

Energiatehnoloogia instituut

**KAUGJAHUTUSE JA KOOSTOOTMISE SIDUMISE
MÕJU ELEKTRI TOOTMISELE**

**THE EFFECT OF TYING DISTRICT COOLING AND
COGENERATION ON ENERGY PRODUCTION**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Hans Robin Roosmann

Üliõpilaskood 193404EACB

Juhendaja: Kertu Lepiksaar, doktorant-noorem-
teadur

Tallinn 2024

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.

“20” mai 2024. a.

Autor: Hans Robin Roosmann

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“20” mai 2024. a.

Juhendaja: Kertu Lepiksaar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Hans Robin Roosmann (sünnikuupäev: 18.01.2000)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

KAUGJAHUTUSE JA KOOSTOOTMISE SIDUMISE MÕJU ELEKTRI TOOTMISELE

mille juhendaja on *Kertu Lepiksaar*,

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.

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

/ allkirjastatud digitaalselt /

Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Hans Robin Roosmann, 193404EACB

Õppekava, peeriala: EACB17/17 Keskkonna-, energia- ja keemiatehnoloogia, energia-
tehnoloogia peeriala

Juhendaja(d): Doktorant-nooremteadur Kertu Lepiksaar, +372 6203919

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Kaugjahutuse ja koostootmise sidumise mõju elektri tootmisele

(inglise keeles) The effect of tying district cooling and cogeneration on energy production

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade Absorptsioonjahutitest ja selle tehnoloogiatest
2. Välja arvutada koostootmisjaama ja absorptsioonjahuti võimsused
3. Hinnata kaugjahutuse ja koostootmise sidumise mõju elektri tootmisele

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema kinnitamine, algandmete kogumine ja kirjanduse lugemine	15.03.22
2.	Teooria osa kirjutamine ja arvutuste tegemine	01.01.23
3.	Metoodika ja tulemuste kirjutamine	10.01.23
4.	Teooria ümbertegemine ja metoodika parandamine ja töö esitamine	20.05.24

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "20" mai 2024 a

Üliõpilane: Hans Robin Roosmann "20" mai 2024. a.

/ allkirjastatud digitaalselt /

Juhendaja: Kertu Lepiksaar "20" mai 2024. a.

/ allkirjastatud digitaalselt /

Programmijuht: Oliver Järvik "20" mai 2024. a.

/ allkirjastatud digitaalselt /

Sisukord

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1. KOOSTOOTMINE JA KAUGJAHUTUS.....	9
1.2 Koostootmine	9
1.2.1 Vaheltvõtu-auruturbiin	11
1.2.2 Vasturõhu-auruturbiin	11
1.3 Kaugjahutus.....	12
1.3.1 Kaugjahutuse printsiibid ja tööpõhimõte	12
1.3.2 Kaugjahutuse eelised	13
1.4 Kaugjahutuse tehnoloogilised lahendused	14
1.4.1 Absorptsioonjahutus	18
2. METOODIKA.....	22
2.1 Tehniline protsess	22
2.2 Andmed	24
3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED	25
3.1 Alternatiivsed jahutuse tootmise võimalused	26
3.2 Järeldused	27
KOKKUVÕTE	28
ABSTRACT	29
KASUTATUD KIRJANDUS	30

EESSÕNA

Käesoleva bakalaureusetöö teema idee tuli kooli poolt soovitatud teemadest ja ettevõttest Utilitas AS, kus autor oli praktikal. Teema lõplik sõnastus sai teoks autori, Hans Robin Roosmanni, ja juhendaja koostööl.

Lõputöös kajastatav info pärineb teadustöödest ja artiklitest, mida on kõiki näha kasutaud kirjanduse loetelus.

Bakalaureuse lõputöö käigus on analüüsitud koostootmise ja kaugjahutuse sidumise mõju elektri tootmisele ja selle põhjal tehtud järeldused nende sidumise mõistlikkuse kohta.

Autor tänab bakalaureusetöö juhendajat Tallinna Tehnikaülikooli energiatehnoloogia instituudi doktorant-nooremteadurit Kertu Lepiksaart, kes vastas kiiresti tekkinud küsimustele, andis tagasisidet ja aitas töö lõpuni viia.

Kaugküte, kaugjahutus, absorptsioonjahuti, koostootmine, bakalaureusetöö

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

LiBr – liitumbromiid

COP – soojustegur (*coefficient of performance*)

p_1 – turbiini sissevoolu rõhk, Pa

p_2 – turbiinist väljuva voolu rõhk, Pa

t_1 – turbiini sissevoolu temperatuur, °C

$t_{j,1}$ – kaugjahutuse pealevoolu temperatuur, °C

t_2 – turbiinist väljuva vee temperatuur maksimaalse jahutuse tootmise korral, °C

t_2' – turbiinist väljuva vee temperatuur, kui jahutust toota minimaalselt, °C

$t_{j,2}$ – kaugjahutuse tagasivoolu temperatuur, °C

Q_1 – turbiini sissevoolu vooluhulk, kg/s

Q_j – Jahutatud vee vooluhulk, kg/s

E – turbiini väljundvõimsus, W

η – efektiivsustegur

h_1 – turbiini siseneva auru entalpia, J/kg

h_2 – turbiinist väljuva vee entalpia, J/kg

SISSEJUHATUS

Teema valik kujunes välja minu huvist keskkonna ja säästliku eluviisi vastu. Kliima on muutumises ja kõik kliimaga kaasnev on järjest aktuaalsem ning tekitab kõneainet. Kliima muutuste kontrolli all hoidmine sõltub sellest, kui paljud inimesed sellega tegelevad ja kaasa mõtleavad. Siin saavad anda oma panuse riigid õigete regulatsioonide kehtestamisega, ettevõtted oma tootmistehnoloogiate ja seadmete valikuga ning eraisikud oma igapäevase teadlike käitumiste ja harjumustega.

Käisin praktikal Utilitas AS-is ja tegelesin seal kaugkütte ja kateldega. Soojuse ja elektri tootmise ning kaugkütteteenuse osutamise pakutakse klientidele ja keskkonnale sobivaid lahendusi, üritades seejuures kasutada võimalikult suures osas taastuvaid ja kohalikke energiaallikaid.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on teada saada, kas kaugjahutuse ja koostootmise sidumisel on mõju elektri tootmisele, ning kui on, siis kas see mõju on positiivne või negatiivne. Kaugjahutus on samas üsnagi uus asi, mida alles arendatakse välja samaaegselt kaugküttega, et asendada praeguseid lokaalseid jahutussüsteeme efektiivsemate süsteemidega samas soovides olla keskkonnasõbralikumad. Seoses kliima soojenemisega muutub paljudes riikides kaugjahutus järjest aktuaalsemaks temaks.

Töö eesmärgiks on välja selgitada, kas koostootmise sidumine kaugjahutusega mõjutab elektri tootmist ja kui muudab siis kuidas. Töö hüpoteesiks on, et kaugjahutuse ja koostootmise sidumine mõjutab elektri tootmist ning mida rohkem kaugjahutust toodetakse, seda vähem saab elektrit toota. Töö eesmärgi saavutamiseks koostas erinevaid arvutusmudeleid. Töö koosneb teoreetilisest ning arvutuslikust osast. Teoreetilises osas annan ülevaate kaugjahutusest ja kaugküttest ning nende toimest. Arvutuslikus osas selgitan välja, et kas hüpotees pidas paika.

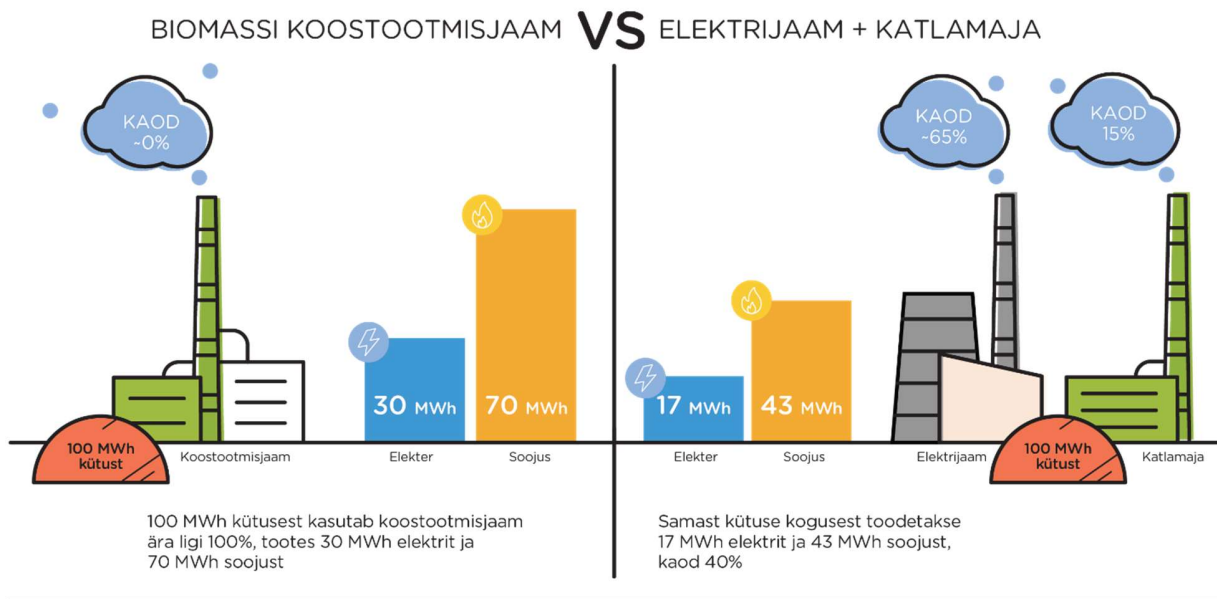
1. KOOSTOOTMINE JA KAUGJAHUTUS

Selles peatükis tuleb juttu koostootmisest ja kaugjahutusest. Seletatakse lahti täpsemalt kuidas need töötavad ja mis komponendid kumbagis on. Samuti natukene nende erinevatest liikudest.

1.2 Koostootmine

Üks keskkonnasõbralikumaid energia tootmise viise on koostootmine, mis võimaldab sama energiaga toota nii soojust kui ka elektrienergiat. Koostootmise käigus taaskasutatakse heitsoojust paljude süsteemide tööprotsessides ära, mille tulemusena jõuab korstna kaudu atmosfääri maha jahutatud suitsugaas, mis sisaldab vähesel määral lämmastikoksiide, süsinikmonooksiidi, tolmu ja teisi metalle, näiteks arseeni ja elavhõbedat, mille osakaal on minimaalne ja keskkonnale ohutu. Ka Eestis on soojuste ja elektri koostootmine levinud, tuntumad neist Iru, Vao, Pärnu ja Tartu koostootmisjaamad. Kütuseks sobib koostootmiseks nii vedel-, gaas kui ka tahkekütus, näiteks biokütus, segaolmejäätmed ja maagaas. [3]

Soojus- ja elektrienergia koostootmise üheks eesmärgiks on hoida tootmise kasutegur kõrgel ehk kasutada võimalikult palju energiat ära ning mitte lasta seda korstna kaudu atmosfääri. See säästab keskkonda, hoides ära suurel määral kahjulike heitmete pääsemise õhku. Selleks on kasutusele võetud jääksoojuse kasutamine erinevates katla soojustootmise etappides, näiteks suitsugaasipesuris, mis sõltuvalt biokütuse niiskusest annab lisatootlikust ja jahutab samal ajal suitsugaase, mille tulemusena on vähendatud keskkonda kahjustavat toimet. [3]



Joonis 1 Koostootmise ja eraldi tootmise ressursikasutuse võrdlus. [4]

On olemas mitu erinevat tüüpi kasutegureid. Üldine kasutegur hõlmab terveid süsteeme alates esialgselt sisendist kuni lõppväljundini. Üldine kasutegur on energia väljundi ja sisendi suhe.

Samuti on olemas soojuse tootmise kasutegur, mis on võrreldav katlamaja kasuteguriga, kuna tegemist on toodetud soojusenergia ja tarbitud primaarenergia suhtega.

Elektri tootmise kasutegur on süsteemi toodetud elektrienergia ja tarbitud primaarenergia suhe. [20]

Elektri tootmisel suurtes, linnadest kaugel asuvates elektrijaamades on jaama kasutegur vaid ligi 40% ja kaotsi läheb 60% kütuses sisalduvast energiast. Seevastu tihedalt asustatud alade lähedale rajatud koostootmisjaamades kasutatakse ära kogu kütuses sisalduv energia, sest toodetud elektrienergia antakse võrku ja kaugküttesüsteemi kaudu köetakse hooneid. Nii saadakse samast kütusekogusest koostootmisjaamas üle kahe korra rohkem energiat kui eraldiseisvas elektrijaamas. Suitsugaaside pesuri kasutamisel suureneb hakkepuitu põletava jaama kasutegur veelgi, kuni 100 protsendini.[4]

Väiksema kütusekoguse tõttu tekitab koostootmine oluliselt vähem heitmeid. Elektri tootmine tarbimiskohale võimalikult lähedal vähendab elektri ülekandevõrkudes tekkivaid kadusid ja suurendab energiatõhusust veelgi. [4]

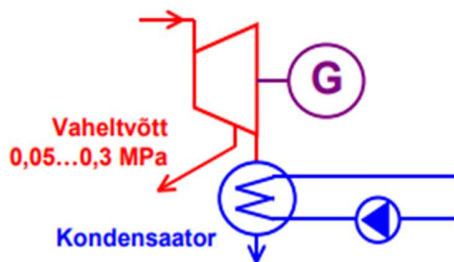
Koostootmisel saab ka kasutada heitsoojust jahutuse tootmiseks, kui ühendada

koostootmisjaamale kaugjahutus. Heitsoojuse kasutamine olemasoleva jahutusvajaduse rahuldamiseks võib tõrjuda välja kõik, mida praegu jahutamiseks kasutatakse. Paljudel juhtudel võib see välja tõrjuda külmutus- või kliimaseadmed, mille tööks on elektrit vaja. Selle peamised eelised on: [12]

- tegevuskulude vähenemine, mis toob kaasa märkimisväärse kokkuhoiu;
- Kapitalikulude vähenemine (kliimaseadmete ostmise vältimine);
- Vähendatud CO₂ ja muud heitegaasid.

1.2.1 Vaheltvõtu-auruturbiin

Aurus sisalduvat energiat on võimalik täielikumalt kasutada sel teel, et turbiini madalrõhuosast võetakse osa auru muude aurutarvitite, nagu näiteks veekuumutite või aurukütte, toiteks nagu on näha joonisel 2. Sellised turbiinid suudavad anda mehaanilist energiat. Selliseid turbiine nimetatakse vaheltvõtuturbiinideks ja neid kasutatakse elektri ja soojuse koostootmisjaamades. Soojuse tootmise kasutegur on neis jaamades tavaliselt ligikaudu 60%. [10]

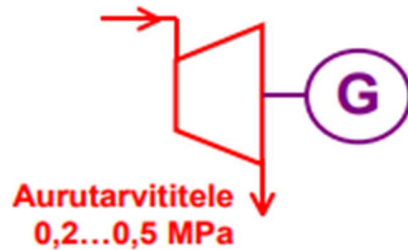


Joonis 2 Vaheltvõtu-auruturbiini tööpõhimõte[10]

1.2.2 Vasturõhu-auruturbiin

Vaheltvõtuturbiinidest veel kõrgema soojuse tootmise kasuteguri, kuni 85%, võimaldavad saavutada vasturõhuturbiinid. Vasturõhuturbiinid on teatud tüüpi auruturbiinid, mida kasutatakse seoses tööstusprotsessidega, kus on vaja madala või keskmise rõhuga auru. Kõrgrõhuaur siseneb vasturõhuga auruturbiini ja auru paisumise ajal muundatakse osa selle auru soojusenergiast mehaaniliseks energiaks. Mehaanilist energiat kasutatakse elektrigeneraatori või mehaaniliste seadmete nagu näiteks pumpade, kompressorite või muu sellise käitamiseks ja elektri tootmiseks. Väljalaskeaur väljub auruturbiinist ülerõhuga ja seejärel naaseb aur tehasesse protsessiauru kasutamiseks, nagu näiteks kuumutamiseks või kuivatamiseks ehk tööstuslikele aurutarbijatele. Vasturõhu auruturbiini tööpõhimõtet

on näha joonisel 3. [11]



Joonis 3 Vasturõhu-auruturbiini tööpõhimõte[10]

1.3 Kaugjahutus

Kaugjahutus on ideaalseks lahenduseks hoone CO₂ jalajälje alandamisel. Kaugjahutus on kõige keskkonnasõbralikum viis jahutada linnahoonete ruume, luues neis mugava ja tervisliku sisekliima. Praegu aga kasutatakse paljude kodude, kontorite ja tööstushoonete jahutamiseks peamiselt lokaalseid jahutusseadmeid, mis tihti töötavad keskkonda ohustavatel külmaainetel. Kaugjahutus on sarnane kaugküttega, sest jahutust toodetakse tsentraalselt ja tarbijasõlmed on ühendatud jahutusvõrgustikku. Kaugjahutus on tõhus, kõrge varustuskindlusega ja keskkonnasõbralik jahutusviis, mis on keskkonnanõuetele vastav ka aastakümnete pärast. [5]

Riigi hoonete sisekliima ja õhustuse nõuete määruuses on ka ära määratud, et hoone kasutamise ajal ei tohi kohtades kus inimesed viibivad ruumitemperatuur elamutes olla üldjuhul kõrgem kui 27°C ja mittelelamutes kõrgem kui 25 °C. See tähendab, et soojematel suvepäevadel, kus temperatuurid võivad minna üle 30°C, peaks kuidagi jahutama ruume ja maja kus viibitakse. Selle teostamiseks on kaugjahutus hea variant. [14]

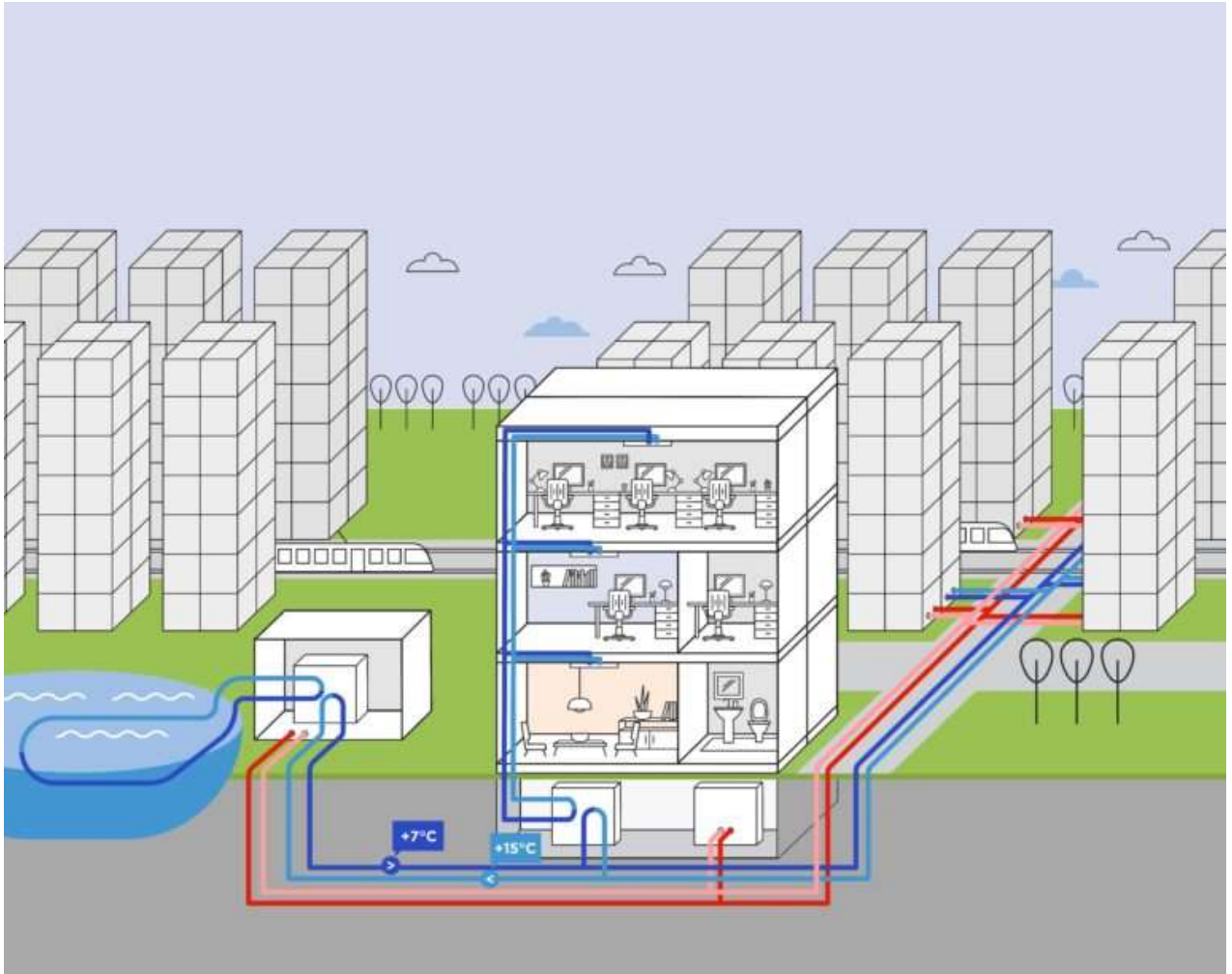
Hetkel on Eestis kõige kauem teostatud kaugjahutust Tartu linnas, kus see on ka kõige suurem süsteem hetkel. Väiksemal skaalal teostatakse kaugjahutust ka Tallinnas ja Pärnus.

1.3.1 Kaugjahutuse printsiibid ja tööpõhimõte

Kaugjahutusjaamas jahutatakse vesi 6 kraadini ning suunatakse torustiku kaudu kliendi hoones olevasse jahutussõlme. Seal jahutatakse antud veega hoone ventilatsiooniõhku ja jahutussüsteemis ringlevat vett. Jahutusprotsessis soojuse vastu võtnud vesi suunatakse tagasi kaugjahutusjaama, kus see uuesti jahutatakse. [5]

Joonisel 4 on näha tumesinise joonega jahutusvett, mida pumbatakse majadesse, et neid

jahutada. Helesinise joonega on märgitud vesi, mis tuleb majadest tagasi, et seda uuesti maha jahutada ja jahutusveeks muuta. Sellel joonisel on tegemist vabajahutusega, mis tähendab, et jahutusvee jahutamiseks läbib jahutusvee toru järve, kus see loovutab oma soojuse järvele ja seetõttu jahtub. Punane ja roosa joon tähistavad kaugkütte vett.



Joonis 4 Kaugjahutuse (vabajahutuse) skeem. Tumesinise joonega näidatud jahutusvesi, helesinise näidatud majadest naasnev vesi, punane ja roosa joon näitavad kaugkütte vett. [5]

1.3.2 Kaugjahutuse eelised

Kaugjahutusel on palju eeliseid lokaalsete jahutusseadmete üle. Need saab üldjuhul nelja kategooriasse määrata: eelised maja elanikele, eelised hoone omanikele, majanduslikud eelised riigile ja keskkonna eelised. Peamised eelised maja elanikele on[15]:

- Kaugjahutus tagab soodsama hoonekeskkonna, kõrvaldades hoonesiseste jahutusaparatuuridega seotud mürasaaste, vibratsiooni ja lõhnad ning sanitaarriski;

- Kaugjahutus suurendab hoone ohutust, hoonesiseste jahutite väljajätmine vähendab hoones raskete masinate tööga seotud ohutusriske.

Peamised eelised maja omanikele on[15]:

- Kaugjahutus vähendab hoonete omanike kapitalikulusid, sest jäävad ära hoonete sisesed jahutusseadmed;
- Kaugjahutus vähendab hoonesisese jahutiga seotud tegevus- ja hoolduskulusid nagu elekter, vesi, kemikaalid, varuosad, hooldustööd ja muud sellised;
- Kaugjahutus parandab hoone pinna kasutamist.

Peamised majanduslikud eelised riigile on[15]:

- Kaugjahutus, mis on energiatõhus tehnoloogia, aitab kaasa riigi energiakasutuse efektiivsusele ja aitab säästa väärtuslikke energiaressursse;
- Kaugjahutus vähendab elektri tippvõimsuse nõudlust ja toob kasu elektrivõrkude infrastruktuurile.

Peamised keskkonnakaitselised eelised on[15]:

- Kaugjahutussüsteemid parandavad energiakasutuse efektiivsust, jahutusenergia tootmisega, mis vähendab saasteainete ja kasvuhoonegaaside emissiooni;
- Kaugjahutussüsteemid vähendavad keskkonna müra saastet;
- Süsteemide mitmekesisus võimaldab kaugjahutusjaamadel olla väiksema installeeritud võimsusega võrreldes üksikute hoonete jahutusseadmetega, vähendades seega süsiniku jalajälge.

1.4 Kaugjahutuse tehnoloogilised lahendused

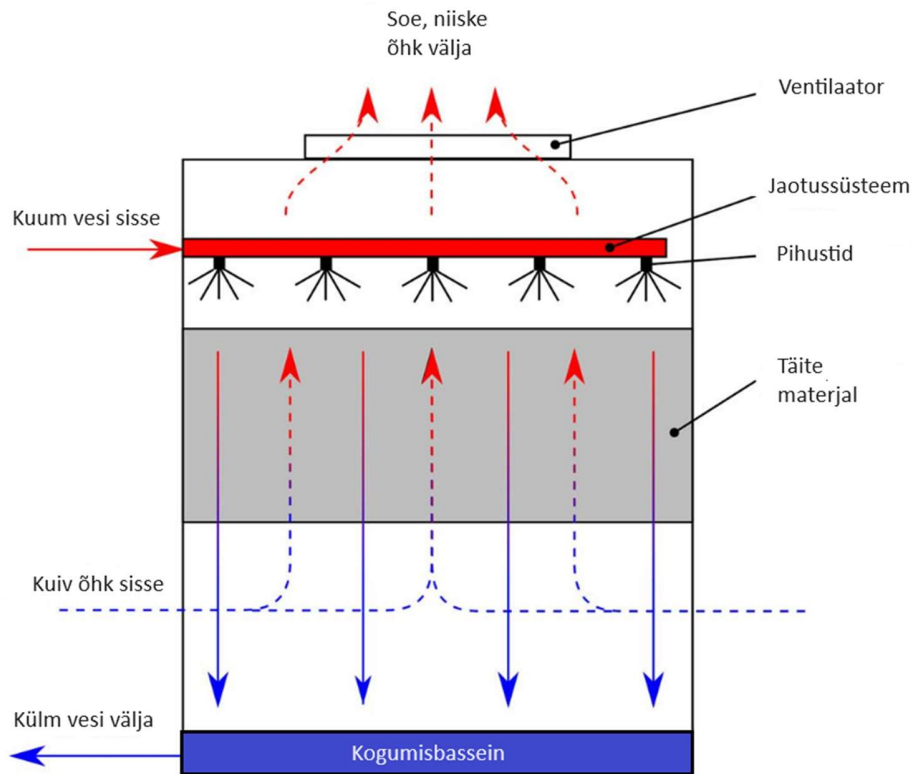
Käesolevas peatükis käsitletakse absorptsioonjahutust. Peamiselt on juttu sellest, kuidas see töötab ja selle erinevatest tehnoloogiatest ning versioonidest. Absorptsioonjahutus on oluline töö kontekstis kuna see on kõige efektiivsem ja keskkonnasõbralikum viis kasutada jahutuse tootmiseks ära koostootmises tekkivat üleliigset soojust. Peatükis tuleb juttu ka erinevatest kaugjahutuse tehnoloogiatest ja nende tööpõhimõtetest.

Kaugjahutuses on kasutusel palju erinevaid seadmeid jahutuse tootmiseks nagu näiteks jahutustornid, kompressorjahutid, soojuspumbad, vabajahutus ja absorptsioonjahutid.

Jahutustornid

Jahutustornid on ette nähtud hoonete või tehaste jahutusvee jahutamiseks, pihustades vett läbi torni, et viia soojust välja ja jahutada hoonet. Õhk tuleb torni külgedest sisse ja läbib langevat vett. Kui õhk läbib vett, toimub soojusvahetus ja osa veest aurustub. See soojus ja aurustunud vesi liiguvad torni tipust välja pilvetaolise uduna. Jahutatud vesi kogutakse

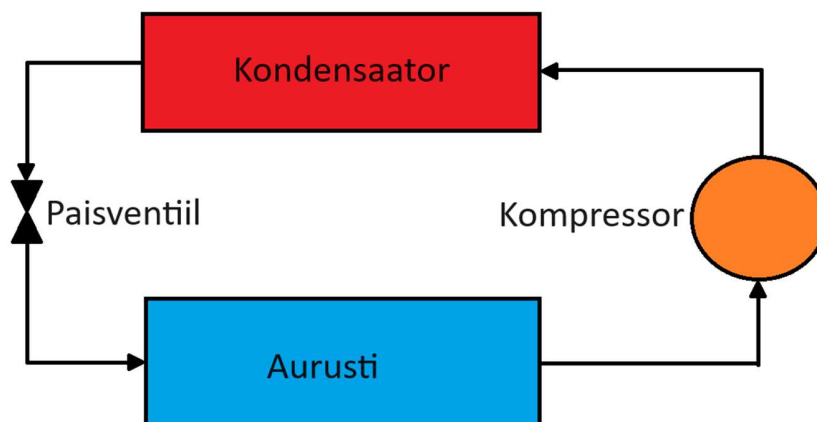
torni põhja ja pumbatakse taaskasutamiseks tagasi hoonesse või tehasesse. [16]



Joonis 5 Jahutustorni skeem[26]

Kompressorjahutid

Kompressorjahutid on jahutusseadmed, mis on ette nähtud vedeliku jahutamiseks. Seda tüüpi jahutust nimetatakse sageli mehaaniliseks jahutuseks või kompressori abil jahutamiseks. Kõik kompressorjahutid põhinevad suletud ahelal, mis on täidetud külmutusagensiga. Kompressor tõstab külmutusagensi auru rõhku, millega kaasneb temperatuuritõus, seejärel läbib külmutusagens soojusvahetit/kondensaatorit, siis see kondenseerub soojusvahetis ja naaseb vedelasse olekusse andes soojust välisele vedelikule. Seejärel läbib vedelik paisventiili, kus rõhk ja temperatuur kiiresti langevad, seejärel vedelik juhitakse läbi veel ühe soojusvaheti, mida nimetatakse aurustiks. Aurusti töötab vastupidiselt kondensaatorile. Külmutusagensi vedelik muudetakse gaasiks, see neelab soojust väliselt vedelikult ja jahutab seda. Külmutusagens liigub tagasi siis kompressorisse ja jahutatud vedelik suunatakse hoone jahutussüsteemis vajalikku kohta.[17]



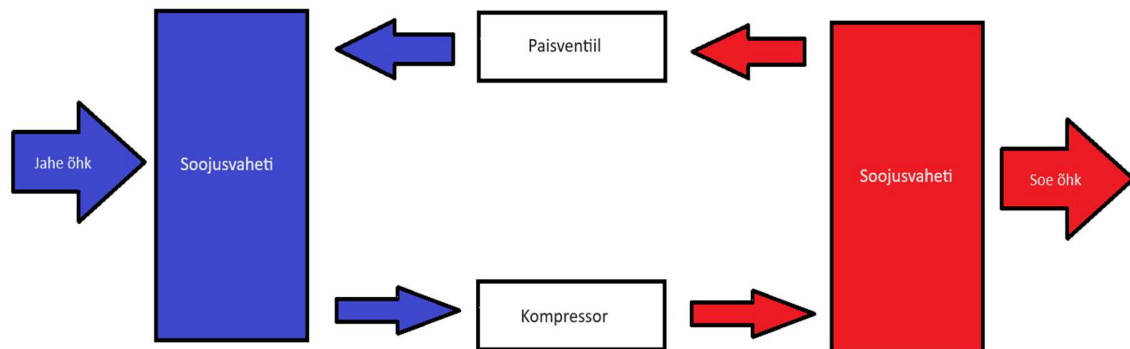
Joonis 6 Kompressorjahuti skeem (autori joonis)

Soojuspumbad

Soojuspumpade tööpõhimõte sarnaneb külmkappides või konditsioneerides kasutatavale tööpõhimõttele. See ammutab soojust erinevatest allikatest, näiteks ümbritsevast õhust, maasse salvestatud geotermilisest energiast või lähedalasuvatest vee- või heitsoojuseallikatest [21]. Kui külmutusagensi rõhk tõuseb, tõuseb ka selle temperatuur. Kui paisventiilis rõhk langeb, siis külmutusagensi temperatuur langeb. Soojuspumba töö koosneb järgmistest etappidest: [22]

1. Soojuspump kasutab elektrit külmutusagensi kokkusurumiseks, suurendades rõhku ja seega ka temperatuuri.
2. Külmutusagensi soojus kandub soojusvaheti kaudu hoonesse, mis samuti jahutab külmutusagensi, kuna see annab soojust ära.
3. Seejärel lastakse külmutusagens läbi paisventiili, kus see paisub ning jahtub veelgi.
4. Nüüd on külmutusagens piisavalt külm, et absorbeerida rohkem soojust väljast ja alustada protsessi uuesti. [22]

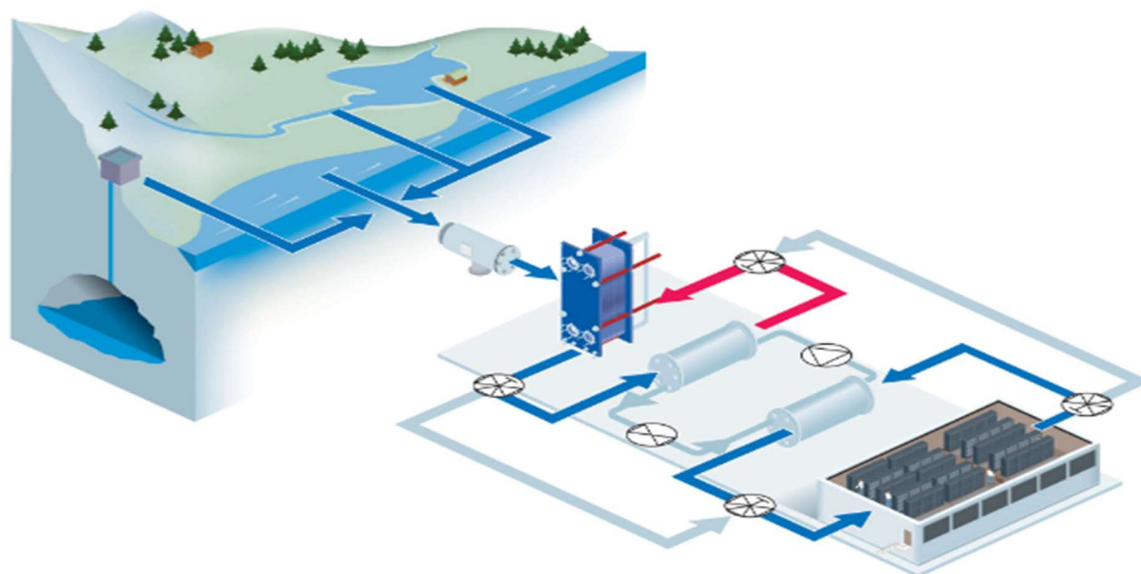
Seega, kuigi tavaliselt kasutatakse soojuspumpa välisest soojusallikast soojuse ammutamiseks, kasutades seda elektrienergia abil soojusenergia tootmiseks. Soojuspumpade abil on võimalik toota ka jahutusenergiat. [18]



Joonis 7 Soojuspumba töö põhimõtte skeem

Vabajahutus

Vabajahutust võib kasutada nii vee- kui õhusüsteemides. Kõige lihtsamal kujul kasutatakse välisõhku õhusüsteemides, kus on paigaldatud soojusvaheti, mis töötleb välisõhku enne selle hoonesse suunamist. Selle lahenduse tõhususe tagamiseks peab sissevõetav õhk olema siseruumides kasutatavast temperatuuris olema jahedam. Kui veepõhisele süsteemile antakse vabajahutust kasutav jahuti, on välisõhu soojusvaheti sisse ehitatud jahutisse ja asetatakse külmutusagensi ja jahutusaine ahelate vahele. Kui välisõhu temperatuur on piisavalt madal, et katta vajalikku jahutust, on võimalik töötada ilma kompressoriteta, kasutades minimaalselt väliseid energiaallikaid. Seda nimetatakse täielikuks vabajahutuseks. [17]



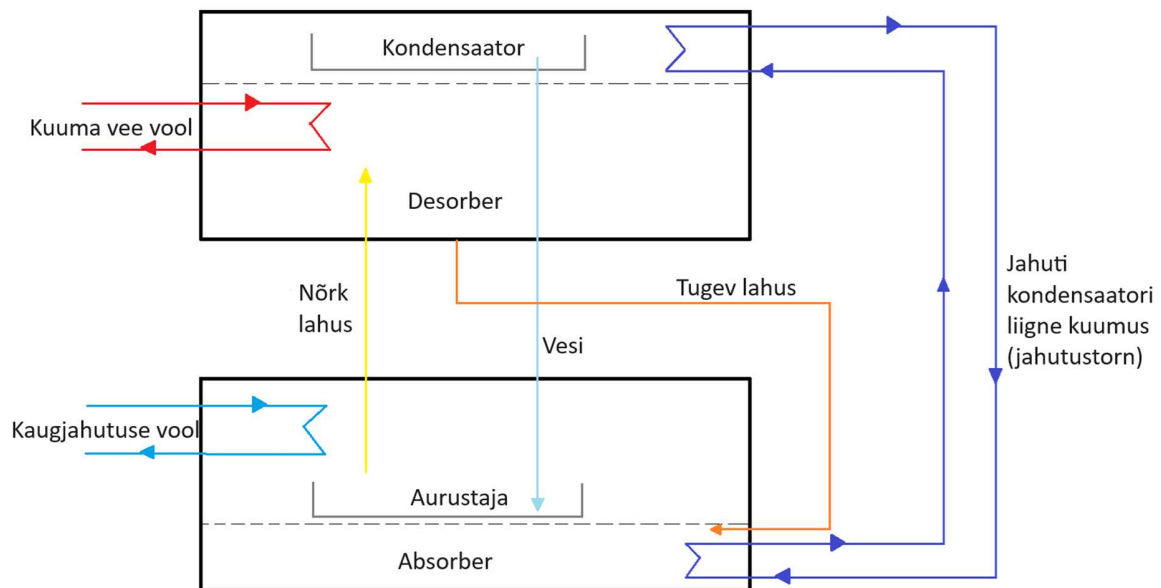
Joonis 8 Vabajahutuse skeem[27]

1.4.1 Absorptsioonjahutus

Sarnaste tehnoloogiate hulgas pakub absorptsioonjahutussüsteem tavapärastele aurukompressiooniga külmutussüsteemile väga paljutootavat alternatiivi. Absorptsioonjahutussüsteem on määratletud, kui termiliselt juhitud jahutustehnoloogia, madala kvaliteediga energiaallikate soojuse kasutamiseks jahutamise eesmärgil. [7]

Kõige tõhusamad kaasaegsed absorptsioonsükliga jahutid kasutavad külmutusagensina vett ja absorbendina liitiumbromiidi (LiBr). LiBr/H₂O lahust kasutatakse laialdaselt töökeskkonnana absorptsiooniga jahutussüsteemides, kuna see on mittetoksiline ja keskkonnasõbralik, kuna ei aita kaasa osoonikihi lagunemisele. Teiselt poolt LiBr-i madal kristallisatsioonitemperatuur, kõrge neeldumisvõime ja madal viskoossus on LiBr eelised absorbendina. [13]

Absorptsioonjahuti peamised osad on kondensaator ja desorber, mis moodustavad kõige ülemise kambri. Aurusti ja absorber moodustavad alumise kambri. Süsteemi efektiivsuse parandamiseks võib olla süsteemi integreeritud ka soojusvaheti ülemise ja alumise kambri vahele. [19]



Joonis 9 Absorptsioonjahuti skeem

Kõigepealt pumbatakse umbes 60% LiBr ja 40% vee segu absorberist läbi soojusvaheti üles desorberisse. Seda lahust nimetatakse ka nõrgaks lahuseks. Seda kontuuri nimetatakse nõrga lahuse kontuur, kuna LiBr on segatud veega. Desorberi sektsioon on osaliselt täidetud, et moodustada LiBr ja vee segu reservuaar. [19]

Soojusallikas (kuum vesi või aur) voolab läbi desorberi, mis põhjustab LiBr ja vee eraldumise. Vesi aurustub ja tõuseb kondensaatori sektsiooni, jättes maha LiBr-i. LiBr koguneb ja vajub suurema tiheduse tõttu põhja. See põhjustab suurema LiBr kontsentratsiooni desorberi põhjas, tekib tugev lahus, mis voolab läbi soojusvaheti alla ja pihustatakse absorberi kohale, kus see saab seguneda jälle veega. [19]

Samal ajal puutub veeaur kokku kondensaatori sektsioonis oleva jahutusspiraaliga ja kondenseerub. Jahutustornist tulev vesi läbib kondensaatoris oleva suletud toru, et eemaldada veeauru soojus, mis põhjustab selle kondenseerumise vedelikuks. See vedel vesi kogutakse seejärel kondensaatorisse salve ja see voolab läbi toru alla aurustisse. Vee vooluhulka reguleeritakse fikseeritud ava kaudu. Aurusti on väga madala rõhu all, vaakumi lähedal, mis põhjustab vee temperatuuri langust kiire rõhulanguse tõttu. Vee temperatuur alaneb umbes 4°C-ni. [19]

Jahutatud vee toru kannab kõik kaugjahutustvõrgust saadud heitsoojuse aurusti spiraali temperatuuril umbes 12°C ja kui külm kondensaatorivesi puutub kokku jahutatud vee toruga, kannab jahutatud vesi oma soojusenergia kondensaatoriveele. Kui soojus kandub läbi toruseina kondensaatori veele, siis toru välisküljel vesi aurustub kambri madala rohu tõttu auruks. Kui see aurustub, kannab see soovimatu soojusenergia endaga kaasa.

Jahutusvee ring on nüüd oma soojusest loobunud ja selleks ajaks, kui see aurustist väljub, on temperatuur umbes 7°C ja see on valmis soojuse kogumiseks kaugküttevõrgust. [19] Seejärel liigub aurusti poolt toodetud veeaur absorberis pihustatava tugeva LiBr lahuse poole. Tõmbejõud veeauru ja LiBr lahuse vahel on piisavalt tugevad, et veeosakesed voolavad iseenesest otse absorberisse. See veeosakeste ja LiBr osakeste vaheline tõmbejõud põhjustab kambris vaakumi. Kui vedelikud kokku puutuvad, tekitavad nad veidi soojust ja see, nagu ka jahutusvee ahelast kogutud soojus, tuleb eemaldada. Sellel põhjusel läbib ka jahutustorni veeahel absorberit. Jahutustorni vesi kondenseerib ka jääk-auruosakesed tagasi vedelikuks. LiBr ja vee segu koguneb põhja ja on valmis tsükli uuesti kordamiseks generaatorisse pumpamisega.[19]

Üheastmeline absorptsioonjahuti

Üheastmises absorptsioonjahutis jahutatakse jahutusvõrgu vett vaid üks kord aurustis külmutusagensi abil maha. Seejärel imendub aurustunud külmutusagens tugevasse lahusesse, mis pärineb desorberist. Seejärel lahus lahjeneb, kuna see imab aurustunud külmutusagensi, samal ajal kui soojus neeldub jahutusvette. Absorberis olev nõrk lahus voolab seejärel läbi soojusvaheti generaatorisse. Kuum vesi soojendab nõrka lahust ja külmutusagens aurustub, mis seejärel kondenseerub ja naaseb külmutusagensi ringi. Seejärel saab lahjendatud absorbenti regenererida ja taaskasutada. [23]

Kaheastmeline absorptsioonjahuti

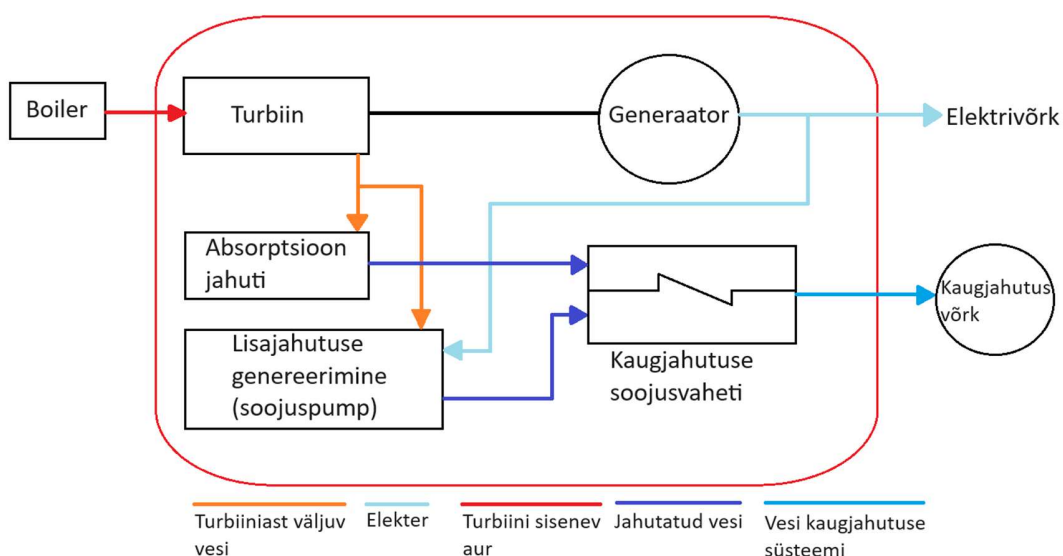
Kaheastmelisel absorptsioonjahutil on samad põhikomponendid kui ühetoimelisel, kuid sisaldab ka täiendavat generaatorit, soojusvahetit ja pumpa. Seda tüüpi jahutis on kaks tsükli: põhitsükkel ja abitsükkel. Jahutatud vett jahutatakse kaks korda külmutusagensi abil aurusti topeltalustelt ja aurustunud külmutusagens imendub tugevasse lahusesse, mis tuleb teisest generaatorist. Tugev lahus muutub nõrgaks lahuseks ja soojus neeldub jahutusvette. Absorberis olev nõrk lahus voolab seejärel läbi madala temperatuuriga soojusvaheti ja kõrge temperatuuriga soojusvaheti esimesse generaatorisse. Seejärel soojendab kuum vesi nõrka lahust ja külmutusagens aurustub. Absorbeeriv lahus muutub esimeses generaatoris vahelahuseks ja see voolab läbi kõrge temperatuuriga soojusvaheti teise generaatorisse. Seejärel soojendatakse teise generaatori vahelahust kuuma veega ja teises generaatoris aurustatakse rohkem külmutusagensist. Aur imendub lisaabsorberis olevasse lahusesse, muutudes abilahjenduseks. Abilahjendatud lahus toimetatakse abisoojusvaheti kaudu abigeneraatorisse ning lahust soojendatakse esimesest generaatorist tuleva kuuma veega ja sellest saab kontsentreeritud abilahus. Tugev lisalahus

juhitakse lisasoojusvaheti kaudu lisaabsorberisse. Esimeses generaatoris ja abigeneraatoris tekkivad külmutusagensi aurud kondenseeritakse kondensaatoris ja voolavad seejärel aurustisse. Kondensaatoris olev soojus neeldub jahutusveega. [23]

Üldiselt kaheastmeliste absorptsioonjahutite efektiivsustegur on suurem, aga neid on kallim ehitada. Samuti kaheastmelised absorptsioonjahutid töötavad kõrgema rõhu all ja kõrgemate temperatuuridega.

2. METOODIKA

Järgnev peatükk kirjeldab aluseid, mille põhjal on leitud töös kajastatud tulemused. Täpsemalt kirjeldab, kuidas määrata kuuma vee temperatuuri alusel absorptsioonjahuti jahutusvõimsust. Töös vaadeldud süsteemi piirid on näha joonisel 10.



Joonis 10 Töös vaadeldud süsteem, joonisel piiritletud punase joonega.

Töö keskendub absorptsioonjahuti abil jahutuse ja lisajahutuse tootmisele. Turbiinist väljuva vee temperatuur mõjutab absorptsioonjahuti tööd. Generaatori elektriline võimsus sõltub samuti turbiinist väljuva vee temperatuurist, sest mida madalam on turbiinist väljuva vee temperatuur, seda rohkem auru energiat on muundatud mehaaniliseks energiaks. Samuti jääb süsteemi piiridesse ka kaugjahutuse soojusvaheti, mis on ühendatud kaugjahutusvõrguga.

2.1 Tehniline protsess

Nagu eelmises peatükis on pikemalt lahti seletatud, siis selles töös uuritakse kaugjahutuse ja koostootmise sidumise mõju elektri toodangule absorptsioonjahutis toimivate tehniliste protsesside kaudu. Absorptsioonjahutis toimuvad mitmed samaaegsed ja üksteisest sõltuvad protsessid ja neil on mitmeid omavahelisi seoseid, mida käesoleva töö käigus käsitletakse eesmärgiga kindlaks teha koostootmise ja kaugjahutuse sidumise mõju. Absorptsioonijahutid vajavad soojust, et käivituksid protsessid, mis lõpuks tekitaksid

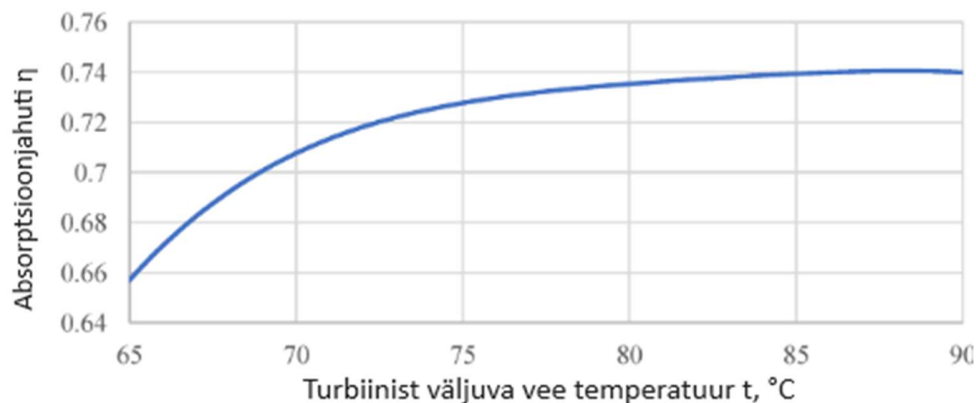
jahutusefekti. Seda soojust on hea saada koostootmisjaama turbiini kondensaatorist, kui ühendada kaugjahutus ja koostootmisjaam üksteisega. Soojus on vajalik desorptsiooniprotsessi jaoks, et eraldada tugev liitumbromiidi (LiBr) lahus veest, enne absorptsiooniprotsessi, millest tekib jahutusefekt.

Kõige tähtsamad absorptsioonjahuti ja koostootmisjaama parameetrid selles töös on turbiinist väljuva vee temperatuur $t(^{\circ}\text{C})$, turbiinist väljuva vee rõhk $p(\text{bar})$ ja turbiinist väljuva vee vooluhulk $Q(\text{kg/s})$.

Mida suurem on turbiinist väljuva vee temperatuur ja entalpia, seda intensiivsem on desorptsiooniprotsess. Elektritootmise protsessi jaoks on oluline, et turbiini läbiv aur kondenseeruks kondensaatoris, kuid maksimaalse kondenseerumise ja jahtumise korral kondensaatoris ei oleks kuuma vee temperatuur piisav, et desorberis toimuvad protsessid toimuksid piisava intensiivsusega. Seega on vajalik suunata turbiinist kuum aur desorberisse enne täielikku kondenseerumist ja jahtumist.

Vee aurustumisel jahutava efekti saavutamiseks on oluline madal rõhk absorptsioonikambris. Madal rõhk tekib vee ja tugeva LiBr absorbeerumisel. Mida kõrgem on LiBr lahuse kontsentratsioon absorptsioonikambris, seda intensiivsem on absorptsiooniprotsess ja seda madalamat rõhku suudetakse hoida absorptsioonikambris. Kaugjahutuse süsteemi efektiivsusteguri (η) määrab desorberisse siseneva kuuma vee temperatuur, mida kõrgem on kuuma vee temperatuur, seda suuremaks muutub absorptsioonjahuti efektiivsustegur.

Joonisel 12 on näha kuuma vee voolu temperatuuri ja absorptsioonjahuti efektiivsusteguri vahelist suhet.



Joonis 11 Absorptsioonjahuti efektiivsusteguri sooja vee temperatuuridel 65 kuni 90°C. [9]

Elektrienergia tootmiseks saab turbiini väljundvõimsuse E (W) määrata auru entalpiate kaudu turbiini sisse- ja väljalaske juures, kasutades võrrandit 2.1:

$$E = Q(h_1 - h_2) \quad (2.1)$$

Kus Q on turbiini vooluhulk (kg/s), h_1 (J/kg) on turbiini siseneva auru entalpia ja h_2 (J/kg) on turbiinist väljuva vee entalpia.

Nagu on näha võrrandis 2.1, kui turbiinist väljuva vee entalpia on väiksem, saab genereerida rohkem võimsust. Kuna turbiini siseneva auru entalpia on fikseeritud ja turbiinist väljuva vee temperatuuri ja rõhku saab kohandada jahutuse või soojuse tootmise vajadustele.

2.2 Andmed

Töö on tehtud Mustamäe koostootmisjaama ja jaama suurusele vastava absorptsioonjahuti andmete põhjal ehk siis on tegemist teoreetilise näitega.

Soovitava absorptsioonjahuti ja Mustamäe koostootmisjaama tehnilised andmed on näha tabelis 1.

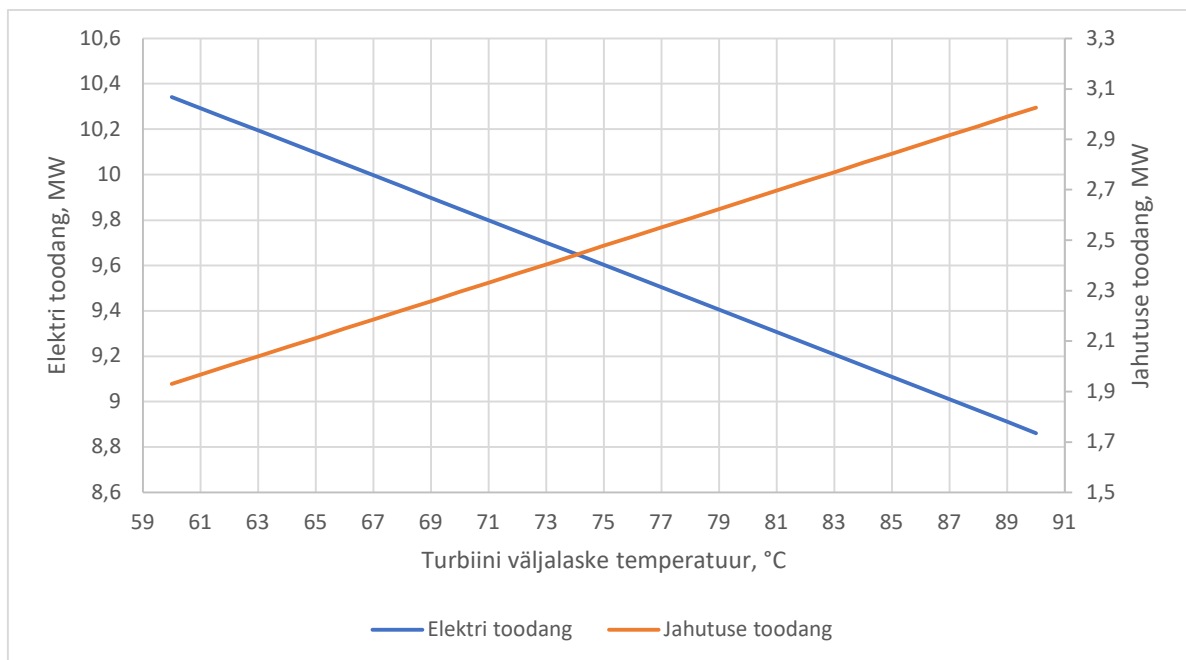
Tabel 1. Jaama suurusele vastava absorptsioonjahuti ja Mustamäe koostootmisjaama tehnilised andmed

Parameeter	Väärtus
Turbiinist väljuva vee temperatuur maksimaalse jahutuse tootmise korral, t_2	90 °C
Turbiinist väljuva vee temperatuur minimaalse jahutuse tootmise korral, t_2'	68 °C
Kaugjahutuse tagasivoolu temperatuur, $t_{j,2}$	15 °C
Kaugjahutuse pealevoolu temperatuur, $t_{j,1}$	7 °C
Jahutatud vee vooluhulk, Q_j	305 m ³ /h
Turbiini sissevoolu temperatuur, t_1	500 °C
Turbiini sissevoolu rõhk, p_1	64 bar
Turbiinist väljuva voolu rõhk, p_2	0,52 bar
Turbiini sissevoolu vooluhulk, Q_1	42,5 m ³ /h
Turbiini siseneva auru entalpia, h_1	3418,29 J/kg
Turbiinist väljuva vee entalpia, h_2	256,41 – 381,78 J/kg

3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED

Järgnev peatükk sisaldab tulemusi, mis arvutusmudelitega saadi ning järeldusi nende vastuste põhjal. Eelmises osas toodud meetodika kohaselt käsitletakse kuuma vee temperatuuri hoidvast absorptsioonijahutist tingitud elektri tootmise vähenemist ja optimaalset sooja vee temperatuuri absorptsioonjahuti jaoks.

Vastavalt meetodikas kirjeldatud absorptsioonjahuti protsessidele on turbiini poolt toodetud elektriline võimsus ja absorptsioonjahuti jahutusvõimsus näidatud kuuma vee temperatuuridel 60 kuni 90 °C joonisel 12.



Joonis 12 Mustamäe koostootmisjaama elektri toodang ja absorptsioonjahuti jahutusvõimsus toodang sooja vee temperatuuridel 60 kuni 90 °C.

Nagu on näha joonisel 12, kui absorptsioonjahuti töötab täisvõimsusel, mis on 90 °C juures, siis see suudab toota 3,03 MW jahutust ning siis turbiini elektri toodang oleks 8,86 MW. See tähendab, et kui kasutada absorptsioonjahutit täis võimsusel, langeb turbiini elektri toodang 14,3%. Kui turbiin töötab maksimaalse võimsusega ja absorptsioonjahuti kasutab 60 °C sooja vett, siis jahuti suudab toota ainult 1,93 MW jahutust, mis on 36,3% selle maksimaalsest jahutusvõimsusest.

Jooniselt 12 on ka näha, et umbes 74 °C juures, nii elektri kui ka jahutuse toodangud ristuvad. Selle temperatuuri juures on elektri toodang 9,65 MW ja jahutuse toodang on 2,44 MW. Elektri toodang oleks sellisel juhul ainult 6,7% maksimaalsest ja jahutuse

toodang oleks 19,5% maksimaalsest. Sellisel temperatuuril oleks väga optimaalne jooksutada turbiini ja absorptsioonjahutit aegadel, kus on vaja mõlemat, nii jahutust kui ka elektrit, näiteks kevadel või sügisel. Kuna suvel on üldiselt jahutust kõige rohkem vaja ja elektrit natuke vähem siis saaks jahutust toota maksimaalsel võimsusel ja elektrit selle võrra vähem. Samuti talvel, kus jahutust üldiselt vaja ei lähe ja elektrit kasutatakse rohkem, saaks toota elektrit maksimaalsel võimsusel ja jahutust selle võrra vähem.

3.1 Alternatiivsed jahutuse tootmise võimalused

Järgevalt on analüüsitud lühidalt ka teisi jahutuse tootmise võimalusi, et võrrelda töös pakutud absorptsioonjahutust teiste jahutuse tootmise viisidega.

Soojuspumbaga jahutuse tootmine

Jahutuse tootmiseks saab edukalt kasutada ka soojuspumpa, mis vajab jahutuse tootmiseks elektrienergiat. Keskmise soojuspumba jahutuse tootmise soojustegur (COP) on umbes 2,5 [24]. Selleks, et toota 3,03 MW jahutusenergiat soojuspumbaga, siis kulub vastavalt umbes 1,2 MW elektrienergiat. Arvestades, et töö teoreetilises näites saab toota 1,93 MW jahutust nii, et elektri toodang ei vähene, siis kasutab soojuspump sama koguse jahutusenergia tootmiseks rohkem energiat, kuna heitsoojus, mida absorptsioonjahuti kasutab tekib koostootmisjaamas olenemata sellest kas jahutust toodetakse või ei.

Lokaalne jahutuse tootmine

Lokaaljahutuse negatiivsed küljed on välja toodud esimeses peatükis. Keskmise lokaaljahutuse energia efektiivsuse koefitsient on 8,5 [25]. Selleks, et toota 3,03 MW jahutusenergiat keskmise lokaalselt ehk siis kasutades hoonete küljes olevaid õhk-konditsioneerid, siis kulub sama koguse jahutusenergia tootmiseks vastavalt ligikaudu 0,36 MW elektrienergiat. Kõrge efektiivsuskoefitsiendi tõttu on lokaalne jahutuse tootmine küll energia vaates efektiivne, kuid samas on tarbijal vajadus lokaalsete seadmete järele, mille hoolduse ja käitamise vastutus ja kulud on tarbija kanda. See ei ole aga nii kulutõhus lahendus kui kaugjahutus.

Järeldusena võib väita, et koostootmisjaama heitsoojuse kasutamine jahutuse tootmiseks absorptsioonjahuti abil on energia- ja ressursitõhus viis jahutuse tootmiseks ning autor soovib seda tehnoloogiat rakendada.

3.2 Järeldused

Kõigist arvutustest saab järeldada, et mida suurem on kaugkütte pealevoolu temperatuur, seda vähem elektrit suudab turbiin toota ja seda vähem on heitsoojust. See tähendab, et kui lisada turbiinile, mille väljavool on 50 kraadi, absorptsioonjahuti ning suurendada väljavoolu temperatuuri aga jättes kaugkütte võrgustiku temperatuur samaks, siis on absorptsioonjahuti maksimaalne efektiivsus ilma elektri kaota kõige suurem. Sellisel juhul oleks küll absorptsioonjahuti efektiivsus ainult 50.07%, aga see on tunduvalt kõrgem kui võrrelda näiteks turbiiniga, mille väljavool on 60 kraadi. Samuti kuna absorptsioonjahuti efektiivsus on suurem see tähendab, et ka jahutus võimsus on tunduvalt suurem. Samuti saab panna ka absorptsioonjahuti tööle maksimaalse efektiivsusega, aga see tähendaks, et tekiks suured elektri kaotused, 50 kraadi juures 1967.72 kW. Kõige mõistlikum viis kuidas absorptsioonjahutit kasutada üleüldiselt oleks 50.07% efektiivsusega, nii et elektri toodang ei saaks kahjustada. Sellisel juhul küll absorptsioonjahutist ei saa maksimumi kätte aga saab maksimaalselt energiat ja saab väga palju heitsoojust kasutada ära kaugjahutuse jaoks, selle asemel, et see lihtsalt raisku lasta. Kuna suvel on üldiselt jahutust kõige rohkem vaja ja elektrit natuke vähem siis saaks jahutust toota maksimaalsel võimsusel ja elektrit selle võrra vähem. Samuti talvel, kus jahutust üldiselt vaja ei lähe ja elektrit kasutatakse rohkem, saaks toota elektrit maksimaalsel võimsusel ja jahutust selle võrra vähem.

Töö eesmärgiks oli teada saada, kas kaugjahutuse ja koostootmise sidumisel on mõju elektri tootmisele, ning kui on, siis kas see mõju on positiivne või negatiivne. Tulemuste põhjal saab öelda, et kaugjahutuse ja koostootmise sidumisel on päris suur mõju nii soojuse, kui ka elektri tootmisele.

Kõige optimaalsem lahendus ilmselt oleks kasutada absorptsioonjahutit nii, et sellel oleks maksimaalne jahutusvõimsus ilma, et see vähendaks elektri tootmist. Eriti selle pärast, mis toimub hetkel elektrihindade ja puudustega. Samuti absorptsioonjahutid on väga hea viis kuidas turbiinide heitsoojust ära kasutada selle asemel, et see raisku läheks.

Absorptsioonjahuti kasutamine koostootmisjaamas muudab ka soojuse tootmist tunduvalt paindlikumaks, sest sellisel juhul ei lähe heitsoojus raisku ning saab toota lisaks soojusele ja elektrile ka kaugjahutust. See tähendab, et kogu jaama heited on palju väiksemad ja kasutegur ja efektiivsus on tunduvalt suuremad. Arvestades ka, et kaugküte on Eestis kõige levinum kütteliik, siis see tähendaks, et üle Eesti oleks absorptsioonjahutite kasutamine eriti efektiivne.

KOKKUVÕTE

Käesolavas töös analüüsit kuidas mõjutab koostootmisjaama heitsoojuse kasutamine jahutuse tootmiseks elektri tootmist koostootmisjaamas.

Töö esimeses peatükis on räägitud töö teoreetilistest osadest. Juttu on lühidalt koostootmisest ja kaugjahutusest ning mis need täpsemalt on ja kuidas need töötavad. Samuti on juttu pikemalt erinevatest kaugjahutuse tehnoloogiatest, mis töö jaoks vajalikud on ning, et paremini aru saada kuidas kaugjahutus töötab. Kõige pikemalt on töös käsitletud absorptsioonjahutit, mis on töö kõige olulisem tehnoloogia. Selle kohta on täpselt ära seletatud, et kuidas see töötab ning miks see üldse vajalik on kaugjahutuse jaoks.

Töö teises peatükis on lähemalt kirjeldatud töös kasutatud meetodikat. Peatükis on välja kirjutatud väike lühikokkuvõtte esimeses peatükis kirjeldatud tööprotsessi kohta. Teises peatükis on välja toodud kõik tööks vajalikud andmed ning arvutused mille põhjal töö tehtud on.

Töö kolmandas peatükis on kirjutatud täpsemalt töö teises peatükis tehtud arvutuste põhjal saadud tulemustest ning järeldustest. Peatükis on välja toodud kõik arvulised väärtused koos protsentidega ja joonisega. Samuti on peatükis võrreldud töös käsitletud absorptsioonjahutit teiste jahutusvõimalustega, nagu soojuspumbad ja lookaalsed jahutusseadmed ning kuidas need erinevad üksteisest elektrienergia kasutuselt.

Sissejuhatuses välja toodud töö eesmärgiks oli välja selgitada, kas koostootmise sidumine kaugjahutusega mõjutab elektri tootmist ja kui muudab siis kuidas. Töö hüpoteesiks oli, et kaugjahutuse ja koostootmise sidumine mõjutab elektri tootmist ning mida rohkem kaugjahutust toodetakse, seda vähem saab elektrit toota. Sissejuhatuses esitatud töö eesmärk ning hüpotees said töö käigus mõlemad vastatud ning tulemused kajastatud töö kolmandas peatükis.

ABSTRACT

The ongoing work analyzes how the use of cogeneration plant waste heat for the production of cooling affects the production of electricity in the cogeneration plant.

The first chapter of the work talks about the theoretical parts of the work. It is briefly about cogeneration and district cooling, about what they are exactly and how they work. It also talks about various district cooling technologies that are necessary for the job and to better understand how district cooling works. Absorption cooler, which is the most important technology of the work, has been discussed at length in the work. It is explained exactly how it works and why it is necessary for district cooling.

The methodology used in the work is described in more detail in the second chapter of the work. The chapter contains a short summary of the work process described in the first chapter. The second chapter presents all the data necessary for the work and the calculations on the basis of which the work was done.

In the third chapter of the work, the results and conclusions obtained based on the calculations made in the second chapter of the work are written in more detail. The chapter presents all numerical values with percentages and a graph. The chapter also compares the absorption chiller with other cooling options, such as heat pumps and local cooling devices, and how they differ from each other in terms of electricity consumption.

The aim of the work outlined in the introduction was to find out whether combining cogeneration with district cooling affects electricity production and, if so, how. The hypothesis of the work was that the coupling of district cooling and cogeneration affects the production of electricity, and the more district cooling is produced, the less electricity can be produced. The purpose of the work presented in the introduction and the hypothesis were both answered during the work, and the results are reflected in the third chapter of the work.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Adven Eesti AS. *Kaugküte*. [www] <https://adven.com/ee/kaugkute/>. Kasutatud 25.11.2022.
- [2] Utilitas Eesti AS. *Kaugküte*. [www] <https://www.utilitas.ee/jatkusuutlikud-lahendused/kaugkute/>. Kasutatud 25.11.2022.
- [3] O. Martens, „KAOLIINI MÕJU VEETORUKATLA KÜTTEPINDADELE. EFFECTS OF KAOLIN TO THE HEATING SURFACES OF BOILER“, [bakalaureusetöö], energiakasutuse õppetool, Eesti Maaülikool, Tartu, Eesti, 2021. [www]. https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/6840/Ott_Martens_BA2021_taiste_kst.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Kasutatud 25.11.2022.
- [4] Utilitas Eesti AS. *Energiatõhusus*. [www] <https://www.utilitas.ee/jatkusuutlikud-lahendused/energiatohusus/>. Kasutatud 25.11.2022.
- [5] Utilitas Eesti AS. *Kaugjahutus*. [www] <https://www.utilitas.ee/kaugjahutus/>. Kasutatud 25.11.2022.
- [6] Z. Tiantian, T. Yufei, B. Li, „Numerical simulation of a new district cooling system in cogeneration plants“, *Elsevier*, vol. 14, p. 856-867, 2012, [www] <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610211044432?token=9AC64B830B7F8604E5ADE29B1BB325689AD0EE852969438FE44CB7A17A390F360D4DCBABFA6ACAB01BEF89D98E0287AF&originRegion=euwest1&originCreation=20230112211657>. Kasutatud 30.12.2022.
- [7] R. Nikbakhti, X. Wang, A. K. Hussein, A. Iranmanesh, „Absorption cooling systems – Review of various techniques for energy performance enhancement“, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 59, no. 2, p. 708-718, 2020. [www] <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1110016820300375?token=B7202BD0B0F044779B27BDAEC7C63D59A6D1B5EEB62CAA667B19738986C943A0AC1F4CEBF477E2D5FCF126589DF8C74&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230112213203>. Kasutatud 30.12.2022
- [8] Vee tabelid. [www] <https://materias.df.uba.ar/f4aa2015c1/files/2015/03/Tableswater.pdf>. Kasutatud 04.01.2023.
- [9] K. Lepiksaar, V. Mašatin, I. Krupenski, A. Volkova „Effects of Coupling Combined Heat and Power Production with District Cooling“, *MDPI, Energies* 2023 vol. 16, issue 12, 2023. [www] <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/12/4552> kasutatud 27.11.2023.

- [10] Energiatehnika2-2. [www] https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/3/33/TT%C3%9C. Energiatehnika_2-2.pdf kasutatud 01.12.2023.
- [11] InIPED. Q&A – What is a Back Pressure Turbine and what is a Condensing Turbine? [www] <https://iniped.com/qa-what-is-a-back-pressure-turbine-and-what-is-a-condensing-turbine/> kasutatud 12.01.2024.
- [12] HeatCalc. Heat recovery for cooling. [www] <https://heatcalc.com/heat-to-cooling> kasutatud 12.01.2024.
- [13] A. Žužić, V. Filipan „Absorption Cooling Devices with LiBr/H₂O as Working Media“, AIDIC servizi S.r.l. 2016. [www] <https://www.aidic.it/cet/16/52/011.pdf> kasutatud 12.01.2024.
- [14] EKVÜ, Hoonete sisekliima ja õhustuse nõuded. [www] https://ekvy.ee/attachments/article/17/Hoonete%20sisekliima%20ja%20%C3%B5hustuse%20n%C3%B5uded_t%C3%B6%C3%B6version.pdf kasutatud 12.01.2024.
- [15] Districtcooling.pro. What are the benefits of District Cooling? [www] https://districtcooling.pro/what-are-the-benefits-of-district-cooling/#Benefits_to_Building_Tenants kasutatud 12.01.2024.
- [16] CDC. Cooling Towers. [www] https://www.cdc.gov/healthywater/other/industrial/cooling_towers.html kasutatud 12.01.2024.
- [17] Swegon. Free cooling or compressor cooling? [www] <https://www.swegon.com/knowledge-hub/technical-guides/free-cooling-or-compressor-cooling/> kasutatud 12.01.2024.
- [18] Daikin. Can heat pumps be used for cooling? [www] https://www.daikin-ce.com/en_us/daikin-blog/can-heat-pumps-cool.html kasutatud 12.01.2024.
- [19] P. Evans „Absorption Chiller, How it works“, the engineering mindset 2017. [www] <https://theengineeringmindset.com/absorption-chiller-works/> kasutatud 12.01.2024.
- [20] Wärtsilä. Electrical efficiency. [www] <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/electrical-efficiency> kasutatud 12.01.2024.
- [21] IEA. How a heat pump works. [www] <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/how-a-heat-pump-works> kasutatud 12.01.2024.
- [22] Energy saving trust. In-depth guide to heat pumps. [www] <https://energysavingtrust.org.uk/advice/in-depth-guide-to-heat-pumps/> kasutatud 12.01.2024.
- [23] Energylink. The 3 Types of Absorption Chillers Explained. [www] <https://goenergylink.com/blog/the-3-types-of-absorption-chillers-explained/> kasutatud 12.01.2024.
- [24] H2x. Heat Pump COP and SCOP: What They Mean and Why They Matter. [www] <https://www.h2xengineering.com/blogs/heat-pump-cop-and-scop-what-they-mean-and-why-they-matter/> kasutatud 16.05.2024
- [25] J.A.Bertsch. WHAT DO HVAC EFFICIENCY RATINGS MEAN? [www] <https://jabertsch.com/hvac-efficiency-ratings-explained/> kasutatud 16.05.2024
- [26] Deltacooling. What Is A Cooling Tower And How Does It Work? [www] <https://deltacooling.com/resources/faqs/what-is-a-cooling-tower> kasutatud 12.01.2024

[27] Alfa laval. Free cooling with water. [www] <https://www.alfalaval.com/industries/hvac/data-center-cooling/free-cooling-water/> kasutatud 12.01.2024