

**HEITSOOJUSE KASUTAMINE  
KAUGJAHUTUSVÕRGUS TALLINNA KAUGKÜTTE-  
JA KAUGJAHUTUSVÕRKUDE NÄITEL**

**THE USE OF WASTE HEAT IN DISTRICT COOLING  
USING THE EXAMPLE OF TALLINN'S DISTRICT  
HEATING AND DISTRICT COOLING NETWORKS**

**BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Isabel Peterson

Üliõpilaskood: 213683EACB

Juhendaja: Vanemlektor Igor Krupenski, PhD

Kaasjuhendaja: Tanel Kirs, Kaugjahutuse  
osakonna juhataja AS Utilitas Tallinn

Tallinn 2024

(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.

“31” mai 2024

Autor: Isabel Peterson

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“31” mai 2024

Juhendaja: Igor Krupenski

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Isabel Peterson (autori nimi) (sünnikuupäev: 21.04.2002)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Heitsoojuse kasutamine kaukjahutusvõrgus Tallinna kauqkütte- ja kaukjahutusvõrkude näitel

(lõputöö pealkiri)

mille juhendajad on Igor Krupenski ja Tanel Kirs,

(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.

---

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

/ allkirjastatud digitaalselt /

31.05.2024 (kuupäev).

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Isabel Peterson, 213683EACB  
Õppekava, peeriala: EACB, Keskkonna-, energia- ja keemiatehnoloogia  
**Juhendaja(d):** Vanemlektor Igor Krupenski, PhD  
Tanel Kirs, Kaugjahutuse osakonna juhataja AS Utilitas Tallinn

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Heitsoojuse kasutamine kaugjahutusvõrgus Tallinna kaugkütte- ja kaugjahutusvõrkude näitel

(inglise keeles) The Use of Waste Heat in District Cooling Using the Example of Tallinn's District Heating and District Cooling Networks

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade kaugkütte- ja kaugjahutussüsteemidest
2. Anda ülevaade kaugküttevõrgust tekkivast heitsoojusest
3. Tuua reaalne näide heitsoojuse kasutamisest kaugjahutusvõrgus

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse läbi töötamine	19.05.2024
2.	Teoreetilise osa kirjutamine	20.05.2024
3.	Töö vormistamine ja esitamine	31.05.2024

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "31".05.2024 a

**Üliõpilane:** Isabel Peterson "....." .....2024 a  
/ allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Igor Krupenski "....." .....2024 a  
/ allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Tanel Kirs "....." .....2024 a  
/ allkirjastatud digitaalselt /

**Programmijuht:** Oliver Järvik "....." .....2024 a  
/ allkirjastatud digitaalselt /

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
LÜHENDTE JA TÄHISTE LOETELU .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. KAUGKÜTE JA KAUGJAHUTUS .....	10
1.1 Kaugkütte struktuur .....	11
1.1.1 Kaugkütte eelised ja puudused.....	11
1.2 Kaugjahutuse struktuur.....	12
1.2.1 Kaugjahutuse eelised ja puudused .....	13
2. KAUGKÜTTE- JA KAUGJAHUTUSEVÕRGUD EESTIS .....	15
2.1 Kaugküttevõrgud Tallinnas.....	16
2.2 Tallinna kaugküttejaamad.....	16
2.2.1 Väo I ja II KTJ ja Mustamäe KTJ.....	17
2.2.2 Iru elektrijaama jäätmeenergiaplokk .....	17
2.3 Kaugküttevõrgud mujal Eestis .....	18
2.4 Tallinna kaugjahutusjaamad .....	19
2.5 Kaugjahutusjaamad mujal Eestis .....	20
3. HEITSOOJUS .....	21
3.1 Heitsoojus kaugkütte- ning kaugjahutusvõrgus .....	21
3.2 Heitsoojuse temperatuurid.....	23
3.3 Heitsoojuse kasutamise eelised ja puudused .....	23
3.4 Taastuenergia direktiiv .....	24
4. KAUGJAHUTUSSEADMED .....	26
4.1 Absorptsioonjahutid.....	26
4.1.1 Absorptsioonjahuti tööpõhimõte .....	26
4.1.2 Absorptsioonjahuti jahutustegur.....	28
4.2 Soojuspump ja kompressorjahuti .....	28
4.2.1 Soojuspumba tööpõhimõte .....	29
4.2.2 Kompressorjahuti ja selle tööpõhimõte .....	30
4.2.3 Soojuspumba ja kompressorjahuti jahutustegur .....	31
4.2.4 Soojuspumpade kasutamise mõjud.....	31
5. HEITSOOJUSE KASUTAMINE TALLINNA KAUGJAHUTUSES .....	33
5.1 Ahtri ajutine kaugjahutusjaam.....	33
5.2 Tallinna kaugjahutuse tulevik .....	36
KOKKUVÕTE .....	37
SUMMARY .....	39
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	41
LISAD.....	45

## **EESSÕNA**

Bakalaureusetöö teema "Heitsoojuse kasutamine kaugjahutusvõrgus Tallinna kaugkütte- ja kaugjahutusvõrkude näitel" pakkus välja juhendaja Igor Krupenski. Teooria leidmisega aitasid kaasa mõlemad juhendajad ning AS Utilitas Tallinn kaugjahutusüksuse juhataja Tanel Kirs planeeris ka külastuse Ahtri ajutisse kaugjahutusjaama ja andis jahutusjaama kohta ka lisainformatsiooni ja -materjali. Töö tegemise ajal toimusid vahepealsed konsultatsioonid, kus arutati läbi uuritava projekti küllastamine ja teooria sisu.

Töö autor soovib tänada mõlemaid juhendajaid meeldiva koostöö eest.

Märksõnad: kaugjahutus, heitsoojus, soojuspump, absorptsioonjahuti

## LÜHENDTE JA TÄHISTE LOETELU

COP – võimsuskoefitsent, näitab kütmise ja jahutamise tõhusust (ingl k *Coefficient of Performance*)

CO<sub>2</sub> – Süsinikdioksiid

KTJ – Koostootmisjaam

LiBr – Liitiumbromiid

SEJ – Soojuselektrijaam

SP – Soojuspump

## SISSEJUHATUS

Kaugküte on Eestis laialt levinud kütteallikas. Moodustades 60% kogu Eesti küttest, on olnud selle tehnoloogia areng pikk ja kasutamine tähtis. Eestis kestab kütteperiood vähemalt 8 kuud aastas, mis tähendab, et kütte kergesti kätte saamine ja tarbimine on inimestele oluline. Kaugjahutusjaamad on Eestis uuem tehnoloogia. Esimene neist ehitati 2016. aastal Tartusse ning hetkeseisuga on Eestis töötamas 5 jahutusjaama: Tartus ja Tallinnas kaks ning Pärnus üks. Lähitulevikus kindlasti nende arv kasvab, kuna jahutusnõudlus suureneb. [1], [2], [3]

Peamine põhjus, miks kaugjahutus on aktuaalne teema ja miks jahutusnõudlus suureneb, on globaalne soojenemine, millest omakorda tulenevad ekstreemsemad ilmad ja õhutemperatuurid. Teisteks põhjusteks on inimeste nõudmised sisekliima mugavusele, et soovitud sisetemperatuuri saamine oleks vaid paarile nupule vajutusega reguleeritav. Samuti vajavad jahutust elektroonilised seadmed, mille populaarsus ainult kasvab ning mis ise lisaks eraldavad õhku soojust. Tehnoloogia ja elektroonika areng on korrelatsioonis ka inimeste mugavusega ning masinad teevad üha rohkem töid inimeste eest ära. [4], [5]

Maailm pürgib süsinikuneutraalsuseni ning fossiilkütuste kasutamise lõpetamisele, mispärast proovitakse leida uusi tehnoloogilisi lahendusi, mis suudaks neid asendada. Kaugküte ning -jahutus on üheks positiivseks sammuks selle poole. Kaugkütte puhul kasutatakse juba pikemat aega taastuvaid energiaallikaid kütusena, näiteks biomass, jäätmed ja geotermaalenergia. Kaugjahutuse tootmiseks saab kasutada külma vett loodusliku päritoluga veekogudest. Sellised tootmisviisid on head näited energeetika tõhustamisest ning kliimaeesmärkide saavutamiseks. [2]

Heitsoojus on tootmisprotsessis eralduv, kuid mitte kasutusele võetud soojus. Euroopa Liidus 70% kogu energiakogusest kulub tööstuses, täpsemalt soojustehnilistele protsessidele ja umbes kolmandik sellest energiast läheb raisku heitsoojusena. Suure osa sellest oleks võimalik rakendada tööstusesse ning kasutada see kasulikult ära. Üheks parimaks lahenduseks on heitsoojuse kasutusele võtt kaugkütte- ning kaugjahutussüsteemides ja see protsess ei paranda mitte ainult õhureostust, vaid tõstab ka energeetilist efektiivsust. [6], [7]

Bakalaureusetöoga soovitakse anda ülevaade, kuidas heitsoojust kaugküttevõrgust saab utiliseerida kaugjahutussüsteemidesse. Võrrelda, mis on kaugkütte ja kaugjahutuse eelised üksiklahenduste ees ning tuua välja seadmed, millega heitsoojust



saab muundada jahutuseks. Töö põhieesmärgiks on analüüsida kaugküttesüsteemidest eralduva heitsoojuse kasutamise võimalusi kaugjahutussüsteemides.

Töö on jagatud peatükkideks, kus neljas esimeses osas tutvutakse kõikide vajalike seadmete, süsteemide ja tööpõhimõtetega, mis annaks viimasele peatükile ehk uuritavale osale piisava arusaamise, et analüüsida üht reaalset projekti.

# 1. KAUGKÜTE JA KAUGJAHUTUS

Soojustunne on inimese täisväärtusliku ning tervisliku elu tähtis osa. Kohtades, kus päikesevalgus enamik ajast ei soojenda, on vaja leida soojust teistest allikatest. Euroopas, kus talveperioodid on pikad ja temperatuur kõigub palju, on soojuse tootmine ülioluline. Kaugkütte ajalugu on pikk ning läbinud mitmeid arenguetape, et jõuda tänapäeva, kus inimesed saaks kõige keskkonnasõbralikumad ja efektiivsemad soojust. Kütte kõrval on samuti esile kerkimas teine probleem, milleks on jahutus. Globaalne soojenemine ning kodu- ja kontorielektronika kasutamise tõus, on kaasa toonud suurema jahutusnõudluse. Selle lahendamiseks, nii nagu ka kaugküttega, on vaja hakata tõhusamalt tootma jahutust. [5]

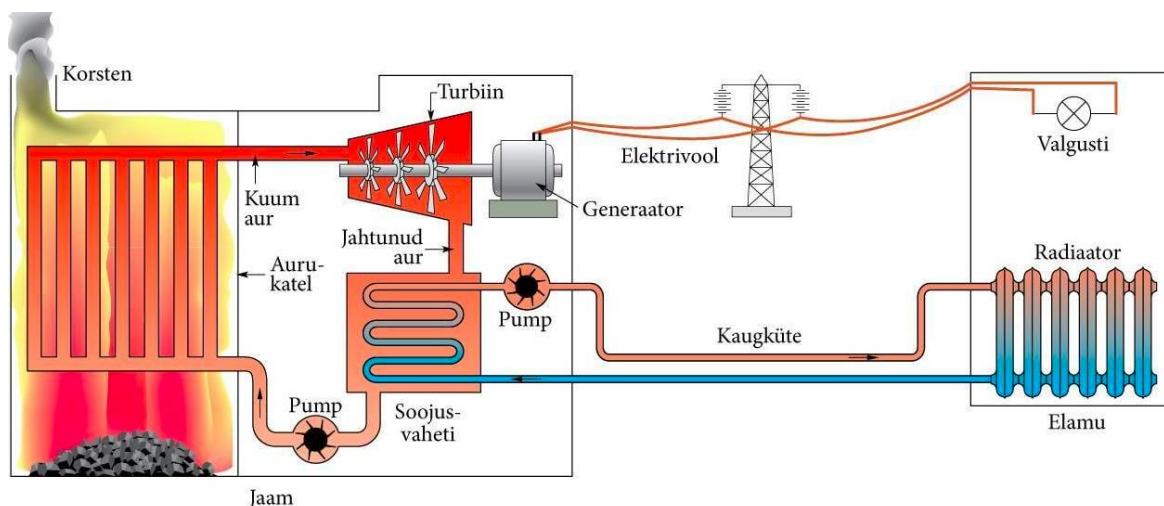
Kaugküte ja kaugjahutus on oma eesmärgi põhiselt sarnased protsessid. Soov on anda tarbija tema soojus- või jahutusvajadus edasi, kasutades kütte- või jahutuseadmeid. Tehes seda läbi ühise suure võrgu, saab tarbija soovi täita väiksemate ressurssidega kui tavaliste üksikute soojuspumpade või ventilatsiooniseadmetega. Samuti on kaugkütte ning -jahutuse üheks tähtsamaks eesmärgiks kasutada taastuvaid energiaallikaid või allikaid, mis jääks muidu kasutamata. Kui süsteemid võimaldavad ühendada võrgud taastuveni energiaga, paraneb üldine energiatõhusus ja tekib võimalus siduda kokku mitmeid sektoreid (kütte, elektri ja mobiilsuse liitmine). [8], [9]

Kaugkütte ja -jahutuse ülesehitus ning võrkude jaotamine on samuti sarnane. Kaugkütet defineeritakse kui protsessi, millega varustatakse tarbijaid ühest või mitmest allikast soojusenergiaga. Allikaks küttesüsteemile võib olla koostootmisjaam, katlamaja, suured soojuspumbad jm. Kaugjahutuse puhul asendub soojusenergia, milleks on tavaliselt kuum vesi (umbes 60-120 °C) jahutusega, kus enamasti ringleb torudes külm vesi temperatuuril 2-3 kuni 10 °C. Mõlema protsessi ideaaliks on kasutada kohalikku kütust või soojust, mis oleks 100% taastuvast energiaallikast tulnud ja mis läheks muidu kaotsi. Selline tegevus mängib suurt rolli maailma dekarboniseerimise eesmärgi saavutamisel ja on eriti vajalik piirkondades, kus olemasolevad detsentraliseeritud lahendused ei võimalda kasutada puhtaid energiaallikaid ega tõhusat tootmist, tekitades lisaks juurde ruumipuuduse probleemi. Suurimat kasu kaugsüsteemidest saavad tihedalt asustatud kohad, kus elab palju inimesi ja soojus- ning jahutusvajadus on suur. [2], [8], [10]

## 1.1 Kaugkütte struktuur

Kaugkütte struktuuri hõlmab peamiselt kolm osa: sobiv soojusallikas, nõudlus soojusturul ja torustik, mis ühendab nõuded ja allika. Nõudlus, mis soojaturult tuleb, on ruumide kütte ja sooja tarbevee kasutamise vajadus elamutele, ärihoonetele ning muudele ühiskondlikele hoonetele. Kaugküttevõrgu soojust saab ka kasutada madalama temperatuurivajadusega tööstustes. Seega on kaugkütte peamine liikuma panev jõud sünergia, mis tuleneb kohalike nõudluste ühendamisest olemasolevate kohalike soojusallikatega. [8]

Kaugküttesüsteem algab katlamajast või koostootmisjaamast, kus toodetakse soojust. Katla sees toimub kütuse keemilise energia muundamine soojuseks ja seejärel saab selle soojusega kuumutada ning aurustada vett. Katlamajast väljub kuum veeaur või vesi, mida tarbijale edastada. Koostootmisjaamas, kus lisaks soojusele toodetakse ka elektrit, toimub töö jõumasinaga, milleks on tavaliselt auruturbiin või gaasiturbiin. Turbiinis, kus aur paisub, läheb osa sellest generaatorisse, mis toodab elektrit ning teine osa läheb soojusena edasi küttesse. Mõlemast protsessist saadud soojus pumbatakse kuuma veena torustiku kaudu hoone soojussõlme. Läbi soojussõlmes olevate soojusvahetite, juhitakse kuuma vee soojus radiaatoritesse ja/või põrandaküttesse. Kui soojus on edasi antud, suunatakse vesi tagasi koostootmisjaama või katlamajja, kus see läheb uuesti kuumutamisele. [1], [2]



Joonis 1.1 Koostootmisjaama protsess auruturbiiniga [11]

### 1.1.1 Kaugkütte eelised ja puudused

Peamised kaugküttesüsteemide eelised on:

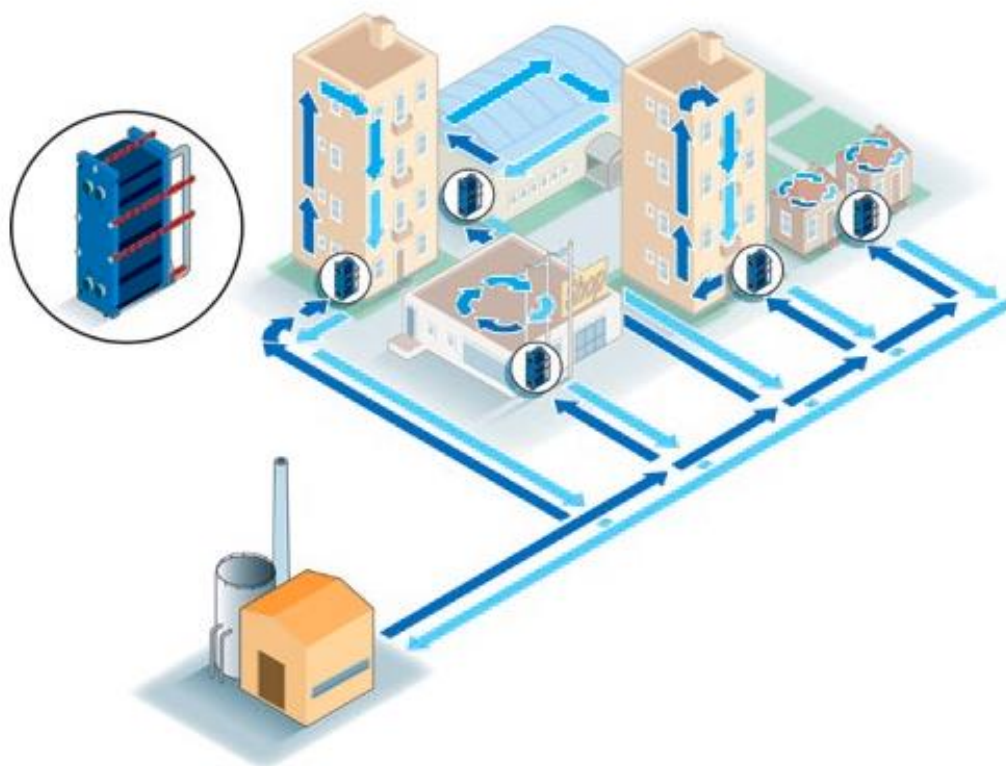
- Mugav, pidev ja usaldusväärne kütte saamine. [8]
- Väiksem risk tule- ja gaasiplahvatusteks, kuna kütuse põletamine ei toimu otse tarbija hoones. [8]
- Enamik tarbitavast soojusest on toodetud taastuvatest allikatest, mis on kohalikud. Eestis on selleks näiteks biomass. [5]
- Vaade tulevikku. Tehnoloogia arenedes saab lisada kaugküttevõrku innovaatilisi soojuse tootmisviise. [5]
- Jääksoojuse (või jääkjahutuse) potentsiaali kasutamine. Mitmetes linnades on kaugküte ainus võimalus jääksoojuse utiliseerimiseks ja väljastamiseks. See punkt on seotud ka eelmise punktiga, kuna jääksoojusallikad mängivad tuleviku soojussüsteemides olulist rolli. [12]

Kuigi kaugküttele on palju positiivseid külgi, tuleb vaadata selle kasutamise takistusi. Linnale on see süsteem suur investeering ja võib osutuda väga kulukaks. Tarbija individuaalse poole pealt, ei saa klient ise määrata ega muuta hindu ja tarnetingimusi. Kui lokaalse kütte süsteemiga oleks tulekahju korral mõjutatud, kas ainult üks elamu ja selle lähiümbrus, siis kaugküttevõrgus toimuva rikkega, võib mõjuala olla palju suurem. [8]

## 1.2 Kaugjahutuse struktuur

Kaugjahutusvõrgu põhiosi on samuti kolm: külmakandja, tarbijate nõudlus ning süsteem, mis need kokku viib. Harilikult kasutavad kaugjahutusvõrku büroohooned, hotellid, kaubanduskeskused ja eluhooned. Põhieesmärk on ruumide jahutamine, kuid ka siseõhu niiskussisalduse vähendamine. Eeliseks tarbijatele on individuaalse jahutusagregaadi vajaduse puudumine. Samuti teeb kaugjahutuse kasutamise kulutõhusaks asjaolu, et majade või hoonete jahutusvajadus on erinev ja selle järgi saab jahutusenergia tootmist kujundada erinevalt. Kaugjahutus saab alguse jahutusjaamast, kus vesi jahutatakse teatud temperatuurile, mis on tavaliselt 4-7 kraadi vahel. Seejärel liigub vesi mööda maa-alust torustikku, mis on kadude vähendamiseks hästi isoleeritud, tarbija hooneni. Tarbija hoones suundub vesi jahutussõlme, kus samuti soojusvahetite abil jahutatakse hoones ringlevat tarbevett ning antakse jahtusvõimsust

ventilatsiooniseadmetele. Kui vesi on oma külma ära andnud, suunatakse see tagasivoolu torudega jahutusjaama tagasi. Lihtsustatud skeem kaugjahutusest on kujutatud joonisel 1.2. [2], [13]



Joonis 1.2 Kaugjahutussüsteemi jaotusskeem: tumesinine joon on pealevoolu toru, helesinine joon on tagasivoolu toru [14]

Meetodid, kuidas külmakandjat jahutada on kaks. Üheks variandiks on kasutada looduslike allikaid, mis kuulub vabajahutuse alla. Allikateks on veekogud, nagu näiteks järved, jõed, ookeanid või õhk. See meetod on väga keskkonnasõbralik, aga saab kasutada ainult kohtades, kus looduslikku vett on piisava varuga. Teine moodus jahutamiseks on kasutada jahutusseadmeid. Kuna selles uurimustöö on eesmärgiks uurida, kuidas heitsoojust saab kasutada jahutussüsteemis, siis on just see meetod uurimise all. Neljandas peatükis on ka põhjalikumalt välja toodud, millised erinevad jahutuseadmed on olemas. [15]

### 1.2.1 Kaugjahutuse eelised ja puudused

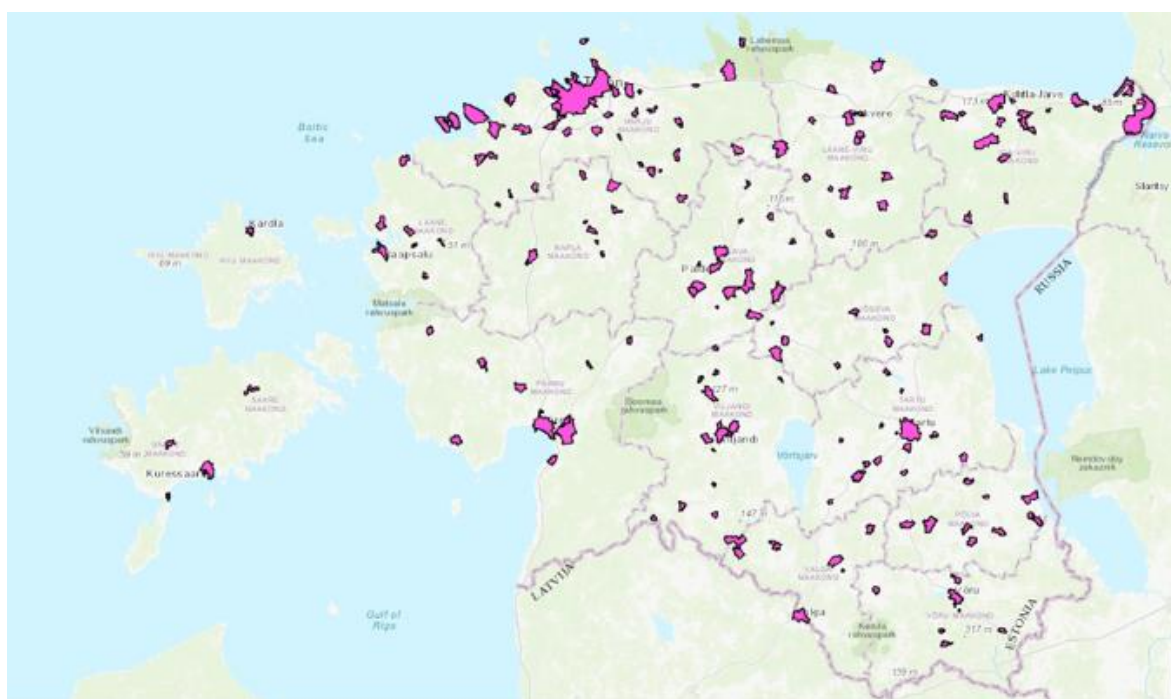
Osad kaugjahutuse eelised kattuvad kaugkütte omadega. Sarnaselt kaugküttele, aitavad kaugjahutusvõrgud saavutada kliimaeesmärke, mis on vaja täita nii Eestil kui

ka kogu maailmal. Kaugjahutuse CO<sub>2</sub>-heide on kuni 80% väiksem kui lokaalses lahenduses. Väheneb ka primaarenergia tarbimine, mis tõstab hoonete energiatõhususearvu. Hoonetes on oluliselt madalam vibratsiooni- ja müratase, kuna suured seadmed ei asu hoone sees. Ärihoonetes, kus palju lisaruumi võttev kohtjahutus, saaks tänu kaugjahutusele kasutada ära teistel äri eesmärkidel. Jahutusjaamades toimub pidev järelvalve ja kontroll, kus operaator hoiab silma peal kõigil protsessidel ning reguleerib vajadusel külmaagensside ja teiste kemikaalide olekut ohutumalt kui seda teeks inimene ise kohtjahutitega. Samuti igasugune hooldus on tehtud korralikumalt ning kuna mehaanilisi seadmeid on kokkuvõttes vähem, on ka kulud väiksemad. Kaugjahutus aitab vähendada suviseid elektrivõrgu tipukoormuseid ja selle asemel saab elektri investeeringud suunata mujale kasulikumasse sektorisse.[13], [16], [17]

Miinuseteks on samamoodi nagu kaugküttega see, et tarbija ei saa ise määrata hindu. Tarbijal ei ole võimalik täielikult reguleerida kui palju jahutust üks elamu päriselt kätte saab, probleem võib eriti tekkida kui tegemist on suure hoonega. Kaugjahutusjaamade ehitusperiood on kindlasti pikem ning aeganõudvam kui tarbija sooviks ja ehitamiskulud linnale kallimad. Üleüldiselt aga domineerivad positiivsed küljed negatiivseid, eriti kui jahutust on võimalik ehitada linna ja hoonete lähedusse ning võimalik on kasutada kohalikke ressursse. [18]

## 2. KAUGKÜTTE- JA KAUGJAHUTUSEVÕRGUD EESTIS

Kaugküte moodustab Eesti soojusvarustusest 60% ja on seega kõige levinum kütteliik. Praeguseks on riigi peale kokku umbes 230 kaugkütevõrku (joonis 2.1). Peamised kütused, mida tootmises kasutatakse on biomass, näiteks puiduhakke kujul, mis on osaliselt või täielikult kasutusel 130 jaamas, maagaas ja põlevkiviõli, mis on paljudes kohtades mõeldud reservideks. 11 võrgus kasutatakse kütusena turvast, mis on hea variant sellepolest, et see on kohalik allikas ja selle hind püsib stabiilsena. Tallinnas asub ka Eestis ainulaadne jäätmepõletusjaam, kus kütuseks kogutakse kokku Eestis tekkivad segaolmejäätmed. [2]



Joonis 2.1 Eesti kaart kaugküttepiirkondadega [19]

Kütte on Eestis oluline ja selle tootmine on mahult elektrist kahekordselt suurem. Eestlased vajavad lisasoojust vähemalt 8 kuud aastas. Põhjuseks on Eesti kliima, mis nagu põhjapoolsetele maadele omapärane, on madalama keskmise temperatuuriga, kui paljud teised piirkonnad. Seepärast on ka Eesti kaugkütte ajalugu läbinud mitmeid põlvkondi. Kõige esimene soojusvarustamise moodus oli üksikud ahjud, mida leidub paljudes vanades aga ka uuemates hoonetes siiani. Järgmisena arenes välja keskküte, see koosnes katlast, torustikust ning radiaatoritest ja soojendamiseks kasutati vett. Dokumentatsioon keskkütte kasutustest pärineb 1906. aastast, kus Postimehe ajalehes kirjutati Tartus asuvast Vanemuise teatri keskküttesüsteemist. Möödus paarkümmend aastat, mille jooksul keskküte arenes järkjärgult paremaks ning 1949. aastast hakkas Eestis lõpuks arenema ka kaugküte. Jõudes tänapäeva, on siiski kaugkütet kasulikum

arendada tihedalt asustatud kohtades, seega asuvad enamik soojusjaamasid tiheasustusalades ning suurima võimsusega jaamad Eesti rahvarohkemates linnades ehk Tartus, Tallinnas, Narvas ja Pärnus. [1], [2]

Kaugjahutus ning üldse vajadus jahutusseadmetele on Eestis üsnagi uus asi ja seepärast ajalugu lühike. Esimene kaugjahutusvõrk sai valmis 2016. aastal Tartus. Praeguseks asub Tallinnas kaks külmajaama, Tartus kaks ja Pärnus üks. Jahutusnõudlus on püsivas kasvutrendis ja mitte ainult Lõuna-Euroopas, kus kliima on alati soojem olnud, vaid ka Põhja pool. Kuumemad suvekuud tõstavad jahutite kasutust ja kogu nõudlust suurendavad elanikkonna kasv, majapidamises kasutatavate elektriseadmete arv ning üleüldised kõrgemad elustandardid. [2], [20]

## **2.1 Kaugküttevõrgud Tallinnas**

Tallinna linn koosneb mitmest kaugküttepiirkonnast, mis kõik saavad oma soojuse kaugküttevõrkudest. Võrgupiirkonnad jaotuvad: kesklinn ja Pirita linnaosa, Nõmme linnaosa, Põhja-Tallinn ja Järve keskus ja kõik ülejäänud on Tallinna võrgupiirkond. Tallinna linna kogu kaugküttevõrk on rohkem kui 400 km pikk. Talvel kui kütte tarbimine on maksimumis moodustavad soojuskaod kaugküttevõrgus ligikaudu 10%, suvel kui kütet pole vaja, aga sooja tarbevee jaoks toimub ikka soojuse tarnimine, on soojuskaod üle 30%. Nähes, et suvel on kadude protsent palju kõrgem, oleks majanduslikult targem see soojus kasutusse võtta. [2]

## **2.2 Tallinna kaugküttejaamad**

Tallinna kaugküttevõrk on võrreldes teiste Eesti linnadega palju suurem, et eraldi alapeatükina tuleks välja tuua Tallinnas olevad kaugküttejaamad. Kokku on Tallinnas praegu töötamas 4 suurt koostootmisjaama. Kõige vanem neist on Väo I SEJ ja uusim on Mustamäe KTJ. Lisaks koostootmisjaamadele on kaks suuremat katlamaja, üks Kristiines ja teine Ülemistes. [2]



### **2.2.1 Väo I ja II KTJ ja Mustamäe KTJ**

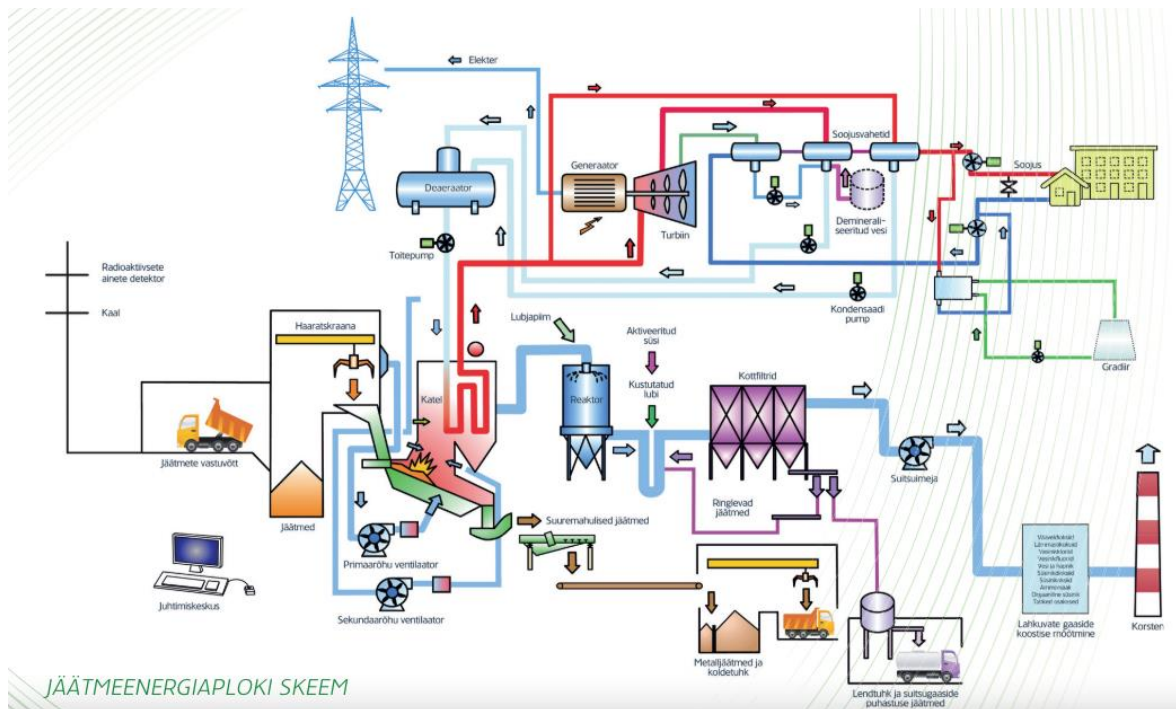
Energiakontsern Utilitasele kuulub Tallinna neljast koostootmisjaamast kolm ning on seega Eesti suurim kaugkütteettevõtte nii tarbijate kui ka tootmise mahu poolest. Väo I koostootmisjaam alustad tööd 2009. aastal. Selle soojuslik võimsus on kuni 67 MW ja elektriline kuni 25 MW. Väo II avati 2016. aastal ning selle soojuselektrijaama soojuslik võimsus on kuni 76 MW ja elektriline kuni 21 MW. Mõlemas SEJ kasutatakse kütusena puiduhaket ja vajadusel turvast. [21]

Mustamäe koostootmisjaam, mis samuti kasutab kütuseks biomassi, hakkepuidu kujul, on töös alates 2019. aastast. Vastavalt vajadusele saab kasutada ka maagaasi kütusena ning lisakatlad, mis töötavad põlevkiviõli, kerge kütteõli ja diislikütusega, aga neid kasutatakse väga erand juhtudel. Jaama soojuslik võimsus on kuni 53 MW ja elektriline võimsus kuni 10 MW. [21], [22]

### **2.2.2 Iru elektrijaama jäätmeenergiaplokk**

Enefit Green ASile kuuluv soojuselektrijaam hakkas energia ja soojuse tootmiseks kasutama jäätmeid 2013. aastal. Aastas suudab Iru SEJ jäätmeenergiaplokk taaskasutada üle poole kogu Eestis tekkivast segaolmeprügist, mis on umbes 250 000 tonni aastas. See kaugküttejajaam on Eestis ainulaadne ning tuleks mainida, et soojusenergia, mis jäätmetest saab, on neljandiku võrra soodsam kui maagaasist toodetud energia. [2]

Jaama elektriline võimsus on 17 MW ja soojuslik võimsus 50 MW. Tänu nüüdisaegsele ning keskkonnasõbralikule põletustehnoloogiale, suudetakse Iru 82% jäätmetest sisalduvast energiast muundada elektriks ja soojuseks. Ühe aastane elektri toodang on ca 134 000 MWh elektrit. Toodetud soojusenergia edastatakse Eesti Energia kaugküttevõrku ning sellest saavad koetud Tallinna ja Maardu elanikud. Joonisel 2.2 on illustreeritud Iru soojuselektrijaama jäätmepõletuse tehnoloogilist skeemi: joonise ülemises osas on näidatud, kuidas jäätmetest soojuse ja elektri kätte saab ning alumises osas põlemisgaaside puhastus protsess. [23]



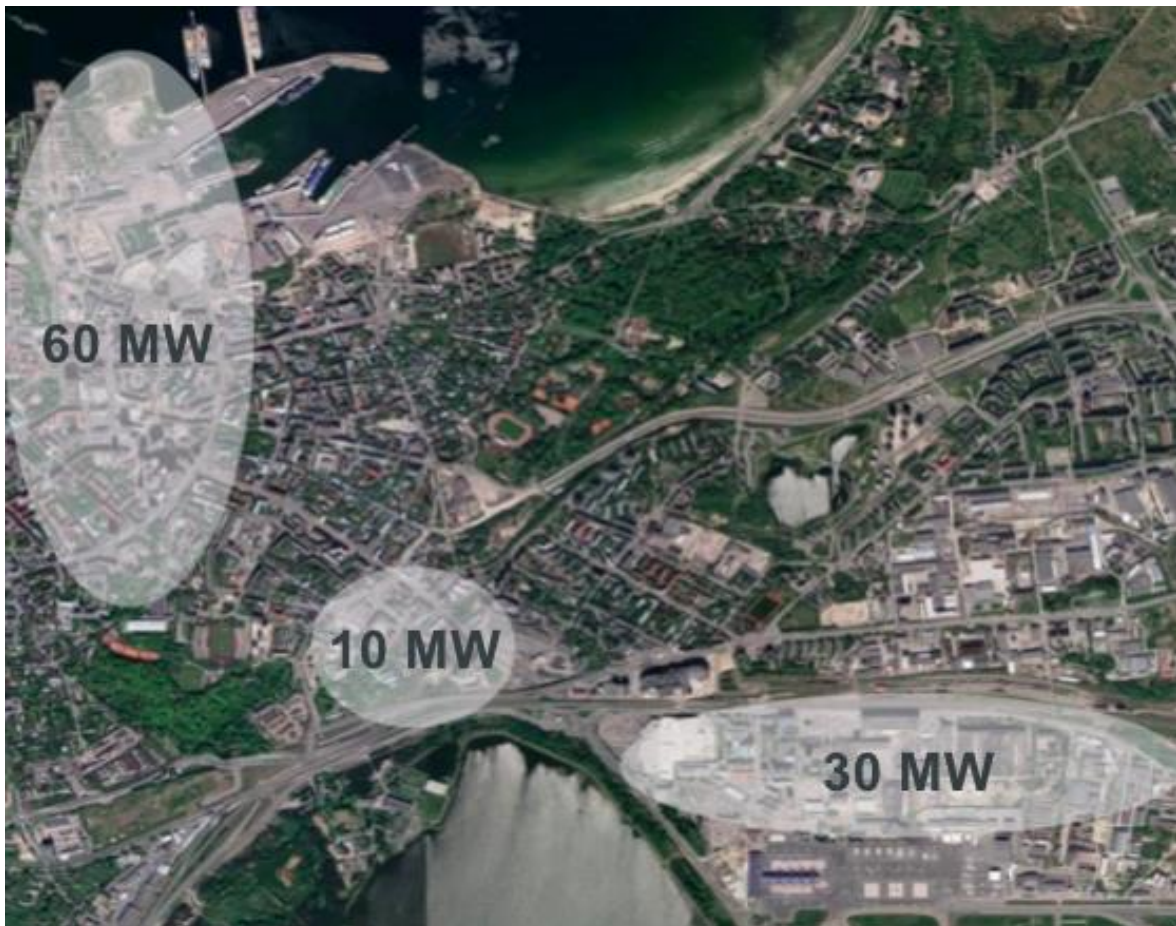
Joonis 2.2 Iru soojuselektrijaama jäätmeenergiaploki tehnoloogiline skeem [23]

## 2.3 Kaugküttevõrgud mujal Eestis

Tartus tarbib kaugkütet 60% elumajadest. Soojus saadakse Tartu Elektriijaamast, ühest koostootmisjaamast ning kuuest suuremast katlamajast. Kokku on sealne soojuslik võimsus 303 MW. Narvas kuulub kaugküttepiirkonda 60 000 inimest ja tarbijate kogu tarbimisvõimsus on 333 MW. Eesti Energiale kuuluv Balti Elektriijaama koostootmisplakk, mille soojuslik võimsus on 160 MW, toodab Narva rahvale peamise soojuse. Jaamas kasutatakse kütusena põlevkivi ja biomassi, tipukoormuste saamiseks on kasutusel ka maagaasikatlamaja. Võrgu piirkonna pikkus on 77 km. Kuressaare on samuti üks piirkond, kus kaugküte on hästi arendatud. Seal on kaugküttega ühendatud 321 tarbijat ning võrgu pikkus on 34 km. Tootmisüksused on Kuressaare koostootmisjaam, Kalevi katlamaja ja Luha katlamaja. Kuressaare koostootmisjaama soojuslik võimsus on 12 MW ja elektriline 2,4 MW, kütusena kasutatakse puiduhaket. Kuressaare kogu installeeritud soojuslik võimsus on 57 MW. Pärnu linnas valmis 2011. aastal Pärnu koostootmisjaam, kellelt soojust saavad 900 klienti ning küttejamaa elektriline võimsus on 24 MW ja soojuslik 48 MW. Peamiseks kütuseks on samuti hakkepuu. [2], [24]

## 2.4 Tallinna kaugjahutusjaamad

Tallinna esimene kaugjahutusjaam rajati Utilitas Tallinn AS-i poolt 2019. aastal Tselluloosi kvartalis. Jahutusega hakati varustama Fahle Pargi piirkonnas olevaid büroohooneid. Tselluloosi kaugjahutuspiirkonna planeeritav jahutusvõimsus on 10 MW ja praeguse külmajaama jahutuslik võimsus on 4 MW. Põhiline jahutusallikas on välisõhk, mis kuulub vabajahutuse meetodi alla, kuid suvel on täiendava jahutuse saamiseks kasutusel kompressorjahutid ja soojuspumbad. 2022. aastal sai püsti pandud teine kaugjahutusjaam Ülemistes ning see varustab jahutusega Ülemiste City linnaku ärihooneid. Hetkel on jaama jahutuslik võimsus 1 MW ja selle võrgu planeeritav võimsus 30 MW. Kõige suurema potentsiaalse võimsusega piirkond Tallinnas oleks Kesklinn, kus praeguseks veel suurt jahutusjaama valmis pole, aga planeeringud käivad. [2], [3], [25]



Joonis 2.3 Tallinna kaugjahutuse piirkonnad [26]

## 2.5 Kaugjahutusjaamad mujal Eestis

Kuigi Tallinn on Eesti suurim linn nii pindala kui ka populatsiooni poolest, rajati Eesti esimene kaugjahutusjaam hoopis Tartusse. Gren Tartu AS-ile kuuluv jahutusjaam asutati 2016. aastal Emajõe äärde. Jahutusjaama tarbimisvõimsus on 13 MW ja esimeseks kliendiks oli Tartu südalinnas asuv kaubanduskeskus Kvartal. Järgmine külmajaam valmis 2017. aasta juunis. Aardla Külmajaam, mis asub Ränilinnas, on 5,4 MW võimsusega ja ligi 1,3 km pikkuse jahutusvõrguga külmajaam. Nende suurimaks kliendiks on lähedal asuv Lõunakeskus, mis on Tartu suurim kaubandus- ja vabaajakeskus. Peale keskuse jahutab külmajaam ka lähikonnas asuvaid eluhooneid. Peale Tartu ja Tallinna on Eestis veel üks kaugjahutusjaam Pärnus. 2019. aastal valmis Pärnu kaugjahutusjaam, mille jahutuslik võimsus on 7 MW. Jahutust toodetakse looduslikust jahutusallikast, mis saadakse Pärnu jõeveest. Võrk on võimeline ühendama kõik kesklinnas olevad avalikud hooned. Kõik kolm külmajaama kuuluvad Gren AS-ile. [2], [27]

### **3. HEITSOOJUS**

Heitsoojus, jääsoojus ja liigsoojus ehk üleliigne soojus on sünonüümid protsessi käigus tekkiva, kuid neeldumata soojuse kirjeldamiseks. [28] Heitsoojust võib ka kirjeldada kui soojust, mis eraldub süsteemist, kas varjatud või tajutaval viisil ning selle kasutamine ei ole süsteemis eesmärgipärane. [29] Kõik masinad, mis muundavad kütust mehaaniliseks tööks või elektrienergiaks, toodavad heitsoojust kõrvalsaadusena. See tekib kütuse põletamisest kui ka keemilistest reaktsioonidest. Koos soojuskandjaga liigub heitsoojust edasi. Selleks võivad olla gaasivoolud, mis on kõige levinumad, vedelikuvood ning tahked materjalid. Kuna heitsoojuse teke on mis tahes energiamuunduses paratamatu, on hakatud üha rohkem keskenduma viiside leidmisele, kuidas seda kasulikult ära kasutada. [6], [7], [30]

#### **3.1 Heitsoojus kaugkütte- ning kaugjahutusvõrgus**

Heitsoojuse allikate liigitamiseks on väga palju viise, kuid selles töös keskendutakse soojusele, mis tuleb kaugkütte- ning kaugjahutussüsteemidest. KPMG aruande „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti töhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine“ järgi jaguneksid heitsoojuse allikad kaheks: kaugküttesüsteemide heitsoojus ning tööstusettevõtetest ja teenindussfäärist saadud heitsoojus. Kuigi töös tuuakse põhjalikumalt välja ainult esimene variant, siis tuleb ära märkida, et 20-50% tööstuslikes protsessides kasutatavast energiast läheb kaduma, kas jahutusveega, kuumade heitgaasidega või protsessi ja toodete jahtumisel. Suurimateks kadude tekitajateks on metallurgia, tselluloosi- ja paberitööstus, keemiatööstus, toidu- ja tubakatoodete tööstus. Seega on tööstus samuti suur heitsoojuse tekitaja. [29], [31]

Kaugkütte puhul on omakorda võimalikeks heitsoojuse allikateks: soojuse ja elektri koostootmise heitsoojus, katlamajade heitsoojus, muude süsteemi osade heitsoojus. SEJ elektritootmises üle jääv või kasutamata soojus kvalifitseerub heitsoojuseks. Heitsoojuse kogus ja parameetrid olenevad tehnoloogia ja seadmeid kasutamise valikust. Suurimaks soojuskaoks katlamajades ja koostootmisjaamades on suitsugaaside kondenseerumine. Eestis kasutavad paljud küttefirmad suure niiskussisaldusega kütuseid nagu puiduhake ja turvas, mille põlemisel tekib suurem suitsugaaside kogus kui teiste kütuseliikidega. Kui kütuseks on näiteks biomass, võib 20% K TJ soojusvõimsusest kuuluda suitsugaaside kondensaatori soojustagastusele.

Selles protsessis tekkiva kondensaadi (vee) soojuse saaks soojuspumpade vahendusel edastada küttevõrku. Seda meetodit kasutab tootmises ära Mustamäe KTJ. Soojuspumba tööpõhimõte ja kasutus on järgmises peatükis pikemalt välja toodud. Maagaasil töötavatest kateldest saab samuti suitsugaasidest heitsoojust. Eestis on näiteks Tallinnas töötav Kristiine katlamaja maagaasil baseeruv. Kolmandaks allikaks võivad olla võrgustiku torud. Soojuskadu võrgustikus võib oleneda mitmest parameetrist: torude isoleerimisest, materjalist, ümbritseva keskkonna temperatuurist ja niiskustasemest ning läbimõõdust. Jääksoojus, mis ei teki otseselt kaugküttevõrgus, aga saaks siiski liigitada kaugküttest saadud heitsoojuse allika alla, on tarbija tööstusettevõtte, kes kasutab oma hoones kaugkütet. Neilt koguneva heitsoojuse saaks suunata kaugkütte tootmisesse. [2], [29], [30]

Uuringuprojekti Heat Roadmap Europe tulemustel leiti, et rohkem kui 25% energiast, mis kogu kaugküttevõrk vajab, saaks katta heitsoojusega, kasutades soojuspumpasid. See on väga positiivne nägemus tulevikku ja võiks olla eesmärk, milleni kogu maailm pürgib. [32]

Nagu kaugküttes, on ka kaugjahutuses võimalik heitsoojust taaskasutada. Omavalitsuste jaoks on kaugjahutusjaamade projektid huvipakkuvad, kuna sünergia, mida kaugkütte- ja kaugjahutussüsteemidega saab luua, on majanduslikult väga kasulik. Kasutades koostootmisjaamadest tekkivat heitsoojust kaugjahutuses jahutusvee tegemiseks, võidaksid mõlema võrgu osapooled. Sooja vee muundamine külmaks veeks on võimalik spetsiaalsete masinate abil. Nendeks võivad olla nii absorptsioonjahutid kui ka soojuspumbad, mida mõlemat on järgmises peatükis kirjeldatud. Absorptsioonjahutid ja soojuspumbad kaugjahutuses on ka majanduslikumalt kasulikumad kui hoone individuaalsed elektrijahutid. [33]

Kaugkütte heitsoojust saab ära kasutada kaugjahutuses, aga see töötab ka vastupidi. Jahutuse edasi andnud vesi, mis mööda tagasivoolu torustikku tagasi kaugjahutusjaama jõuab, saaks kasutusele võtta soojusallikana küttesüsteemi. Eestis see protsess aastaringelt hästi ei toimiks, kuna jahutusnõudlus pole niivõrd suur, et kaugjahutuses tekiks piisavalt heitvett kaugkütte tootmiseks. Seepärast saaks seda süsteemi kasutada vaid suvel, kui jahutusvajadus on kõrge. Selline kaugjahutuse ja -kütte koostootmine on veelgi innovaatilisem tehnoloogia tuleviku jaoks ning seda nimetatakse kolmiktootmiseks. Üheks kolmiktootmise näiteks on Taanis Tårnby's olev ettevõtte, mille jahutuslik võimsus on 4,3 MW ning soojuslik võimsus 6,1 MW. [29], [34]

## 3.2 Heitsoojuse temperatuurid

Heitsoojust saab liigitada ka temperatuurivahemiku järgi. Temperatuurivahemik, millena heitsoojus avaldub on suur, alates 50 °C kuni üle 1000 °C. [35] Nende temperatuuride vahel, moodustub kolm heitsoojuse allika kategooriat: [29]

- Madalatemperatuuriline heitsoojus: alla 100°C. Näited: Kütte-, külmutuse-, jahutuse- ja ventilatsioonisüsteemid.
- Keskmisetemperatuuriga heitsoojus: 100-300°C. Näited: Mõnede tööstuslike protsesside heitõhk, põletusseadmete suitsugaasid.
- Kõrgetemperatuuriline heitsoojus: üle 300°C. Näited: tööstusahjude heitgaasid, sise põlemismootorite heitgaasid, kõrgetemperatuuriliste protsesside heitõhk.

Heitsoojuse temperatuuride järgi kategooriatesse jagamine on tähtis selle jaoks, et leida sobiv heitsoojuse utiliseerimise tehnoloogia, näiteks kõrgetemperatuurilist heitsoojust ei ole kaugküttes võimalik kasutada, kuna soojusallikad esinevad enamasti tahkete soojuskandjate kujul. See muudab jääksoojuse kättesaamise neilt keeruliseks ja sellele probleemile ei ole leitud veel piisavalt head tehnilist lahendust. Eestis tekivad valdavalt madalatemperatuurilised heitsoojuskaod ning neid võetakse ka kõige rohkem kasutusele. [19], [34], [35]

## 3.3 Heitsoojuse kasutamise eelised ja puudused

Heitsoojuse utiliseerimisel on ülisuur potentsiaal tuleviku tööstuses. Võttes kokku peatükis välja toodud eelised ja lisades juurde veel teistest uuringutest leitud soosivaid omadusi, on heitsoojuse kasutusse võttu eelised järgmised: [6], [7]

- Kütuse või teiste energiaallikate säästmine;
- Protsessikulude vähenemine;
- Rohkem kasulikke tootmisvõimalusi. Näiteks soojuse muundamine jahutuseks;
- Väheneb kasvuhoonegaaside heide;

- Õhureostuse vähenemine;
- Kokkuvõid seadmetelt, võtavad vähem ruumi.

Negatiivsed mõjud, miks heitsoojuse rakendamine ei ole veel laialt levinud ja millele ei pöörata piisavalt tähelepanu, on järgmised: [36], [37]

- Puudub informatsioon ja teadlikkus olemasolevatest tehnoloogiatest ja võimalustest;
- Soojus- ja jahutusvõrgustikude vähesus;
- Koostöö kaugkütteettevõtte ja tööstuseettevõtte vahel ei ole populaarne;
- Projektide kogused ning rahastuse probleemid;
- Jääksoojusega mitteamustamine uue kaugküttesüsteemi planeerimisel.

### 3.4 Taastuenergia direktiiv

Euroopa soovib koos jõuda ühiseesmärgini, milleks on saavutada süsinikuneutraalsus ning kaotada fossiilsete kütuste kasutamine. Selle jaoks on kehtestatud direktiivid, et paremini hoomata kui paljud riigid aktiivselt eesmärgi nimel panustavad. Üheks tähtsamaks heitsoojusega seotud Euroopa Liidu direktiiviks on Taastuenergia direktiiv. Direktiiv väljastati 2018. aastal ja põhieesmärgiks oli edendada taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamist. Dokumendis on defineeritud mõiste heitsoojus- ja heitjahutusenergia, mis on sarnane peatüki alguses oleva definitsiooniga. Tööstuses või energiakäitises vältimatu kõrvalsaadus soojuse- või jahutusenergia kujul, mis jääks kaugkütte- või kaugjahutussüsteemides kasutamata ilma juurdepääsuta ja paiskuks õhku või vette. [38]

Direktiivis on sätestatud nõuded järgmiselt: igalt liikmesriigilt on asjakohane nõuda heitsoojuse- ja heitjahutusenergia kasutamise võimaluste hindamist, et edendada konkurentsivõimelisust, tõhusat kaugkütet ja -jahutust. Kui kõik riigid jälgiksid nõuet, väheneks risk, et taastuvatele energiaallikatele üleminek võiks tekitada keskkonnale kahjulikke kõrvalmõjusid ning suuri kulusid. Nõude järgimine annab võimaluse võtta



heitsoojus- ja heitjahutusenergiat rohkem kasutusele, taastuvate energiaallikate kõrval.  
[38]

## 4. KAUGJAHUTUSSEADMED

Kui vabajahutuse puhul saab looduslikke allikates pärineva külma peaaegu otse läbi torude juhtida hoonete külmasõlmedesse, peab selle variandi puudumisel kasutusele võtma spetsiaalsed jahutusseadmed. Vabajahutus on kaugjahutuses eelistatuim tootmisvariant, kuna külma saab kätte kohalikest veekogudest või õhust ilma suuremate protsessikuludega, kuid seda pole alati võimalik kasutada. Kohtades, kus läheduses ei ole piisava varuga vee reservuaari või on kliima niivõrd soe, et õhutemperatuur on pidevalt kõrge, tuleb külma saamiseks kasutusele võtta jahutusseadmed. Seadmeid on mitmeid erinevaid, kuid kõige tuntumad on absorptsioonjahutid, kompressorjahutid ning soojuspumbad. [2]

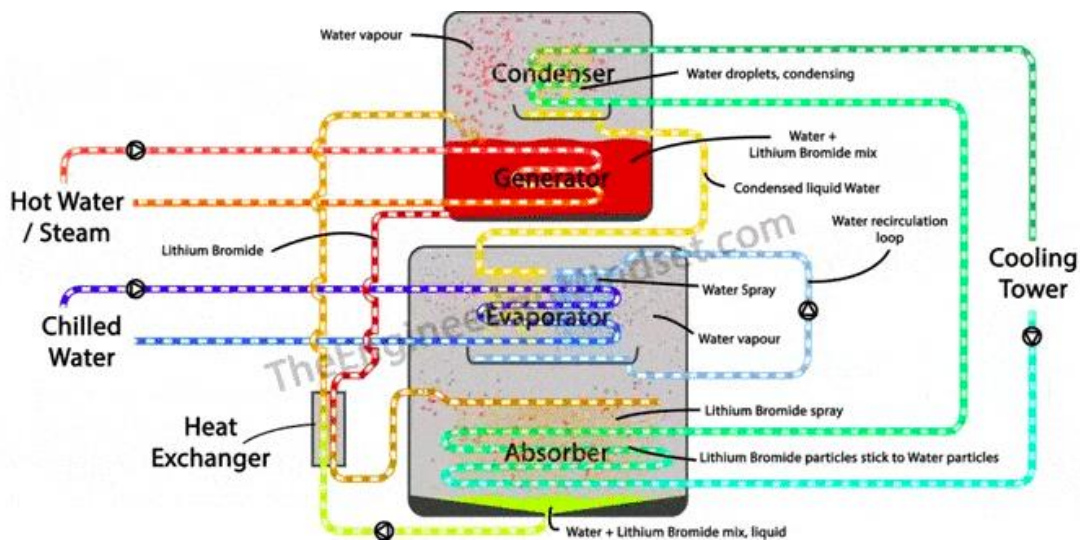
### 4.1 Absorptsioonjahutid

Absorptsioonjahutid kasutavad külma saamiseks soojust. Seepärast ongi sellised jahutid parimaks lahenduseks heitsoojuse utiliseerimiseks. Tavaliselt on allikaks soojuselektrijaamades, jäätmepõletusseadmetes ja muudest tööstusprotsessidest tekkiv jääksoojus. Jahuti tööpõhimõte seisneb termokeemilisel komprimeerimisel, kus aururõhud surutakse kokku kõrgele rõhule jääksoojuse abil. Seadme eripäraks, nagu ütleb nimigi, on absorbeerimisvõime, kus üks aine absorbeerub teise sisse. Eelistatud ainepaar on LiBr-vesi, aga kasutatakse ka vesi-ammoniaak. Seadme plussiks on, et see kasutab võrreldes kompressorjahutitega, oluliselt vähem elektrit, kuid miinuseks on piiratud kasutusala. Kui jahutuaagensiks on LiBr ja vesi, ei saa seadet alla 0 kraadiga tingimustel kasutada, kuna vesi jäätuks. Samuti on absorptsioonjahuti natuke kallim investeering kui muud jahutusseadmed, näiteks soojuspump. Enamik jahutusjaamades, kus kasutatakse absorptsioonjahuteid, on varuks paigaldatud ka elektrilised jahutid, mis aitavad saavutada tipukoormuseid. [8], [25], [39]

#### 4.1.1 Absorptsioonjahuti tööpõhimõte

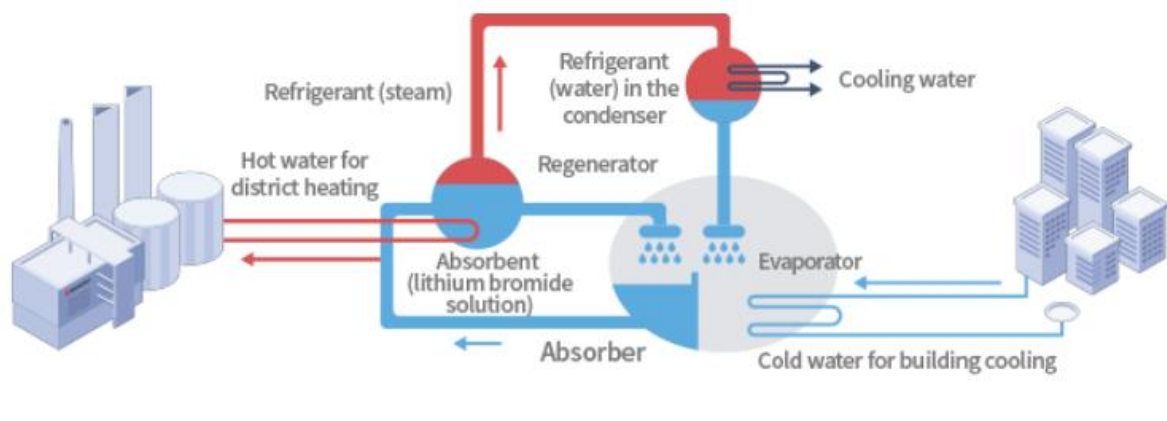
Seade koosneb generaatorist, aurustist, absorberist, kondensaatorist ja soojusvahetist. Tööpõhimõte väljendub järgmiselt: Esiteks pumbatakse LiBr ja vee segu (kutsutakse lahjaks seguks) absorberist läbi soojusvaheti generaatorisse. Generaatorisse lisatakse soojusenergiat, näiteks heitsoojust koostootmisjaamast. Kuum vesi aitab lahutada

liitiumbromiidi ja vee. Vesi aurustub ja liigub kondensaatorisse. LiBr vajub seejärel generaatori põhja, kust molekulid liiguvad jällegi läbi soojusvaheti edasi ning LiBr molekulid hakkavad pritsima absorberit, kus LiBr ja vee molekulid hiljem segunevad. Samaaegselt aurustunud vesi jahutatakse taas vedelikuks kondensaatoris. Sealt liigub külm vesi läbi toru aurustisse. Aurustis, kus on peaaegu vaakumi lähedane rõhk, jahtub vesi veelgi rohkem, järsu rõhulanguse pärast ( $4^{\circ}\text{C}$ ). Aurustisse siseneb ka jahutusvedelik ( $12^{\circ}\text{C}$ ), mis loob kontakti kondensaatorist tulnud veega. Nende kahe vedeliku vahel, soojusenergia toimel, kondensaatori vesi võtab jahutusvedelikult soojust endale. Otsest kontakti vedelikke vahel pole, kõik käib läbi toru seinade. Saadava soojust järel, kondensaatori vedelik muutub taas auruks. Jahutusvedeliku, mis on oma soojust loovutanud ( $7^{\circ}\text{C}$ ), saab nüüd edasi suunata kaugjahutusvõrgu torustikku ning saab hakata hooneid jahutama. Veeaur, mis soojust sai, tahab hakata uuesti liituma liitiumbromiidiga ja varem tekkinud suurema kontsentratsiooniga LiBr molekulid tõmbavad vett enda poole. Nende vaheline tõmbejõud on niivõrd suur, et võiks arvata, et ainete vahel on magnetiline jõud. Veeaur liigub absorberi juurde ja kinnitub LiBr molekulide külge. Sellest seosest tekib omakorda vaakumi lähedane rõhk. Molekulide liitumisel eraldub ka natuke soojust, mida tuleb jahutada. Jahutatakse segu seni, kuni see vajub absorberi põhja ning sealt pumbatakse see uuesti generaatorisse, et protsess saaks taas alata. Kogu protsessi illustreerib ka joonis 4.1. [40]



Joonis 4.1 Absorptsioonjahuti tööpõhimõtte skeem [40]

Skeemil 4.2 on näidatud, kuidas kaugküttejaamast tulev soojust liigub absorptsioonjahutisse ning sealt edasi tarbijateni.



Joonis 4.2 Kaugkütte ning kaugjahutuse kombineerimisel saadud jahutus [41]

#### 4.1.2 Absorptsioonjahuti jahutustegur

Jahutustegur näitab ajahetkel toodetud energia ja samal ajahetkel jahutuse tootmiseks kulunud primaarenergia suhet. Primaarenergia on näiteks soojus ja elekter. Põhimõtteliselt saab selle abil teada jahutuse tootmise efektiivsuse ja seda tähistatakse inglise keelest tulnud lühendiga COP (Coefficient of Performance). Absorptsioonjahutite puhul on COP 0,5-0,8. COP arvutamiseks saab kasutada valemit: [20]

$$COP_{jah} = \frac{\Phi_{kasulik}}{\Phi_{primaar}} \quad (4.1)$$

kus

- $\Phi_{kasulik}$  – ajahetkel toodetud energia, kW, kJ/s, kWh/h,
- $\Phi_{primaar}$  – sel ajahetkel jahutusvõimsuse tootmiseks kulunud primaarenergia kW, kJ/s, kWh/h.

#### 4.2 Soojuspump ja kompressorjahuti

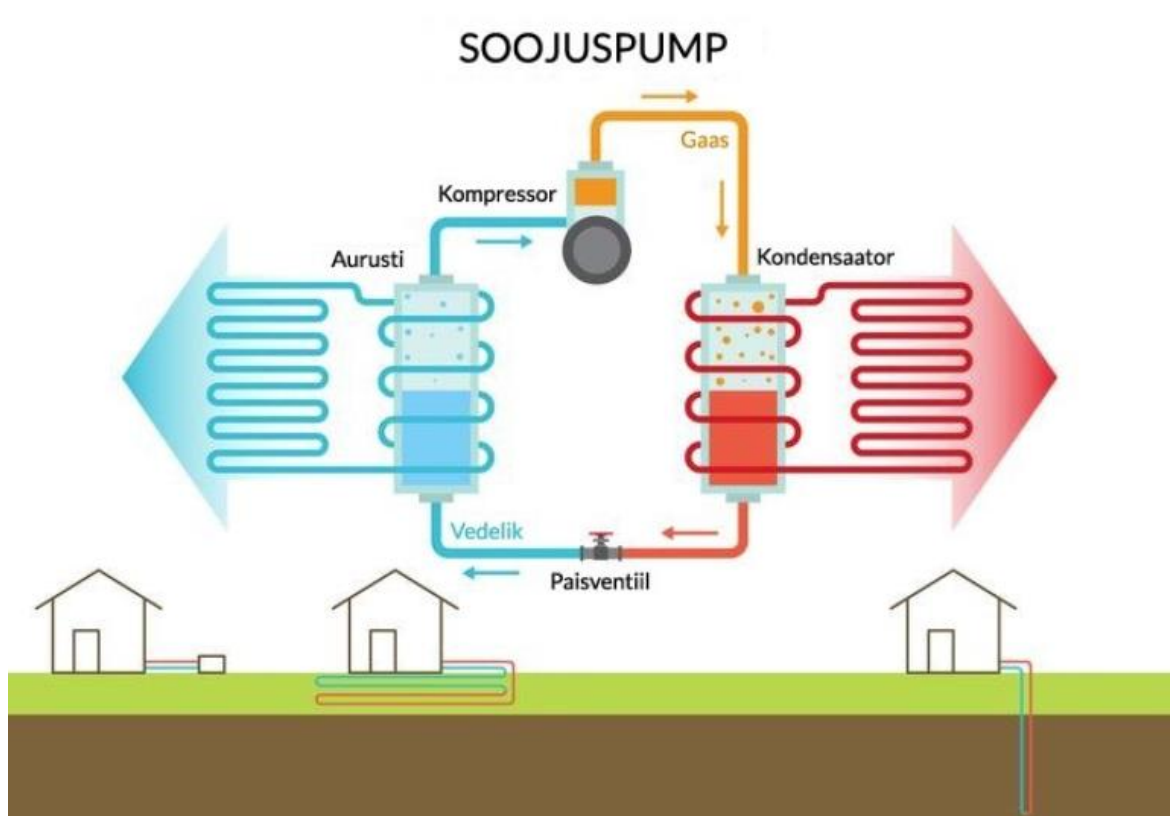
Kui rääkida nii kaugkütte- kui ka kaugjahutussüsteemidesse sobivast seadmest, oleks levinuimaks variandiks soojuspump, aga vajadusel saaks ka absorptsioonjahuteid kaugküttes kasutada. Soojuspumbaga saab toota nii sooja kaugkütte jaoks kui ka külma kaugjahutuse jaoks. Tuleviku plaan oleks soojuspumpa kasutada samaaegselt mõlemas

võrgus, luues uue ühtse võrgu, kuid praegu leiavad nad rohkem kasutust mõlemas kaugsüsteemis eraldi. Soojuspumpa saab edukalt kasutada kaugjahutuses kevadisel ja sügisel perioodil, kui kütteperiood veel kestab, aga vabajahutusest jääb juba väheseks nõutava jahutus koguse tootmiseks. Soojuspumbas saab kasutada soojust välisõhust, veekogust, maapinnast ning heitsoojuse kujul. Tarbijad saavad soojuspumpadel vastavalt vajadusele ruumide kütet, jahutust või sooja tarbevett. [2]

Liigitakse pumпасid väga mitmeid erinevaid viise. Näiteks kasutatavate soojusallikate järgi on olemas viis kategooriat: õhk-õhk-soojuspump, õhk-vesi-soojuspump, maasoojuspump, kombineeritud ventilatsiooni-maasoojuspump ja ventilatsioonisojuspump. Teiseks variandiks on liigitada neid sisendtemperatuuri järgi, mis varieerub vahemikus 40-160 °C. Temperatuuride järgi jagatakse need veel oma korda väiksemateks osadeks: 0-40 °C on madalatemperatuurilised SP, 40-60 °C on kõrgetemperatuurilised SP ja 60-120 °C on eriti kõrgetemperatuurilised soojuspumbad. Kolmas võimalus on jagada SP tööpõhimõtte järgi: aurakompressor-soojuspump, absorptsioon-soojuspump või erinevate tehnoloogiate kooslus. Töös selgitatakse lahti kõige lihtsama soojuspumba tööpõhimõtte, et oleks olemas arusaam soojuspumba süsteemi tööst. [42], [43]

#### **4.2.1 Soojuspumba tööpõhimõtte**

Soojuspumbal on sarnaselt absorptsioonjahutiga aurusti ja kondensaator, lisaks veel kompressor ja paisuventiil. Nendest osadest moodustub ühtne suletud süsteem, mis on torude abil ühendatud. Süsteemis ringleb külmaaine, millel on protsessis tähtis osa. Tööprotsess jaguneb tinglikult neljaks osaks. Kõigepealt absorbeeritakse keskkonnast soojust ja see kogutakse aurustisse. Külmaaine, mis on madala temperatuuri ja rõhuga liigub läbi aurusti ja soojeneb keskkonnalt saadud soojusallika abil. Soojusülekanne teel ja õhu niiskuse kondenseerumisel saab aurusti energiat. Teise sammuna peab külmaaine temperatuuri veelgi tõstma. Seda tehakse rõhu tõstmisel kompressoris. Külmaaine kokkusurumisel, temperatuur tõuseb märgatavalt ning oluline on, et tõuseks ka kondenseerumispunkti temperatuur. Kolmas etapp on soojuse ülekanne tarbivale keskkonnale. Kõrge temperatuuri ja kõrge rõhu all olev külmaaine kulgeb edasi kondensaatorisse, kus külmaaine hakkab kondenseeruma ning vabaneva soojuse saab suunata kaugküttetorudesse. Viimaseks etapiks on rõhu alandamine. Külmaaine, mis on kondenseerunud juhitakse paisuventiili, kus rõhk ja temperatuur langevad, kuniks saavutatakse protsessi alguses olnud taseme. [44] Joonisel 4.3 on näidud soojuspumba tööpõhimõtte. Aurustist väljub jahutus ning kondensaatorist eraldub soojus.

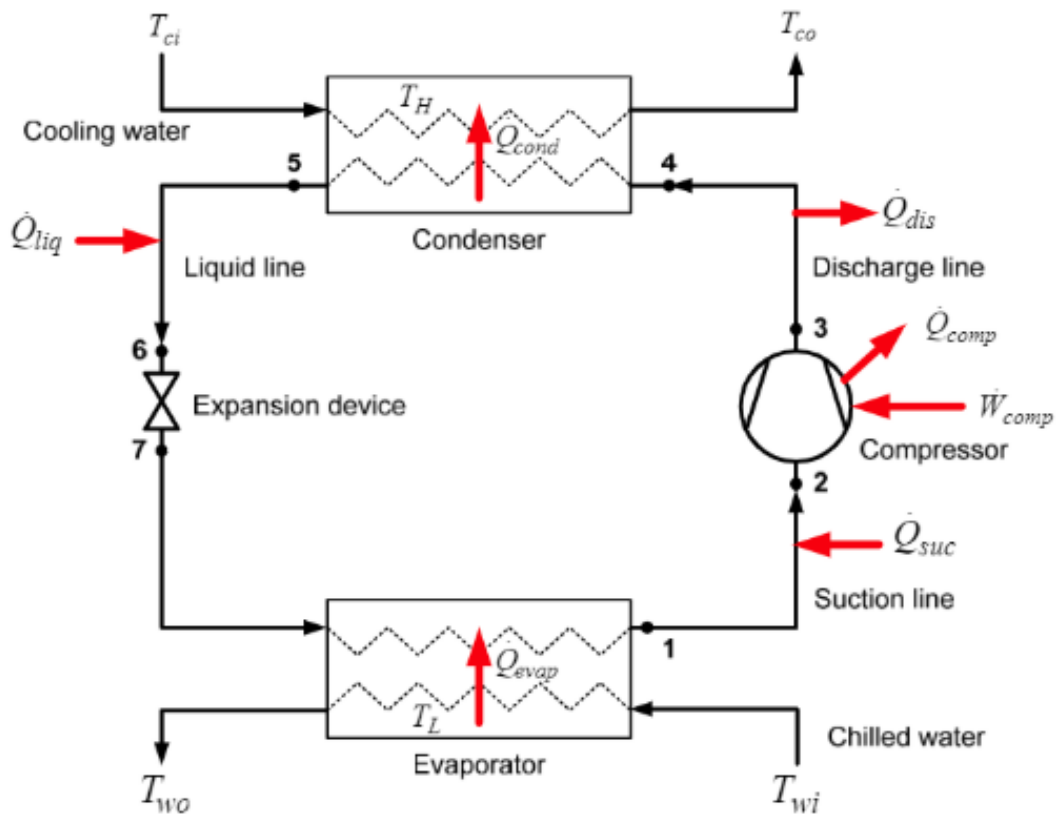


Joonis 4.3 Soojuspumba tööpõhimõte [44]

#### 4.2.2 Kompressorjahuti ja selle tööpõhimõte

Kompressorjahuti on sarnane soojuspumbaga ja selle tööpõhimõttega. Elektri- ehk kompressorjahutite puhul kasutatakse külma tootmiseks elektrit, mille abil tõstetakse vee või muu külmutusagensi aururõhk kõrgele. Olemas on kolbmootoriga kompressor, rootor-tüüpi kompressor ja tsentrifugaalne kompressor. Üldjuhul suurtes kaugjahutusjaamades kasutatakse viimast varianti. [45]

Joonisel 4.4 on numbrita ära märgitud kompressorjahuti tööprotsessi etappide sammud. Samm 1-3: külmutusagens suunatakse kompressorisse, kus elektrienergia toimel, surutakse kokku ja tõstetakse gaasilises olekus külmutusagensi rõhku ning temperatuuri. Samm 3-5: kokkusurutud külmutusagens viiakse kondensaatorisse, milles gaas kondenseerub. Samm 5-7: Paisventiili suunduv kondenseerunud külmutusagens hakkab rõhku langetama, millega kaasneb ka temperatuuri langus. Samm 7-1: Vedelik läbib aurustit ja kogu külmutusagens taas aurustub ja võtab endasse soojust jahutatavast veest. Peale seda protsess lagab uuesti. [46]



Joonis 4.4 Kompressorjahuti tööpõhimõte: Condenser – kondensaator, Evaporator – aurusti, Expansion device – paisuventiil, Compressor – kompressor, Suction line – kompressori sisendliin, Discharge line – kompressori väljundliin, Chilled water – jahutatav vesi, Cooling water – jahutusvesi, Liquid line – vedeliku toru. [46]

#### 4.2.3 Soojuspumba ja kompressorjahuti jahutustegur

Võrreldes absorptsioonjahutiga on soojuspumba jahutustegur oluliselt suurem. COP on keskmiselt 2-6 ja kompressorjahuti oma 3-5. Efektiivsuse seadmes määrab kondenseerumis- ja aurustumistemperatuur, mis peaksid olema vastavalt piisavalt madal ja kõrge. [20], [39]

#### 4.2.4 Soojuspumpade kasutamise mõjud

Soojuspumpadel on lai kasutusala ning see muudab nende seadme kasutamise paindlikumaks. Selle töö näitena saab soojuspumpasid integreerida kaugkütte- ja

kaugjahutusvõrguga. Kasutades soojuspumpasid kaugküttesüsteemis, kus on võimalik liita mitu pumpa kokku, saavutab süsteem palju parema ning efektiivsema töö, kui kasutada soojuspumpi üksikuna ja igas hoones eraldi. Soojuspumbad töötavad taastuvate energiaallikate baasil, seega saaksid need asendada vanu fossiilkütustel töötavaid süsteeme. Samuti aitavad need vähendada keskkonnareostust, kuna kasutavad oma töös ära muidu keskkonna paisatud soojust. [47], [48]

Soojuspumpade tööd on võimalik ka reguleerida vastavalt seadmete paigutusele. Ühendades soojuspumbad jadamisi, on süsteem võimeline tõstma soojuskandja energia kogust astmeliselt, tõstes omakorda ka kaugkütte pealevoolu vee temperatuuri. Jahutuse jaoks on see vastupidise toimega ning võimaldab jahutusvee temperatuuri hoida madalamal. [42]

Nagu kõigi eelnevalt mainitud süsteemidega, on ka soojuspumpade kasutamine takistatud järgmistel põhjustel: vähene tehnoloogia levitamine ja arendamine, kallid ja aeganõudvad planeeringud, vähesed nõuded ja kohustused nende seadmete võrkudesse integreerimiseks, inimeste ebakindlus seadme tööst. [42]



## **5. HEITSOOJUSE KASUTAMINE TALLINNA KAUGJAHUTUSES**

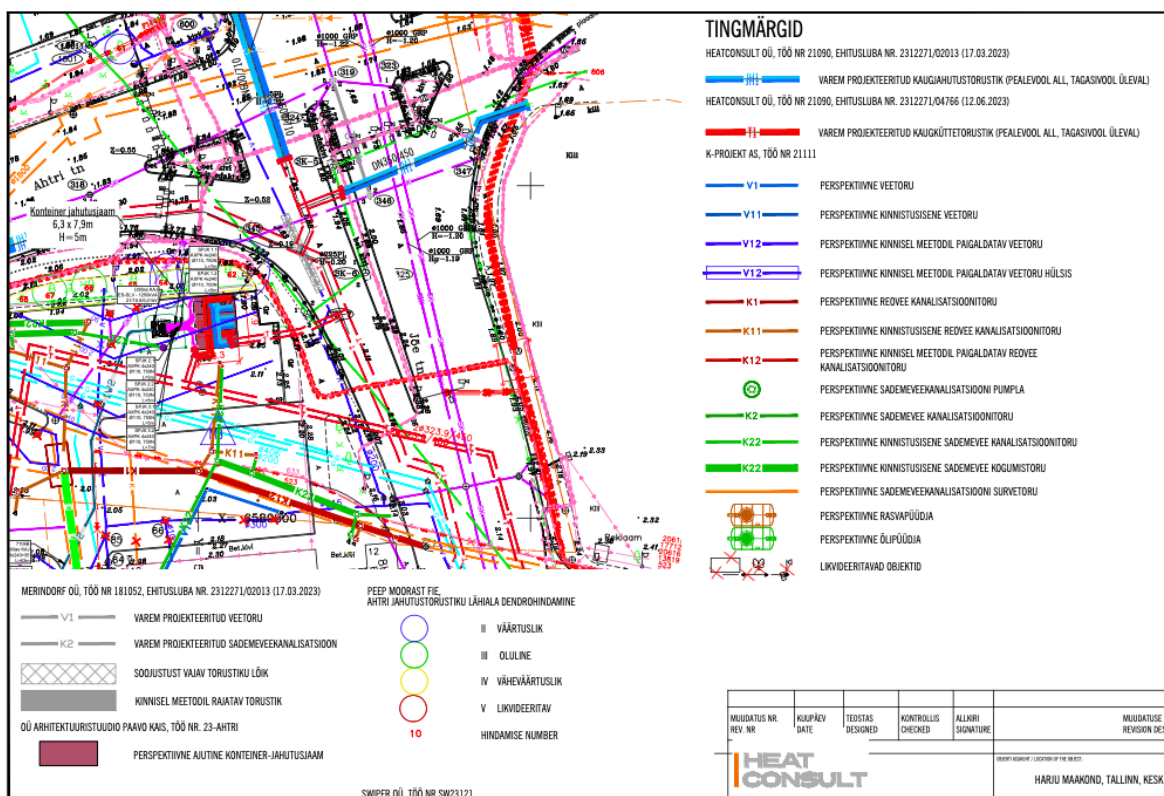
Tallinna piirkonnas on kaugjahutuse potentsiaal suur. Pealinnaregioonina on tööturg aktiivne ning kasvutrendis ja meelitab töötajaid siia ka välisturult. Uute töökohtade ning töötajatega kaasneb ka vajadus mugavamale töökeskkonnale. Jahutusvajadus on üks nendest. Suurt nõudlust aga ei saa kaugjahutus kiirelt lahendada, sest suuremate jaamade planeerimine ja konstrueerimine võtab kaua aega, see eest kohtjahutite kasutamine poleks linna jätkusuutlikumaks eluks positiivne. Tallinnas on praeguseks üles pandud kaks suuremat jaama: Ülemiste City linnakus ning Tselluloosi kvartalis, kus mõlema peamisteks klientideks on ärihooned ja kontorid. Järgmine koht, kuhu suurt kaugjahutusjaama tahetakse ehitada on kesklinn, kus AS Utilitas Tallinna andmetel on pealinna kõige suurem kaugjahutuse potentsiaal. Kuna suure jahutusjaama ehitamine ja võrgu loomine võtab mitu aastat, pandi seniks üles ajutine külmajaam. Ahtri jahutusjaamas kasutatakse külma tootmiseks heitsoojust kaugküttevõrgust ning talvel käib tootmine vabajahutusel.

### **5.1 Ahtri ajutine kaugjahutusjaam**

Kaasjuhendajalt saadud andmete põhjal, saab analüüsida heitsoojuse kasutust kaugjahutusjaamas. Ahtri ajutises kaugjahutusjaamas on kasutusel nii soojuspumbad kui ka kompressorjahutid, vajadusel samuti vabajahutus. Soojuspumbad saavad töötamiseks vajaliku soojuse Tallinna kaugküttest, mis jääks elektri ja soojuse tootmisel kasutamata. Jahutusjaam suudab toota kokku umbes 2,5 MW jahutusvõimsust, mis jaguneb seadmete tüüpide vahel kaheks. Kahest soojuspumbast tuleb kokku 50% ja teine 50% tuleb kompressorjahutitest. 100% soojuspumpadel töötav jaam ei ole finantsiliselt mõttekas ja väga muutuva koormuse tõttu oleks seda keeruline opereerida. Soojuspumpasid nagu ka eelnevalt mainitud, oleks kõige tõhusam kasutada kevad-sügis perioodidel, kus küttenõudlus on piisavalt suur ja stabiilne, et saab kaugküttelt viia soojust jahutusse. Suvel on kütte vajadus liiga madal ja talvel liiga kõrge. Seepärast on nii suve- kui ka talve perioodidel võetud kasutusele lisa seadmed. Soojuspumpadest saab suvel jahutusse baaskoormuse, kuid palavamatel päevadel kui jahutuskoormus on eriti kõrge, võetakse appi kompressorjahutid, mis suudavad kätte saada tipuvõimsused. Väiksemat tüüpi soojuspumpadel, nagu antud kaugjahutusjaamas, on lihtsam töötada kui sisendtemperatuur ei tõuse üle 70 kraadi. Talvel kui soojusvõrkude temperatuur

ületab üle 90 kraadi, on antud seadmete kasutamine raskendatud ning seadmed ei suudaks tõhusalt töötada. Lahendus külmemaks perioodiks panna ajutised teist tüüpi soojuspumbad, ei ole hea, kuna see nõuaks oluliselt kõrgemaid investeeringuid. Selle asemel on talvisel ajal kasutusse võetud vabajahutus õhust.

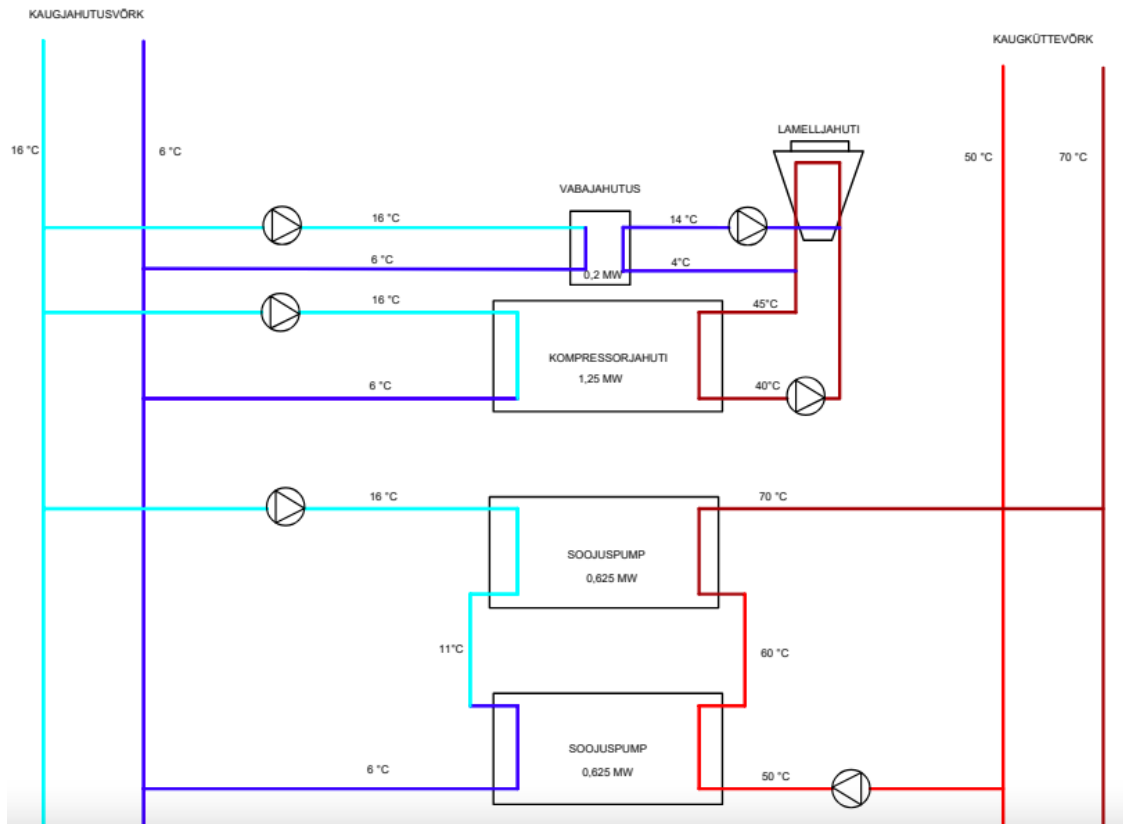
Ahtri jahutusjaama asukoht on valitud selle järgi, et kõik vajalikud kommunikatsioonid oleksid kättesaadavad ning jahutust vajavad hooned asuksid ligidal. Tähtis on see esiteks sellepärast, et soojuskaod, mis küttevõrgust tulevad, oleksid minimaalsed ning jahutuse poole pealt, peavad hooned olema lähedal, et jahutatud vee temperatuur torudes liikudes ei tõuseks märkimisväärselt. Tõenäolisteks klientideks oleks seega ümberringi paiknevad kaubanduskeskused ja ärihooned. Lähimbrusesse jäävad näiteks Rotermanni kvartal, Nautica keskus, Viru Keskus ja Rahvusraamatukogu väike maja. Projekti asendiplaanil (joonis 5.1) on tingmärkidega näidatud kõik ühenduskohad ning jaama asukoht. Lisa 1 on asendiplaanist suurem pilt.



Joonis 5.1 Ahtri projekti asendiplaan

Joonisel 5.2 on näidatud Ahtri jaama ühendusskeemi. Soojuspumbad, mis asuvad joonise allpool, on paigutatud jadamisi. Seda viisi ei tõuse jahutusvee temperatuuri niivõrd palju. Soojuspumpade kõrval on ka üks kompressorjahuti, mis suudab tänu

suuremale võimsusele, aidata soojuspumpasid kui nõudlus on liiga suur. Olemas on ka väike vabajahutuse osa, mis töötab talvel.



Joonis 5.2 Ahtri jaama põhimõtteline skeem



Joonis 5.3 Ahtri konteinerjaama vaatepilt väljast

## 5.2 Tallinna kaugjahutuse tulevik

Tallinnas absorptsioonjahuteid, mida saaks kasutada suvel tekkiva koostootmisjaamade heitsoojusest, kasutusel veel ei ole. Koostootmisjaamasid on Tallinnas mitu, seega selle asemel, et jaamad peaksid suvel seisma, saaks toota edasi elektrit ning suunata soojuse kaugjahutussüsteemidesse. Üheks praktiliseks näiteks, mille võiks eeskujuks võtta, on Taani pealinnas Kopenhaagenis töötav kaugjahutusjaam. Külmemal ajal ehk novembrist aprillini kasutab jaam vabajahutust. Soojemal ajal, kui merevee temperatuur on liiga kõrge jahutamise jaoks, võetakse appi absorptsioonjahutid. Heitsoojus Amagerværket koostootmisjaamast suunatakse torustiku abil kaugjahutusjaama, kus absorptsioonjahutid soojuse abil toodavad jahutusvedelikku. Neid kasutatakse maist oktoobrini. KTJ ise töötab ka taastuvatel allikatel, kus kuuma auru toodetakse nii biokütustest kui ka jäätmepõletusest. [49]

Teiseks lahenduseks kaugjahutuse tuleviku edendamiseks, oleks kasutusele võtta teistest allikatest pärineva heitsoojuse. Tööstuslikest protsessidest nagu tselluloosi- ja paberitööstus, metallurgia ja keemiatööstus paiskub õhku väga palju lisasoojust. Tööstusettevõtted saaks suunata oma heitsoojuse kaugjahutusse ning vastu saaksid nad jahutust kaugjahutusettevõttest. Protsess töötaks väga hästi ning oleks positiivne mõlema poole jaoks, kuid see eest ei ole sellist lahendust veel realselt tehtud. Peamine probleem seisneb selles, et kaugjahutusettevõtte ei saa 100% toetuda tööstusettevõtte heitsoojusele. Tööstus võib väikse tulu pärast laguneda või võib tekkida tehas suur avarii, mis jätab tootmise pikemaks või lühemaks ajaks seisma. Kui aga tööstus seisab, ei teki neilt ka heitsoojust, mida jahutus saaks kasutada ning omakorda peatuks kaugjahutuse tootmine. Kuniks sellele probleemile lahendust pole, ei saa selline koostöö toimuda. Selle tehnoloogia edasi uurimine magistritööna oleks autori jaoks väga huvitav.

Heitsoojusel on potentsiaal saada taastuvate energiaallikate kõrval ka peamiseks tootmisallikaks. Seda saab kasutada nii kaugküttes kui ka kaugjahutuses ning muudes tööstustest veel.

## KOKKUVÕTE

Lõputööle püstitati eesmärgiks uurida kaugkütte- ning kaugjahutussüsteemide olemust, kaugküttevõrgu heitsoojuse integreerimisest kaugjahutusvõrku ning leida reaalne projekt, kus protsess töötaks.

Kaugküte ja kaugjahutus töötavad sarnasel protsessil. Keskjaamas toodetakse, kas soojust kuuma vee kujul või jahutust külma vee kujul ning torustiku abil juhitakse tarbijale. Tarbijad, kes kütet või jahutust soovivad on tavaliselt büroohooned, kaubanduskeskused, kuid ka elumajad ja korterid. Kui kliendid on oma soojuse või külma kätte saanud, suunatakse vesi tagasi jaama, kus seda saab uuesti kasutusele võtta. Kaugsüsteemi torustik koosneb kahest torust, millest üks on pealevoolu toru ning teine tagasivoolu toru.

Heitsoojus on soojus, mis eraldub süsteemist kõrvalsaadusena ning ei võeta protsessi kasutusele. Kaugküttesüsteemidest tekib heitsoojust kõige rohkem energiaallika põlemisel. Eestis, kus kaugküttejaama kütuseks on enamasti suure niiskussisaldusega biomass, tekib palju suitsugaase. Suitsugaaside mahajahutamisel, seadmetega nagu suitsugaaside kondensaator, skraber ja pesur, tekiks kuni 20% lisasoojust, mida saaks, atmosfääri paiskamise asemel, uuesti kasutusele võtta. [29]

Koostootmisjaamad, mis suudavad toota korraga elektrit ning soojust, peavad tavaliselt suveks töö seiskama, kuna lisasoojust ei lähe inimestel vaja. Elektri tarbimine püsib ka suvel kõrge ning seda oleks vaja edasi toota. Kuid kuna küttesoojust tarvis pole, oleks vaja soojusele leida teine kasutusala. Kaugjahutus võiks olla lahendus. Kaugjahutusjaamades, kus jahutust on võimalik toota vabajahutusel kui ka jahutuseadmetega, saab suvel, kui õhu ja vee temperatuur on liiga kõrge vabajahutuse jaoks, kasutada just jahutusseadmeid. Kaugjahutusseadmeid on kolme tüüpi: kompressorjauhti, soojuspump ja absorptsioonjahuti. Kahe viimasega saab väga hästi toota jahutust heitsoojusest.

Hiljuti pandi Tallinna kesklinna üles ajutine kaugjahutusjaam, mis toodab jahutust soojuspumpadega. Sisendsoojus on heitsoojus Tallinna kaugküttevõrgust ning selle abil saab külmaainet jahutada. Jahutatud vedelik suunatakse läheduses olevatesse ärihoonetesse ja kaubanduskeskustesse. Kahes teises Tallinna kaugjahutusjaamas kasutatakse samuti soojuspumpasid. Absorptsioonjahutid, mis kasutavad soojuspumpadest vähem elektrit, ning oleks heitsoojuse utiliseerimiseks kasulikud, Tallinnas veel kasutusel pole. Magistritööna võiks autor uurida, kas absorptsioonjahutite

praktikasse võtmine Eestis oleks keskkonnasäästlikum ja üleüldisemalt kasulikum kui soojuspumbad.

Uurimise tulemusena leiab autor, et kaugkütte heitsoojuse utiliseerimine kaugjahutussüsteemi on suure kasuga tegevus ning jätkusuutliku tuleviku poole vaatav tehnoloogia. Arendades seda edasi, võib maailmas tekkiva heitsoojuse õhku paiskamine jääda minevikku.

## SUMMARY

The purpose set for this thesis was to research the nature of district heating and cooling systems, integration of waste heat from district heating to district cooling network and to analyze a real project of how the process would work.

District heating and cooling have a similar work process. In a central station, either heat is produced in the form of hot water or cooling in the form of cold water and through a pipeline it is driven to a consumer. Consumers for district heating and cooling are usually office buildings, shopping centers, but also residential buildings. When the clients have used up their heat or cooling, then the water is directed back to the station, where it can be used again. District systems consist of two long pipes, one is a supply pipe, and the other is a reflux pipe.

Waste heat is heat released from the system as a by-product and not used in the process. District heating systems produce the most waste heat while burning the energy source. In Estonia, where the fuel for the district heating plant is primarily a high moisture content biomass, many flue gases are released. Flue gas cooling, with such devices as flue gas condenser, scrubber, washer, over 20% of surplus heat could be used again instead of releasing into the atmosphere. [29]

Cogeneration plants, which are capable of producing electricity and heat at the same time, usually must stop working in the summer, because people do not need additional heat. Electricity consumption, however, remains high even in the summer, and it would be necessary to continue producing it. But since heating is unnecessary, it would be required to find another use for the heat generated. District cooling could be the solution. In district cooling plants, where cooling can be produced by free cooling and with cooling devices, in the summer, when the air and water temperatures are too high for free cooling, cooling devices can be used. There are three types of district cooling devices: compressor chiller, heat pump, and absorption chiller. The last two are the best for producing cooling from waste heat.

Recently, a temporary district cooling station was set up in downtown Tallinn, which produces cooling with heat pumps. The input heat is waste heat from the Tallinn district heating network, and it can be used to cool the refrigerant. The cooled liquid is directed to nearby commercial buildings and shopping centers. Heat pumps are also used in two other district cooling stations in Tallinn. Absorption chillers, which use less electricity than heat pumps and would be more useful for recovering waste heat, are yet to be

used in Tallinn. As a master's thesis, the author could research Estonia's district cooling and whether using absorption chillers would be more environmentally friendly and overall better than heat pumps.

As a result of the research, the author finds that using waste heat from district heating in district cooling systems is a highly beneficial activity and a technology that is looking forwards to a sustainable future. By developing this further, releasing the world's waste heat into the ambient air can become a thing of the past.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Kaugküte.” Utilitas Tallinn AS. Kasutatud: 16.05.2024. [Võrgumaterjal.]  
Saadaval: <https://www.utilitas.ee/kaugkute-ja-kaugjahutus/kaugkute/>
- [2] I. Krupenski, E. Latõšov, V. Mašatin, A. Siirde ja A. Volkova, *Jätkusuutlik kaugküte*. Taltech, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://kaugkute.taltech.ee/>
- [3] „Jahutusenergia.” Utilitas Tallinn AS. Kasutatud: 16.05.2024. [Võrgumaterjal.]  
Saadaval: <https://www.utilitas.ee/energia-tootmine/jahutusenergia/#meie-kaugjahutusjaamad>
- [4] „Kliimamuutused: Kliimamuutuste tagajärjed.” Euroopa Komisjon. Kasutatud: 16.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_et](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_et)
- [5] R. Havi, „Tallinna kesklinna kaugjahutuse eskiisprojekt,” Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Taltech Digikogu, 2019.
- [6] R. Agathokleous et al., „Waste Heat Recovery in the EU industry and proposed new technologies,” *Energy Procedia*, kd 161, lk 489–496, 2019. doi: 10.1016/j.egypro.2019.02.064.
- [7] „What is Waste Heat? - Definition from Corrosionpedia,” *Corrosionpedia*, 2016. Kasutatud 17.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <http://www.corrosionpedia.com/definition/1159/waste-heat>
- [8] S. Frederiksen and S. Werner, *District Heating and Cooling*, First. Studentlitteratur, 2013.
- [9] D. Rutz, C. Winterscheid, T. Pauschinger, S. Grimm ja T. Roth, *Upgrading the performance of district heating networks: A Handbook*. First. Munich, Germany: WIP Renewable Energies, 2019.
- [10] N. Kovtunova, „Tallinna vanalinna küttesüsteemi üleminek kaugküttesüsteemile,” Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Taltech Digikogu, 2022.
- [11] M. Reemann, *Energia*. 2022. jn. 1.35. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://opik.fyysika.ee/index.php/book/section/4018>
- [12] L. Riahi, C. Martinez, P. Lapuente, R. Savickas, Z. Chen ja Š. Prieskienis, „Study on district energy in cities to support Korea’s Eco Energy Towns approach,” Department of Technology, Management and Economics, 2017.
- [13] „Kaugjahutus.” Utilitas Tallinn AS. Kasutatud: 14.05.2024. [Võrgumaterjal.]  
Saadaval: <https://www.utilitas.ee/kaugkute-ja-kaugjahutus/kaugjahutus/>
- [14] „What is district cooling system?” Alfa Laval. Kasutatud: 14.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://www.alfalaval.my/industries/hvac/district-cooling/what-is-district-cooling-system/>

- [15] T. Sirkas, „Kaugjahutuse arendamise võimalik potentsiaal Rakvere linnas,” Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Taltech Digikogu, 2022.
- [16] I. Rodriguez, „Advantages of District Cooling in comparison with conventional cooling.” Aranen.com. Kasutatud: 19.05.2025. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://www.araner.com/blog/advantages-district-cooling-comparison-conventional-cooling>
- [17] E. & Power, „Possibilities with more district cooling in Europe,” Euroheat & Power, Brüssel, 2006.
- [18] Ir Alvin Lo, Ir Barry Lau and Dr. Vincent Cheng, „Challenges of district cooling system (DCS) implementation in Hong Kong,” Arup, Hong Kong, China, 2013. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC26576.pdf](https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC26576.pdf)
- [19] A. Volkova, H. Pieper, H. Koduvere, A. Siirde, ja K. Lepiksaar, „Heat Pump Potential in the Baltic States,” 2021. Kasutatud: 19.05.2024 [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.nordicenergy.org/wordpress/wp-content/uploads/2021/04/Heat-Pump-Potential-in-the-Baltic-States.pdf>
- [20] „Jahutustehnoloogia.” Energiatalgud. Kasutatud: 15.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://energiatalgud.ee/Jahutustehnoloogia>
- [21] „Energia biomassist.” Utilitas Tallinn AS. Kasutatud: 16.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://www.utilitas.ee/energia-tootmine/energia-tootmine-biomassist/>
- [22] Kasutatud: 18.05.2024.[Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://kotkas.envir.ee/permits/public\\_application\\_details?represented\\_id=&proceeding\\_id=10608&application\\_id=1011460](https://kotkas.envir.ee/permits/public_application_details?represented_id=&proceeding_id=10608&application_id=1011460)
- [23] „Elekter ja soojus jäätmetest,” Enefit Green AS. Kasutatud: 18.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: [https://www.energia.ee/documents/10187/15087/elekter\\_ja\\_soojus\\_jaatmetest\\_a4\\_est.pdf](https://www.energia.ee/documents/10187/15087/elekter_ja_soojus_jaatmetest_a4_est.pdf)
- [24] „Gren Pärnus.” Gren AS. Kasutatud: 18.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://gren.com/ee/gren-parnus/>
- [25] J. Paulus, „Kaugjahutuse arendamine Tallinna vanalinnas,” Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Taltech Digikogu, 2022.
- [26] HeatConsult, *Tanel Kirs: Utilitas Tallinn Experience in developing and construction of district cooling network.* (25.02.2020). Kasutatud: 19.05.2024. [Videomaterjal]. Saadaval: <https://www.youtube.com/watch?v=RMnQMzUF-Ag>
- [27] „Kaugjahutus.” Gren AS. Kasutatud: 18.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://gren.com/ee/kaugjahutus/>
- [28] ReUseHeat, *Handbook for increased recovery of urban excess heat,* 2022. Kasutatud: 18.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://reseau-x->

chaleur.cerema.fr/sites/reseaux-chaleur-v2/files/fichiers/2022/08/ReUseHeat-Handbook-For-Increased-Recovery-of-Urban-Excess-Heat%281%29.pdf

[29] Ü. Kask, S. Link ja S. Meeliste, „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti tõhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine“. KPMG Baltics OÜ, 2021.

[30] „Säästva arengu sõnaseletusi - heitsoojus.“ Kasutatud: 18.05.2024. Saadaval: [http://www.seit.ee/sass/?ID=1&L\\_ID=82](http://www.seit.ee/sass/?ID=1&L_ID=82)

[31] „Waste Heat Recovery Basics.“ Energy.gov. Kasutatud: 18.05.2024.

[Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://www.energy.gov/eere/iedo/waste-heat-recovery-basics>

[32] „The legacy of heat roadmap Europe 4,“ Heat Roadmap Europe, Kasutatud: 18.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2019/02/HRE\\_Final-Brochure\\_web.pdf](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2019/02/HRE_Final-Brochure_web.pdf)

[33] H. Pieper, T. Kirs, I. Krupenski, A. Ledvanov, K. Lepiksaar ja A. Volkova, „Efficient use of heat from CHP distributed by district heating system in district cooling networks,“ Energy Reports, kd 7, lk 47–54, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.09.041>

[34] Ramboll, „Project Proposal for a Heat Pump and District Cooling in Tårnby (in Danish),“ 2018.

[35] M. Papapetrou, G. Kosmadakis, A. Cipollina, U. La Commare ja G. Micale, „Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country,“ Applied Thermal Engineering, kd 138, lk 207-216, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.043>

[36] „An EU Strategy on Heating and Cooling,“ European Commission, Brüssel, 2016. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://www.madridsubterra.es/wp-content/uploads/2015/04/The-UE-Strategy-on-Heating-and-Cooling-2016.pdf>

[37] M. Miilpalu, „Heitsoojuse kasutamise võimalused Euroopas ja Eestis,“ Bakalaureusetöö, Tallinna Tehnikaülikool, Taltech Digikogu, 2021.

[38] „DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the promotion of the use of energy from renewable sources,“ Official Journal of the European Union, 2018. Kasutatud: 19.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

[39] S. Link, „Jahutus: Terviklik lähenemine energiatõhusale planeerimisele ja ehitamisele,“ Tallinna Tehnikaülikool, 2012. Kasutatud: 19.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval:

[https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images\\_sala/d/da/Link%2C\\_S.\\_Terviklik\\_%C3%A4henemine\\_energiat%C3%B5husale\\_planeerimisele\\_ja\\_ehitamisele.\\_2012.pdf](https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/d/da/Link%2C_S._Terviklik_%C3%A4henemine_energiat%C3%B5husale_planeerimisele_ja_ehitamisele._2012.pdf)

- [40] P. Evans, „Absorption Chiller, How it works,” 2017. Kasutatud: 19.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://theengineeringmindset.com/absorption-chiller-works/>
- [41] „District Cooling,” Korea District Heating Corporation, Kasutatud: 19.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://www.kdhc.co.kr/eng/main/contents.do?menuNo=300048>
- [42] J. Barco-Burgos, J. Bruenergiateno, U. Eicker, A. Saldaña-Robles ja V. Alcántar-Camarena, „Review on the integration of high-temperature heat pumps in district heating and cooling networks Applied Thermal Engineering,” kd 239 osa E, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122378>
- [43] „Soojuspumbad,” Tallinna Tehnikaülikool, Mehaanikateaduskond, Kasutatud: 19.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: [https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images\\_sala/5/59/TT%C3%9C.\\_Mehaanikateaduskond.\\_Soojuspumbad.pdf](https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/5/59/TT%C3%9C._Mehaanikateaduskond._Soojuspumbad.pdf)
- [44] „Kuidas töötab soojuspump,” Kliimajaam, Kasutatud: 19.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: <https://kliimajaam.ee/kuidas-tootab-soojuspump/>
- [45] IDEA, „District Cooling Best Practice Guide,” 2008.
- [46] T.-S. Lee, „Second-Law Analysis to Improve the Energy Efficiency of Screw Liquid Chillers,” Department of Energy and Refrigerating Air-Conditioning Engineering, National Taipei University of Technology, Entropy, 2010.
- [47] M. C. Soini, M. C. Bürer, D. P. Mendoza, M. K. Patel, J. Rigter ja D. Saygin, „Renewable energy in district heating and cooling, A sector roadmap for REmap.” IRENA, 2017. [Võrgumaterjal.] Saadaval: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/IRENA\\_REmap\\_DHC\\_Report\\_2017.pdf?rev=4a5c685d39ee42fc905257adeed461d5](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/IRENA_REmap_DHC_Report_2017.pdf?rev=4a5c685d39ee42fc905257adeed461d5)
- [48] T. Ommen, W. B. Markussen ja B. Elmegaard, „Heat pumps in combined heat and power systems,” Energy, kd 76, lk 989-1000, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.016>.
- [49] Danfoss Drives, „A cost-effective solution: district cooling in central,” Kasutatud: 28.05.2024. [Võrgumaterjal.] Saadaval: [https://files.danfoss.com/download/Drives/DKDDPC218A102\\_CPH\\_Energy\\_District\\_Cooling\\_LR.pdf](https://files.danfoss.com/download/Drives/DKDDPC218A102_CPH_Energy_District_Cooling_LR.pdf)

**LISAD**

