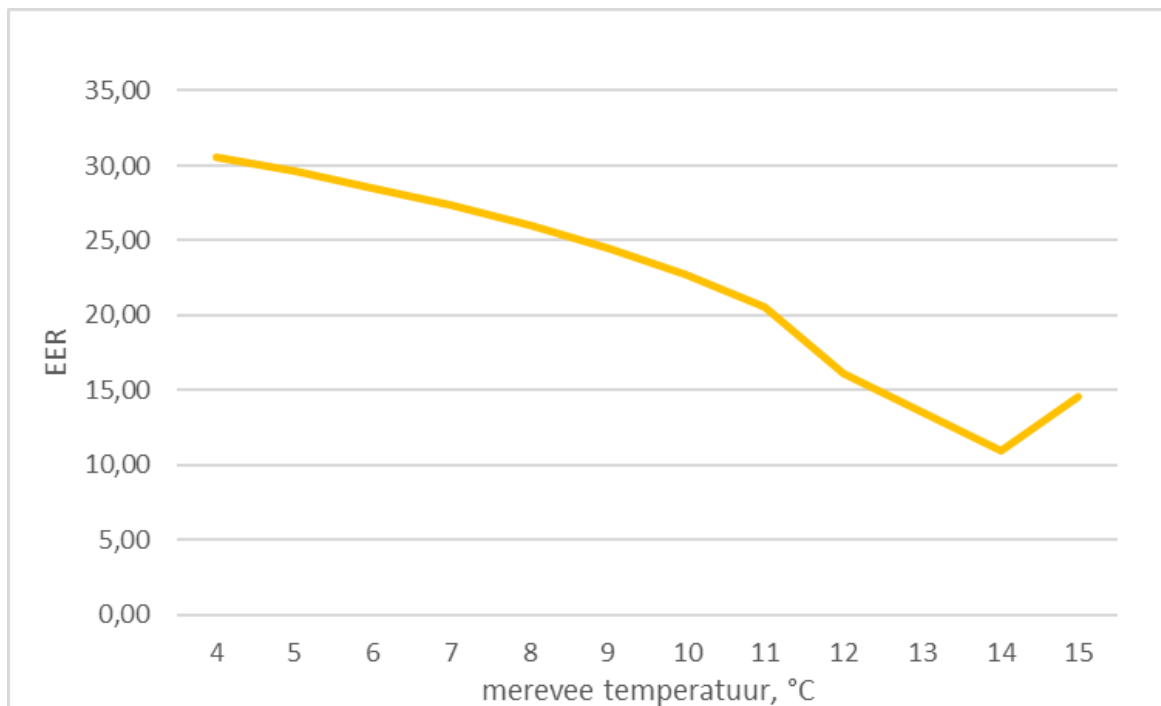
Joonise 3.8. EERi sõltuvus merevee temperatuurist

Kui keskmise suveilmaga töötab kaugjahutusjaam keskmiselt 75% jahutusvõimsusega, siis süsteemi EER ka muutub, kuna tipukoormuse jahutid on kõige kehvema EERiga. Tabelis 3.7 on toodud kaugjahutusjaama EER 75% jahutuskooormusega erinevatel merevee temperatuuridel.

Tabel 3.7. Osalise koormusega kaugjahutusjaama EER

merevee temp, °C	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
absorptsioon, kW	1159,27	1184,25	1211,30	1240,70	1272,78	1307,91	1346,56	1389,27	1436,73	1489,77	1549,45	1617,08
el.veejahutid, kW	709,98	712,64	715,61	718,91	722,64	726,86	731,68	737,25	743,74	751,41	760,62	771,87
vabajahutus, kW	516,02	567,63	630,70	709,53	810,89	946,04	1135,25	1419,07	1745,70	1745,70	1745,70	0,00
EER	30,59	29,61	28,53	27,34	26,00	24,48	22,71	20,58	16,15	13,51	10,93	14,56

EER-i muutust on graafiliselt kujutatud ka joonisel 3.9.

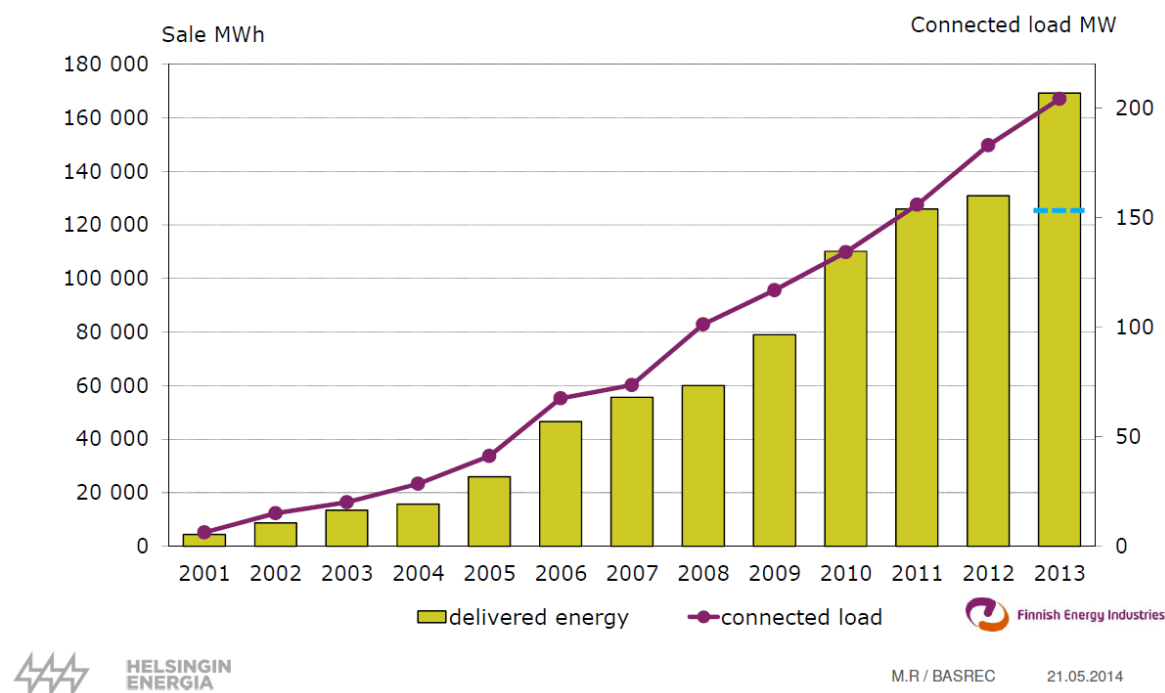


Joonis 3.9. Osalise koormuse EERi sõltuvus merevee temperatuurist.

3.7 Keskkonnasääst

Tallinna kesklinna kaugjahutusjaama keskkonnasäästlikust hindan CO₂ heitmete vähenemise ja primaarenergia säästu läbi. Selleks on vaja tead, kui suur oleks kaugjahutusjaama aastane energia toodang. Kuna kaugjahutusvõrgustik jahutusjaamale on tehtud hinnates potentsiaalsed vajalikku jahutusvõimsust läbi erisoojuskooormuse W/m², siis reaalseid mõõdetud võimsuste ja tarbimiste andmeid arvesse võetud ei ole. See tähendab, et kasutan aastase jahutuse toodangu hindamiseks teiste analoogsete süsteemide saadaolevaid andmeid meie lähiümbruses. Joonisel 3.10 on toodud Helsingin Energia esitluses andmed kaugjahutuse võimsute ja aastase toodangu kohta erinevatel aastatel. Tegemist on välistemperatuurist sõltuva koormusega ning seetõttu on erinevate aastate suhtarvud MWh 1 MW kohta ka erinevad. Jagades aastase toodangu ühendatud võimsusega saame tulemuseks umbes 800 täiskooormustundi 1 MW kohta. Seda suhtarvu kasutan Tallinna kaugjahutusjaama aastase toodangu prognoosimiseks. Korrutades meie jahutusvõimuse 97,3 MW 800 tunniga saame aastaseks toodanguks 77840 MWh.

Delivered District Cooling energy and connected load



Joonis 3.10. Helsingi kaugjahutus [22]

CO₂ heitmete vähenemise ja primaarenergia kasutuse hindamiseks on meil vaja teada, kui palju elektrienergiat kaugjahutusjaam 77840 MWh tootmiseks tarbiks. Selleks tuleb meil valida SEER ja jagada aastane kogutoodang SEER-iga. Valima peaks SEER-i, mis ei oleks täiskoormuse puhul, vaid 75% võimsusega ja merevee temperatuuriga 11 °C. Täiskoormuse SSEER ei annaks õiget tulemust, kuna täiskoormusel töötab kaugjahutusjaam harva. Põhiline tootmine tehakse SEER-iga 20,58 vastavalt tabelile 3.9. Seega kaugjahutus kasutab 77840 MWh tootmiseks 3782 MWh elektrit. Lisaks sellele oleks võrdluseks vaja teada, kui palju kasutaks sama koguse jahutusenergia tootmiseks lokaalsed jahutusseadmed. Neid võib olla väga erinevaid ning ka erinevate EERi-dega. Kasutan arvutustes määruks „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ toodud kompressor-külmamasina jahutustegurit 3,5 [23]. Sellisel juhul saame lokaalsete seadmete puhul sama koguse jahutusenergia tootmiseks vajaliku energiahulga, milleks on 22240 MWh. Lokaalse ja kaugjahutuse elektrienergia tarbimiste vahe on 18458 MWh aastas.

CO₂ heitmed. Kasutades aastal 2018 arvutatud CO₂ erihte tegurit 1,12 tCO₂/MWh aasta 2016 kohta [24], saame arvutada potentsiaalse CO₂ heitmete vähenemise aastas. Selleks on 20672 tCO₂ aastas. Arvutades heitmete vähenemise ümber protsentideks

saame tulemuseks 83%. Jõuame järeldusele, et rakendades Tallinna kesklinna jaoks koostatud kaugjahutuse arengukava, saavutaksime olemasolevate jahutustehnoloogiatega võrreldes 83%-ilise CO₂ ja primaarenergia tarbimise säästu.

Võrdlus autodega. Võttes aluseks Amservi kodulehel olevad andmed Toyota Corolla hübriidi CO₂ emisiooni 113 g/km, saame võrdluseks tuua, kui palju kilomeetreid meie vähendatud CO₂ heitmetega saaks sõita. Selleks on 182 938 053 kilomeetrit hübriidiga. Arvestades, et keskmine auto sõidab 20 000 km aastas, võrdub see 9146 auto aastase läbisõiduga.

4 Tulemuste analüüs ja arutelu

4.1 Kaugjahutusjaama rajamine Tallinnas

Peatükis 1.5 käsitletud kaugjahutustehnoloogiatest sobiksid Tallinna kesklinna kaugjahutusjaama kõige rohkem vabajahutus merest, madalatemperatuurilist jääksoojust kasutavad absorptsioonseadmed ja tipukoormuse kiiremaks reguleerimiseks efektiivsed tsentrifugaalkompressoritega veejahutid. Mereäärse linnana peab ära kasutama merevee jahutuspotentsiaali. Teiseks peaks ära kasutama ka Tallinnas hästi toimivat kaugkütte süsteemi, kuhu suvisel aja toodetakse sooja koostootmisjaamades biomassi põletades. Selle soojuse saame muundada absorptsioonseadmete jahutuseks. Vabajahutus merest ja absorptsioon tähendavad ka, et see osa kaugjahutusest oleks ka taastuvast allikast. Tipukoormuse katmiseks kasutaksin elektrilisi veejahuteid tsentrifugaalkompressoritega, kuna nende käivitamine ja opereerimine on kiire ja lihtne.

Kaugjahutustehnoloogiatest jätan välja soojuspumbad ja energiasalvestuse. Soojuspumpadel ei tundu olevat mõtet toota sooja kaugküttevõrku olukorras, kus kasutame kaugküttevõrgust jääksoojust, et jahutust toota. Praeguses olukorras soojuspumpasi kasutada ei ole mõtet, kuid tulevikus võib see muutuda ning soojuspumbad võivad olla suvel väga vajalikud. Samuti jäi tehnoloogiast välja energiasalvestus. Joonisel 3.2 toodud tüüpilise tarbija profiili järgi küll eksisteerib päevasel ajal 6 tunnine piik, mille saaks katta lühiajalise energiasalvestusega, kuid võimalusi arvestades, ei ole energiasalvestuse välja ehitamine mõistlik erinevatel põhjustel:

- Salvestuseks on vaja ruumi ja kesklinna piirkonnas on ruumi väga raske leida
- Energiasalvestuse puhul oleks mõistlik kasutada jääpankasid. Need vajavad aga eraldi jahutusseadmeid ning see tähendab, et peaksime leidma ruumi nii jääpankadele kui seadmetele. Lihtsam oleks jääpangad ära jätta ja paigaldada lihtsalt seadmed

Kaugjahutusjaama asukoht. Joonisel 2.1 kujutatud eeldatavale kaugjahutusvõrgule kaugjahutusjaama rajamisele asukoha leidmisel osutus joonisel 2.2 toodud roheline ala. Peatükis 2.3 analüüsitud erinevates piirkondadest ja kinnistutest osutus roheline ala, mille peamised võimalused on Põhja pst 35 ja Kalasadama 10, kuna ta omab teiste ees eeliseid:

- Piirkond asub eeldatava kaugjahutusvõrgu ääres.

- Piirkond on mere ääres ja ligipääs mere on lihtne.
- Piisava sügavusega vesi on oluliselt lähemal.
- Piirkonnale lähedal on ka piisava läbimõõduga kaugkütte magistraaltoru, et transportida jääksoojust kaugjahutusjaama sisendiks.

Kaugjahutusjaama rajamise periood. Perioodi pikkuseks arvestan 15 aastat, kuna Tallinna kesklinnas nii suuremahuline trasside paigaldus ei ole kergelt teostatav. See sõltub palju ka teede ja tänavate rekonstrueerimise kavast. Tekib olukord, kus teatud piirkondadesse, kuhu kaugjahutustrassiga oleks kliendi tõttu vaja minna, jääb minemata, kuna trasse paigalda ei saa. Selletõttu jääb klient liitmata. Uus võimalus klient liita tekib siis, kui kaugjahutustrass paigaldatakse ja kui kliendi lokaalsed seadmed on jõudnud amortiseeruda. Kaugjahutuse rajamise takistuste tõttu on mõistlik arvestada kohe alguses pikema perioodiga. Nii ei teki iga takistuse tõttu ka kaugjahutuse rajamise plaani kohe suurt tagasilööki, vaid üks võimalus libises käest ning teine võimalus tuleb veel enne, kui ettenähtud aeg otsa saab.

4.2 Kaugjahutusjaama tehnoloogiline lahendus

Kaugjahutusjaama tehnoloogiline lahendus on koostatud lähtudes võimalustest kasutada ära vabajahutust merest ja koostootmises tekkivat jääksoojust. Lähtudes peatükist 3.3 tuleb 70% kaugjahutusjaama võimsusest just nendest kahest allikast. Vabajahutus merest on taastuenergia allikas ning biomassi põletamisel koostootmisjaama tekkiv jääksoojus samuti. Vabajahutus merest on taastuenergia allikas ja koostootmise jääksoojuse kasutamine on töö koostootmise režiimis. Nende kahe tehnoloogia abil saavutaks kaugjahutusjaam ka tõhusa kaugjahutuse märgise. Tõhus kaugjahutus on defineeritud kui „kaugkütte- või kaugjahutussüsteem, mis kasutab vähemalt 50 % taastuenergiat, 50 % heitsoojust, 75 % koostoodetud soojust või 50 % sellise energia ja soojuse kombinatsiooni“ [25]. Valitud tootmislahendusega õnnestuks saavutada tingimus 50% kombinatsiooni ja sellega ka tõhusa kaugjahutuse primaarenergia kaalumistegur 0,2 [26]. See on kõige tõhusam hoonete jahutusviis ja energiatõhususarve arvutamisel saavad projekteerija ka seda kasutada ning selle abil saavutada paremaid tulemusi.

Riskid kaugjahutusjaama tehnoloogiaga. Kaugjahutusjaamale on vastavalt peatükile 3.3 valitud erineva jahutusvõimusega tootmisüksuseid, et tagatud oleks kaugjahutusjaama võimalikult efektiivne koormus erinevatel koormustel. Ühtlasi tõstab selline valik ja tootmisüksuste paralleelne ühendamine ka varustuskindlust, kuna ühe seadma rike ei mõju kogu kaugjahutusjaama palju. Vaatamata sellele, jääb üks riskikoht, mida maandada antud kaugjahutusjaama puhul on väga raske – merevee süsteem. Lisaks vabajahutusele on ka seadmete jahutus merevee pealt. Kui merevee pumpadest mõned on reservpumbad, et rikete puhul ei tekiks probleemi, siis võimalik rike merevee toruga tähendab kogu jaama seiskumist. Võimalik oleks kaugjahutusjaama katusele panna jahutustorne, et tagada jaama töö merevee süsteemi rikke korral, kuid jahutustornide võimsus oleks väga suur ja tekib tõenäolist ka paigalduse probleem, eriti kesklinnas. Merevee toru paigaldusega tuleks vältida kõiki võimalikke ohte, mis isegi teoreetiliselt võiksid halvata süsteemi normaalset tööd.

Jääksoojus. 37,5 MW 97,3 MW-st on kaugjahutusjaamas planeeritud toota koostootmise jääksoojusest. Riskikoht teenusepakkuja jaoks on koostootmise jätkusuutlikkus pikas perspektiivis. Kas koostootmine jätkub aastakümneid ja jääksoojus on jahutushooajal pidevalt saada? Kui ei, siis võib tekkida olukord, kus kõik absorptsioonseadmed tuleb välja vahetada ja kogu kaugjahutusjaama kontseptsioon muutub.

4.3 Kaugjahutusjaama efektiivsus

Kuna kaugjahutusjaam kasutab merevett nii energiakandja kui seadmete jahutamiseks, on merevee temperatuur väga oluline. EER-i sõltuvust merevee temperatuurist näeme joonisel 3.8, kus on toodud EER täisvõimsusel. Näeme, et merevee temperatuuri langedes EER tõuseb ja merevee temperatuuri tõustes EER langeb. Selline olukord tekitab mõned riskikohad:

- Merevee keskmine temperatuur 20 m sügavusel kujuneb suvisel ajal soojemaks, kui andmed väidavad. Sellega seoses langeb kogu jaama EER ning ka jahutusvõimsus, kuna vabajahutuse võimsus väheneb iga kraadiga üle 11 °C. Tekib küsimus, milline on maksimaalne jahutusvõimsus, mida teenusepakkuja on valmis tagama?

- Merevee keskmised temperatuurid on sellised, mis tagavad kaugjahutusjaama töö arvutuslikel tingimustel. Probleem võib tekkida aga tihedas laevaliikluses merevee toru lähedal. On oht, et laevad hakkavad merevett keerutama ning temperatuurid võivad olla ettearvamatud. Kaugjahutusjaama töö muutub ebastabiilseks.

4.4 Kaugjahutuse mõju keskkonnavalastele eesmärkidele

Punktis 1.3 püstitatud väitele, et kaugjahutus aitab kaasa nii ENMAK-i kui SEAP-i eesmärkidele leidsime magistritöö käigus ka kinnituse. Läbi kaugjahutuse kõrge SSEER-i tekib sääst CO₂ heitmetelt ja primaarenergia kasutuselt. Peatükis 3.7 arvatud sääst oleks 83% võrreldes lokaalsete lahendustega. Selline sääst aitab kaasa seatud eesmärkidele:

- kasutada rohkem taastuenergia allikaid.
- Vähendada CO₂ heitmeid.
- Vähendada energia lõpptarbimist.

KOKKUVÕTE

Kaugjahutuse roll tänapäeval on väga tähtis, kuna hoonetele otsitakse tõhusaid terviklahendusi, mis tagaksid õige sisekliima iga ilmaga igal aastajal. Sellisel olukorras on Tallinnas vajalik välja arendada kaugjahutusvõrgustik ja luua kaugenergia terviklahendus, et tagada kaugkütte jätkusuutlikkus. Kaugjahutust arendatud Põhja-Euroopas juba paarkümmend aastat ning Eestis viis aastat. Esimesena rajati kaugjahutusvõrk Tartusse ja hiljuti ka Pärnusse. Aeg on Tallinnas teha sama ja töötada välja kaugenergia terviklahendus.

Magistritöös käsitleti jahutustehnoloogiad, millega on võimalik kaugjahutusjaam rajada. Võttes arvesse Tallinna geograafilist asukohta ja muid kohapeal olevaid võimalusi, pakuti magistritöö välja tehnoloogilise lahenduse. Parim võimalus kaugjahutuseks Tallinna kesklinnas oleks mereäärse linnana kasutada vabajahutust merest. Teise hea võimalusena on Tallinnas saadaval suvisel ajal palju koostootmisjaamade jääksoojust. Jääksoojust saab absorptsioonjahutitega muundada jahutuseks. Magistritöös pakuti välja tehnoloogiline kontseptsioon, mis koosneb vabajahutusest, absorptsioonseadmetest ja tipukoormuse reguleerimiseks elektrilistest veejahutitest.

Kaugjahutuse potentsiaali hindamiseks võeti magistritöös sisendiks AS Utilitas Tallinna poolt koostatud eeldatav kaugjahutuse kaotusvõrgustik. Selle abil määrati maksimaalne vajalik jahutusvõimused ja otsiti kaugjahutusjaamale sobiliku asukoht. Kuna kaugjahutusjaamal peaks olema hea ligipääs mereveele ja kaugkütte trassidele, siis nende kriteeriumite alusel jõuti järeldusele, et sobiv asukoht kaugjahutusjaamale Tallinna kesklinnas oleks Tallinna Linnhallist vasakul tühjadel kinnistutel.

Koostatud tehnoloogilisele kontseptsioonile tehti magistritöös analüüs, et aru saada täpsemalt, millise efektiivsusega kaugjahutusjaam töötaks. Kasutati merevee keskmisi temperatuure 20 m sügavusel, et määrata kaugjahutusjaama EER, milleks täiskoormusel on 13,4. Võeti arvesse merevee temperatuuri kõikumist nii üles kui ka alla poole ning selle mõju kaugjahutusjaamale. Toodi välja merevee temperatuuri mõju EER-ile nii täis kui osalisel koormusel. Jõuti järeldusele, et keskmisel koormusel töötaks kaugjahutusjaam EER-iga 20,58 ning merevee temperatuuri langedes alla keskmise temperatuuri 11 °C võib EER veelgi tõusta. Seda võrreldi lokaalsete seadmetega ja leiti potentsiaalne CO₂ heitmete ja primaarenergia sääst. Säästuks arvutati töös 83%. Selline märkimisväärne sääst ühes energeetika valdkonnas on suur muutus rohelisemaks ja keskkonnasõbralikumaks.

SUMMARY

District cooling play an important role nowadays, because building require efficient indoor climate solutions that can provide the building with needed energy in every wheather and season. In these conditions Tallinn need a district cooling network for a complete district energy solution to ensure the future on district heating. District cooling has been developed in North Europe for couple of decades and in Estonia for 5 years. In Estonia first district cooling network was built in Tartu and recently district cooling network was also built in Pärnu. It is time for Tallinn to do the same and create a district energy solution.

Thesis describes technologies that can be used to built a district cooling station. Taking into account geographical location of Tallinn and possibilities that Tallinn can provide, thesis presented a technological solution. Best technology for district cooling in Tallinn, as a seaside city, is to use free cooling from the sea. Second good option is to use waste heat from cogeneration. This heat can be used to drive absorption chillers. Thesis presented a technological solution that uses free cooling, absorption chillers and electrical chillers for peak demand.

To evaluate to potential need for district cooling in Tallinn, thesis used input data from AS Utilitas Tallinn, who has developed a potential district cooling network. The data was used to calculate the maximum cooling capacity and to find a location for the station. The district cooling station should have an easy access to the sea and district heating pipes. Using these two as a criteria, thesis concluded that the best location for the district cooling station in Tallinn is empty area on the left side of concert hall Tallinna Linnahall.

Presented technological concept was analyzed for understanding how efficiently district cooling station would work. To calculate the EER, average seawater temperatures in the depth of 20 m were used. Full load EER was calculated 13,4. Variations in the seawater temperatures were taken into account in EER calculations. Seawater temperature effect on the EER was described in full load and partial load. Conclusion was, that the EER in average load would be 20,58 and if the seawater temperature would fall below an average 11 ° C, the EER can be higher. This was compared with alternative localized cooling solutions and CO₂ and primary energy saving were calculated. Calculations showed 83% savings. This is a big saving in one field of energetics that helps Tallinn take a step towards greener and more environmentally friendly city.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] E. Parlamendi, J. A. Nõukogu, and D. El, "EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV (EL) 2018/2001, 11. detsember 2018, taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta (uuesti sõnastatud)," 2018.
- [2] Alaa A. Olama, „District Cooling. *Theory And Practice*", CRC Press, 2017
- [3] AREA, "How to Approach District Cooling," no. January, 2014.
- [4] A. R. Magnus Swedblom, Anders Tvärne, Henrik Frohm, "District Cooling Showcases in Europe," *Rep. by RESCUE Renew. Smart Cool. Urban Eur.*, 2015.
- [5] V. Valitsuse, "Kaugkütteseadus," no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [6] V. Valitsuse and V. Valitsusele, "„Energiamajanduse arengukava aastani 2030“ koostamise ettepanek," no. 285, pp. 1–17, 2013.
- [7] T. Linnavolikogu and T. Vitsut, "Tallinna säästva energiamajanduse tegevuskava aastateks 2011-2021," no. 193, pp. 1–54, 2015.
- [8] M. Raud, "Kaugjahutus Tartus ja Pärnus . •," pp. 1–12, 2020.
- [9] A. Ots, "Soojustehnika aluskursus," vol. 3, no. September, 2007.
- [10] <http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/ilmajutud/merevee-temperatuur-tallinna-lahes/>
- [11] <http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimakaardid/>
- [12] E. Kaappola, A. Hirvelä, M. Jokela, J. Kianta, "Külmatehnika alused", Eesti Külmaliiit, 2014
- [13] <https://www.johnsoncontrols.com/>
- [14] YORK, "Design Conditions Datasheet Design Conditions Datasheet," vol. 0025, pp. 3–5, 2016.
- [15] H. Gadd and S. Werner, *Thermal energy storage systems for district heating and cooling*, no. 2004. Woodhead Publishing Limited, 2015.
- [16] <https://www.citylab.com/solutions/2016/08/to-beat-the-heat-high-tech-ice/498131/>

- [17] <https://gis.vta.ee/nutimeri/>
- [18] Riigikogu, "Keskkonnamõju hindamise ja keskkonnajuhtimissüsteemi seadus," pp. 1–31, 2011.
- [19] „Soojustehnika käsiraamatust“, 1977.
- [20] V. Valitsus, "Tegevusvaldkondade , mille korral tuleb anda keskkonnamõju hindamise vajalikkuse eelhindang , täpsustatud loetelu 1," pp. 6–11, 2020.
- [21] E. Parlamendi, J. A. Nõukogu, and M. EI, "EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU MÄÄRUS (EL) nr 517/2014," no. 517, pp. 195–230, 2014.
- [22] Eklund, Marko Riipinen, Turo, "*District Cooling in Finland*", Helsingin Energia, 2014
- [23] V. Valitsuse, " Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika", 2019.
- [24] E. Latõšov, "Elektri ja kaugkütte CO 2 eriheidete tegurid." 2018
- [25] E. L. Teataja, "EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2012/27/EL," pp. 1–56, 2012.
- [26] A. Rt, "Hoone energiatõhususe miinimumnõuded," no. 6, pp. 1–8, 2019.

5 LISAD

Lisa 1. Absorbtsioonjahuti andmeleht



Design Conditions Datasheet

Unit Tag	Qty	Model No	Cooling Capacity (kW)	Nominal Voltage	Working Fluid
CH-1	1	YHAU-CL900EXW2S	2627.0	400-3-50.0	LiBr - H ₂ O

PIN:

YHAUCL900	900EXW2S	XXXXXXX	XXXXXXS020	203XXXXXGG	PCCCDD424	XXXXXSS8X1	XXXXXXSXXX	XXXXXXSXXX
....5....10	5....20	5....30	5....40	5....50	5....60	5....70	5....80	5....90

Evaporator Data		Absorber / Condenser Data	
Fluid Volume (m ³)	1.35	Fluid Volume (m ³)	2.25
Evaporator Passes	2	Absorber / Condenser Passes	2
Fluid Pipe Diameter (Inlet / Outlet) (mm (in))	250 (9.8) / 250 (9.8)	Fluid Pipe Diameter (Inlet / Outlet) (mm (in))	350 (13.8) / 350 (13.8)
Max. Working Pressure (Bar(g))	20 or less	Max. Working Pressure (Bar(g))	10 or less
Entering Fluid Temperature (°C)	12	Entering Fluid Temperature (°C)	30
Leaving Fluid Temperature (°C)	7	Leaving Fluid Temperature (°C)	35
Flow (m ³ /h)	451.8	Flow (m ³ /h)	1054.2
Pressure Drop (kPa)	43	Condenser Pressure Drop (kPa)	85
Fluid	Water	Fluid	Water
Fouling Factor (m ² K/kW)	0.018	Fouling Factor (m ² K/kW)	0.044
COP Cooling	0.75	Amount of Heat (kW)	6129

Driving Heat Source Data	
Source	Hot Water
Fluid Volume (m ³)	1.07
Amount of Heat (kW)	3502.2
Entering Fluid Temperature (°C)	90
Leaving Fluid Temperature (°C)	80
Flow (m ³ /h)	310.1
Pressure Drop (kPa)	64
Fluid	Water
Fouling Factor (m ² K/kW)	0.018
Driving Heat Source Passes	3
Capacity Control Range (%)	20 - 100
Fluid Pipe Diameter (Inlet / Outlet) (mm)	350 (13.8) / 350 (13.8)
Max. Working Pressure (Bar(g))	20 or less

Electrical Data	
Total Electrical Consumption (kW)	14.3
Total Electrical Input (kVA)	17.8
Solution Circulation Pump kW + Solution Spray Pump kW	5.5+2.2
Refrigerant Pump kW	1.3
Vacuum Pump kW	0.8
Physical Data (Approximate)	
Shipping Weight (kg)	25900
Operating Weight (kg)	31200
Emergency Weight (kg)	52300
Overall Length (mm)	7300
Overall Width (mm)	2750
Overall Height (mm)	3300
Flange Type (Evaporator)	DIN PN25
Flange Type (Absorber/Condenser)	DIN PN10
Flange Type (Driving Heat Source)	DIN PN25
Insulation Area Cold (m ²)	36
Insulation Area Hot (m ²)	38
Tube Extracting Space (mm)	6300

Notes:

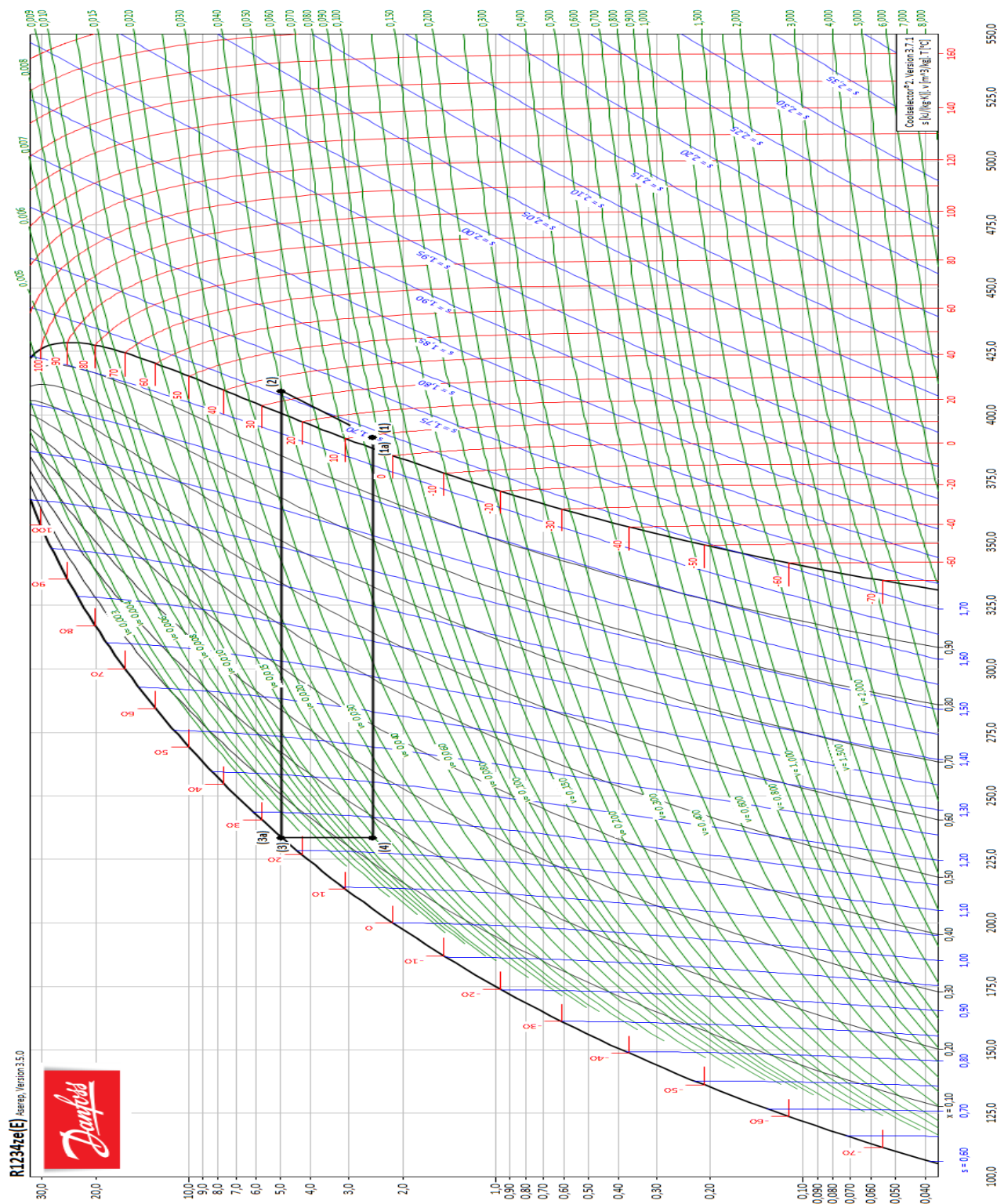
This Rating is in accordance with GB standard (Hot Water - GB/T 18431(2014), Steam - GB/T 18431(2014), Direct Fired - GB/T 18362(2008)).

This equipment shall be manufactured based on GB standard, CE(MAD, EMC and PED, as applicable).

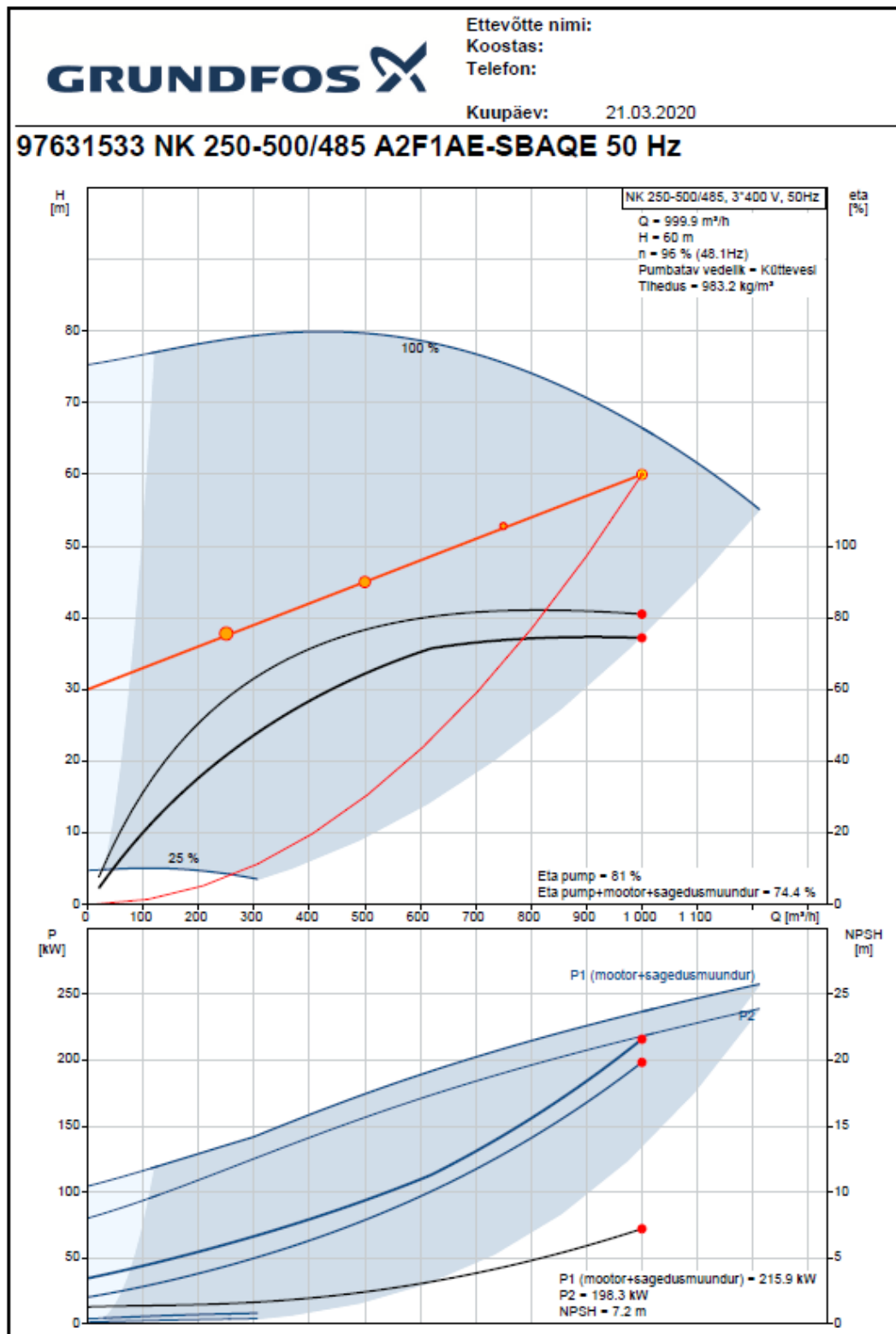
Evaporator tube material: Copper, Absorber/Condenser tube material: Copper, Generator tube type: Smooth, Generator tube material: SUS438LTB

Reported physical data is approximate. Contact Johnson Controls for confirmed physical data associated with specific chiller configurations.

Lisa 2. R1234 logph diagramm



Lisa 3. Merevee pump



Lisa 4. Jahutite pumbad

