

Energiatehnoloogia instituut

**HEITSOOJUSE KASUTAMISE VÕIMALUSED
EUROOPAS JA EESTIS**

**OPPORTUNITIES OF WASTE HEAT RECOVERY IN
EUROPE AND ESTONIA
BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Mari Miilpalu

Üliõpilaskood 185041EACB

Juhendaja: Anna Volkova, vanemteadur

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

"04" juuni 2021

Autor: Mari Miilpalu

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"04" .juuni... 2021

Juhendaja: ..Anna Volkova..

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

".....".....2021

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____Mari Miilpalu_____ (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 06.02.1999)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
_Heitsoojuse kasutamise võimalused Euroopas ja Eestis,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on _____ Anna Volkova_____ ,

(juhendaja nimi)

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

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

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

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

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

Mari Miilpalu

/allkirjastatud digitaalselt/

04.06.2021__ */kuupäev/*

TalTech Instituudi nimetus

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Mari Miilpalu 185041EACB (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: EACB – Keskkonna-, energia- ja keskkonnatehnoloogiad (kood ja nimetus)

Juhendaja(d): vanemteadur Anna Volkova, 6203905 (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Heitsoojuse rakendamise võimalused Euroopas ja Eestis

(inglise keeles) Opportunities of Waste Heat Recovery in Europe and Estonia

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade heitsoojusest ning tööstuslikust heitsoojusest
2. Anda ülevaade Euroopa ja Eesti heitsoojuse potentsiaalidest
3. Tuua näiteid heitsoojuse projektidest ja uuringutest ning nende tulemustest

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tööplaani koostamine ja allikate kogumine	09.02.21
2.	Teoreetilise osa kirjutamine	20.05.21
3.	Töö vormistamine	02.06.21

Töö keel: ...eesti... **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "04".06.2021.a

Üliõpilane:Mari Miilpalu.. "04".juuni.2021.a

/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja:Anna Volkova. "04".juuni.2021.a

/allkirjastatud digitaalselt/

Programmijuht: ".....".....201....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
SISSEJUHATUS	9
1 HEITSOOJUS	11
1.1 Tööstuslik heitsoojus ja selle kasutamine	13
1.2 Tootmise tüübid ja suurima potentsiaaliga tööstuslikud allikad	14
1.2.1 Heat Roadmap Europe	15
1.3 Temperatuurid ja parameetrid	17
1.4 Direktiivid ja õigusaktid	18
1.4.1 Taastuvenergia direktiiv	19
1.5 Tööstuse heitsoojuse kasutamise kogemus ja edukad projektid	20
1.6 Jääksoojuse kasutamise toetamine Euroopa Liidus	21
1.6.1 ETEKINA	21
1.6.2 CE-Heat	22
1.6.3 I-ThErm	23
1.6.4 SusPIRE	24
2 TÖÖSTUSLIKU HEITSOOJUSE KASUTAMINE EESTIS	25
2.1 Eesti tööstuse heitsoojuse potentsiaal: aruannete tulemused	26
2.1.1 Aruannete tulemused	27
2.2 Realiseeritud ja teoreetilised projektid	31
2.2.1 Järvakandi klaasitehas	31
2.2.2 Viru Keemia Grupp	31
2.2.3 Akzo Nobel Baltic AS	32
2.2.4 AS Nõo Lihetööstus	33
2.2.5 Andmekeskused	34
2.3 Soojuse kasutamise võimalused Eestis	35
2.3.1 Heitsoojus katlamajas	36
2.3.2 Heitsoojus tööstusprotsessides (ehk kõik, mis jääb katlamajast välja)	36
KOKKUVÕTE	38
SUMMARY	40
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	42
LISAD	48
LISA 1. Skeem: Soojuspumba rakendamine heitsoojuse utiliseerimiseks piimatööstuses[66]	49

LISA 2.Näide kesküttevõrgust ja potentsiaalsetest heitsoojusallikatest Viljandi piirkonnas [28]	50
---	----

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö idee tuli ettevõttest Filter Solutions OÜ, kus lõputöö autor töötab. Lõplik teema ja põhieesmärgid kujunesid välja koostöös TalTech Energiatehnoloogia instituudi vanemteadur Anna Volkovaga.

Töö autor soovib tänada lõputöö juhendajat vanemteadur Anna Volkovat, kolleege ettevõttest Filter Solutions OÜ ning kõiki teisi isikuid, kes kaudselt või lähedalt aitasid kaasa lõputöö valmimisele.

Lühendite ja tähiste loetelu

ETEKINA – tuletatud ingl k terminist Heat Pipe Technologies for Industrial Applications

EU28 – Euroopa Liidu liikmesriigid (k.a Ühendkuningriigid)

INTERREG – riikide ühenduse algatus, mille eesmärk on edendada koostööd Euroopa Liidus

NER – Nordic Energy Research

TWh, GWh – (teravatt-tund, gigavatt-tund) energia, mida tarbib ühtasel võimsusel üks teravatt/gigavatt töötav seade ühe tunni jooksul

WHP – heitsoojuse potentsiaal (ingl k Waste Heat Potential)

SISSEJUHATUS

Süsinikuneutraalsuseni jõudmiseks on vajalik astuda samme energeetilise efektiivsuse tõstmiseks. Tööstussektoris tekkiva heitsoojuse utiliseerimine on muutunud keskkonna, majanduse ja tõhususe seisukohast väga oluliseks.

Olemasolevate tehnoloogiate rakendamisel on võimalik vähendada energiale tehtavaid kulutusi 4-10%, tehes investeeringuid, millel tasuvusaeg jääb alla viie aasta. [1]

Jätkusuutlikus energiat tootvas süsteemis on tähtsal kohal energeetiline efektiivsus, et toota vajalik energia olemasolevate taastuvenergiaallikatega. Heitsoojuse kasutamine on üks lihtsamaid viise, kuidas tõsta üleüldist energeetilist efektiivsust. [2]

Heitsoojuse utiliseerimine ei ole lähiaastate idee. Näite võib tuua aastast 1882, kui Thomas Edison ehitas maailma esimese kommertselektrijaama ning müüs seal tekkivat auru lähedalasuvatele hoonetele.[3]

Kuigi heitsoojuse kasulikuks muutmise ei ole uus idee, ei ole see nii laialdaselt kasutatud leidnud, kui võiks arvata. Tööstussektor töötab siiani suuremas osas fossiilsete kütuste peal ning tihti on protsessides osalevad seadmed vanad ning on võimalik, et jääksoojust rakendavaid seadmeid on raske juurde liita.

Teiseks probleemiks on vähene seadusandlus tööstusliku heitsoojuse osas. Energiatõhususe miinimumnõuded on defineeritud elamutele ja erinevatele avalikus kasutuses olevatele hoonetele nagu bürood ja koolid, kuid tööstushoonetele pole veel piisavalt täpseid seaduslikke nõudeid esitatud.

Rohkem näiteid arvatavatest probleemidest, mis seisavad heitsoojuse utiliseerimise ees, tuuakse välja järgneva töö esimeses peatükis.

Nii väliskirjandusest kui ja eestikeelsest kirjandusest võib leida heitsoojusele sarnaseid mõisteid – jääksoojus, liigsoojus, ingl k mõisted *waste heat*, *excess heat*. Käesolevas bakalaureusetöös on kasutatud neid mõisteid samatähenduslikult. Mõlemad mõisted tähendavad *tehnoloogilistest protsessidest ja tehnilistest seadmetest protsesside läbiviimisel üle jäävat soojust* [4].

Täpsemalt nende mõistete erinevusest ja definitsioonidest võib lugeda KPMG OÜ analüüsi aruandest „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti tõhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine“. [4]

Käesolevas bakalaureusetöös analüüsitakse heitsoojuse tehnoloogiaid Euroopas ja tuuakse välja edukaid Eesti tööstuses rakendatud projekte. Töö eesmärk on anda

ülevaade heitsoojuse potentsiaalid Euroopas ja Eestis ning tuua välja põhjused, miks seda potentsiaali ei ole veel siiani rakendatud.

Töö jaguneb kaheks osaks, millest esimeses antakse ülevaade heitsoojuse potentsiaalid ja kasutamisest, teises osas tuuakse näiteid heitsoojuse kasutamise võimalustest ning edukatest projektidest, mida on Eestis ellu viidud.

1 HEITSOOJUS

Heitsoojust võib mõistena defineerida kui soojust, mis eraldub süsteemist ja/või ei ole süsteemis eesmärgipäraselt kasutatav. Heitsoojust toodavad kõrvalsaadusena kõik masinad, mis muundavad kütustes sisalduvat energiat mehaaniliseks tööks või elektrienergiaks. Heitsoojus tekib tootmisprotsessis nii kütuse põlemise kui ka keemiliste reaktsioonide tagajärjel. [5] [6]

Heitsoojust võib leida termodünaamika teisest seadusest tuletatud valemi (1.1) abil, mis kirjeldab energijäävust soojusmootoris[7]:

$$Q_H = Q_L + W, \quad (1.1)$$

kus

- Q_H – sisendsoojus süsteemi vastavalt kütusele
- Q_L - heitsoojus
- W – kasulik süsteemi poolt toodetud mehaaniline töö

Heitsoojuse taaskasutamist süsteemis võib leida ka järgmise valemiga(1.2) [8]:

$$Q = S * V * \rho * C_p * \Delta T, \quad (1.2)$$

kus

- Q – heitsoojuse energeetiline vooluhulk, kW/h
- S – ristlõikepindala heitsoojuse voolutorus, m³
- V – voolukiirus, m/s
- P – voolava materjali tihedus, kg/m³
- C_p – heitsoojuse erisoojus, kJ/kg°C
- ΔT – temperatuurierinevus, °C

Heitsoojus tekitab jääkproduktina kõik tööstuslikud protsessid, erinevate allikate järgi läheb heitsoojusena kaduma 20 kuni 50 % tööstustes tarbitud energiast.[2], [9]

Tööstusliku heitsoojuse allikateks on enamasti soojuskaod konduktsiooni, konvektsiooni ning soojuse kiirgamise kaudu erinevatelt tööstusprotsessi objektidelt. [10]

Termodünaamiliste seaduste järgi on heitsoojuse teket energia muundamisel võimatu ära hoida – seda isegi optimeeritud süsteemis. Seega tekib heitsoojus, kui temperatuurierinevust teisendada mehaaniliseks energiaks.[7]

Et minimeerida saastatust ja säilitada loodusvarasid saab heitenergiat tagasi suunata tootmisesse, kasutades seda kütteks või vee soojendamiseks. [5] [6]

Heitsoojuse utiliseerimiseks ei ole ühte kindlat lahendust, mida saaks rakendada kõikidele potentsiaalsetele allikatele. Protsessi efektiivsuse suurendamiseks on vajalik panna kasutusse erinevad tehnoloogiad ning tähtsal kohal on siin innovatsioon. Heitsoojuse rakendamisel on võimalik vähendada kogu protsessi energiavajadust, ilma et peaks tegema kompromisse protsessi toimimises.

Jääksoojusest saadava energiakoguse kvaliteet ja suurus sõltuva valitud tehnoloogiast. Lahenduse valik sõltub omakorda jääksoojuse keemilisest koostisest ja omadustest (nt termiline juhtivus ja soojusmahtuvus), mis määravad soojusvaheti konstruktsiooni, materjali ja hinna.[11]

Motiveerimaks heitsoojust rakendavate lahenduste innovatsiooni on valmis Euroopa Liit omapoolt välja jagama toetusi, et ühiselt vähendada seeläbi kasvuhoonegaaside heitmeid ning suurendada energiatootmise efektiivsust. Kui vähenevad energia tootmise kulud suureneb ka konkurents energeetikasektoris, mis edendab veelgi edendab.[12]

Heitsoojuse võimaliku rakendamise hindamiseks on oluliseks mõisteks heitsoojuse potentsiaal. Selle kaudu saab hinnata võimaliku utiliseeritava energia kogust ning võrrelda potentsiaalsetele asukohtadele rakendatavate tehnoloogiate võimalusi.

Euroopa komisjoni poolt on välja töötatud vajalik tööriist The Comprehensive Assessments[13], mis aitab planeerida heitsoojuse rakendamist linna-, kohaliku- ja regionaaltasandil. Lisaks on soovitatud seda kasutada riiklike energia- ja kliimaplaanide tegemisel ning eesmärkide püstitamisel.[14]

Heitsoojuse allikaid võib liigitada mitmetesse erinevatesse kategooriatesse. Antud töös keskendutakse tööstuslike protsesside heitsoojusele. Antud töös ei käsitleta reovee heitsoojust, mida muuhulgas loetakse ka taastuenergiaallikaks. [15]

Tööstuslike protsesside heitsoojuse utiliseerimine on hinnaline ressurss, et katta energiavajadus teiste protsesside või isegi teiste sektorite toimimiseks.[12]

Mittetööstuslike heitsoojusallikate potentsiaal: Euroopa heitsoojuse aastane potentsiaal on ReUseHeat raporti järgi 340 TWh ehk 1.2 EJ, kus on allikatena arvestati andmekeskuseid, metroojaamu, teenindussektori hooneid ja reovee puhastushooneid.

Kuigi käesolevas uurimistöös reovee heitenergiat ei käsitleta siis tassub mainida, et antud uuringu tulemusena leiti, et neljast eelnevalt nimetatud allikast on eriti tähtis rakendada heitsoojust reoveejaamadest. Põhjuseks toodi välja reoveepuhastusjaamade heitsoojuse rakendamise soodustamist. Kogu raportis nimetatud heitenergia kataks umbes 10% Euroopa liidu kütte ja sooja vee energiavajadusest.[16]

1.1 Tööstuslik heitsoojus ja selle kasutamine

Kliimasoojenemise ja kasvavate kütusehindade tõttu on tööstussektoril vajalik teha arenguid ja muutusi oma tööprotsessides. Et kasutada vähem kütust ja seeläbi säästa raha on vajalik suurendada tööstusprotsessi kasutegurit. Keskkonnaprobleemide esilekerkimisega on sektorile pandud eesmärk vähendada kasvuhoonetega hulk.

Euroopa liidu tööstussektori aastane energiavajadus on umbes 3200-3500 TWh / 275 Mtoe aastas, mis moodustab kogu EU energiatarbimisest ~ 26%. [17] Suurem osa Euroopas tegutsevatest tööstusest töötab siiani fossiilsete kütuste baasil.[18]

Euroopa Liidu liikmesriikide heitsoojuse potentsiaali võib näha Jooniselt 1.1.

Eestis on tööstuse poolt tekitatava heitsoojuse hulk kogu riigi tööstuse poolt tarbitava energia kogusest 11,9%. [2] Eesti tööstussektori aastane energiakulu on 7,2 TWh ning heitsoojuse potentsiaal 0,6 TWh. [18]

Mitmete uuringute [19] [15] tulemusena on tööstusprotsessist tekkiva heitsoojuse rakendamine defineeritud üheks parimaks võimaluseks, kuidas vähendada tootmisel tekkivat energiavajadust. Fossiilsete kütuste osakaalu vähendamiseks energiavajaduse täitmisel tööstusprotsessis on võimalus kasutada ära heitsoojus.[20] Heitsoojuse tehnoloogiate kasutamine ei ole uus ning saadud energiat on võimalik kasutada erineval viisil.

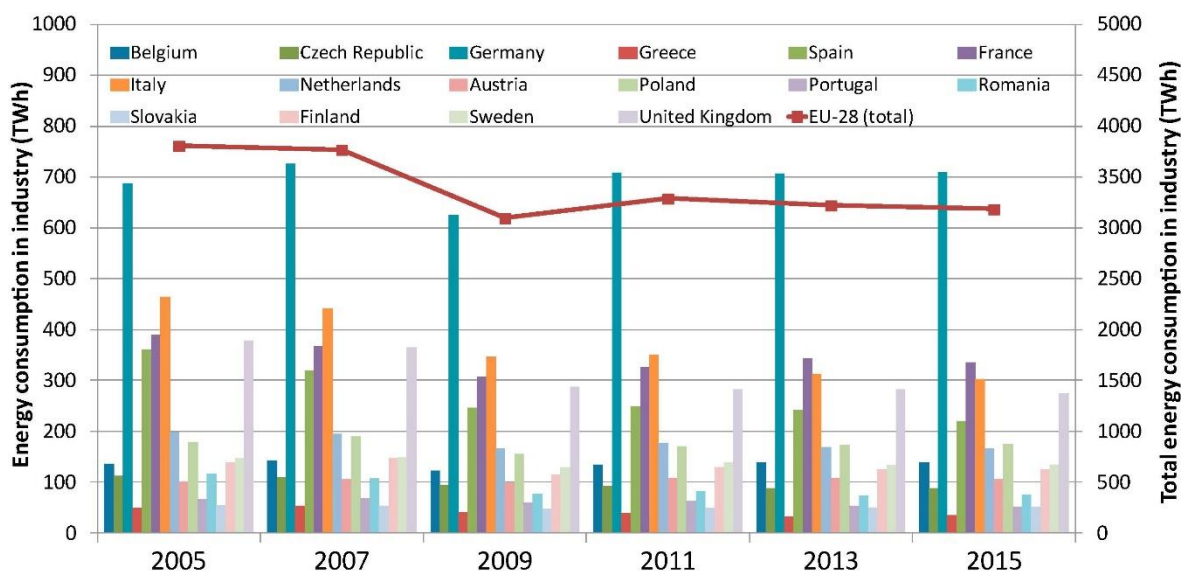
Olgugi et heitsoojuse kasutamiseks on mitmeid võimalusi, ei ole selle rakendamine täna siiski veel laialt levinud. Järgnevalt on välja toodud põhjused, mis seda pärsivad

- puudulike teadmisi ja informatsiooni kättesaadavust olemasolevatest tehnoloogiatest ja võimalustest
- vähest koostööd tööstuse ja kaugküttetootjate vahel;
- vähene soojusvõrgustike olemasolu;
- piiratud ärimudelite ja projektide kogust[1].

Heitsoojuse kasutamise võimalustest, projektidest ja toetustest ei ole ettevõtete juhtidel piisavaid teadmisi. Viimasena nimetatud põhjuse tõttu on ilma seadusandlust muutmata keeruline heitsoojuse rakendamist ettevõtetele ise algatada. Tavaliselt toimuvad muutused sel juhul jääsoojuse utiliseerimise lahendusi pakkuvate firmade initsiatiivil.

Üheks levinud heitsoojuse rakendamise võimaluseks on heitsoojuse kasutamine kaugküttevõrgus. Rootsi ja Soome kaugküttevõrkudes kasutatakse heitsoojust vastavalt 9% ja 6% vajaminevast soojusenergiast [14]. Heitsoojuse utiliseerimisele aitab nimetatud riikides kaasa asjaolu, et levinud on efektiivsed koostootmisjaamad ning hooneid isoleeritakse soojuskindlamateks. [21]

73% tööstussektori kasutatavast energiast kulub kütte- ja jahutussüsteemidele. Süsinikdioksiidi emissioonide maksude tõstmisega anti tagantlütke tööstusele - selle abil suunatakse rohkem mõelda madala süsinikusisaldusega kütuste kasutamisele ning võimaldatakse investeerida raha protsesside energiaefektiivsusesse.



Joonis 1.1 Euroopa Liidu liikmesriikide energiatarbimine ja heitsoojuse potentsiaal[22]

1.2 Tootmise tüübid ja suurima potentsiaaliga tööstuslikud allikad

Heitsoojuse potentsiaal erineb vastavalt tootmisprotsessile. EU28-s kulub hinnanguliselt 70% kogu energiakogusest tööstuses soojustehnoloogilistele protsessidele, nt reaktorid, katlad, kuivatid ja küttekolded. Umbes kolmandik soojustehnoloogilistele protsessidele kulumast energiast läheb raisku heitsoojusena ning suurt osa sellest oleks võimalik rakendada kasulikult. [23]

Heitsoojuse allikad võib suuremas osas jagada kaheks (info pärineb KPMG aruandest „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti töhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine“[4]):

- Kaugküttesüsteemide heitsoojus
 - Heitsoojus soojuse ja elektri koostootmisest;
 - Heitsoojus kaugkütte katlamajadest;
 - Muud võimalused kaugkütte süsteemis heitsoojuse saamiseks ja kasutamiseks;
- Tööstusettevõtetest ja teenindussfäärist saadav heitsoojus

Erinevate uuringute põhjal on suurima heitsoojuse potentsiaaliga riigid Saksamaa, Holland, Prantsusmaa, Itaalia, Ühendkuningriigid ja Hispaania. [22], [24]

Saksamaa, Itaalia, Prantsusmaa, Ühendkuningriigid ja Hispaania esindavad viie riigi peale umbes 60% kogu Euroopa Liidu tööstuse energiatarbimisest.[22]

Heitsoojus liigub koos protsessi soojuskandjaga. Kõige levinumad on gaasivoolud (näiteks heitgaasid ja jahutusõhk), järgmisena vedelikvoolud (nt jahutusvesi) ja viimasena tahked materjalid (nt kuum teras protsessis toodetava materjalina).[22]

Suurimad heitsoojuste kogused leiduvad üldiselt nendes tööstusharudes: metallurgia, keemia-, mittemetalsete mineraalide, toidu- ja tubakatoodete ning tselluloosi- ja paberitööstuses [4]. Eestis on tööstustest suurima heitsoojuskogusega klaasi- ja tsemenditööstus. [4]

1.2.1 Heat Roadmap Europe

Heat Roadmap Europe [25] on Aalborgi Ülikooli poolt koordineeritud ja Euroopa Komisjoni poolt rahastatud uuringuprojekt, mille eesmärk oli leida lahendus aina kasvavale energiavajadusele Euroopas ja kaardistada võimalikud heitsoojuse energiaallikad 14 pindalalt suurima Euroopa Liidu liikmesriigi jaoks. Uuringu tulemusena selgus autorid, et vähemalt 25% kogu kaugkütteks vajalikust energiast saaks katta heitsoojusega, kui võtta kasutusele soojuspumbad. [14]

Autorite poolt toodi välja ka arvatav põhjus, miks ei ole juba heitsoojust energiaallikana suuremal määral rakendatud: heitsoojus on *poliitiliselt hooletusse jäetud*. Jääksoojusega ei arvestata kaugküttevõrkude planeerimisel, ning seetõttu on raskem hiljem võimalikke allikaid võrku juurde liita. Olemasolevate allikate kohta lisati, et neid

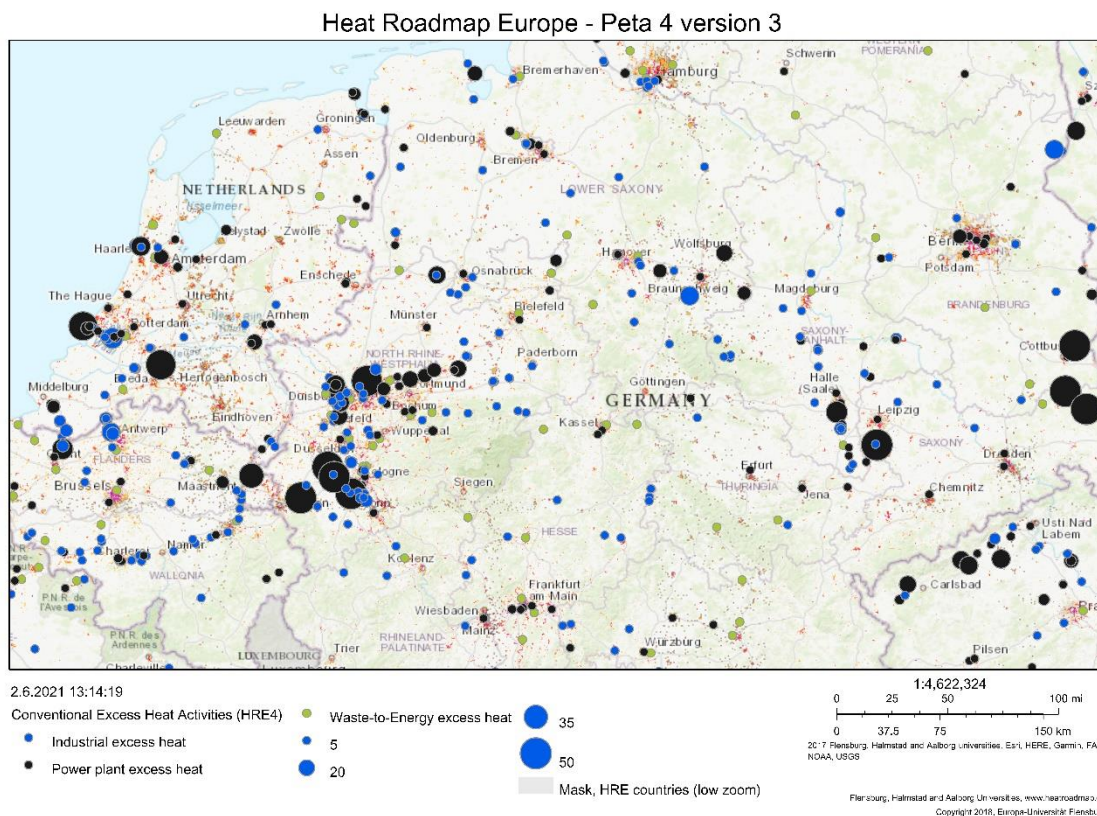
oleks võimalik ära kasutada soojuspumpade rakendamisel, kuid kuna madalatemperatuuriliste allikate (nt andmekeskused) potentsiaali ei ole piisavalt analüüsitud, siis on raske reaalset võimalikku säästetavat energiakogust hinnata.[25]

Projekti käigus kaardistati kõik leitud allikad interaktiivsele kaardile PETA4 (ingl k Pan-European Thermal Atlas), kus on võimalik leida allikate heitsoojuspotentsiaalid ja tootmise tüübid.[26]

PETA4 kaardi väljavõtet võib näha joonisel 1.2.

- Siniste ringidena on kaardil märgitud tööstusliku heitsoojuse allikad
- Mustade ringidena on märgitud elektrijaamade heitsoojusallikad
- Roheliste ringidena on märgitud *waste-to-energy* (eesti k jäätmeenergia) protsessist tekkiva heitsoojus

Ringide suurus on vastavalt potentsiaalse heitsoojuse kogusele.



Joonis 1.2 PETA4 kaardi väljavõtte koos legendiga.[26]

1.3 Temperatuurid ja parameetrid

Heitsoojuse hulk kogu toodetava energia kogusest on tööstussektorite kaupa väga erineva väärtusega. Võimaliku heitsoojuse temperatuurivahemik on suur – alates 50°C kuni 1000°C või kõrgem. Kõrgetemperatuurilised soojusallikad on kõige kättesaadavamad tahkete soojuskandjatena. Jääksoojuse kättesaamine tahketelt soojuskandjatelt on keeruline ja sellele ei leidu veel piisavalt head tehnilist lahendust.[22]

Heitsoojuse arvutamiseks on mitmeid võimalusi ning need erinevad vastavalt protsessile ja tööstussektorile. Internetist on võimalik leida kalkulaatoreid, mis aitavad heitsoojuse kogust ja kogumise tehnoloogiaid võrrelda ning analüüsida.[27]

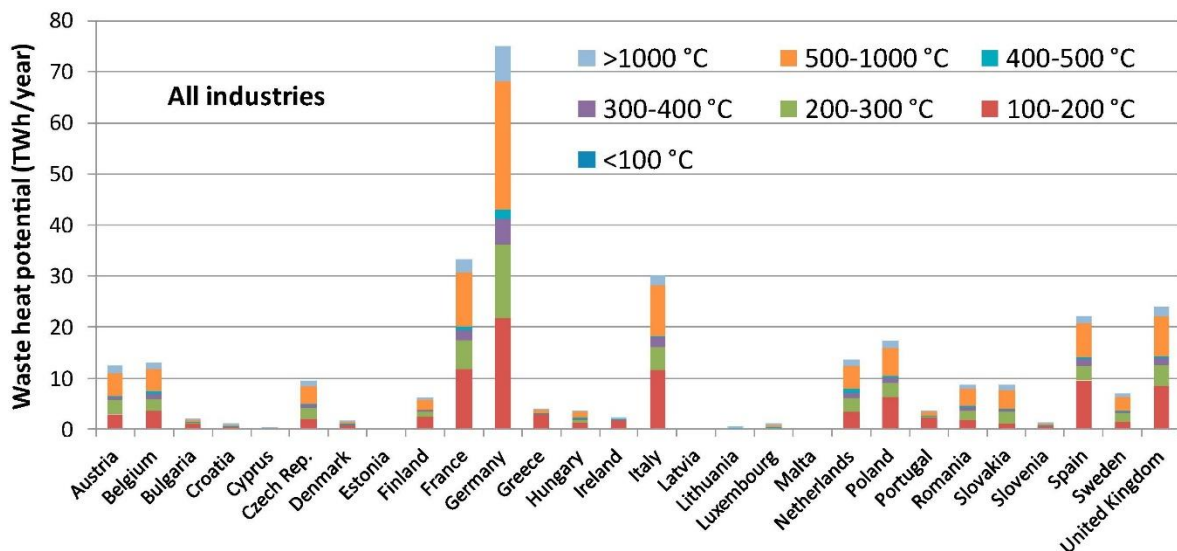
Heitsoojused jagatakse temperatuuri järgi kolme kategooriasse[18] [4]:

- Madalatemperatuuriline heitsoojus: <100°C
 - Paljude tööstuslike protsesside heitõhk;
 - Kütte-, külmutuse-, jahutuse- ja ventilatsioonisüsteemid jms.
- Heitsoojus keskmisel temperatuuril: 100-299°C
 - Põletusseadmete suitsugaasid;
 - Mõnede tööstuslike protsesside heitõhk jms.
- Kõrgtemperatuuriline heitsoojus: ≥300°C.
 - Sisepõlemismootorite heitgaasid;

Tööstusahjude heitgaasid jms.

Protsessi heitsoojuse temperatuuri klassifitseerimine on vajalik õige heitsoojuse utiliseerimistehnoloogia valikuks. Erinevad uuringud on näidanud, et ligi 50% uuritud tööstusobjektidest on madalatemperatuurilise heitsoojusega[22], [23]. Sama kehtib ka Eestis, kus valdavalt on heitsoojuskaod madalatemperatuurilised. [28]

Euroopa Liidu liikmesriikide heitsoojuspotentsiaalid ja vastavad temperatuurivahemikud on toodud joonisel 1.3:



Joonis 1.3 Tööstusliku heitsoojuse potentsiaal iga Euroopa Liidu liikmesriigi kohta vastavalt temperatuurivahemikule.[22]

1.4 Direktiivid ja õigusaktid

Eestis on heitsoojust sisaldavaks õigusaktiks Energiamajanduse korralduse seadus. Eesti Energiamajanduse korralduse seaduse kohaselt on tõhus kaugkütte- ja jahutussüsteem selline, milles on vähemalt 50% taaskaugkütte- või kaugjahutussüsteem, mis kasutab vähemalt 50 % taastuenergiat, 50 % heitsoojust, 75 % koostoodetud soojust või 50 % taastuenergia ja heitsoojuse või koostoodetud soojuse kombinatsiooni. [29]

Euroopa Liidus kehtestatud direktiividest, mis on seotud heitsoojusega, saab välja tuua Euroopa Liidu energiaefektiivsuse direktiivi (ingl k *EU Energy Efficiency Directive*) [13]. Nimetatud dokumendis on esitatud Euroopa Liidu tööstussektori heitsoojuse tasuvusanalüüs, mille eesmärk oli uurida, kas heitsoojuse rakendamine võimaldab täita rahvastikukasvust tulenevat üha suurenevat energiavajadust. Analüüsi tulemusena leiti, et heitsoojuse sobivuse hindamiseks energiaallikana peab arvesse võtma, kas heitsoojus on auru või vee kujul. Vee-baasil heitsoojust on võimalik kasutada ainult veebaasil soojustarbijatel, kuid aur-heitsoojust on võimalik kasutada tarbimiseks nii vee kui ka auru-baasil soojustarbijatel. Analüüsis määrati ka soovituslikud heitsoojusallika ja tarbijavahelised maksimaalsed raadiused sõltuvalt soojusallika võimsusest ja liigist.

Hoonete energiatõhususe direktiiv (ingl k *The Energy Performance of Buildings Directive* ehk lühidalt EPBD) [30] defineerib Euroopa Liidus minimaalsed nõuded seoses energiatõhususega uutes ja renoveeritud hoonetes, kaasa arvatud asendatud või moderniseeritud kütte- ja jahutussüsteemides. Heitsoojuse utiliseerimise rakendamiseks ja edendamiseks hooneteehituses ja renoveerimises peaks Euroopa

Komisjon lisama vajalikud punktid otse EPBD-sse, et EL seadusandluses oleks selgelt kirjas nõuded kõikidele liikmesriikidele.[14]

EL strateegilistest ettevõtmistest võib välja tuua ka Euroopa Komisjoni artikli Euroopa Liidu kütte- ja jahutusstrateegia (ingl k *The EU Heating and Cooling Strategy*) [31] , kus kirjeldatakse Euroopa Liidu eesmärke vähendada energiakadu ja luua võimalusi, kuidas tõsta kütte- ja jahutussüsteemide efektiivsust.

1.4.1 Taastuenergia direktiiv

Käesolevas peatükis kirjeldatakse üht tähtsamat heitsoojust otseselt reguleerivat Euroopa Liidu direktiivi, milleks on Taastuenergia direktiiv.

Taastuenergia direktiiv (ingl k Renewable Energy Directive) väljastati aastal 2018 eesmärgiga edendada taastuvate energiaallikate toodetud energia kasutamist.

Direktiivi mõistmiseks on oluline defineerida mõiste „heitsoojus- ja heitjahutusenergia“ – *tööstus- või energiakäitistes või kolmanda sektori poolt kõrvalsaadusena toodetud vältimatu soojus- või jahutusenergia, mis jääks ilma juurdepääsuta kaugkütte- või kaugjahutussüsteemile kasutamata ja hajuks õhku või vette, kui on kasutatud või kasutatakse koostootmisprotsessi või juhul, kui koostootmine ei ole võimalik.*[15]

Direktiivis on kirjas, et eesmärkideni jõudmiseks on asjakohane igalt liikmesriigilt nõuda, et nad *hindaksid heitsoojus- ja heitjahutusenergia kasutamise võimalusi kütte- ja jahutussektoris, et edendada konkurentsivõimelisust ja tõhusat kaugkütet ja -jahutust.* Hindamine aitaks vähendada riski, et taastuvatele energiaallikatele üleminek ei põhjustaks liikmesriikides keskkonnale kahjulikku kõrvalmõju ega ebaproportsionaalseid üldkulusid, vaid võimalusel võtta taastuvate energiaallikate asemel kasutusse heitsoojus- ja heitjahutusenergia. Näitena on toodud kaks saareriiki – Küpros ja Malta -, kus oleks antud riski vähendamine taastuenergia eesmärgi saavutamisel eriti vajalik vähese riigipindala tõttu.[15]

Tähtsad punktid heitsoojuse- ja heitjahutusenergia kohta, mis on märgitud eelnevalt mainitud Taastuenergia direktiivis[15]:

- Tõhusa kaugkütte ja -jahutuse puhul on oluline rakendada heitsoojuse- ja heitjahutusenergiat, et saavutada taastuenergiaallikate rakendamise vajalik miinimumtase;
- Liikmesriigid peavad läbi viima heitsoojus- ja heitjahutusenergia kasutamise võimaluste hindamise;

- Kütte ja jahutussektoris taastuenergia osakaalu suurendamiseks on võimalik kas rakendada otsese leevendusmeetmena heitsoojus- ja heitjahutusenergia kasutamist tööstuslikes kütteprotsessides või seda füüsiliselt lõimuda energiasse/energia saamiseks kasutatavasse kütusesse;

Igal aastal on liikmesriikidel vaja esitada järgmised mõõdetud ja tõendatavad heitenergiaga seotud andmed:

- Kütte- ja jahutussektorisse tarnitud heitsoojus- ja heitjahutusenergia hulk;
- Heitsoojus- ja heitjahutusenergia osakaal kütte- ja jahutussektorisse tarnitud energia koguhulgas.

1.5 Tööstuse heitsoojuse kasutamise kogemus ja edukad projektid

Iga Euroopa Liidu riigi tööstuse profiil on erinev. Kõikides liikmeriikides on olemas toidu-, paberi-, mitte-metallsete mineraalide, mehaanika- ja keemiatööstus. Väiksema pindalaga riikides on tihti domineeriv üks kindel tööstussektor: nt Luxemburgis teras- ning Maltal mehaanikatööstus.[22]

Tööstusliku heitsoojuse kasutamine sõltub tihti palju ettevõtte valmidusest rakendada uusi tehnoloogiad. Tihti seisavad sellised projektid rahandusliku võimaluse taga kinni, sest jääksoojuse rakendamise projektid ei tundu piisavalt vajalikud, et seada need prioriteediks.

Kohvitootja Paulig'i Helsinki lähedal asuv kohvitehas võitis Soome ministeeriumi väljapandud tiitli „*Energy Genius of the Year*”. Vuosaari tehases kasutuselolev heitsoojust utiliseeriv tehnoloogia aitab katta 1000 ühetoalise korteri soojusevajaduse. [32]

Üks uuemaid globaalselt tuntud heitsoojuse tehnoloogiaid on Rootsi firma Climeon'i moodulid. Orgaanilise Rankine tsükli [33] alusel töötavate moodulite efektiivsus on firma sõnul 10%. [34] [35] Climeon on oma tehnoloogia müünud meretööstusesse, kus Viking Line kruisilaeval kasutatakse heitsoojust elektri tootmiseks. M/S Viking Grace saab moodulite abil aastas 700 000 kWh elektrit. [36]

Veel näiteid tööstusliku heitsoojust utiliseerivatest projektidest:

- Hamburgis asuv Aurubis vasetehases on kolm tootmisliini, millest igaühel on heitsoojuse aastane potentsiaal 160 mlj kWh aastas. Projekti eduka tulemusena

oleks võimalik saad terve Hamburgi kaugkütte vajalik energia – 500 mlj kWh aastas - tööstuslikust heitsoojusest. Hetkel on tööstusliku jääsoojusega kaetud 78% vajaminevast energiast. Lisaks väheneks süsinikdioksiidi aastane heide 140 000 tonni võrra. [37]

- Brescia linn Itaalias saab oma vajaliku talvise kaugküttesoojuse – 10 MW - tööstusliku heitsoojuse utiliseerimise kaudu. IRecovery tehnoloogia abil väheneb lisaks CO2 emissioonide kogus 10 000 tonni aastas.[38]
- Soojusenergeetikaettevõtte Adveni ja õllede tootmiseks vajaliku linnasetootja Viking Malti Grupi koostööna valmib Soomes Lahtis integreeritud heitsoojuslahendus, plaani kohaselt 2023 aastaks. VMg-le ehitatakse uus linnasemaja koos Adveni , kus *integreeritakse soojuse tootmine, jahutusseade ja soojuspumbasüsteem*. Uue hoone kohta on planeeritud, et selle soojusenergiavajadusest katab vähemalt 65% heitsoojus. [39]

1.6 Jääsoojuse kasutamise toetamine Euroopa Liidus

Euroopa Liidus reguleerib heitsoojusega seotud projektide toetamist Euroopa Komisjoni toetusprogramm Horizon 2020. See on Euroopa Liidu ajaloo senini suurim uuringu- ja innovatsiooniprogramm, mis on jagas aastatel 2014 kuni 2020 toetustes välja 80 miljardit eurot.[40] Kuigi Horizon 2020 programm tehniliselt loetud lõppenuks, siis on siiani programmi raames käimas üle 200 energiaefektiivsust arendavat projekti.[41]

Toetusi jagatakse ka riigisiselt: Ühendkuningriigis jagati toetusi heitsoojustehnoloogiatele, mille tasuvusaeg jäi 3-7 aasta vahele. Toetusi said madalatemperatuurilise jääsoojuse utiliseerimisega tegelevad projektid. [42]

Järgnevalt tuuakse erinevaid näiteid edukatest Horizon 2020 raames toimunud toetusprogrammidest, mille raames on jagatud heitsoojuse utiliseerimise tehnoloogiatele ja projektidele toetustrahasi.

1.6.1 ETEKINA

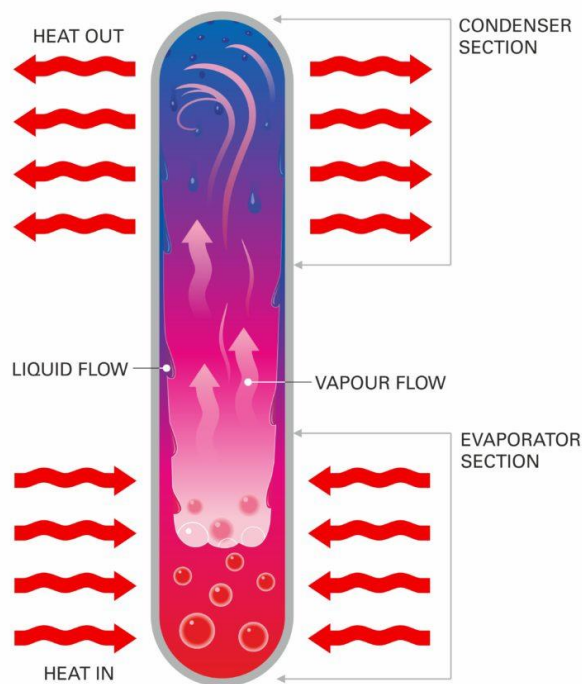
ETEKINA on Euroopa liidu poolt rahastatud teadusprojekt, mille eesmärgiks on utiliseerida 57-70% heitsoojust, mis tuleb energiamahukatest protsessidest. Projekt alustas aastal 2017.

Projekt keskendub terase-, alumiiniumi- ja keraamikatööstusele.

ETEKINA projekti põhimõtteks on soojustoru tehnoloogia rakendamine, mida saab näda Jooniselt 1.4.[43]

Globaalselt oli juba aastal 1982 heitsoojuse utiliseerimise eesmärgil paigaldatud üle miljoni [44] soojustorulahenduse, mis võimaldavad passiivselt ja efektiivselt kasutada ära nii kaubanduses kui ka tööstuslikes hoonetes tekkivat jääksoojust.

Soojustoru lahendust kasutatakse kõrgetemperatuuriliste heitgaaside korral, protsess toimub umbes 300 kraadi C juures.[45]



Joonis 1.4. ETEKINA soojustoru skeem[43]

1.6.2 CE-Heat

CE-Heat oli vahemikus 2016-2019 käinud Euroopa Komisjoni projekt, mille eesmärk oli Kesk-Euroopas läbi heitsoojuse rakendamise energiaefektiivsust suurendada.

INTERREG projekt CE-Heat kestis aastatel 2016 kuni 2019.[46]

Euroopa liidu riigid, kus CE-HEAT projekti käigus jagati jääksoojust kasutavale tehnoloogiaprojektile investeerimistoetusi:

- Austria;
- Horvaatia;

- Tšehhi;
- Saksamaa;
- Itaalia;
- Poola;
- Sloveenia.[47]

Saksamaal oli tööstuses jääsoojust kasutava projektile võetavale laenule paremad tingimused. Tagasimakseboonus kuni 40%, madal intress alates 1,2% ja maksimaalne toetussumma kuni 25 mln€ ühe projekti kohta. Toetust jagati ainult ettevõtetele.[48]

CE-Heat projekti tulemusena leiti sihtriikide uuringuobjektide heitsoojuse potentsiaalseks koguseks 8 615 344 MWh energiat, mida oleks võimalik olemasolevate tehnoloogiatega utiliseerida. Objektide energeetilised koguvõimsused olid summaarselt 79 226 429 MWh.[49]

1.6.3 I-ThErm

I-ThErm projekti eesmärk oli uurida, disainida, ehitada ja katsetada innovaatilisi modulaarseid „plug and play“ (eesti keeles „võtmed-kätte“) heitsoojusetehnoloogiaid.[50] Projekti tehnoloogiates keskenduti heitsoojusele vahemikus 70°C - 1000°C.[51]

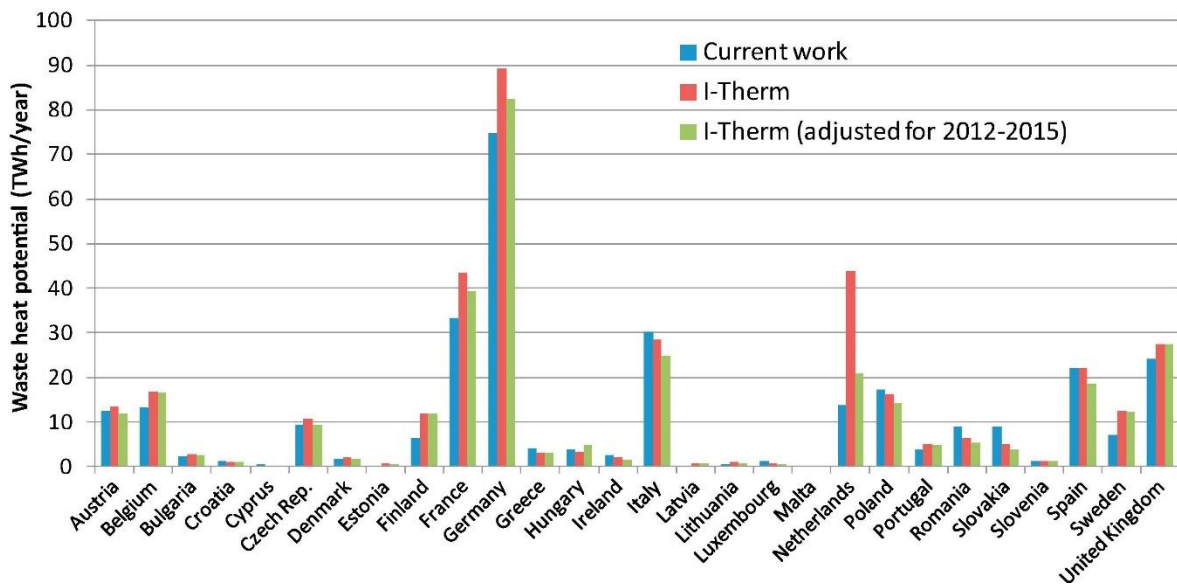
Projekt oli töös aastatel 2015 kuni 2021 ning selles vahemikus toetati kokku 12 projekti kogusummas 4 mln€.[52]

Soojustorulahendusega saadud energiat plaaniti kasutada rakendamisel valitud objektidel kolmel erineval võimalusel:

1. Kasutada saadud soojust kohapeal või eksportida;
2. Kasutada utiliseeritud soojust elektri tootmiseks;
3. Kasutada kombinatsiooni eelnevatest punktidest.

I-Therm projektis oli tähtsal kohal hoida kasutatava tehnoloogilise lahenduse tasuvusaeg alla kolme aasta ning vähendada kasvuhoonegaaside kogust vähemalt 15%.[52]

I-Therm projekti tulemusena leiti uuringus osalenud riikide heitsoojuse potentsiaaliks 370, 41 TWh/a.[53]



Joonis 1.5. I-Therm projekti ja "Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country" uuringu tulemuste võrdlus Euroopa Liidu liikmesriikide kohta [22]

1.6.4 SusPIRE

20-50% tööstuslikes protsessides kasutatavast energiast kaob kuumade heitgaasidega, jahutusveega ning toodete ja protsessi jahtumisel.[54]

SUSPIRE projekti tehnoloogia kaks etappi olid:

1. Kasutatada madalatemperatuurilisi heitgaaside soojust kuuma vee tegemiseks läbi efektiivse soojusvaheti
2. kuuma vett omakorda kasutada koheselt tehase kütteks või hoiustada maapinnas edasiseks kasutuseks

SusPIRE tehnoloogia taastumismääraks arvati ligikaudu 60%, mis annaks heitsoojusest taaskasutatud energiakoguseks 255 616 449 615 kWh.[54]

SusPIRE projekti tulemusena disainiti u 50kW võimsusega kompressor, generaator ja turbiin seade (ingl k Compressor, Generator and Turbine ehk CGT), mis kasutab superkriitilist süsinikdioksiidi energia muundamiseks. Lahenduste seas oli ka mitmed muud teised jääsoojuse utiliseerimise efektiivsust tõstvad lahendused.[55]

2 TÖÖSTUSLIKU HEITSOOJUSE KASUTAMINE EESTIS

Heitsoojuse potentsiaali hindamiseks on mitmeid võimalusi-meetodeid. Vaiku tegemine oleneb heitsoojuse koguse andmetehulga suurusest.

Eesti tööstusliku heitsoojuse hindamise probleemideks on vähene andmete kogus, mistõttu on varasemalt raske uuringuid koostada. Takistuseks on ka juba olemasolevate andmete vähene sorteerimine ja kogumine andmebaasidesse, mistõttu on raske jääksoojuse kogust üldse määrata.

Potentsiaalsetel ettevõtetel, kellele oleks võimalik heitsoojuslahendusi pakkuda, on enamasti esimesena vaja andmete põhjal tasuvusarvutus, et hinnata lahenduse vajalikkust ja majanduslikku kasu. Kui küsitud andmeid ei ole võimalik esitada, siis on väiksem võimalus, et ollakse nõus investeringut ilma lisainfota tegema.

Heitsoojuse hindamiseks on tähtsaim osa hinnata andmete kogust ning vajadusel leida võimalusi andmete juurde kogumiseks.

Tänu eelnevas peatükis nimetatud direktiividele on Eesti energiatööstuses olemas heitsoojuse kohta andmeid, mida on võimalik kätte saada internetist. Andmed on piisavad, et *hinnata teoreetilist ja osaliselt kasutusele võetud heitsoojuse kogust.*[4]

Energiatööstust võib pidada üheks viimase kümnendi muutuvaimaks tööstuseks, põhjuseid on mitmeid. Esimeseks on kindlasti aina uuenevad ja karmistuvad keskkonnanõuded, mistõttu peab iga riik vahetama fossiilsed kütused taastuvate ja keskkonnasõbralike alternatiivide vastu.

Teiseks põhjuseks on seotud eesmärgid kasvuhoonegaaside vähendamiseks. Järgmiseks on tehnoloogia areng, mistõttu on aina lihtsam nii ettevõtjatel kui ka eraisikutel valida keskkonnasõbralikumaid küttelahendusi.

Tööstuslikul tasandil on muutused toimuvad just lahenduste kättesaavavuse muutumise tõttu, mis sõltuvad omakorda andmete analüüsimisest ning nende kaudu tehnoloogia efektiivsemaks tegemisest.

Järgnevates peatükkides tuuakse välja infot kahe mahuka aruande tulemustest, milledes hinnati Eesti tööstussektori heitsoojuse potentsiaali. Lisaks tuuakse näiteid heitsoojuse projektidest, osa on juba töös ning teised on koostatud analüüsi eesmärgiga.

2.1 Eesti tööstuse heitsoojuse potentsiaal: aruannete tulemused

Järgnevas peatükis saab näha kahe aruande tulemusi, kus on uuritud Eesti tööstuse heitsoojuse potentsiaali. Mõlemad dokumendid on väljastatud käesoleva aasta (2021) sees.

Nimetatud aruanded on järgnevad:

- „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti tõhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine“[4]

Aruanne on koostatud eesmärgiga hinnata võimalusi tõhusa koostootmise ja tõhusa kaugkütte ja -jahutuse kohta. Käesolevad lõputöös tuuakse pigem infot aruande teisest poolest, kus analüüsiti heitsoojus- ja heitjahutusenergiat.

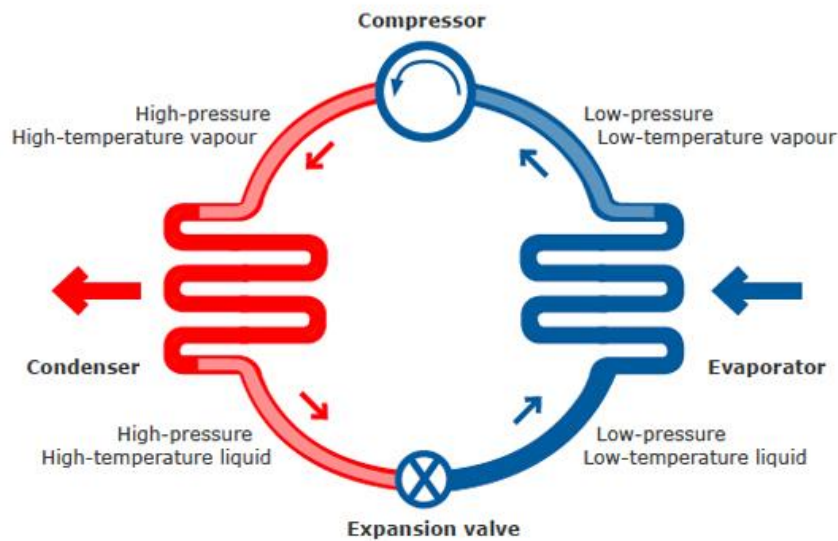
Autorid valisid heitsoojusallika minimaalseks võimsuspiiriks 5 MW, millest lähtuvad heitsoojuse kogused võivad huvi pakkuda kaugküttevõrkudele või muudele peamiselt madaltemperatuurilist heitsoojust potentsiaalselt kasutada võivatele ettevõtetele.[4]

Aruandes arvestati heitsoojusallikatena nii varjatud kui ka tajutavas vormis.

- „Heat pump potential in Baltic States“ [28]

Aruanne koosneb neljast osast, mis annavad võimalikest keskkütteallikatest, tulevikuvaatest elektri- ja soojusenergia tulevikku soojuspumpadega ja teistest teemadest seoses soojuspumpade rakendamisega energia tootmisesse tulevikus.

Oluline on siin märkida kahe mõiste erinevust: soojuspumbatsükli ja (heit)soojuse utiliseerimise tsükli (ingl k *heat pump cycle and heat recovery cycle*) vahe. Soojuspumba tsükkel on toodud joonisel 2.1. Soojuspumba tsükkel koosneb neljast osast – kompressorist, kondensaatorist, paisventiilist ja aurustist. Soojuspumba rakendamisega on võimalik tõsta tööstuses tootmise jätkusuutlikust ning vähendada süsinikuheiteid (tv LISA 1). *Heat recovery* viitab tavaliselt heitsoojuse- ja jahutuse püüdmisele ja utiliseerimisele.[56]



© Copyright, 2014. University of Waikato. All rights reserved.
www.sciencelearn.org.nz

Joonis 2.1. Soojuspumba tsükkel[57]

Nimetatud aruandest on käesolevas uurimistöös võetud infot Eesti heitsoojuse potentsiaali kohta ning tööstusliku heitsoojuse utiliseerimise kohta.

Dokumendis on antud info kolme Balti riigi kohta, käesolevas töös kajastatakse ainult Eesti kohta kogutud andmeid.

2.1.1 Aruannete tulemused

Kahe aruande tulemusi ei saa heitsoojuse potentsiaali kaudu võrrelda, sest nende valimid olid erinevad.

KPMG OÜ uuring teostati küsitluse vastuste järgi ning nendele esitati 84 vastust.

NER uuring koostati kolme Balti riigi kohta ning andmed saadi andmebaasidest ja uuringutest.

Tabelis 2.1 on toodud teoreetilised Eesti tööstuse heitsoojuse potentsiaali väärtused. Andmed on võetud uuringust „Heat pump potential in Baltic States“.[28]

Tabel 2.1 Teoreetiline heitsoojuse potentsiaal: NER aruanne [28]

Teoreetiline heitsoojuse potentsiaal	GWh
Tööstuslik heitsoojus (kokku)	3370
Tööstuslik heitsoojus (otsene allikas)	2247
Tööstuslik heitsoojus (soojuspumbast)	1123
Tööstuslik heitsoojus (heitgaasi soojuspumbast)	590
Elektrijaamadest heitsoojus	26057

Tabelis 2.2 on esitatud valik heitsoojuse potentsiaali tulemusi, mille järgi saab hinnata erinevate allikatgruppide heitsoojuse potentsiaali.

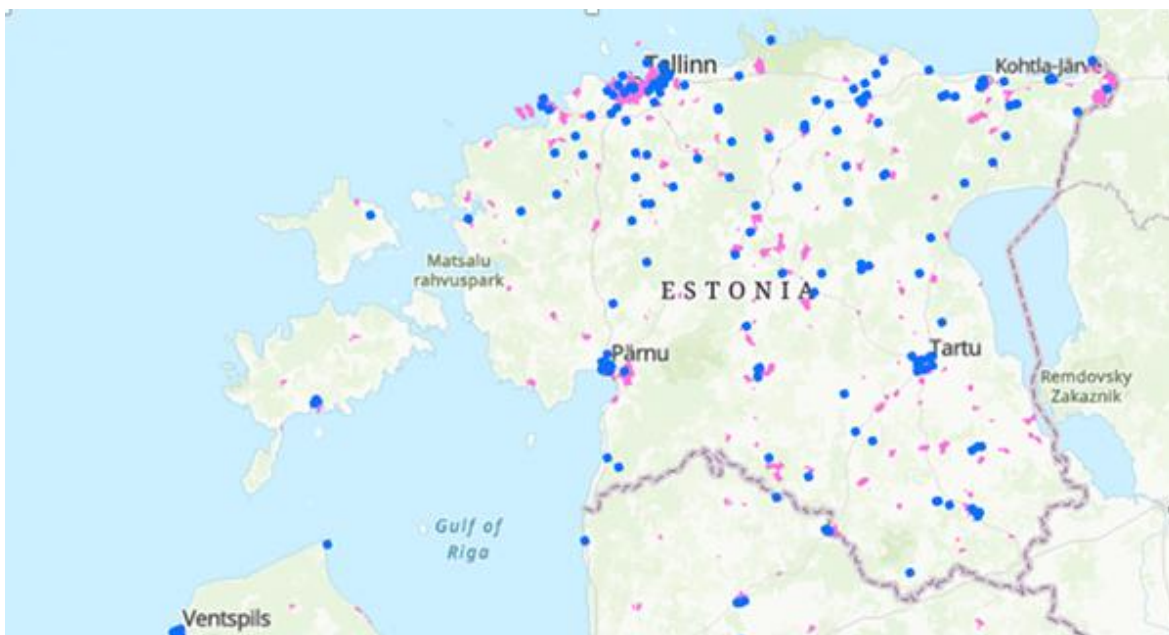
Tabel 2.2 Teoreetiline heitsoojuse potentsiaal: KMPG aruanne[4]

Teoreetiline heitsoojuse potentsiaal	GWh
Tööstuslik heitsoojus (väja arvatud energeetikasektor)	>400
Tööstuslik heitsoojus (andmemajandus)	150
Tööstuslik heitsoojus (soojuspumbad elamumajanduses)	14,8 – 83,9
Tööstuslik heitsoojus (suure tõhususega koostootmine)	~ 122,3
Heitsoojus olemasolevate kaugvõrkude soojuskadude vähendamise kaudu	370
Heitsoojus (maagaasi katlad ja puitkütuse katlad)	485

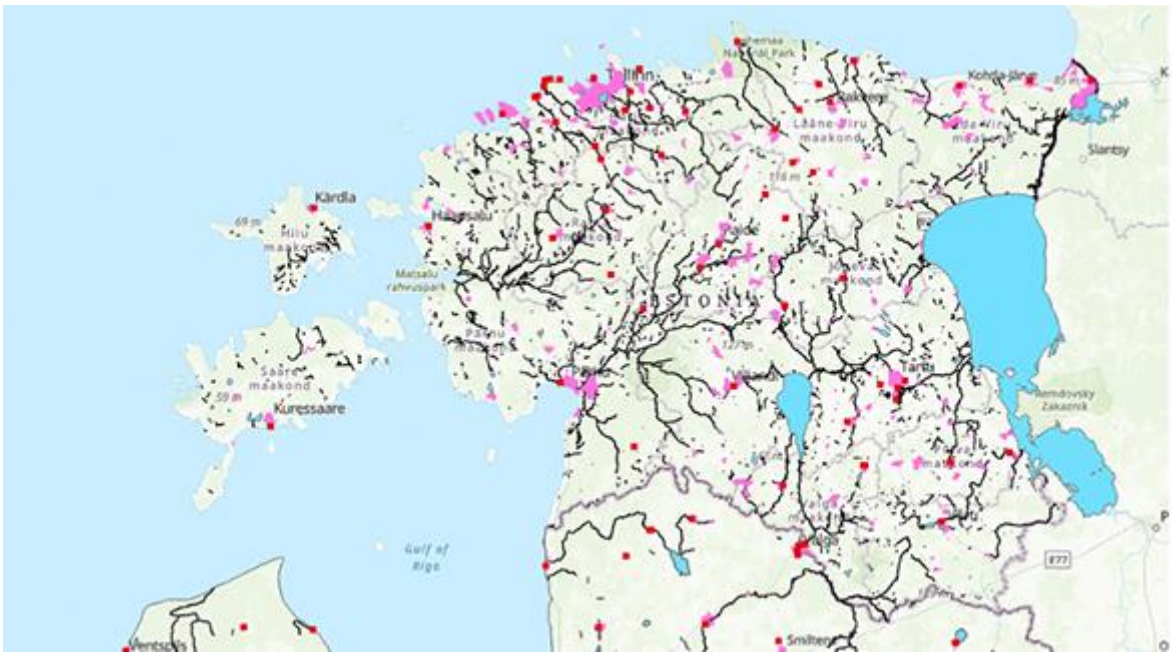
Heitsoojus (reoveepuhastitest)	1466
--------------------------------	------

Järgneval kolmel joonisel on kaardistatud heitsoojuse allikad:

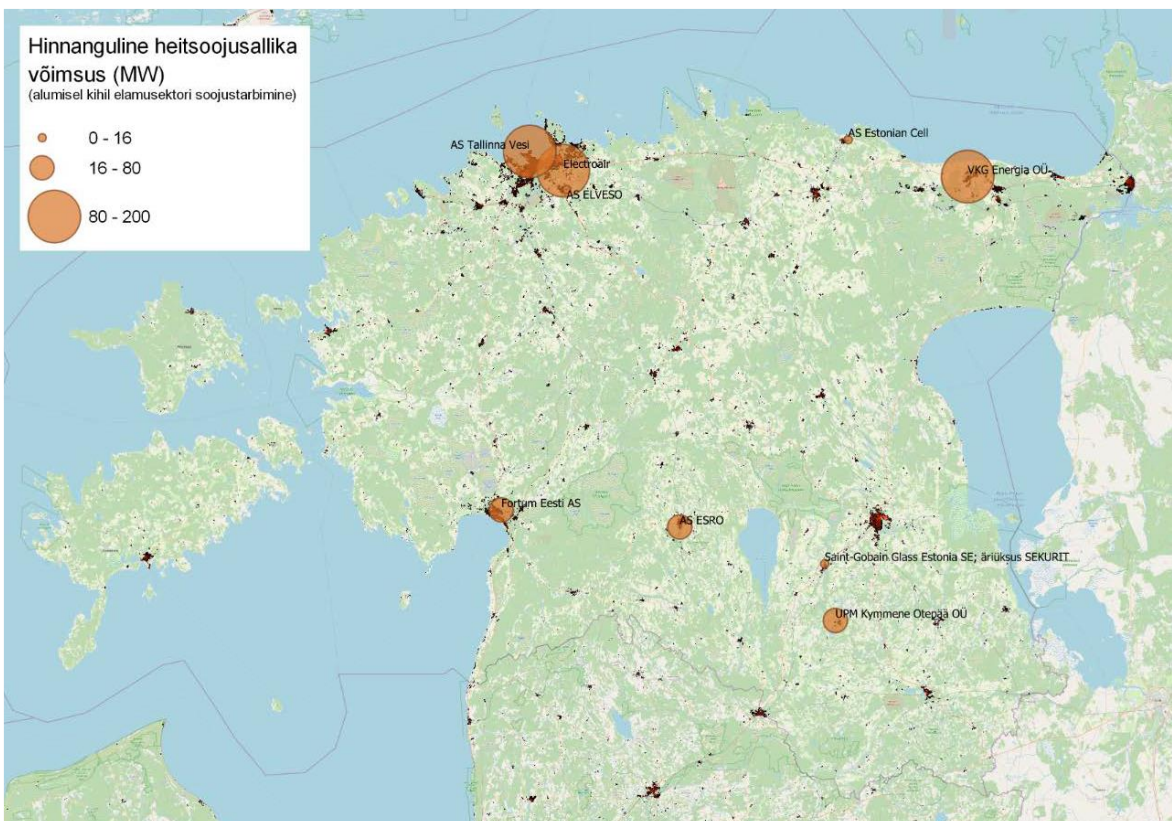
- Joonis 2.2 on NER uuringust, kus on kaardistatud Eesti Kõrgetemperatuurilised heitsoojusallikad (siniste punktidenä) ja kaugküttepiirkonnad (roosade punktidenä);
- Joonis 2.3 on NER uuringust, ning seal on kaardil esitatud Eesti madalatemperatuurilised heitsoojusallikad (siniste punktidenä) ja kaugküttepiirkonnad (roosade punktidenä);
- Joonis 2.4 on KMPG aruandest, joonisel on esitatud uuringu tulemuste järgi hinnangulised heitsoojusallikate võimsused.



Joonis 2.2 Kõrgetemperatuurilised heitsoojusallikad (siniste punktidenä) ja kaugküttepiirkonnad (roosade punktidenä): NER aruanne[28]



Joonis 2.3 Madalatemperatuurilised heitsoojusallikad (siniste punktadena) ja kaugküttepiirkonnad (roosade punktadena):NER aruanne[28]



Joonis 2.4 Hinnangulised heitsoojusallikate võimsused: KPMG OÜ aruanne[4]

2.2 Realiseeritud ja teoreetilised projektid

Järgnevas peatükis tuuakse näiteid realiseeritud ja teoreetilistest projektidest, mis on Eesti tööstuses valminud.

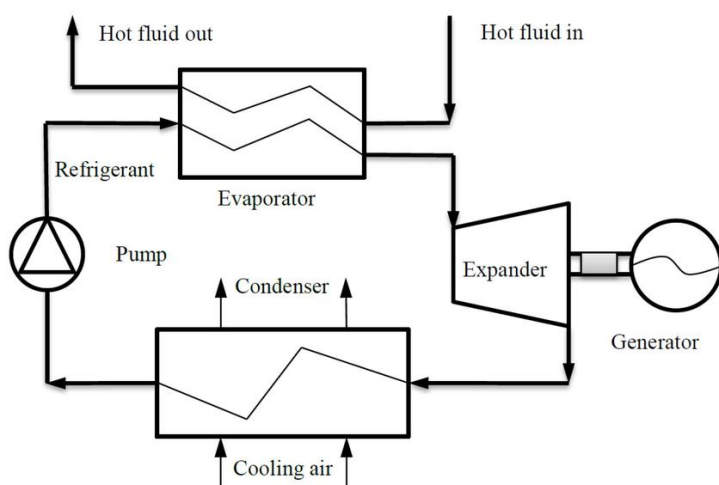
2.2.1 Järvakandi klaasitehas

Owens-Illinois Inc Järvakandi klaasitehases utiliseeritakse heitsoojust traditsiooniliste sulatusahjude asemel *gaasi-oksi* sulatusahjusid. 2014 aastal installeeritud ahjud kasutavad kütusena maagaasi ja puhastatud hapnikku.

Protsessis püütud heitsoojusest saadud energiat kasutatakse toormaterjali eelsoojendamiseks. Energia, mis jääb eelsoojendist üle, suunatakse Orgaanilise Rankine Tsükli generaatorisse, mis toodab elektrit. Generaatorist tekkiva jääksoojust kasutatakse omakorda tehases põranda kütmiseks talvisel perioodil.

Uus süsteemi abil on planeeritud Järvakandi tehase energiavajadus 10% väiksem kui OI-Inc seni väikseima energiavajadusega klaasitehas. [58]

- Järvakandi tehase automatiseerimine



Joonis 2.5 Tüüpilise Orgaanilise Rankine Tsükli komponendid [59]

2.2.2 Viru Keemia Grupp

Eesti tööstusest rääkides on vaja rääkida ka põlevkivitööstusest, mille osakaal energiatootmises on alates aastast 2000 järjepidevalt langenud. Aastal 2019 toodeti kogu riigi soojusest 13% põlevkiviõlist.

VKG toodab põlevkivi töötlemisest tekkivast jääksoojusest *tõhusa koostoomise* abil soojust ja elektrienergiat. Antud lahendust võimaldab 2013 aastal valminud Kohtla-

Järve – Ahtme soojatrass, tänu millele saab lisaks Järve linnaosale kütta Jõhvi linna ja Ahtme linnaosa. Soojatrass võimaldab kogu VKG põlevkivi töötlemise käigus tekkiv heitsoojus. [60]

Aastal 2009 valminud Petroter 1 õlitehas on varustatud *katel-utilisaatoriga, mis on ette nähtud jääkgaaside utiliseerimiseks ning utiliseerimise käigus tekkiva jääksoojuse ärakasutamiseks.*

Petroter 2 ja Petroter 3 täiustati lisaks veel tuhasoojusvaheti ja aurufontäänkatlaga, mille eesmärk on tõsta tootmisprotsessi jääksoojuse utiliseerimise efektiivsust, *tootes sellest auru ning küttevett* kaugküttevõrku.[55][61]

2.2.3 Akzo Nobel Baltic AS

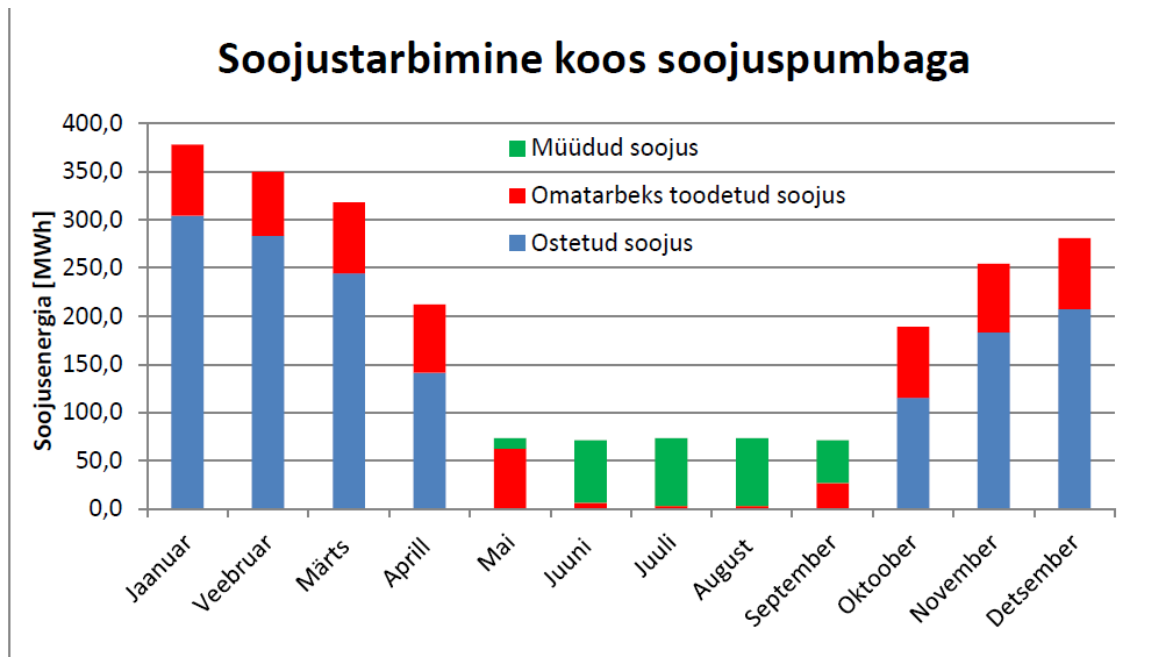
Järgmise näite kohta on võetud info Sander Seemani magistritööst „Tööstuse jääksoojuse kasutamise analüüs ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS näitel“.[11]

Akzo Nobel-i Raplas tehases toodetakse alküüdvaike ja aküüdemulsioone. Autor on oma töös märkinud, et kuna tootmine ei ole iganädalaselt identne, siis erinevad ka *jahutusprotsess ja soojushulgad vastavalt tootmismahtudele ja toodetavatele partiidele.*[62]

Päevane keskmine jääksoojuse vooluhulk oli 105 m³/h, autori märkus oli, et tegelik heitsoojuse kogus on arvatavasti suurem mõõdetud väärtusest. Jahutusvee keskmine temperatuur oli 27,3 °C, mis tähendab, et tegu oli madalatemperatuurilise jääksoojusega.

Magistritöö mõõtmiste perioodil tekkinud soojuskoormus oli 13 275 kWh.

Magistritöö heitsoojuse utiliseerimislahenduseks oli soojuspump, mille skeemi saab näha joonisel 2.5.



Joonis 2.6 Akzo Nobel AS soojatarbimise jaotus koos soojuspumbaga.[11]

Lahenduse potentsiaali visualiseerimiseks on lisatud graafik magistritööst, kus on näidatud soojusenergia aasta lõikes. Järgnev graafikut seletav tekst on kopeeritud uurimistööst.[11]:

Joonis 2.6 annab visuaalse ülevaate, kui suure osa iga kuu soojustarbimisest on soojuspumbaga toodetud energiast võimalik ära katta, mida iseloomustavad punased tulbad graafikul. Sellest tulenevalt on vaja osta võrgust vähem soojusenergiat, mida näitavad sinised tulbad. Soojem periood, kui soojustarbimine on väike on võimalik ülejääv osa müüa tagasi küttevõrku, mida graafikul kajastavad rohelised tulbad.

2.2.4 AS Nõo Lihetööstus

Antud näite kohta järgnev info põhineb Tauno Meieri bakalaureusetööst „AS Nõo Lihetööstuse jahutusseadmete heitsoojuse kasutus“ [63].

Magistritöö eesmärk oli uurida Nõo Lihetööstuse kompressorseadmetelt kogutud jääksoojuse rakendamist.

Lihetööstuses jääb toodete valmistamisel tekib köögis soojus, mis ventilatsiooni kaudu ruumist välja suunatakse. Selle soojuse utiliseerimist nimetatud töös uuriti ja analüüsiti.

Mõõtmiste ja arvutuste tulemusena saadi töös süsteemi arvutuslikuks väljundvõimsuseks 747,5 kW. Autor on märkinud, et tegelikuks akumulatsioonipaaki akumulatsioonivõimsuseks on väärtus vahemikus 300-500 kW. See tuleneb asjaolust, et arvutuste ajal oli projekteeritud nominaalseks temperatuuridevaheks 5°C,

kuid realselt on *temperatuuride vahe peale- ja tagasivoolu vahel keskmiselt väiksem*. Kui arvestada temperatuurivaheks 2°C , on jääsoojussüsteemi tootlikkus 299 kW.[63]

Magistritöö käigus mõõdetud 117 päeva jooksul kasutati Nõo tehases heitsoojust 277,98 MWh. Aastaseks jääsoojuse tarbimiseks arvatati 805,37 MWh.

Süsteemi lahenduse tasuvusajaks arvatati 2 aastat ja 3 kuud. Süsinikdioksiidi heitmete vähenemist hinnati suuruses 199,9 t/a.

2.2.5 Andmekeskused

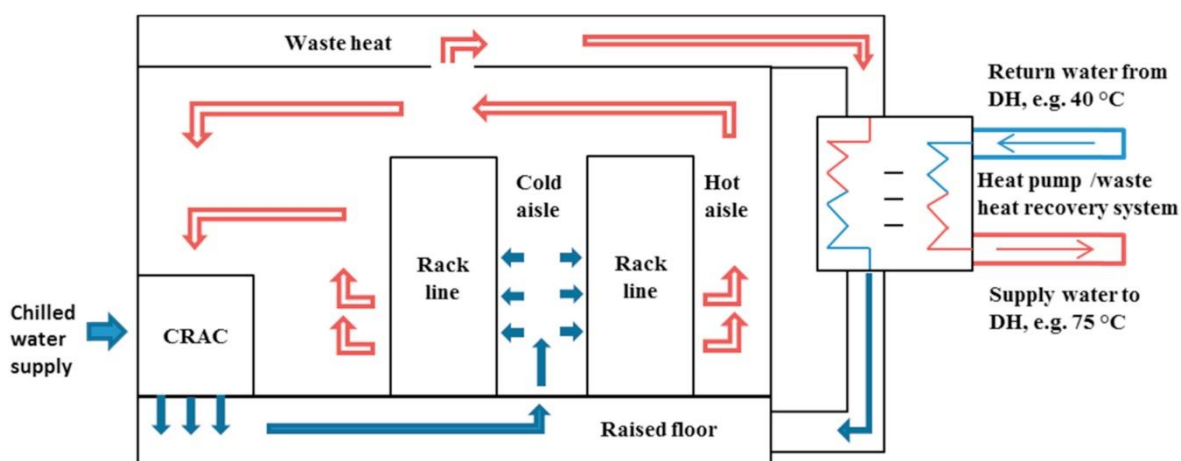
Heitsoojuse potentsiaalsetest allikatest rääkides on mitmete allikate [4],[21] järgi populaarsust kogumas andmekeskused.

Andmekeskuste (ehk serveriparkide) number on Euroopas ja kogu maailmas kasvamas, ning digitaliseerimise tõttu ei ole alust arvata, et see peaks seiskuma.

Aastal 2013 kujutas IT sektor kogu maailma elektritarbimisest 10%.[21] Aastal 2017 oli IT sektori elektritarbimine tõusnud 10%-lt 21%-le.[64]

Andmekeskustes kulub energiat jahutuse peale. Serveriparkide suureks plussiks on kaugjuhtimise võimalus: enamus serveriparkidest töötavad autonoomselt, ning kogu protsessi juhib tehisintellekt. Programm teeb automaatselt mõõtmisi ning kohaldab heitsoojuse utiliseerimissüsteemi ning seeläbi muutub see aina efektiivsemaks. [65]

Näidet heitsoojuse taaskasutussüsteemist, mis on seotud kaugküttevõrguga, võib näha joonisel 2.7.



Joonis 2.7 Heitsoojuse taaskasutussüsteemi näide autonoomse andmepargi jahutussüsteemi põhjal, mis suunab heitsoojusest saadud energiat kaugküttevõrku [21]

Andmekeskused on heitsoojuse allikatena üks lihtsamaid variante, mida saab ühendada kaugküttevõrguga. Töö käib andmekeskustes ööpäev läbi ja tavaliselt terve aasta. Saadav heitsoojus oleks madalatemperatuuriline ning seda *peaks tõstma soojuspumpade abil kaugküttevõrgule sobivale temperatuurile.*[4]

Näide edukast andmekeskuse ja kaugkütte projektist võib tuua Soomest :

- TeliaCompany-l, Põhjamaade suurim telekommunikatsiooniettevõtte, on Soomes 24 MW_{el} võimsusega andmekeskus. Serveripargist jääb aastas heitsoojust 200 GWh ja see leiab kasutust kaugküttevõrgus. Veidi üle 10 GWh läheb elektrina protsesside läbiviimiseks.[4], [21]

Näide andmepargist Eestist:

Saue valda Harku aleviku lähedusse rajatakse Eesti mõistes väga suurt andmekeskust. Esialgseks elektriliseks võimsuseks on kavandatud 6 MW_{el} (~50 GWh heitsoojust aastas, kui töötab aasta ringi ühtlaselt täisvõimsusel), mida hiljem vajaduse korral suurendatakse 20 MW_{el}ini ning seda veelgi hilisema lisamise võimalusega (kuni 32 MW_{el}). [21]

2.3 Soojuse kasutamise võimalused Eestis

Heitsoojuse kokku kogumisest ei ole kasu, kui seda ei kasutata järgnevalt otstarbekat. Vaja on leida võimalus saadud energia rakendamiseks.

Võimalusi on seega suures osas kaks:

1. Tarbida saadud soojus ettevõttesiseselt (nt tehases põranda kütmine)
2. Müüa soojus kasutamiseks ettevõttest välja (nt kaugküttevõrku)

Heitsoojuse kasutamiseks kaugküttes peab olema olema sobiv infrastruktuur ja planeeritud või olemasolev kaugküttevõrk. Näidet võib näha LISA 2.

Kaugküttesüsteemides heitsoojuse kasutamine vajab madalatemperatuuriliste parameetritega kaugküttevõrku või soojussalvestit. Selle puudumisel on vaja süsteem ümber, mis eeldab tavaliselt suuri investeringuid ja pikemaajalisi projekte.

Järgnevalt tuuakse välja erinevad võimalused/näited heitsoojuse utiliseerimiseks ettevõttes, jagatuna kaheks osaks: heitsoojus katlamajast ja heitsoojus töötusprotsessides.

Variantide nimekirjade koostamisega aitas Cathy-Liis Põlluveer, käesoleva lõputöö autori kolleeg ettevõttes Filter Solutions OÜ.

2.3.1 Heitsoojus katlamajas

- Deaeraatori heitauru soojuse taaskasutamine
- Läbipuhkejahuti heitauru soojuse taaskasutamine
- Ökonomaisereri/kondenseeriva ökonomaisereri lisamine suitsugaasidele
- Astmeline põleti vahetada moduleeriva vastu
- Moduleeriva põleti liigendühenduste asendamine täpsete servomootoritega (ehk mehaaniline moduleerimine muuta elektrooniliseks moduleerimiseks)
- Moduleeriv põleti panna tööle suitsugaaside sisalduva hapniku järgi (ökonomsem põlemine)
- Põleti ventilaatorile lisada sagedusmuundur
- Katlamajas olevatele toitepumpadele lisada sagedusmuundur ja moduleeriv katla täitmine
- Suuremates katlamajades põlemisõhu ette soojendamine

2.3.2 Heitsoojus tööstusprotsessides (ehk kõik, mis jääb katlamajast välja)

- Reostunud kondensaadi soojuse ära kasutamine
- Olenevalt tööstusest ja protsessidest võib aurusüsteemides tekkida samuti hulganisti heitauru konkreetselt tarbijate juures – nt mingid kuivatid, mis kasutavad otse auru ja ventileeritakse õue.
- Kondensaadi maksimaalne kokku kogumine ja suunamine tagasi katlamajja
- Kondensaadieraldajate regulaarne kontroll ning online monitooring
- Avatud süsteemid teha suletud süsteemideks või pool-suletud süsteemideks ehk suunata võimalikult palju vett ja energiat tagasi ringlusesse
- Erinevate tööstuslike protsesside täpsem ajastamine, et need toetaksid üksteist – nt toiduainetööstuses autoklaavides alguses soojendatakse üles, siis hoitakse kuumust ja siis jahutatakse maha. Kui on mitu autoklaavi, siis saaks teoorias

nad tööle panna nii, et ühe autoklaavi jahutusvesi osaleks ka järgmise autoklaavi üles soojendamises jne.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli luua ülevaade heitsoojusest, Euroopa ja Eesti heitsoojuse potentsiaalidest ning projektidest.

Tööstuslik heitsoojus on soojus, mis tekib tööstusliku tootmisprotsessi jääkproduktina ning seda ei kasutata otseselt süsteemis ära. Heitsoojus suunatakse protsessist väliskeskkonda. Heitsoojust tekib igas mehaanilises ja termaalses protsessis, selle mitte tekkimine oleks vastuolus termodünaamika teise seadusega.

Heitsoojusest rääkides on oluline hinnata selle potentsiaali, mis näitab kui palju energiat on võimalik allikast heitsoojuse utiliseerimise kaudu saada. Heitsoojuse potentsiaali saab eritada erinevatel tasanditel: seadme, süsteemi, hoone või ka näiteks riiklikul tasandil. Heitsoojusega tegelemise lihtsustamiseks jagatakse see kolme erinevasse temperatuurivahemikku vastavalt allika temperatuurile.

Eesti tasandil on tööstusliku heitsoojuse potentsiaal Nordic Energy Research-i aruande „Heat Pump Potential in the Baltic States“ järgi kokku ligikaudu 3350 GWh aasta kohta [28]. Euroopas on tööstusliku heitsoojuse potentsiaal umbes 305 TWh aasta kohta, [22]

Erinevate kliimalepete ja -eemärkide tõttu on riikidele esitatud eesmärgid, mis tasemele peab energiaefektiivsustega ja taastuvenergeetika osakaaluga jõudma. Heitsoojuse rakendamine on üks võimalustest, kuidas nende eesmärkideni jõuda. Tehnoloogia arengu ja uuringute tõttu on heitsoojust rakendavad tehnoloogiad muutumas kättesaadavamaks ning nende kasutamine erinevates protsessides on kasvanud.

Üheks soodustavaks viisiks tõstmaks ettevõtteid tõhustama oma tööstusprotsesse läbi heitsoojuse rakendamise, on toetuste maksimine: Euroopa Liit on valmis edukaid ja innovaatilisi projekte toetama, mis on kooskõlas kogu Euroopa Liidu eesmärkidega. Läbi Horizon 2020 programmi jagati mitmete kümnete heitsoojusprojektidele raha, käesolevas uurimistöös toodi mitmeid näiteid programmi raames läbi viidud edukatest projektidest.

Toetusprogrammide kaudu saadi ka mitmeid kasulikke uuringuid ja analüüse tulemuste kaudu. Üheks heaks näiteks võib tuua uuringuprojekti Heat Roadmap Europe tulemusena valminud PETA4 interaktiivne kaart, kus saab palju infot heitsoojuse potentsiaali kohta Euroopa suurimates riikides.

Töö teises osas toodi välja kahe uuringu aruanded ja nende tulemused, kus oli hinnatud Eesti heitsoojuse potentsiaali. Nimetatud aruanded olid: Nordic Energy Research-i lehel publitseeritud uuring „Heat Pump Potential in the Baltic States“ ja KPMG OÜ aruanne „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti töhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine“.

Anti ülevaade erinevatest Eesti tööstuses realiseeritud või teoreetilistest projektidest, mille eesmärk oli heitsoojust utiliseerida.

Kokkuvõtlikult võib hinnata, et heitsoojuse utiliseerimine tööstusprotsessides on tõusuteel tänu erinevatele abistavatele faktoritele, mis on uurimistöös välja toodud: tehnoloogia areng, toetuste maksmine ja uurimistööd ning kogutus andmete analüüsimine.

Töö eesmärgid võib lugeda autori hinnangul täidetuks.

SUMMARY

The purpose of this thesis is to give an overview of waste heat recovery and projects and the potential of waste heat recovery in Europe and Estonia.

Waste heat is heat, which forms as a by-product of industrial processes and it does not get used in the system. Waste heat is directed out of the process into the environment. Waste heat occurs in every thermal and mechanical process, it not to form would be in accordance with the second law of thermodynamics.

If talking about waste heat, it is important to calculate its potential, which shows how much energy is available by accessing and utilizing waste heat. Waste heat can be calculated of many different categories: a piece of equipment, a system, a building or even of a country. To simplify research waste heat is divided into three temperature ranges according to available temperature of the waste heat source.

By „Heat Pump Potential in the Baltic States“, a research paper published by Nordic Energy Research, the industrial waste heat potential in Estonia is approximately 3350 GWh per year[28]. Industrial waste heat potential of Europe is approximately 305 TWh per year[22].

Different goals are set due to climate agreements and targets for energy efficiency and renewable energy sources. Waste heat recovery is a good option to reach these goals. The use of waste heat recovery technologies has been rising due to the constant innovation in technology and different research.

A good way to make companies to change their processes to be more energy efficient is to pay financial aid: European Union has and is still ready to pay money to successful and innovative projects which are in accordance to the values of the EU. The Horizon 2020 has funded many waste heat projects and different examples of successful projects are provided in this thesis.

Funding programs have provided useful research and statistics through analyzing the results of the programs. An example of this is an interactive map PETA4, which was made as a result of Heat Roadmap Europe, a research project aimed to gather data of waste heat potential of some of the largest countries in Europe.

The second part of the thesis gives an overview of two different research reports and results of the reports about waste heat potential in Estonia. The two documents are: Nordic Energy Research research project „Heat Pump Potential in the Baltic States“[28]

ja KPMG OÜ project „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti töhuse kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine“ (ingl k „Opportunities of using waste heat and cooling in the heating and/or cooling sector and assessing the potential of efficient district cooling and heating in Estonia“)[4].

An overview is given about different realized or theoretical projects of waste heat recovery in Estonia.

In conclusion, it can be estimated that the number of waste heat recovery technologies is on the rise thanks to different factors named in the thesis: development of the technology sector, different funding programs and research projects.

The goals set for the thesis can be considered fulfilled in the opinion of the author of the thesis.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „European Commission - 2016 - An EU Strategy on Heating and Cooling.pdf”.
Vaadatud: mai 03, 2021. [Online]. Available at:
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf
- [2] M. Holzleitner, S. Moser, ja S. Puschnigg, „Evaluation of the impact of the new Renewable Energy Directive 2018/2001 on third-party access to district heating networks to enforce the feed-in of industrial waste heat”, *Util. Policy*, kd 66, lk 101088, okt 2020, doi: 10.1016/j.jup.2020.101088.
- [3] „Waste Heat: Innovators Turn to an Overlooked Renewable Resource”, *Yale E360*.
<https://e360.yale.edu/features/waste-heat-innovators-turn-to-an-overlooked-renewable-resource> (vaadatud mai 17, 2021).
- [4] Ü. Kask, S. Link, ja S. Meeliste, „Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutus sektoris ning Eesti töhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine”. KPMG Baltics OÜ, jaan 2021.
- [5] „What is Waste Heat? - Definition from Corrosionpedia”, *Corrosionpedia*.
<http://www.corrosionpedia.com/definition/1159/waste-heat> (vaadatud mai 07, 2021).
- [6] „Säästva arengu sõnaseletusi - Sõnastik”.
http://www.seit.ee/sass/?ID=1&L_ID=82 (vaadatud apr 18, 2021).
- [7] „Waste heat - Energy Education”.
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Waste_heat (vaadatud mai 26, 2021).
- [8] „How To Calculate Waste Heat Recovery”, *Process Industry Informer*.
<https://www.processindustryinformer.com/calculate-waste-heat-recovery>
(vaadatud mai 31, 2021).
- [9] „Why is waste heat capture important?”, *HowStuffWorks*, aug 29, 2012.
<https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/waste-heat-capture.htm> (vaadatud mai 26, 2021).
- [10] H. Jouhara, N. Khordehghah, S. Almahmoud, B. Delpech, A. Chauhan, ja S. A. Tassou, „Waste heat recovery technologies and applications”, *Therm. Sci. Eng. Prog.*, kd 6, lk 268–289, juuni 2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.04.017.
- [11] S. Seeman ja A. Dedov, „Tööstuse jääksoojuse kasutamise analüüs ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS näitel”, juuni 2019, Vaadatud: mai 31, 2021. [Online]. Available at: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/d3d7ce17-841c-4688-b616-1a8eb6d1c911>
- [12] „Waste Heat Valorisation: Improving energy efficiency in process industries | H2020 | Results Pack | CORDIS | European Commission”.

- <https://cordis.europa.eu/article/id/422033-waste-heat-valorisation> (vaadatud mai 31, 2021).
- [13] „2014_article14-6_unitedkingdom_annex.pdf”. Vaadatud: mai 26, 2021. [Online]. Available at: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_article14-6_unitedkingdom_annex.pdf
- [14] „DISCUSSION PAPER The barriers to waste heat recovery and how to overcome them?” Vaadatud: mai 03, 2021. [Online]. Available at: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/20200625_discussion_paper_v2_final.pdf
- [15] „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, det 21, 2018. Vaadatud: mai 30, 2021. [Online]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-ET/TXT/?from=EN&uri=CELEX%3A32018L2001>
- [16] K. Symons, „ReUseHeat quantified EU28 urban waste heat potential”, *Build Up*, mai 13, 2019. <https://www.buildup.eu/en/news/reuseheat-quantified-eu28-urban-waste-heat-potential> (vaadatud mai 26, 2021).
- [17] „Energy statistics - an overview - Statistics Explained”. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption (vaadatud apr 27, 2021).
- [18] G. P. Panayiotou *et al.*, „Preliminary assessment of waste heat potential in major European industries”, *Energy Procedia*, kd 123, lk 335–345, sept 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.263.
- [19] „Waste Heat Recovery System - an overview | ScienceDirect Topics”. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/waste-heat-recovery-system> (vaadatud mai 26, 2021).
- [20] S. A. Akhtar, „Assessment of Waste Heat Potential in Estonian Industries Jäätmekütuse potentsiaali hindamine Eesti tööstustes”, *TalTech*. [Online]. Available at: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/623991aa-1210-4652-a43c-cb4964f90328>
- [21] M. Wahlroos, M. Pärssinen, S. Rinne, S. Syri, ja J. Manner, „Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, kd 82, lk 1749–1764, veebr 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.058.
- [22] 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”, *Appl. Therm. Eng.*, kd 138, lk 207–216, juuni 2018, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.043.

- [23] R. Agathokleous *et al.*, „Waste Heat Recovery in the EU industry and proposed new technologies“, *Energy Procedia*, kd 161, lk 489–496, märts 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.02.064.
- [24] L. Miró, S. Brückner, ja L. F. Cabeza, „Mapping and discussing Industrial Waste Heat (IWH) potentials for different countries“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, kd 51, lk 847–855, nov 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.06.035.
- [25] „HRE_Final-Brochure_web.pdf“. Vaadatud: mai 30, 2021. [Online]. Available at: https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2019/02/HRE_Final-Brochure_web.pdf
- [26] „Peta4 – Heat Roadmap Europe“. <https://heatroadmap.eu/peta4/> (vaadatud mai 31, 2021).
- [27] „- Waste heat calculator“. <https://whc.dem.si/> (vaadatud apr 27, 2021).
- [28] A. Volkova, H. Pieper, H. Koduvere, A. Siirde, ja K. Lepiksaar, „Heat Pump Potential in the Baltic States“. <https://pub.norden.org/nordicenergyresearch2021-02/#61596> (vaadatud mai 31, 2021).
- [29] „Energiamajanduse korralduse seadus – Riigi Teataja“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/112122018034> (vaadatud veebr 15, 2021).
- [30] THE EUROPEAN PARLIAMENT THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, „DIRECTIVE (EU) 2018/844 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL“. Official Journal of the European Union, juuni 19, 2018. Vaadatud: mai 31, 2021. [Online]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-ET/TXT/?from=EN&uri=CELEX%3A32018L0844>
- [31] „EU to fight energy waste with the first Heating and Cooling Strategy“, *European Commission - European Commission*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_16_311 (vaadatud mai 26, 2021).
- [32] „Energy Genius of the Year award: waste heat from Paulig’s coffee roastery utilised as district heat“. <https://www.helen.fi/en/news/2020/energy-genius> (vaadatud veebr 15, 2021).
- [33] Climeon AB, *Per about how our machine works*, (2019). Vaadatud: mai 31, 2021. [Online Video]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=ljF2IEqOJh0>
- [34] Institution of Mechanical Engineers - IMechE, *How Can Waste Heat and Geofluids Heat Help Decarbonising the Oil and Gas Industry?*, (jaan 04, 2021). Vaadatud: veebr 15, 2021. [Online Video]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=GiYM--TU0qo>
- [35] „The Climeon Heat Power System - How does it work?“, *Climeon*. <https://climeon.com/how-it-works/> (vaadatud veebr 15, 2021).

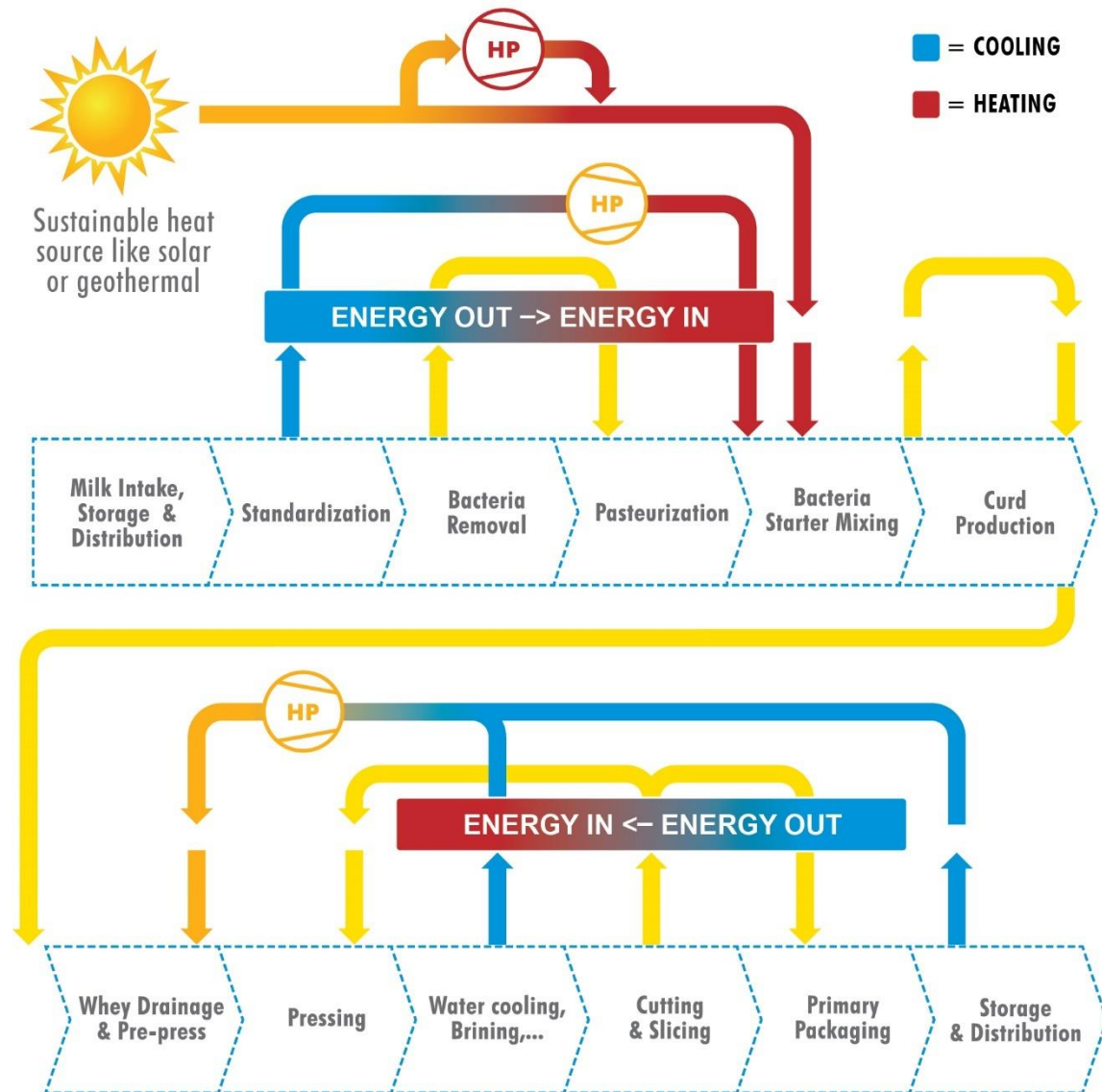
- [36] „Viking Grace | Viking Line“. <https://www.vikingline.com/environment/viking-grace/> (vaadatud veebr 15, 2021).
- [37] „Copper’s Role in the Transition to a Low-Carbon Economy: Aurubis“, lk 2.
- [38] Tenova Group, *iRecovery project*, (sept 23, 2015). Vaadatud: mai 31, 2021. [Online Video]. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=ApBnI4_WSxo
- [39] „Soome õllelinnaste tootja tõstab tootmise energiatõhusust“, *Adven*, jaan 27, 2021. <https://adven.com/ee/uudised/soome-ollelinnased-hakkavad-peagi-valmima-maailma-koige-energiatohusama-protsessi-tulemusel/> (vaadatud mai 31, 2021).
- [40] kugleta, „What is Horizon 2020?“, *Horizon 2020 - European Commission*, okt 23, 2013. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020> (vaadatud mai 26, 2021).
- [41] „Clean Energy Transition“. https://cinea.ec.europa.eu/life/clean-energy-transition_en (vaadatud mai 26, 2021).
- [42] „Waste heat to power • AFECO“, *AFECO*, mai 02, 2014. <http://afeco.co.uk/waste-heat-to-power/> (vaadatud mai 31, 2021).
- [43] „Heat Pipe Technology“, *Etekina*, nov 20, 2017. <https://www.etekina.eu/heat-pipe-technology/> (vaadatud mai 04, 2021).
- [44] D. A. Littwin ja J. McCurley, „Heat Pipe Waste Heat Recovery Boilers“, *Advances in Heat Pipe Technology*, D. A. Reay, Toim Pergamon, 1982, lk 213–224. doi: 10.1016/B978-0-08-027284-9.50025-5.
- [45] C. Collins, „The bright future of heat pipe technologies“, *Etekina*, jaan 03, 2019. <https://www.etekina.eu/the-bright-future-of-heat-pipe-technologies/> (vaadatud mai 26, 2021).
- [46] „CE-HEAT Project“, *Interreg CENTRAL EUROPE*. <http://www.interreg-central.eu/Content.Node/CE-HEAT.html> (vaadatud apr 27, 2021).
- [47] „Funding opportunities | Waste Heat“. <https://www.waste-heat.eu/waste-heat-toolbox/funding/funding-opportunities> (vaadatud apr 27, 2021).
- [48] „high_efficient_technology.pdf“. Vaadatud: apr 27, 2021. [Online]. Available at: https://www.waste-heat.eu/images/files/high_efficient_technology.pdf
- [49] „WH Potential | Waste Heat“. <https://www.waste-heat.eu/waste-heat-potential> (vaadatud mai 17, 2021).
- [50] „I-ThERM: Industrial Thermal Energy Recovery Conversion and Management“, *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/project/I-ThERM-Industrial-Thermal-Energy-Recovery-Conversion-and-Management> (vaadatud mai 31, 2021).
- [51] interTEN, „Project Overview“, *I-ThERM*. <http://www.itherm-project.eu/overview/> (vaadatud mai 03, 2021).

- [52] „Industrial Thermal Energy Recovery Conversion and Management | I-ThERM Project | H2020 | CORDIS | European Commission“. <https://cordis.europa.eu/project/id/680599> (vaadatud mai 04, 2021).
- [53] H. Jouhara *et al.*, „D 2.1 Literature review of energy use and potential for heat recovery in the EU28 Report 6 June 2016“, lk 218.
- [54] „Sustainable Production of Industrial Recovered Energy using energy dissipative and storage technologies | SUSPIRE Project | H2020 | CORDIS | European Commission“. <https://cordis.europa.eu/project/id/680169/results> (vaadatud mai 17, 2021).
- [55] „Results and Reports related to 'I-THERM (Industrial Thermal Energy Recovery Conversion and Management)': work performed, advancements, outcomes and results“. <https://www.fabiodisconzi.com/open-h2020/projects/198373/results.html> (vaadatud mai 31, 2021).
- [56] The Buildings Committee, „Heat Pump and Heat Recovery Technologies: Fact sheet“, 2013, Vaadatud: juuni 01, 2021. [Online]. Available at: <https://www.environment.gov.au/system/files/energy/files/hvac-factsheet-heat-pump-tech.pdf>
- [57] „Interpreting representations – heat pump cycle“, *Science Learning Hub*. <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/259-interpreting-representations-heat-pump-cycle> (vaadatud juuni 01, 2021).
- [58] Owens-Illinois Inc, „The Most Sustainable Package on Earth: 2014 Sustainability Report“. 2014. [Online]. Available at: www.o-i.com
- [59] „Figure 1. Components of a typical Organic Rankine Cycle (ORC) WHR system.“, *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Components-of-a-typical-Organic-Rankine-Cycle-ORC-WHR-system_fig1_287158881 (vaadatud mai 31, 2021).
- [60] „Viru Keemia Grupp: Sotsiaalse vastutuse ja säästva arengu aruanne“. Vaadatud: mai 31, 2021. [Online]. Available at: <https://www.vkg.ee/wp-content/uploads/2019/07/vkg-saa-2013-1.pdf>
- [61] „Kaasaegsed suundumused kaugküttevõrkude arendamisel Andres Siirde (TTÜ)“, lk 15.
- [62] „Ettevõtte Akzo Nobel Baltic AS sisedokumentatsioon (12.05.19)“.
- [63] T. Meier, „AS Nõo Lihetööstuse jahutusseadmete heitsoojuse kasutus“, *Waste Heat Usage From Air Conditioning Units In AS Nõo Lihetööstus*, 2016, Vaadatud: mai 31, 2021. [Online]. Available at: <https://dspace.emu.ee//handle/10492/2952>
- [64] „IT sector's electricity breakdown worldwide by component 2017“, *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/683233/electricity-components-of-the-global-it-sector-by-component/> (vaadatud juuni 02, 2021).

- [65] Eesti Soojustehnikainseneride Selts, *Keskkond ja tehisintellekt*, (apr 26, 2021).
Vaadatud: juuni 02, 2021. [Online Video]. Available at:
<https://www.youtube.com/watch?v=LeCHRdbY94Q>
- [66] „Industrial heat recovery - Using heat pumps for the sustainable reuse of waste heat“, *GEA engineering for a better world*. <https://www.gea.com/en/refrigeration-heating/industrial-heat-recovery/index.jsp> (vaadatud juuni 02, 2021).

LISAD

LISA 1. Skeem: Soojuspumba rakendamine heitsoojuse utiliseerimiseks piimatööstuses[66]



LISA 2.Näide kesküttevõrgust ja potentsiaalsetest heitsoojusallikatest Viljandi piirkonnas [28]

