

**ÜLEMISTE CITY KAUGJAHUTUSE
ARENGUKAVA**
**ÜLEMISTE CITY DISTRICT COOLING
ROADMAP**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Aleksandr Ledvanov

Üliõpilaskood:: 191964MASM

Juhendaja: Anna Volkova, vanemteadur

(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.

"....." 2021

Autor: ... /allkirjastatud digitaalselt/..

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2021

Juhendaja: . /allkirjastatud digitaalselt/.

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2021 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina __Aleksandr Ledvanov__ (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 15.08.1981)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
_____ ÜLEMISTE CITY KAUGJAHUTUSE ARENGUKAVA _____,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on

_____ Anna Volkova _____,

(*juhendaja nimi*)

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.

/allkirjastatud digitaalselt/ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*).

Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Aleksandr Ledvanov, 191964MASM
Õppekava: Energiatehnoloogia ja soojusenergeetika, MASM02/18
Juhendaja: Vanemteadur, Anna Volkova, +372 5582866

Lõputöö teema:

Ülemiste City kaugjahutuse arengukava
Ülemiste City district cooling roadmap

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida kaugjahutuse võrgu juurutamist Ülemiste City-s
2. Analüüsida erinevate jahutuse tootmisviiside efektiivsust
3. Leida antud piirkonnale sobilikud torustiku lahendused

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema kinnitamine, algandmete kogumine ja kirjanduse lugemine	29.01
2.	Tarbijate kaardistamine, jahutuskoormuste arvutamine (määramine), hüdraulilise arvutuste teostamine	15.02
3.	Erinevate jahutusallikate määramine, nende tõhususe arvutamine	20.04
4.	Lõputöö terviklik esitamine juhendajale	24.05

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

Üliõpilane: /allkirjastatud digitaalselt/.. ".....".....2021a
/allkiri/

Juhendaja: /allkirjastatud digitaalselt/. ".....".....2021a
/allkiri/

Programmijuht:/allkirjastatud digitaalselt/. ".....".....2021a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
MÕISTED	8
1 SISSEJUHATUS	9
2 KAUGJAHUTUSE ÜLEVAADE JA ARENG	10
2.1 Kaugjahutuse kontseptsioon	10
2.2 Kaugjahutuse võrgu elemendid	12
2.2.1 Kaugjahutuse allikad	12
2.2.2 Kaugjahutuse torustik	19
2.2.3 Jahutussõlmed	23
2.2.4 Kaugjahutuse soojuskandja parameetrid.....	24
2.3 Kaugjahutuse eelised ja väljakutsed.....	26
2.3.1 Kaugjahutuse eelised	26
2.3.2 Kaugjahutuse väljakutsed ja takistused	26
2.4 Ülevaade Mailmaas	28
2.4.1 Soome	29
2.4.2 Rootsi.....	30
2.4.3 Prantsusmaa	31
2.5 Kaugjahutus Eestis	32
3 JUHTUMIUURINGNING METODOLOOGIA	35
3.1 Juhtumiuuring	35
3.2 Metodoloogia	35
3.2.1 Ülemiste City tarbijate jahutusvõimsuse määramine.....	36
3.2.2 Kaugjahutuse allikad, nende variandid, asukohad	40
3.3 Kaugjahutusvõrgu torustikud, kavandamise meetoodika	43
3.4 Kaugjahutuse võrgu torude valik.	43
3.4.1 Töötoru materjal.....	43
3.4.2 Soojusisolatsiooni vajadus.	44
3.5 Planeeritud kaugjahutuse võrk	46
3.5.1 Külumumiskaitse	46

3.5.2 Kaugjahutuse tarbijad	47
3.6 KTJ heitsoojuse kasutamine kaugjahutuses, hindamismetoodika	53
4 TULEMUSED.....	57
4.1 Tarbijate võimsused.....	57
4.2 Kaugjahutuse torustiku variandid Ülemiste City võrgus.....	60
4.3 Kaugjahutuse ja kaugkütte koostöö	63
4.4 Kaugjahutuse allikad ja tarbijad	64
KOKKUVÕTTE JA JÄRELDUSED.....	66
ABSTRACT.....	68
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	70

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema on valitud juhendaja Anna Volkova ettepanekul. Samuti töö autori ametitöö on seotud kaugkütte ja kaugjahutuse süsteemide arendamisega ning magistritöö teema jaoks oli kogutud piisavalt kogemust ja informatsiooni erinevatest allikatest. Töö eesmärgiks on uurida kaugjahutuse võrgu arendamist (sh jamad, võrk ja tarbijad) Ülemiste City piirkonna näitel. Töö on koostatud perioodil jaanuar 2020 kuni mai 2021. Andmed töö jaoks olid kogutud avalikest allikatest, varem koostatud teadusartiklitest, tööalastest projektidest (mida on lubatud avalikustada). Töö koostamine ja andmete kogumine toimus Eestis.

Antud magistritöö autor on saanud tugi ka Tallinna LV poolt ning taotlenud ja saanud Raestipendiumi.

Töö autor tänab töö abiks olnud kõiki inimesi ning Tallinna LV (kes toetas Raestipendiumiga)

Märksõnad: kaugjahutus, Ülemiste City, heitsoojus, magistritöö

MÕISTED

COP	Coefficient of performance ehk soojuspumba soojustegur. See väljendab soojuspumba poolt väljastatud soojusenergia ja kulutatud energia suhet. Soojuspump on seda tõhusam, mida suurem on kasutegur. Näiteks $COP = 4$ tähendab, et soojuspump, mis töötab tarbitava võimsusega 2 kW, annab meile soojusenergiat 8 kW
EER	Energy Efficiency Ratio ehk energiatõhususe määr. On sama mis COP, kuid arvestab mitte väljastatud soojusliku energiaga, vaid jahutuse energiat
SCOP / SEER	Seasonal coefficient of performance / Seasonal Energy Efficiency Ratio ehk hooajaline soojuspumba soojustegur / hooajaline energiatõhususe määr. Need tegurid näitavad hooajalist kasutegurit, mis annab ülevaate kogu kütteperioodist / jahutusperioodist ja soojuspumba / jahutusmasina efektiivsusest. Võrreldakse väljastatud energia ja tarbitud elektrienergia suhet kogu hooaja vältel.
KK	Kaugkütte (kaugkütte võrk)
KJ	Kaugjahutus (kaugjahutuse võrk)
KTJ (CHP)	Koostootmisjaam (Combined Heat and Power station)
SP	Soojuspump
SES	Soojusenergia salvestus (salvesti)

1 SISSEJUHATUS

Viimaste aastate jooksul kaugjahutuse on tõestanud ennast nagu efektiivne ning kõrgetehnoloogiline lahendus selleks et tagada komfortne keskkond elamu- ning ärihoonetes. Vastavalt aruandele [1], 2.7% lõplikust energiatarbimisest EL-s ärihoonetes kasutatakse hoonete jahutamiseks. Samuti on oodatud et energia tarbimine ruumide jahutamiseks kolmekordistub aastaks 2050. Vaatamata sellele, et EL jahutusenergia vajadused on väiksemad kui Ameerikas ning Aasias suurendamise potentsiaal on tohutu [2].

Antud töö põhieesmärk on analüüsida kaugjahutuse perspektiivid Eestis Ülemiste City kaugjahutuse võrgu arendamise näitel.

Teises peatükis on läbi vaadatud kaugjahutuse süsteemid, nende kontseptsioon ja areng. On toodud välja kaugjahutuse süsteemi erinevad elemendid, milles süsteem koosneb ja mis peab olema kaugjahutuse võrgus. Samuti toodud välja erinevad jahutuseseadmed ehk jahutuse allikad. Tutvustatud erinevad torude materjalid mida on võimalik kasutada kaugjahutuse võrgus, tutvustatud nende eelised ja puudused. Kirjeldatud jahutusenergia tarbijate ühendus võrguga, vajalike seadmete paigaldus. On tehtud ka külmakandja parameetrite valik ning ülevaade (mis temperatuurid saab jahutussüsteemis kasutada). Lisaks peatükis on kirjeldatud kaugjahutuse eelised lokaalsete lahenduste eest ning mis väljakutsed on olemas kaugjahutuse juurutamisel. Teises peatükis on toodud ka ülevaade maailmas, kus riikides ja mis lahendused on olemas, kui palju aega võttis nende arendus ning toodud mõned näited Rootsist ja Soomest. Peatüki lõpus on toodud kirjeldus ka olukorrast Eestist ning samuti toodud mõned näited realiseeritud projektidest.

Kolmandas peatükis on kirjeldatud juhtumiuuring ehk Ülemiste City äripargi kaugjahutuse juurutamise võimalus. On toodud ülevaade tarbijatest, nende süsteemidest ja temperatuuridest. Peatükis on toodud välja metodoloogia mille mahus oli analüüsitud tootmisjaamade võimalused, torustik ning tarbijate ühenduse võimalused. Siin oli määratud tarbijate maksimaalsed jahutuse võimsused, kirjeldatud kaugjahutuse allikate asukoha valik, vaadatud Ülemiste järve vabajahutuse kasutamise võimalus. Samuti on antud ülevaade torudes mis on valitud antud projekti realiseerimiseks ning nende hinnanguline maksumus, toodud välja hüdrauliliste arvutuste kasutamisel piirväärtuste kohta. Siin peatükis on vaadatud ka kuidas saab üle viia lokaalse tarbija üle kaugjahutusele konkreetse jahutussõlme näitel. Üheks tähtsaks osaks on heitsoojuse kasutamise kaugjahutuse tootmiseks läbi vaatamine ja uurimine. Siin on vaadatud erinevad variandid mille puhul saab kasutada jääksoojust ning saada jahutusenergiat absorptsioonseadmete puhul. Samuti on vaadatud selle mõju kogu efektiivsusele ning CO₂ vähendamisele.

Neljandas peatükis on lühidalt toodud töö tulemused.

2 KAUGJAHUTUSE ÜLEVAADE JA ARENG

2.1 Kaugjahutuse kontseptsioon

Kaugjahutuse puhul jaotatakse tsentraalse jahutussüsteemi abil jahutatud soojuskandjat kaugjahutusvõrgu abil tarbijateni, mis on harilikult büroohooned, hotellid ja muud eluhooned. Kaugjahutust kasutatakse nii ruumide jahutamiseks kui ka siseõhu niiskusesisalduse vähendamiseks. Kaugjahutuse tarbijatel puudub vajadus individuaalse jahutusagregaadi järele.

Kaugjahutussüsteem koosneb kolmest põhikomponendist: kaugjahutusjaam, jahutusvõrk ja jahutussüsteemi ühendatud tarbijad. Tsentraalselt on võimalik soojuskandjat jahutada järgmistel meetoditel:

- absorptsioonjahutid, mis kasutavad jahutuse tootmiseks heitsoojust (näiteks kaugkütte koostootmisjaamade heitsoojust);
- elektrilised kompressorjahutid;
- looduslikud allikad ehk vabajahutus.

Kaugjahutus on kulutõhus lahendus sobilikes tingimustes, milleks on suured linnad, kus jahutusvajadusega hooneid on palju. Peale selle muudab kaugjahutuse kulutõhusamaks asjaolu, et erinevat tüüpi hoonete jahutusvajadus on erinev, mis muudab jahutusenergia tootmise efektiivsemaks. On tõestatud, et kaugjahutus võib vähendada hoonete jahutamiseks kasutatavate fossiilkütuste tarbimist. Samas on kaugjahutusel kaugküttega võrreldes suuremad alginvesteeringud ja tegevuskulud ning see ei pruugi alati olla kulude jaoks kõige optimaalsem variant hoonete jahutamiseks.

Kaugjahutuses saab kasutada kohalikest looduslikest külmallikatest saadavat vabajahutust. Looduslikud külmad allikad on näiteks jõed, järved ja meri. Vabajahutust kasutatakse näiteks Rootsis, Stockholmi kaugjahutussüsteemis, kus saadakse vajalik jahutus Läänemerele. Prantsusmaal kasutab Pariisi kaugjahutussüsteem samuti Seine'i jõge vabajahutuseks, kui vee temperatuur on madalam kui 8 °C, ülejäänud ajal kasutatakse Seine'i jõge kondensaatorite jahutamiseks.

Looduslike külmallikatega integreeritud kaugjahutussüsteemi näited hõlmavad Rootsis Stockholmis asuvat kaugjahutussüsteemi, mis kasutab Läänemere külma vett. Prantsusmaal Pariisis asuv kaugjahutussüsteem kasutab Seine'i jõge 100% vabajahutuseks, kui veetemperatuur on 8 °C või madalam, ja ülejäänud osa aastast kondensaatorite jahutusena.

Kaugjahutusvõrk on sarnane kaugküttevõrguga (vt Joonis 2.1. Kaugjahutuse paigaldamine Tartu maanteel, kus on üks toru pealevoolu ja teine tagasivoolu jaoks, kuid

sooja vee asemel ringleb süsteemis külm vesi. Pealevoolu temperatuur on harilikult 4–7 °C, kuid mõnikord kasutatakse ka vee-jääsegu temperatuuriga 0 °C. Pealevoolutemperatuur sõltub tarbijate vajadustest ja selle piiravateks teguriteks on kaugjahutusjaama jõudlus ning kaugjahutussüsteemi võrgu parameetrid. Kaugjahutuse kulutõhusus sõltub oluliselt peale- ja tagasivoolu temperatuurierinevustest ehk delta-T-st. Tarbijate juures soojeneb pealevooluga antud külm vesi jahutades hoonete ventilatsioonisüsteemi õhku või mõnda tööstuslikku protsessi. Harilikult on temperatuur tagasivoolutorus 12–17 °C. Tagasivoolu vesi suunatakse tagasi kaugjahutusjaama, kus see jahutatakse uuesti ja suunatakse tagasi ringlusesse.



Joonis 2.1. Kaugjahutuse paigaldamine Tartu maanteel

Kaugjahutussüsteemid ei hõlma kunagi kogu linna. Väike temperatuurierinevus peale- ja tagasivoolu vahel muudab jahutusenergia edastamise kulukaks kuna vajaliku jahutusvõimsuse jaoks edastatav soojuskandja vooluhulk on suur ning nõuab olulisemalt suurema diameetriga torusid kui sama võimsusega kaugküttevõrk. Seega kasutatakse kaugjahutusvõrku harilikult vaid linnade nendes piirkondades, kus jahutuskooormuse tihedus on suur, näiteks nagu kesklinnapiirkonnad ja ärikvartalid.

Kaugkütte- ja kaugjahutussüsteemide ühendamiseks on kaks head lahendust. Soojuspumba aurustit saab kasutada külma tootmiseks kaugjahutussüsteemis ja kondensaator suudab samaaegselt toota soojust kaugküttesüsteemi. Teine lahendus on soojuse ja elektri koostootmisjaamade suvise heitsoojuse kasutamine

absorptsioonjahutite abil jahutuse tootmiseks. See lahendus on hea, kuna vastasel juhul peaksid koostootmisjaamad suvise soojuskoormuse puudumise tõttu töö seiskama.

2.2 Kaugjahutuse võrgu elemendid

Kaugjahutuse võrk koosneb kolmest põhilisest elementidest. Need on:

- Jahutuse allikas (ehk külmajaam)
- Kaugjahutuse torustik
- Jahutuse energia tarbija

Antud peatükis on toodud informatsioon iga elemendi kohta. Selle alusel saab edasi vaadata ja arvutada vajalikud võimsused, torude läbimõõdud jne.

2.2.1 Kaugjahutuse allikad.

Kaugjahutuse jahutusenergia allikad võivad olla järgmised:

- Kompressorkülmajaam / Soojuspump
- Absorbtsioonkülmajaam
- Vabajahutus

Sõltuvalt tingimistest saab kasutada ka soojuspumpa (kui on tegemist jahutuse ja soojuse allikatega ühes jaamas siis soojuspumba saab kasutada nii jahutuse kui ka soojuse tootmiseks).

Kui vaadata maailma kogemust siis kõige suurem kasutust on saanud kompressormasinaid ja absorptsiooni seadmed kuna suurem jahutuse vajadus on lõuna riikides mis asuvad Kesk-Aasias ja kus pole väga võimalik kasutada vabajahutust (suure temperatuuri tõttu). Kuid Euroopa ja Põhja-Euroopa riigid enam rohkem ja rohkem kasutavad vabajahutust kuna nendes riikides veetemperatuur meredes, jõgedes ning järvedes on hästi sobilik kaugjahutuse süsteemile.

Jahutusenergia allika tuleb alati valida projektipõhiselt ning analüüsida mis on konkreetse projekti puhul kõige soodsam variant. Tihti kasutatakse erinevad variandid koos. Valiku aluseks on sellised asjaolud nagu:

- Vabajahutuse võimalus (nt olemasolevad veekogud planeeritava jaama lähedal)
- Kas on võimalik kasutada jääsoojusenergiat (või soodustusega ostetud kaugkütteenergia võimalus)
- Kas on võimalik kasutada soodustusega ostetud elektrienergiat (võrgutasuta jne)
- Kõik muud asjaolud

Vabajahutuse korral ei juhita soojust ruumist välja kompressorite jõul, vaid kasutades seejuures keskkondade temperatuurivahet, vahesoojusandjat, pumpa või ventilaatoreid.

Antud juhul jahutusenergia allikaks saavad olla merevesi, järvevesi, jõgi, välisõhk. Igal allikal on oma plussid ja miinused, kuid kaugjahutuse puhul on eelistatavad need allikad, mis saavad tagada madalama temperatuuri hooajal. Antud jahutuseenergia allikas on samuti kõige soodsam variant kuna energia tootmiseks ei ole vaja otseselt kulutada muud energiat, vaid energia kulub ainult pumpamiseks / tsirkulatsiooni tekkimiseks.

Kompressormasinaga jahutus

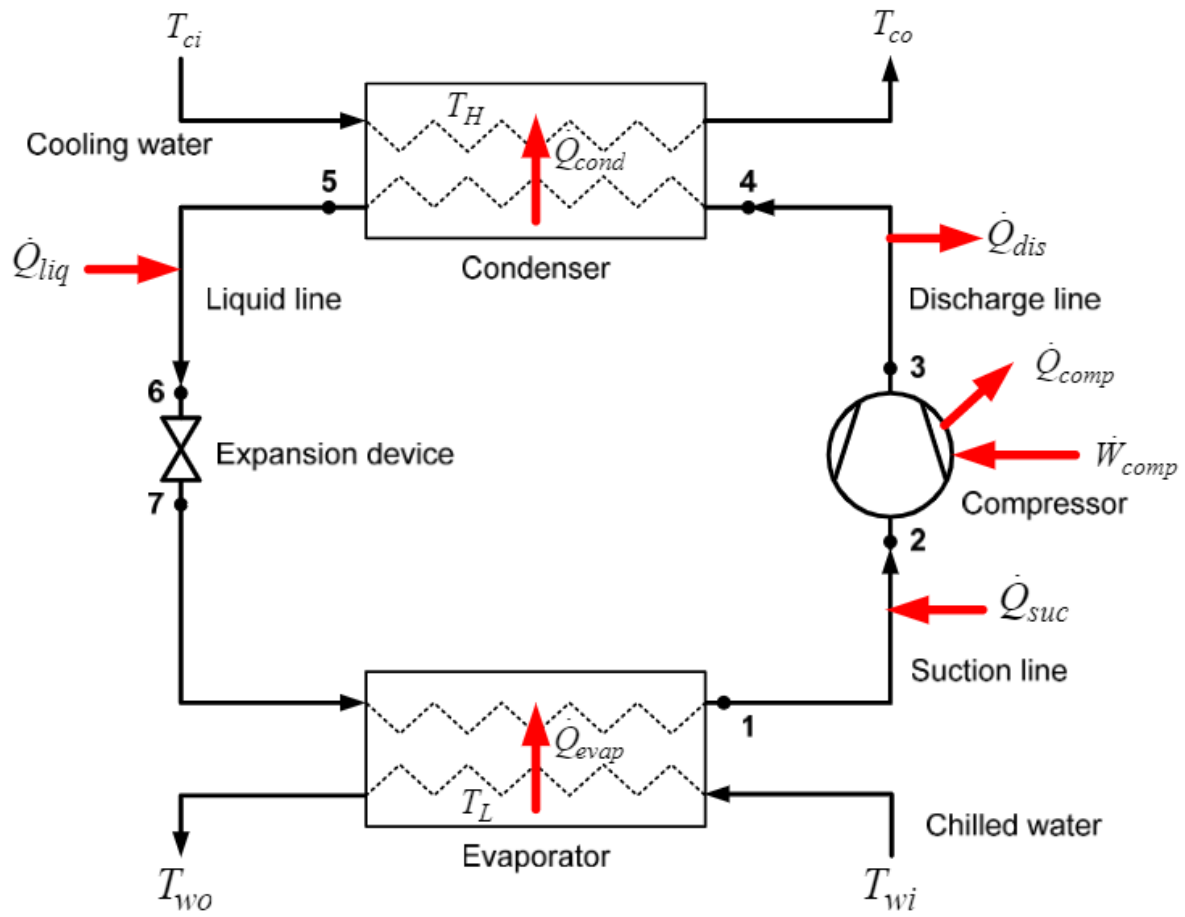
Kolm põhilist tüüpi kompressormasinat on kasutusel kaugjahutuse tootmisel [3]:

- Kolbmootoriga kompressor
- Rootor-tüüpi kompressor
- Tsentrifugaalne kompressor

Kui rääkida mitte lokaalsetest süsteemidest vaid kaugjahutuse süsteemidest kus võimsused on palju suuremad võrreldes lokaallahendustega siis kasutusel on üldjuhul tsentrifugaalsed kompressormasinad.

Kompressorkülmajaam on seade, külmatootmise tehnoloogiliseks aluseks on Carnot'i pöördringprotsess. Kondensaatori jahutus võib toimuda vahetult õhuga (freoon-õhk soojusvaheti), ventilaatorite abil või vedelikkandja abil (freoon-vedelik soojusvaheti). Vedelikjahutuse korral on tarvis rajada täiendav jahutuskontuur koos ringluspumbaga ja välisõhus paiknevate vedelikjahutitega (dry cooler) [4]. Samuti antud süsteemides jahutamiseks on võimalik kasutada „märgjahutus“, ehk gradiirid. Gradiirides toimub vedeliku jahutus aurustumise arvelt. Ehk soojus vedelikust mida tuleb jahutada antakse üle välisõhule.

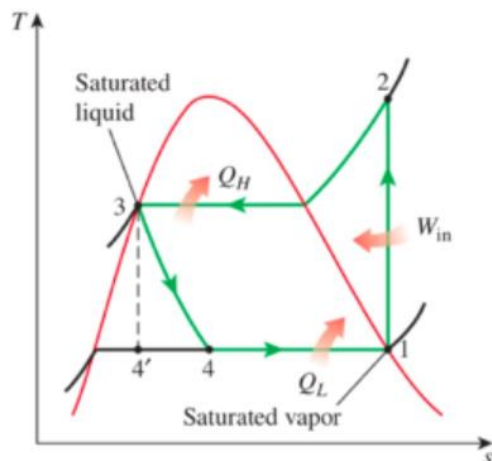
Kompressorjahuti põhimõtteline skeem on toodud allpool skeemil (Joonis 2.2) [5]:



Joonis 2.2. Kompressorjahuti põhimõtteline skeem

Cooling water – jahutusvesi, Liquid line – vedeliku toru, Expansion device – paisuventiil, Evaporator – aurusti, Condenser – kondensaator, Discharge line – kompressori väljundliin, Suction line – kompressori sisendliin, Chilled water – jahutatav vesi.

Ideaalsed kompressorid töötavad Carnot tsükli järgi. Reaalsuses aga näeb välja tsükkel vastavalt skeemile, vt Joonis 2.3 [6]:



Joonis 2.3. Jahutuse tsükli T-s diagramm

Antud tsükli võib kirjeldada järgmiselt:

- Joon 1-2: kompressor mis saab energiat elektrist surub gaasilises olekus külmutusagensi mille tulemuseks peale rõhku suureneb ka temperatuur
- Joon 2-3: kokkusurutud külmutusagens läheb kondensaatorist läbi kus see kondenseerub
- Joon 3-4: kondenseerunud (ehk vedelikus olekus) külmutusagens läheb paisuventiilist läbi mille tõttu langeb rõhk protsessis
- Joon 4-1: külmutusagens läbib aurustit mille tõttu kogu külmutusagens aurustub ning võtab selleks soojust endale jahutatavast veest. Ning edasi protsess kordub

Jahutuskompressori COP arvutatakse järgmise valemiga (2.1) [7]:

$$COP_{jah} = \frac{P_{q2}}{P} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (2.1)$$

Absorbtsiooni seadmega jahutus

Absorbtsiooni seadmete eripärasus on selles et nad kasutavad kahte meediat: külmutusagensi ja absorbenti. Nende põhimõtte on selles, et üks meedia absorbeerub teises (nagu tuleb nimetusest) [7]. Absorbtsioonkõlmajaamas külma valmistatakse soojuse abil kasutades ära ülalnimetatud ainete (nt H₂O-LiBr) omadusi ning rõhu tõstmise toimub termokeemilise komprimeerimise abil [4]. Antud seadmete põhiliseks eeliseks on see, et külma tootmine toimub madala elektrikuluga ning põhiliseks energiaks külma tootmiseks on soojusenergia. Soojusenergia mida saab selleks otstarbeks kasutada saab olla kaugkütte võrgust või katlamajast tulev soojuskandja, veeaur (nt tehase aurustusüsteemist) ning kindlasti ka jääksoojus.

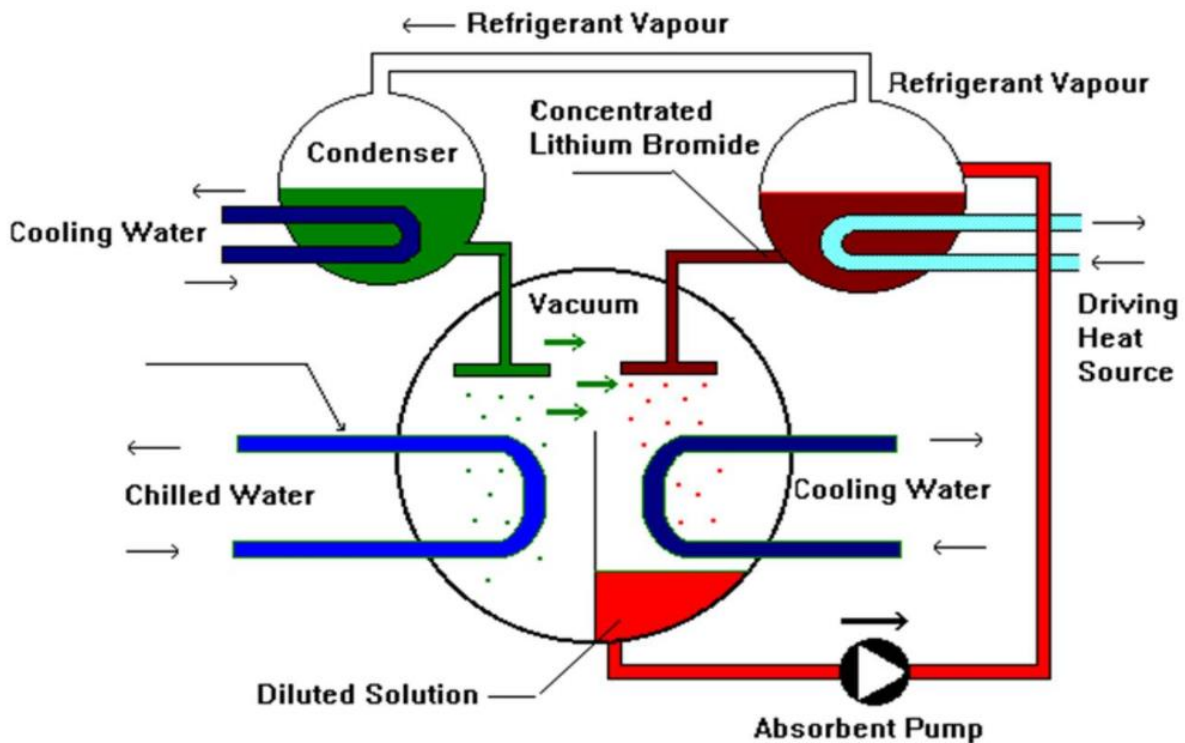
Absorbtsiooni protsess kasutab absorbeeri, generaatori, pumba ja rekuperatiivset soojusvahetit et asendada kompressorit kompressorjahutuse tsükliis.

Absorbtsiooni seadmes, nagu oli juba ülespool mainitud, elektri asemel kasutatakse soojusenergiat. Kõige efektiivsem on kasutada heitsoojust. Põhiliseks probleemiks on see, et mida madalam temperatuur on heitsoojusel seda madalam on kasutegur ning üldse võimalus kasutada antud protsessi jahutuse energia tootmiseks.

Majanduslikust poolest absorbtsiooni seade on kallim kui tavaline kompressorseade, kuid see võimaldab kasutada heitsoojust mis vastasel juhul lihtsalt visatakse välja.

Päris tihti absorbtsioon seadmed kasutatakse koos kompressorjahutusseadmetega ühes jaamas mis võimaldab leida optimaalse bilansi jahutusenergia tootmisel.

Joonis 2.4. Absorbtsiooni seadme põhimõtteline skeem on toodud absorbtsiooni seadme põhimõtteline lahendus:



Joonis 2.4. Absorbtsiooni seadme põhimõtteline skeem [8]

Cooling water – jahutusvesi, Chilled water – jahutatav vesi
Vacuum – vaakum, Condenser – kondensaator, Refrigerant Vapour – külmutusagensi aur
Driving heat source – soojusenergia protsessi käivitamiseks, Absorbent pump – absorbenti pump
Concentrated Lithium Bromide – kontsentreeritud liitiumbromiid.

Protsessi väljastpoolt tulev energia heitsoojuse näol suunatakse generaatorisse, kus meediate segu (nt liitiumbromiid / vesi). Sisenenud soojusenergia tõttu külmutusagens aurustub ning suunatakse kondensaatorisse. Kondensaatorisse sattuv gaas kondenseerub ning soojendab jahutusvett (ehk toimub soojuse protsessist eemaldamine). Edasi liigub

vedelik aurustisse), kus see kondenseerub, selles punktis väljub protsessist soojushulk (Q3). Segu suunatakse läbi drosselventiili aurustisse (evaporator), milles siseneb süsteemi soojushulk (Q2). Segu aurustub ning liigub absorberisse (absorber), kus see seguneb vee ning ammoniaagi seguga ning suunatakse omakorda protsessi. Absorberis eraldub soojushulk (Q4).

Aborbitsioonjahuti COP arvutatakse järgmise valemiga (2.2) [7]:

$$COP_{jah} = \frac{P_{q,jah}}{P_{q,tarb}} \quad (2.2)$$

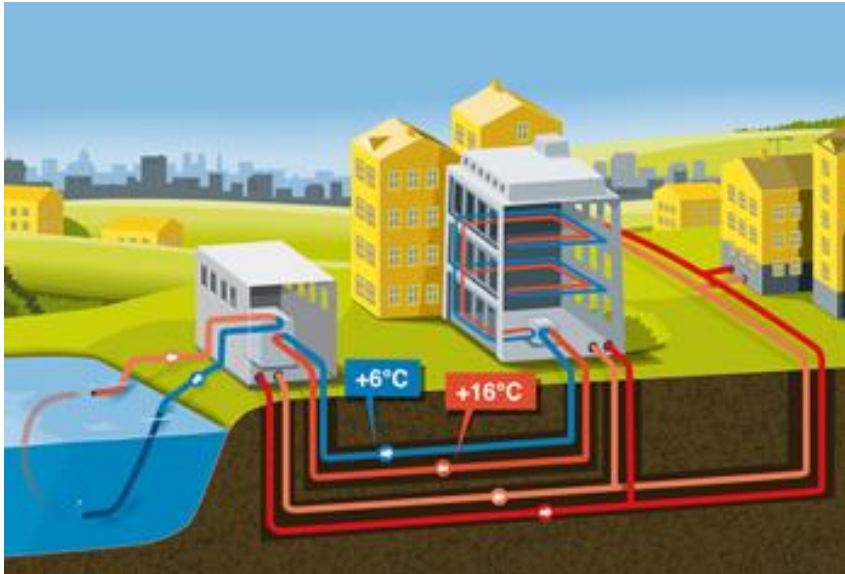
$P_{q,tarb}$ peaks arvestama lisaks saadud heitsoojusele ka pumba poolt tarbitava elektrienergia kogusega. Üldjuhul antud süsteemi COP on 0,7.

Vabajahutus

Vabajahutus (ehk Free cooling inglise keeles) on kõige eelistatavam jahutusenergia allikas. Vabajahutusega saadud energia on kõige soodsam, kuna pole vajadust tegeleda jahutuse energia tootmisega, vaid ainult edastamisega. Antud juhul soojuskandja jahutamiseks kasutatakse madaltemperatuuriline allikas nagu meri, jõgi, sügav järv jne. Samuti saab kasutada vabajahutus nagu esimene etapp soojuskandja jahutamise protsessis (ehk nt enne kompressormasinaga jahutust).

Vabajahutuse allika valikul tuleb lähtuda selle kaugusest jaamast (mida pikem on vahe seda suurem investeering on torudesse ja pumpamisele). Samuti peab olema vabajahutuse allika temperatuur suhteliselt madal. Üldjuhul siis madalam kui kaugjahutuse torustikus tsirkuleeriva soojuskandja kui kasutatakse ainult vabajahutus või siis madalam kui esimese astme jahutuse vajadus kui kasutatakse jahutuse allikate kombineerimine (nt vabajahutus on esimene aste ja kompressorjahuti on teine aste).

Vabajahutuse põhimõtteline skeem on toodud Joonis 2.5:



Joonis 2.5. Vabajahutuse kasutamine kaugjahutuses [9]

- Külmaajamas asuvad pumbad ning soojusvaheti. Merest (või muust veeallikast nagu jõgi, järv) võetakse vett ning pumbatakse külmajaama
- Külmaajaamass tekib soojusvahetus ehk võrgu soojuskandja jahutatakse ning merevesi läheb soojemaks
- Võrgu soojuskandja transporditakse torude abil klientideni kus annab jahutussõlmedes jahutusenergiat ära

Vabajahutuse kasutamisel veekogusest tuleb alati pöörata eriline tähelepanu veevõtu ja vee väljalaske kohtade planeerimisel. Need kohad peavad olema piisavalt kaugel üks teisest. Kuna tagastava vee temperatuur on suurem vee temperatuurist mis sattub pealevoolu torusse siis peab olema välistatud tagasivoolu mõju pealevoolule. Kui on tegemist liikuva keskkonnaga (ehk nt jõgi, nagu näidatud Joonis 2.6) siis kindlasti tagasivool ei tohi asuda pealevoolust jõe ülesvoolu suunas.



Joonis 2.6. Vabajahutuse primaartorustik Göteborgi jões [8]

Jahutuse tüüpiline jaam kaugjahutuse võrgus võib olla järgmiste seadmetega:

- Vabajahutuse süsteem – töötab maksimaalse võimaliku tundide arv aastas ja on eelis nr 1
- Absorptsioonkülmajaam – töötab samuti maksimaalse võimaliku tundide arv aastas kuid prioriteedina nr 2. See on rakendatav ainult juhul kui on võimalik saada jääksoojust. Kui soojusenergia tuleb muust allikast siis üldjuhul tootmise hind märgatavalt kasvab ning absorptsiooniseade ei ole nii atraktiivne
- Kompresorkülmajaam – see on üldjuhul viimane prioriteediga töötav seade, kuna antud juhul külma tootmiseks kulub kõige rohkem energiat.

2.2.2 Kaugjahutuse torustik

Tänu sellele, et keskkonna temperatuur jahutustorustikus on lähedane välise keskkonna temperatuuriga (üldjuhul see on vahemikus 4 – 20oC) ei ole torumaterjalile esitatud ranged nõuded mis tulevad välja temperatuuritaluvusest. Rõhud kaugjahutussüsteemis on sarnased rõhkude kaugküttesüsteemis ja sõltuvalt võrgu suurusest, kujust ja muudest faktoritest ning on üldjuhul mitte suurem kui 16bar (vahemik on üldjuhul 6 – 16bar, väga suure piirkonna puhul saab olla kuni 25bar).

Kaugjahutuse torustiku valimisel on kindlasti omaette teema ka soojuskaod, soojuskandja soojenemine või jahtumine (külmumine). Kuna dT jahutussüsteemis on suhteliselt madal (ca 8 – 12 oC), siis tuleb pöörata eriti tähelepanu sellele, et pealevoolu temperatuur ei tõuseks ülesse jahutus energia transportimisel. Sellele mõjuvad faktorid:

- PV temperatuur tõuseb, vähendades dT
 - o Torustiku liiga väike paigaldussügavus (ja pinnase temperatuuri tõus suvisel ajal väikesel sügavusel)
 - o Halvasti isoleeritud kaugküttetorustikust liiga väike vahekaugus
- Jahutusenergiakandja külmumise oht:
 - o Torustiku liiga väike paigaldussügavus – talvisel ajal madala välistemperatuuri puhul pinnas külmub rohkem, samas tarbimine läheb väiksemaks või üldse peatub

Lähtudes ülalmainitud parameetritest saab kaugjahutuse võrgus kasutada järgmised torumaterjalid:

- Plastist torustikud:
 - o PE100 veetorustikud, eelisooleeritud ja isoleerimata
 - o PEX torustikud, eelisooleeritud
- Terasest torustikud
 - o Legeerimata terasest torud, kaetud korrosioonikaitsekattega (üldjuhul PE)
 - o Legeerimata terasest, eelisooleeritud signaaltraatidega torud

Torustiku valimisel tuleb kindlasti läheneda projektipõhiselt ning vaadata mis on konkreetse objekti eripärasused. Igal torustikul on omad eelised ja puudused, nt

- PE100 torud – kergesti ja odav ühendada, kuid PN suurendamisel kasvab ka hind. Suur eelis on see, et torud ei korrodeeri.
- PEX torud – väga pikad torud ning eelisolatsioon – kõige kiirem paigaldusviis, kuid läbimõõt on piiratud (üldjuhul DN80). Suur eelis on see, et torud ei korrodeeri.
- Terastorud – suure PN puhul on odavam, kui PE100 torustik. Samuti mida suurem DN seda vähem võtab ruumi võrreldes PE10 torudega. Montaaž nõuab rohkem aega.

Kindlasti tuleb kaaluda ka erinevate materjalide kombineerimisel (nt väiksemad läbimõõdud PEX torud, suuremad PE100 või terastorud), aga siin tuleb arvestada sellega, et erineva materjali puhul tulevad ka mitu Tarnijat ja Tootjat, mis teeb protsessi aeglasemaks.

Allpool on toodud torustike eelised ja puudused. Enamlevinud torud maailmas on terastorud (keevitatavad), vasktorud, tugevast malmist torud, betoonitorud, fiiberklaasist torud, PVC torud, PE100 (PEHD) torud [9] ning ka PEX torud (Cross-linked polyethylene). Eestis ning naaberriikides ei ole kõik need torustikud levinud ning allpool toome kirjeldus ainult asjakohaste torude kohta.

- Terastorustik (Joonis 2.7).
 - Eelised: Torustikul on suhteliselt väike seinapaksus. Seega on lihtsam paigaldada kitsades olukordades. Torustiku saab taluda kõrge rõhku (16bar, vajadusel 25bar ja veel kõrgem seinapaksuse suurendamisel).
 - Puudused: Terasel on suurem karedus võrreldes plastikuga mis suurendab rõhukao. Terasel toru puhul tuleb pöörata tähelepanu korrosiooni kaitsele (nii passiivne kui ka suuremate võrkude puhul aktiivne). Kuna on ilma isolatsioonita tekkivad ka jahutuse kaod.



Joonis 2.7. Terastorustik PE korrosiooni kaitsekattega [12]

- Eelisolatsiooniga terastorustik (Joonis 2.8).
 - Eelised: Torustikul on suhteliselt väike seinapaksus. Seega on lihtsam paigaldada kitsades olukordades. Torustiku saab taluda kõrge rõhku (16bar, vajadusel 25bar ja veel kõrgem seinapaksuse suurendamisel). Kuna torustik on eelisolatsiooniga siis jahutuse kaod on vähendatud.
 - Puudused: Terasel on suurem karedus võrreldes plastikuga mis suurendab rõhukao. Terasel toru puhul tuleb pöörata tähelepanu korrosiooni kaitsele (nii passiivne kui ka suuremate võrkude puhul aktiivne). Montaažitööde suurem hind kuna nõuab nii kogunud ja sertifitseeritud keevitajat kui ka sertifitseeritud isoleeriat (kes saab nõuetekohaselt paigaldada soojusisolatsioon keevituskohtadele).



Joonis 2.8. Eelisoleeritud seotud (konsolideeritud) terastorustik [13]

- PE100 (PEHD) torustik (Joonis 2.9).
 - o Eelised: Polüetüleenist torustikutel on väiksem karedus (võrreldes terasega) ehk see vähendab rõhukao. Polüetüleenist torustikute montaažitööd on kiirem. Antud tüüpi torustikud ei nõua roostetamise vastast kaitset mis on suur eelis (ei ole vajadust nii korrosioonivastase katte paigaldamist ning aktiivse kaitse juurutamist / ehitamist).
 - o Puudused: Võrgu rõhu suurendamisel kasvab ka minimaalselt vajalik seinapaksus (nt rõhuklassid PN10, PN16 jne). Kuna seinapaksus on suhteliselt suur siis paigaldamisel sellised torustiku nõuavad palju rohke ruumi võrreldes terastorudega (eriti suurte läbimõõtude puhul).



Joonis 2.9. PE100 polüetüleenist veetorustik [14]

- Eelisooleeritud PE100 torustik (Joonis 2.10).
 - o Eelised: Polüetüleenist torustikudel on väiksem karedus (võrreldes terasega) ehk see vähendab rõhukao. Polüetüleenist torustikute montaažitööd on kiirem. Antud tüüpi torustikud ei nõua roostetamise vastast kaitset mis on suur eelis (ei ole vajadust nii korrosioonivastase katte paigaldamist ning aktiivse kaitse juurutamist / ehitamist).
 - o Puudused: Võrgu rõhu suurendamisel kasvab ka minimaalselt vajalik seinapaksus (nt rõhuklassid PN10, PN16 jne). Kuna seinapaksus on suhteliselt suur siis paigaldamisel sellised torustiku nõuavad palju rohke ruumi võrreldes terastorudega (eriti suurte läbimõõtude puhul). Montaažitööd on kallim kuna tekkib vajadus ka isolatsiooni jätkupakendite paigaldamiseks.



Joonis 2.10. PE100 plastikust eelisooleeritud toru [10]

- Eelisooleeritud PEX torustik
 - o Eelised: antud torustikul on kõik PE100 torustiku eelised. Lisaks sellele on suur eelis et torustik on isoleeritud täies mahus ning on rullides. Ehk montaažitööde hind (ja kiirus) on antud torustiku kasutamisel kõige väiksemad.
 - o Puudused: Suurem puudus on see et antud torustik valmistatakse ainult väiksematele läbimõõtudele ehk kuni d110mm (äärmisel juhul d125mm) läbimõõdnuni. Üldjuhul sellise torustiku maksimaalne rõhk on 6 bar.

2.2.3 Jahutussõlmed

Hoonete (ehk Tarbijate) jahutussüsteemide ja kaugjahutuse välisvõrgu vahele paigaldatakse jahutussõlmed. Jahutussõlmed võimaldavad jahutusenergiaga vahetust

välisvõrgu ja hoone vahel. Jahutussõlmel on sojussõlmega sarnane süsteem. Erinevus on selles, et jahutussõlme kaudu edastatakse jahutusenergia.

Jahutussõlme peamised seadmed (nagu on näha Joonis 2.11) on regulaatorid, pumbad, ventiilid, soojusvaheti. Sõltuvalt hoone jahutussüsteemist saab jahutussõlmes olla ka mitu soojusvahetit.



Joonis 2.11. Tüüpiline jahutussõlm (Göteborg Energi) [10]

Peamised erinevused sojussõlmest on järgmised [11]:

- Primaarkontuuril enne soojusvahetit paigaldatakse baipassliin, mis on vajalik süsteemi külmumise vältimiseks (see on väga aktuaalne riikide jaoks kus on pikk ja külm talv ning temperatuurid langevad alla nulli). Kindlasti sellise baipassliini paigaldamisel tuleb teha selle liini täielik kontrollivõimalus ning tagada võimalus katkestada läbivoolu et tagada nii suur dT kui on võimalik.
- Sekundaarkontuuril üldjuhul ei ole soovitatav panna ka kolm tee ventiil, kuna see alandab dT , mis on väga tähtis jahutussüsteemis.

Jahutussõlme tüüp sõltub tarbija profiilist. Ehk sisene jahutussüsteemi põhimõte ei muutu ning jahutusenergia kasutamisega saab muuta nii ruumi temperatuuri (jahutada) kui ka kontrollida õhuniiskust.

2.2.4 Kaugjahutuse soojuskandja parameetrid

Kaugjahutuse soojuskandja parameetriteks on rõhk ja temperatuur.

Kaugjahutussüsteemi rõhu diapasoni valimisel lähtutakse samadest asjaoludest nagu kaugküttesüsteemi puhul. Ehk peamised faktorid, mida mõjutavad rõhku süsteemis on:

- Vajalik dP tarbija jahutussõlmes
- Torustiku läbimõõt ja pikkus
- Torustiku karedus (sõltub toru materjalist ja torustiku vanusest)
- Jahutusjaama süsteemist
- Elektrikulust pumpamisele jne

Temperatuuri valikul tuleb arvestada palju suurema arvuga faktoritega.

Nagu oli juba mainitud, jahutussüsteemi dT on palju madalam kui kaugküttesüsteemis, seega dT hoidmine on väga tähtis kaugjahutuse süsteemis. Üldjuhul on soovitatav valida pealevoolu temperatuuriks 4 – 10 °C ning tagasivoolu temperatuuriks 14 – 20 °C [11]. Temperatuuride vahe dT suurendamine kindlasti vähendab ehitus ja hooldusmaksumused, kuna torude läbimõõdud lähevad väiksemaks ning vähendatakse soojuskandja pumpamise kulud.

Samas soojuskandja temperatuurid mõjuvad ka jahutusenergia tootmist. Mida madalam on pealevoolu temperatuur, seda keerulisem (ehk kallim) on toota jahutusenergia. Jahutusenergia kõige odavam tootmise variant on vabajahutus, mille juures töötab ainult soojusvahetus ja pumpamis seadmed. Vabajahutusel kasutatav jahutuseallikate temperatuurid on vahemikus 6 – 10 °C (kindlasti see sõltub konkreetsest allikast ja kohast ning ka aastaajast). Järelikult, mida kõrgem on pealevoolu temperatuur seda efektiivsem saab kasutada jahutusallikat.

Jahutusvõrgu temperatuuri ei tohi vaadata ilma tarbija süsteemita. Jahutuvõrgu arendamisel ja temperatuuri graafiku valimisel tuleb võtta arvesse liituvate tarbijate eripärasused ja plaanid. Siin saab liigitada tarbijad kaheks tüübiks:

- Olemasolevad tarbijad, kellel on olemas kohalik külmatootmiseade
- Tulevased tarbijad, kes planeerivat liituda

Esimeste tarbijate tüüpi iseloomustab see, et nendel on jahutussüsteem juba väljaehitatud ning toimib, ehk jahutusvõrguga liitumisel ideaalis on vaja välja vahetada ainult jahutusseadmed jahutussõlmeks. See seab oma piiranguid, kuna üldlevinud temperatuurid antud süsteemides on 7 – 12 °C ning jahutusvõrgu ühendamisel ei saa selle väga palju muuta.

Tulevaste tarbijatega on võimalik ja tuleb teha tihedat koostööd, et nende sisesed jahutussüsteemid oleksid arvestatud kõrgemate temperatuuridega, kui see on võimalik (kui jahutust ei ole vaja mingi tööstusprotsessi jaoks kus peab olema mingi kindel madal temperatuur siis see ei ole probleem).

2.3 Kaugjahutuse eelised ja väljakutsed

2.3.1 Kaugjahutuse eelised

Kaugjahutuse süsteemi põhilised eelised võrreldes lokaalsete süsteemidega on:

- Vähendada (või kaotada) lokaalsete seadmetega tekkiv müra
- Annab hooneomanikule rohkem kasuliku pinda, sh ka katused (nt katuse terrasside ehitamine)
- Kuna lokaalsed seadmed väljastavad soojusenergiat lokaalset, siis võivad tekkida nn linnasoojussaared, mis toovad kaasa ebamugavused lähedal viibivatele inimestele. Kaugjahutussüsteemid elimineerivad selle probleemi [11]
- Mida suurem on tarbijate arv, seda vähem maksab ühine jahutusjaam võrreldes lokaalsete jaamadega

2.3.2 Kaugjahutuse väljakutsed ja takistused

Suurem osa uurimistöid kinnitab, et tarbijad on turutingimustest, tehnoloogia omadustest ja enda energiakasutusest sageli halvasti teavitatud. Piisava teabe puudumine KJ kohta võib tähendada, et KJ ei sisaldu isegi otsuste päevakorras. Teave ei saa alati nii palju tähelepanu kui olukord võimaldab, sest inimesed ei ole sageli aktiivsed teabeotsijad, vaid on pigem valikulised teabe järelevaatamise ja omandamise osas. Uurimistöö tuvastab mõned teabe omandamise tunnused; näiteks mõned mäletavad teavet suurema tõenäosusega, kui see on konkreetne ning esitatud ilmekal ja isikupärastatud viisil ning pärineb vastuvõtjale sarnanevalt isikult [12].

Ebapiisav teave on üks teabe ebatäiusi. Teine on liigne teabekulu, viidates siin KJ kohta teabe otsimise ja hankimisega seotud kuludele. Veel üks teabe ebatäiuse vorm puudutab teabe täpsust, mis tähendab, et teabe pakkuja ei pruugi pakutava toote puhul alati läbipaistev olla. Teabe ebatäiused on tõenäoliselt kõige rängemad, kui toodet ostetakse harva, tulemuslikkuse omadusi on raske hinnata enne ostu või vahetult pärast ostu ning tehnoloogia muutumise kiirus on ostuintervallide suhtes kiire [12]. Teabe ebatäiusega seotud probleemidele võidakse reageerida mitmesuguste teabekampaaniatega, mis nõuetekohase läbiviimise korral teevad KJ võimalikuks.

Teine tegur, mis võib pärssida KJ omaksvõtmist, on vastuvõtja poolne tajutav usaldusväärsus ja usaldus teabepakkuja vastu. Energiatarbijad ei saa alati saada täpset teavet eri investeerimisvõimaluste lõplike võrdluskulude kohta; nad peavad tuginema kõige usaldusväärsemale kättesaadavale teabele [12].

Huvide lahknevused: huvide lahknevused võivad ilmnedas siis, kui energiatõhususe investeringu potentsiaalne kasutaja ei ole energiaarve maksja. Sellisel juhul ei pruugi potentsiaalse kasutaja käsutuses olev teave kulutõhusa KJ kohta olla piisav; omaksvõtt toimub ainult siis, kui näiteks üürnik saab kinnisvara omanikult investeringu eest hüvitist.

Üürileandja ja üürniku suhte see aspekt piirab energiatõhusate tehnoloogiate kasutuselevõttu, eriti nende puhul, mille algsed kulud on kõrgemad, kuid olulusringi kulud madalamad kui tavapärastel tehnoloogiatel [13]

Varjatud kulud: varjatud kulud hõlmavad suuri kulusid, mis on seotud teabe otsimisega, müüjatega koostumistega, lepingute kirjutamisega ja muude tegevustega [12].

Piiratud juurdepääs kapitalile: külmajaama investeerimine võib olla kallim kui investeerimine muudesse tehnoloogiatesse. Lisaks võib probleemiks olla ka madal likviidsus ja piiratud juurdepääs kapitalile ning mõnikord võivad sellised piirangud olla ise kehtestatud [12].

Risk: ehkki näiteks juhid võivad teada investeringu kapitalikuluseid, tähendab ebakindlus pikaajaliste tegevuskulude suhtes seda, et investering kujutab endast teatavat riski. On tuvastatud, et sellised mured on otsustajatele väga olulised [13]. Keeruline võib olla hinnata netokulusid mõne energiatõhusa investeringu puhul, mis sõltuvad tulevastest majandustingimustest üldiselt ja tulevastest energiahindadest. Energiahinnad on kõikunud seni energiaturgude tekkimisest alates, mille tulemuseks on ebamäärasus tulevaste hindade osas. Väikese ja keskmise suurusega ettevõtete seas on uuringud näidanud, et mõned ei pruugi nõutavate hinnangute tegemiseks vajaliku aja- ja rahapuuduse tõttu seda ebamäärasust arvestatud riskini vähendada.

Piiratud ratsionaalsus: veel üks selgitus, miks kulutõhusaid energiatõhususe meetmeid ei võeta, on piiratud ratsionaalsus. Organisatsioonid ei tegutse sarnaselt üksikisikutele mingil määral täieliku teabe põhjal, vaid teevad otsuseid pigem rusikareegli järgi [12].

Teised uuringud samuti käsitlevad jahutusvõimsuse planeerimise ja tarbimise riskid ning barjäärid. Vabaturu toimimise korral võib jahutusvõrgu operaator olla suure riski all mis puudutab tarbimist järgmistel põhjustel [14]:

- Kuna jahutusvõrk on uus tehnoloogiline lahendus, võivad mõned potentsiaalsed kliendid mitte soovida süsteemi üldse kasutada, kartes, et see ei pruugi olla usaldusväärne. See võib juhtuda eelkõige potentsiaalsete klientide puhul, kes on arenduse varajase etapi erasektoris, kui jahutusvõrgu operaatoril pole veel kindlaid tulemusi.
- Kui kliendid ei sõlmi lepinguid kus on toodu minimaalne kohustatud tarbimine, siis võrguvaldajal on ebakindlus tarbimise suhtes.
- Uus arendus piirkondades peab olema tehtud suurem osa investeringutest jahtus võrku enne kui suurem osa hoonetest on rajatud.
- Kuna jahutusvõrgu operaatorid on suhteliselt uued organisatsioonid ei pruugi nendel olla kliimaseadmete turuhinna kohta väga head teavet ja seega ei pruugi

nad olla võimeline tagama, et potentsiaalsetele klientidele pakutav hind oleks atraktiivne.

Samuti tariifide meetodi valik on väga oluline teema ning saab ka aidata hajutada riskid.

Tariifstruktuur viitab viisile, kuidas kaugjahutuse teenuse osutamise fikseeritud kogukulu jagatakse elementideks, mis võivad sisaldada ühekordset liitumistasu, iga-aastast liitumistasu ja ühte või mitut ühikutasu [14]. Tariifstruktuur on oluline kahel põhjusel. Esiteks, kuna jahutusvõrgu operaatorile tehtavad maksed on ajaliselt hajutatud, muudab see riski jaotust kliendi ja operaatori vahel. Teiseks, kuna tariifstruktuur määrab marginaale mille eest saab klient täiendavat jahutusenergiat, mõjutab see marginaali tarbimist ja tarnimist käsitlevaid otsuseid (st see mõjutab tõenäosust, et kliendid püüavad kontrollida oma jahutusteenuste tarbimist, ja DCS-i operaator uue ettevõtte kaasamiseks). Aus tariif peaks arvestama investori riskiga ja motiveerima kasutajaid energiatarbimist säästma.

Göteborgi näitel töötab antud juhul suhteliselt hästi kahetariifne süsteem [10]. Selle puhul on olemas eraldi võimsuse tasu, mis määrab maksimaalse tarbimisvõimsuse ning makstakse igakuiselt vastavalt lepingus toodud võimsusele. Eine osa on reaalse tarbitud energia hind.

2.4 Ülevaade Mailmaas

Viimastel aastatel on kaugjahutus osutunud tõhusaks ja kvaliteetseks tehnoloogiaks mugava sisekliima säilitamiseks elu- ja ärihoonetes. [1] järgi kasutatakse 2,7% ELi ärihoonete energia lõpptarbimisest jahutamiseks. Energia tarbimine ruumi jahutamiseks peaks 2050. aastaks kolmekordistuma [15]. Ehkki Euroopa jahutusenergiavajadus on Ameerika Ühendriikide ja Jaapaniga võrreldes madal, on selle kasvupotentsiaal tohutu [2]. Peamised põhjused, miks omavalitsused KJ-projektidega tegelevad, on sünergia olemasolevate kaugkütte süsteemidega, soojuse ja elektri koostootmisjaamade (KTJ-d) liigsoojuse suurem kasutamine ning vajadus kestlikemate energiaprofiilide järele [2]. Praegu on Euroopas KJ põhitarbijateks ärihooned, mis nõuavad tavaliselt suurt ühendusvõimsust ja jahutust aasta läbi. Euroopas on KJ-süsteemid olemas paljudes riikides, sealhulgas Prantsusmaal, Rootsis, Taanis, Soomes, Eestis, Austrias ja Hollandis [15]. Euroopa suurim KJ-süsteem asub Pariisis ja kogu jahutusvõimsus on 215 MW. Sellel on võrgus kuus suurt jahutusjaama ja neli täiendavat jahutusjaama väljaspool keskvärku. KJ-võrk varustab Seine'i jõest võetud vett, mis jahutatakse keskmise temperatuurini 5°C. KJ-võrgu pikkus on umbes 71 km. Enamik klientidest on hotellid, bürood, riigiasutused, teatrid ja muuseumid [15].

KJ-tehnoloogiad on aastate jooksul arenenud ja kõige kestlikuma lähenemisviisi leidmiseks on läbi viidud palju uuringuid. Kõige keskkonnasõbralikum lahendus on loomulik jahutus, kus jahutatud vett võetakse lähedalasuvast veekogust, näiteks Pariisi jõest [16]. Kui läheduses puuduvad looduslikud veekogud, võib kasutada suuri soojuspumpasid (SP-d), jahuteid, absorptsioonjahuteid või muid uudseid tehnoloogiaid, näiteks hübriidpäikeseenergiat. Artiklis [17] töötati välja suuremahuliste SP-de ja jahutusjaamade optimeerimismudel, et määrata kõige ökonoomsemad ja/või kestlikumad tootmis- ja salvestusvõimsused, soojusallikad ning nõudlusprofiilid KJ- ja KK-varustuseks. Modelleerimistulemused näitasid, et SP-d koos KJ-võrkudega võivad luua kestliku sümbioosi, sest SP-d saavad kasutada KJ-võrku soojusallikana, millel on suur potentsiaal vähendada CO₂ emissioone. Nagu näitab [18], saab süsteemi juurutada KJ-süsteeme, külma soojusenergia salvestust (SES) ja jahutustorne, et saavutada nõuetekohase käsitlemise korral veelgi suurem energiasääst. Exergia hindamine näitab, et jahutid toimivad hästi jahutustornidega integreerituna. Külma SES-iga saab jahutatud vett säilitada ja sobitada jahutuskoormusega päeva kõige soojematel tundidel, et vältida jahutite liigset koormamist. Külma SES-i laadimis- ja hajutusaja reguleerimisega on võimalik hoida väljalasketemperatuuri ühtlasem ja vältida jahutussüsteemile liiga sooja vee ärajuhtimist. Nagu kirjeldab artikkel [19], saab päikeseenergiat kasutada ka KJ-süsteemides, kasutades päikesekollektorite tekitatud soojust neeldumisjahutite jaoks. Lisaks saab päikeseenergiat kasutada KJ-s ka elektriliste jahutite toiteks.

KJ-võrgu temperatuurid on varustuse poolel tavaliselt 6-16 °C ja tagastuse poolel 8-25°C. Artiklis [20] käsitleti kõrgetemperatuurilist KJ-d Rootsis Göteborgi KJ-süsteemi kontekstis. Varustustemperatuuriks soovitati 12-14°C ja tagastustemperatuuriks 20-22°C, mis võimaldab suurendada loomuliku jahutuse kasutust ja tugevdada temperatuuri vähendamist KK-süsteemides. Seega, kui süsteemi sisestatakse kõrgemad temperatuurid, võib see toetada selle arengut tulevase nutienergiasüsteemi suunas, millel on suurem tõhusus ja energiasääst [20].

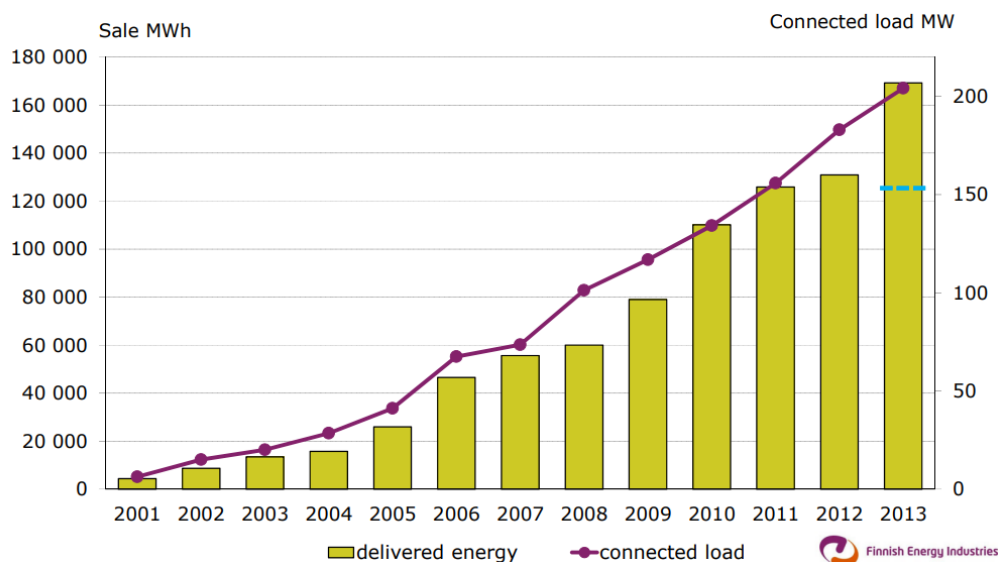
Artiklis [21] analüüsiti jäätmepõletuse KTJ-de soojuse ülejäägi kasutamist KJ-s. Loodi tegeliku Taanis asuva 73 MW KTJ simulatsioon. Tuvastati, et 20 MW KJ-d saab varustada absorptsioonjahutite ja külmade SES-ide abil, mille tasuvusaeg jääb alla 5 aasta. Selline lahendus oleks kasulik nii KTJ-dele kui ka jahutusvarustusele. KTJ operaator võib teenida raha, pakkudes soojust jahutamiseks, selle asemel, et seda ümbritsevasse õhku lasta või lubada teistel seda nende kulul põletada. KJ-varustus absorptsiooni kaudu on ökonoomsem ja säästlikum kui üksikute elektriliste jahutite kasutamine.

2.4.1 Soome

Soomes alustati kaugjahutuse arenguga aastal 1998 millal kerkis esimene kaugjahutuse võrk Helsingis [22]. Järgmised linnad olid Turku (2000), Lahti (2000), Vierumäki (2002),

Tampere (2012), Pori (2012) ja Espoo (2013). Alates esimese võrgu arendamisest on iga aastasel jahutusenergia müük (kaugjahutuse võrgu kaudu) ning ühendatav võimsus ainult kasvanud (vt Joonis 2.12).

Delivered District Cooling energy and connected load



Joonis 2.12. KJ energia hulk ning tarbijate ühendusvõimsus [22]

Delivered energy – kohale toimetatud energiahulk, Connected load – tarbijate ühendusvõimsus.

Erinevates võrkudes ning sõltuvalt ka aastaajast on Soomes kaugjahutuse vee pealevoolu temperatuur erinev, aga üldjuhul see on piirides 6 – 8°C ning dT peale- ja tagasivoolu torudes on ca 8 – 10°C [22].

2.4.2 Rootsi

Rootsi hakkas proovima arendama kaugjahutust juba ca 30 aastat tagasi. Selle kohta on päris palju kirjeldatud artiklis [11].

1992. a. alustas Västerås is tööd esimene Rootsi kaugjahutussüsteem, mis sai inspiratsiooni USA kaugjahutuse kogemustest. Peamine liikumapanev jõud oli freooni kui külmutusaine keelustamine olemasolevates jahutites, mis andis võimaluse ühtlustada investeeringuid uude jahutusvõimsusse, asendades olemasolevad freoonisisaldusega jahutid. Suuremad kaugjahutussüsteemid ilmuvad Stockholmi, Göteborgi, Linköpingisse, Solna-Sundbybergi, Lundi ja Uppsalasse. 2014. a. riiklik kaugjahutusstatistika [23] hõlmas süsteeme 40 linnapiirkonnas ja jahutustarneid oli kokku 3,6 PJ, mis näitas, et kaugjahutustarneid on kaugküttetarnetest palju väiksemad. Aastane keskmine laienemise tempo on alates 2000. aastast olnud 8%.

Ruumi jahutamise kasutamist üldiselt ja eriti kaugjahutust saab selgitada suurele küttele keskendumisel Rootsi uute hoonete projekteerimisel ja ehitamisel. Seetõttu on need

hooned loodud madalate soojakadude jaoks, takistades soojusvooge ka soojadel suvepäevadel, kui on tarvis jahutada.

Kaugjahutuse süvaanalüüs viites tõi esile, et umbes pool jahutustarnetest kattis teenindussektori hoonete ruumijahutusnõuded, ülejäänud tarneid kasutati aga muudel eesmärkidel, näiteks protsesside jahutusnõudluse rahuldamiseks. Ligikaudu 14% teenindussektori hoonetest kasutab ruumijahutust ja umbes pool neist jahutusvajadustest rahuldati kaugjahutustarnetega. Kaugjahutuse kohaldamisel hinnati riigi keskmiseks jahutuse erivajaduseks samuti 45 kWh/m².

Tulevikus prognoositakse, et iga-aastased linnaosade jahutustarned kasvavad 2020. a. 7–8 PJ-ni ja 2030. a. 10–12 PJ-ni [11].

2.4.3 Prantsusmaa

Prantsusmaal arendatakse pidevalt kaugjahutust, sest jahutusnõudlus kasvab. Enamik kaugjahutuse kasutajaid on teenindussektoris (muuseumid, bürood, kauplused). Riigis on 23 kaugjahutusvõrku, mille tootmise maht on vahemikus 0,9 kuni 1 TWh aastas. Esimest korda määras Prantsusmaa mitmeaastase energeetikaprogrammi (Programmation pluriannuelle de l'énergie, PPE) KJ tarnete arengueesmärgid, korrutades 3-ga aastaks 2030 [24].

Prantsusmaal kaugjahutuse kasvu peamine liikumapanev jõud on selle ülemaailmne tõhusus, mida saab mõõta energiasäästu, kasvuhoonegaaside vähete emissioonide, tootmissüsteemide ülekoormuse jms osas.

Kaugjahutuse toetamiseks ei ole veel kujundatud üleriigilist poliitikat, ent otsustajad hakkavad selle eeliseid mõistma ja täpsemalt hindama. Energiasäästu sertifikaatide skeem, mis on üks peamisi Prantsusmaal energiatõhususe eesmärkide saavutamiseks rakendatud poliitikavaldkondi, võtab teatavate tingimustel juba arvesse ühendust kaugjahutusvõrguga, eriti Prantsuse ülemeredepartemangudes ja -territooriumidel asuvates teenindushoonetes.

Lisaks eeldatakse, et suurem teadlikkus ja käimasolev põhjalikum uurimine kaugjahutuse võimaluste kohta edendab soodsamat poliitikat [24].

Thassalia projekt Marseille's

500 000 m² büroohooneid jahutatakse ja köetakse Marseille'is peatselt ookeani geotermilise energia abil. Esimene Prantsusmaal ehitatud mereenergiat kasutav soojuse-jahutuse tootmisettevõtte ehitab 3 km pikkuse võrgu, mis pakub nii soojust kui ka jahutust ühele renoveeritud linnaosale (Euroméditerranée). Projekti nimega THASSALIA teostab Cofely koos Pariisi jahutussüsteemi eest vastutava ettevõttega Climespace. See vähendab oluliselt linna

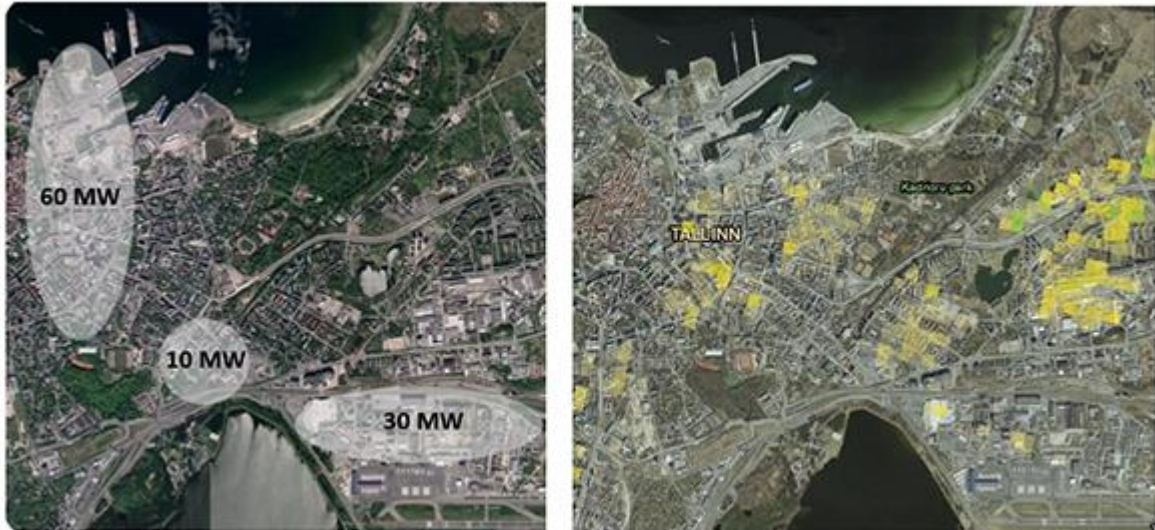
energiatarbimist ja kasvuhoonegaaside emissioone (-70%). Võrdväärse arvu individuaalsete kütte- ja jahutussüsteemidega võrreldes on eelised tohutud: energiatõhusus kasvas 50%, taastuvenergia kasutamine suurenes 70%, külmutusaine emissioon vähenes 90%, veetarbimine vähenes 65%, kemikaalide kasutamine vähenes 80% [24].

2.5 Kaugjahutus Eestis

Eesti esimene kaugjahutussüsteem rajati Tartusse, kus töötab praeguseks kaks külmajaama. Emajõe ääres, aadressil Turu 16A asub 13 MW Kesklinna Külmajaam, mille omanik on Fortum Tartu. Investeeringute suurusjärk oli 5,7 MEur [25]. Jaam ühendati võrku 16. oktoobril 2015, kui ühendati võrku ka esimene klient – Tartu südames asuv kaubanduskeskus Kvartal. Hiljem, 2017. aasta juunis valmis teine, Aardla Külmajaam, mille planeeritud võimsuseks on 9,2 MW. Hetkel on sellest välja ehitatud vaid 5,4 MW, mis katab Lõuna-Eesti suurima kaubandus- ja vaba aja keskuse – Lõunakeskuse, ja selle lähikonnas asuvate hoonete jahutusvajadusi. Tarbijateks on peamiselt suured kaubanduskeskused, büroohooned ja üldkasutatavad hooned.

Alates 2019. aastast alustas tööd ka Pärnu kaugjahutusjaam, mille võimsus on 7 MW ja torustiku pikkus 1km. Sellest võimsusest 1,6 MW moodustab vabajahutus Pärnu jõest. See peaks vähendama ressursikasutust 67%, elektritarbimist 70% ja CO2 emissioone 72% võrreldes kohalike jahutuslahendustega [25].

Ka Tallinnas alustas Utilitas alates 2019. aasta sügisest jahutusteenuse pakkumist, rajades Ülemiste kaugkütte katlamajja Tallinna esimese kaugjahutusjaama, mis pakub jahutust Juhkentali piirkonnas asuvatele ärihoonetele. Esimesed kliendid olid kaks büroohoonet Fahle Pargis. Tallinnal on olemas üldplaneeringud kõigi kolme kindlaksmääratud KJ-piirkonna jaoks mis on näidatud (Joonis 2.13). Ülalmainitud Fahle Park asub tsoonis mis on tähistatud „10MW“.



Joonis 2.13. Tallinna linna planeeritud kaugjahutuspiirkondade asukoht [26]

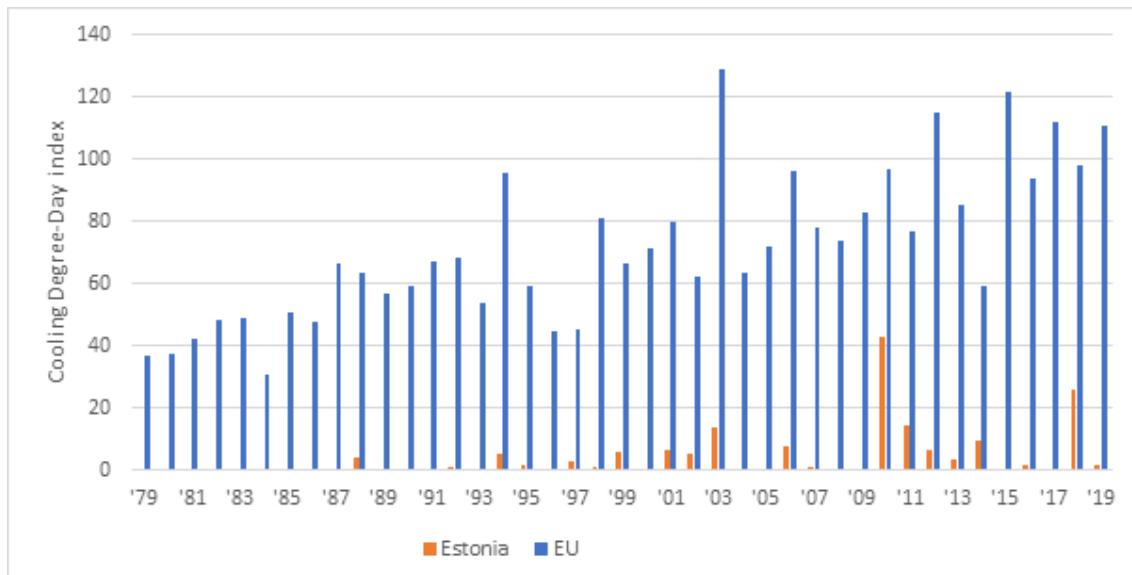
Ülemiste City piirkond asub tsoonis mis on tähistatud „30 MW“ vastavalt uuringule [25]. Edasistes planeeringutes oli täiendavalt hinnatud antud piirkonna potentsiaal koos kaubanduskeskustega T1 ja Ülemiste, lennujaamaga ning Ülemiste City täiendava arenguga mille tulemuseks maksimaalne võimalik võimsus on tõusnud 70 MW-ni.

Vastavalt uuringule [25] tulevikus on võimalik panna Ülemiste kaugjahutusjaamasse absorptsiooniseadmed. Siis suvel kasutavad absorptsiooniseadmed biomassiga SEKJ-des toodetud kaugküttevõrgu jääksoojust. 60 MW KJ-nõudluspiirkonna jaoks on kavas paigaldada 10 MW jahutid ja 65 MW absorptsiooniseadmed, mis suudaksid varustada 30 MW piirkonda ka võrkudevahelise torustiku kaudu. Eeldatavad investeeringud on 30 miljonit eurot ja tasuvusaeg on hinnanguliselt 10 aastat, eeldades, et KJ tarbijad maksavad lisaks elektrile ja liitumistasudele veel 35 eurot/MWh.

Nagu on näha vähestest olemasolevatest KJ-võrkude näidetest Eestis, on need hiljuti paigaldatud ja tööd alustanud. Täiendavalt on Eestisse kavas rajada veel mitu KJ-võrku. Seetõttu on KJ areng alles alguses. Tänu suuremale tõhususele kui üksikud jahutusseadmed võidakse tulevikus paigaldada üha rohkem KJ-võrke. Samal ajal võib eeldada, et jahutusvajadused kasvavad tulevikus tugevalt, sest muutuvad tarbijate vajadused, nt suurem mugavustunne. Seda võib näha nii suurenenud kaubanduskeskuste, büroohoonete ja madala energiatarbega hoonete arvu kui ka ühiskonna kõrgema mugavustaseme puhul. Lisaks suurendavad kliimamuutused ja ülemaailmse keskmise temperatuuri tõus tulevasi jahutusvajadusi. Selle võib tuletada joonisel 71 esitatud iga-aastase jahutuse kraadpäeva (CDD) indeksi põhjal. See indeks toimib jahutusvajaduste puhul, nagu joonisel 3 näidatud kütte kraadpäeva indeks kehtib kütmise puhul. Iga-aastast CDD-indeksit on esitatud viimase 50 aasta jooksul - alates 1979. a. Nagu näha, ei olnud ühelgi Balti riigil märkimisväärset CDD-indeksit kuni 1990ndateni. Sellest ajast alates on

see suurenenud ja sageli on CDD-indeks vahemikus 5 kuni 20. 2010. a. olid Eestis numbrid eriti kõrged. ELi keskmist vaadeldes on täheldatud pidevat tõusu, mis näitab suurt jahutusvajadust tulevikus nagu on öeldud uuringus [25].

Allpool graafikus (Joonis 2.14) on toodud jahutuskraadpäeva indeks aastate kaupa:



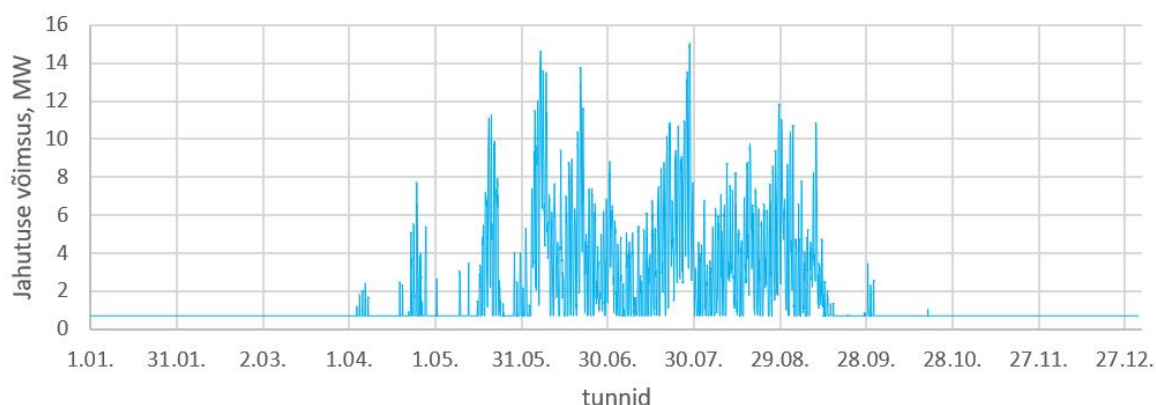
Joonis 2.14. Jahutuskraadpäeva indeks aastate kaupa [26]

Cooling Degree-Day index – jahutuskraadpäeva indeks, Estonia – Eesti, EU – Euroopa liit

3 JUHTUMIUURINGNING METODOLOOGIA

3.1 Juhtumiuuring

Tallinnas Ülemiste City äripargi jaoks arendati KJ-võrk. KJ-d saab varustada kahest eri kohast. KJ-võrgu kõrval asuva KJ-jaama projektipõhine jahutusvõimsus on 14,2 MW. Seda kasutatakse Ülemiste City praeguste ja tulevaste klientide varustamiseks. Klientide seas on peamiselt büroohooned, mitu tööstushoonet ja üks kool. Enamiku jahutuskoormusest moodustab mugavusjahutus, protsessijahutus ei ületa 5% nõutavast maksimumvõimsusest. Kliendid kasutavad ventilatsioonjahutust, puhurkonvektoreid ja jahutustalaseid. KJ-temperatuur ventilatsiooni puhul on 9–14 °C, puhurkonvektorite puhul 10-15 °C ja jahutustalade puhul 14–18 °C. Kogemused näitavad, et Tallinna nüüdisaegsetes büroohoonetes on jahutusvõimsus võrdselt jaotatud ventilatsioonjahutus- ja puhurkonvektorite või jahutustalade vahel. Arvestades 5% baaskoormust, tasakaalutemperatuuri 13 °C ja tunnis mõõdetud temperatuure, saame luua potentsiaalse jahutusprofiili, mis on näha Joonis 3.1. Aasta keskmine jahutuskoormus on 1,85 MW ja suvine keskmine jahutuskoormus 4,35 MW.



Joonis 3.1. Jahutuskoormuse profiil

3.2 Metodoloogia

Ülemiste Citys planeeritud kaugjahutuse võrk on analüüsitud kogu mahus, ehk selle koosseisu on:

- kaugjahutuse tootmisjaamad
- kaugjahutuse torustik (jaamade ja tarbijate vahel)
- kaugjahutuse tarbijate ühendused

Eesmärk on anda kõikidele tarbijat jahutusenergiat kaugjahutuse võrgu kaudu, ehk antud töös arvestatakse eo hoonete sisesed lahendus jäävad samaks ning muutub ainult jahutuse allikas. Kõik planeeritavad hooned mis ehitatakse peale KJ võrgu realiseerimist juba saavad arvestada jahutusevõrguga ning projekteerida ja ehitada omahoonesisesed võrgud vastavalt KJ välisvõrgu parameetritele.

Selle valguses on tähtis töötada välja metodoloogiat mille järgi saab vaadata ja hinnata kaugjahutuse võrgu juurutamise otstarbekust ning võrrelda omavahel erinevad lahendused et leida optimaalne konkreetse olukorra jaoks. Seega antud juhul juhtumiuuringuna on võetud Ülemiste City kaugjahutuse võrgu arendamine ning juurutamine.

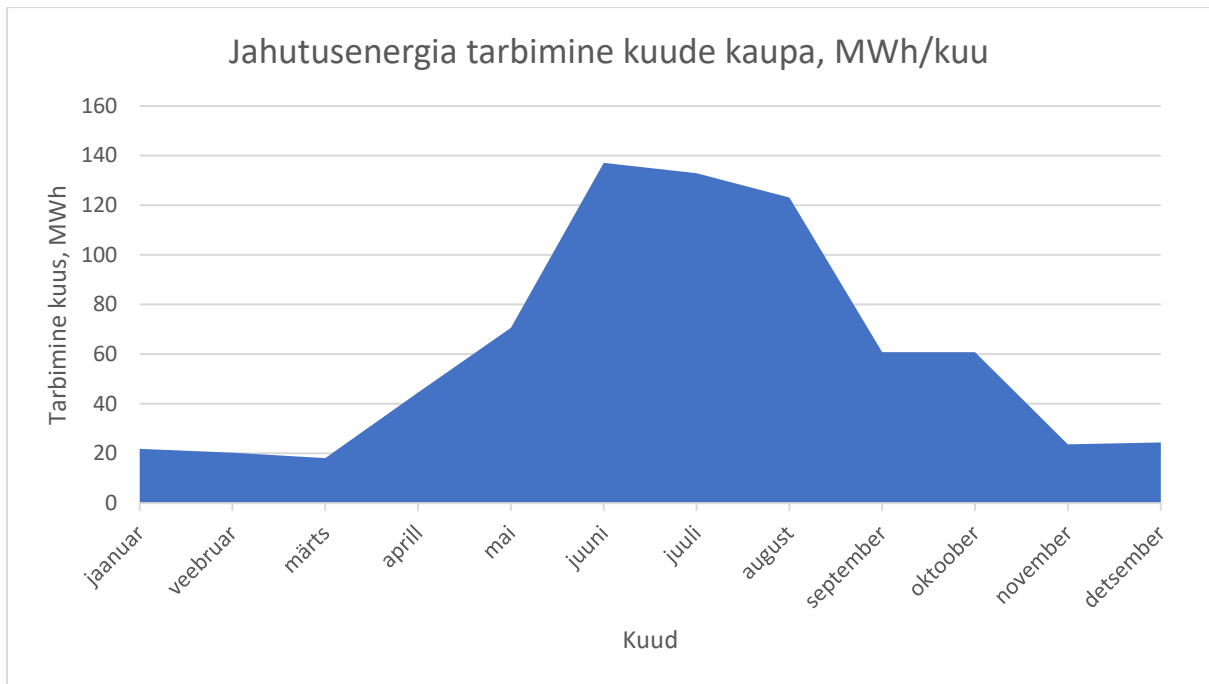
3.2.1 Ülemiste City tarbijate jahutusvõimsuse määramine

Kuna Ülemiste City on arenev piirkond siis olemasolevad hooned koostavad ainult osa kogu planeeritavast hoonestust. Ehk suurem osa hoonetest on alles planeerimise staadiumis. Seega jahutuse võimsuse määramisel tuleb lähtuda nii olemasolevatest hoonetest, kui ka projekteeritavatest ning planeeritavatest hoonetest.

Jahutusvõimsuste määramine on põhiline alus kogu jahutusvõrgu edasiseks arenguks ja projekteerimiseks [3]. Õieti valitud võimsused mõjutavad kaugjahutuse süsteemi projekteerimist, opereerimist, maksumust, sh:

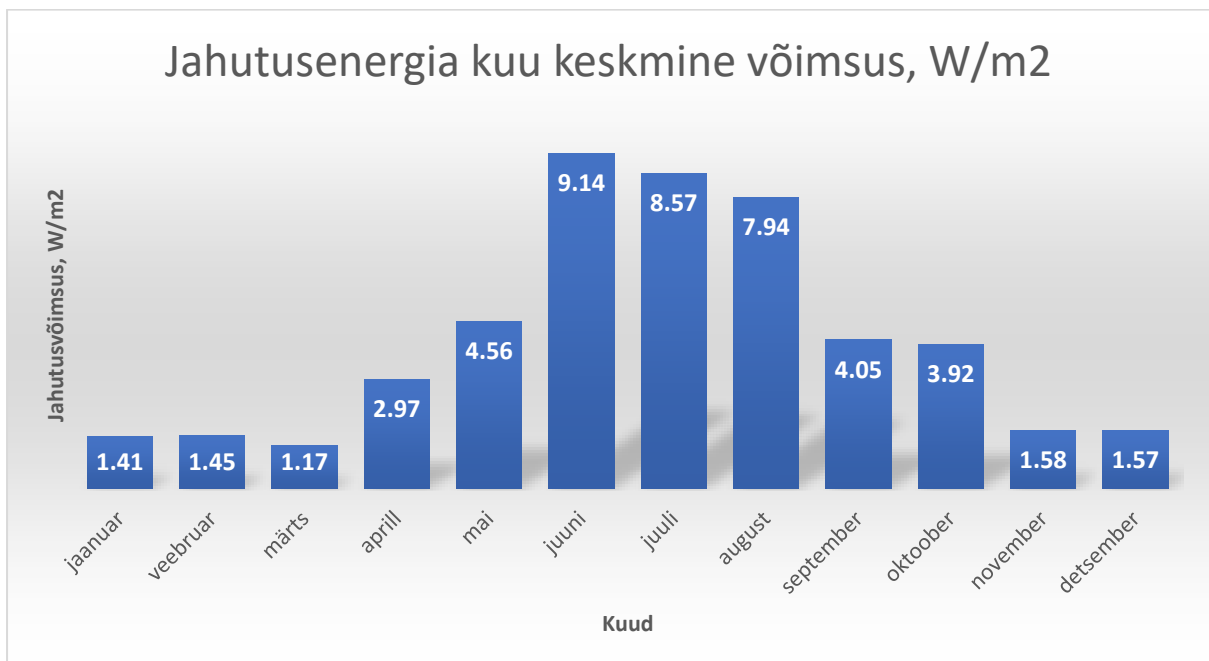
- Jahutusjaamade maksimaalse võimsuse valimist
- Võimalust efektiivselt tagada nõutud jahutusenergia toodangu nii tippkoormusel, kui ka keskmistel ja madalamatel koormustel

Olemasolevad hooned kasutavat elektrit jahutuse tootmiseks. Lähtuvalt sellest on vaja hinnata kogu elektritarbimine mis omakorda annab tulemusena jahutusenergia tarbimise ettekujutust. Kuna kõige paremad andmed võimaldavad saada ainult elektrienergia tarbimised kuu kaupa ei ole täpselt võimalik selle info põhjal hinnata maksimaalsed võimsused, kuid annab võimaluse vaadata mis on reaalsed keskmised jahutusenergia vajadused.



Joonis 3.2. Jahutusenergia tarbimine kuude kaupa

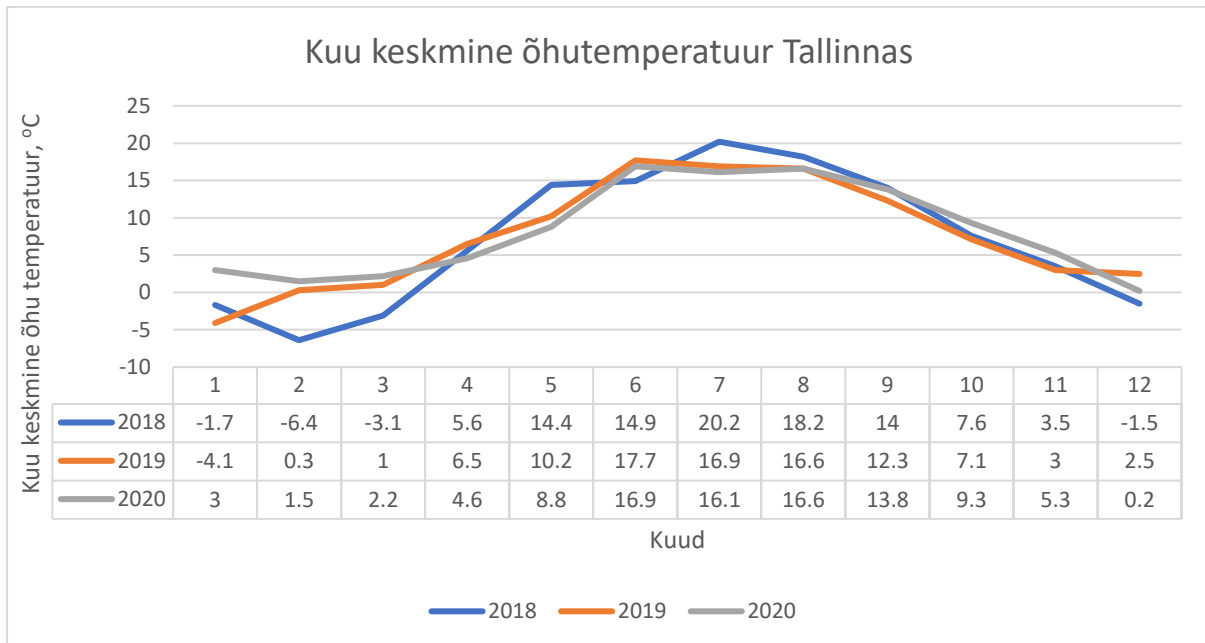
Graafik Joonis 3.2 näitab kuidas jaguneb jahutusenergia tarbimine aasta lõikes (kuude kaupa). Graafiku koostamisel on kasutatud olemasolev büroohoone Ülemiste Citys. Kuna see on reaalne objekt ja on teada ka büroopindade suurus, siis saab arvutada ka kuu keskmist võimsust mis on toodud graafikul Joonis 3.3.



Joonis 3.3. Jahutusenergia kuu keskmine võimsus [27]

Üleval näidatud graafikud näitavad, et kaasaegsetes büroohonetes jahutusenergia tarbimine võib olla ka aastaringset. Antud andmed on toodud aasta 2019 kohta. Antud aasta omapärasus on see, et talv ei ole väga külm olnud, samuti suvi ei olnud väga soe.

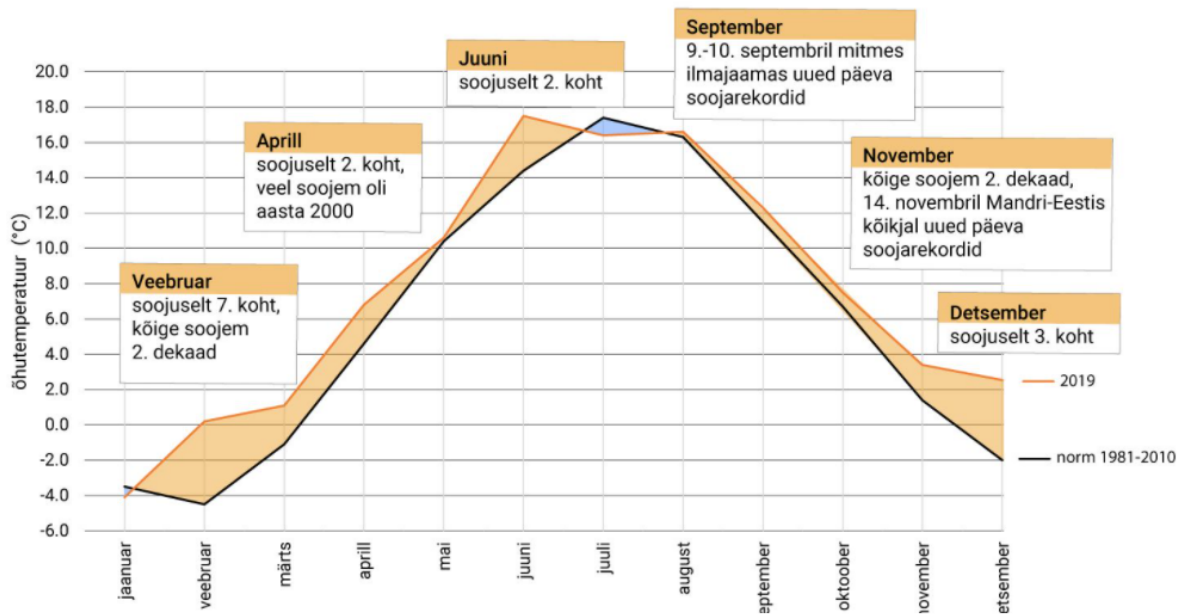
Kuna olemasolevate andmete saamine on suhteliselt keeruline ning teiste aastate kohta andmed puuduvad, siis on võrreldud ka erinevate aastate õhutemperatuurid.



Joonis 3.4. Kuu keskmine õhutemperatuur Tallinnas [27]

Graafikust Joonis 3.4 on näha, et võrreldes eelmise ning järgmise aastaga aasta 2019 talv ei olnud kõige külmem. Samuti suvine maksimaalne õhutemperatuur ei olnud suurem kui aastal 2018. Lisaks, kui vaadata Eesti ilmteenistuse aruanne Joonis 3.5 mis oli tehtud aasta 2019 kohta siis saab teha analoogselt samad järeldused:

Eesti keskmine õhutemperatuur kuude kaupa aastal 2019



Joonis 3.5. Eesti keskmine õhutemperatuur kuude kaupa aastal 2019 [27]

Üleval toodud materjali põhjal on võimalik hinnata keskmise jahutuse koormuse, kuid info maksimaalsete (tippkoormuste) võimsuste leidmiseks on puudulik. Seega maksimaalsete võimsuste määramiseks on kasutatud teised põhimõtted ning meetodikad.

Olemasolevate hoonete puhul, mis oli ehitatud hiljuti on olemas ka projektdokumentatsioon, kus oli teostatud arvutuse jahutusvõimsuste kohta. Saadud andmed on samuti võetud arvesse kogu võimsus arvutamisel.

Kuna suurem osa hoonetest on planeeritud hooned mille kohta täpsed andmed puuduvad, siis on võetud arvesse et nende jahutusvõimsus on piirides 45 – 65 W/m². Antud väärtused on kasutusel Utilitas Tallinn AS kaugjahutuse teenuse pakkujal mis arvestavad keskmist jahutusenergia vajadust kontorihoonetest. Hoonete jahutamisel kindlasti peale välisõhu ja nõutud ruumiõhu temperatuuride vahest tuleb arvestada mitu erinevat faktorit. Täpsem info on toodud samuti Eesti seadusandluses [28]. Nt tuleb arvestada ka soojuseraldused inimestelt, seadmetel jne vastavalt alljärgnevale infole mis on toodetud Tabel 3.1:

Tabel 3.1. Soojuseraldused [28]

	Valgustus	Seade	Inimene
Soojuseraldus, W/m ²	10	12	5

Kindlasti tuleb võtta arvesse et Euroopa riikides (vastuolus lõuna riikidega, ehk nt Kesk Aasia jne) väga palu varieerub võimsus päeva jooksul ning maksimaalne päevane võimsus saab olla kuni 40% suurem kui päeva keskmine võimsus [7]. Samuti tiptund võib sõltuda

ka hoone asukohast päikese suhtes. Mingites hoones see tipptund saab olla natuke varem ja mingites hoonetes natuke hiljem.

3.2.2 Kaugjahutuse allikad, nende variandid, asukohad

Kaugjahutuse allikaks jaamas saab kasutada kompressormasinat, absorptsiooni seadet ning vabajahutust. Sõltuvalt tingimistest saab kasutada ka soojuspumpa (kui on tegemist jahutuse ja soojuse allikatega ühes jaamas siis soojuspumba saab kasutada nii jahutuse kui ka soojuse tootmiseks).

Kui vaadata maailma kogemust siis kõige suurem kasutust on saanud kompressormasinaid ja absorptsiooni seadmed kuna suurem jahutuse vajadus on lõuna riikides mis asuvad Kesk-Aasias ja kus pole väga võimalik kasutada vabajahutust (suure temperatuuri tõttu). Kuid Euroopa ja Põhja-Euroopa riigid enam rohkem ja rohkem kasutavad vabajahutust kuna nendes riikides veetemperatuur meredes, jõgedes ning järvedes on hästi sobilik kaugjahutuse süsteemile.

Kaugjahutuse allikate asukoht ja valik

Kaugjahutuse allika asukoha valikul tuleb pöörata tähelepanu järgmistele asjaoludele:

- Jaam peab olema tarbijate suhteliselt lähedal et vähendada torustiku ja pumpamise maksumust
- Eeliseks on kui valitud maatükk ei võimalda kallishinnatud kinnisvara ehitust
- Kui on plaanis kasutada järve vabajahutust siis vabajahutuse torustik järvest jaamani peab olema minimaalse pikkusega et vähendada nii investeeringuid kui ka opereerimise maksumust

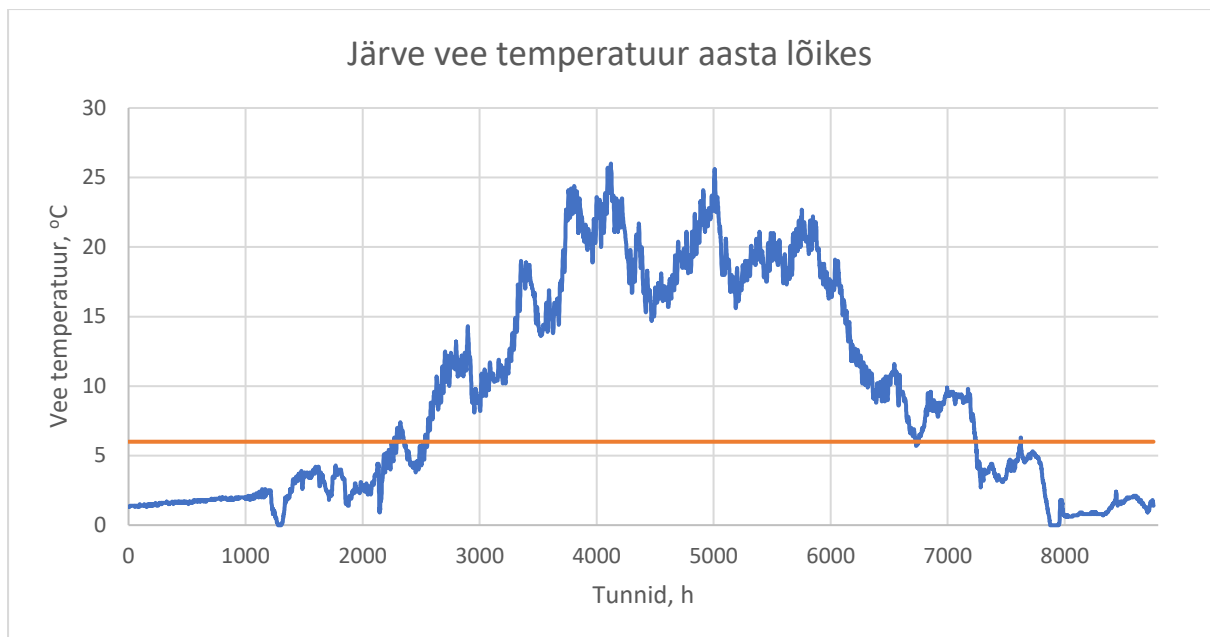
Joonis 3.6 on näidatud planeeritav areng Ülemiste Citys



Joonis 3.6. Ülemiste City

Põhimõtteliselt on näha, et kogu Ülemiste piirkond mis on piiratud Tartu maantee ja Suur-Sõjamäe tänavaga on ette nähtud arendada ning siia tulevad büroohooned, elamuhooned, Rail-Balticu terminal jne ehk antud piirkonnas ei pruugi olla sobiv koht kaugjahutuse jaama rajamiseks.

Samuti oli uuritud võimalus kasutada Ülemiste City kaugjahutuse allikana Ülemiste järve vabajahutust. Töö koostamisel oli uuritud erinevad andmed kuid Ülemiste järve veetemperatuur ei ole mõõdetud Eesti Ilmateenistuse poolt ning need andmed ei ole kättesaadavad. Seoses sellega oli läbivaadatud kõik teised suured järved Eestis ning võetud arvesse analoogsed karakteristikud nagu Ülemiste järvel. Referentsina oli võetud Võrtsjärv kus põhja sügavus on ca 2.8m. Allpool graafikus Joonis 3.7 on toodud veetemperatuur järve põhjas aasta lõikes:



Joonis 3.7. Võrtsjärve vee temperatuur sügavusel 2,8m aasta lõikes (2019a) [27]

Graafikule on kantud ka sirge joon mis on võrdne temperatuuriga 6°C. Antud joon on võetud referentsina kuna planeeritava kaugjahutuse võrgu pealevoolu temperatuur on 6°C ning lähtudes sellest on võimaik hinnanguliselt öelda kui pikk periood aastas saab teoreetiliselt kasutada kaugjahutust (kindlasti, reaalsuses tuleb veel vaadata kui suur kadu on soojusvahetites ning üldjuhul see on minimaalselt 1°C).

Järve temperatuur sõltub palju ka välisõhutemperatuurist ning päikese intensiivsusest, kuid juba ühe aastasel näitel saab teha mõned järeldused. Näiteks, on näha, et vabajahutust saab kasutada ligikaudselt 40% aastas ning see on alates oktoobrist kuni aprilli alguseni. Samuti, kui kasutada mitu jahutuse variandi koos, siis mõned kuud aastas on täiendavalt võimalik kasutada vabajahutust nagu jahutamise esimene etapp enne, näiteks, kompressorjahutit mis samuti suurendab süsteemi COP.

Ülemiste järve vabajahutuse allikana kasutamisel tulevad kindlasti ka täiendavad nõuded lähtudes sellest, et antud järve vesi kasutatakse Tallinnas joogiveena. Põhilised piirangud on:

- Rangemad piirid vee temperatuuri muutmiseks
- Rangemad nõuded vee kiirusele (muda põhjast ei tohi sattuda joogivee torudesse)

Kuna Ülemiste järv on kaugel Ülemiste Cityst ning samuti seal kehtivad täiendavad piirangud ei ole väga otstarbekas kasutada see jahutuse energia toomiseks. Kuid üleval toodud andmed saab kasutada ka teiste kaugjahutusvõrkude planeerimisel teistes kohtades Eestis.

3.3 Kaugjahutusvõrgu torustikud, kavandamise meetodika

Kaugjahutuse võrgu planeerimisel üks tähtis osa on torude ja liitmikute materjalide valik. Nagu oli mainitud punktis [2.2.2](#) kaugjahutusvõrgus saab kasutada (ning kasutatakse) erinevad torustikud. Põhilised erinevused on töötoru materjalis ning isolatsioon (isoleeritud, ilma jne). Ülemiste City võrgu kavandamisel lähtutatakse nii tehnilise-majanduslikust analüüsist, Eesti võrguvaldaja kogemusest ja harjumustest ning ka konkreetse asukoha omapärasustega.

Lähtudes sellest on planeeritud kasutada järgmist meetodikat:

1. Vaadata mis torud on sobilikud kaugjahutuse võrgus kasutamiseks
2. Määrata torude soojusisolatsiooni vajadust
3. Määrata töötoru materjali, hinnaklassi ja montaažitöö teostamise hinda

3.4 Kaugjahutuse võrgu torude valik.

Antud punktis on toodud välja erinevate torude maksumused. Torude montaažitööde maksumus hinnanguliselt saab võtta piirides 40 – 80% torude maksumusest. Siin tuleb võtta arvesse, et isoleerimata torude montaaž on odavam kuna ei nõua isolatsiooni jätkupaknedite paigaldamist. Seega ligikaudselt saab võtta et isoleerimata torude montaaži hind on piirides 40 – 50% torude maksumusest ning eelisoleeritud torude montaaž on 70 – 80% torude maksumusest.

3.4.1 Töötoru materjal

Allpool Tabel 3.2 on toodud erinevate torude variandid:

Tabel 3.2. Torude läbimõõdud ja seinapaksused [29] [30] [31]

Torude läbimõõdud ja seinapaksused, mm						
	Eelisoleeritud PE100 PN10	PE100 PN10	Eelisoleeritud PE100 PN16	PE100 PN16	Terastoru PE kattega	Eelisoleeritud terastoru (EN253)
DN100	125x7.4	125x7.4/200	125x11.4	125x11.4/200	114.3x3.6	114.3x3.6/200
DN125	160x9.5	160x9.5/250	160x14.6	160x14.6/250	139.7x3.6	139.7x3.6/225
DN150	180x10.7	180x10.7/250	180x16.4	180x16.4/250	168.3x4.0	168.3x4.0/250
DN200	250x14.8	250x14.8/400	250x22.7	250x22.7/400	219.1x4.5	219.1x4.5/315
DN300	400x23.7	400x23.7/560	400x36.3	400x36.3/560	323.9x5.6	323.9x5.6/450
DN400	500x29.6	500x29.6/710	500x45.4	500x45.4/710	406.4x6.3	406.4x6.3/560
DN500	630x37.4	630x37.4/800	630x57.3	630x57.3/800	508x6.3	508x6.3/710

Tabel 3.3 on toodud erinevate torude hinnangulised maksumused

Tabel 3.3. Torude hinnangulised maksumused

Torude hinnad, eur/jm						
	Eelisooleeritud PE100 PN10	PE100 PN10	Eelisooleeritud PE100 PN16	PE100 PN16	Terastoru PE katega	Eelisooleeritud terastoru (EN253)
DN100	30	13	28	17	19	29
DN125	40	18	40	24	24	37
DN150	45	22	48	29	28	43
DN200	75	41	92	55	44	72
DN300	156	106	190	141	83	128
DN400	248	165	297	220	116	187
DN500	392	262	471	349	171	275

Torude maksumused on võetud erinevate projektide eelarvetest kus oli tegemist eelisooleeritud terasest torudega, tavalistega terastorudega, PE100 torudega (nii PN10 kui ka PN16) ning samuti eelisooleeritud PE100 torudega. Nende objekti baasil oli koostatud keskmine hinnanguline torude maksumus.

3.4.2 Soojusisolatsiooni vajadus.

Kui vaadata juba olemasoleva kaugjahutuse objektid kogu maailmas siis levinud on mõlemad ahendused, ehk nii sojusisolatsiooniga torustikud kui ka ilma isolatsioonita torustikud.

Eesti linnades on hetkel levinud kasutada eelisooleeritud torustikud (jahutuse jaoks üldjuhul kasutatakse 0 ja-või 1 klassi isolatsiooni). Lõunamaades kus välisõhutemperatuur aasta ringselt on suhteliselt kõrge ning jahutust on vaja kogu aasta vältel on kasutatud ainult soojusisolatsiooniga torustikud. Rohkem põhjapoolsemates riikides kogemus näitab et saab suhteliselt efektiivselt kasutada torustikud ilma isolatsioonita. Näiteks, Saksamaa linnas Hamburg kohalik võrguvaldaja kasutab terastorustikud kuid ilma soojusisolatsioonita nii peale- kui ka tagasivoolu peal [32]. Rootsi linnas Göteborg on kasutusel enamasti isolatsioonita PE100 torustikud, kuid osaliselt on ka isoleeritud PE100 torustikud [10].

Magistriöös [33] olid tehtud arvutused Rootsi võrguvaldaja „Gavle Energi AB“ näitel kus olid kasutatud kolm põhivariandi: eelisooleerimata torustikud, eelisooleeritud torustikud,

isoleeritud pealevoolutorustik + isoleerimata tagasivoolutorustik [33]. Võrdlemise tulemused on näidanud, et külmakaod on otseselt seotud toru läbimõõduga (mida rohkem suureneb toru DN seda suurem on külmakadu). Samuti eelisoleerimata torude puhul on külmakadu kõige suurem (kui võtta aasta keskmine väärtus) ning juhul kui kasutada isoleeritud toru pealevoolul ning isoleerimata toru tagasivoolul siis aasta keskmine külmakadu on kõige väiksem. See on tingitud sellega, et kanda soojus isoleerimata torult (või torule) on palju lihtsam kui vahel on soojusisolatsioon. Sega variandi puhul pealevoolu toru temperatuur väga palju ei muutu isolatsiooni tõttu, kui tagasivoolu temperatuur enamuses ajas muutub (läheb nn külmemaks) selle tõttu, et tagasivoolu temperatuur (16°C) on üldjuhul kõrgem kui maapinna temperatuur, millega on suurem osa aastas tagatud külmakandja jahtumine. Ehk pakutud sega variant on kõige otstarbekam kui võrgus on alati olemas tarbimine ning võrk asub Baltimaades, Põhjamaades kus maapinna temperatuur ei tõuse väga palju isegi suvel.

Kuid alati tuleb võtta arvesse ka see asjaolu, et kui võrk areneb kiirem kui Tarbijat ühendatakse külge isoleerimata toru puhul tuleb talvel tagada suurema tsirkulatsiooni et vältida torustiku külmumist, mis on ka kulu.

Olid võrreldud ka erinevate paigaldussügavuste mõjud jahutuskadule.

Mida sügavam on torustiku paigaldussügavus seda vähem mõjutab seda õhutemperatuur kuna pinnase temperatuur suuremal sügavusel on suhteliselt ühtlane aasta lõikes. Seega antud juhul tuleb lähtuda maapinna temperatuurist ning on otstarbekas paigaldada isolatsiooni kui antud temperatuur on suurem kui kaugjahutuse pealevoolu torustiku temperatuur.

Kaugjahutuse võrgus ringleva soojuskandja temperatuurile on esitatud palju suurem tähelepanu võrreldes kaugküttevõrguga. Peamine põhjus on see, et primaar ja sekundaar kontuuride vahel temperatuuride vahe ehk dT on 1°C (või natuke suurem).

Ülemiste City kaugjahutuse võrgu kavandamisel oli valitud torude paigalduse variandiks lahtine meetod. Selle tulemusena majanduslikult kõige otstarbekas on teostada kaevetööd võimalikult vähe ning toru paigaldussügavus on vahemikus 1,5 – 0,8m toru peale. Kaevetööde raskendab ka suhteliselt kõrge paekivikiht mis asub vahemikus 1,0 – 2,0m kihi peale.

Kinnine meetod antud olukorras ei ole ka valitud liiga suure keerukuse tõttu (ehk puurimine paekivis ning suur vibratsioon vanade hoonete piirkonnas).

3.5 Planeeritud kaugjahutuse võrk

Oli teostatud hüdraulilised arvutused läbimõõtude valimiseks. Siin oli arvatud kaks varianti. Esimene variant arvestas seda, et peamine KJ jaam tuleb Valukoja tänava lõppu. Teine variant arvestab, et Valukoja tänavale KJ jaama ei tule, vaid tuleb ainult Peterburi tee jaam. Lisaks ülejäänud võimsus tuleb Ülemiste kaugjahutuse jaamast ning Ülemiste KJ jaama ning Ülemiste City ühendustoru kaudu.

Hüdraulilised arvutused on üks väga tähtis osa projektist, kuna selle arvutuse käigus tuleb leida optimaalne lahendus torude läbimõdu puhul ning maksimaalse rõhu süstemis. Ehk mida väiksemad toru läbimõõdud on, seda suurem pumpade võimsus peab olema et ületada takistus torudes ja võrgu elementides. Ehk seda võimsamad pumbad tuleb paigaldada jaamades ning seda suurem elektrienergia kulu pumpamisele tekkib.

Kaugjahutuse puhul hüdraulilistel arvutustel on lisaks veel üks tähtis mõju. Nimelt, kui valida toru materjal siis tuleb pidada meeles, et polüetüleenist torude puhul rõhk mõju ka torude seinapaksusele. Ehk kui on suhteliselt väike võrk (või väiksemate hõõrdekadudega võrk kus on enamasti suuremad läbimõõdud) siis saab kasutada PE100 PN10 torud. Kuid juhul, kui rõhk läheb suuremaks tuleb juba kasutada suurema seinapaksusega torud ehk PN16 torud, mille hind on juba ka palju suurem. Samuti torude sisemine läbimõõt on suuremate seinapaksuste puhul väiksem, mis jälle mõjub hüdraulikale ning suurendab takistust.

Terastorude puhul antud probleem ei eksisteeri, kuna standardsed terastorud nii eelisoleeritud kui ka ilma soojusisolatsioonita peavad vastu rõhule min 16 bar.

Hüdraulilise arvutuse teostamisel oli võetud arvesse, et rõhu gradient (ehk rõhukadu jooksva meetri kohta) ei ületaks 100 Pa/m. Need on üldised soovitusel kaugküttetrasside projekteerimisel. Vee kiirus torudes antud juhul on piirides 0,4 kuni 2,2 m/s. Üldiselt on nii, et väiksemates torudes on kiirus madalam ning suuremates magistraalides on kiirus suurem. Üldised soovitusel projekteerimisel on et keskmine kiirus oleks 1,5 m/s piirides ja maksimaalne mitte ületaks 2,5 m/s. See on seotud ka torude materjaliga ning terastorude puhul ülemine piir 2,5 m/s arvestab ka sellega et tuleb vältida erosiooni tekkimist torudes.

3.5.1 Külumiskaitse

Kaugjahutussüsteemide eripärasus külmamates maades on see, et torustiku ümbritseva keskkonna temperatuur saab minna alla nulli. See omakorda toob torustiku külmumise ohtu ning sellega tuleb alati arvestada. Tavaliselt kasutatav lahendus on see, et tarbijate soojussõlmedes tehakse möödaviigid mis töötavad juhul kui tarbija ei tarbi jahutusenergiat ning ilma baipassita puuduks soojuskandja ringlus. Ringlus antud juhul tagab alati seda et soojuskandja temperatuur ei lähe alla nulli.

Alternatiivseks variandiks mis oli kasutatud nt Tsellüloosi kvartali kaugjahutusevõrgu arendamisel on küttekaabli kasutamine. Idee seisneb selles, et kaugjahutustorule kinnitatakse kogu pikkuses küttekaabel. Juhul, kui torustik on isoleeritud siis kaabel pannakse isolatsiooni alla. Samuti toru kõrvale pannakse temperatuuri andurid (peab olema valitud kõige sobivamad punktid, nt sõltuvalt sügavusest). Reguleerimine anduri järgi ning on võimalik seadistada et tagada optimaalne varu. Selle lahenduse puudus on see, et peavad olema tehtud suuremad investeeringud süsteemi välja ehitamiseks ning samuti on ka kasutamise eluea jooksul täiendav kulu hooldamiseks ning süsteemi toimimiseks.

3.5.2 Kaugjahutuse tarbijad

Ülemiste City on kõrgehinnatud äripiirkond enamasti büroohoonetega mille on alustatud ehitama ca 15 aastat tagasi. Hetkeks on realiseerunud ainult osa plaanidest ning lähitulevikus tulevad juurde veel suures mahus büroo ja muud hooned. Kuna see on suhteliselt uus piirkond siis kõikides hoonetes on arvestatud sisekliimaga kõrgematel tasandil ning on olemas ka ruumide jahutus.

Jahutusõlmed

Analoogselt kaugkütte lahenduse kasutamisel iga tarbija juurde tuleb jahutussõlm (nagu kaugkütte puhul soojussõlm). Kõik jahutussõlmed tuleb teha sõltumatu skeemi järgi ehk see tähendab, et primaarne ning sekundaarne kontuurid on omavahel eraldatud soojusvahetitega. Joonis 3.8 on toodud tüüpiline jahutussõlm.



Joonis 3.8. Tüüpiline jahutussõlm soojusvahetiga [34]

Üks erinevus soojussõlmega on selles, et kõikides jahutussõlmedes on ette nähtud teostada möödaviik pealevoolu ja tagasivoolu ühendamiseks primaarpoolel. Selle möödaviiku peamine eesmärk on tagata soojuskandja (ehk vee) tsirkulatsiooni külmematel aegadel, millal jahutust pole tarbijatele vaja. See kaitseb süsteemi külmumise eest. Jahutuse energia kokkuhoiuks on siin väga tähtis tagada möödaviiku läbivoolu kontrollimist (kui välistemperatuur on üle 0°C või kui on olemas tarbimine pole vajadust et möödaviik töötaks) [7].

Kaugjahutussüsteemide juurutamisel tuleb eriti suur tähelepanu pöörata tarbijate jahutussõlmede soojusvahetitele. Kuna jahutussüsteemis on väga väike dT siis iga kraadi kaotus toob ka suhteliselt suure energia kaotust. Seega kaugjahutuse süsteemide tuleb enamasti valida ja arvutada soojusvahetid kus primaarse ja sekundaarse soojuskandja temperatuuride vahe on max 1°C.

Teiseks, kui on tegemist olemasoleva lokaalse jahutuse süsteemiga ning hoone omanik ei kavatse selle süsteemi rekonstrueerida, siis soojusvaheti valimisel tuleb arvestada ka minimaalse rõhukaoga. See üldjuhul tähendab, et jahutussõlme hind tõuseb, kuid antud juhul pole vajadust rekonstrueerida olemasolevat süsteemi ning võimaldab teostada ümberlülitust lokaalselt lahenduselt uuele kaugjahutuse süsteemile [35]. Üldjuhul kõige paremini sobivad plaatsoojusvahetid (mille tüüpjoonis on näidatud Joonis 3.9).



Joonis 3.9. Tüüpiline plaat soojusvaheti

Jahutussõlmede / soojusvahetite primaarkontuur ühendatakse analoogselt kaugküttevõrguga. Selleks võrguvaldaja annab konkreetse võrgu ja ühenduse jaoks omapoolsed tehnilised tingimused kus kirjeldab vajaliku dP (ehk rõhkude vahet primaarkontuuris jahutussõlme sisenemisel ja väljumisel), differentsiaalse regulaatori vajadust jne. Ülemiste City kaugjahutuse võrgus on võetud arvesse et minimaalne rõhkude vahe primaarkontuuris tarbija juures on 100kPa.

Üleviimine lokaalsest süsteemist kaugjahutussüsteemile.

Antud töös on arvestatud sellega, et kõik olemasolevad tarbijad saavad minna üle kaugjahutussüsteemile. On arvestatud kõikide olemasolevate (lisaks planeeritavatele) tarbijate võimsustega. Iga konkreetse olemasoleva tarbija ümberühendus kaugjahutusvõrguga tuleb detailselt läbivaadata ning määrata mida on otstarbekas teostada:

- Lokaalse jahutuse allika asendamine jahutussõlmega säilitades hoone jahutuse graafikut ning ilma olol süsteemi rekonstrueerimiseta (demonteeritakse ainult lokaalne allikas)
- Lokaalse allika asendamine jahutussõlmega, hoone olemasoleva jahutussüsteemi rekonstrueerimine

Esimene variant on otstarbekas teostada juhul, kui olemasolevate süsteemide temperatuuri graafik on küllalt kõrge (ehk sobib väga hästi primaarse graafikuga 6 / 16oC) ning olemasolev lokaalne lahendus on veel oma projekteeritud eluea algusfaasis.

Teine variant on otstarbekas realiseerida juhul kui olemasolev jahutussüsteem nõuab ka uuendamist / rekonstrueerimist. Antud puhul projekteerimise käigus tuleb kindlasti väga hästi läbimõelda perspektiivi ka kaugjahutuse võrgus ning proovida arvestada isegi kõrgema jahutuse graafikuga primaarses kontuuris (nt 10 / 20oC või 12 / 22oC). See soodustab tulevikus üleviimist ka kaugjahutuse võrgu kõrgematele temperatuuridele mis toob veel suurema primaarenergia kokkuhoiu ning heitmete vähenemist.

Kaugjahutusvõrgu tarbijate parameetrite valiku meetodika

Juhul, kui on tegemist olemasoleva kaugjahutuse tarbijaga tuleb võtta arvesse olemasolev olukord. Antud projekti raames oli tehtud eelprojekt /HeatConsult OÜ / Virtex OÜ / ühe tüüpilise olemasoleva büroohoone jahutussüsteemi üleviimisele kaugjahutusele.

Hoone olemasolev olukord:

Jahutusüsteem on baseeritud kompressor külmajamadele koos vabajahutusega. Ruumide jahutus on lahendatud jahutustaladega ja fan-coilidega. Samuti kasutatakse ventilatsiooni õhu eeljahutus. Ventilatsiooni seadmete jahutuspatareide juhtimine on lahendatud 2-tee ventiilidega. Ruumi jahutusseadmed (jahutustalad, fan-coilid) juhtimine on lahendatud 2-tee ventiilidega.

Serveriruumide jahutus teostatakse täppiskonditsioneeritega, kokku 160kW jahutusvõimsusega, mis on dubleeritud. Kuna serveriruum on kõrgendatud tähtsusega ruum siis on otstarbekas jätta see lahendus muutmata (kuna on juba olemas dubleeritud süsteem ning kaugjahutusele üleminek nõuab täiendavat investeeringud ühendamiseks olemasoleva süsteemiga ning ei vabasta investeerimisest olemasolevate seadmete remondi ja hooldusesse).

Hoone olemasolevad jahutusseadmed on järgmised:

- Swegon W38,4, 1tk
- Swegon W54,4, 5tk

Ja nende koguvõimsus on 2000kW. Koondtabelis Tabel 3.4 on näidatud kõik andmed.

Tabel 3.4. Olemasoleva jahutussüsteemi andmed

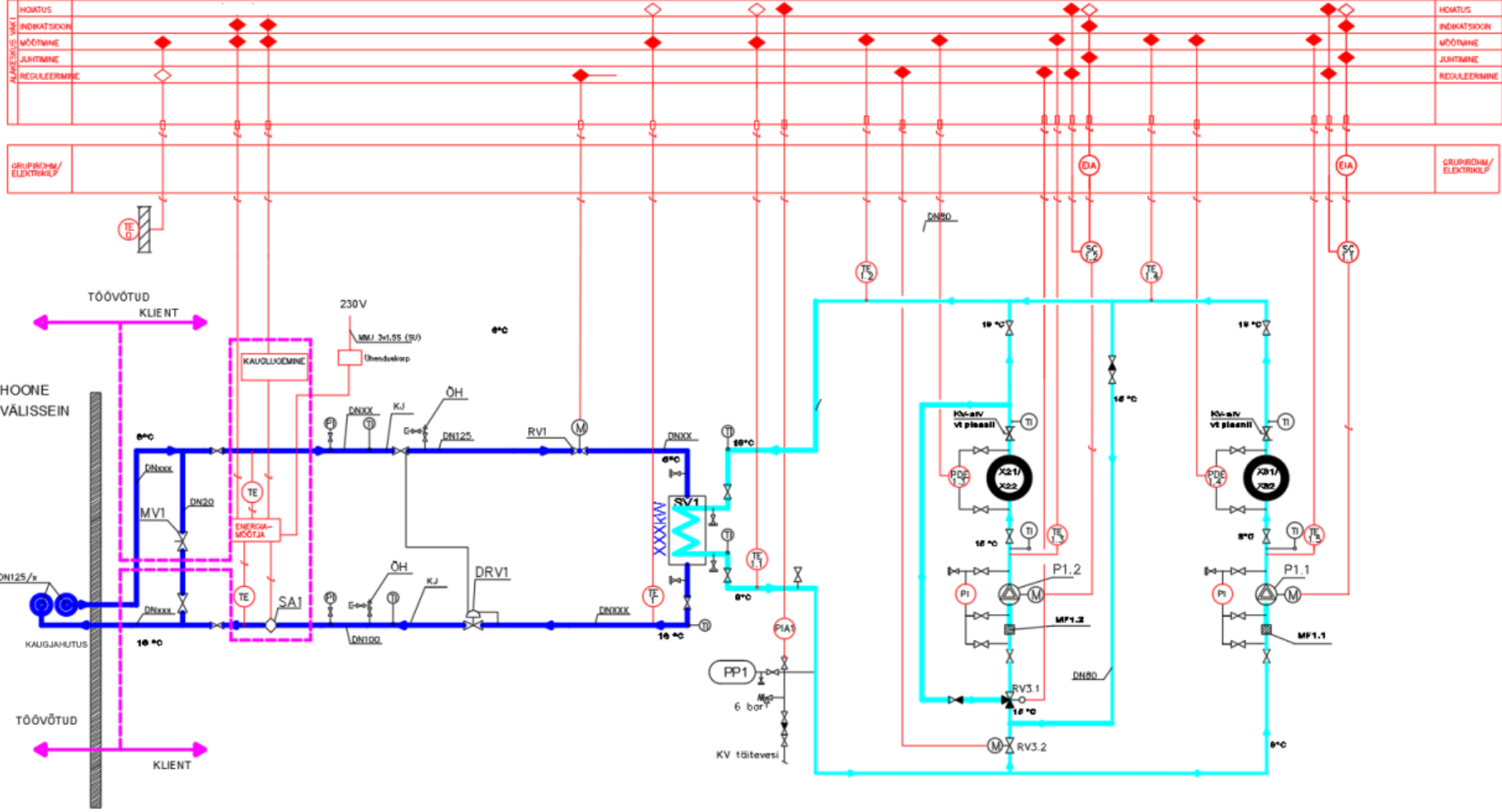
Olemasoleva jahutussüsteemi jahutuskoormuse liik	Jahutus võimsus	Külmakandja temperatuurid
	kW	T °C
Ventilatsiooni õhkjahutus A ja A/B	550	6/11
Ventilatsiooni õhkjahutus B ja B/C	550	6/11
Jahutuspalgid A ja A/B	316	14/17
FanCoilid A ja A/B	135	10/15
Jahutuspalgid B ja B/C	277	14/17
FanCoilid B ja B/C	173	6/11
Serveriruum	ei ole ete nähtud viia KJ-le üle	

Uus olukord peale kaugjahutusele üleviimist

Nagu juba oli mitu korda mainitud siis kaugjahutuse kontuuris külmakandja temperatuuri graafikus on hetkel kõige optimaalsem valida 6/16oC. Samuti, kui võrrelda antud graafik hoone olemasoleva jahutussüsteemiga siis me näeme, et KJ ning siseosa pealevoolu temperatuurid on samad. Kuna primaar ja sekundaar ringide vahel paigaldatakse soojusvaheti siis on arusaadav, et sekundaari graafik tõuseb vähemalt ühe kraadi võrra.

Sekundaarkontuuride graafikud pealevoolu temperatuuriga 6oC on 6/11oC, ehk $dT=5oC$. See tähendab, et sama külmakandja ringluse tagamiseks peab säilima vähemalt sama $dT=5oC$ mis on täiesti reaalne kuna primaarpoolne tagasivool on 16oC. Siinjuures kindlasti tuleb arvestada et seadmete (jahutuspatareid) võimsus võib natuke väheneda kuna ruumi ja külmakandja temperatuuride vahe väheneb. Siin aga tipukoormuse perioodil on võimalik suurendada dT (ehk pealevoolu ja tagasivoolu temperatuuride vahe) et tagada vajalik siseruumi õhutemperatuuri tase.

Teiste süsteemide puhul ülemineku probleem puudub, kuna primaar ja sekundaarkontuuride graafikud sobivad omavahel väga hästi. Joonis 3.10 on toodud tüüpiline ühendusskeem kaugjahutusega.



Joonis 3.10. Kaugjahutuse ühendusskeem / jahutussõlm

3.6 KTJ heitsoojuse kasutamine kaugjahutuses, hindamismetoodika

Võrreldi kolme stsenaariumi, millest igaühes kasutati absorptsioonjahutusseadet, mida varustatakse tagasilükatud soojusega SEKJ-st, mis asub 7 km kaugusel KJ-jaamast. Praegune KK-varustustemperatuur Tallinnas on kütteperioodiväliselt 70 °C. Uuriti, millist mõju avaldas KK-varustuse temperatuuri tõus sel perioodil absorptsioonjahutusseade EER-le ja kuidas selline temperatuuri tõus mõjutas KK-võrgu kadusid ja KTJ tõhusust. Seega hinnati kolme stsenaariumi, et määratleda optimaalne tehniline lahendus absorptsioonjahuti ja soojuse ülekande tõhusa EER-i jaoks KK-võrgus sooja tarbevee temperatuuride 70 °C, 80 °C ja 90 °C korral. Seejärel võrreldi kolme stsenaariumi võrdlusstsenaariumiga, mis põhines ainult elektrilistel jahutusjaamadel, mis varustavad KJ-i loomuliku jahutuse ja elektriliste jahutite abil.

KJ-jaamadele valitud jahutustehnoloogiate hulka kuuluvad absorptsioonjahutid, mis kasutavad biomassi KTJ-dest tulenevat liigsoojust, elektrilised jahutid ja loomulik jahutus suletud ahelaga jahutustornidega. See tootmiskava kasutab maksimaalselt ära õhust saadavat loomulikku jahutust. Kui KJ-tagastustemperatuur on piisavalt kõrge, saab loomuliku jahutuse perioodi suurendada osalise loomuliku jahutuse abil. Loomuliku jahutuse puhul võeti arvesse järgmisi eeldusi:

- Vabajahutust saab kasutada täisvõimsusel (0,71 MW), kui välisõhu temperatuur on alla 5 °C.
- Vabajahutus pole võimalik, kui välisõhu temperatuur on üle 15 °C.
- Vabajahutuse võimsus väheneb lineaarselt välisõhu temperatuuri põhjal, kui välisõhu temperatuuri vahemik on 5 °C kuni 15 °C. Võimsus on 100% temperatuuril 5 °C ja 0% temperatuuril 15 °C.

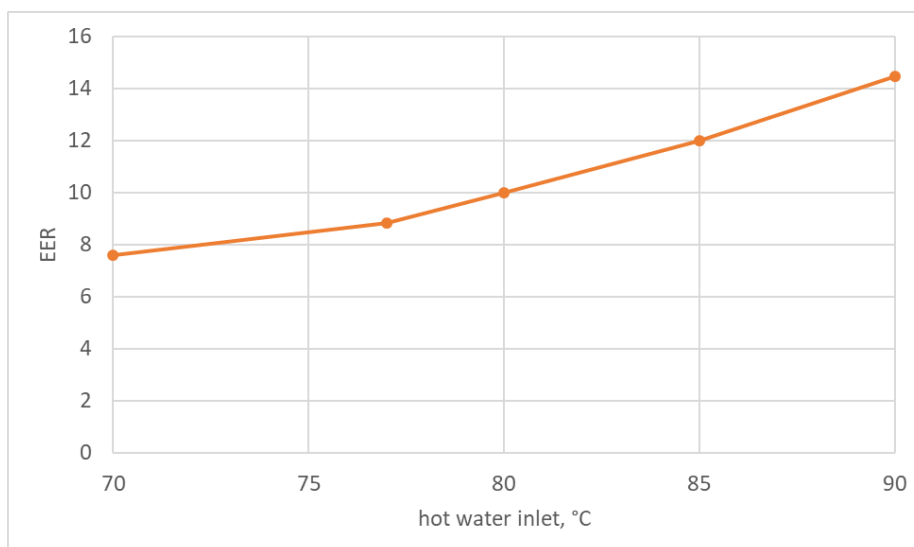
Kui välisõhu temperatuur tõuseb ja KK koormus väheneb, ei saa vabajahutust kasutada. Sellisel juhul kasutatakse absorptsioonseadet sisendsoojusena KTJ-de heitsoojust. See aitab saavutada kõrgema EER-i ja kasutada ära biomassi KTJ-de toodetud liigsoojuse. Absorptsioonjahuteid kasutatakse suvel baas- ja vahekoormuste puhul, elektrilisi jahuteid aga tippkoormustel.

Üks variant absorptsioonjahutite puhul on kasutada KTJ-de soojuse ülejääki jahutamiseks, mis suurendab ka SEKJ üldist tõhusust. Meie juhtumis pärineb liigsoojus biomassil põhinevast Tallinna KTJ-st nr 2. See KTJ võeti kasutusele poolbaaskoormuse katmiseks ja soojuse võrku tootmiseks eelkõige talvel, kevadel ja sügisel. Jaam võeti kasutusele 2017. aastal ja töötas 2018. aastani ainult KTJ-režiimis (soojuskoormuse profiilide seire), sest

puudusid spetsiaalsed rajatised soojuse eemaldamiseks ümbritsevasse õhku. Sellest hoolimata on alates 2018. aastast olnud võimalik toota elektrienergiat heitsoojuse abil kuivjahutite [36] kasutuselevõtu tõttu, mis võimaldab suvel saada tuge biomassi KTJ-dele.

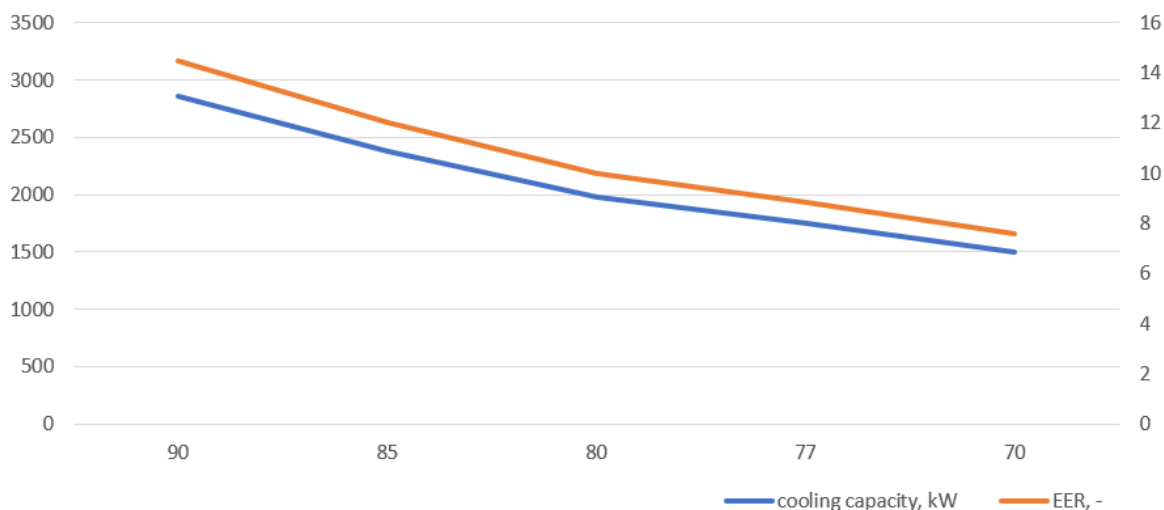
Andmed absorptsioonjahuti võimsuse ja EER-i arvutamiseks võeti Ülemiste KJ-jaama seadmete andmelehtedelt. Absorptsioonjahutid vajavad sisendil kuuma vee temperatuuri 90 °C, kuid soovine KK-varustuse temperatuur on tavaliselt vaid 70°C. Varustustemperatuur 90 °C ja tagastustemperatuur 68 °C tagavad jahuti maksimumvõimsuse. Joonis näitab võimsuse ja EER-i muutumist olenevalt varustustemperatuurist. Maksimumtemperatuuril on selle jahutusvõimsus 2863 kW ja KK-võrgu sisendtemperatuuril 70 °C on jahutusvõimsus 1500 kW. See on jahutusvõimsuse 48% vähendamine.

Jahutusvõimsuse vähendamine tähendab ka EER-i languse, kui absorptsioonsoojusvahetite voolukiirusi hoitakse konstantsena madalamate sisendtemperatuuride korral ja seega samal elektritarbimisel. EER väheneb vastavalt – vt Joonis 3.11 ja Joonis 3.12. Absorptsioonseadme võimsus (sinine) ning EER (oranz) vastavalt sisendtemperatuurile. Jahutuse maksimumvõimsuse korral on EER 14,5, miinimumvõimsuse korral aga 7,6.



Joonis 3.11. Absorptsioonjahutusseadme EER vastavalt sisendtemperatuurile

Hot water inlet – sooja vee sisend



Joonis 3.12. Absorptsioonseadme võimsus (sinine) ning EER (oranz) vastavalt sisendtemperatuurile Vasakul – võimsus, kW; paremal – EER, Allpool – temperatuur, °C

Liigsoojus suunatakse jahutusjaama biomassi SEKJ-st Tallinna KK-võrgu kaudu. Kuna see SEKJ töötab ainsana suvel ja KK-võrgu osade vahel puuduvad soojusvahetid, põhjustab KJ puhul KK-varustustemperatuuri tõus kogu KK-võrgus KK varustustemperatuuri tõusu. Seetõttu tuleb tehnilises analüüsis hinnata täiendavat soojuskadu. Uuritud KK-võrgul on järgmised parameetrid:

- Kogupikkus on 450 km, KK-torude suurused jäävad vahemikku DN25 kuni DN1200, mittekütteperioodi pikkus on 160 päeva ja keskmine välisõhu temperatuur mittekütteperioodil 14,5 °C.

Logstor-tarkvara abil kasutati iga-aastastel soojuskadude arvutamisel torude nõuetekohaseid mõõtmeid.

Elektrilised jahutid käivituvad erinevalt absorptsioonjahutitest lihtsalt ja kiiresti, muutes nende talitluse sobivaks tippkoormuse ajal. Välisõhu temperatuuri põhjal arvutati elektrilise jahuti EER termodünaamiliste mudelite abil, mis töötati välja tarkvarapaketi Engineering Equation Solver (EES) abil. Järgmine Valem (3.1) koostati mudelite põhjal, mida esitati ja kirjeldati [17]-s:

$$EER = -0.1822 \times T_{\text{air}} + 10.238 \quad (3.1)$$

Optimaalse lahenduse võrdlemiseks ja määratlemiseks kasutatud hindamisparameetrid võtavad arvesse nii jahutusjaama kui ka KK-süsteemi tehnilisi omadusi. KK-süsteemi jaoks arvutati välja soojuskadu, voolukiirus, pumba elektritarbimine, aastane KTJ energiatõhusus ja süsteemi üldine tõhusus. Kõrgem KK pealevoolu temperatuur suurendab soojuskadu. Kui võrrelda näiteks kaugküttetorustiku DN500 osa, on soojakadu

KK-varustustemperatuuril 70 °C 39,32 W/m, 80 °C juures 44,18 W/m ja 90 °C juures 49,03 W/m. Kõrgemad pealevoolu temperatuurid vähendavad voolukiirust ja pumba elektritarbimist.

Süsteemi tulemuslikkuse hindamiseks kasutati veel üht tõhususe parameetrit. Nagu eespool kajastatud, vähendab kaugkütte kasutamine kaugjahutuseks välisõhku väljavisatava soojust, suurendades seeläbi KTJ energiatõhusust. Kuid oleks vale võrrelda kaugküttevõrku tarnitud soojust ja kasutamata soojust, sest pealevoolu temperatuuri tõus toob kaasa soojuskao suurenemise, mis mõjutab süsteemi edastavat soojushulka. Seetõttu arvutati SEK-kütmise/jahutuse energiatõhusus (suvine variant) (3.2) abil:

$$EE_{CHP-DHC} = \frac{P_{CHP} + Q_{DHW} + Q_{DC}}{F_{CHP}} \quad (3.2)$$

kus

P_{CHP} on KTJ toodetud elekter (MWh);

Q^{DHW} on tarbijatele müüdava soojavee soojendamiseks kasutatav soojus (MWh);

Q_{DC} on soojus, mida kasutatakse absorptsiooni seadmes jahutamiseks.

Absorptsioonjahuti summaarne EER, vabajahutuse ja absorptsioonjahutuse osakaal, elektritarbimine ja CO₂ emissioonide vähenemine on jahutuse tulemuslikkuse näitajad, mida arvutatakse ja võrreldakse. Biomassi loetakse Eestis süsinikuneutraalseks ning riiklikust energiaallikate jaotusest pärit elektril on CO₂ emissioonitegur 0,891 tonni CO₂/MWhel, 2019 seisuga [37].

4 TULEMUSED

4.1 Tarbijate võimsused

Võttes arvesse eelmises peatükis kirjeldatud meetodikad on koostatud Ülemiste City piirkonna tarbijate nimekiri ning arvutatud jahutusvõimsused mis on toodud alljärgnevas Tabel 4.1:

Tabel 4.1. Ülemiste City perspektiivsed kaugjahutuse tarbijad ning nende võimalik maksimaalne jahutusvõimsus, MW

Tarbija asukoht / Aadress	Maksimaalne jahutuse võimsus Q,MW
Büroohoone 1 (III etapp)	0.550
Büroohoone 1 (I etapp C korpus)	1.370
Büroohoone 1 (I etapp B korpus)	1.370
Büroohoone 1 (II etapp D korpus)	1.370
Büroohoone 1 (II etapp E korpus)	1.370
Büroohoone 1 olemasolev hoone	0.878
Büroohoone 5b	0.563
Büroohoone 5a	0.563
Büroohoone 12	0.638
Büroohoone 13	1.800
Kaubanduskeskus, olemasolev hoone	2.703
Kaubanduskeskus, perspektiivne arendus	1.040
Büroohoone 15	0.407
Büroohoone 14	0.216
Büroohoone 6/1	0.450
Büroohoone 7a	0.800

Büroohoone 7	0.803
Büroohoone 6/2	0.450
Büroohoone 7 B ja C hooned	1.440
Büroohoone 8	0.161
Büroohoone 9 olemasolev hoone	0.935
Büroohoone 9 perspektiivne arendus	0.420
Büroohoone 21	0.161
Büroohoone 19	2.668
Büroohoone 18	0.693
Büroohoone 20	0.693
Büroohoone 16	0.587
Büroohoone 17 E ja G	0.267
Büroohoone 17 perspektiivne arendus	0.480
Büroohoone 22	0.693
Büroohoone 23	3.500
Büroohoone 27	0.747
Büroohoone 24	0.641
Büroohoone 25-1	1.200
Büroohoone 10 M ja F	0.951
Büroohoone 4	0.161
Büroohoone 25/2	1.200
Büroohoone 24/1	0.624
Büroohoone 26/1	0.374
Büroohoone 26/2	0.480

Büroohoone 26	0.374
Büroohoone 10	0.854
Büroohoone 28/1	1.228
Lõõtsa tänava perspektiivne arendus	1.040
Büroohoone 11	0.630
Büroohoone 28/2	1.228
Büroohoone 3	1.350
Lennujaam	11.647
Büroohoone 29	0.267
Büroohoone 2	0.294
Büroohoone 10	2.700
Büroohoone 30/1	0.660
Büroohoone 12/1	1.160
Büroohoone 12/2	1.160
Büroohoone 12/3	1.160
Büroohoone 12/4	1.160
Büroohoone 30/2	1.601
Büroohoone 31	1.601
Büroohoone 12/5	1.160
Büroohoone 32	0.800
Büroohoone 33	0.800
<u>KOKKU</u>	<u>69.291</u>

Tabel 4.1 on arvestatud kõikide võimalikke tarbijatega kes asuvad antud piirkonnas, ehk nii Ülemiste Citys kui ka kohe selle kõrval nagu, näiteks, Tallinna Lennujaam. On võetud arvesse ka kõikvõimalikud arenguplaanid et oleks võimalik tagada kaugjahutust kõikidele

soovijatele. Kindlasti arvestatakse ka sellega et areng võtab mitu aastat ning jaamade ning torustiku planeerimist on otstarbekas realiseerida etappidena vastavalt kinnisvaraarengule.

4.2 Kaugjahutuse torustiku variandid Ülemiste City võrgus

Ülemiste City kaugjahutuse võrgus ei ole küttekaabliga süsteem optimaalne kuna torustiku pikkus on palju suurem kui küttekaabli optimaalne pikkus. Küttekaabliga süsteemi juurutamisel oleks vaja paigaldada maapealsed kilbid mis on täiendav kulu ning samuti ei ole vastuvõetav Ülemiste City poolt linnakujunduse mõttes.

Ülemiste City kaugjahutuse võrgu arendamisel parim lahendus on teostada baipassliinid, mis ei nõua täiendavat suurt investeeringud (baipass on üldjuhul max DN25 torulõik koos kraaniga ja liiniseadeventiliga) ning puudub kulu süsteemile (nagu elektritarbimine küttekaabli puhul). Kuna esimese sammuga ehitatakse kogu magistraaltorustik ning suuremad hargnemised, aga tarbijad tulevad hiljem külmumisvastane lahendus baipassiga sobib suurepäraselt:

- kui suured otsad on ilma tarbimiseta siis otsa lõppu paigaldatakse üks kaev mille sees on baipass
- Kui antud toru ots arendatakse hiljem edasi siis kaev baipassiga likvideeritakse või tõstetakse ümber uuele kohale
- kui toru ots jõuab tarbija jahutussõlmeni siis baipass paigaldatakse juba tarbija soojussõlmes.

Hüdraulilise arvutuse tulemuseks on saadud järgnevad andmed mis on koondatud Tabel 4.2 allpool:

Tabel 4.2. Hüdrauliliste arvutuste tulemused

Maksimaalne vee kiirus torustikus, m/s	2.42
Minimaalne vee kiirus torustikus, m/s	0.43
Maksimaalne vooluhulk torustikus, kg/h	918.14
Minimaalne vooluhulk torustikus, kg/h	2.88
Maksimaalne rõhukadu torustikus, Pa/m	85.37
Minimaalne rõhukadu torustikus, Pa/m	5.50
Maksimaalne torustiku DN	700
Minimaalne torustiku DN	80
Rõhukadu võrgus, kPa	250

Antud töös vaadatakse ainult variant mille puhul planeeritav kaugjahutuse võrk ühendatakse ka Tselluloos kvartali ning perspektiivis ka kogu linna kaugjahutuse võrguga. Põhjuseks on see, et ühendus Ülemiste KJ jaam – Ülemiste City on otstarbekas teostada

iga varinadi kasutamisel kuna siis tagatakse suurem varustuse kindlus. Lähtudes sellest esimese variandi kasutamisel on investeeringud palju suuremad kuna tuleb täiesti uus ja eraldi KJ jaam Valukoja tänaval. Allpool Tabel 4.3 on näidatud saadud trasside pikkus läbimõõtude kaupa.

Tabel 4.3. Torustiku pikkused

DN	Pikkus, m
80	101
100	226
125	457
150	477
200	1125
250	328
300	242
350	203
400	727
450	545
500	115
600	185
700	2253
Kokku	6985

Lähtudes kogutud informatsioonist saame kätte (vt Tabel 4.4) torustiku maksumuseks mis arvestab torustiku hinda ning montaažitööde teostamist. Joonis 4.1 kajastab Ülemiste City võimalik kaugjahutustorustiku asendiplaan:

Tabel 4.4. KJ torustiku ehituse hind

Toru DN	Toru pikkus, m	Toru hind, eur/jm	Montaazi hind, eur/jm	Hind kokku, eur
DN80	202	27	18.9	9272
DN100	452	29	20.3	22284
DN125	914	37	25.9	57491
DN150	954	43	30.1	69737
DN200	2250	72	50.4	275400
DN250	656	110	77	122672
DN300	484	128	89.6	105318
DN350	406	170	119	117334
DN400	1454	187	130.9	462227
DN450	1090	240	168	444720
DN500	230	275	192.5	107525
DN600	370	467	326.9	293743
DN700	4506	800	560	6128160
			Kokku, eur	8215882



Joonis 4.1. Ülemiste City kaugjahutuse masterplaan / torustiku plaan

4.3 Kaugjahutuse ja kaugkütte koostöö

Tabel allpool näitab tehniliste indikaatorite arvutuste tulemust mis on seotud KK võrguga igale kolmest stsenaariumi puhul. Nagu on näidatud

Tabel 4.5, temperatuuri tõus KK pealevoolu torustikus viib ka soojuskadude suurenemisele, kuid elektrienergia kogus pumpamisele ei ole väga erinev kolme stsenaariumi puhul, mis on kajastatud Tabel 4.5.

Tabel 4.5. KK tehnilised parameetrid kolme temperatuuriliste stsenaariumite puhul

Parameeter	70°C stsenaarium	80°C stsenaarium	90°C stsenaarium
Soojuskadu, MWh	37,535	42,169	46,804
Soojuskadu suurenemine, MWh	0	4,634	9,269
Vooluhulk, kg/h	2 012 410	1 508 435	1 205 902
Elekter pumpamiseks, MWh	1 008	755	602
Soojus kaugjahutuse tootmiseks, MWh	4963	6124	8195
EE _{CHP-DHC} , %	35.12%	35.55%	36.31%

Nagu varem oli mainitud ei ole võimalik suurendada KK võrgu pealevoolu temperatuuri ainult ühe lõigu jaoks. Temperatuur tõuseb kogu võrgus mis toob soojuskadude suurendamist. Kuid see lisasoojus teiselt poolt oleks välja visatud atmosfääri spetsiifilise tariifi struktuuri tõttu biomassil töötavate KTJ jaoks. Sel juhul pole kütuse kulu ei suurene vaatamata pealevoolu temperatuurile.

Nagu ka varem selgitatud soojuse kasutamine selleks et toota jahutust tõstab süsteemi kasuteguri. Ilma jahutuse juurutamiseta EE on 33,29% vastavalt valemile (3.2). Jahutuse juurutamine suurendab utiliseeritava soojuse hulka ning parandab süsteemi efektiivsust.

Tabel allpool näitab ka võrdluse kus on välja toodud jahutuse efektiivsuse indikaatorid iga stsenaariumi jaoks.

Lisaks, temperatuuri suurendamine toob kaasa KK võrgus vooluhulga vähendamine mis omakorda vähendab elektritarbimist pumpamiseks (vt Tabel 4.6)

Tabel 4.6. KJ võrgu tehnilised parameetrid viie stsenaariumite jaoks

Parameeter	Kompressor vabajahutus	+ 70°C stsenaarium	80°C stsenaarium	90°C stsenaarium
Elektritarbimine, MWh	1869	1831	1653	1365
CO ₂ elektrist, tonn CO ₂	1665	1631	1473	1216
Jahutuse hooajaline EER, -	8.48	8.55	9.48	11.47
Vabajahutuse osakaal, %	24.7	24.7	24.7	24.7
Absorbtsioonjahuti osakaal, %	-	26.8	32.8	43.0
Elektrilise kompressori osakaal, %	75.3	48.5	42.4	32.3

Siit on näha, et elektri tarbimine on väiksem KK võrgu kõrgema pealevoolu temperatuuri puhul mis toob ka CO₂ vähendamist elektri tootmisest. Hooajaline EER suureneb samuti kõrgema KK pealevoolu temperatuuri puhul ning võrreldes variandiga kui töötab ainult elektrikompressor jahutuse tootmiseks, selle on kõrgem EER suuremate pealevoolu temperatuuride puhul absorptsiooniseadmetes ning absorptsiooniseadme EER suvel on suurem elektrikompressori oma suuremate välisõhu temperatuuride puhul. Lisaks jahutuse osakaal toodetud absorptsiooniseadmega on suurem kõrgemate pealevoolu temperatuuride puhul. Elektrikompressori osakaal väheneb vastavalt sellele.

4.4 Kaugjahutuse allikad ja tarbijad

Ülemiste City kaugjahutusenergiaga varustamiseks on planeeritud ehitada kaugjahutuse jaam Peterburi teel asuva katlamaja hoonesse. Jaama asukoht sobib väga hästi antud piirkonna arendamiseks (olemasolev kinnistu ja hoone mille puhul puuduvad investeeringud kinnistu ostmiseks).

Selleks, et jaam saaks tagada parim kasutegur ning samas varustada jahutusega aastaringelt tuleb kasutada kõik kolm variandi, ehk:

- Vabajahutust
- Absorbtsioonijahutid
- Kompressorjahutid

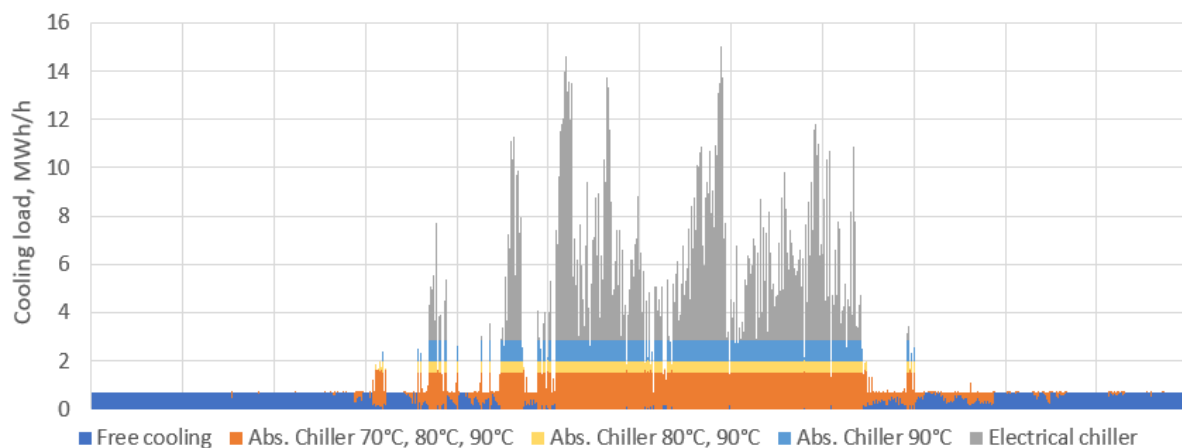
Antud jaama asukoht ei võimalda kasutada Ülemiste järve vabajahutust, kuid saab kasutada välisõhuga vabajahutust. Antudmeetodi kasutamise periood on väiksem kui järvevee puhul, kuid on suhteliselt efektiivne välisõhu temperatuuridel kuni 5°C. Seega on planeeritud paigaldada vabajahutust võimsusega 2MW.

Nagu eelmises alatükis on kirjeldatud, absorptsiooni seadmed saavad tõsta samuti jahutusejaama efektiivsust. Seega põhilised külmatootmise seadmed on valitud absorbeerid võimsusega 3,4MW.

Lisaks on planeeritud panna kompressorjahuti võimsusega 3MW mis töötab puhtalt elektri peal.

Vastavalt peatükis 3.5 toodud kirjeldusele olemasolevad tarbijad saab ümberühendada kaugjahutusele. Selleks on vaja teha minimaalselt uus jahutussõlm ning ühendada ümber tarbijate süsteemid. Antud lahendus vähendab mürataset hoonetes ning võimaldab kasutada rohkem ruumi kus hetkel on paigaldatud lokaalsed jahutuse seadmed (nii hoone sees, kui ka katusel ning hoone kõrval).

Joonis 4.2 allpool näitab kuidas jahutuse võimsus tarnitakse erinevate tootmisjaamadega aastaringelt. Nagu on näidatud, vabajahutus on kasutatud baasallikana kui välisõhutemperatuur on piisavalt väike. Absorptsiooni seadmed on samuti kasutusel ka üleminekuperioodidel.



Joonis 4.2. Jahutuse tootmine erinevate allikate abil

Cooling load – jahutuse võimsus, Free cooling – vabajahutus, Abs. Chiller – absorptsiooni seade, Electrical chiller - kompressorjahuti

Absorptsiooniseadmete jaoks on toodud kolm stsenaariumit (70°C oranžiga, 80°C oranžiga ja kollasega, 90°C oranžiga, kollasega ja sinisega). Ülejäänud jahust toodetakse elektrikompressoriga (hall).

KOKKUVÕTTE JA JÄRELDUSED

Kaugjahutusel on suured perspektiivid Eestis. Seda tõestab nii naaberriikide kogemused kui ka Eesit riigi kogemus. Selgelt on näha, et vabajahutuse kasutamisel ning ka absorptsiooni tehnoloogia kasutamisel suureneb väga palju kaugjahutuse võrgu kasutegur võrreldes lokaalsete seadmetega. Kuna Eestis suured linnad asuvad jõgede ja mere lähedal on ka suur võimalus kasutada need veeallikad vabajahutuse saamiseks.

Jahutuskraadide päevade iga-aastane suurendamine ning rangemad nõuded EL-s nõuavad ka lahendusi üsna suurema efektiivsusega ka hoonete kütmise ja jahutamise osas. Kuna kaasaegsed hooned on väga hästi soojustatud siis tekkib ka suurem vajadus need jahutada. Kaugjahutus võimaldab samuti lahendada selle probleemi efektiivsem.

Kui vaadata Tarbijate poolest, siis on selgelt näha et tänapäevased büroohooned vajavad suhtelisel kõrged temperatuurid jahutuse toimimiseks mis on piirides 7 – 18 °C (sõltuvalt tarbijast). Antud asjaolu võimaldab väga hästi rakendada kaugjahutust kuna tsentraalne tootmine on antud juhul tõhusam kui lokaalne tootmine.

Torustiku dimensioneerimiseks oli hinnatud tarbijate maksimaalne võimalik jahutuse võimsus. Et saada maksimaalse võimaliku pildi olid vaadatud kõik olemasolevad ja planeeritavad hooned antud piirkonnas. Samuti võetud arvesse ka kaubanduskeskused kes vajavad jahutust aastaringselt. Maksimaalne jahutusevõimsus mis oli võetud arvesse on ca 70MW.

Samuti antud piirkond on otstarbekas ühendada Tallinna linna kogu võrguga (perspektiivse võrguga) kuna see võimaldab kasutada ka jahutusenergiat mis on toodetud teistes Tallinna linna jaamades ning samuti ühendada perspektiivis jaamaga, mis hakkab kasutama merevett vabajahutuse allikana.

Torude materjalina on valitud eelisoleeritud terastorustik kuna see on odavam variant kui vaadata läbi kõik eelisoleeritud torude variandid. Samuti oli kaalutud kasutada torud ilma isolatsioonita, kuid uuring näitab et sellel juhul tuleb suur kulu vee tsirkulatsioonile kohtades, kus tarbijad puuduvad ja tulevad ainult mitu aastate pärast. Kuid isegi eelisoleeritud torude puhul ei tohi unustada külmumiskaitse rakendusest.

Jääksoojuse kasutamine selleks et toota jahutusenergia KJ võrku absorptsiooni seadme baasil on väga paljulubav varinat kuna jahutuse vajadus on palju suurem suvisel hooajal ning soojusevajadus on suhteliselt väike. Hetke seadusandluse tõttu suured kogused jääksoojusest ei ole Eestis hetkel kasutatavad. Juhul, kui KTJ asub kaugel KJ jaamast ning nende jaamade vahel pole eraldi otsetorustiku siis soojuskadu peab olema arvestatud kogu KK võrgu jaoks. Teiselt poolt, see soojushulk hetkel visatakse välisõhku ehk lisakütuse põletamist ei toimi.

Absorbtsiooniseadmed töötavad suurema efektiivsusega kui pealevoolu temperatuur on 90°C võrreldes väiksemate temperatuuridega. Antud juhul absorbtsiooniseadme EER ning jahutusevõimsus on suuremad. Absorbtsiooniseadme kasutamine toob elektri vähem kasutamist. Mida suurem on KK võrgu pealevoolu temperatuur seda suurem osa jahutusest saab toota absorbtsiooniseadmega. Keskkonna saastmise poolest on väga tähtis kasutada vähem elektrit kuna CO₂ emissioonid on Eestis suhtelised suured.

ABSTRACT

District cooling has great potential in Estonia. This is proven by the experience of the neighbour countries as well as the experience of Estonia. The use of free cooling, as well as the use of absorption technology, greatly increases the efficiency of the district cooling network compared to local devices. As large cities in Estonia are located close to rivers and the sea, there is also a great opportunity to use these water reservoirs for free cooling.

The annual increase of the number of cooling degrees and the stricter requirements in the EU also require solutions that are quite more efficient for heating and cooling buildings. As modern buildings are very well insulated, there is a greater need to cool them. District cooling also makes it possible to solve this problem more efficiently.

From a consumer perspective modern office buildings require relatively high cooling temperatures in the range of 7 - 18 ° C (depending on the consumer). This fact makes it possible to apply district cooling very well, as central production is more efficient in this case than local production.

In order to dimension the pipeline, the maximum possible cooling capacity of consumers was estimated. To get the best possible picture all existing and planned buildings in the area were taken in account. Also, possible connection of the shopping centres that need cooling all year round was assumed. The maximum calculated cooling capacity is about 70MW.

It is also reasonable to connect this area to the entire network of the city of Tallinn (perspective network) as it also allows to use cooling energy produced in other stations of the city of Tallinn and also to connect in the future to a station that will use seawater as a free cooling source.

Pre-insulated steel piping has been chosen as the pipe material because it is a cheaper option compared to all other pre-insulated pipe solutions. It was also considered to use pipes without insulation, but the study shows that in this case there will be a high cost of water circulation in places where consumers are absent and come only after several years. However, even with pre-insulated pipes, the application of frost protection must not be forgotten.

Using excess heat to supply DC via absorption chillers is a promising option because the demand for cooling is high in summer and the demand for heat is low. Due to the current legislation, large amounts of surplus heat are not used in Estonia. If the CHP is located within long distance from the DC plant and there is no separate direct line between the CHP and the cooling plant, additional heat loss must be taken into account for the entire

DH network. On the other hand, this heat is currently rejected to the ambient air, so no additional fuel is used to generate it.

Absorption chillers perform better when the temperature of the heating carrier is 90°C compared to lower temperature scenarios. In this case, the EER as well as the cooling capacity of the absorption chiller are higher. The use of absorption chillers results in lower electricity consumption. The higher the DH supply temperature, the larger the share of cooling supplied by the absorption chiller. Reducing electricity consumption is particularly important from an environmental point of view in Estonia, as the current CO₂ emissions from electricity generation are very high.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „European Commission. Heating and Cooling,“ 2021.
- [2] O, Gudmundsson; PK, Olsen; JE, Thorsen, „The role of district energy in future energy systems,“ *Eng Tomorrow*, 2020.
- [3] IDEA, District Cooling Best Practice Guide, 2008.
- [4] S. Link, „Terviklik lähenemine energiatõhusale planeerimisele ja ehitusele,“ 2012.
- [5] T.-S. Lee, „Second-Law Analysis to Improve the Energy Efficiency of Screw Liquid Chillers,“ *Entropy* , 2010.
- [6] E. J. Xu, „Green Energy Island Integration and Operation Optimization Research,“ 2018.
- [7] S. Frederiksen and S. Werner, District Heating and Cooling, 2017.
- [8] Thermax, „Thermax absorption cooling and heating solutions,“ Thermax, 22 03 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://thermaxcooling.wordpress.com/2015/09/03/how-do-absorption-chillers-work/comment-page-1/>.
- [9] Fortum, „Fortum to build sustainable district cooling in Tartu, Estonia,“ Fortum, 02 05 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fortum.com/media/2014/10/fortum-build-sustainable-district-cooling-tartu-estonia>.
- [10] M. Jangsten, „District Cooling in Gothenburg and Research on District Cooling Temperatures,“ 2020.
- [11] E. V ja S. A. D, „Sustainable District Cooling Systems: Status, Challenges, and Future Opportunities, with Emphasis on Cooling-Dominated Regions,“ *Energies*, 2019.
- [12] Top-Metal, „Hebei top-metal I/E CO, LTD,“ Top-Metal, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.topmetalsupply.com/>. [Kasutatud 01 05 2021].

- [13] Logstor, „Logstor, Preinsulated steel pipes for District heating,” Logstor, 14 02 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.logstor.com/media/6995/product-catalogue-uk-202104.pdf>.
- [14] Elydan, „Elydan company solutions,” Elydan, [Võrgumaterjal]. Available: <https://elydan.eu/en/>. [Kasutatud 12 01 2021].
- [15] „GF Preinsulated plastic pipes,” GF Piping Systems, 14 03 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.gfps.com/com/en/products-solutions/pipes/pre-insulated-pipes.html>.
- [16] A. Strand, *District cooling in Gothenburg*, 2017.
- [17] S. Werner, „District heating and cooling in Sweden,” *Energy*, 2017.
- [18] J. G. S. Palm, Barriers to and enablers of district cooling expansion in Sweden, 2018.
- [19] Hirst, E., Brown, M., Closing the efficiency gap: barriers to the efficient use of energy., 1990.
- [20] Ir Alvin Lo, Ir Barry Lau and Dr. Vincent Cheng, „Challenges of district cooling system (dcs) implementation in hong kong,” 2013.
- [21] International Energy Agency (IEA), *The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning*, 2018.
- [22] A, Inayat; M, Raza, „District cooling system via renewable energy sources: A review. *Renew Sustain Energy*,” 2019.
- [23] Pieper H., Ommen T., Elmegaard B., Volkova A., Brix Markussen W., „Optimal Design and Dispatch of Electrically Driven Heat Pumps and Chillers for a New Development Area,” *Environ Clim Technol*, 2020.
- [24] Anderson A, Rezaie B, Rosen MA, „An innovative approach to enhance sustainability of a district cooling system by adjusting cold thermal storage and chiller operation.,” *Energy*, 2021.
- [25] H. F. Sameti M, „Hybrid solar and heat-driven district cooling system: Optimal integration and control strategy.,” *Sol Energy*, 2019.

- [26] Jangsten M, Filipsson P, Lindholm T, Dalenbäck JO., „High Temperature District Cooling: Challenges and Possibilities Based on an Existing District Cooling System and its Connected Buildings.,” *Energy*, 2020.
- [27] Fabricius M, Tarp DØ, Rasmussen TW, Arabkoohsar A., „Utilization of excess production of waste-fired chp plants for district cooling supply, an effective solution for a serious challenge.,” *Energies*, 2020.
- [28] M. Riipinen, „District cooling in Finland,” 21.05.2014.
- [29] Svensk Fjärrvärme, „Fjärrkyleleveranser (district cooling deliveries),” 2016.
- [30] EuroHeat, „District Energy in France,” 2019.
- [31] Nordic Energy Research, Kevin Johnsen, „Heat Pump Potential in the Baltic States,” 2020.
- [32] T. Kirss, „Kaugjahutus, keskkonnasõbralikum jahutusviis linnakeskkonnas,” 2020.
- [33] EuroStat, „Heating and Cooling degree days - statistics,” 15 04 2021. [Võrgumaterjal]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Heating_and_cooling_degree_days_-_statistics.
- [34] „Riigi Ilmateenistus,” 21 03 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimakaardid/>.
- [35] Majandus- ja Taristuminister, Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika, Määrus nr 58, vastu võetud 05.06.2015.
- [36] „PipeLife, PE gaasitorustikud,” PipeLife, 23 04 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.pipelife.ee/content/dam/pipelife/estonia/marketing/general/tootedokumentid/kataloogid/gaas.pdf>.
- [37] Vattenfall Europe Hamburg AG, Vattenfall Europe Hamburg AG Worksheets, 2007.
- [38] M. A. Calanc, „Energy Losses Study on District Cooling Pipes, Master thesis,” 2014.
- [39] „GEBWELL: heating and district heating products,” GEBWELL, 2021.05.01. [Võrgumaterjal]. Available: <https://gebwell.fi/en/>.
- [40] B. Skagestad ja P. Mildenstein, District Heating and Cooling Connection Handbook, 1999.

- [41] L. E. S. A. Volkova A, „Heat Storage Combined with Biomass CHP under the National Support Policy. A Case Study of Estonia,“ *Environ Clim Technol* 2020;24:171–84. <http://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0011>, 2020.
- [42] European Environment Agency, „Greenhouse gas emission intensity of electricity generation 2020,“ 2020.