

Energiatehnoloogia instituut

**REOVEE HEITSOOJUSE KAUGKÜTTES  
KASUTAMISE VÕIMALUSED JA MÕJUD**

**THE POSSIBILITIES AND IMPACT OF USING SEWAGE  
WATER WASTE HEAT IN DISTRICT HEATING**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Helena Klaar

Üliõpilaskood: 179757 EACB

Juhendaja: Kertu Lepiksaar, doktorant-  
nooremteadur

Tallinn 2023

(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.

“30” mai 2023

Autor: Helena Klaar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

“30” mai 2023

Juhendaja: Kertu Lepiksaar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina Helena Klaar (30.01.1998)

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

„Reovee heitsoojuse kaugküttes kasutamise võimalused ja mõjud“,

mille juhendaja on Kertu Lepiksaar, doktorant-nooremteadur,

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

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni. 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

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

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

\_\_\_\_\_ (allkiri)

30.05.2023 (kuupäev)

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Helena Klaar, 179757

Õppekava, peeriala: EACB, Keskkonna-, energia- ja keemiatehnoloogia,  
keskkonnakaitse tehnoloogia

Juhendaja(d): Kertu Lepiksaar, doktorant-nooremteadur

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) „Reovee heitsoojuse kaugküttes kasutamine mõjud ja võimalused“

(inglise keeles) „The Possibilities and Impact of using Sewage Water Waste Heat in District heating“

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Leida, kui suur on reovee soojuslik potentsiaal kaugküttes ehk reovee heitsoojuse tekkimine ja potentsiaal;
2. millised on tehnoloogilised lahendused;
3. milline lahendus oleks kõige tõhusam Tallinnale.

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Pädevate allikate otsimine/tutvumine, läbitöötamine. Esimese põhiosa kirjutamine.	15.04.2023
2.	Teise ja kolmanda põhiosa loomine.	15.05.2023
3.	Vormistamine/sissejuhatus ning kokkuvõte.	28.05.2023

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 30.05.2023 a

**Üliõpilane:** Helena Klaar ..... ".....".....2023 a

**Juhendaja:** Kertu Lepiksaar ..... ".....".....2023 a

**Programmijuht:** Oliver Järvik ..... ".....".....2023 a

/allkiri/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1. REOVEE HEITSOOJUSE KASUTAMINE.....	9
1.1 Reovee puhastusprotsess.....	9
1.1.1 Reovee puhastusprotsessi kirjeldus Tallinna vee näitel.....	9
1.1.2 Reoveesette käitlus .....	10
1.2 Reovee soojuse taaskasutamine kaugküttes .....	12
1.2.1 Põhjused, miks kasutada just reovett.....	13
1.2.2 Protsessi punktid, kust on võimalik heitsoojust võtta .....	14
1.3 Soojuse eemaldamise mõju puhastusprotsessile.....	18
1.4 Reovee heitsoojuse kasutamine soojuspumpade abil.....	19
1.3.1 Direktiivid .....	19
1.3.2 Energia taaskasutamise peamised põhjused .....	20
1.3.3 Esimene tehnoloogia ning levik Euroopas.....	21
1.3.4 Tehnoloogia kasutus maailmamastaabis .....	22
1.3.5 Heitsoojuse kasutamine soojuspumpade abil .....	23
1.3.6 Esimene tehnoloogiline vorm – reoveesoojuspumbaga detsentraliseeritud küttemeetod ehk soojuse taastamine otse kanalisatsioonist .....	26
1.3.7 Teine tehnoloogiline vorm - Reoveesoojuspumba kombineeritud tüüpi kaugküttemeetod.....	28
1.3.8 Kolmas tehnoloogiline vorm .....	29
2. TALLINNA KONTEKSTIS KASUTATAVAD LAHENDUSED.....	31
2.1 Sobivaim tehnoloogia Tallinnale .....	32
3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED.....	34
KOKKUVÕTE .....	38
SUMMARY.....	39
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	41

# EESSÕNA

Bakalaureusetöö idee pakuti välja lõputöö juhendaja Kertu Lepiksaare poolt ning teema lõplik sõnastus formuleeriti koostöös autori ja juhendaja kokkuleppel. Lõputöös kajastatav info pärineb teadustöödest ning artiklitest, mis on väljatoodud kasutatud kirjanduse loetelus.

Lõputöö käigus on analüüsitud:

- kui suur on reovee soojuslik potentsiaal kaugküttes;
- kas ja kui suurt mõju avaldab süsteemi rakendamine reoveepuhastus protsessile;
- palju leiab antud tehnoloogia maailma tasandil kasutust;
- millised on tehnoloogilised lahendused;
- milline lahendus oleks kõige tõhusam Tallinnale.

Autor tänab juhendaja Kertu Lepiksaart meeldiva koostöö eest.

# SISSEJUHATUS

Kogu ülemaailmne tähelepanu on koondunud kliima- ja keskkonnamuutustele. Elamud ja hooned võtavad enda alla suure energiahulga, mida peetakse üheks peamiseks kasvuhoonegaaside heitmete põhjustajaks. Traditsioonilised energiaallikad on ammendumas ning globaalne soojenemine ja energiakriis panevad otsima uusi lahendusi, mida kasutada hoonete kütmisel, mis oleksid taskukohasemad, usaldusväärsemad ja puhtamad ehk toota ning kasutada energiat tõhusamalt. Lisaks karmistuvad eeskirjad, mis nõuavad kliimaeesmärkide täitmist. Samuti tuleb samaaegselt tegeleda ka energiajulgeoleku riskidega ja vähendada maagaasist sõltumist.

Üheks võimalikuks ressursiks on reovee heitsoojus, mida on alahinnatud, kuid millel on suur kasutamata potentsiaal. Mitmel pool maailma leiab antud tehnoloogia pädevat kasutust, kuid Eestis süsteemi rakendatud pole. Kasvav teadlikkus reoveest eralduvast liigsoojusest on tõhus lähenemisviis majandusliku kasu suurendamiseks, energia säästmiseks ja heitkoguste vähendamiseks. Selles kontekstis on kasutusel soojuspumbad, mis suudavad tõhusalt kütta hooneid ja tööstust. Need muutuvad kiiresti konkurentsivõimelisemaks, äratades huvi üha suurema hulga valitsuste, ettevõtete ja tarbijate seas üle maailma.

Käesolevas töös on autori eesmärgiks uurida, reovee heitsoojuse kasutamise võimalusi ning mõjusid erinevates kontekstides.

Töös keskendutakse peamiselt järgmistele aspektidele:

- kui suur on reovee soojuslik potentsiaal kaugküttes ehk reovee heitsoojuse tekkimine ja potentsiaal;
- reovee heitsoojuse kasutamise rakendused maailmas, kus on tehnoloogia rakendatud kütmise eesmärgil;
- millised on heitsoojuse kogumise ja ümbersuunamise tehnoloogilised lahendused;
- milline lahendus oleks kõige tõhusam Tallinnale.

Autori hüpotees on, et Tallinna puhul saab reovee heitsoojust edukalt kasutada kaugküttes.

Lõputöö teema valiti, sest antud valdkond pakkus huvi ning tegu on väga aktuaalse valdkonnaga, mida on vaja uurida ning käsitleda.

Käesoleva lõputöö metoodikaks on kirjanduse põhjal võimalike lahenduste uurimine ning selle põhjal kõige sobivama tehnoloogilise lahenduse leidmine ja analüüsimine.

Peatükkide ülevaade:

Esimeses peatükis „Reovee heitsoojuse kasutamine“ uuritakse reoveepuhastusprotsessi ning protsessi punkte, kust saaks heitsoojust ammendada. Tehakse kindlaks, millist mõju avaldab heitsoojuse taaskasutamine puhastusprotsessile. Tutvutakse soojuspumpadega, mida kasutatakse antud tehnoloogia rakendustes ning seoses sellega tehakse ülevaade maailmas kasutusel olevatest süsteemidest. Lõpetuseks tuuakse välja tehnoloogiad, mille abil saab reovee heitsoojust kasutada.

Teises peatükis „Tallinna kontekstis kasutatavad lahendused“ analüüsitakse kasutatavaid tehnoloogiaid ning leitakse Tallinnale sobivaim.

Kolmandas peatükis „Tulemused ja järeldused“ tuuakse välja Tallinna reovee heitsoojuse kasutamise tehnoloogia ning põhjendatakse ära, miks on tegu parima lahendusega ja leitakse ka selle miinuseid.



# 1. REOVEE HEITSOOJUSE KASUTAMINE

Uuritakse reoveepuhastusprotsessi ning protsessi punkte, kust saaks heitsoojust ammendada. Tehakse kindlaks, millist mõju avaldab heitsoojuse taaskasutamine puhastusprotsessile. Tutvutakse soojuspumpadega, mida kasutatakse antud tehnoloogia rakendustes ning seoses sellega tehakse ülevaade maailmas kasutusel olevatest süsteemidest. Lõpetuseks tuuakse välja tehnoloogiad, mille abil saab reovee heitsoojust kasutada.

## 1.1 Reovee puhastusprotsess

### 1.1.1 Reovee puhastusprotsessi kirjeldus Tallinna vee näitel

Tallinna ja selle lähiümbruse reo- ja sademevesi jõuab läbi kanalistsioonivõrgu Tallinna Paljassaare reoveepuhastusjaama. Kasutust leiavad vaid keskkonnasõbralikud ning kaasaegsed tehnoloogiad [1].

Puhastusprotsess algab tunnelkollektorite kaudu juhitud reovee pumpamisega reoveepuhastusjaama ehk peapumplasse, mille juures kasutatakse kolme survetoru [1].

Järgmiseks läbib reovesi mehaanilise puhastuse, mille alla kuuluvad võrehoone, liivapüünised ja eelsetitid. Võrehoones eraldatakse reoveest suurem praht, mida teostatakse kuue mehaanilise võre abil. Kogutud praht pestakse, pressitakse ja viiakse prügilasse. Liivapüünistest eraldatakse sademetega kanalisatsiooni pestud liiv ning tekkiv sete teisaldatakse samuti prügilasse. Viimases mehaanilise puhastuse etapis eraldatakse hõljuvad osakesed ehk toorsete, mis koguneb setiti põhja. Samuti vabanetakse ka pinnal ujuvatest rasvadest ja õlidest. Selle käigus kogunenud toorsete suunatakse edasi reoveesette käitlusesse [1].

Peale mehaanilist puhastust toimub kolme astmeline keemilis-bioloogiline puhastus. Esimeses etapis lisatakse veepuhastuskemikaal ehk koagulant. Koagulandi ülesandeks on koonduda vees leiduvate osakeste ümber, millega muudetakse mustus suuremaks ja raskemaks, mis lihtsustab reoveest fosforiühendite kättesaamist. Järgmisena suunatakse reovesi aerotankidesse. Siinses etapis kõrvaldatakse bioloogilisel teel ehk bakterite abil lämmastikuühendid. Aerotankide põhjas on difuuserid, mille abil juhitakse suurtes kogustes õhku läbi reovee ja samuti lisatakse ka metanooli ehk metüülakoholi – nii tagatakse efektiivne bioloogiline puhastus. Viimasena jõuab

järelsetititesse reovesi koos bakterite massiga ehk aktiivmuda, kus need omavahel eraldatakse. Mingi osa aktiivmudast pumbatakse tagasi süsteemi, teine osa ehk jääkaktiivmuda läheb edasi reoveesette käitlusesse. Peale mehaanilist ja bioloogilis-keemilist puhastust pumbatakse heitvesi Tallinna lahte. Pumbatav vesi on kordades puhtam kui lahes olev vesi [1].

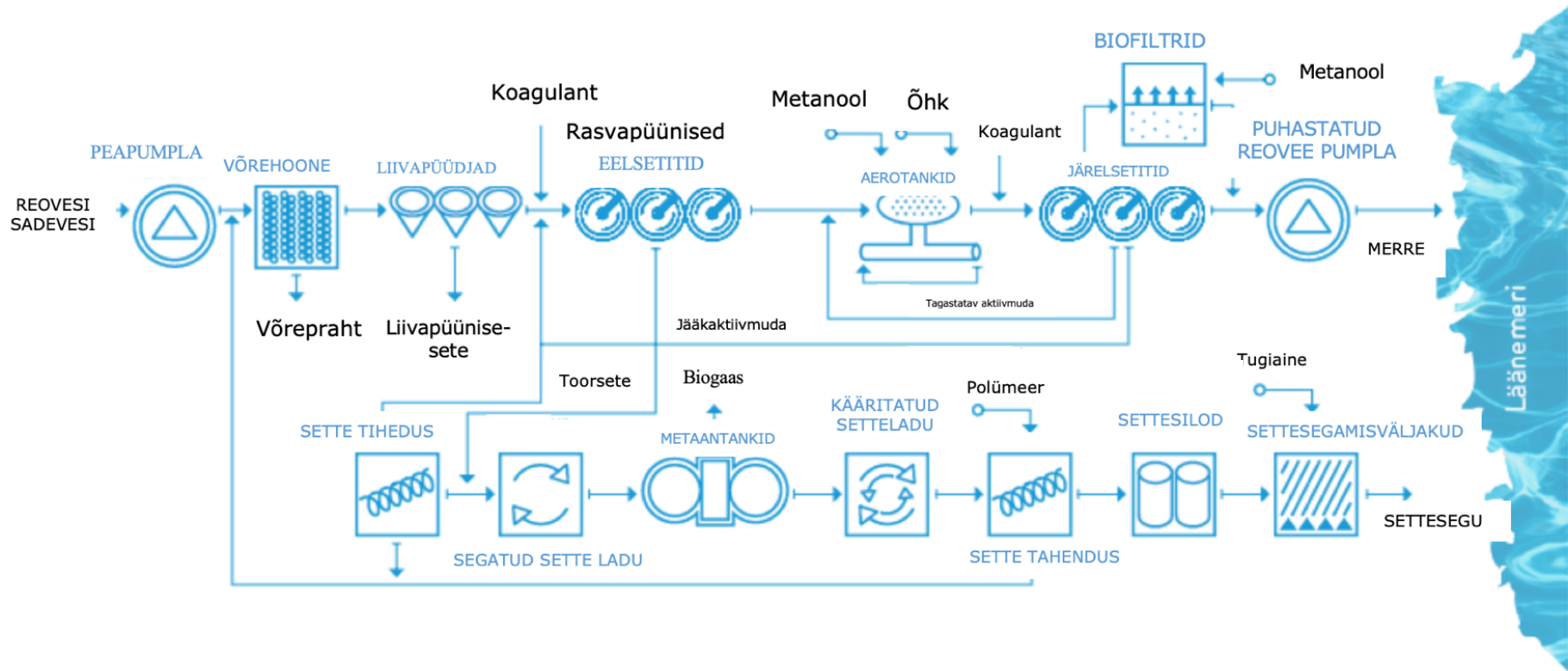
### **1.1.2 Reoveesette käitlus**

Eelsetititest eraldatud toorsete ja järelsetititest eraldatud jääkaktiivmuda pannakse omavahel kokku segatud sette laos [1].

Edasi kuumutatakse segu 37 kraadini ja pumbatakse metaantanki, kus viiakse läbi stabiliseerimine ehk sette anaeroobne käärimine. Selle käigus eraldub biogaas, millega köetakse katlamaja [1].

Järgnevalt pumbatakse stabiliseeritud reoveesete tsentrifuugidesse, milles toimub üleliigse vee eraldamine (joonis 1). Settele lisatakse flokulanti ehk spetsiaalset kemikaali, mille abil toimub vee eraldamine settest tõhusamalt. Järgnevalt viiakse valmis ehk tahenenud sete settesegamisväljakule [1].

Tahendatud settele lisatakse juurde turvast, mille tulemusel valmib kuue kuni kaheksa kuu jooksul kasvumuld [1].



Joonis 1. Reovee puhastusprotsessi skeem [1]

## 1.2 Reovee soojuse taaskasutamine kaugküttes

Reovesi on igasugune kasutatud vesi, mis on valdavalt inimtekkeline ning on tekkinud olme-, tööstuse- ja kaubandusliku tegevuse ning kasutuse käigus. Samuti kuuluvad sinna alla ka – pinnase äravool, kanalisatsiooni sissevool/infiltratsioon ja sademevesi. Reovesi on nende tegevuste kõrvalsaadus. Sellega seonduvalt on reovee koostis pidevas muutumises ja suuresti varieeruv, mille tõttu on reovee tähendust raske üheselt defineerida. Üldiselt koosneb reovesi 99,9% veest ja ülejäänud 0,1% alla kuulub see osa, mis vajab eemaldamist. Sinna alla kuuluvad erinevad mikroorganismid, orgaanilised ained ja anorgaanilised ühendid. Reovee kohta öeldakse ka tihti „kanalisatsioon“, mis tähendab, et tegu on veega, mis läbib kanalisatsiooni. Eristatakse ka mõistet „toorreovesi“, mis tähistab vett, mis ei ole veel reoveepuhastisse sisenenud [2], [3].

Olmereovesi tekib majapidamistegevuste käigus, mille alla kuuluvad näiteks duši all käimine, tualettruumi kasutamine, pesupesemine ja toidu valmistamine. Kaubanduslik reovesi on selle täielik vastand, mis pärineb erinevatest majandusharudest nagu näiteks autokere remonditöökoda, erinevaid iluteenuseid pakkuv salong jne. Tööstuslik reovesi tekib erinevate kaubanduslike ja tööstuslike tootmisprotsesside käigus, näiteks põllumajanduses [3]-[4].

Inimtegevuse tõttu sisaldab äravool komponente, mis võivad suuresti mõjutada pinnavee sisaldust ja seda reostada. Pisikesed aineosakesed hajuvad pinnavette ja põhjustavad selle hägustumist. Neid aineid ei saa kätte settimise ega filtreerimise teel. Samuti sisaldab vesi lahustuvaid ja lahustumatuid saasteaineid. Põhja-, sademe- ja pinnavee äravoolu saastajateks võivad olla ka tehistooted nagu näiteks õli, teetolm, nafta, mis muudavad vee samuti kasutuskõlbmatuks ja ohtlikuks [3].

Nagu eelnevalt mainitud, siis majapidamises toimub suures koguses vee soojendamise, mis annab omapoolse panuse energiatarbimises, mida juhitakse lihtsalt kanalisatsiooni. Enam ei peeta aga reovett raisatud ressursiks, tegu on märkimisväärset potentsiaali omava energiaallikaga, kust saab ammendada väärtuslikku energiat nii suuremate kogukondade kui ka linnaosade ulatuses [4], [5]. Sestap on tekkinud maailmas märgatav huvi seoses heitvee soojustagastusega ning soovitakse teada, millised protsessid ja seadmed on sellel alal kasutusel [6], [7]. Üldjuhul on hoonetes tekkiv soe vesi suure soojusvõimsusega ja selle keskmine temperatuur võib olla vahemikus 40–50°C [8]. Samuti on märkimisväärne potentsiaal

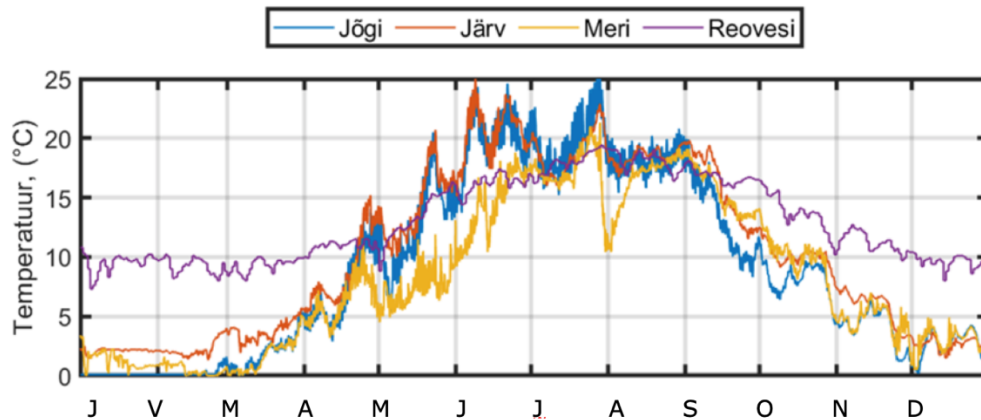
mitteeluhoonetel, mis tekitavad suurel hulgal reovett, näiteks: pesumajad, spaakeskused, spordihooned, hotellid, restoranid ja toiduainetööstused [9].

Reoveepuhastusjaamasid saab pidada piirkondlikeks energiaelementideks, mis võivad anda energiat kohalikesse energiavarustusvõrkudesse. Soojusvarustuse kogus sõltub suuresti tarbijate kaugusest ning reoveepuhasti puhastusvõimest ning samuti peab olemas olema kaugküttevõrk, kuhu saab reovee heitsoojust ammendada [5]. Rahvatervise hoidmise ning keskkonna kaitsmise seisukohalt on reoveepuhastus kriitilise tähtsusega protsess. Samuti on tegu väga energiamahuka tehnoloogiaga, mille käigus eraldub palju heitsoojust. Tänu sellele on tekkinud huvi kasutada reoveepuhastussektoris taastuvaid energiaallikaid ja energiatõhusaid tehnoloogiaid. Siit tulenevalt on üheks selliseks tehnoloogiaks heitvee soojuse taaskasutamine soojuspumpade abil, mille käigus kogutakse reovees sisalduv soojusenergia ja kasutatakse nii ruumide kütmiseks kui ka sooja vee saamiseks [2], [10]. Kaugküttesüsteemis toodab tsentraalne soojusallikas, näiteks soojuspump või katlamaja, kuuma vett või auru, mis järgnevalt jaotatakse läbi isoleeritud torude võrgu kasutajateni, kes tarbivad toasooja ja sooja vett. Kasutades aga reoveesoojust kaugkütte soojusallikana, aitaks antud süsteem vähendada suure hoonetihedusega linnapiirkondades energiatarbimist ja sellega kaasnevaid kasvuhoonegaaside heitkoguseid [11], [12].

Üheks näiteks võib tuua Hollandi, kus reovee kogus on äärmiselt suur, mis teeb äravooluvee keskmiseks temperatuuriks koguni 27 kraadi, mille soojuspotentsiaaliks hinnatakse suisa 21,3 MJ päevas [13]. Reovett peetakse pikaajaliseks stabiilseks soojusallikaks [14].

### **1.2.1 Põhjused, miks kasutada just reovett**

Joonisel 2 on näidatud, et reovee temperatuur on ka külmadel perioodidel võrdlemisi kõrge, just siis kui soojusvajadus on valdavalt suurim. Järvede, jõgede ja merevesi on aga külmumispunkti lähedal (jaanuaris, veebruaris), sestap on nendest allikatest soojuse eraldamine väga keeruline. Samuti tuleks soojusvaheti temperatuurierinevus väike, mis tekitaks selles suure vooluhulga, tänu millele vajaks seade lisainvesteeringuid – nii suuruse kui ka kulumise poolelt [15]. Seega on reovesi kõige sobivam soojusallikas, arvestades temperatuuri, pikaajalist stabiilsust ja lühimat kaugust linnapiirkondadest [16].



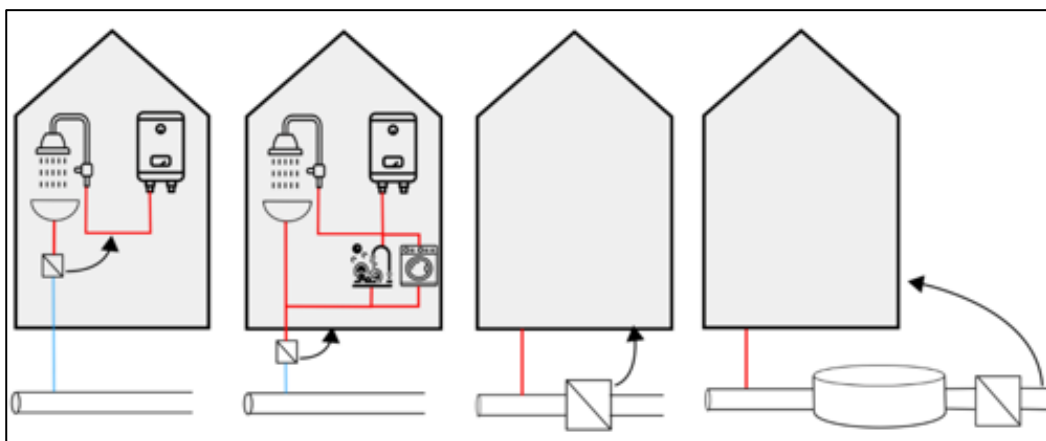
Joonis 2. Erinevate soojusallikate temperatuurid [16]

### 1.2.2 Protsessi punktid, kust on võimalik heitsoojust võtta

Kanaliseerimisüsteemis on laias laastus võimalik võtta heitsoojust neljast asukohast (joonis 3) [16].

1. Seadmete ehk komponendi tasandil
2. Leibkonna ehk hoone tasandil
3. Piirkonna tasandil ehk kanalisatsioonivõrgust/pumbajaamast
4. Süsteemi tasandil ehk reovee puhasti heitveest [9], [17].

Reoveest soojuse taaskasutamise võimalikud asukohad on välja toodud ka joonisel 3. Tänapäevaks on turul olemas igale protsessi punktile erinevad lahendused. Väikeste ja ebaregulaarsete vooluhulkadega süsteemide puhul (seadmete ja leibkonna tasandil) kasutatakse näiteks hallvee soojusvahetit, aga suurematel süsteemidel (piirkonna ning süsteemi tasandil) on tõhusamaks energia taaskasutamiseks soojuspumbad [18].



Joonis 3. Reoveest soojuse taaskasutamise võimalikud asukohad [9]

Esimesed kolm pole tegelikult head lahendused, sest võivad põhjustada reoveepuhastusjaamale probleeme. Näiteks nitrifikatsioon, mis tekib temperatuuri muutustest [18].

### **Seadme ehk komponendi tasandil**

Antud punktis kogutakse soojust koheselt pärast selle tekitamist, mille alla kuuluvad näiteks pesupesemine, toiduvalmistamine, duši all käimine. Heitsoojust eraldatakse soojusvaheti abil. Kätte saadud soojust saab koheselt rakendada näiteks sissevoolava külma vee eelsoojendamiseks, kasutades taaskasutatud soojust. Kõige populaarsemaks rakenduseks on dušivee soojustagastus. Rakenduse peamiseks eeliseks on pidev veeringlemine – reovee vastuvool ning sissetuleva külma vee kasutamine, tänu millele omab lahendus kõrget efektiivsust, sest soojusvahetusele kulub vähem energiat ja puudub ajavahe. Selle käigus kulub kuni 55% vähem energiat [9], [18]-[19].

### **Leibkonna ehk hoone ehk majapidamise tasandil**

Majapidamise tasandil võetakse soojust tagasi ühest tervest hoonest eraldatud heitveest. Hoone tasandil võib olla energiasääst kõrgem kui üksikute komponentide tasemel, sest reovee hulk on suurem ning kuuma vett akumuleerivad mitmekordsed tegevused. Süsteemi tegevust pärsib aga segus sisalduv külm heitvesi, mis vähendab vee energiapotentsiaali. Leibkonna tasandil kogutakse reovesi üldjuhul mahutisse ja soojust ammendatakse soojusvaheti või veesoojuspumba abil. Juhul kui taaskasutatud soojus ei leia koheselt kasutust, saab seda hoiustada kuumaveepaagis ja kasutada hiljem, kui on vastav vajadus [9].

### **Piirkonna tasandil**

Piirkonna tasandil ehk kanalisatsioonitorustikust soojust kätte saamisel on kaks võimalikku viisi. Üheks lahenduseks on paigaldada soojusvaheti torusängi ja soojuspumba abil antakse energia tsentraliseeritud küttesüsteemi. Teiseks võimaluseks on paigaldada väline soojusvaheti, mis asuks maapinnast kõrgemal, kuhu pumbatakse eelnevalt sõelatud reovesi. Sealjuures on soojusvaheti ühendatud soojuspumbaga [9].

### **Süsteemi tasandil ehk reovee puhasti heitveest**

Heitsoojust saab kasutada ka alles pärast biopuhasteid, sest vastavalt reovee puhastuse protsessi eripäradele peab reovesi olema biofiltris piisavalt kõrge temperatuuriga, et bioloogilise puhastamise seadme aktiivsus ei väheneks ja annaks soovitud tulemusi. Piisavalt kõrge temperatuur tähendab vähemalt ligikaudu 10°C. Samuti peab olema protsessi hapnikukogus piisav, et tagada biofiltri hea toimivus [20].

## **Protsessipunktid, kust on võimalik soojust taaskasutada**

### **(Reoveepuhastusjaamas):**

Sobiva asukoha teada saamiseks, millisest konkreetsest kohast on kõige ratsionaalsem ning tasuvam ja protsessi mittemõjutavam soojust ammendada, tuleb mõõta erinevaid suuruseid - nagu näiteks vooluhulka ja temperatuuri, et vastavale süsteemile teostada kõige parem lahendus [21].

1. Toorreoveest enne puhastamist
2. Osaliselt puhastatud veest reoveepuhastusjaamas
3. Heitveest peale puhastamist [9].

### **Soojuse taaskasutamine toorreoveest**

Toorreovee temperatuur ja energia on kõrgeim, võrreldes edasise reoveega, kuid vee kvaliteet on aga madalaim, tänu millele on tehnilise poole pealt sissevoolu vee kasutamine hulga keerulisem, pakkudes laiaulatuslikku väljakutset. Vee temperatuur on keskmiselt 10-20 kraadi [9].

### **Osaliselt puhastatud veest soojuse taaskasutamine**

Vee temperatuur langeb ja kvaliteet tõuseb ühes vee liikumisega läbi reoveepuhastusjaama. Siinsest punktist on selle tõttu soojuse kättesaamine reaalsem, sest vee puhastamisega väheneb tehniline raskus, kuid tegu pole siiski kõige ratsionaalsema asukohaga [9].

### **Puhastatud heitveest soojuse kättesaamine**

Kõige suurem potentsiaal on heitsoojuse taaskasutamine puhastatud reoveest, sest reoveest allavoolu tulevat vett on võimalik jahutada palju madalamate väärtusteni. Lisaks omab heitvesi suuremat vooluhulka, mis on samuti oluliseks faktoriks soojuse taastamisel. Soojuspumpade jõudlus on hea, sest süsteemis on veetemperatuuri kõikumine minimaalne. Samuti on suureks eeliseks, et vesi on puhastatud ehk seeläbi ei teki lisaprobleeme. Näiteks ei eraldu biosaastet ning tahked ained ei satu soojusvahetisse, mille tõttu tagatakse soojusülekande efektiivsus. Selles punktis on soojuse kättesaamise suureks puuduseks, et soojustarbijad ei asu tavaliselt reoveepuhastusjaama läheduses ning transportimise käigus tekivad suured soojuskaod, kuid antud puudus pole ületamatu ning tavaliselt kasutatakse soojuse kättesaamiseks siiski puhastusjärgset vett [9]. Tabelis 1 on antud kokkuvõtlik ülevaade erinevate süsteemi osade plussidest ning miinustest.



Tabel 1. Soojustagastuse plussid ja miinused erinevates reovee süsteemi osades [9]

	<b>Eelised</b>	<b>Puudused</b>
<b>Majasiseselt/hoone tasandil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõrge vee temperatuur</li> <li>• Lühike vahemaa soojuse transportimisel (madalad soojuskaod)</li> <li>• Tootjad = tarbijad</li> <li>• Mujalt lisanduv vesi ei mõjuta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suured kõikumised</li> <li>• Tippnõudluse ajal on raske maksimaalset nõudlust täita</li> <li>• Detsentraliseeritud süsteem</li> <li>• Suured tegevuskulud</li> </ul>
<b>Kanalisatsioonitorustikust</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suurtes kogustes heitvett</li> <li>• Suhteliselt lühike vahemaa soojuse transportimiseks</li> <li>• Mõõdukas reovee temperatuur → taastab kanalisatsioonist muidu kaduma läinud soojuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On kanalisatsioonivõrgust sõltuv</li> <li>• Võib avaldada mõju reoveepuhastus protsessile</li> <li>• Puhastamata reovesi seadmetes mõjutab seadmete kulu ning seisuaja pikkust</li> </ul>
<b>Puhastatud veest</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei mõjuta reoveepuhastus protsessi</li> <li>• Suur heitvee voolukiirus → suur soojusvahetus</li> <li>• Seadmeid läbib puhas vesi</li> <li>• Jahutab keskkonda ladestatavat heitvett</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tootmine tarbijast kaugel</li> <li>• Madal reovee temperatuur</li> </ul>

### **1.3 Soojuse eemaldamise mõju puhastusprotsessile**

Heitvee temperatuuri hoidmine on bioloogilises puhastusetapis esmatähtis, kuna temperatuuri langedes muutuvad bakterite elutingimused, mistõttu võivad nad toimida aeglasemalt ja vee puhastus on ebaefektiivsem. Vesi on selles etapis äärmiselt temperatuuri tundlik. Samuti võib puhastamata vee kasutamine tuua kaasa lisakulutusi nii puhastusvahendite näol kui ka vajada teatavaid täiendusi soojusvaheti konstruktsiooni muutmise osas. Lisaks sisaldab ka puhastatud vesi suures koguses toitaineid, mis võimaldavad soodustada bakterite levikut, sestap võib sujuva töö tagamiseks vaja minna filtreid ning puhastatavaid seadmeid [15].

Reoveepuhastis ei tohi olla ka kõrgendatud temperatuurid, sest sekundaarsetes puhastusprotsessides võib temperatuuri muut mõju avaldada osalevatele desinfitseerivatele lahustele või bakteritele. Lisaks vajalike mikroorganismide hävitamisele, mis mängivad rolli orgaaniliste materjalide lagundamisel, kahjustab kõrge temperatuur ka filtreerimiskiudusid, mis omakorda pärsivad bakterite võimet setteid flokuleerida ja mõjutavad nende kasvu [21].

Reoveesoojuse kasutamine võib teisest küljest parandada orgaanilise aine biolagunevust, läbi mille paraneb bioloogilise puhastusprotsessi jõudlus ning väheneb reoveepuhasti üldine energiakulu. Ühes uuringus toodi välja, et keskkonda võivad sattuda lämmastiku- ja fosforühendid, mis võivad viia veekogude eutrofeerumiseni. Aktiivmudaprotsessis võib paraneda protsessi tootlikus, see tähendab, et suureneb saasteainete eemaldamise efektiivsus, tõuseb biogaasi tootmise osakaal ja sealjuures väheneb muda tekkimine. Kokkuvõttes näitavad hiljutised uuringud, et sellel tehnoloogial on potentsiaali ning sellega kaasneks positiivset mõju, kuid siiski vajab täiendavaid lisauuringuid, et teha kindlaks parimad lahendused, et rakendada tehnoloogiat ohutult ning tõhusalt [22]–[26].

## **1.4 Reovee heitsoojuse kasutamine soojuspumpade abil**

### **1.3.1 Direktiivid**

Euroopa Liit on seadnud eesmärgiks vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid vähemalt 40% võrra, võrreldes 1990 aastaga. Samuti peab liit suurendama taastuvenergia osakaalu vähemalt 32%-ni kogu energiatootmisest [27]. Vastavalt energialiidu ja kliimameetmete juhtimise määrusele (EU/2018/1999) on Euroopa Liidu liikmesriigid kehtestanud 10-aastase integreeritud riikliku energia- ja kliimakava. Sellistel asjaoludel on taastuvad energiaallikad viimastel aastatel suurt huvi pakkunud. Samuti määratles Euroopa Liidu direktiiv 2018/2001 reovett kui taastuvat soojusallikat [28].

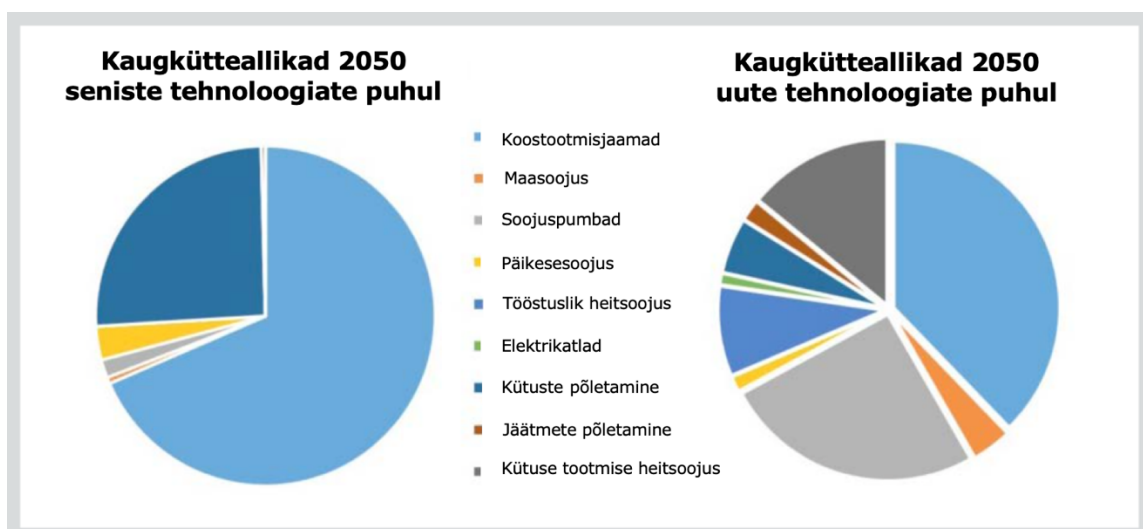
Pariisis, 2015 aasta detsembris, toimunud konverentsil, kus osales 21 osapoolt, jõuti kliimamuutuste osas ajaloolisele kokkuleppele, et 2100. aastaks piiratakse süsinikdioksiidi heitkoguseid selleni, et globaalse temperatuuri tõus oleks maksimaalselt kuni 2 kraadi, mille juures on põhiliseks eesmärgiks püsida siiski 1,5 kraadi juures [29]. Kütte- ja jahutussektor kasutab hinnanguliselt poole kogu Euroopas tarbitavast energiast [30].

Nende eesmärkide saavutamisel on otsustav roll küttesektoril, mille negatiivse mõju leevendamiseks on vaja energiatõhususe parandamise meetmeid nii pakkumise kui nõudluse poolel koos taastuvate energiaallikate kaasamisega. Enim tähelepanu pöörati nõudluse poolele ja hoonefondi moderniseerimisele, kuid viimasel ajal on suurem tähelepanu koondunud soojusvarustuse tüübile [29], [30].

Euroopa soojus tegevuskava analüüsi käigus selgitati välja, et suuremahulised elektrilised soojuspumpad ja kaugküttesüsteemid muutuvad Euroopa tasandil üha olulisemaks. Selles uuringus vaadati kombineeritud moderniseerimise ja kaugküttestrateegia potentsiaali, kvantifitseeriti ja hinnati suuremahulisi elektrilisi soojuspumpasid, mis omaksid ligikaudu 40 GW soojusvõimsust ning leiti, et antud suuremahulised soojuspumpad toodaksid hinnanguliselt 520 TWh soojust aastas. 2050. aastal on kaugküttes toodang arvestuslikult 1571 TWh soojust aastas. See tähendab, et arvestades tootmise osakaalu, on võimalik kasutada palju rohkem alternatiivseid soojusallikaid, alates taastuvatest energiaallikatest kuni heitsoojuseni [31][32]

Ennustatakse, et kaugküte üldiselt ja eelkõige võrkudega ühendatud soojuspumpad

mängivad energiavõrgus ja- varustuses tulevikus võtmerolli. Joonisel 4 on näidatud kaks võimalikku stsenaariumi aastaks 2050, kus on välja toodud kütteallikate jaotus. Vasak poolisel joonisel on kajastatud kütte- ja jahutussektori praegust olukorda ning paremal tuuakse välja, mida oleks võimalik uute tehnoloogiate kasutusele võtu puhul saavutada. Samuti leiti uuringu käigus, et läbi uuenduslike tehnoloogiate on võimalik katta kuni 50% Euroopa küttevajadusest, millest 25% põhineks soojuspumpade kasutamise tehnoloogiatel, mis kasutaksid ülimadala temperatuuriga soojusvõrkude kontseptsioone ja lahendusi [33].



Joonis 4. Tuleviku stsenaariumid kaugküttesüsteemides [33]

2022. aasta märtsis võeti Euroopa Liidu poolt vastu otsus, et Venemaalt tuleva maagaasi import tuleb kaotada palju enne 2030. aastat, seega gaasinõudluse sõltumatusele pööratakse ka seetõttu suuremat tähelepanu kui kunagi varem [32].

### 1.3.2 Energia taaskasutamise peamised põhjused

Reovee voolu- ja temperatuurimadused sõltuvad suuresti hoone tüübist, kuid üldjoontes suudab olme-, tööstus- või kaubandusarenduste reovesi säilitada pärast kanalisatsiooni juhtimist märkimisväärset koguses soojuseenergiat. Keskmiselt jääb temperatuur vahemikku 10-25 kraadi ning omab sealjuures suurt voolu mahtu [9], [34]. Sestap võib reovett pidada perspektiivseks soojuspumba soojusallikaks, mida saaks kasutada kaugküttes, kas ruumide kütmiseks ja/või hoone külma veevarustuse eelsoojendamiseks – see oleneb saadaval oleva soojuse mahust [27], [35]. Suureks tõukeks on ka temperatuuri sisuline erinevus – see tähendab, et vee temperatuur on valdaval osal ajast kõrgem kui ümbritseva keskkonna temperatuur [15]. Samuti püsib reovee keskmine temperatuur kanalisatsioonis aastaringselt suhteliselt ühtlane, mis on oluline soojuspumba kasutusele võtul [36].

Soojust on võimalik taastada selliste tehnoloogiate abil nagu soojusvahetid ja soojuspumbad [9]. Soojuspumba tehnoloogia tähendab, et soojuse ühest kohast teise ülekandmisel kasutatakse elektrit ja vastupidist külmutustsükli [37]. Suuremahulised soojuspumbad võivad anda võimaluse kasutada kaugküttesüsteemides tõhusalt ära madalakvaliteedilist soojust. Soojuspumbad on võimelised energiasüsteeme tasakaalustama ja aitavad integreerida süsteemi erinevaid mitmekülgseid energiaallikaid. Nad pakuvad klientidele hõlpsasti kütet kohalikest soojusallikatest, näiteks põhja-, järve-, jõe- ja mereveest või heitsoojusest [15].

Tehnoloogiad madala kuni kõrge temperatuuriga allikate potentsiaali kasutamiseks soojuse taaskasutamiseks on saadaval ja nende töörežiim on hästi teada [38]. Soojuspump koos heitsoojusallikaga on väga tõhus ja majanduslikult ning ökoloogiliselt hea tehnoloogia, mis kasutab taastuvaid energiaallikaid ja toodavad läbi selle vähem kasvahoonegaase. Üldiselt on energia taaskasutamise süsteemid üheks perspektiivikamaks lahenduseks, millega vähendada soojuskadusid, näiteks energia kandumine ühest süsteemist teise (veepuhastusprotsess) [39]-[40].

Samuti on oluline välja tuua, et soojuspumpade puhul on keskmine soojustegur (COP – *Coefficient of Performance*) 4,6, aga ülejäänud soojuspumpadel on COP vahemikus vaid 3,5-4. Mõiste COP on kasutusele võetud iseloomustamiseks soojuspumba efektiivsust. Antud tegur näitab suhet soojuspumba poolt toodetud energia ning selle energia tootmiseks kulutatud energia vahel [14].

Hiljutine analüüs näitab, et peaaegu 4000 reoveepuhastit Euroopas asuvad olemasolevate võrkude vahetus läheduses [35] Antud jaamad kokku suudaksid toota 175 TWh soojust aastas, mis võrdub ligikaudu viiendikuga Euroopa praegusest kaugküttes toodetud soojusest [32].

Näiteks kui kasutada soojusvõimsuseks 10 kW-20 MW ja lähtetemperatuuriks on aastaläbi keskmiselt 10-25 kraadi, siis Itaalia linnas Bolognas läbitud uuringu käigus selgus, et reovesi kannab endaga kaasas suures koguses madala kvaliteediga soojust, aga sealjuures ei saa temperatuuritase aastaegade lõikes oluliselt mõjutada. Kõikumised on kuskil 2-3 kraadi piires. Veelgi täpsemalt öeldes, on aastane temperatuuritase Bologna reovees koguni vahemikus 10-22 kraadi [41].

### **1.3.3 Esimene tehnoloogia ning levik Euroopas**

Soojuspumba abil reovee soojuse taaskasutamise süsteem sai alguse juba 1981. aastal Šveitsis, sestap peetakse Šveitsi ka antud tehnoloogia kasutamise teerajajaks

[42]. Ka Rootsit loetakse püsivaks liidriks reovee soojuse taaskasutamise tehnoloogias mitte ainult kasutamise poole pealt, vaid ka arendajana [43]-[44].

Ainuüksi Rootsis, Norras, Soomes ja Šveitsis on kokku kasutuses 54 soojuspumpa, mis kasutavad reoveest eraldatud soojust kaugküttesüsteemides. Nende soojuspumpade installeeritud koguvõimsuseks on 931 MW, moodustades sellega 56% kogu installeeritud võimsusest, keskmiseks võimsuseks on 17 MW ühiku kohta ning keskmiseks temperatuurivahemikuks on 10–20 kraadi. Nende tehnoloogiate juures kasutatakse soojusallikana üldjuhul puhastatud reovett kui välja arvata mõned Norras asuvatest soojuspumpadest [14]. Lisaks eelmainitud riikidele on tehnoloogia kasutusel näiteks ka Taanis, Prantsusmaal ja Itaalias. Ainuüksi Euroopas eksisteeris 2017-ndaks aastaks umbes 149 suuremahulist soojuspumpa [15].

Suurima võimsusega soojuspumbad on paigaldatud näiteks Stockholmi (225 MW), Göteborgi (160 MW), Helsingisse (90 MW) ja Oslosse (40 MW). Antud linnad on suurepäraseks eeskujuks, millele tuginedes saaks ka teistesse Euroopa linnadesse sarnaseid lahendusi luua ning samamoodi saada kasu kaugküttesüsteemidest [14].

#### **1.3.4 Tehnoloogia kasutus maailmamastaabis**

Projekte on ellu viidud ka näiteks Austraalias, Hiinas, Jaapanis, Kanadas ja Ameerika Ühendriikides. Kogu maailmas töötab üle 500 soojustagastusjaama, mis saavad soojuspumpade abil tooreveest ja puhastatud reoveest soojuse kätte [45]-[46]. Kasutusarv on suhteliselt suur, kuid sellegipoolest tuleb siiski tõdeda, et suures osas on reovee kasutamise potentsiaal kaugküttes kasutama [32], [43]. Peamised tootjad on teatavaks teinud plaani, et soovivad investeerida enam kui 4 miljardit USA dollarit, et suurendada soojuspumpade tootmist, lisaks ka muudesse jookvatesse kuludesse ja põhifookuseks on Euroopa [32].

Üheks näiteks on USA's Washingtonis *DC Water* peakontor, mille eesmärgiks oli saavutada jätkusuutlikkuse uus tase, tänu millele saavad ka kütte- ja jahutuskoormused kaetud reovee soojuse abil, mida käideldakse koos soojuspumba süsteemiga. Suureks eeliseks oli tehnoloogia loomisel see, et kaks kolmandikku kogu kanalisatsiooni väljavoolust voolab läbi maa-aluse infrastruktuuri, sestap on süsteemil praktiliselt katkematu soojusenergia tarnimine. 1500 m<sup>2</sup> suurune nüüdisaegne roheline peakontor valmis 2018. aastal ning oli esimene sellise tehnoloogiaga ehitis USA's, kus tuleb nii jahutus kui ka küte heitvee soojuse taaskasutamisest. Kasutades sellist lahendust, on büroohoone enda piirkonnas, üks kõige vähem energiat tarbivam

hoone[43], [47]. Rohkem näiteid on esitatud Tabelis 2, kus on välja toodud ka tehnoloogia võimsus, COP, tarbijad ning asutus aasta.

Tabel 2. Reovee soojuste taaskasutamise näited

RIIK	VÕIMSUS (MW)	SOOJUSTE TARBIDAJAD	COP	AASTA	ALLIKAS
Rootsi - Näide 1	160	Majapidamised	3	1985	[48]
Rootsi - NÄIDE 2	225	Elu- ja ärihooned (~95 000 kahetoalist korterit)	3,5	1986	[43]-[44]
Rootsi - NÄIDE 3	30-40	Elumajad (~10 000 korterit)	3,5	2021	[50]
Norra	23	Bürood/kontorid/elamud	3-4,5	1989	[43], [49]-[50]
Ungari - Näide 1	3,8	NATO Sõjaväehaigla (40,000 m <sup>2</sup> )	6,5-7,1	2014	[43]
Ungari - Näide 2	1,3	Ülikoolihoone (15 000 m <sup>2</sup> )	4-4,5	2015	[43]
Ungari - Näide 3	1,7	Vallamaja ja Turuhall (20 000m <sup>2</sup> )	4-4,5	2015	[43]
Šotimaa	0,8	Ülikoolilinnak	4,8	2015	[51]-[52]
Taani	10	Majapidamised (~5010 tarbijat)	4	2017	[53]-[54]
Saksamaa - Näide 1	0,243	Büroohoone	3,9	2004	[53]

### 1.3.5 Heitsoojuste kasutamine soojuspumpade abil

Suuremahulised soojuspumbad on tunnustatud oluliseks tehnoloogiaks, mida saab rakendada elektri- ja küttesektori integreerimise kaudu [55]. Mida väiksem on temperatuuride erinevus kahe soojuskandja vahel, seda energiatõhusam on soojuspump. Energiatõhusust väljendatakse soojuste saagise ja energiatarbimise suhtena, mis jääb vahemikku 4-6 [54].

#### **Vesisoojuspumbad ehk vesi-vesi soojuspumbad (WSHP - Water-Source Heat Pump)**

Vesi-vesi soojuspumpasid kasutatakse tavaliselt heitvee soojuste taaskasutamiseks. Soojust eraldatakse veeallikast, näiteks reoveest, ja suunatakse edasi teisele veeahelale, mis varustab kaugküttesüsteemi. Reovesi toimib soojusallikana ning soojuspump tõstab väljavõetud soojuste temperatuuri kaugkütteks sobivale tasemele

[56]. Joonisel 5 on näha, et soojuspump koosneb kondensaatorist, paisventiilist ja kahest soojusvahetist – aurustist ja kompressorist [32]. Töötamiseks kasutatakse külmutusagensi ehk külmainet, mille ülesandeks on heitveest soojust absorbeerida ehk neelata. Aurustunud külmaine surutakse kompressoriga kokku ja see veeldub, tänu millele tõuseb süsteemis temperatuur mitmekümne kraadi võrra. Järgmisena suunatakse soojuskandja edasi kondensaatorisse [57]. Peale seda annab soojuskandja ära soojuse tarbijale läbi soojusvaheti ja kondenseerub osaliselt. Edasi juhitakse soojuskandja paisventiili, kus selle rõhk ja temperatuur langevad ning kondenseerub täielikult ja on valmis minema uuele ringile, et ammutada soojust väliskeskkonnast läbi esimese soojusvaheti. Sel viisil toimubki soojuse teisaldamine madalatemperatuurilisest keskkonnast kõrgema temperatuuriga keskkonda [58].

Vesisoojuspumpasid saab kasutada erinevates konfiguratsioonides, näiteks otsevahetussüsteemides või sekundaarse soojusülekandevedelikuga kaudsetes süsteemides. Need soojuspumbad on eriti sobivad, kui reovee temperatuur on mõõdukas, tavaliselt vahemikus 5-25°C. Neid kasutatakse laialdaselt linnapiirkondades, kus reovesi on kergesti kättesaadav [56], [59].

Hoonetesse jõuab soojus, kas sundõhu- või hüdrostsüsteemiga, milleks on radiaatorid või pörandaküte. Lisaks suudavad ka enamused soojuspumpasid pakkuda suvel ruumide jahutust. Suuremahulised soojuspumbad, mis asuvad kaugküttevõrkudes, nõuavad kõrgemat sisendtemperatuuri, mida saab hankida reovee heitsoojusest [32]. Soojuspumba tehnoloogia võimaldab rakendada heitsoojust paljudes variatsioonides: küttes ja jahutades ruume, toota sooja vett, kütta protsesse [57].

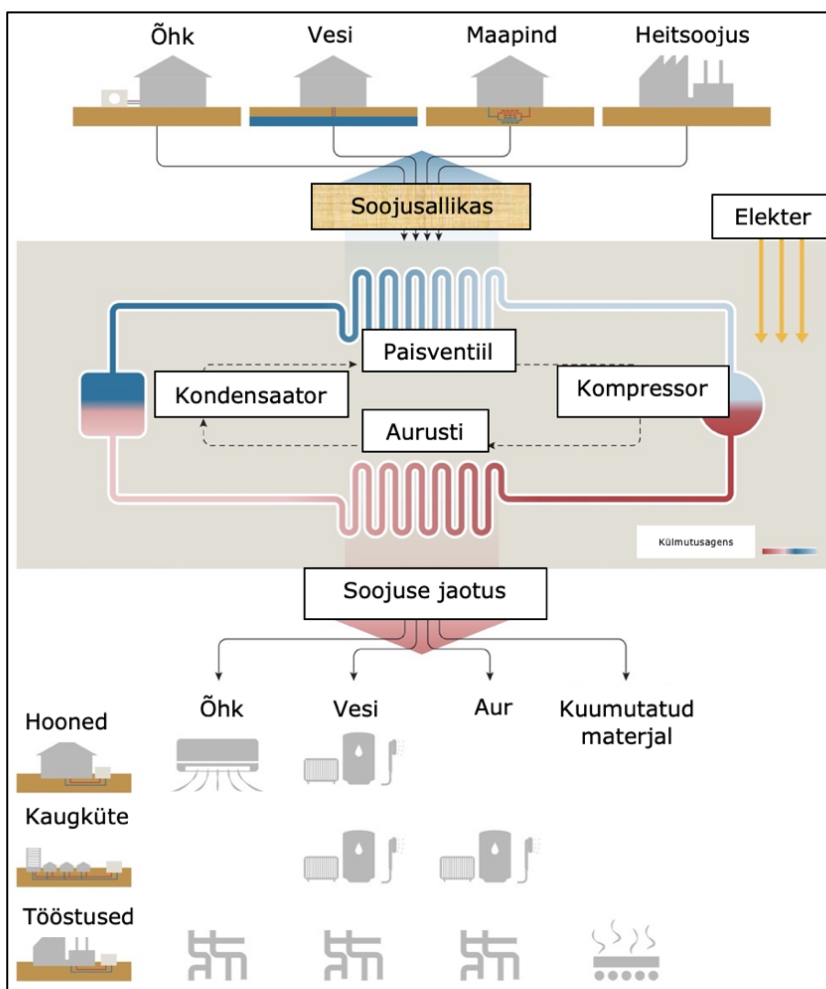
### **Reoveesoojuspumbad** (*SSHP - Sewage-Source Heat Pump*)

Reoveesoojuspumbad ehk reovee-vesisoojuspumpad, mis on mõeldud soojuse eraldamiseks toorest reoveest. Nagu ka vesi-vesi soojuspumbad, siis koosnevad need ka aurustist, kompressorist, kondensaatorist ja paisventiilist. Soojuspumbad koguvad soojusenergiat otse reoveevoolus oleva soojusvaheti kaudu. Reoveest eraldatud soojus suunatakse eraldi veeahelasse, mis toidab kaugküttesüsteemi [56].

Reoveesoojuspumbad on soodsad kohtades, kus on otsene juurdepääs reoveele ja reovee temperatuur püsib aastaringselt suhteliselt stabiilne. Need süsteemid võivad olla eriti tõhusad reoveepuhastites või piirkondades, kus on palju elamuid või ärihooneid [56].



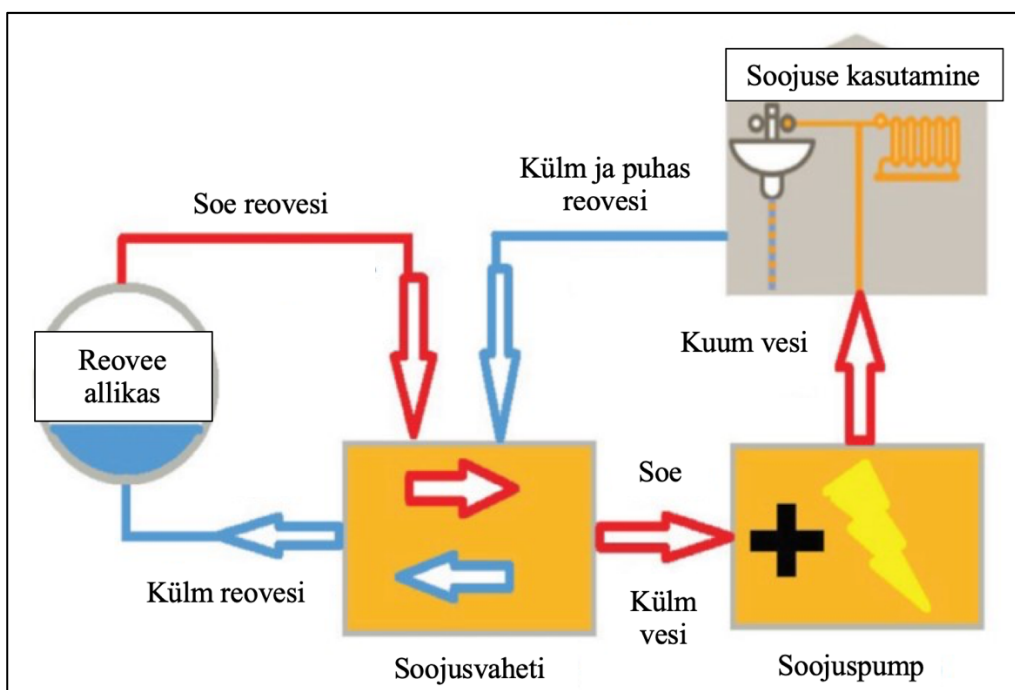
Nii vesisoojuspumbad kui ka kanalisatsioonisoojuspumbad tagavad tõhusa soojustagastuse, võimendades reovee või kanalisatsiooni temperatuuride erinevust soovitud kaugkütte temperatuuri vahel. Neid saab mõõta ja projekteerida nii, et need vastaksid reovee omaduste ja kaugküttesüsteemi spetsiifilistele nõuetele. Valik nende vahel sõltub sellistest teguritest nagu: reovee omadused, temperatuuride erinevused, süsteeminõuded ja kohalikud tingimused. Joonisel 5 on välja toodud soojuspumba tööpõhimõte [56].



Joonis 5. Soojuspumba tööpõhimõte [32]

Reovee heitsoojuse kasutamiseks on kindlat tüüpi soojuspumbad – joonis 6. Tegemist on (*Water-Source*) veest soojust ammutava soojuspumbaga, eriti seda juhul kui tegemist on soojuse ammutamisega puhastatud reoveest. Veesoojuspumbad erinevad teistest soojuspumpadest esimese soojusvaheti poolest, kuna soojust tuleb ammutada vee keskkonnast, mitte õhust või maapinnast. Kui kasutatakse puhastamata reovett, siis on soojuspumba esimese soojusvaheti puhul oluline, et seda oleks kerge puhastada, kuna soojusvaheti pindadele ladestuv saaste halvendab oluliselt soojusülekanget ning seda tuleb perioodiliselt eemaldada, et kindlustada soojusvahetuse toimimine ja sellega ka soojuspumba töö. Kuna reovee soojusallika

pumbasüsteemi rakendamisel on põhiprobleemiks filtreerimistehnoloogia, on väga oluline valida õiged filtreerimisseadmed [60].



Joonis 6. Heitvee soojuse taaskasutamise protsess, kus on soojuspumba ja reovee vahel soojusvaheti [61]

### 1.3.6 Esimene tehnoloogiline vorm – reoveesoojuspumbaga detsentraliseeritud küttemetod ehk soojuse taastamine otse kanalisatsioonist

See meetod tähendab reoveepuhasti ja reoveesoojuspumba süsteemi ühist ehitamist ehk reoveepuhasti ümber ehitatakse reoveesoojuspumbaga küttejääm. Soojus taaskasutatakse reoveest ja kasutatakse hoonete kütmisel. Selle tehnoloogia puhul on kütmisraadius piiritletud, mis tähendab, et seda saab rakendada vaid lähedal asuvate hoonete kütmiseks. Antud tehnoloogia ei suuda kogu linna küttesüsteemi soojusega varustada [54], [62].

Tehnoloogia kirjeldus ühest kasutusel olevast süsteemist (joonisel 7):

1. Reovesi eemaldatakse kanalisatsioonist ja sõelutakse läbi kruvisõelaga.
2. Järgnevalt pumbatakse vesi läbi maapealsete soojusvahetite – olemasolevatele kanalisatsioonitorustike invertidele saab paigaldada spetsiaalsed soojusvahetid.
3. Peale seda suunatakse vesi kanalisatsiooni tagasi.

Tehnoloogia suureks positiivseks küljeks on, et reovee sõelumine ja pumpamine toimub tagasi kanalisatsiooni, mis tagab tõhusama soojusülekanne, sest selle vee vool täpselt välja arvatud [54].

Joonisel 7 on välja toodud ka süsteemi osad, milleks on:

- kanalisatsioon(1),
- kanalisatsiooni väljavool(2),
- kruvisõel(3),
- settekoguja(4),
- sõelutud reovesi(5),
- soojusvaheti(6),
- soojuspump ja sojussalvestuspaak(7),
- küttevete liitumiskoht tarbijatega(8),
- jahutatud kanalisatsiooni tagasivool(9),
- sõelumine ja reovee tagasivool kanalisatsiooni(10).



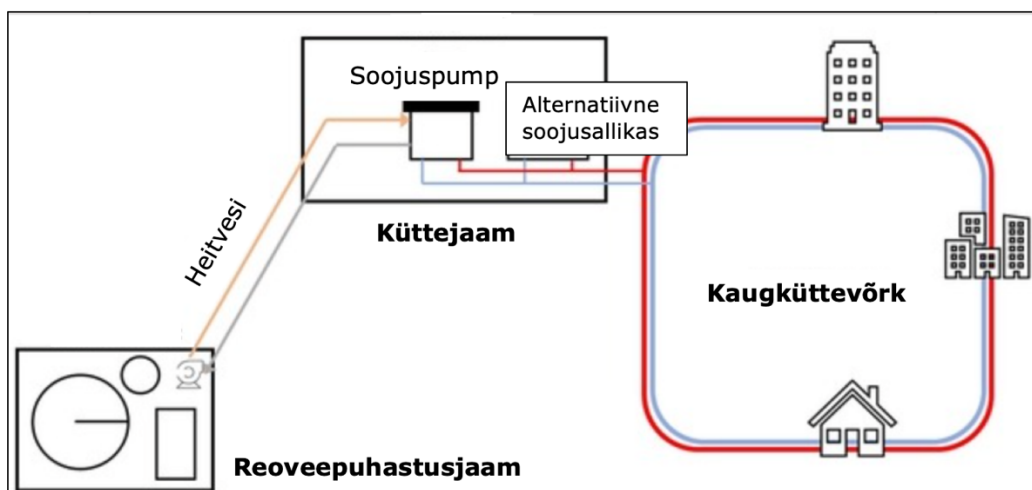
Joonis 7. Detsentraliseeritud küttemeetod [54]

Tehnoloogia plussid: lokaalne soojusallikas, ei mõju reovee puhastamisele (välja arvatud see, et reovesi jahtub 1-2 kraadi võrra), tõhus energiakasutus, ei sõltu kanalisatsiooni suurusest, kasutusel on kompaktsed ja kulutõhusad soojusvahetid, kasutatakse maapealset soojusvahetit (lihtne juurdepääs paigaldamiseks ja hoolduseks), olemasolevatesse kanalisatsioonitorudesse minimaalne sekkumine (puuritakse vaid kaks auku) [54].

Miinused: on võimalik kasutusele võtta ainult suure läbimõõduga kanalisatsioonitorudes, soojusülekande tõhusust takistavad selliste soojusvahetite pinnal olevad saastekihid, soojusvahetite paigaldamine ja hooldus on keeruline ning kallis [54].

### 1.3.7 Teine tehnoloogiline vorm - Reoveesoojuspumba kombineeritud tüüpi kaugküttemetod

Antud tehnoloogia tähendab, et luuakse süsteem, kus pannakse reoveepuhasti ja kaugküttegaam koos töötama, mille alla kuuluvad reoveepuhastusjaam, soojuspumbaseadmed ehk küttegaam (joonis 8). Tänu sellele on võimalik ühendada reoveepuhastusjaama reovesi ning linna küttesüsteemi tagasivooluvesi, nii saab võtta soojust reoveest ja transportida seda küttegaama tagasivoolu vette. Selle tehnoloogia puhul on kõrge primaarenergia kasutusmäär ning soojust saab kanda ka kaugemal asuvatele hoonetele, mis tagab suurema rakendusväärtuse. Tegu on hea ning ratsionaalse lahendusega [62].



Joonis 8. Detsentraliseeritud küttemetod [54]

#### Positiivsed küljed/võrdlus

Reoveesoojuspumba kombineeritud tüüpi kaugküttegaam meetod vajab küll kallimat alginvesteeringut võrreldes traditsioonilise küttegaamiga, kuid sellel on pikk loetelu positiivseid jooni. Näiteks suudab soojuspump kanalisatsioonist ära kasutada kogu soojusenergia ressursid, seega väheneb fossiilsete energiatega tarbimine ja muutuvad süsinikdioksiidide heitkogused. Süsteemi tegevuskulud on väiksemad, tasuvusaeg on umbes 7-8 aasta jooksul. Suured eelised on nii energiakasutuses kui ka ökonoomsuses. Võrreldes traditsioonilise kaugküttegaam režiimiga, samades tüüpilistes tingimustes, siis reoveesoojuspumbaga kombineeritud tüüpi kaugküttegaam meetodil, tõusis primaarenergia kasutamise efektiivsus umbes 31%, teoreetiliselt võib kogu küttegaam perioodi jooksul säästa 75% kogu soojusenergia tarbimisest. Võrreldes reovee

detsentraliseeritud kaugküttemeetodit ja reoveesoojuspumba kombineeritud tüüpi kaugküttemeetodit traditsioonilise kaugkütte režiimiga (sama küttekoormuse korral), siis väheneb iga-aastane tegevus- ja küttekulu ning majanduslik kasu on märkimisväärne. Võrreldes traditsioonilise kaugkütte režiimiga, rahuldavad antud tehnoloogiad sama installeeritud võimsuse juures rohkemate hoonete soojusvajadusi [62]. Tabelis 3 on välja toodud veel täiendav võrdlus erinevatest kütteviisidest.

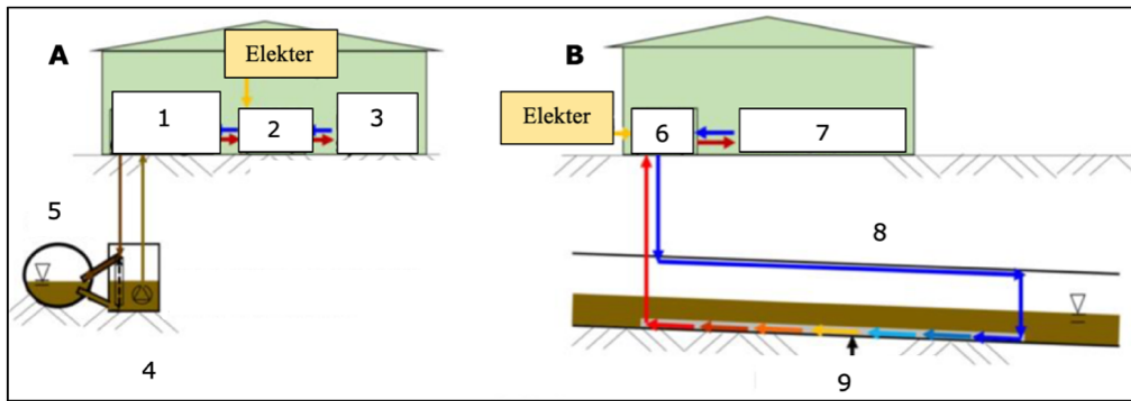
Tabel 3. Erinevate kütteviiside sobivuse võrdlus [62]

Meetod	Energia-tõhusus	Kulu-tõhusus	Sobivus
<b>Traditsiooniline kaugkütte meetod</b>	Madal	Madal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõrge energia tarbimine</li> <li>• Kõige laialdasemalt kasutatav ehk küttekaugus pole piiratud</li> </ul>
<b>Reovee soojuspumbaga detsentraliseeritud küttemetod</b>	Kõrge	Kõrge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madal energia tarbimine</li> <li>• Küttekaugus on piiratud</li> </ul>
<b>Reoveesoojuspumba kombineeritud tüüpi kaugkütte meetod</b>	Keskmine	Keskmine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madal energia tarbimine</li> <li>• Suure piirkonna kütmine</li> </ul>

### 1.3.8 Kolmas tehnoloogiline vorm

1. Soojusvaheti ühendatakse kanalisatsioonitoruga ehk majapidamises tekkinud soojust ammutatakse enne reoveepuhastusjaama.
2. Kinnise kontuuriga soojusvahetid on ühendatud kanalisatsiooniga.
3. Soojuskandjaks on tavaliselt vesi ja kasutatakse plaatsoojusvaheteid või korpuse ja toruga soojusvaheteid.
4. Soojusvaheti on ühendatud soojuspumbaga. Kõrgendatud temperatuuril võtab soojuspump soojusenergiat, tänu millele saab seda taaskasutada näiteks lähedalasuva hoone kütmiseks. Samuti saab suvel soojuspump töötada ka vastupidiselt ehk jahutades hooneid [57].

Joonisel 9 on välja toodud ka süsteemi kuuluvad osad: soojusvaheti (1), soojuspump (2), küttesüsteem (3), eeltötluse ja vertikaalse sõelaga pump (4), kanalisatsioon (5), soojuspump (6), küttesüsteem (7), kanalisatsioon (8), soojusvaheti (9).



Joonis 9. Soojuse energia taastamine. A - väljaspool kanalisatsioonitoru B - kanalisatsioonitoru sees [57]

Eesti puhul antud tehnoloogilist lahendust rakendada ei saa, sest biofiltrid vajavad tekkinud soojust. Seega ei või soojust enne reoveepuhastus jaama ära võtta [57].

## 2. TALLINNA KONTEKSTIS KASUTATAVAD LAHENDUSED

Käesoleva lõputöö metoodika on kirjanduse põhjal võimalike lahenduste uurimine ning selle põhjal kõige sobivama tehnoloogilise lahenduse leidmine ja analüüsimine.

Järgnevalt on esitatud tingimused, millele peaks vastama Tallinnas kasutatav reovee soojust kasutav süsteem.

1. Soojust saab kasutada ainult puhastatud reoveest.
2. Kasutatava reovee hulk aastas varieerub 46,54 mln m<sup>3</sup> (2022), 2021 oli 48,2 mln m<sup>3</sup>. Päevane reovee hulk on umbes 160 000 m<sup>3</sup> [63].
3. Kasutatava reovee temperatuuride vahemik varieerub 7-21 kraadi ringis, aasta keskmine 13,8 °C (2022).
4. Reoveepuhastusjaam asub Paljassaares, mis on kaugküttevõrgust 1,5-2,5 km kaugusel [64].
5. Tallinnas on neli koostootmisjaama, mis on soojusvajaduse katmise prioriteetide järjekorras eespool. Samas võib reaalsete kulude arvestamisel ilmned, et reovee soojus asetub prioriteetide järjekorras koostootmisjaamadest ettepoole ning seetõttu saab eelisõiguse soojusvajaduse katmisel.
6. Soojuspumba rajatiseks peab olema vaba ruumi.
7. Soojuspumbale peab olema tagatud vajalik elektritoide ehk siis peab olema võimalus ühendada elektrivõrku mõistlike kuludega.
8. Reovee soojustagastussüsteemi regulaarseks hoolduseks ja jälgimiseks tuleks kehtestada piisavad sätted, et tagada selle optimaalne jõudlus ja tõhusus.
9. Majanduslik aspekt - tuleks hinnata majanduslikku elujõulisust, võttes arvesse esialgsed investeeringukulud, tegevuskulud. Lisaks potentsiaalne kokkuhoid soojuse tootmisel võrreldes alternatiivsete meetoditega.
10. Keskkonnamõju - energiatõhusus, üldine jätkusuutlikkus ehk vähenevad kohalikud peenosakeste heitmed, sest väheneb põletamist vajavate kütuste kasutamine.

## 2.1 Sobivaim tehnoloogia Tallinnale

Reoveesoojuspumba detsentraliseeritud küttemetod võiks sobida piirkondadesse, kuhu kaugküte ei ulatu. Sel juhul ei toimu soojustagastus reoveepuhastusjaamas vaid tarbijale lähemal. Selle puhul on summaarsed investeeringud sama toodetud soojuse hulga kohta suuremad ja süsteemi on keerulisem kontrollida. Jällegi on süsteem paindlikum ja vahemaad soojuse tootja ja tarbija vahel väiksemad, mis tähendab väiksemaid soojuskadusid. Tallinna puhul ei ole see variant soovitatav, sest Tallinnas asub reoveepuhastusjaam kaugküttevõrgule küllaltki lähedal (1,5-2,5 km) ning on hästi välja arenenud soojusvõrk, kus oleks mõistlik asendada olemasolevaid maagaasikatlad jätkusuutlikumate lahendustega.

Reoveesoojuspumba kombineeritud meetod tähendaks suurte soojuspumpade paigaldamist reoveepuhastusjaama ja nende ühendamist kaugküttevõrguga. Tallinnas on olemas kaugküttevõrk, mis levib suuremas osas linnast.

Tallinna puhul saab rääkida puhastatud reovee kasutamisest Paljassaare reoveepuhastusjaamas. Seda tehnoloogilist lahendust on oma teadustöös uurinud ka H. Pieper, kes tõi oma artiklis välja, et sealse heitsoojuse kasutamine soojuspumpade abil oleks majanduslikult kulutõhus ja teostatav lahendus Tallinna soojusvõrgu puhul. Uurimuses on aga välja toodud, et see lahendus on tundlik elektrihinna kõikumistele, mis mõjutab osaliselt lahenduse kulutõhusust ja käitamiskulusid [55].

Uurimuses tuuakse välja, et kuigi tegevus- ja investeerimiskulude poolest oleksid eelistatud koostootmisjaamade lähedal asuvad soojuspumbad, siis sellegi poolest oleks uurimuse kohaselt majanduslikult tõhusam toota soojust tsentraalsete soojuspumpadega kui maagaasist [55].

Uuringus soovitatakse paigaldada Paljassaare reoveepuhastusjaama juurde 46 MW soojusliku võimsusega soojuspump. See soojuspump suudaks aastas toota ligikaudu 115,6 GWh soojust, mis moodustaks ligikaudu 6,8% kogu Tallinna soojusvajadusest, arvestades, et Tallinna kaugküttevõrgu aastane soojuse tarbimine on ligikaudu 1700 GWh [55], [64].

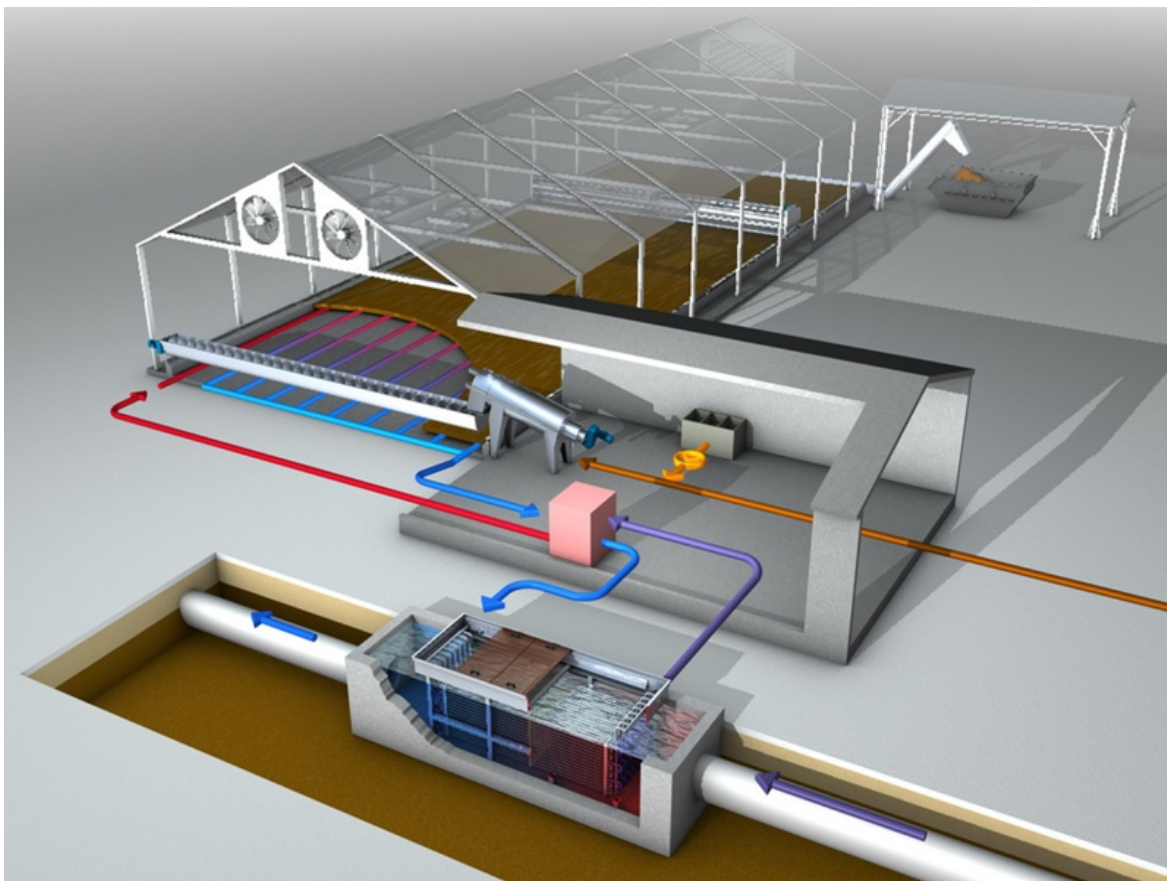
Arvestades Eesti energeetika riiklikke arengukavasid, on 2030. aastal elektrivarustus enam kui 50% taastuvenergia baasil. Järelikult on soojuspumbad säästvam lahendus kui maagaasikatlad. Soojuspumpadel põhineva lahenduse puhul oli tasandatud energia kulu 27% odavam kui olemasolevate maagaasikatelde kasutamisel.



Investeeringute võimaldamiseks ja pikaajalise stabiilsuse tagamiseks on vaja tööstuspartneri ja kaugküttevõtte vahelist kokkulepet [55].

### 3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED

Tulemused näitasid, et suuremahuliste soojuspumpade integreerimine Tallinna kaugküttevõrku on majanduslikult otstarbekas. Leiti, et 122 MW võimsust saab paigaldada ilma säästvate baaskoormusseadmete tööd kahjustamata, millest 46 MW oleks võimalik saada reovee heitsoojusest [55]. Tehnoloogiline lahendus võiks välja näha järgnev (joonis 10).



Joonis 10. Tallinna sobiv tehnoloogiline lahendus [33]

Paljassaare reoveepuhastusjaamas puhastatud reovee kasutamine soojusenergia tootmiseks soojuspumpade abil pakub mitmeid eeliseid.

- Keskkonnasõbralikkus: kasutades reoveepuhastusest saadavat heitsoojust, vähendatakse oluliselt fossiikütuste, nagu maagaasi, kasutamist soojusenergia tootmiseks. See aitab vähendada süsinikdioksiidi heitkoguseid ja sellest tulenevalt juba kliimamuutuste mõju.
- Taastuvenergia kasutamine: soojuspumbad kasutavad oma töös ümbritsevast keskkonnast – näiteks reoveest saadavat soojust. Reovee heitsoojuse kasutades toimub soojusenergia tootmine taastuvenergia allikast, mis on kooskõlas Eesti energiaarengukavade riiklike arengukavadega ja suurendab taastuvenergia osakaalu.

- Kulutõhusus: uuring näitab, et Paljassaare reoveejaama juurde paigaldatav 46 MW soojuspump suudab toota ligikaudu 115,6 GWh soojust aastas, mis moodustaks umbes 6,8% Tallinna kogu soojusvajadusest. See tähendab, et suur osa Tallinna soojusest saaks toodetud odavamalt ja kulutõhusamalt võrreldes olemasolevate maagaasikateldel põhineva süsteemiga.
- Energiasõltumatus: kasutades reoveepuhastusest saadavat heitsoojust soojuspumpade abil, vähendatakse sõltuvust välisest energiaallikast nagu maagaas. See suurendab energiavarustuse stabiilsust ja vähendab riske, mis võivad kaasneda energiahindade kõikumisega.
- Tööstuspartnerlus: uuringus soovitatakse tööstuspartnerluse ja kaugkütteettevõtte vahelise kokkuleppe saavutamist investeeringute võimaldamiseks ja pikemaajalise stabiilsuse tagamiseks. See näitab, et selline tehnoloogiline lahendus vajab koostööd erinevate osapoolte vahel ning võib pakkuda vastastikust kasu.
- Kättesaadavus: reoveepuhastusjaamad toodavad suures koguses heitsoojust, mis muidu läheks raisku. See heitsoojus on pidev ja stabiilne soojusallikas, kuna reoveepuhastusjaamad töötavad ööpäevaringselt aastaringselt. Seega on olemas järjepidev soojusallikas, mis võimaldab soojust tõhusalt kasutada.
- Kohalik ressurss: Kasutades reoveepuhastusjaamast saadavat heitsoojust, saab kasutada lähedal asuvat ja kättesaadavat ressursi, vähendades vajadust kaugemate ja kulukamate soojusallikate järele.
- Süsteemi paindlikkus: reoveepuhastusjaamadest saadava heitsoojuse kasutamine soojuspumpade abil võimaldab kohandada soojuse tootmist vastavalt vajadusele. Soojuspumbad võivad töötada muutuva koormusega ja saavutada reguleeritavat soojuse tootmist vastavalt tarbimisnõudlusele, mis aitab tagada süsteemi efektiivsust ja optimaalset ressursside kasutamist.
- Pakutud tehnoloogia ei mõjuta reovee puhastusprotsessi, kuna soojust ammutatakse puhastatud reoveest pärast biofiltri läbimist.

Kokkuvõtlikult on Paljassaare reoveepuhastusjaamas puhastatud reovee kasutamine soojuspumpade abil majanduslikult kulutõhus ja keskkonnasõbralik lahendus Tallinna soojusvõrgu jaoks, vähendades fossiilkütuste kasutamist, suurendades taastuvenergia osakaalu ning tagades energiavarustuse stabiilsuse.

Esmapilgul võib 6,8% tunduda suhteliselt väikse osana. Kuid on oluline meeles pidada, et see protsent viitab vaid Paljassaare reoveepuhastusjaamast saadava soojusenergia osakaalule Tallinna kogu soojusvajadusest. See tähendab, et Tallinna kaugküttevõrgu aastane soojuse tarbimine on ligikaudu 1700 GWh, siis sellest 6,8% on 115,6 GWh.

Millega saab tõdeda, et see on siiski märkimisväärne kogus soojusenergiat, mis suudaks katta suure osa Tallinna soojusvajadusest.

Sellega saaks katta umbes 12 000 (kui võtta arvesse ka väiksemaid majapidamisi, siis 20 000) keskmise suurusega perekonna aastase soojusvajaduse. Tegelik arv võib muidugi varieeruda teatud aspektide põhjal – majapidamise suurus, energiatõhusus/soojustus, tarbimisharjumused, küttesüsteem, ilm/kliima, asukoht. Lisaks on tarbimine hooajati erinev, talvel on vajadus suurem kui suvel. Eelnevalt pakutud suurused on saadud järgmiste eelduste kohaselt, kus on arvestatud keskmise majapidamise soojusvajaduseks 15 - 20 MWh aastas.

Välja pakutud tehnilisel lahendusel on ka negatiivsed küljed:

- Elektrihinna kõikumine. Nagu eelnevalt mainitud on tehnoloogia tundlik elektrihinna kõikumisele. Soojuspumbad kasutavad töötamiseks elektrit, et tõsta madalatemperatuuriline soojus kõrgemale temperatuurile. Seega, kui elektrihind tõuseb, võib see mõjutada tehnoloogia kulutõhusust ja käitamiskulusid.
- Investeeringute maksumus: soojuspumpade paigaldamine ja infrastruktuuri loomine võib nõuda märkimisväärsed investeeringuid. Tehnoloogia nõuab siiski suure võimsusega soojuspumpade kasutamist, võib olla vajalik suuremahuline investeering soojuspumpade ostmiseks, paigaldamiseks ja süsteemi kohandamiseks.
- Sõltuvus ühest soojusallikast. Kasutades ainult reoveepuhastusjaama heitsoojust, võib tehnoloogia olla sõltuv ühest soojusallikast. See tähendab, kui reoveepuhastusjaama toodetav heitsoojus väheneb või puudub, on vajalik rakendada alternatiivseid soojusallikaid või tagavarasüsteeme, et tagada jätkusuutlik soojusvarustus.
- Tehnoloogia keerukus ja hooldus: Soojuspumbad on keerukad süsteemid ning selle paigaldamine, seadistamine ja hooldamine nõuavad spetsiifilisi oskusi ja tehnilist ekspertiisi. Samuti on investeeringu, hoolduse ja remondi kulud märkimisväärselt suuremad kui harilike katlamajade puhul.

Antud puudused ei ole ületamatud ja neid on võimalik arvesse võtta.

Konkreetse lahenduse välja pakkumiseks on vaja rohkem andmeid ja täpsemalt kaardistada vajadused ja võimalused, et tagada reoveepuhastusjaamadest saadava heitsoojuse kasutava tehnoloogia optimaalne toimimine ja maksimaalne kasu.

Reovee heitsoojuse kasutamine on jätkusuutlik tehniline lahendus soojuse tsentraalseks tootmiseks. Kirjeldatud tehniline lahendus panustab jätkusuutlikkuse eesmärkidesse.

- Reovee soojuse kasutamine aitab vähendada fossiilkütuste tarbimist ja süsinikujalajälge. Kaugküttesüsteemides kasutatakse traditsiooniliselt kütusena näiteks maagaasi või põlevkivi, mis on saastuvad ja mittetaastuvad energiaallikad, mille käigus eralduvad süsinikdioksiidi, lämmastikoksiide ja kasvuhoonegaaside emissioonid. Reovee soojuse kasutamisel väheneb vajadus nende kütuste järele, mis vähendab süsinikuheitmeid ja õhusaastet, aidates kaasa paremale õhukvaliteedile ja kliimamuutuste leevendamisele
- Majanduslik tõhusus ehk traditsiooniliste kütuste hindade kõikumine võib mõjutada kaugkütte hinda ja seega omakorda tarbijaid. Reovee soojuse tarbimine pakub stabiilsemat ning madalama hinnaga energiat, kuna tegu on praktiliselt tasuta kõrvalsaadusena reoveepuhastusprotsessist (alginvesteering on muidugi kulukas). Võib aidata leevendada energiakuludega seotud probleeme ettevõtetele ja elanikele.
- Oluline nüanss on ka sõltuvuse vähendamises Venemaaga. Tugevdades läbi selle energiavarustust ja suurendades energiasõltumatust.
- Ringmajanduse põhimõtte rakendamine. Reovee heitsoojust ei lasta keskkonda, vaid kasutatakse ära ratsionaalselt ning lastakse uuesti ringlusesse.
- Loob uusi töökohti/investeeritakse kohalikku energiaprojekti

Kokkuvõtteks võib välja tuua, et reovee heitsoojuse kasutamisel kaugkütte soojuse tootmiseks on järgmised mõjud:

- Hüdraulika ja kanalisatsioonisüsteem: Reovee soojuse eraldamine võib muuta reovee temperatuuri ja sellest tulenevalt võib tekkida vajadus kohandada kanalisatsioonisüsteemi hüdraulikat. Kõrgem temperatuur võib mõjutada reovee voolavust, võib tekkida korrosioonioht ja olla vajadus kohandada torustikke ja seadmeid vastavalt soojuse eraldamise nõuetele
- Tehnilised aspektid: reovee soojuse kasutamiseks kaugküttesüsteemides on vaja paigaldada soojusvahetid ja muud seadmed, mis võivad nõuda täiendavat ruumi, hooldust ja investeeringuid. Samuti võib olla vajadus kohandada kaugküttesüsteemi üldist taristut, et hõlmata reovee soojuse kasutamise võimalusi

# KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö "Reovee heitsoojuse kaugküttes kasutamise võimalused ja mõjud" annab laia ülevaate erinevatest tehnoloogiatest, mida on võimalik kasutada, et ammutada soojusenergiat reoveest. Töös on analüüsitud nende tehnoloogiate positiivseid ja negatiivseid külgi ning toodud välja, milline lahendus on kasutatav ka Tallinna kontekstis. Töö teema on aktuaalne kuna tänasel päeval on suuremahuliste soojuspumpade tehnoloogia jõudnud rahuldavale küpsusastmele, võimaldades nende kasutamist olemasolevates ja tulevastes kaugküttesüsteemides kogu maailmas ning Eestis. Reovee soojuslik potentsiaal kaugküttesüsteemides on märkimisväärne ning reoveepuhastusjaamad on olulised heitsoojuse allikad, mis suudavad soojuspumpade abil anda energiat kohalikesse energiavarustusvõrkudesse. Reovee heitsoojuse taaskasutamine soojuspumpade abil võimaldab koguda reovees sisalduvat soojusenergiat ning kasutada seda nii ruumide kütmiseks kui ka sooja tarbevee saamiseks. Selline süsteem aitaks vähendada primaarenergiatarbimist ja kasvuhuonegaaside heitkoguseid suure hoonetihedusega linnapiirkondades.

Reovee soojuse taaskasutamise tehnoloogiat on juba edukalt rakendatud mitmetes maailma piirkondades nagu näiteks: Austraalias, Hiinas, Kanadas, Jaapanis ja Ameerika Ühendriikides. Šveits ja Rootsi on olnud teerajajaks selles valdkonnaks. Suurima võimsusega soojuspumpad on rakendatud Stockholmi, Götensborgi, Helsingi ja Oslo linnadesse. Ka Tallinnas oleks võimalik kasutada eelpool kirjeldatud süsteeme.

Tallinna reovee heitsoojuse kasutamise puhul tuleb arvestada Tallinna reoveepuhastusjaama veepuhastuse protsesside eripäraga ning arvesse võtta seda, et biofilter, mis paikneb protsessi lõpus vajab tõhusaks toimimiseks piisavat vee temperatuuri. Seetõttu ei tohi enne biofiltrit reovee soojust kasutada ning soojusvaheti heitsoojuse ammutamiseks tuleb paigaldada alles peal biofiltrit, mis tähendab seda, et soojust saab ammutada juba puhastatud reoveest.

Kokkuvõtlikult võib öelda, et Tallinnas oleks reovee heitsoojuse kasutamine soojuspumpade abil majanduslikult kulutõhus lahendus. Töö kirjutamise käigus leitud teadusallikad näitavad, et Paljassaare reoveepuhastusjaama juurde paigaldatav 46 MW soojuspump suudaks toota ligikaudu 115,6 GWh soojust aastas, mis moodustaks umbes 6,8% Tallinna kogu soojusvajadusest. See võimaldaks oluliselt vähendada Tallinna energiakulusid ja oleks keskkonnasõbralik alternatiiv olemasolevatele maasgaasikateldel põhinevatele süsteemidele.

## SUMMARY

The Bachelor's thesis „The Possibilities and Impact of using Sewage Water Waste Heat in District heating“ provides a broad overview of the various technologies that can be used to extract thermal energy from wastewater. The research has analyzed positive and negative aspects of these technologies and pointed out which solution could also be applied in the context of Tallinn. The topic of the thesis is relevant because today the technology of large-scale heat pumps has reached a satisfactory level of maturity, enabling their use in existing and future district heating systems in Estonia and throughout the world. Wastewater thermal potential in district heating systems is significant, and wastewater treatment plants are important sources of waste heat that can provide energy to local energy supply networks with the help of heat pumps. Reusing waste heat from wastewater using heat pumps enables the thermal energy contained in wastewater to be collected and used both for heating rooms and for obtaining hot domestic water. Such a system would help reduce primary energy consumption and greenhouse gas emissions in urban areas with high building density.

Wastewater heat recovery technology has already been successfully implemented in several regions of the world such as: Australia, China, Canada, Japan and the United States. Switzerland and Sweden have been pioneers in this field. Heat pumps with the highest capacity have been implemented in the cities of Stockholm, Gothenburg, Helsinki and Oslo. It would also be possible to use the systems described above in Tallinn.

When using the waste heat of Tallinn's wastewater, it is necessary to take into account the peculiarities of the water treatment processes of the Tallinn wastewater treatment plant and to take into account the fact that the biofilter, which is located at the end of the process, needs sufficient water temperature to operate efficiently. Therefore, the heat of the wastewater must not be used before the biofilter, and to extract the waste heat of the heat exchanger it must be installed after the biofilter, which means that heat can be extracted from already purified wastewater.

In summary, it can be said that in Tallinn, the use of wastewater waste heat using heat pumps would be an economically cost-effective solution. Research sources found while writing the paper show that the 46 MW heat pump installed at the Paljassaare wastewater treatment plant could produce approximately 115.6 GWh of heat per year, which would constitute approximately 6.8% of Tallinn's total heat demand. This would

make it possible to reduce significantly Tallinn's energy costs and it would be an environmentally friendly alternative to existing systems based on natural gas boilers.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Tallinna Vesi AS, "Reovee puhastusprotsess - Tallinna Vesi." <https://tallinnavesi.ee/ettevotte/tegevused/reoveepuhastus/heitvee-puhastusprotsess/> (accessed May 01, 2023).
- [2] J. Ahmed, A. Thakur, and A. Goyal, "Industrial Wastewater and Its Toxic Effects," *Biological Treatment of Industrial Wastewater*, pp. 1–14, Nov. 2021, doi: 10.1039/9781839165399-00001.
- [3] S. Upadhyayula and A. Chaudhary, "Advanced Materials and Technologies for Wastewater Treatment," *Advanced Materials and Technologies for Wastewater Treatment*, Sep. 2021, doi: 10.1201/9781003138303/ADVANCED-MATERIALS-TECHNOLOGIES-WASTEWATER-TREATMENT-SREEDEVI-UPADHYAYULA-AMITA-CHAUDHARY.
- [4] S. Daneshgar, A. Buttafava, A. Callegari, and A. G. Capodaglio, "Economic and energetic assessment of different phosphorus recovery options from aerobic sludge," *J Clean Prod*, vol. 223, pp. 729–738, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.03.195.
- [5] M. Salama and M. H. Sharqawy, "Experimental investigation of the performance of a falling-film drain water heat recovery system," *Appl Therm Eng*, vol. 179, p. 115712, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2020.115712.
- [6] N. V. Burnete, F. Mariasiu, C. Depcik, I. Barabas, and D. Moldovanu, "Review of thermoelectric generation for internal combustion engine waste heat recovery," *Prog Energy Combust Sci*, vol. 91, p. 101009, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.PECS.2022.101009.
- [7] F. Salek, M. Babaie, M. M. Naserian, and M. H. Ahmadi, "Power enhancement of a turbo-charged industrial diesel engine by using of a waste heat recovery system based on inverted Brayton and organic Rankine cycles," *Fuel*, vol. 322, p. 124036, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.FUEL.2022.124036.
- [8] M. Z. Pomianowski, H. Johra, A. Marszal-Pomianowska, and C. Zhang, "Sustainable and energy-efficient domestic hot water systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 128, p. 109900, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.RSER.2020.109900.
- [9] H. Nagpal, J. Spriet, M. K. Murali, and A. McNabola, "Heat Recovery from Wastewater—A Review of Available Resource," *Water 2021, Vol. 13, Page 1274*, vol. 13, no. 9, p. 1274, Apr. 2021, doi: 10.3390/W13091274.
- [10] A. G. Olabi *et al.*, "Assessment of the pre-combustion carbon capture contribution into sustainable development goals SDGs using novel indicators," *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*, vol. 153, p. 111710, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.RSER.2021.111710.
- [11] H. Li and N. Nord, "Transition to the 4th generation district heating - possibilities, bottlenecks, and challenges," *Energy Procedia*, vol. 149, pp. 483–498, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2018.08.213.
- [12] A. M. Jodeiri, M. J. Goldsworthy, S. Buffa, and M. Cozzini, "Role of sustainable heat sources in transition towards fourth generation district heating – A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 158, p. 112156, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.RSER.2022.112156.
- [13] Z. Wehbi, R. Taher, J. Faraj, M. Ramadan, C. Castelain, and M. Khaled, "A short review of recent studies on wastewater heat recovery systems: Types and applications," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 896–907, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.07.104.
- [14] A. David, B. V. Mathiesen, H. Averfalk, S. Werner, and H. Lund, "Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems," *Energies 2017, Vol. 10, Page 578*, vol. 10, no. 4, p. 578, Apr. 2017, doi: 10.3390/EN10040578.
- [15] A. Volkova, E. Latšov, V. Mašatin, I. Krupenski, A. Siirde, and J. Kaugküte, "Jätkusuutlik kaugküte," 2021.
- [16] M. Arnell, E. Lundin, and U. Jeppsson, "Sustainability Analysis for Wastewater Heat Recovery Literature Review," 2017.
- [17] K. J. Chae and X. Ren, "Flexible and stable heat energy recovery from municipal wastewater treatment plants using a fixed-inverter hybrid heat pump system," *Appl Energy*, vol. 179, pp. 565–574, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.APENERGY.2016.07.021.
- [18] R. Saagi, M. Arnell, C. Wärff, M. Ahlström, and U. Jeppsson, "City-wide model-based analysis of heat recovery from wastewater using an uncertainty-based approach," *Science of The Total Environment*, vol. 820, p. 153273, May 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.153273.
- [19] S. Kordana-Obuch and M. Starzec, "Horizontal Shower Heat Exchanger as an Effective Domestic Hot Water Heating Alternative," *Energies 2022, Vol. 15, Page 4829*, vol. 15, no. 13, p. 4829, Jul. 2022, doi: 10.3390/EN15134829.
- [20] I. Lysakovskaa and H. Thorarensen, "THE EFFECTS OF TEMPERATURE AND OXYGEN LEVELS ON BIOFILTER ACTIVITY", Accessed: May 11, 2023. [Online]. Available: <http://www.unuftp.is/static/fellows/document/lysakovska14prf.pdf>
- [21] Vestberg O, "Temperature Control of Wastewater During Water Treatment Process | Cold Shot | Cold Shot Chillers," 2017.

- <https://waterchillers.com/blog/post/temperature-control-of-wastewater-process> (accessed May 02, 2023).
- [22] M. Khatibi, M. Mohammadzadeh Kowsari, B. Golparvar, and H. Niazmand, "Optimum loading of aluminum additive particles in unconsolidated beds of finned flat-tube heat exchangers in an adsorption cooling system," *Appl Therm Eng*, vol. 196, p. 117267, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2021.117267.
- [23] H. Zhang, Y. Zheng, X. C. Wang, Y. Wang, and M. Dzakpasu, "Characterization and biogeochemical implications of dissolved organic matter in aquatic environments," *J Environ Manage*, vol. 294, p. 113041, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2021.113041.
- [24] H. Dai *et al.*, "Simultaneous denitrification and phosphorus removal: A review on the functional strains and activated sludge processes," *Science of The Total Environment*, vol. 835, p. 155409, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155409.
- [25] Y. Wang *et al.*, "Potassium permanganate-based advanced oxidation processes for wastewater decontamination and sludge treatment: A review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 452, p. 139529, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.CEJ.2022.139529.
- [26] Z. Liu, Y. Zhang, W. Zhou, W. Wang, and X. Dai, "Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal between Two Typical Processes under Low Temperature in a Full-Scale Municipal Wastewater Treatment Plant," *Water 2022, Vol. 14, Page 3874*, vol. 14, no. 23, p. 3874, Nov. 2022, doi: 10.3390/W14233874.
- [27] European Commission, "EU energy in figures - Publications Office of the EU," 2018. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e0544b72-db53-11e9-9c4e-01aa75ed71a1/language-en> (accessed May 02, 2023).
- [28] European Union, "DIRECTIVES DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) (Text with EEA relevance)," 2018.
- [29] "The Paris Agreement | UNFCCC." <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> (accessed May 10, 2023).
- [30] European Commission: Brussels, "Heating and cooling," 2016. [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling_en) (accessed May 10, 2023).
- [31] D. Connolly *et al.*, *Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27*. Department of Development and Planning, Aalborg University, 2013. Accessed: May 10, 2023. [Online]. Available: <https://vbn.aau.dk/en/publications/heat-roadmap-europe-2-second-pre-study-for-the-eu27>

- [32] I. International Energy Agency, "World Energy Outlook Special Report The Future of Heat Pumps," 2020, Accessed: May 02, 2023. [Online]. Available: [www.iea.org](http://www.iea.org)
- [33] "Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP)," 2020. [Online]. Available: <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/>
- [34] J. Spriet and A. McNabola, "Decentralized drain water heat recovery: A probabilistic method for prediction of wastewater and heating system interaction," *Energy Build*, vol. 183, pp. 684–696, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2018.11.036.
- [35] European Commission, "Statistical pocketbook 2019," 2019. [https://transport.ec.europa.eu/media-corner/publications/statistical-pocketbook-2019\\_en](https://transport.ec.europa.eu/media-corner/publications/statistical-pocketbook-2019_en) (accessed May 02, 2023).
- [36] Ali S and A. Gillich, "The Theoretical versus Practical Potential of Existing and Emerging Wastewater Heat Recovery Technologies : LSBU Open Research," 2018. <https://openresearch.lsbu.ac.uk/item/889vq> (accessed May 02, 2023).
- [37] W. Grassi, "Heat Pumps," 2018, doi: 10.1007/978-3-319-62199-9.
- [38] J. Pelda and S. Holler, "Methodology to evaluate and map the potential of waste heat from sewage water by using internationally available open data," *Energy Procedia*, vol. 149, pp. 555–564, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2018.08.220.
- [39] R. Lund, D. D. Ilic, and L. Trygg, "Socioeconomic potential for introducing large-scale heat pumps in district heating in Denmark," *J Clean Prod*, vol. 139, pp. 219–229, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.07.135.
- [40] Z. Wehbi, R. Taher, J. Faraj, M. Ramadan, C. Castelain, and M. Khaled, "A short review of recent studies on wastewater heat recovery systems: Types and applications," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 896–907, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.07.104.
- [41] S. S. Cipolla and M. Maglionico, "Heat recovery from urban wastewater: Analysis of the variability of flow rate and temperature," *Energy Build*, vol. 69, pp. 122–130, 2014, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2013.10.017.
- [42] Schmid F, "SEWAGE WATER: INTERESTING HEAT SOURCE FOR HEAT PUMPS AND CHILLERS - HPT - Heat Pumping Technologies," 2008. <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/sewage-water-interesting-heat-source-forheat-pumps-and-chillers/> (accessed May 02, 2023).
- [43] Wastewaterheat.online, "Wastewaterheat.online," 2022. <https://wastewaterheat.online/contact-us> (accessed May 02, 2023).
- [44] Stockholm Exergi AB, "HEAT PUMPS IN COMBINATION WITH DISTRICT HEATING INCREASES ENERGY EFFICIENCY AT HAMMARBYVERKET HPT IEA IEA Technology

- Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) Summary of the project”, Accessed: May 02, 2023. [Online]. Available: [www.heatpumpingtechnologies.org](http://www.heatpumpingtechnologies.org)
- [45] D. for Business and I. Strategy, “HM Government – Heat and Buildings Strategy”.
- [46] F. Kretschmer, L. Simperler, and T. Ertl, “Analysing wastewater temperature development in a sewer system as a basis for the evaluation of wastewater heat recovery potentials,” *Energy Build*, vol. 128, pp. 639–648, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2016.07.024.
- [47] Posson Don, “Putting Wastewater to Work: America’s Next Great Energy Source | SmithGroup,” 2018. <https://www.smithgroup.com/perspectives/2018/putting-wastewater-to-work-americas-next-great-energy-source> (accessed May 02, 2023).
- [48] Haroldsen Jae O., “Large scale heat pumps in Europe,” 2023.
- [49] Dunsmore Ian, “Heat from Wastewater innovative scheme at Borders college campus in Galashiels to supply 1.8GWh of heat per annum,” 2016.
- [50] Scottish Water, “Heat from Waste Water - Scottish Water,” 2023. <https://www.scottishwater.co.uk/about-us/energy-and-sustainability/renewable-energy-technologies/heat-from-waste-water> (accessed May 02, 2023).
- [51] “How does the scheme work?”.
- [52] Ramboll Group, “Zurich - District heating and cooling system. Technical concept and execution planning - Ramboll Group,” 2020. <https://ramboll.com/projects/switzerland/zurich-district-heating-and-cooling-system> (accessed May 03, 2023).
- [53] Dipl.-I. R. Vibert, “Museum of Bavarian History Regensburg, Germany”.
- [54] “HUBER Solutions for Wastewater Heat Recovery from Sewers - HUBER SE.” <https://www.huber.de/solutions/heating-and-cooling-with-wastewater.html> (accessed May 16, 2023).
- [55] H. Pieper, V. Mašatin, A. Volkova, T. Ommen, B. Elmegaard, and W. B. Markussen, “Modelling framework for integration of large-scale heat pumps in district heating using low-temperature heat sources: A case study of Tallinn, Estonia,” *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, vol. 20, pp. 67–86, 2019, doi: 10.5278/IJSEPM.2019.20.6.
- [56] Y. Jung, J. Oh, U. Han, and H. Lee, “A comprehensive review of thermal potential and heat utilization for water source heat pump systems,” *Energy Build*, vol. 266, p. 112124, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2022.112124.
- [57] T. Korpela *et al.*, “Waste heat recovery potential in residential apartment buildings in Finland’s Kymenlaakso region by using mechanical exhaust air ventilation and

- heat pumps," *International Journal of Thermofluids*, vol. 13, p. 100127, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.IJFT.2021.100127.
- [58] "Wayback Machine." [https://web.archive.org/web/20160429184759/http://energiatalgud.ee/img\\_auth.php/3/32/J%C3%B5eleht\\_A.\\_jt.\\_Soojuss%C3%BCsteemi\\_puurkaevu\\_ja\\_augu\\_m%C3%B5ju.pdf](https://web.archive.org/web/20160429184759/http://energiatalgud.ee/img_auth.php/3/32/J%C3%B5eleht_A._jt._Soojuss%C3%BCsteemi_puurkaevu_ja_augu_m%C3%B5ju.pdf) (accessed May 21, 2023).
- [59] "Commercial Heat Pump Water Heater - Leading Heat Pump Manufacturers & Solutions Provider | Grat." <https://gratpro.com/commercial-heat-pump-water-heater/> (accessed May 16, 2023).
- [60] W. Zhong Zhou, J. Xing Li, orderlithtml Zhou, W. Zhong, J. Xing, and W. Zhou, "International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 734. International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue," 2004, Accessed: May 13, 2023. [Online]. Available: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/734>
- [61] "Water-heat-1.jpg 851×594 pixels." <https://www.cibsejournal.com/wp-content/uploads/2021/04/Water-heat-1.jpg> (accessed May 13, 2023).
- [62] Z. Qunli, N. Qian, L. Fang, and Y. Chaohui, "Technology and Economic Analysis of Sewage Source Heat Pump Combined Type District Heating Method," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 1312–1318, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.12.507.
- [63] "Keskonnaaruanded - Tallinna Vesi." <https://tallinnavesi.ee/sotsiaalne-vastutus/keskonnaaruanded/> (accessed May 21, 2023).
- [64] AS Utilitas Tallinn, "Tallinna ühtne kaugküttevõrgu arengukava," 2020.