

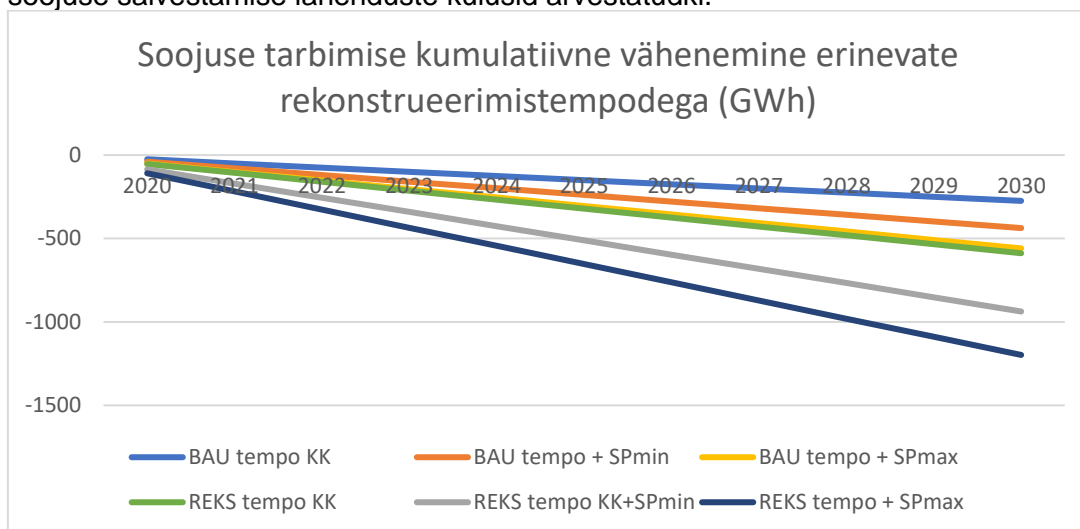
# Lühikokkuvõte

Käesolev analüüs on osa energiatõhususe direktiivi artiklis 14 nimetatud töhusa koostootmise ja töhusa kaugkütte ja -jahutuse kohaldamise võimaluste kohta läbiviidavast hindamisest. Lisaks on täiendavalt analüüsitud küsimusi, mis puudutavad kasutatavat heitsoojust ja heitjahutust ning nende potentsiaali, samuti töhusat kaugkütet ja -jahutust ning nende potentsiaali. Käesolevas töös käsitletakse nii elamumajanduses, ärikinnisvaras, teenusmajanduses kui ka tööstusettevõtetes tekkivat heitsoojust. Töö autorid lähtusid künnise seadmisel heitsoojusallika võimsuse piirist alates 5 MW.

## Olulisemad järeldused:

1. Kaugküttes ja -jahutuses heitsoojusallikate kasutuselevõtmiseks ei ole lihtsaid ja kiireid lahendusi, vaid tulemuseni viivad tänased põhimõttelised otsused ja pikaajaline mõtestatud töö. Lahendused peavad olema terviklikud, eriti toetusmeetmete mõttes, ehk lisaks sobivale ülekandetaristule peaks elamumajanduses soodustama madalatemperatuurilise soojuse vastuvõtmiseks sobiliku taristu väljaehitamist.
2. Küsitlustest ja küsitlusi täiendanud intervjuudest selgus, et kaugkütteettevõtted on tõenäoliselt parimas positsioonis ettevõttesisesel heitsoojuse ärakasutamisel ja investeeringud on isetasuvad madalamate kulude tõttu. Alginvesteering heitsoojuse kasutamiseks ümber arvatuna energiaühikule oli ettevõtetel suurusjärgus 60-80 eurot (MWh kohta esimesel aastal), samal ajal kui tööstusettevõtetel oli see 120-300 eurot. Kaugkütteettevõtetel olid ka head väljavaated saada heitsoojuse ärakasutamisest otseselt (harvemini) või kaudselt tulu. Käesoleva analüüsi tulemusena on hinnatud kaugkütteettevõtete võimalusi täiendavalt heitsoojust ära kasutada 485 GWh/a. Töös läbiviidud arvutused näitavad, et energia ühikuhinnast lähtudes on suitsugaaside kondensaatorite rakendamine tasuv kaugküttekatalamajades ning soojuse ja elektri koostootmisjaamades.
3. Käesolevas uurimustöös läbiviidud ulatuslik andmekorje ei osutunud piisavaks andmaks üleriigilist hinnangut ärakasutamata heitsoojuse potentsiaali kohta sektorite lõikes ning juhul kui detailsed andmed osutuvad vajalikuks, siis tuleks see küsimus lahendada edasise analüüsi käigus. Mitmesuguses muus täpsustamata tootvas tööstuses ei ole heitsoojuse potentsiaali täpne hindamine andmete puudumisel võimalik, kuid selle suurus võib olla tõenäoliselt üle 400 GWh/a.
4. Üksikutel juhtudel on ettevõtete heitsoojus juba Eestis kasutusele võetud või võimalik kasutusele võtta, kus selle parameetrid on sobivad kaugküttevõrgu pealevoolutorustikku edastamiseks (kas otse soojusvaheti või soojuspumba vahendusel), ühtlane ja aastaringne saadavus on garanteeritud ning ettevõtte asub lähedal kaugküttevõrgule. Heitsoojuse kogumine ja kasulikult kasutamine nõuab pingutusi, tööd ja rahalisi vahendeid, kuid potentsiaali sellel siiski on. Kahjuks ei ole kaugküttes heitsoojuse kasutamiseks seda sageli pidevalt, piisavalt või on tehniliselt raske suunata seda kaugküttevõrku, samuti ei pruugi see olla majanduslikult mõttekas, sest investeeringu maksumus on suur ja võrk asub kaugel. Seda enam tuleks leida heitsoojusele kasutust ettevõtte siseselt.
5. Suurimat madalatemperatuurilise heitsoojuse potentsiaali omavad reoveepuhastusjaamad, andmekeskused, suitsugaaside kondenseerimine ja madalatemperatuurilise kaugkütte piirkondade (saarte) väljaarendamine, kui see saab toite olemasolevate kaugküttevõrkude tagasivoolu liinilt.
6. Perspektiivikam on madalatemperatuurilisi soojusallikaid ning võrke arendada elamumajanduses. Selleks on olemas nii lõplikud kui ka üleminekufaasi lahendused. Heitsoojuse laialdasem kasutamine kaugküttesüsteemides eeldab selleks sobiva taristu ehk madalatemperatuurilise kaugküttevõrgu olemasolu. Olemasolevate

kaugküttesüsteemide ümberehitamine on pikaldane, kuid potentsiaalselt ühiskonnale positiivne protsess, mistõttu vajaks eraldi detailsemat analüüsi, mil viisil oleks võimalik olemasoleva taristu juures võrgu temperatuuri alandamine, tagasivoolutorustikule tarbijate liitmine ning uutes arenduspiirkondades madaltemperatuurilise võrgu rajamine olemasolevate torustike baasil. Uurimustööde analüüsi tulemusena leidis kinnitust, et olemasolev elamufond, eriti mis koosneb suurematest kortermajadest, on osalt üle viidav soojuspumpadele (SP) põhinevale tõhusatele lahendustele (ventilatsiooniõhu SP). Käesoleva uurimustöö hinnangul saaks sellise üleviimise ette võtta järk-järgult koos hoonete rekonstrueerimisega, mille käigus hooneid soojustatakse ja moderniseeritakse. Olemasoleva elamufondi üleviimine tõhusale küttele nõuaks küllalt suuri investeeringuid ning ei oleks majanduslik tasuv, kuid viimase tingib eeskätt hoone rekonstrueerimise osa. Investeeringud soojuspumpadesse ja kaasnevasse seadmetikku oleksid teoreetiliselt isetasuvad, kui tulu sihiks on soojuse keskmine hind (käesolevas töös on selleks loetud 65 eurot MWh kohta) ning kulused hoonete moderniseerimiseks vaadeldakse eraldi. Olenevalt sellest, kui aktiivselt investeerida, saaks elamufondi kütteleahenduste tõhustamise teel säästa primaarenergia 39,7 kuni 85,21 MWh/a. Investeeringud ei ole isetasuvad ühegi stsenaariumi puhul ning kõige agressiivsema stsenaariumi osas ei ole kaugküttevõrgu ja soojuse salvestamise lahenduste kulused arvestatudki.



#### Joonis. Soojuse tarbimise kumulatiivne vähenemine erinevate rekonstrueerimistempodega (GWh)

Oluliselt lihtsama ja tasuvama olukorraga on tegu täiesti uute elamu-, aga ka madala intensiivsusega majandustegevuseks mõeldud suuremate hoonete puhul. Käesolevas töös tuginetakse uurimustööle, mis käsitleb põhjalikult kütteleahendusi ühele Tallinna uusarenduspiirkonnale ja arvutab välja, et gaasikütte ja soojuspumpade kombinatsioonil põhinev kõrge tõhususega kütteleahendus on majanduslikult isetasuv. Algfaasis kallimad nõutikad kütteleahendused on, võrreldes klassikaliste küttesüsteemidega, isetasuvad mõne aasta järel tänu suurele kütuse kokkuhoiule.

7. Kasutuseta või veel vähesel määral on kasutatud valdavalt madaltemperatuurilist (alla 100°C) heitsoojust nii tööstusettevõtetes, teenindusettevõtetes kui elamumajanduses. Neis valdav on soojuse taaskasutus hoonesse imetava ventilatsiooniõhu ette soojendamiseks, heitvee soojuse taaskasutus ja tarbevee soojendamine. Käesolevas töös on modelleeritud teatud kõrge potentsiaaliga madaltemperatuurilise heitsoojuse kasutamist ning on selle tulemusena hinnatud saadavat energiasäästu, isetasuvust ning mõju CO<sub>2</sub> heite ja taastuvenergia osakaalule.



8. Seoses ressursitõhususe meetmega, millest osaliselt (kuni 50% ulatuses) finantseeritakse ettevõtete ressursitõhususe projekte, on hakatud heitsoojust kasutama peamiselt ettevõttesiseselt.
9. Puitkütuse kateldes, alates võimsusest 5,1 MW (kõik sektorid kokku), kasutatakse juba heitsoojust 253 GWh/a ja teoreetiline vaba heitsoojuse potentsiaal kokku oleks 234 GWh/a. Maagaasi kateldes, alates võimsusest 5,1 MW (kõik sektorid kokku) kasutatakse teadaolevalt juba heitsoojust 333 GWh/a ja teoreetiline vaba heitsoojuse potentsiaal kokku oleks 251 GWh/a. Mõlema kütuse põletamisest juba hinnanguliselt saadud heitsoojuse (suitsugaaside kondenseerimisest saadav) kogus on 586 GWh ja veel saada olev teoreetiline potentsiaal kokku oleks 485 GWh aastas.
10. Eesti reoveepuhastitist võiks teoreetiliselt saada kokku 5 276 TJ/a ehk 1 466 GWh/a heitsoojust (sellele vastav niiske hakkepuidu sääst oleks hinnanguliselt 2,3 mln pm<sup>3</sup> aastas). Üksnes Tallinna Vesi AS-i heitvee kogustele ja -omadustele tuginedes on saada kuni 450 GWh/a potentsiaalset heitsoojust suunamiseks nt lähedalasuvate tulevaste elamuarenduspiirkondade soojusega varustamiseks või suunamiseks Tallinna kaugküttevõrku. Tegu on madalatemperatuurilise heitsoojusega, mille ärakasutamiseks on vaja soojuspumpasid. Nagu soojuspumpade puhul üldiselt, saab sellist projekti lugeda isetasuvaks, kui projektiga saadakse piisavalt tulu. Käesoleval juhul on asjakohane soojuse keskmine arvutuslik hulgihind (hinnanguliselt 20 kuni 25 eurot MWh kohta). Sellisel juhul on investeering majanduslikult tasuv, kuid seda siiski arvestamata võimalikke investeeringuid kaugküttevõrku.
11. Harjumaale rajatakse Eesti mõistes väga suurt andmekeskust (serveriparki). Esialgseks elektriliseks võimsuseks on kavandatud 6 MW (~50 GWh heitsoojust aastas, kui töötab aasta ringi ühtlaselt täisvõimsusel), mida hiljem vajaduse korral suurendatakse 20 MW-ni ning seda veelgi hilisema lisamise võimalusega (kuni 32 MW). Seda heitsoojust oleks põhimõtteliselt võimalik ligi 5 km torustiku kaudu juhtida Tallinna linna kaugküttevõrku (Õismäel). Üksnes ühe näidiskaasusena kasutatud andmekeskuse poolt aastas genereeritav soojuse hulk on 150 GWh/a ning on olemas eeldused järgmiste taoliste keskuste loomiseks. Tuginedes tasuvusuuringule, mida jagas käesoleva töö autoritega andmekeskuse omanik, leiame, et andmekeskuse heitsoojuse ärakasutamine on isetasuv. Andmekeskuse andmetel põhinev NPV on positiivne nii kaua, kui ignoreeritakse ühenduste puudumist sobiva kaugküttevõrguga. Juba nimetatud tasuvusuuringus on erinevate kaugküttevõrkudega liitumise kulude hindamised tehtud ning nad muudavad NPV-d iga stsenaariumi puhul tugevasti negatiivseks.
12. Eespool kirjeldatud soojuspumpasid kasutavad lähenemised nii tööstuses (veemajandus, pilveandmemajandus) kui ka majapidamistes (olemasolev ja uus elamufond) võimaldavad efektiivsemalt ära kasutada madalama temperatuuriga soojusallikaid vähendades küll energiatarbimist, kuid nad ei pruugi vähendada taastuvenergia osakaalu, seda siis sellepärast, et soojuspumpadel on olemas märkimisväärne elektri omatarve.
13. Kehtiva regulatsiooni kohaselt käsitletakse olemasolevasse kaugküttevõrku heitsoojusallika lisamist soojusettevõtja-poolse soojuse ostmisena. Selline lähenemisviis ei arvesta majandusülest vajadust heitsoojuse kasutamist suurendada. Heitsoojuse temaatika tuleks detailsemalt kajastada kaugkütteseaduses ja/või sellega seotud määrustes, alustades sellest, et õigusaktides defineeritakse heitsoojuse mõiste ning luuakse kolmandatele osapooltele ühetaolised ning läbipaistvad aluspõhimõtted kaugküttevõrguga liitumiseks.
14. Tõstmaks taastuvenergia/heitsoojuse osakaalu vähemalt ühe protsendipunkti võrra aastas, võiks kaaluda minimaalse meetmetena pädeva asutuse määramist koos piiratud volitustega täiendavate meetmete rakendamiseks. Nimetatud pädev asutus võiks välja töötada ja avaldada ka eelpoolnimetatud punktis mainitud mittediskrimineerivad ning läbipaistvad kriteeriumid, mille alusel oleks võimalik heitsoojusallikaid kaugküttevõrguga ühendada.

# Heitsoojuse kasutamise tehnoloogiad ja seadmed

Heitsoojuse taaskasutamise/kasutamise tehnoloogiad võib liigitada ühte neist kolme rühma kuuluvaks:

- Otsene kasutamine ilma temperatuuri muutmata (ingl *direct use without upgrading*)
- Kasutamine pärast temperatuuri tõstmist soojuspumbaga (ingl *use after upgrading, through heat pumping*)
- Elektritootmine (ingl *power generation*)

Heitsoojuse ja/või selle toodete kasutamine võib toimuda ettevõttes endas või väljaspool.

Otsene kasutamine tähendab, et ilmset e tajutavat (ingl *sensible*) või varjatud (ingl *latent*) soojust kasutatakse allika temperatuuril ilma soojuspumba vahenduseta. Selles mõttes ei ole otsene kasutamine ajaga seotud, seega võib otsene süsteem hõlmata ka soojuste salvestamist.

Kõikuvate või vahelduvate heitsoojushulkadega süsteemides võib soojuste salvestamine olla huvitav või vajalik osa heitsoojuse kasutussüsteemist.

Elektritootmine hõlmab põhiliste Rankine' tsüklite variante (aurutsüklid, ORC-d jne) ja erinevaid termoelektrilisi seadmeid.

Tööstuslikud soojuspumbad on lisaks täiustatud soojusvahetusele tõenäoliselt sobivaim viis tööstuslikku heitsoojust kasutusele võtta. Heitsoojuse võimalikud temperatuurid sõltuvad suuresti tööstusprotsessides vajalikest temperatuuridest. Tüüpilised võimalikud temperatuuritõusud on 30–50 K, sõltuvalt temperatuuritasemest ja ennekõike elektri *versus* kütuse hinnatasemest.

Soojuste taaskasutamise meetodi valik sõltub võtmeteguritest, näiteks temperatuurist, aine faasist (nt aur, vesi) ja heitgaasivoo keemilisest koostisest, samuti heitsoojuse soovitud lõppkasutuse laadist. Tabel 0.1. võrreldakse tavapäraseid soojusvahetustehnoloogiaid vastavalt kohaldatavatele temperatuurivahemikele, heitsoojusallikatele, lõppkasutusele, soojusvahetuse tüübile, niiskuse taaskasutamisele, lubatud temperatuuride erinevustele, ristsaastumiskindlusele ja söövitavate gaasidega kohanemisvõimele.

**Tabel 0.1. Heitsoojuse kasutusele võtmise tehnoloogiate võrdlus<sup>1</sup>.**

Recovery Method	Temperature Range	Typical Sources of Waste Heat	Typical Uses	Type of Heat Exchange (Gas-Gas, Gas-Liquid, etc.)	Recovers Moisture	Large Temperature Differentials Permitted	No Cross-Contamination	Corrosive Gases Permitted with Special Construction
Radiation Recuperator	H	Soaking or annealing ovens, melting furnaces, incinerators, radiant-tube burners, reheat furnace	Combustion air preheat	G-G		X	X	X
Convection Recuperator	M-H	Soaking or annealing ovens, melting furnaces, incinerators, radiant-tube burners, reheat furnace	Combustion air preheat	G-G		X	X	X
Metallic Heat Wheel	L-M	Boiler exhaust, curing and drying ovens	Combustion air preheat, space heat	G-G	b		c	x
Hygroscopic Heat Wheel	M	Boiler exhaust, curing and drying ovens	Combustion air preheat, space heat	G-G	X		c	X
Ceramic Heat Wheel	M-H	Large boilers, incinerator exhaust, melting furnaces	Combustion air preheat,	G-G		X		X
Plate-type Heat Exchanger	L,M	Exhaust from boilers, incinerators, & turbines Drying, curing, and baking ovens	Combustion air preheat, space heat	G-G, L-L		X	X	
Heat Pipe	L-H	Waste steam, air dryers, kilns (secondary recovery), reverberatory furnaces (secondary recovery) Drying, curing & baking ovens	Combustion air preheat, boiler makeup water preheat, domestic hot water, space heat	G-G,G-L		d	X	X
Finned-tube Heat Exchanger	L,M	Boiler exhaust	Boiler feedwater preheat	G-L		X	X	e
Waste-heat Boilers	L-H	Exhaust from gas turbines, reciprocating engines, incinerators, furnaces	Hot water or steam generation	G-L			X	e
Tube Shell-and Tube Exchanger	L,M	Refrigeration condensates, waste steam distillation condensates, waste steam distillation condensates, coolants from engines, air compressors, bearings & lubricants	Liquid feed flows requiring heating	G-L, L-L		X	X	

a. Sources: W. Turner. *Energy Management Handbook*, 2007; *PG&E Energy Efficiency Information* "Industrial Heat Recovery Strategies," 1997

b. claimed by some vendors

c. with a purge section added, cross-contamination can be limited to less than 1% by mass

d. allowable temperatures and temperature differential limited by the phase equilibrium properties of the internal fluid

e. can be constructed from corrosion-resistant materials, but consider possible extensive damage to equipment caused by leaks or tube ruptures

Tabel 0.2 on esitatud soojuse taaskasutuse võimalused (seadmed, protsessid) ja kasutuse teostatavus ja selle seisund (kaubanduslik, tehniline ja majanduslik) erinevates tööstusharudes (terase- ja alumiiniumitööstus, klaasitööstus tsemenditööstus jm).

<sup>1</sup> U.S. Department of Energy, "Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry," U.S. Department of Energy, Industrial Technologies Program, Washington DC, 2008

**Tabel 0.2. Heitsoojuse kasutamise tehnoloogiate võrdlus valitud valdkondades<sup>2</sup>**

Device/equipment	Iron/Steel															Glass Industry						Cement			Aluminium						Metal Casting			Cross-cutting						
	Coke Owen					Blast Furnace					BOF			EAF		Glass Melting						Cement Kiln			Hall-Heroult Cells			Melting Furnaces			Iron Cupola			Steam Boiler						
	Coke Owen Gas			Waste gas			Blast Furnace Gas			Hot Blast Stove Exhaust			Basic Oxygen Furnace Gas			Electric Arc Furnace Off-gas		Gas-fired Melting Furnace			Oxyfuel Melting Furnace			Cement Kiln			Hall-Heroult Cells			Melting Furnaces			Iron Cupola			Steam Boiler				
	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	Commercial	Technical	Economic	
Regenerator	-	-	-	+	+	+	-	-	-	n	n	-	x	x	x	x	x	x	+	+	o	-	o	-	n	n	n	-	-	-	+	+	o	n	n	n	-	+	-	
Recuperator	-	-	-	n	-	-	-	-	n	n	-	x	x	x	x	x	x	+	+	+	-	o	-	n	n	n	-	-	-	+	+	o	+	+	+	+	+	+		
Heat Wheel	-	-	-	n	m	-	n	n	n	+	+	+	x	x	x	x	x	x	o	o	-	n	o	-	n	n	n	-	-	-	o	+	o	n	n	n	+	+	+	
Passive Air Preheater	-	-	-	-	o	o	n	n	n	+	+	+	x	x	x	x	x	x	n	n	n	-	o	-	n	n	n	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	+	+	+
Thermal Medium System	o	o	-	n	m	-	n	n	n	+	+	+	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	+	+	+
Waste Heat Boiler	-	-	-	-	-	-	n	-	n	n	-	-	o	+	o	n	-	n	o	+	-	o	+	-	+	+	+	-	-	-	n	n	n	n	n	n	n	x	x	x
Low Temperature Power Cycle	-	-	-	n	m	-	-	n	n	-	m	n	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	+	o	-	-	-	x	x	x	n	n	n	-	m	n	
Solid State Generation	-	-	-	-	m	-	-	-	-	-	m	-	-	-	-	-	-	-	m	-	-	m	-	-	-	m	-	-	m	-	-	m	-	-	m	-	-	m	-	
Load preheat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	o	n	m	n	o	o	o	+	+	+	n	n	n	+	+	o	-	-	-	+	+	+	
Process Specific/Other <sup>1</sup>	o	o	-	o	o	-	o	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

<sup>1</sup> – Process Specific – includes coal moisture control for coke making, dry-type top pressure recovery turbines for blast furnaces and recovery of cement clinker cooler

**Selgitus Tabel 0.2 juurde:**

Commercialisation Status	Technical Feasibility	Economic feasibility
+ – Frequently used in US	+ – Not technical barriers	+ – Cost effective
o – Limited commercialisation	o – Proven in limited applications	o – Application specific
- - Not deployed	m – May be feasible, but not demonstrated	- - Cost-Prohibitive
	- - Not technically feasible	
N – Not addressed in available literature		
X – Not applicable		

<sup>2</sup> Annex XV: Industrial Excess Heat Recovery –Technologies and Applications. Supported by Denmark, Germany, Norway, Portugal, US and Sweden Final report Phase 1, 5 May 2015. Prepared by Thore Berntsson CIT Industriell Energi AB, Sweden, Anders Asblad CIT Industriell Energi AB, Sweden. IETS

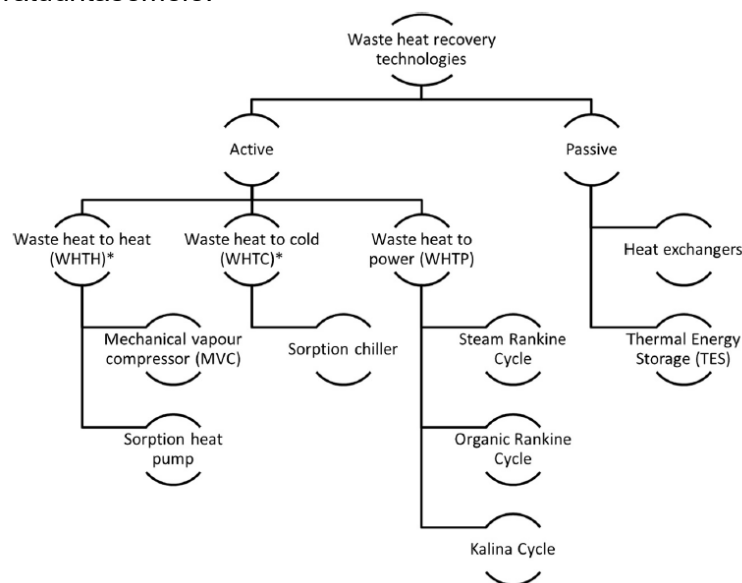
# 1.1 Heitsoojuse kasutamise tehnoloogiate ülevaade

Temperatuur on kõige olulisem kriteerium, kas heitsoojus on ise väärtuslik soojusallikas otse tehnoloogilistes protsessides kasutamiseks või saab seda kasutada energiaallikana edasiseks muundamiseks. Kõrgetemperatuuriline heitsoojus ( $T > 400\text{ °C}$ ) omab üldjuhul suuremat potentsiaali taaskasutamiseks, võrreldes keskmise temperatuurilise ( $100\text{--}400\text{ °C}$ ) või madalatemperatuurilise ( $T < 100\text{ °C}$ ) heitsoojusega. Kõrgetemperatuuriline heitsoojus tekib eelkõige metalli- ja mineraalsete materjalide tööstuses.

Heitsoojuse kasutamise tehnoloogiaid (vt ka Joonis 0.1) võib liigitada omakorda kaheks:

1. Aktiivsed tehnoloogiad,
2. Passiivsed tehnoloogiad.

Liigitamine sõltub sellest, kas heitsoojus on kasutatud otse sama või madalama temperatuuritaseme juures või on tegemist muundamisega teiseks energiavormiks või kõrgemale temperatuuritasemele.



Joonis 0.1. Heitsoojuse kasutamise tehnoloogiate ülevaade<sup>3</sup>

## 1.1.1 Passiivsed tehnoloogiad

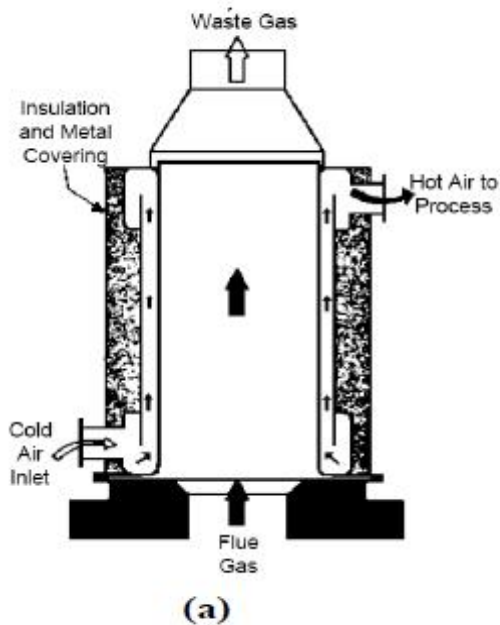
### Soojusvahetid

Passiivsetest tehnoloogiast domineerivad soojusvahetite kasutamine ja soojuste salvestamine. Neid tehnoloogiaid kasutatakse tööstuses teiste protsesside läbiviimiseks, nt soojendatakse (tarbevesi) või eel soojendatakse (katla õhuelsoojendi) mingit soojuskandjat.

<sup>3</sup> Sarah Brückner, Selina Liu, Laia Miró, Michael Radspieler, Luisa F. Cabeza, Eberhard Lävemann. Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies. Applied Energy 151 (2015) 157–167

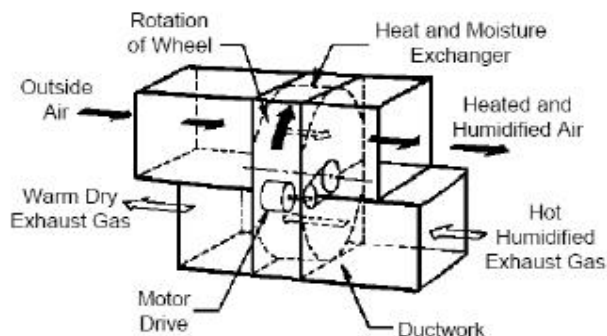
Soojusvahetite üheks rakendamise kohaks on suhteliselt kõrge temperatuuriga heitsoojuse kandjalt (primaarsoojuskandja) soojust üle kandmine soojust vastu võtvale termodünaamilisele kehale või sekundaarsoojuskandjale (nt vesi, õhk, õli). Üldjuhul peaks heitsoojuse kandja temperatuur olema üle 100 °C.

Soojusvaheteid saab kasutada mitmetest protsessides tekkiva põlemisgaasi, kuuma õhu vms heitsoojuse ära kasutamiseks, vt ka Joonis 0.2. Joonis 0.2. .



**Joonis 0.2. a) Kuuma meediumi (nt põlemisgaasi) soojusvaheti põhimõte; b) Klaasihjule paigaldatud soojusvaheti<sup>4</sup>**

Kui on tegemist tahkeid osiseid mitte sisaldava meediumiga, nt heitõhk, siis kasutatakse sageli soojust üle kandmiseks rootorsoojusvahetit (regeneratiivne soojusvaheti), vt ka Joonis 0.3.



**Joonis 0.3. Rotorsoojusvaheti põhimõte (vasakul) ja rootorsoojusvaheti metallisulatusahjul (paremal)<sup>5</sup>**

Rotorsoojusvaheti korral toimub soojust ülekanne poorse täidise kaudu. Poorne täidis on ketta kujuline ja pöörleb. Seda läbib meedium kas soojendab seda ühelt poolt või siis jahutab teiselt poolt. Seda kasutatakse peamiselt madala- või keskmise temperatuurilise heitsoojuse korral. Kõrgetel temperatuuridel tekivad probleemid seadme metalli soojuspaisumise ja

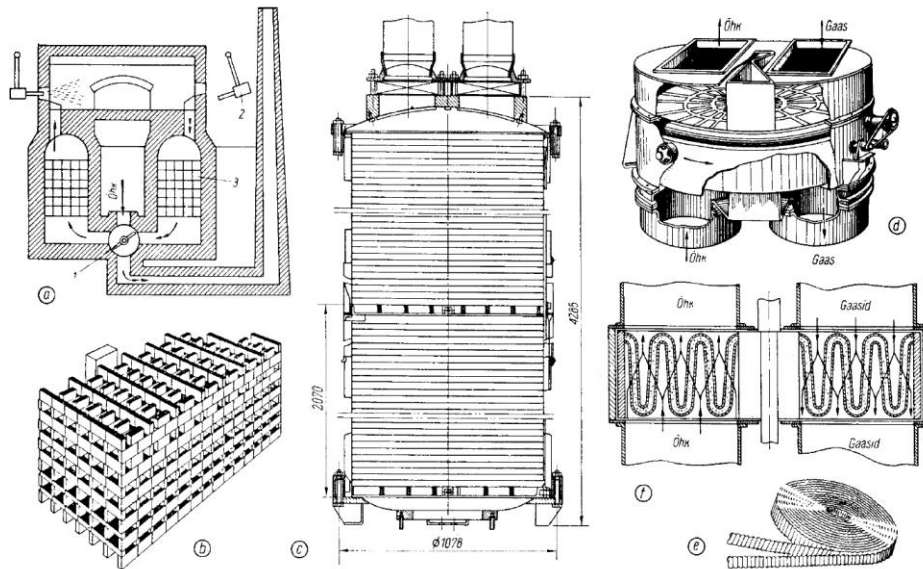
<sup>4</sup> Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. U.S. Department of Energy. 2008

<sup>5</sup> Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. U.S. Department of Energy. 2008



kahanemisega ja sellega seotud häiretega seadme töös. Rootorsoojusvaheti võimaldab tagastada ka niiskust.

Regeneratiivsed soojusvahetid on nii perioodilise (tsüklilise toimega) kui ka pideva töörežiimiga (Joonis 0.4).

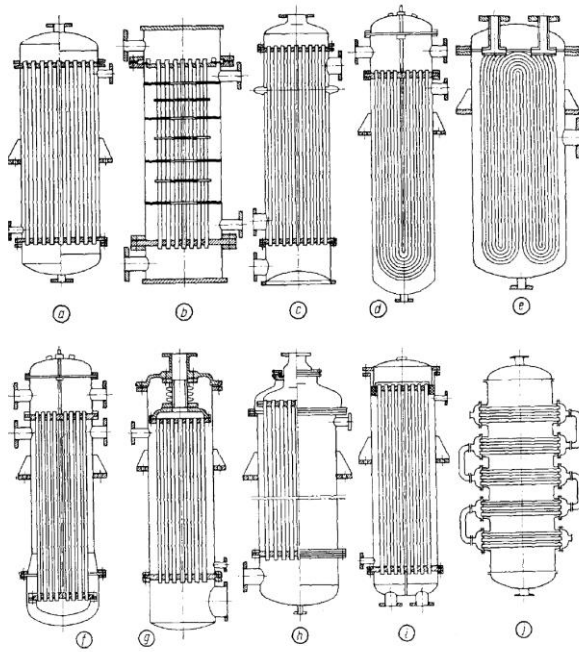


*a* regeneratiivõhusoojenditega tööstusahju skeem,  
*b* – tulekindlatest tellistest regeneraatori täidis, *c* – liikumatu metalltäidisega regeneraator,  
*d* – Ljungström õhuelsoojendi, *e* – metalltäidise element, *f* – kuultäidisega õhuelsoojendi;  
*1* – pöörd-siiber regeneratiivsoojusvahetite ümberlülitamiseks, *2* – põleti, *3* – täidis

#### Joonis 0.4. Regeneratiivsed soojusvahetid<sup>6</sup>

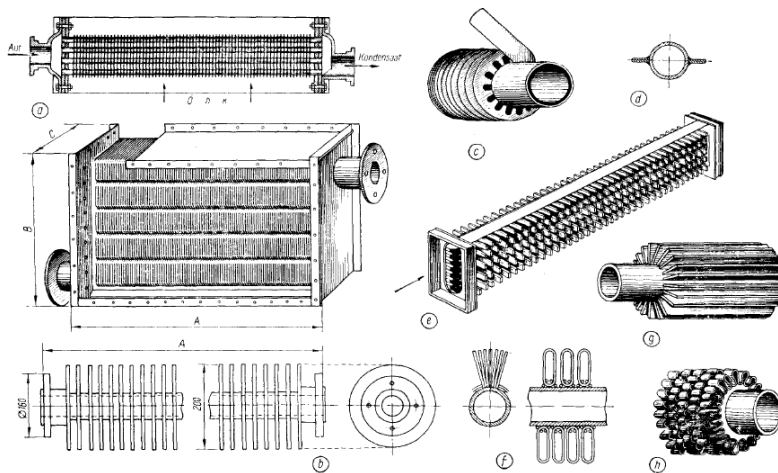
Kohtades, kus gaaside segunemine ei ole lubatud, kasutatakse rekuperatiivset soojusvahetit, nt vt ka Joonis 0.5, Joonis 0.6, Joonis 0.7).

<sup>6</sup> H. Arro, A. Koni, A. Kull, I. Mikk, A. Ots, A. Poobus, H. Roolaid, L. Öispuu. Soojustehnika käsiraamat. Tallinn Valgus 1977



*a* – liikumatute toruladadega, *b* – ristvaheseintega torudevahelises ruumis ja ülemise torulaua membraankompensaatoriga, *c* – kere läätskompensaatoriga, *d* – V-kujuliste torudega, *e* – W-kujuliste torudega, *f* – ujuva kambri (torulauaga), *g* – juht-toru sülfon-kompensaatoriga, *h* – tutsi topistihendiga, *i* – kere topistihendiga, *j* – risttorudega

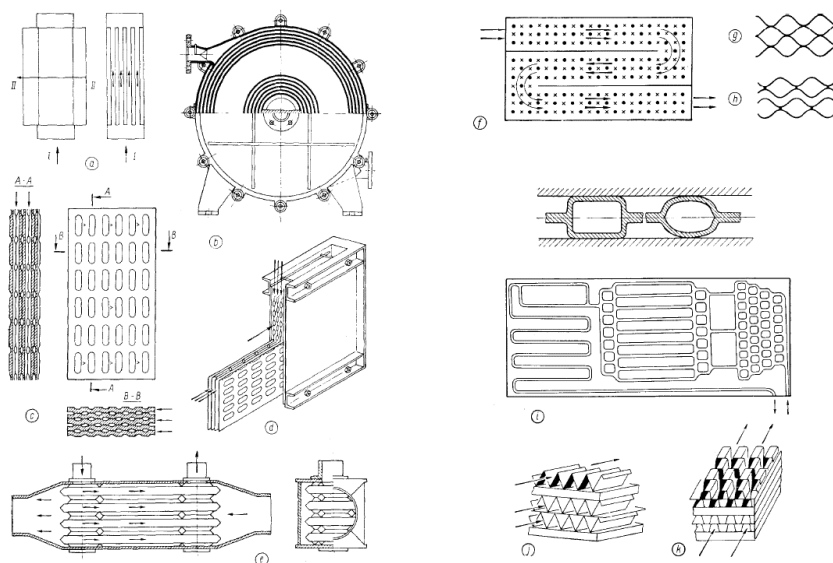
**Joonis 0.5. Manteltorusoojusvahetid<sup>7</sup>**



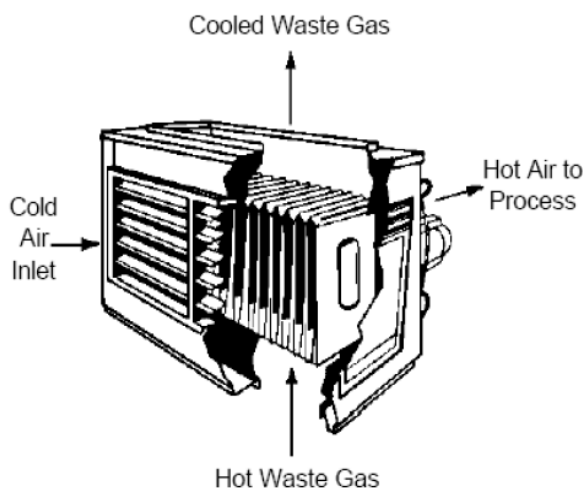
*a* – plaatidega ribitatud torud, *b* – ümarribidega malmtoru, *c* – spiraalribidega toru, *d* – uimtoru, *e* – kahepoolse nõelribitusega malmtoru, *f* – traadist spiraalidega (bispiraalne) ribitoru, *g* – piki-ribitusega toru, *h* – metall-lindist volditud ribidega toru

**Joonis 0.6. Ribitorusoojusvahetid<sup>8</sup>**

<sup>7</sup> H. Arro, A. Koni, A. Kull, I. Mikk, A. Ots, A. Poobus, H. Roolaid, L. Öispuu. Soojustehnika käsiraamat. Tallinn Valgus 1977  
<sup>8</sup> H. Arro, A. Koni, A. Kull, I. Mikk, A. Ots, A. Poobus, H. Roolaid, L. Öispuu. Soojustehnika käsiraamat. Tallinn Valgus 1977



**Joonis 0.7. Plaatsoojusvahetid<sup>9</sup>**



**Joonis 0.8. Rekuperatiivne gaas-gaas soojusvaheti õhu soojendamiseks<sup>10</sup>**

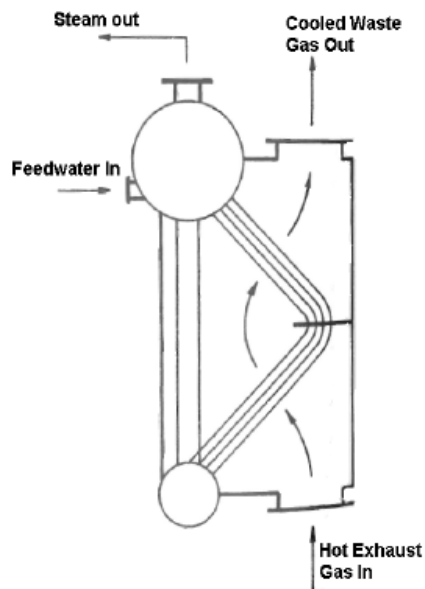
Rekuperatiivsed soojusvahetid (Joonis 0.8) on enamasti kasutusel madala või keskmise temperatuuriga heitsoojuse korral. Rakenduskohad on ahjud, aurukatlad, gaasiturbiinide põlemisgaasid ja ruumiõhu soojustagastus.

Ribitatud torudega soojusvahetid leiavad kasutust gaas-vedelik meediumite korral. Näiteks katla ökonomaiser, kus põlemisgaaside soojus kantakse üle katla toiteveele. Gaasiks võib olla mistahes kuum gaas ja vedelikuks, mis tahes otstarbel kasutatav soe vesi või õli.

Kui heitsoojust sisaldava gaasi temperatuur on piisavalt kõrge ja tarbija vajab auru, siis kasutatakse heitsoojuse üle kandmiseks heitsoojuskatelt ehk utilisaatorkatelt, vt ka Joonis 0.9.

<sup>9</sup> H. Arro, A. Koni, A. Kull, I. Mikk, A. Ots, A. Poobus, H. Roolaid, L. Öispuu. Soojustehnika käsiraamat. Tallinn Valgus 1977

<sup>10</sup> Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. U.S. Department of Energy. 2008



**Joonis 0.9. Heitsoojuse aurukatel ehk utilisaatorkatel<sup>11</sup>**

Heitsoojuskateldele võib paigaldada lisapõleti(eid), mille eesmärk on vajadusel põletada katlas täiendavalt kütust soojuse saamiseks olukorras, kus heitsoojusest ei piisa soovitud pärameetritega (rõhk, temperatuur) auru genereerimiseks.

### Soojuse salvestamine

Üks viis soojuse salvestamiseks on töödeldava materjali soojendamine. Üheks enim kasutatavaks näiteks on katla toitevee eelsoojendamine läbi soojusvaheti. Sama põhimõtet saab rakendada kolde põlemisgaaside soojuse salvestamisega koldesse antava ja seal kuumutatava materjali eelsoojendamiseks. Alumiiniumitööstuses kasutatakse nt sulatatava materjali eelsoojendamist, vt ka Joonis 0.10.



**Joonis 0.10. Sulatatava alumiiniumi eelsoojendamisega vertikaalne toruahi („stack melter“)<sup>12</sup>**

Vertikaalne toruahi on eelistatum alumiiniumi sulatamise ja valu tegemise tehnoloogia võrreldes lekkiirusahjuga, kuna esimesega on võimalik vähendada energia tarbimist kuni 47%, võrreldes viimasega.

<sup>11</sup> Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. U.S. Department of Energy. 2008

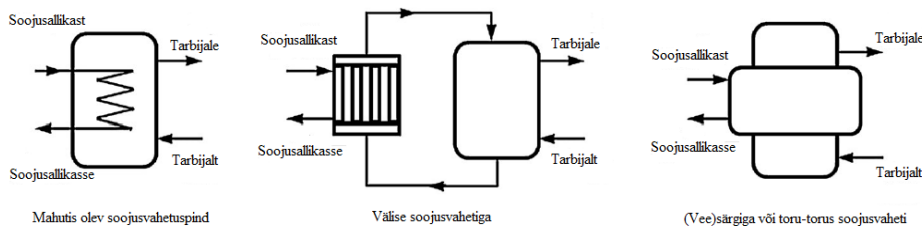
<sup>12</sup> Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. U.S. Department of Energy. 2008

## Salvestamine vedelikku, auru

Esineb olukordi, kus heitsoojus jääb teatud perioodil üle või mingil ajahetkel puudub tarbimine. Samas, mingil teisel ajahetkel on tarbimine olemas, aga heitsoojuse kogusest ei piisa või seda ei ole vajalikul hetkel saada. Sellistel juhtudel on võimalik kasutada soojuse salvestamist. Madala- ja keskmise temperatuuriline energia salvestamist soojusülekanne teel kasutatakse valdavalt temperatuuridel kuni 200 °C. Seda on laialdaselt uuritud ning see leiab kasutust ka hoonete kütte- ja jahutussüsteemides. Keskmise ja kõrgetemperatuuriline salvestamine on üle 200 °C ning see leiab rakendust nt tööstuses, elektrijaamades (sh päikeseelektriijaamad, CSP-*concentrated solar power* – kontsentreeritud päikeseelektriijaam, kus toimub soojuse salvestamine auruna kasutamiseks auruturbiinis, et jaam saaks töötada ööpäev läbi ja siis kui päike ei paista).<sup>13</sup>

Vesi on sobilik energia salvestamiseks soojusena temperatuurivahemikus 5 °C...95 °C ning veel on suhteliselt suur soojusmahtuvus, kõrge erisoojus (4,18 kJ/(kg K)), ja seda võib pidada hinna poolest suhteliselt odavaks.

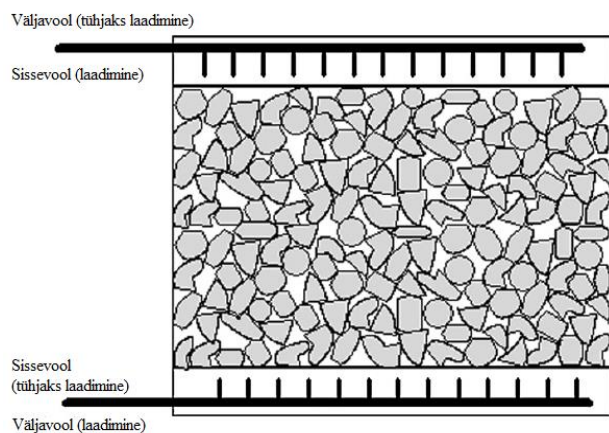
Vee kasutamiseks on vaja mahuteid, mis võivad olla tehtud metallist, betoonist või olla looduslikud õnsused (graniit). Salvestamiseks võib kasutada mahutis olevat vett, mis on ka salvestatavaks aineks (aktiivne süsteem) või mingit muud vedelikku, mis läbib mahutisse paigaldatud soojusvahetit (passiivne süsteem) (Joonis 0.11).



### Joonis 0.11. Energia salvestamine mahutis soojusülekanne kasutades<sup>14</sup>

Pinnasesse salvestamise puhul ei vaadelda traditsioonilist kaljupinnasesse energia salvestamist, vaid energia salvestamiseks valmistatud kivikihti (mineraalset kihti). Kivikihti salvestamisel (Joonis 0.12) läbib kivikihti soojuskandjana nt kas vesi või õhk.

Pinnasesse salvestamise (sh kivi) korral tuleb peamiselt arvestada süsteemide paigaldamise kuludega (pinnase eemaldamine, tagasitäitmine, puurimine jne), kuna pinnas ise on suhteliselt odav. Kasutatakse nii vertikaalseid puurauke (Joonis 0.13) kui ka horisontaalseid torusid (Joonis 0.14).

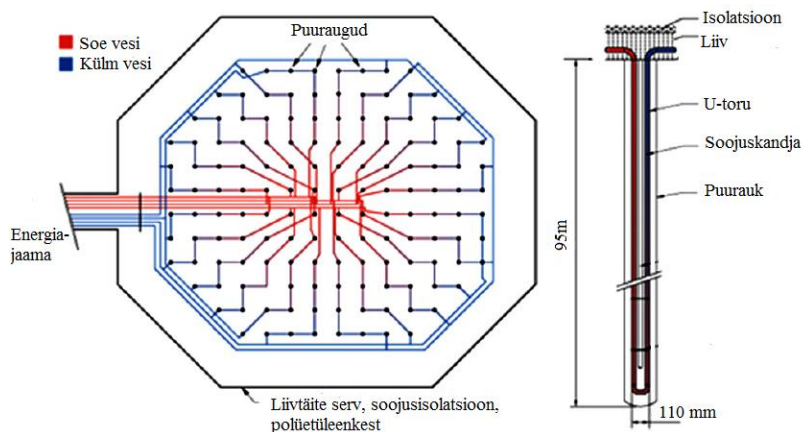


<sup>13</sup> A. Rosin, S. Link, H. Hõimoja, I. Drovtar. Energiasalvestid ja salvestustehnoloogiad. 2015.

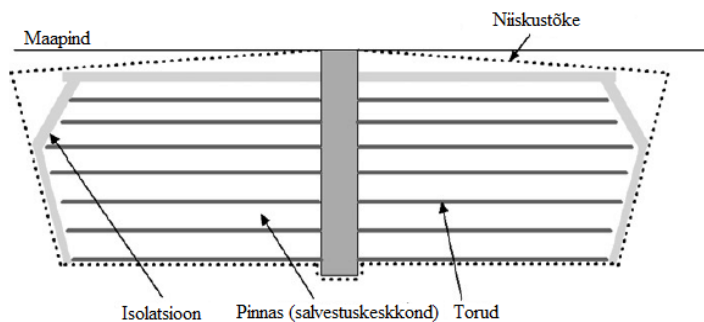
<sup>14</sup> Y.M. Han, Y.M., R.Z. Wang, R.Z., Y.J. Dai, Y.J. (2009). Thermal stratification within the water tank. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (2009) , 1014–1026.



## Joonis 0.12. Kivikihti salvestamise põhimõte<sup>15</sup>



## Joonis 0.13. Drake Landing Solar Community hooajaline soojussalvesti<sup>16</sup>



## Joonis 0.14. Vaulruz süsteem<sup>17</sup>

Õlisid ja kemikaale (nt soolad) kasutatakse samuti energiat salvestava ainena. Õli ja kemikaalid on kallimad kui vesi ja neid kasutatakse, kui soovitakse saada kõrgemaid temperatuure e salvestada soojust kõrgemal temperatuuril. Igasuguseid plokkse, plaate jne, mis on tehtud erinevatest materjalidest nagu betoon, grafiit, raua ja rauaoksiidist tehtud pilleid, ümargraanuleid jne saab samuti kasutada faasimuutuseta energia salvestamisel salvestava keskkonnana. Samas on sellised lahendused kallimad, võrreldes kivi, pinnase või vee kasutamisega. Teisest küljest võimaldavad nad rakendada kõrgemaid temperatuure.

### Kihistumisega salvestamine

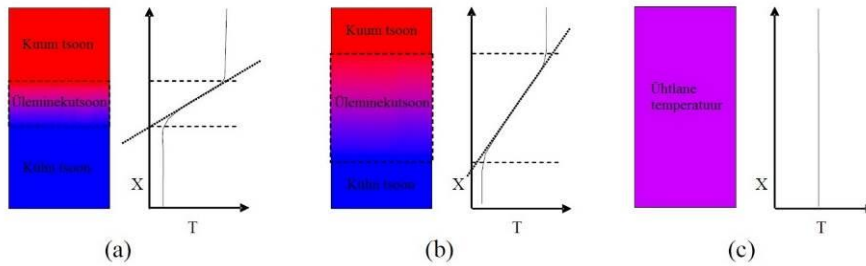
Faasimuutuseta salvestamisel on üheks oluliseks aspektiks nn temperatuuriline kihistumine (Joonis 0.15). Kihistumine aitab tõsta nn energiakvaliteeti (eksergiat). Kihistumine suurendab salvestist kasutatavat energiat, võrreldes kihistumata olukorraga, mis tuleneb soojusülekaneks vajalikust temperatuuride vahe erinevusest (Joonis 0.15).

<sup>15</sup> P. Pinel, P., C.A. Cruickshank, C.A., I. Beausoleil-Morrison, I., A. Wills, A. (2011). A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, (2011) 3341– 3359.

<sup>16</sup> Drake Landing Solar Community. Borehole thermal energy storage (BTES). <http://www.dlsc.ca/borehole.htm>.

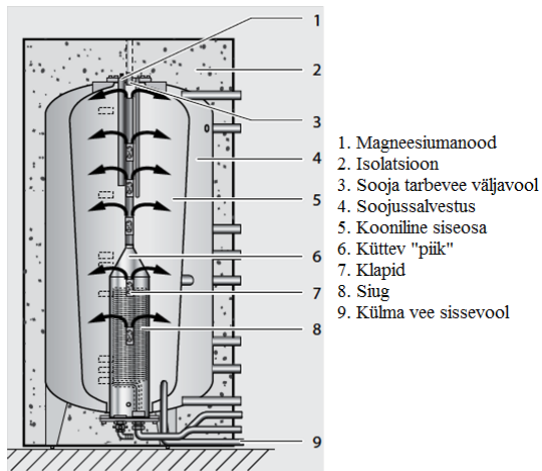
<sup>17</sup> Chuard, P., Chuard, D., Gilst, van J., Hadorn, J.C., Mercier, C. (1983). IEA Task VII Swiss project in Vaulruz – design and first experiences. – International conference on subsurface heat storage in theory and practise.





**Joonis 0.15. Kihistumise erinevad tasemed: a) hästi kihistunud, b) keskmiselt kihistunud, c) segatud (mittekihistunud)<sup>18</sup>**

Joonis 0.16 illustreerib ühte võimalikku kihilise salvesti konstruktsiooni.



**Joonis 0.16. Kihilise salvesti üks konstruktsioon<sup>19</sup>**

### Energia salvestamine faasimuutuse teel

Termokeemiline protsess põhineb energia salvestamisel mingi aine veesidemete lõhkumisel soojusega (desorptsioon<sup>20</sup>), ühe produkti aurustamises ja kondenseerumises hilisemaks kasutamiseks. Soojus tagastatakse, kui kondenseerunud aine taas aurustatakse ja seotakse uuesti (sorptsioon) teise ainega. Osad molekulid (sorbent) on vee (sorbaat) suhtes kõrge afiinsusega<sup>21</sup> ja moodustavad sellega tugeva sideme. Selle sideme lõhkumine (desorptsioon) ja järgnev aurustamine on endotermiline reaktsioon. Vastupidine reaktsioon (sorptsioon) on eksotermiline reaktsioon. Sorptsioonivõimalusi näitab Tabel 0.3.

<sup>18</sup> . Cruickshank, C.A. (2009). Evaluation of a stratified multi-tank thermal storage for solar heating applications :. PhD Thesis., Queens University, Canada

<sup>19</sup> Buderus.

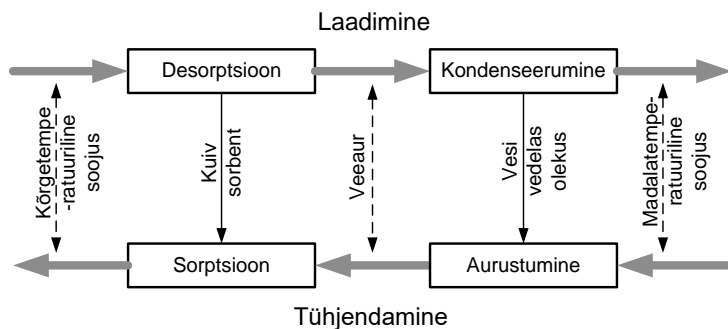
<sup>20</sup> Desorptsioon on adsorptsiooni vastupidine protsess. Adsorptsioon on aatomite, ionide, biomolekulide, gaasiliste, vedelate ning lahustunud molekulide adhesioon pinnale.

<sup>21</sup> Afiinsus iseloomustab keemias aine või funktsionaalrühma võimet reageerida mingi teise ainega.

Tabel 0.3. Võimalikud sorptsioonivõimalused<sup>22</sup>

Absorptsioon	Adsorptsioon	Tahke-gaas reaktsioon
NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O (0,40 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O-zeoliit 4A (0,08 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O-Na <sub>2</sub> S (1,27 GJ/kg)
H <sub>2</sub> O-NaOH (1,00 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O – ränigeel (0,14 GJ/kg)	H <sub>2</sub> O-MgCl <sub>2</sub> (0,84 GJ/kg)
-	-	H <sub>2</sub> O-CaCl <sub>2</sub> (0,98 GJ/kg)
-	-	H <sub>2</sub> O-LiCl (0,71 GJ/kg)

Suletud ringiga sorptsiooni põhimõttel energia salvestamisel (Joonis 0.17) toimub väliskeskkonnaga soojusvahetus, mille tulemusena laadimise faasis sorbaat (vesi) kondenseeritakse. Tühjaks laadimise faasis aga aurustatakse. Aurustumisprotsess vajab madalatemperatuurilist soojust ( $\geq 5\text{ °C}$ ), et tühjaks laadimise faasis vesi aurustada. Selline madalatemperatuuriline soojus on võimalik saada hoone jahutamisel, välisõhust või teiselt „tasuta“ allikalt. Eksotermiline protsessi käigus eraldunud soojust saab kasutada nt hoone kütmiseks. Seega saab ka seda energia salvestamise viisi kasutada nii kütmiseks kui jahutamiseks.



Joonis 0.17. Suletud ringiga sorptsioonipõhine salvestamine<sup>23</sup>

## 1.1.2 Aktiivsed tehnoloogiad

Aktiivsed tehnoloogiad on sorptsioonüsteemid, mehaaniliselt käitatavad soojuspumbad ja orgaaniline Rankine'i tsükkel (ORC). Aktiivsete rakendustega saab toota soojust (WHTH), külma (WHTC) või elektrit (WHTP). WHTH ja WHTC on tehnoloogiad, milles toimub soojuse transformatsioon – siseneva soojuskandja temperatuuri muudetakse kas madalamaks või kõrgemaks.

Enim levinud lahendused on järgmised:

- Kompessorsoojuspump – nn soojuse tootmiseks (150–500 €/kW)
- Absorptsioonsoojuspump – nn soojuse tootmiseks (330–830 €/kW),
- Absorptsioonkülmajaam – nn külma tootmiseks (800–2000 €/kW),
- Rankine-i ringtsükkel - auru tootmiseks (1100-1400 €/kW),
- Orgaaniline Rankine'i ringprotsess (1500-3500 €/kW),
- Kalina ringprotsess (1100-1500 €/kW).

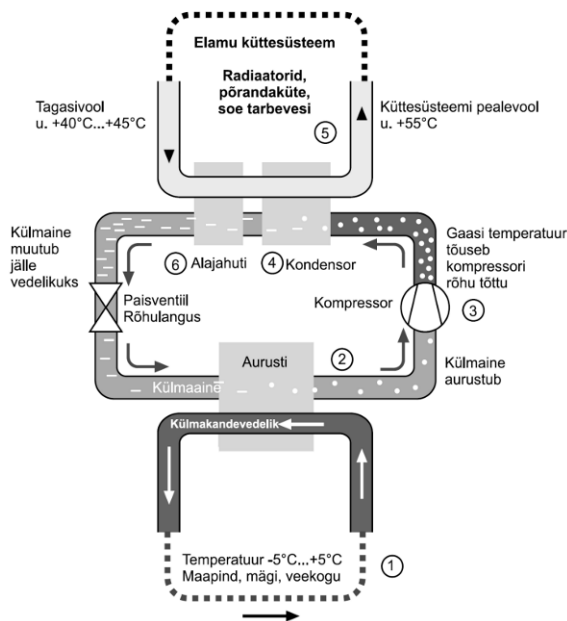
<sup>22</sup> Bales, C., P. Gantenbein, P., A. Hauer, A., H.-M. Henning, H.-M., D. Jaenig, D., H. Kerskes, H. et al. (2005). Thermal properties of materials for thermo-chemical storage of solar heat. Report B2-IEA SHC Task 32 :. International Energy Association., 2005.

<sup>23</sup> Bales, C., P. Gantenbein, P., D. Jaenig, D., R. Weber, R. (2007).. Laboratory prototypes of thermo-chemical and sorption storage units. Report B3-IEA SHC Task 32 :. International Energy Association, 2007

Erinevalt Rankine'i ringprotsessist saab ORC ja Kalina ringprotsessi rakendada heitsoojusele 100-200 °C (kuumad vedelikud, heitgaasid jms), kusjuures Kalina ringprotsessi sobib kasutada just temperatuurivahemiku madalamas otsas. Rankine'i ringprotsess sobib pigem kõrgtemperatuurilisele heitsoojusele.

### Kompressorsoojuspump

Soojus levib looduses iseeneslikult kõrgema temperatuuriga kehalt madalama temperatuuriga kehale. Vastupidine protsess saab toimuda ainult tehniliku soojustransformaatori abil. Soojuspump (vt ka Joonis 0.18) on seade soojuse ülekandmiseks madalama temperatuuriga keskkonnalt kõrgema temperatuuriga keskkonnale, st on soojustransformaator. Soojuspumpasid kasutatakse kütte- ja konditsioneerimissüsteemides ning tehnoloogilistes protsessides.



Joonis 0.18. Soojuspumba töötamis põhimõte<sup>24</sup>

Töötamis põhimõttelt on soojuspump analoogne külmutusseadmega (näiteks koduse külmikuga), temperatuurinivood on neil aga erinevad: külmutusseadmes kantakse soojus jahutatavalt (külmutatavalt) objektilt keskkonnale, soojuspumpas tavaliselt aga väliskeskkonnalt (madaltemperatuurilisel soojusallikalt, milleks võib olla heitsoojus) soojendatavale objektile (hoonete kütteks, protsessisoojuseks jne). Soojuspump on universaalne seade – ta võib üheaegselt olla soojendajaks ja jahutajaks.

Soojuspumba tööd iseloomustatakse soojusteguriga (ingl *Coefficient of Performance – COP*) - väljastatud soojuse suhe soojuspumba poolt tööks tarbitud energiasse (vt ka Joonis 0.19):

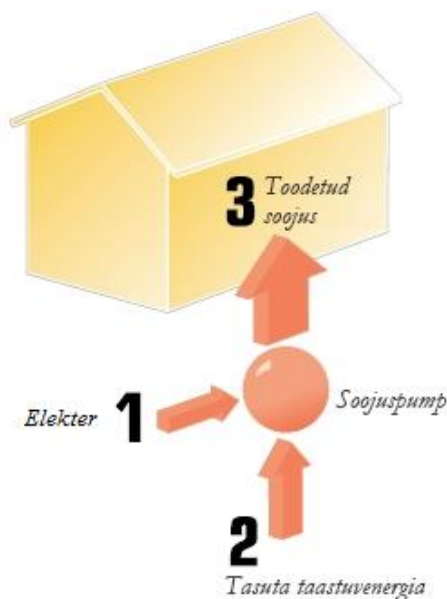
$$\varphi_0 = \frac{q_2}{l} \geq 1$$

kus:  $q_2$  – ringprotsessist eemaldatav soojushulk kJ/kg;  
 $l$  – ringprotsessi kulutatud töö kJ/kg.

Ehk teisiti kirjutades:

$$COP = \frac{\text{Soojuspumba soojustoodang}}{\text{Soojuspumba poolt tarbitud energia (elekter)}}$$

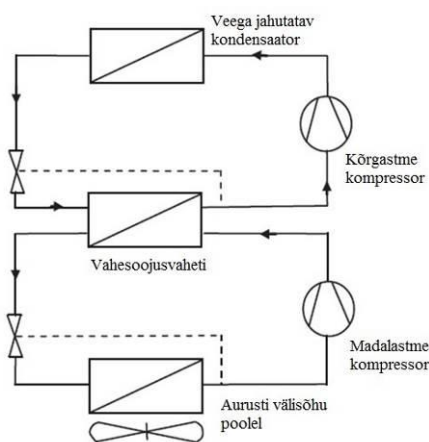
<sup>24</sup> Thermia.



Joonis 0.19. Soojuspumba lihtsustatud energiabilanss

### Komprimeerimine

Kompressor on soojuspumba „süda“ ning nii kompressoritele kui komprimeerimisele pööratakse seetõttu olulist tähelepanu. Komprimeerimisega tõstetakse aurustunud külmaaine rõhku, mis võimaldab külmaainel pärast komprimeerimist kondenseeruda kõrgema temperatuuri juures ja loovutada soojust. Mitmeastmelise komprimeerimise korral on tegemist rohkem kui ühe komprimeerimise astmega nt kaskaadi ühendatuna (vt ka Joonis 0.20). Võrreldes üheastmelise komprimeerimisega, on mitmeastmelise komprimeerimisel astme rõhutõusuaste väiksem ja samas kogu komprimeerimise efektiivsus suurem.



Joonis 0.20. Kaskaadi ühendatud mitmeastmelise komprimeerimisega soojuspump<sup>25</sup>

### Absorptsioonseade

Absorptsioon-soojustransformaatoris kasutatakse soojuste transformeerimiseks soojust. Erinevus eelpool kirjeldatud kompressormasina tööpõhimõttest on selles, et absorptsioonseadmetes kasutatakse termodünaamilise keha rõhu tõstmiseks termokeemilist komprimeerimist. Selleks kasutatakse väliskeskonna temperatuurist kõrgema temperatuuriga soojusallikalt saadavat soojust. Termodünaamiliseks kehaks on binaarlahus, mis on kahe erinevate termodünaamiliste omadustega aine segu.

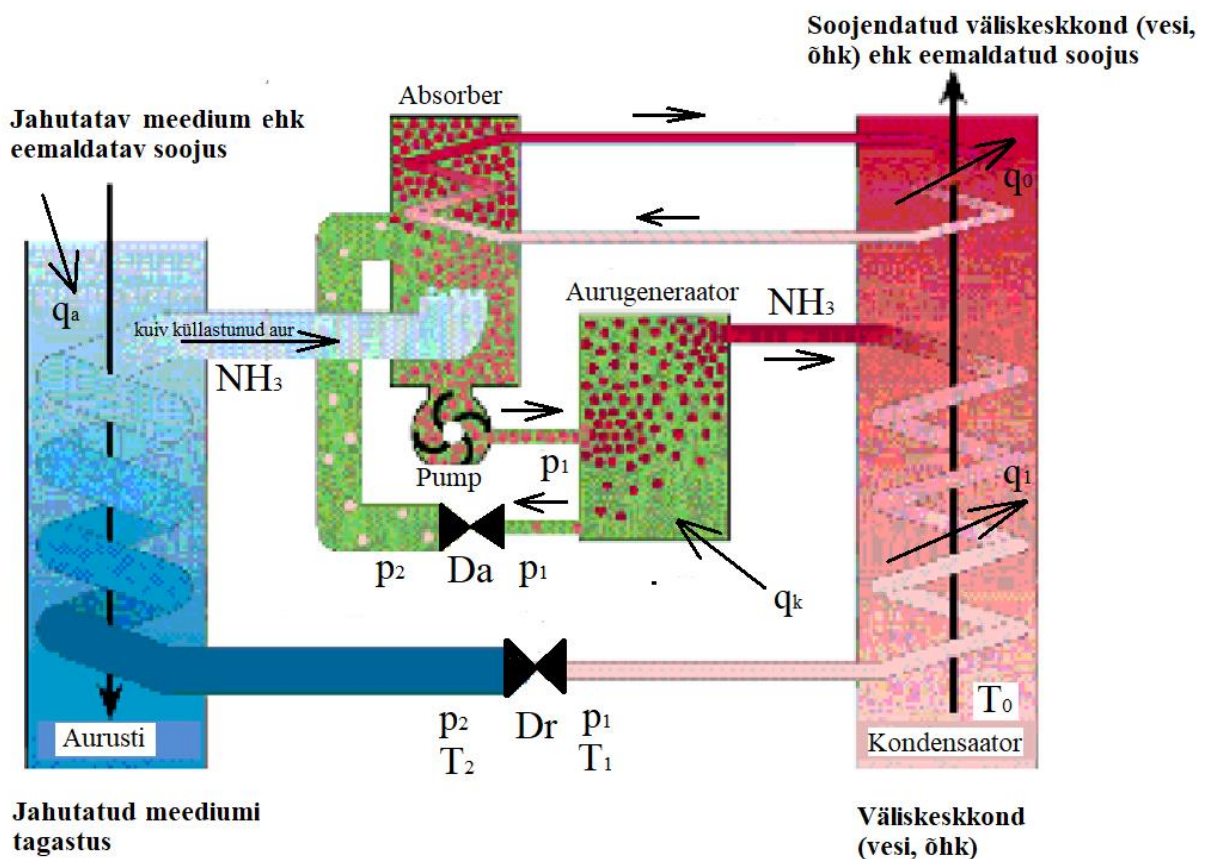
<sup>25</sup> K.J. Chua, S.K. Chou, W.M. Yang. Advances in heat pump systems: A review. Applied Energy 87 (2010) 3611-3624.

Absorptsioonseadmes kasutatakse lahuse omadust absorbeerida auru. Erinevalt puhtast ainest on lahusel võime absorbeerida teatud koostisega auru teistsuguse koostisega lahusest, kui esimese temperatuur on teise omast kõrgem.

Kahe erineva keemistemperatuuriga ainest koosneva binaarlahuse püsirõhuline keemistemperatuur sõltub komponentide vahekorrrast lahuses. Lahuse keemistemperatuur on seda kõrgem, mida suurem on kõrgema keemistemperatuuriga aine kontsentratsioon lahuses. Oluline on ka see, et keemisel moodustuv auru on madalama keemistemperatuuriga osise kontsentratsioon alati kõrgem kui keevas vedelikus.

Termodünaamilise kehana kasutatakse tavaliselt vesilahuseid, nt vee-ammoniaagi lahust. Vee keemispunkt on 100 °C ja ammoniaagil -33 °C.

Absorptsioonjahutusmasina põhimõtteline skeemi iseloomustab Joonis 0.21.



Joonis 0.21. Absorptsioonjahutusmasina põhimõtteline skeem

Aurugeneraatoris binaarlahusest ammoniaagi välja aurustamiseks suunatakse aurugeneraatorisse väljast poolt soojushulk  $q_k$ . Tekkivad ammoniaagi aurud kondenseeritakse kondensaatoris ümbritseva keskkonna temperatuuril ( $T_0$ ). Vedela ammoniaagi aurustamiseks drosseldatakse kondensaatorist väljuv vedel ammoniaak drosselventiilis (Dr) rõhult  $p_1$  rõhuni  $p_2$ . Drosseldusprotsessis langeb ammoniaagi temperatuur  $T_1$ -lt jahutuskambri ehk aurusti temperatuurini  $T_2$  ja moodustub niiske aur. Aurustis juhitakse jahutatavalt keskkonnalt ammoniaagile soojushulk  $q_a$  ja niiskest ammoniaagi aurust saadakse isobaarilises-isotermilises aurustumisprotsessis temperatuuril  $T_2$  kuiv küllastunud aur (või ka väikese niiskusega aur), mis suunatakse absorberisse. Samaaegselt suunatakse absorberisse aurugeneraatorist läbi drosselventiili Da ka madala ammoniaagi kontsentratsiooniga vesilahus, mille rõhk alaneb drosseldamisel rõhult  $p_1$  rõhule  $p_2$ .

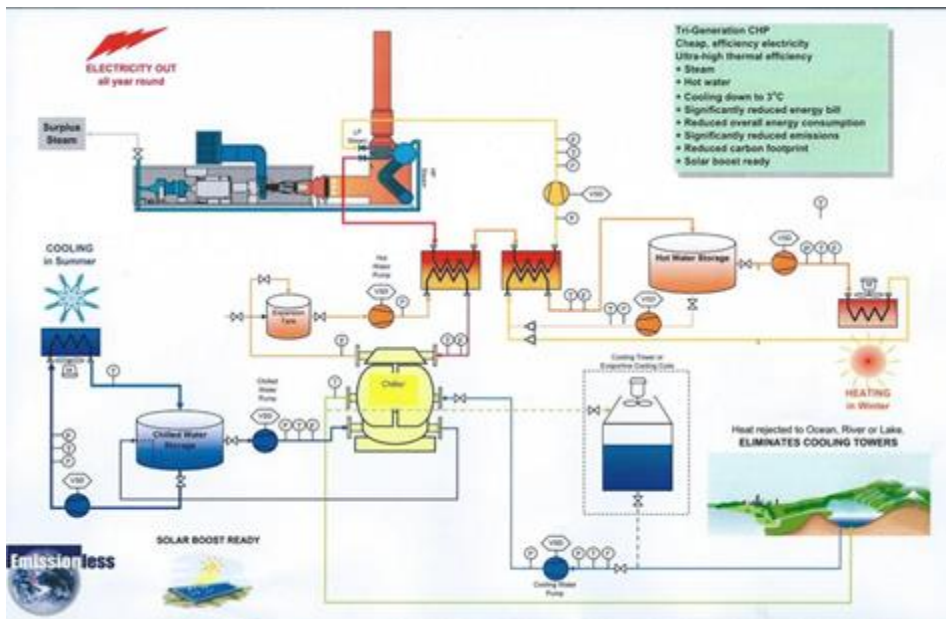
Toimub auru kondenseerumine (absorptsioon). Kuna tegemist on eksotermilise protsessiga kaasneb sellega temperatuuri tõus ehk kondenseerumisel eraldub soojus  $q_0$ , mis juhitakse ümbritsevasse keskkonda, et ammoniaagi neeldumisvõime lahusesse ei väheneks. Madalama

keemistemperatuuriga komponendi kontsentratsioon vedelikus kasvab absorptsioonprotsessi tulemusel.

Kõrgendatud kontsentratsiooniga vedeliku rõhk tõstetakse rõhult  $p_2$  pumbas rõhule  $p_1$  ning suunatakse aurugeneraatorisse. Aurugeneraatori ja absorberi vaheline drosseldamine läbi drosselventiili Da tasakaalustab ja hoiab muutumatuna erineva keemistemperatuuridega komponentide kontsentratsiooni nii aurugeneraatoris ja absorberis.

Võrreldes aurukompressor seadmega, on absorptsioonseade keerukam, kuid puudub kompressor. Teisest küljest jahutustegur on aga suhteliselt väike (1,5). Seadet on otstarbekas kasutada, kui on saada odavat (heit)soojust (ventilatsioonisoojus, päikesesoojus), eriti võrreldes elektri hinnaga. Kasutatakse tavaliselt suurte seadmete korral.

Elektri ja soojuste koostootmise süsteemides, annab absorptsioonjahutuse kasutamise võimaluse koostootmisprotsessis suvel üle jäävat soojust kasutada jahutamiseks (ingl *trigeneration* – kolmikgenereerimine, kolmiktootmine), vt ka Joonis 0.22.

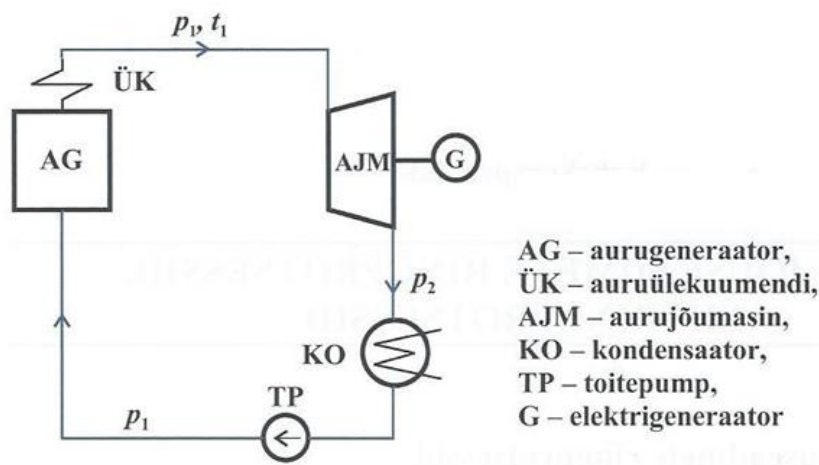


Joonis 0.22. Külma, soojuste ja elektri koostootmine näidisskeem

### Rankine'i ringptotsess

Tänapäeval toodetakse valdav osa (~80%) elektrist veeauru abil. Selleks kasutatakse aurujõuseadmeid. Veeauru saamiseks kasutatakse aurugeneraatoreid. Elementaarse aurujõuseadme skeemi kujutab Joonis 0.23.





Joonis 0.23. Aurujõuseadme skeem

Aurugeneraatorisse pumbatav vesi muutub isobaarilises kuumutus- ja aurustusprotsessis kuivaks küllastunud auruks. Auruülekuumendis tõstetakse auru temperatuur vajaliku kõrguseni. Aurugeneraatoris toimivate protsesside tulemusena saab termodünaamiline keha soojushulga  $q_1$ . Auruülekuumendist läheb aur aurujõumasinasse (tavaliselt turbiini, aga ka aurumootoris), milles ta paisub adiabaatselt rõhult  $p_1$  rõhuni  $p_2$ . Auru paisumisel turbiinis tehtav kasulik töö kasutatakse elektrigeneraatori käitamiseks. Aurujõumasinast väljuv aur kondenseerub kondensaatoris, seejuures vabaneb soojushulk  $q_2$ . Kondensaatorit jahutatakse kas loodusliku veega või suletud jahutussüsteemi abil (õhu või veega).

Tsükli keskmine kasutegur on suurusjärgus 30 - 40%. Kasutegur sõltub seadme suurusest ja auru parameetritest. Mida kõrgemad on auru rõhk ja temperatuur, seda suurem on ka kasutegur.

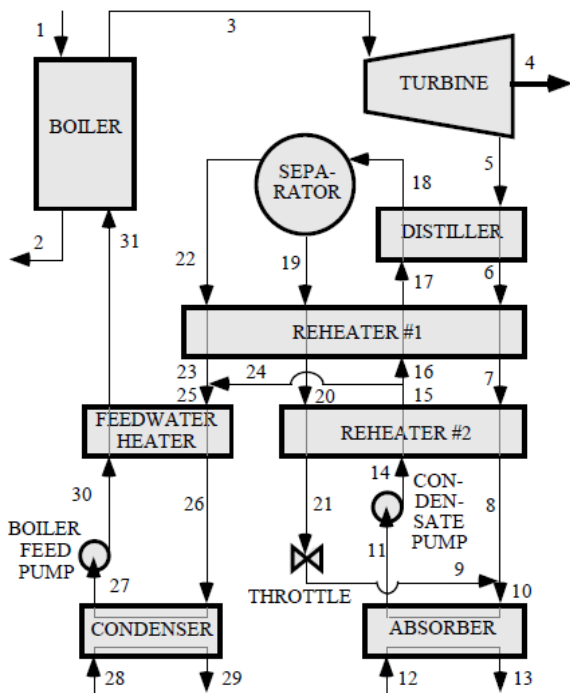
### Orgaaniline Rankine'i ringprotsess (ORC)

Orgaanilise Rankine'i ringprotsess on põhimõttelt sama, mis tavaline veel baseeruv protsess, kuid termodünaamiliseks kehaks või soojuskandjaks on vee asemel orgaaniline vedelik. ORC korral on võimalik kasutada heitsoojust alates 66 °C.

Tsükli keskmine kasutegur on suurusjärgus 10 - 20%.

### Kalina ringprotsess

Kalina ringprotsess on Rankine'i ringprotsessi edasiarendus. Soojuskandjaks on siin nt ammoniaak-vee lahus. Kui ühefaasilise soojuskandja ehk nt vee korral on keemisel temperatuur konstantne kuni vesi on aurustunud, siis binaarlahuse korral segu aurustumisel temperatuur tõuseb. Lahuses olevatel ainetel on erinev keemistemperatuur. See võimaldab paremini ära kasutada vastava temperatuuriga heitsoojust. Seetõttu on ka tsükli kasutegurid 10% võrra suuremad, võrreldes konventsionaalse Rankine'i tsükliga. Kalina protsessi skeemi iseloomustab Joonis 0.24.



Joonis 0.24. Lihtsustatud Kalina ringprotsessi skeem<sup>26</sup>

Heitsoojust võib saada nt põlemisgaasidelt (1-2). Üle kuumendatud ammoniaagi-vee aur (3) suunatakse turbiin (4), kus toimub paisumine ja tehakse tööd. Turbiinist väljuv meedium (5) jahutatakse maha (6,7,8), lahjendatakse ammoniaagi-vaese vedelikuga (9,10) ja kondenseeritakse (11) absorberis külma veega (12,13). Absorberist lahkuv küllastunud vedelik komprimeeritakse (14) vahepealsele rõhule ja soojendatakse (15,16,17,18). Küllastunud segu juhitakse separaatorisse, kus eraldatakse vedelfaas ja aurufaas. Separatuurist väljub ammoniaagi-vaene vedelik (19), mida jahutatakse ja mille rõhku alandatakse drosseldamisega (20, 21). Ammoniaagi-rikas aur (22) jahutatakse (23) ja sellele lisatakse juurde algset kondensaati (24), saades segu ammoniaagi kontsentratsiooniks 70%. Seejärel segu jahutatakse (26), kondenseeritakse (27) jahutusveega (28,29), komprimeeritakse (30) ja suunatakse uuesti katlasse (31).

Kalina ringprotsessi soojusallika temperatuurivahemik on 100-140 °C (nt Husaviki geotermaaljaam Islandil).

<sup>26</sup> G. Wall, C-C. Chuang, M. Ishida. Exergy Study of the Kalina Cycle. Published in: R. A. Bajura, M. R. von Spakovsky and E. S. Geskin Eds., Analysis and Design of Energy Systems: Analysis of Industrial Processes, AES-Vol. 10-3, pp. 73-77, ASME

# Heitsoojuse kasutamise näiteid mujal riikides

Käesolevas peatükis kirjeldatakse heitsoojuse kasutamise näiteid lisaks Eestile ka teistes riikides: Taanis, Saksamaal, Norras ja Rootsis.

## 1.1 Taani

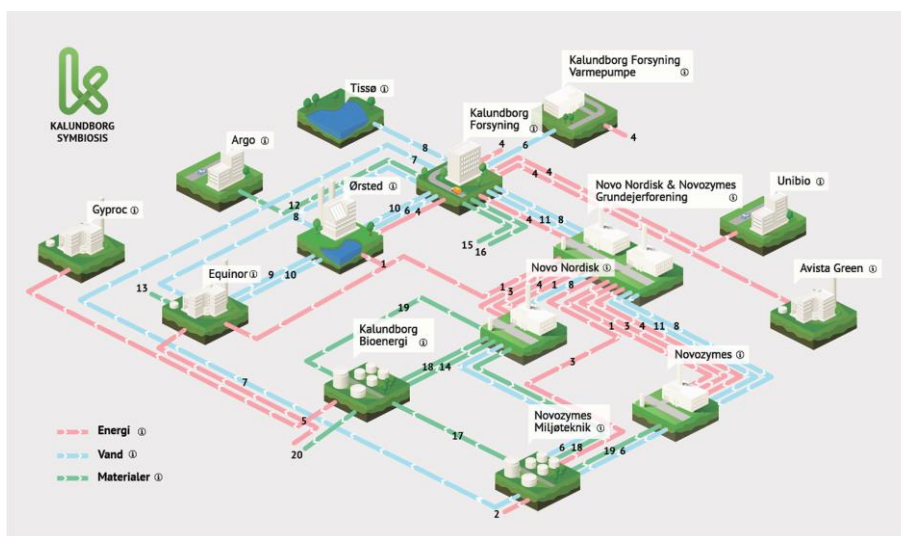
Taanis leiab tööstuse heitsoojus enamasti kasutatust kaugküttesüsteemides soojusallikana ehk heitsoojust kasutatakse ruumide kütmiseks ja tarvevee soojendamiseks.<sup>1</sup> Tööstuse heitsoojuse aktiivsemat rakendamist on tagant tõuganud suhteliselt kõrge maagaasi hind ja madal võrku antava elektri hind, mis muudavad maagaasil töötavad SEK jaamad majanduslikult ebaotstarbekas.

Taanis arendatakse madaltemperatuurilisi nn neljanda põlvkonna kaugküttesüsteeme, mis võimaldavad suuremal määral ära kasutada heitsoojust. Mida madalamad on soojuskandja parameetrid kaugküttevõrgus, seda madalama temperatuuriga heitsoojust on võimalik vastu võtta ja ära kasutada (ilma, et temperatuuri peaks SP-ga tõstma).

Taanis on heitsoojuse kasutamise projekte tehtud alumiiniumitööstuses, metallitööstuses, pumpade tootmises, paberitööstuses, klaasitööstuses, kartulikrõpsude tootmises, pakenditööstuses, kaubanduskeskustes (jahutuse kompressorite soojus suunatakse kaugküttevõrku).

Üks tuntumaid ringmajanduse piirkondi Taanis on Kalundborgi ökotööstuspark, mis on Kalundborgis asuv tööstussümbioosivõrgustik, milles piirkonna ettevõtted teevad koostööd, et kasutada üksteise kõrvalsaadusi ja jagada muul viisil ressursse (

Joonis 0.1).



<sup>1</sup> IETS. Industrial Energy-Related Technologies and Systems. An Implementing Agreement established Under the auspices of the International Energy Agency. Annex XV: Industrial Excess Heat Recovery – Technologies and Applications. Phase 1. Country Reports

## Joonis 0.1. Taani, Kalundborgi ökotööstuspark. Maailma esimene tööstussümbioosi näide<sup>2</sup>

Koostöö ja selle keskkonnamõjud Kalundborgi ökotööstusparkis tekkisid erasektori algatuste kaudu, erinevalt valitsuse kavandamisest, muutes selle ökotööstusparkide eraplaneerimise mudeliks. Energiavõrgu keskmeks on Asnæsi elektrijaam, 1500 MW söeküttega töötav elektrijaam, mis on seotud paljude teiste ettevõtetega ja kogukonnaga nii materjalide voo kui energiavarustuse kaudu. Selle elektrijaama heitsoojust kasutatakse lisaks lähedal asuva kalakasvanduse ja 3 500 kohaliku kodu kütmiseks. Tuhaärastusest üle jäävat muda müüakse seejärel väetisena. Elektrijaama auru müüakse lisaks Statoili nafta rafineerimistehasele farmaatsia- ja ensüümitootjale Novo Nordisk. Selline soojuse kasutamine vähendab lähedalasuvasse fjordi juhitava termilise reostuse hulka. Lisaks sisaldab elektrijaama vääveldioksiidipesuri kõrvalsaadus kipsi, mida müüakse seinaplaatide tootjale. Sel viisil rahuldatakse peaaegu kõik tootja kipsivajadused, mis vähendab vajaliku avakaevandamise hulka. Lisaks kasutatakse elektrijaama lendtuhka ja räbu teedehituseks ja tsemendi tootmiseks. Selline jäätmete, vee ja materjalide vahetamine on oluliselt suurendanud keskkonna- ja majanduslikku efektiivsust ning toonud neile osalejatele muudki vähem käegakatsutavat kasu, mida saadakse personali, seadmete ja teabe jagamisest.<sup>3</sup>

## 1.2 Saksamaa

### 1.2.1 Paberitööstuse ruumiõhu soojustagastusega ventilatsiooniagregaat<sup>4</sup>

Aastast 2013 kasutab Saksamaa üks paberitööstusettevõtte sissepuhutava ventilatsiooniõhu eelsoojendamiseks heitõhus sisalduvat soojust. Õhu vajadus on 75 000 m<sup>3</sup>/h. Lisaks rootorsoojusvahetile on ventilatsiooniagregaadis vesiküttekalorifeer. Vesikalorifeeri jaoks vajalik soojust saadakse maagaasikatlamajast.

Investeeringu maksumus oli 113 000 EUR. Aastane kulude kokkuhoid gaaskütuselt 8 400 EUR/a (maagaasi hind 40 EUR/MWh). Maagaasi säästetakse 210 MWh/a ja CO<sub>2</sub> kokkuhoid on 42 t/a. Investeeringu elueaks loetakse 15 a, mis on pikem kui arvutuslik lihttasuvusaeg 13,5 a.

### 1.2.2 Protsessiheitsoojuse taaskasutamine soojuspumba abil<sup>5</sup>

Roth Werke GmbH valmistab energia- ja sanitaarsüsteeme. Ettevõttes töötab ca 1100 töölisi. Ettevõtte kasutab kütmiseks õlikatlaid. Mahutite tootmises tekib protsessi jahutamisel heitsoojust, mille temperatuur tõstetakse kolme soojuspumba (nn maasoojuspumba) abil

<sup>2</sup> Punasega on näidatud energia liikumine, sinisega vee liikumine ja rohelisega materjalide liikumine.  
[/http://www.symbiosis.dk/en/](http://www.symbiosis.dk/en/)

<sup>3</sup> Kalundborg Eco-industrial Park. Veebis: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kalundborg\\_Eco-industrial\\_Park](https://en.wikipedia.org/wiki/Kalundborg_Eco-industrial_Park)

<sup>4</sup> Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Deutsche Energie-Agentur, 2019.

<sup>5</sup> Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Deutsche Energie-Agentur, 2019.

50 °C-ni ja kasutatakse tootmishalli kütmiseks. Olemasolevaid õlikatlaid kasutatakse tipukateldena.

Projekti tulemusena vähendati energiavajadust kütteks 1,7 GWh/a. Lahenduse maksumus oli 250 000 EUR ja aastane rahaline sääst on 150 350 EUR/a. CO<sub>2</sub> kokkuhoid on 590 t/a.

### 1.2.3 Põlemisgaasides sisalduva soojusega absorptsioonkülmaseadme käitamine<sup>6</sup>

Molkerei Gropper on ca 500 töötajaga piima- ja mahlatoodete ja jookide valmistaja. Aastast 2012/2013 on ettevõttes kasutuses kaks gaasimootorit soojuse ja elektri koostootmiseks. Mootorite põlemisgaaside heitsoojust kasutatakse toitevee eelsoojendamiseks ja auru tootmiseks. Sellest üle jäävat ja korpuse jahutamise soojust kasutatakse kahe ammoniaak/vesi-absorptsioonjahutusseadme käitamiseks. Saadav jahutusvõimsus on 500-800 kW ja aastas toodetakse 9,6 GWh külma.

Projektiga maksumus oli 1 700 000 EUR ja ettevõtte säästab 515 000 EUR/a. Kokku toodetakse gaasimootorite ja jahutusseadmetega 34 GWh elektrit, 19 GWh auru ja 9,6 GWh külma. Selleks kasutatakse 86 GWh maagaasi. CO<sub>2</sub> kokkuhoid on 930 t/a.

### 1.2.4 Metalli termotöötlemise ahju heitsoojuse kasutamine elektri tootmiseks<sup>7</sup>

Kasselis asuv Volkswagen AG (ca 16 000 töötajat) tehas valmistab autodele metallist komponente. Metalli termotöötlemise ahju heitsoojust kasutatakse 400 °C temperatuuriga auru tootmiseks. Auru kasutatakse erilahendusena välja töötatud seadmes – *Steam-Rankine-Cycle*-seade (SRC-seade), vt ka Joonis 0.2. Aur paisub kolb-paisumismootoris, mille võll paneb pöörlema generaatori ja seeläbi toodetakse elektrit. Sellest omakorda üle jäävat soojust kasutatakse ruumide kütmiseks.



<sup>6</sup> Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Deutsche Energie-Agentur, 2019.

<sup>7</sup> Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Deutsche Energie-Agentur, 2019.

#### Joonis 0.2. SRC-seade

SRC-seadmega saadakse aastas 5 GWh heitsoojust protsessi ja saadakse 0,5 GWh elektrit ja 4,3 GWh kasulikku soojust. Projekti maksumus oli 768 000 EUR ja rahaline sääst on 230 000 EUR/a. CO<sub>2</sub> kokkuhoid on 394 t/a.

## 1.2.5 Keraamikatööstuse heitsoojuse kasutamine ORC protsessiga<sup>8</sup>

Conrad Liphard & Söhne GmbH (ca 80 töötajat) on keraamikatööstus, mis toodab kive tööstusele ja kahhelahjude valmistamiseks ja tehnoloogilist keraamikat gaasiturbiinide jaoks. Ettevõttes tekib heitsoojust kolmest keraamikaahjust. Selle heitsoojuse kasutamiseks paigaldati kaks ORC-Moodulit (nn e-Pack, vt ka Joonis 0.3) koguvõimsusega 40 kW<sub>el</sub>. Nende abil on võimalik aastas toota vähemalt 0,32 GWh elektrit.



#### Joonis 0.3. e-Pack ORC seadme näide<sup>9</sup>

Projekti maksumus oli 160 000 EUR ja aastane rahaline sääst on 51 200 EUR/a. CO<sub>2</sub> kokkuhoid on 196 t/a.

## 1.2.6 Metallitööstuse heitsoojuse kasutamine ORC protsessiga<sup>10</sup>

Saksamaal asuv metallitööstus paigaldas 2012 a ORC-süsteemi metallikumutusahjude heitsoojuse ärakasutamiseks. Heitsoojuse temperatuur on 550 °C. ORC-jaama koguvõimsus on 200kW<sub>el</sub> ja aastas toodetakse 1,4 GWh<sub>el</sub>. Investeeringuga vähendatakse elektri kulu metallikumutusahjude käitamiseks.

Projekti maksumus oli 790 000 EUR ja kulude kokkuhoid on 238 000 EUR/a. CO<sub>2</sub> kokkuhoid on 901 t/a.

<sup>8</sup> Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Deutsche Energie-Agentur, 2019.

<sup>9</sup> [http://effguss.bdguss.de/?wpfb\\_dl=174](http://effguss.bdguss.de/?wpfb_dl=174)

<sup>10</sup> Erfolgreiche Abwärmenutzung im Unternehmen. Energieeffizienzpotenziale erkennen und erschließen. Deutsche Energie-Agentur, 2019.



## 1.2.7 Tsemenditööstuse heitsoojuse kasutamine ORC protsessiga<sup>11</sup>

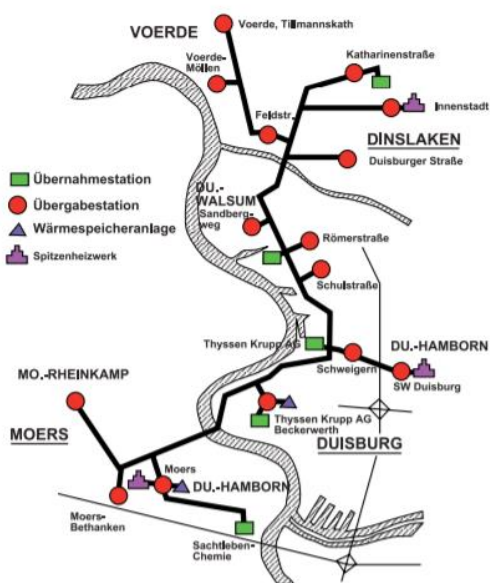
Lengfurt'is asuv HeidelbergCement AG tsemenditehas kasutab aastast 1999 klinkri õhuga (150 000 m<sup>3</sup>/h) jahutamisest tekkivat heitsoojust temperatuuriga 275 °C ORC protsessis elektri tootmiseks. Pärast soojusvahetit on õhu temperatuur 125 °C. Õli temperatuur on 85/230 °C. Soojusvahetite soojuslik võimsus on 12,8 MW. ORC seadme soojuslik võimsus on 8,2 MW<sub>s</sub> ja elektriline võimsus 1,95 MW<sub>el</sub>. Aastas toodetakse 7,2 GWh<sub>el</sub>. CO<sub>2</sub> kokkuhoid on 7 000 t/a.

ORC seadmega kaetakse ca 12% aastasesest tehase elektri tarbimisest.

Projekti maksumus oli 4 000 000 EUR, millest 2 650 000 EUR kulus seadme arendustöök. Elektri hinna 80 EUR/MWh juures on lihttasuvus 7 a.

## 1.2.8 Metall- ja keemiatööstuse heitsoojuse kasutamine kaugküttes<sup>12</sup>

Niederrhein Duisburg Dinslaken liidu kaugküttevõrgus (vt ka Joonis 0.4) leiab kasutamist metalli- ja keemiatööstuse heitsoojus. Kaugküttevõrgu magistraalorustik on 29 km pikk, võrgus on 15 nn boilerjaama ühendusvõimsusega 550 MW soojuse ülekandmiseks nn Niederrhein ja Duisburg jaotusvõrkudele.



Joonis 0.4. Niederrhein Duisburg Dinslaken kaugküttevõrk

Niederrhein'i võrku on ühendatud tarbijaid 800 MW ja võrgu pikkus on 500 km ja võrgu varustuspiirkonnas on 500 000 elanikku. Võrku juhitakse aastas 1 100GWh soojust, millest 350 MWh moodustab heitsoojus. Tööstuslik heitsoojus saadakse Thyssen-Krupp AG metallitehasest ja Sachleben Chemie GmbH keemiatehasest. Thyssen-Krupp AG põlemisgaaside temperatuur on 250 °C, mille abil soojendatakse kaugküttevõrgu vett (Duisburg-Schweigern tehas). Beeckerwerth'i tehases tekivad lahvugaasid temperatuuriga 450-600 °C. Mõlema tehase aastane soojuse edastus kaugküttevõrku moodustab 250 GWh.

<sup>11</sup> Industrielle Abwärmenutzung. Beispiele & Technologien. Dr. Brandstätter Sachverständigenbüro. Land Oberösterreich, 2008.

<sup>12</sup> Industrielle Abwärmenutzung. Beispiele & Technologien. Dr. Brandstätter Sachverständigenbüro. Land Oberösterreich, 2008.

Sachleben Chemie GmbH väävelhappetehases Duisburg-Homborg'is on võimalik aastas kaugküttevõrku edastada 100 GWh soojust. Heitsoojus tekib väävelhappe tootmise protsessi jaoks vajaliku titaandioksiidi tootmisest. Heitsoojuse temperatuur tõstetakse Sachtleben soojuselektrijaamas 140 °C-ni, et tagada kaugküttevõrgu jaoks vajalik temperatuur.

Heitsoojuse kasutamisega hoitakse CO<sub>2</sub> kokku 90 000 t/a.

Georg Fischer Automobilguss GmbH (Singen, Baden-Württemberg) valmistab autotööstusele metallkomponente. Metallil sulatamise protsessis tekkiv heitsoojus on alates 2008. aastast ära kasutatud naabruses asuva Maggi toiduainetetehases.<sup>13</sup>

## 1.2.9 Metallitööstuse heitsoojuse kasutamine toiduainetetööstuses

Ahjude heitõhus (1200 °C) sisalduv soojus antakse üle termaalõlile, mille temperatuur on 280 °C. Termaalõli pumbatakse mööda 200 m pikkust torustikku (vt ka Joonis 0.5) Maggi tehasesse, kus on soojusvaheti. Soojusvahetis annab termaalõli soojuse ära veele ja toodetakse auru. Auru kasutatakse värskete määrgade toodete steriliseerimiseks, keetmiseks ja kuivatamiseks. Toodetakse nt raviioole, külmuivatatud suppe ja kastmeid.

Ühenduse soojusvõimsus on 20MW. Heitsoojus asendab maagaasi 50 GWh/a ulatuses vajaliku protsessisoojuse järgi. Aastas kokku hoitav CO<sub>2</sub> kogus on hinnanguliselt üle 11 000 t/a.



Joonis 0.5. Georg Fischer Automobilguss GmbH ja Maggi vaheline termaalõlitorustik

## 1.3 Norra

Norras asub üks suuremaid raudränni (100 000 t/a) ja mikroränni (20 000 t/a) tootjaid Finnfjord AS (vt ka Joonis 0.6), kelle toodang katab 15% terasetööstuse vajadusest.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> IETS. Industrial Energy-Related Technologies and Systems. An Implementing Agreement established Under the auspices of the International Energy Agency. Annex XV: Industrial Excess Heat Recovery – Technologies and Applications. Phase 1. Country Reports

<sup>14</sup> IETS. Industrial Energy-Related Technologies and Systems. An Implementing Agreement established Under the auspices of the International Energy Agency. Annex XV: Industrial Excess Heat Recovery – Technologies and Applications. Phase 1. Country Reports



**Joonis 0.6. Finnfjord AS**

Raudräni tootmine on energiamahukas. Koldest väljuvate põlemisgaaside temperatuur on >600 °C. Kuna põlemisgaas sisaldab ränilolmu, siis on soojuse taaskasutamine komplitseeritud ülesanne. Selleks on projekteeritud spetsiaalsed aurukatlad, mis ühendati 40,5 MW turbiiniga. Põlemisgaasides sisalduva soojusega toodetakse auru ja aur suunatakse auruturbiini ja toodetakse elektrit, aastas ca 340 GWh.

Lisaks Finnfjord AS-le on ka teisigi ettevõtteid, kes on teinud analoogse lahenduse:

1. Elkem, Thamshavn – 195 GWh/a;
2. Elkem, Bjølvfossen – 50 GWh/a;
3. Hønefoss, district heating – 4x375 kW.

Lerøy Seafood (kalatööstus) Skjervøy tehases ja Fatland Jæren (lihatööstus) on rakendanud ammoniaagi peal töötava külmajaama heitsoojuse taaskasutust.

Skretting Fish Feed on rakendanud kala kuivatamise heitõhust niiskuse väljakondenseerimisel saadava soojuse taaskasutust. Selleks on paigaldatud hübriidsoojuspump. Niiskuse kondenseerumisel eralduv soojus muundatakse soojuspumba abil kõrgemate parameetritega soojuseks, mida kasutatakse õhkuivatites õhu eelsoojendamiseks. Soojuspumba võimsus on 1600 kW, mis tõstab 27-42 °C heitsoojuse temperatuurini 85 °C. Mõõdetud soojustegur on hinnanguliselt 5,5. Aastane hinnanguline energiasääst on 5 GWh.

Norra tööstusettevõtetes on sisemine heitsoojuse taaskasutus muutunud populaarseks. Norras on vähemalt kolm ettevõtet, mis arendavad soojuspumpi kõrgtemperatuurilistele rakendustele – tarbevee soojendamiseks kuni auru tootmiseni. Norras on installeeritud vähemalt üle 6,5 MW ulatuses hübriidsoojuspumpasid (vesilahusega soojuspumbad). Epcon toodab soojuspumpasid auru tootmiseks.

Üheks taastuvast allikast saadava soojuse projekt on 2010. aastal Norras valminud 13,2 MW soojuspump, mis kasutab soojusallikana jahedat vett, ning selle abil varustatakse Drammeni linna tööstust ning kohaliku hoonefondi, kus elab 63 000 elanikku, küttesoojuse ja sooja veega. Soojuspump kasutab kohaliku fjordi vett (sama hästi võiks kasutada mingit heitvett), mille temperatuur on ligikaudu 8° C ning mille soojuspump tagastab temperatuuril 4 °C. Väljundpoolel viiakse esialgu vesi kaugküttesüsteemis 60°C. Pärast 60°C vee viimist järgneb kolmeastmeline tsükkel, mille abil viiakse vesi kaugküttesüsteemis 90 kraadini. Sellise 13 MW soojuspumba, soojusteguriga 3,05 ja alginvesteeringuga 5,8 miljonit eurot, tasuvusaeg on 4

aastat. Antud projekti muudab kasumlikumaks asjaolu, et kasutatakse ära Norra madalat elektrienergia hinda. Soojuspumbas kasutatavaks soojuskandjaks on ammoniaak, mis omab paremat efektiivsust kui teised sünteetilised soojuskandjad ning ei kujuta endas kliimasoojenemisele. Antud projektis suudab soojuspump varustada 85% ulatuses kaugküttevõrgu soojusnõudlust, ülejäänud 15% on kaetud kütteõilil töötavate kateldega tipukoormuste ajal. Sellise lahenduse kasutamisega vähendatakse CO<sub>2</sub> emissioone ligikaudu 15 000 t/a, arvestades, et elekter tuleb taastuenergiaallikast ning hoitakse kokku kuni 6,7 miljonit liitrit kütust aastas.<sup>15 16</sup>

## 1.4 Rootsi

### 1.4.1 Kartongitehase heitsoojuse kasutamine kaugküttes<sup>17,18</sup>

Lindesberg (23 500 elanikku) kaugküttesüsteemi juhitakse Krosnäs Frövi (vt ka Joonis 0.7) heitsoojust. Aastas juhitakse kaugküttevõrku tööstusest ca 86 GWh heitsoojust, mis moodustab 92% kaugküttevõrgu vajadusest. Kaugküttevõrguga on ühendatud 4500 korterit, koole, tööstusobjekte ja avalikke hooneid. Heitsoojuse kasutamiseks rajati uus torustik pikkusega 18 km ja läbilaskevõimsusega 20 MW. Heitsoojus võetakse protsessiaurust temperatuuriga 480 °C.



**Joonis 0.7. Krosnäs Frövi tehas**

Projekti tulemusena liidetakse aastas 40-60 uut kinnistut (hoonet) kaugküttevõrguga (võimalik, et iga korter loetakse eraldi tarbijaks). Hinnanguliselt 100-150 m<sup>3</sup> kütteõli ja 400 MWh elektrit on asendatud heitsoojusega. CO<sub>2</sub> kokkuhoiuks on hinnatud 16 000 t/a. Projekti tulemusena loobuti ka soojuspumba kasutamisest, mis tähendab, et 5 tonni freooni on kasutusest väljas. Samuti vähenes elektri tarbimine 11 GWh võrra, mis on hinnatud võrdseks 550 eramaja tarbimisega. Kaugküttevõrgu käitamiskulud on madalad, moodustades ainult elektri kulu pumpamisele.

Peamised soojusallikad võib Rootsi näitel võiks jagada neljaks. Kasutatakse peamiselt ümbritsevat (välis-)vett, reovett, tööstusest tekkinud lisasoojust ja muid allikaid. Ümbritseva vee all on mõeldud peamiselt soolast merevett, jõgede, järvede vett või põhjavett.

<sup>15</sup> Heat Pumps & Energy Efficiency Influencers - Making the right choice. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.star-ref.co.uk/smart-thinking/how-to-choose-an-efficient-heat-pump-large-scale-heat-pumps-and-district-heating-making-the-right-choice.aspx>.

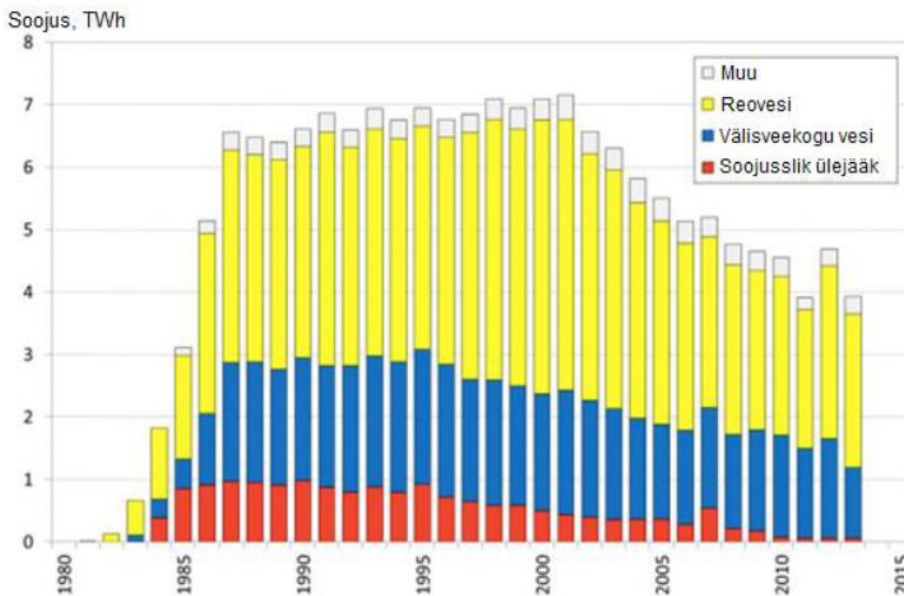
<sup>16</sup> Large scale heat pumps in Europe. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03\\_Media/03.02\\_Studies\\_and\\_reports/Large\\_heat\\_pumps\\_in\\_Europe\\_MDN\\_II\\_final4\\_small.pdf](https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03_Media/03.02_Studies_and_reports/Large_heat_pumps_in_Europe_MDN_II_final4_small.pdf).

<sup>17</sup> Industrielle Abwärmenutzung. Beispiele & Technologien. Dr. Brandstätter Sachverständigenbüro. Land Oberösterreich, 2008.

<sup>18</sup> <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-8400-4.pdf?pid=4084>



Veetemperatuurid erinevatel aastaegadel varieeruvad vahemikus 2 kuni 14°C vahel. Tööstusliku heitsoojuse all mõeldakse madalatemperatuurilist soojust, mis on tekkinud tööstuslike protsesside tagajärjel ning temperatuurivahemikuks on 15-40°C. Reovee alla loetakse heitvett mis on tekkinud inimtegevuse tagajärjel, temperatuuriga vahemikus 12-20°C. Muude allikate alla loetakse suitsugaase ja geotermaalvett. Nagu selgub jooniselt 1.9, siis kõige kasutatavam soojusallikas on reovesi ja seejärel välisveekogu vesi. Kõige suuremal määral on vähenenud tööstusliku heitsoojuse kasutamine soojusallikana, millest saab järeldada, et reovett ja looduslike veekogude vett saab pikemas perspektiivis võtta kui stabiilset soojusallikat soojuspumpade jaoks. Joonis 0.8 on välja toodud graafik, mis kirjeldab aastast soojustootmist vahemikus 1981-2013, soojuspumpade poolt, sõltuvalt soojusallikast, mida on kasutatud.

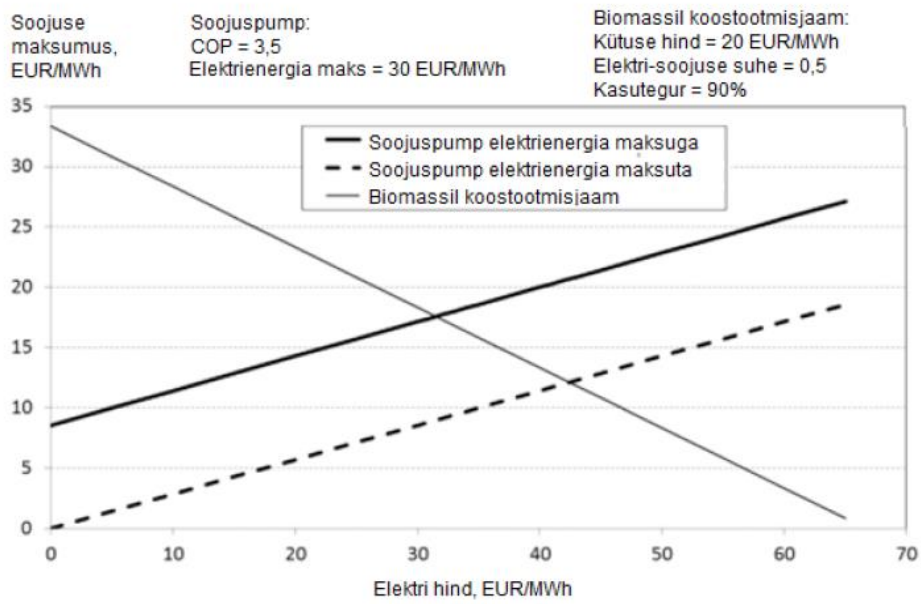


Joonis 0.8. Soojuse tootmine soojuspumpade poolt Rootsis, sõltuvalt soojusallikast, vahemikus 1981-2013 <sup>19</sup>

Järgmisel Joonis 0.9

on esitatud Rootsi kohta soojuste hinna võrdlus tootetuna biomassil töötavas koostootmisjaamas ja soojuspumpadega. Näeme, et mida odavam on soojuste hind, seda tasuvam on soojust genereerida soojuspumpadega ja mida kallim on elektri hind, seda tasuvamaks muutub soojus koostootmisjaamades. Kui arvestada elektri hinda koos maksudega, siis piirhinnaks on umbes 32 €/MWh (32 euro senti/kWh), millest kõrgema elektri hinna juures tasub soojust toota biomassil töötavates SEK jaamades.

<sup>19</sup> H. Averfalk, P. Ingvarsson, U. Persson, M. Gong, S. Werner, "Large heat pumps in Swedish district heating systems". [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117307839>



Joonis 0.9. Soojuse tootmise kulukus Rootsis soojuspumpade ja biomassil töötavate koostootmisjaamade jaoks sõltuvalt elektrienergia hinnast<sup>108</sup>

On veel mitmeid soojuspumpadel (SP) baseeruvaid projekte, millest osa heitsoojuse kasutamisega ja mis on Põhjamaades juba ellu viidud ning töötavad. Neid kirjeldab Tabel 0.1.



Tabel 0.1. Põhjamaades ellu viidud SP-de projektid <sup>20</sup>

Linn	Ettevõtte	Soojuspumpade soojuslik väljundvõimsus (jahutusvõimsus)	Soojusallikas
Akaa	Elenia Lämpö	0,6 MW (0,5 MW)	Suitsugaasid
Espoo	Fortum	2x20 MW (2x,7,5 MW)	Reovesi
Helsingi	Helen	5x18 MW (5x12 MW)	Reovesi, jahutusvesi
Riihimäki	Ekokem/HLV	2x4,5 MW (2x2 MW)	Suitsugaasid, kaugküttesüsteemi tagastusvesi
Mäntsälä	Mäntsälän Söhhö (Nivos)	3 MW	Andmekeskus
Turu	TSE	2x20 MW (2x14 MW)	Reovesi
Göteborg	Göteborg Energi (Rya verket)	2x50 MW + 2x30 MW	Reovesi
Lund	Lunds Energi	3,6 MW	Osakeste kiirendi, geotermaal
Stockholm	Fortum Sverige	4x27 MW + 2x24 MW + 4x25 MW	Merevesi
Drammen	Drammen Fjernvarme	3x4,5 MW	Merevesi
Oslo	Oslofjord Värme (Sandvika)	2x6,5 MW (2x4,5 MW)	Reovesi
Trondheim	NTNU	1,1 MW	Andmekeskus
Dronninglund	Dronninglund Fjernvarme	3 MW	Hoiustatud päikeseenergia

## 1.4.2 Stockholmi kaugkütte- ja jahutusvõrk

Stockholmi kaugküttesüsteemis oli 2005. a seisuga soojuspumpasid võimsusega kokku 420 MW.

Värtan Ropsten (vt ka Joonis 0.10) merevett kasutavas soojuspumpade jaamas on soojuspumpade koguvõimsus 180 MW. Jaamas on 6 soojuspumpa Friotherm Unitop 50FY, mis paigaldati 1984-1986 (külmutusagens R22). 2003 a alustati soojuspumpade üleviimist teisele külmutusagensile R134a. Vee sissevõtt on 15 m sügavuselt, kus vee temperatuur on permanentsest +3 °C.

<sup>20</sup> Large heat pumps in district heating systems. [https://energia.fi/files/976/Large\\_heat\\_pumps\\_in\\_district\\_heating\\_systems\\_Summary.pdf](https://energia.fi/files/976/Large_heat_pumps_in_district_heating_systems_Summary.pdf).

[Võrgumaterjal].

Saadaval:



**Joonis 0.10. Värtan Ropsten pumbajaama hoone<sup>21</sup>**

Igale pumbale on paigaldatud kaks veevõtutoru. Tänapäevaks on seadmeid juurde lisatud. Kokku on 12 soojuspumpa ja 4 külmamasinat ja väljastatav soojusvõimsus on 300 MW. Kirjanduse andmetel on jaama soojustegur 3,22. Soojuspumbad võimaldavad kaugküttesse edastada vett temperatuuriga 80 °C. Merevee baasil vabajahutuse võimsus 74 MW.

Nimrod jaamas (Joonis 0.11) on paigaldatud 2000-2001 a neli jahutit Unitop Turbo seadet igaüks 12 MW<sub>j</sub>, mis saavad töötada erinevates režiimides vastavalt olukorrale.

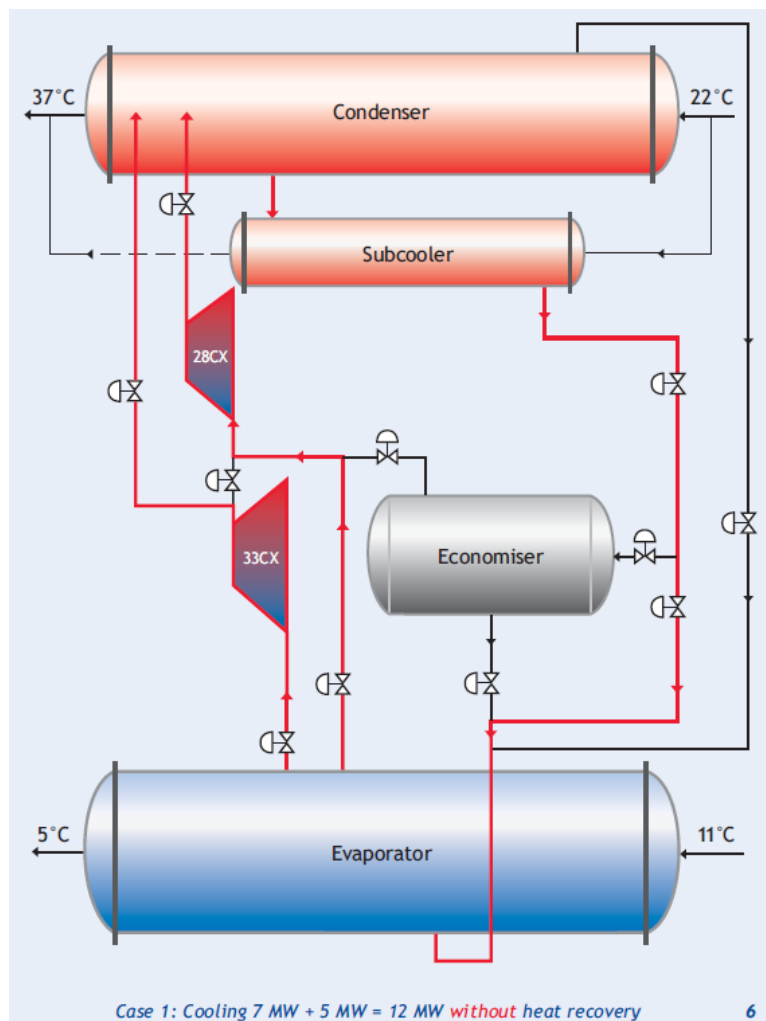


**Joonis 0.11. Nimrodi jaam**

Igal seadmel on kaks kompressorit 28CX (5 MW<sub>j</sub>) ja 33CX (7 MW<sub>j</sub>). Suvel töötavad mõlemad kompressorid paralleelselt (vt ka Joonis 0.12), võimaldades saada maksimaalse jahutusvõimsuse 12 MW. Madalamatel jahutuskoormustel, kompressorite koormust langetatakse 20% võrra. Suvel juhitakse heitsoojus kondensaatorist mereveega merre.

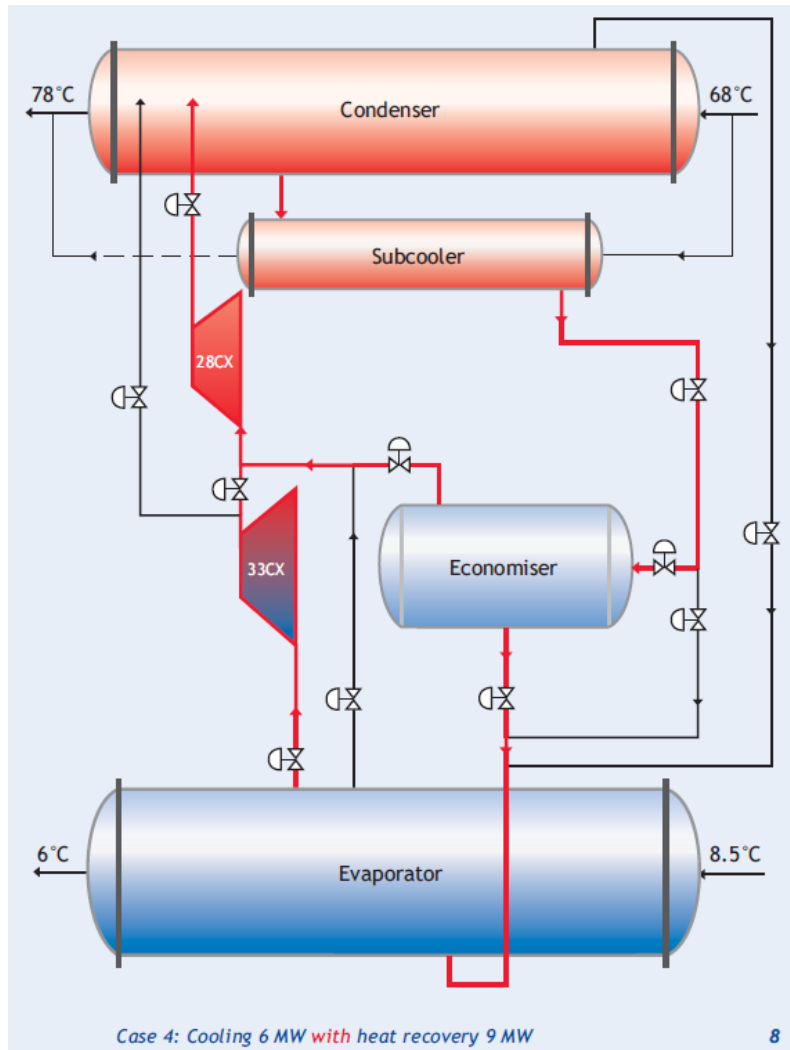
<sup>21</sup> Friothers AG

<sup>22</sup> <https://www.gshp.org.uk/DeMontfort/LargeWaterSourceHeatPumpsSwedish.pdf>



### Joonis 0.12. Töötamine ainult külmatootmise režiimis

Kevadel, sügisel, talvel – vahel ka suvel – on võimalik kombineeritud külma ja soojustootmine (vt ka Joonis 0.13). Sellisel juhul, 33CX ja 28CX kompressoriid töötavad jadas. Esimene on suurem kompressor 33CX ja teine on väiksem 28CX.



Joonis 0.13. Töötamine soojuse- ja külmatootmise režiimis

## 1.5 Eesti

Järgnevad kirjeldused tuginevad ekspertide kogemustele ja teadmisele.

Eestis on rakendatud toidupoodide külmikute kompressorite soojuse kasutamist hoone soojusvarustuse ja suured kaubandusketid rakendavad seda järjest oma kauplustes.

Ühes Eesti õlletehases on rakendatud valmistoodangu lao õhu kuivatamisel tekkivat heitsoojuse kasutamist. Valmistoodangu laost võetakse õhk, mis jahutatakse maha, et õhuniiskus välja kondenseerida ja kuiv õhk juhitakse lattu tagasi. Külmutusseadme kompressori käitamisel tekkinud soojus taaskasutatakse sama õhu temperatuuri tõstmiseks.

Piimatööstuses on rakendatud protsessis tekkinud heitsoojuse kasutamist kas hoone kütmiseks, ventilatsiooniõhusoojendamiseks, vee soojendamiseks või teise protsessi soojendamiseks. Soojuse ülekannet tehakse nii soojusvahetitega kui soojuspumpadega. Piimatööstuses on vaja töödeldavat piima ja saadusi jahutada. Jäätööstuses kasutatakse külmutusseadmeid. Külmutusseadmete heitsoojust on nt võimalik taaskasutada.

Eestis on suurel määral veel kasutamata klaasikarastusahjude heitsoojus. Karastamisel klaasi kuumutatakse ja jahutatakse. Õhuventilaatorite mootorite võimsused on ca 300 kW. Klaasi kuumutamiseks kasutatakse maagaasi. Kõik see energia sisaldub lõpuks klaasi jahutavas õhus, mis juhatakse atmosfääri.

## 1.5.1 Trükiteöstuse heitsoojuse kasutamine

*Off-set* trükimasinate korral soojenevad seadmed temperatuurini kuni 55 °C. Selleks, et värvipigmendid kristalliseeruksid, on vaja trükivaltse veega jahutada. Täiendavalt kasutatakse infrapunakuivateid, mis moodustavad 40% seadme elektritarbimisest.<sup>23</sup>

Eestis on trükikodadest rakendanud heitsoojuse võrku juhtimist AS Kroonpress Tartus. Tööstuse heitsoojus kantakse üle kaugküttevõrku plaatsoojusvaheti kaudu.

## 1.5.2 Metallitööstuse heitsoojuse kasutamine

Metalldetailide tootmisega tegelevas ettevõttes toimub metalli termiline töötlemine, kus kuumutatakse tervet detaili. Kuumutamine toimub induktoriga ja energiaallikaks on elekter. Selleks, et induktor üle ei kuumeneks jahutatakse seda veega. Induktorit läbiva vee maksimaalne temperatuur on 40 °C. Ringlev vesi jahutatakse maha ja soojus salvestatakse akumulatsioonipaakidesse. Salvestatud soojust kasutatakse ruumide kütmiseks.

Tööstuses rakendatakse neid meetmeid, mille tasuvusaeg ei ületa 5 a, pigem isegi kuni 3 a. Selleks, et ettevõtteid huvituksid investeerimisest, on vaja tõenäoliselt toetusmehhanisme, et tuua tasuvusaeg tööstuse jaoks oodatavale tasemele. Uute tööstuse korral heitsoojuse tagastuse rakendamise väljaehitamine on kordades odavam, kui olemasoleva tööstuses ümberehituse tegemine. Seetõttu on soovtav mõelda, kas oleks võimalik uutele rajatavatele tööstustele pakkuda heitsoojuse kasutamise seadmetele investeeringutoetust.

Tabel 0.2 näeb, et Eesti asub toodud riikide hulgas tagant 9. kohal tööstusliku heitsoojuse suhtelt tööstuses kasutatud kogu energia kohta, mis on 11,9%. See tähendab, nagu oleks meil võimalik tööstuses kasutatavast energiast võtta heitsoojusena tagasi kasutusse 11,9%. Kui arvestada tööstuslik heitsoojus kogu riigis kasutatud energia kohta moodustaks see meil 2,5%. Heas mõttes paistab Baltimaadest silma Leedu.

<sup>23</sup> M. Blesl, A. Kessler. Energieeffizienz in der Industrie. Springer Vieweg, 2017.

**Tabel 0.2. Tööstusliku heitsoojuse suhe tööstuses kasutatud energiasse ja tööstusliku heitsoojuse kasutuse suhe kasutatud energiasse riigiti<sup>24</sup>**

	Industrial Waste Heat per Energy Consumed by the Industry (%)	Industrial Waste Heat per Energy Consumed by the Country (%)
Japan	1.0	0.4
Latvia	3.0	0.6
US	4.0–4.2	1.5
Sweden	5.5–18.4	2.0–6.7
UK	5.5–21.3	1.1–4.2
Slovenia	7.3	1.9
Korea	8.0	4.7
EU	9.1–22.2	2.3–5.6
Estonia	11.9	2.5
Denmark	12.9	2.0
Luxembourg	13.6	2.2
Norway	15.4	5.7
Ireland	16.3	2.6
Finland	16.9	7.4
Czech Republic	17.4	6.0
Germany	18.8–20.7	5.2–5.8
France	19.8–26.0	5.0–6.5
Austria	20.4	6.4
Bulgaria	21.0	6.0
Hungary	22.2	3.9
Spain	23.1	6.0
Poland	23.1	5.4
Portugal	23.4	7.0
Italy	24.2	6.0
Belgium	24.5	7.5
Romania	26.0	8.0
Netherlands	26.7	7.1
Slovak Republic	27.7	10.5
Greece	38.2	7.0
Turkey	46.9	17.4
Cyprus	47.8	5.0
Lithuania	55.7	10.4
Canada	71.0	26.4

<sup>24</sup> Laia Miró, Sarah Brückner, Luisa F. Cabeza. Mapping and discussing Industrial Waste Heat (IWH) potentials for different countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews 51 (2015) 847-855. (Ingl k Industrial Waste Heat per Energy Consumed by the Industry and Industrial Waste Heat per Energy Consumed by the Industry ratios)





Käesolevad töölehed on osa Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi tellimisel teostatud analüüsist "Heitsoojuse- ja heitjahutuse kasutamise võimalused kütte- ja/või jahutussektoris ning Eesti töhusa kaugkütte ja -jahutuse potentsiaali hindamine"

## Värvikoodid

Arvutustabelis on asjakohased sisendandmed tähistatud heleoranži värviga (vastavaid sisendeid tuleb kohandada kui tekivad uued ajakohased andmed)

Arvutustabelis on asjakohased rõhutamist vajavad andmed või arvutuste tulemused tähistatud intensiivse oranži värviga

Arvutustabelis on asjakohased arvutuste tulemusena olevad andmed tähistatud helesinise värviga (töötavad automaatselt, vajaduseta mitte muuta)

## Tööleht

- "Eeldused ja sisendid" - kajastab a) kasutust leidnud makromajanduslikke näitajaid, selliseid nagu inflatsioonimäär, b) sektorispetsiifilisi näitajaid nagu NPV arvutustes aluseks võetud diskontomäär ning c) konkreetsete projektide NPV arvutuste sisendeid nagu investeringu eluiga
- "NPV Arvutus" - kuvab konkreetsete projektide NPV arvutusi
- "Elamumajanduse BaasStse" - kuvab olemasoleva elamufondi rekonstrueerimise ja küttesüsteemide moderniseerimist käsitlevate stsenaariumite sisendeid ja eelduseid
- "Elamumajanduse AltStse" - kuvab olemasoleva elamufondi rekonstrueerimise ja küttesüsteemide moderniseerimist käsitlevaid alternatiivstsenaariumite NPV arvutusi
- "Madalatemp. küttevõrk" - kuvab madalatemperatuurilise küttevõrgu stsenaariumi sisendeid ja eeldusi
- "Prognoos" - käsitleb erinevatel allikatel põhinevaid prognoose kuni aastani 2050
- "CO<sub>2</sub>" - käsitleb, mis suunas mõjutavad stsenaariumite alternatiivid heite CO<sub>2</sub>ekv
- "Stsenaariumid" - kuvab sektorispetsiifilisi üldistusi stsenaariumite alusel

## Direktiivi järgsed sektorid

- a) Tööstusheitsoojus ja -jahutus
- b) Jäätmepõletus
- c) Suure töhususega koostootmine
- d) Taastuvad energiaallikad (nt geotermiline, päikese- ja biomassist saadav energia), mis on muud kui need, mida kasutatakse suure töhususega koostootmises
- e) Soojuspumbad
- f) Olemasolevate kaugküttevõrkude soojus- ja jahutuskadude vähendamine

## 1. Makromajanduslikud ja sektorispetsiifilised üldnäitajad

Väärtus	
Hind €/MWh	
Puiduhake	14
Maagas	26
Elekter	77
Soojus kodumajapidamiseks	63
Soojus hulgimüük	22
Biogaas (sisetarbitamiseks)	13
Freesturvas	13
Põlevkiviõli	50
Kulud realiseerimiseks (liitumine võrguga vm)	- €
Tarbitamise/nõudluse muutus	0%
Projekti väline toetus	0%
Diskontomäär	5,76%
Inflatsioon	2%

### Allikas:

Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.  
 Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.  
 Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.  
 Ekspert hinnang, Ülo Kask & KPMG  
 "52,3 Elering AS biometaanitootjate audiit"  
 Eesti Statistika: "KE08: Ettevõtete tarbitud kütuse ja energia keskmine maksumus"; AS Tootsi Turvas ("https://www.tootsiturvas.ee/kutteturvas/")  
 Eesti Statistika: "KE08: Ettevõtete tarbitud kütuse ja energia keskmine maksumus"

Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.  
 Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.

## 2. Heitefaktorid & osakaalud

	t CO2 eq /MWh	t CO2 eq /GWh
Maagas	0,20	202,16
Soojus		301,00
Soojuse fossiilse osa heitefaktor 2020		217,00
Puit		390,00
Tahke biomassi heitefaktor	0,01	6,99
Põlevkivist elektri tootmise heitefaktor (CFB)	0,36	358,12
Põlevkiviõli kütteks kasutamise heitefaktor	0,31	305,81
Raske kütteõli heitefaktor	0,28	279,55
Taastuenergia osakaal elektrienergiast, 2020		19%
Taastuenergia osakaal soojamajanduses, 2020		55%
Taastuenergia osakaal lõpptarbitamiseks, 2020		34%
1 GWh in MWh		1 000

### Allikas:

MMK tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"  
 MKM tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"  
 MKM tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"  
 MKM tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"  
 MKM tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"  
 MKM tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"  
 MKM tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"  
 MKM tellimusel teostatud uuringule "Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine"

REKK 2030  
 REKK 2030  
 REKK 2030

## 3. Kategooria 1

a) Tööstusheitsoojus ja -jahutus e) Soojuspumbad

### Ettevõtte1.1

Suitsugaaside kondensaator	
Kasutatav tehnoloogia	Elekter
Kasutatav kütus (I)	
Kütuse (I) osakaal	100%
Kasutatav kütus (II)	-
Kütuse (II) osakaal	-
Kasutatav kütus (III)	-
Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	1 000
Alginvesteering	300 000 €
Omaosalus	100%
Kasulik eluiga	15
Aastane tegevuskulu	5%
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	77 000,00 €
Liitumine	0,00 €

### Allikas:

Küsitlus  
 Küsitlus  
 Keskkonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a  
 -  
 -  
 -  
 -  
 Küsitlus  
 Küsitlus  
 Küsitlus  
 Küsitlus  
 Küsitlus  
 Küsitlus  
 -  
 -

### Ettevõtte1.2

Soojusvaheti	
Kasutatav tehnoloogia	Maagas
Kasutatav kütus (I)	
Kütuse (I) osakaal	100%
Kasutatav kütus (II)	-
Kütuse (II) osakaal	-
Kasutatav kütus (III)	-
Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	450

### Allikas:

Intervjuu  
 Keskkonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a  
 Keskkonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a  
 -  
 -  
 -  
 -  
 -  
 Intervjuu

Alginvesteering	54 000,00 €
Omasosalus	100%
Kasulik eluiga	15
Aastane tegevuskulu	5%
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	11 601,00 €
Liitumine	0,00 €

Intervjuu	
Intervjuu	
Intervjuu	
Intervjuu	
Intervjuu	
-	
-	

### Ettevõtte1.3

Alevik	
Kasutatav tehnoloogia	
Kasutatav kütus (I)	
Kütuse (I) osakaal	100%
Kasutatav kütus (II)	-
Kütuse (II) osakaal	-
Kasutatav kütus (III)	-
Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	1 928
Alginvesteering (soojuspump)	176 000,00 €
Omasosalus	100%
Kasulik eluiga	10
Aastane tegevuskulu, 10a	10%
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	42 416,00 €
Liitumine	705 600,00 €
NPV	-536 399,00 €

<b>Alevik 1</b>	
Soojuspump	
Hakkpuit	
	100%
	-
	-
	-
	-
	-
	1 928
	176 000,00 €
	100%
	10
	10%
	100%
	42 416,00 €
	705 600,00 €
	-536 399,00 €

### Allikas:

[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
Keskonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a
-
-
-
-
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.
-
-
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg

### Ettevõtte1.3

Alevik	
Kasutatav tehnoloogia	
Kasutatav kütus (I)	
Kütuse (I) osakaal	96%
Kasutatav kütus (II)	
Kütuse (II) osakaal	4%
Kasutatav kütus (III)	-
Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	12 005
Alginvesteering (soojuspump)	658 000,00 €
Omasosalus	100%
Kasulik eluiga	10
Aastane tegevuskulu, 10a	10%
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	264 110,00 €
Liitumine	3 813 000,00 €
NPV	-2 673 744,00 €

<b>Alevik 2</b>	
Soojuspump	
Hakkpuit	
	96%
Maagaas	
	4%
	-
	-
	-
	12 005
	658 000,00 €
	100%
	10
	10%
	100%
	264 110,00 €
	3 813 000,00 €
	-2 673 744,00 €

### Allikas:

[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
Keskonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a
Keskonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a
Keskonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a
-
-
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.
-
-
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg

### Ettevõtte1.3

Alevik	
Kasutatav tehnoloogia	
Kasutatav kütus (I)	
Kütuse (I) osakaal	100%
Kasutatav kütus (II)	-
Kütuse (II) osakaal	-
Kasutatav kütus (III)	-
Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	10 812
Alginvesteering (soojuspump)	658 000,00 €
Omasosalus	100%
Kasulik eluiga	10
Aastane tegevuskulu, 10a	10%
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	237 864,00 €
Liitumine	4 387 000,00 €
NPV	-2 190 061,00 €

<b>Alevik 3</b>	
Soojuspump	
Maagaas	
	100%
	-
	-
	-
	-
	-
	10 812
	658 000,00 €
	100%
	10
	10%
	100%
	237 864,00 €
	4 387 000,00 €
	-2 190 061,00 €

### Allikas:

[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
Keskonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a
-
-
-
-
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
Riikliku energiasäästukohustuse täitmiseks sobilike finantsmeetmete arvutusmetoodikate väljatöötamine ja energiasäästu potentsiaali hindamine, 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi tellimusel.
-
-
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg
[...] jääksoojuse kasutamisevõimaluste eeluurimg

**Puudub**

Kasutatav tehnoloogia  
 Kasutatav kütus (I)  
 Kütuse (I) osakaal  
 Kasutatav kütus (II)  
 Kütuse (II) osakaal  
 Kasutatav kütus (III)  
 Kütuse (III) osakaal  
 Heitsoojuse kogused  
 Alginvesteering  
 Omaosalus  
 Kasulik eluiga  
 Aastane tegevuskulu  
 Heitsoojuse realiseerimise määr  
 Aastane müügitulu või sääst  
 Liitumine

	100%
	100%
	0,00 €

**Allikas:**

Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad
Algandmed puuduvad

**Kategooria 3** *c) Suure tõhususega koostootmine***Ettevõtte 3**

Kasutatav tehnoloogia  
 Kasutatav kütus (I)  
 Kütuse (I) osakaal  
 Kasutatav kütus (II)  
 Kütuse (II) osakaal  
 Kasutatav kütus (III)  
 Kütuse (III) osakaal  
 Heitsoojuse kogused  
 Alginvesteering  
 Omaosalus  
 Kasulik eluiga  
 Aastane tegevuskulu  
 Heitsoojuse realiseerimise määr  
 Aastane müügitulu või sääst  
 Liitumine

Suitsugaaside kondensaator, soojusvaheti, soojuspump	
Puiduhake	
	92,86%
Freesturvas	
	6,57%
Maagaas	
	0,57%
	33900
	2 500 000,00 €
	100%
	15
	5%
	100%
	465 726,37 €
	0,00 €

**Allikas:**

Küsitlus
Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
Küsitlus; Ekspert hinnang
Küsitlus
Küsitlus
Küsitlus
Küsitlus
Küsitlus
-
-

**Kategooria 4** *d) Taastuvad energiaallikad (nt geotermiline, päikese- ja biomassist saadav energia), mis on muud kui need, mida kasutatakse suure tõhususega koostootmises***Ettevõtte 4**

Kasutatav tehnoloogia  
 Kasutatav kütus (I)  
 Kütuse (I) osakaal  
 Kasutatav kütus (II)  
 Kütuse (II) osakaal  
 Kasutatav kütus (III)  
 Kütuse (III) osakaal  
 Heitsoojuse kogused  
 Alginvesteering  
 Omaosalus  
 Kasulik eluiga  
 Aastane tegevuskulu  
 Heitsoojuse realiseerimise määr  
 Aastane müügitulu või sääst  
 Liitumine

Soojusvaheti, soojuspump	
Biogaas	
	100%
	-
	-
	-
	-
	660
	80 000,00 €
	100%
	15
	6%
	100%
	8 507,40 €
	0,00 €

**Allikas:**

Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
Keskkonnaagenteuri andmete põhjal, 2018a
-
-
-
-
Küsitlus
Küsitlus
Raporteeritud omaosalus 60%
Küsitlus
Küsitlus
Küsitlus
-
-

**Kategooria 5** *e) Soojuspumbad a) Täöstuhsheitsoojus ja -jahutus***Puudub**

Kasutatav tehnoloogia  
 Kasutatav kütus (I)  
 Kütuse (I) osakaal  
 Kasutatav kütus (II)  
 Kütuse (II) osakaal  
 Kasutatav kütus (III)

Elamusektor	
Soojuspumbad	
Keskkuüte soojus energia	
	100%
	-
	-
	-

**Allikas:**

Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus
Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus
Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus
-
-
-

Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	240,6
Alginvesteering	60 000,00 €
Omaosalus	100%
Kasulik eluiga	10
Aastane tegevuskulu	5590
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	15 157,80 €
Liitumine	0,00 €

-  
 Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus  
 Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus  
 Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus  
 Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus  
 Ventilatsiooni väljatõmbeõhust soojuspumpadega soojustagastuse toimivus rekonstrueeritud korterelamus  
 -  
 -

**Ettevõtte 5.2**

Kasutatav tehnoloogia	Soojuspump
Kasutatav kütus (I)	Keskkitte soojus energia
Kütuse (I) osakaal	100%
Kasutatav kütus (II)	-
Kütuse (II) osakaal	-
Kasutatav kütus (III)	-
Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	61416
Alginvesteering	4 984 846,00 €
Omaosalus	100%
Kasulik eluiga	10
Aastane tegevuskulu	10%
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	1 351 152,00 €
Liitumine	0,00 €

**Allikas:**

Soojuspumba arvutus [..]  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 -  
 -  
 -  
 -  
 -  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 Soojuspumba arvutus [..]  
 -  
 -

**Kategooria 6**

*f) Olemasolevate kaugküttevõrkude soojus- ja jahutuskadude vähendamine*

**Ettevõtte 6**

Kasutatav tehnoloogia	Suitsugaaside kondensaator
Kasutatav kütus (I)	Puiduhake
Kütuse (I) osakaal	97,80%
Kasutatav kütus (II)	Põlevkiviõli
Kütuse (II) osakaal	2,20%
Kasutatav kütus (III)	-
Kütuse (III) osakaal	-
Heitsoojuse kogused	11000
Alginvesteering	740 000,00 €
Omaosalus	100%
Kasulik eluiga	15
Aastane tegevuskulu	5%
Heitsoojuse realiseerimise määr	100%
Aastane müügitulu või sääst	159 807,34 €
Liitumine	0,00 €

**Allikas:**

Intervjuu  
 Keskkonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a  
 Keskkonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a  
 Keskkonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a  
 Keskkonnaagentuuri andmete põhjal, 2018a  
 -  
 -  
 Intervjuu  
 Intervjuu  
 Rapoteeritud omaosalus 65%  
 Intervjuu  
 Intervjuu  
 Intervjuu  
 -  
 -

Kuupäev: Perioodi number:	0	01.01.2020 1	01.01.2021 2	01.01.2022 3	01.01.2023 4	01.01.2024 5	01.01.2025 6	01.01.2026 7	01.01.2027 8	01.01.2028 9	01.01.2029 10	01.01.2030 11	01.01.2031 12	01.01.2032 13	01.01.2033 14	01.01.2034 15	01.01.2035 16	01.01.2036 17	01.01.2037 18	01.01.2038 19	01.01.2039 20	01.01.2040 21
<b>Kategooria 1</b>																						
a) Tööstushetsoojus ja -jahutus																						
e) Soojuspumbad																						
<b>Ettevõtte 1.1</b>																						
Esmane investeering	300 000 €	300 000,00																				
Investeering aastane jooksev keskmine	15 000 €																					
Tulud	€	77 000,00	78 540,00	80 110,80	81 713,02	83 347,28	85 014,22	86 714,51	88 448,80	90 217,77	92 022,13	93 862,57	95 739,82	97 654,62	99 607,71	101 599,86	103 631,86	105 704,10	107 816,81	109 969,28	112 161,91	
Rahavood	€	-223 000,00	63 240,00	64 504,80	65 794,90	67 110,79	68 453,01	69 822,07	71 218,51	72 642,88	74 095,74	75 577,65	77 089,21	78 630,99	80 203,61	81 807,68	83 443,84	85 113,61	86 819,49	88 556,01	90 322,69	
Diskonteeritud rahavoog	€	-210 854,77	56 539,11	54 529,02	52 590,40	50 720,69	48 917,46	47 178,34	45 501,04	43 883,38	42 323,23	40 818,55	39 367,36	37 967,76	36 617,93	35 316,08	34 060,51	32 855,92	31 698,68	30 587,36	29 519,47	
NPV	€	243 724,74 €																				
TNPV	€	16,25 €																				
<b>Ettevõtte 1.2</b>																						
Esmane investeering	54 000 €	54 000,00																				
Investeering aastane jooksev keskmine	2 700 €																					
Tulud	€	11 601,00	11 833,02	12 069,68	12 311,07	12 557,30	12 808,44	13 064,61	13 325,90	13 592,42	13 864,27	14 141,55	14 424,39	14 712,87	15 007,13	15 307,27	15 613,42	15 925,76	16 244,39	16 569,41	16 900,92	
Rahavood	€	-42 399,00	9 079,02	9 260,60	9 445,81	9 634,73	9 827,42	10 023,97	10 224,45	10 428,94	10 637,52	10 850,27	11 067,27	11 288,62	11 514,39	11 744,68	11 979,57	12 219,11	12 463,41	12 712,57	12 966,70	
Diskonteeritud rahavoog	€	-40 089,83	8 117,01	7 828,43	7 550,11	7 281,69	7 022,81	6 773,14	6 532,34	6 300,10	6 076,11	5 860,09	5 651,76	5 450,82	5 257,03	5 070,14	4 889,88	4 714,82	4 545,72	4 382,28	4 224,13	
NPV	€	25 171,66 €																				
TNPV	€	3,73 €																				
<b>Alevik 1, ilma reaalsete liitumiskuludeta</b>																						
Esmane investeering	176 000 €	176 000,00																				
Investeering aastane jooksev keskmine	17 600 €																					
Tulud	€	42 416,00	43 264,32	44 129,61	45 012,20	45 912,44	46 830,69	47 767,31	48 722,65	49 697,10	50 691,05	51 704,87	52 738,09	53 791,19	54 863,64	55 956,03	57 068,94	58 201,97	59 355,74	60 530,83	61 726,74	
Rahavood	€	-133 584,00	25 312,32	25 818,57	26 334,94	26 861,64	27 398,87	27 946,85	28 505,78	29 075,90	29 657,42	30 250,57	30 854,84	31 470,61	32 098,38	32 738,66	33 391,04	34 056,01	34 733,18	35 423,04	36 125,31	
Diskonteeritud rahavoog	€	-126 308,62	22 630,24	21 825,68	21 049,73	20 301,37	19 579,61	18 883,51	18 212,16	17 564,68	16 940,21	16 337,95	15 756,37	15 194,98	14 653,19	14 130,41	13 626,14	13 140,90	12 674,28	12 225,77	11 794,87	
NPV	€	19 972,87 €																				
TNPV	€	1,04 €																				
<b>Alevik 2, ilma reaalsete liitumiskuludeta</b>																						
Esmane investeering	658 000 €	658 000,00																				
Investeering aastane jooksev keskmine	65 800 €																					
Tulud	€	264 110,00	269 392,20	274 780,04	280 275,64	285 881,16	291 598,78	297 430,76	303 379,37	309 446,96	315 635,90	321 948,62	328 381,48	334 939,98	341 621,62	348 426,81	355 354,04	362 402,81	369 571,62	376 861,08	384 270,70	
Rahavood	€	-393 890,00	202 276,20	206 321,72	210 448,16	214 657,12	218 950,26	223 329,27	227 795,85	232 351,77	236 998,81	241 738,78	246 571,48	251 498,52	256 511,52	261 612,02	266 801,62	272 082,02	277 454,82	282 921,62	288 484,12	
Diskonteeritud rahavoog	€	-372 437,59	180 843,08	174 413,71	168 212,92	162 232,59	156 464,86	150 902,19	145 537,29	140 363,12	135 372,90	130 560,10	125 928,32	121 479,16	117 206,21	113 102,68	109 164,19	105 385,45	101 761,17	98 287,16	94 958,14	
NPV	€	796 529,31 €																				
TNPV	€	6,63 €																				
<b>Alevik 3, ilma reaalsete liitumiskuludeta</b>																						
Esmane investeering	658 000 €	658 000,00																				
Investeering aastane jooksev keskmine	65 800 €																					
Tulud	€	237 864,00	242 621,28	247 473,71	252 423,18	257 471,64	262 621,08	267 873,50	273 330,97	278 995,59	284 269,50	289 954,89	295 861,48	301 989,98	308 331,48	314 886,77	321 655,57	328 638,57	335 836,57	343 249,37	350 876,77	
Rahavood	€	-420 136,00	175 505,28	179 015,39	182 595,69	186 247,61	189 972,56	193 772,01	197 647,45	201 600,40	205 632,41	209 745,06	213 928,06	218 182,01	222 507,61	226 905,57	231 377,61	235 925,43	240 550,83	245 255,53	250 041,33	
Diskonteeritud rahavoog	€	-397 254,16	156 908,80	151 330,35	145 950,22	140 761,37	135 757,00	130 930,54	126 275,67	121 786,29	117 456,52	113 280,69	109 261,52	105 392,74	101 678,15	98 112,46	94 690,41	91 418,61	88 292,77	85 309,59	82 465,77	
NPV	€	617 001,91 €																				
TNPV	€	5,71 €																				
<b>Kategooria 2</b>																						
b) Jäätmepeletus																						
<b>Puudub</b>																						
Esmane investeering	0 €	0																				
Investeering aastane jooksev keskmine	0 €																					
Tulud	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rahavood	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Diskonteeritud rahavoog	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NPV	€	0																				
TNPV	€	#DIV/0!																				
<b>Kategooria 3</b>																						
c) Suure tõhususega koostootmine																						
<b>Ettevõtte 3</b>																						
Esmane investeering	2 500 000 €	2 500 000,00																				
Investeering aastane jooksev keskmine	125 000 €																					
Tulud	€	465 726,37	475 040,90	484 541,72	494 232,55	504 117,20	514 199,54	524 483,54	534 973,21	545 672,67	556 586,12	567 717,85	579 072,20	590 653,65	602 466,72	614 516,05	626 806,38	639 343,68	652 135,73	665 183,33	678 494,26	
Rahavood	€	-2 034 273,63	347 540,90	354 491,72	361 581,55	368 813,18	376 189,44	383 713,23	391 387,50	399 215,25	407 199,55	415 343,54	423 650,41	432 123,42	440 765,89	449 581,21	458 572,83	467 749,31	477 108,36	486 651,51	496 381,47	
Diskonteeritud rahavoog	€	-1 923 481,12	310 715,58	299 668,96	289 015,07	278 739,95	268 830,14	259 272,64	250 054,92	241 164,82	232 590,98	224 321,86	216 346,73	208 655,13	201 236,98	194 082,56	187 182,50	180 528,41	174 111,38	167 924,24	161 968,83	
NPV	€	574 699,94 €																				
TNPV	€	1,13 €																				
<b>Kategooria 4</b>																						
d) Taastuvad energiaallikad (nt geotermiline, päikese- ja biomassist saadav energia), mis on muud kui need, mida kasutatakse suure tõhususega koostootmises																						
<b>Ettevõtte 4</b>																						
Esmane investeering	80 000 €	80 000,00																				
Investeering aastane jooksev keskmine	4 800 €																					
Tulud	€	8 507,40	8 677,55	8 851,10	9 028,12	9 208,68	9 392,86	9 580,71	9 772,33	9 967,78	10 167,13	10 370,47	10 577,88	10 789,44	11 005,23	11 225,33	11 449,84	11 678,84	11 912,33	12 150,40	12 393,14	
Rahavood	€	-71 492,60	3 781,55	3 857,18	3 934,32	4 013,01	4 093,27	4 175,13	4 258,64	4 343,81	4 430,69	4 519,30	4 609,69	4 701,88	4 795,92	4 891,84	4 989,67	5 089,44	5 191,16	5 294,84	5 400,57	
Diskonteeritud rahavoog	€	-67 598,90	3 380,86	3 260,66	3 144,74	3 032,93	2 925,11	2 821,11	2 720,82	2 624,08	2 530,79	2 440,82	2 354,04	2 270,35	2 189,63	2 111,79	2 036,71	1 963,44	1 891,76	1 821,66	1 753,04	
NPV	€	-40 416,52 €																				
TNPV	€	-4,08 €																				
<b>Kategooria 5</b>																						
e) Soojuspump a) Tööstushetsoojus ja -jahutus																						
<b>Elamusektor</b>																						







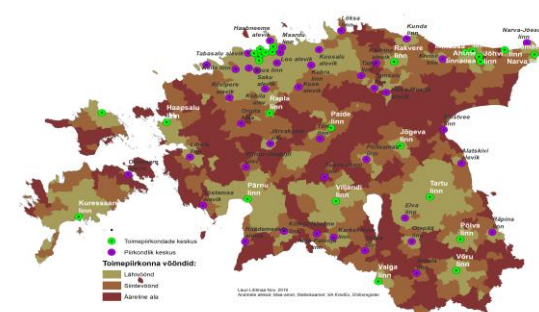
KK+SP stenaariumi tarbimine KK võrgust	24,68 kWh/m2*a
KK+SP stenaariumi vähenemine	175,32 kWh/m2*a
KK stenaariumi tarbimine KK võrgust	90 kWh/m2*a
KK stenaariumi vähenemine	110 kWh/m2*a
KK+SP100% stenaariumi tootmine võrku	48,734 kWh/m2*a
KK+SP100% stenaariumi tarbimine KKst	24,68 kWh/m2*a
KK+SP100% stenaariumi vähenemine	224,06 kWh/m2*a
KK Primaarenergia tarbimise väh	112,5 kWh/m2*a
KK+SP Primaarenergia tarbimise väh	236,81 kWh/m2*a
KK+SP100% Primaarenergia tarbimise väh	249,98 kWh/m2*a

Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel, aasta lõikes kompenseeritakse KK võrgust tarbitud soojusenergia suveperioodil võrku toodetud energiaga ehk vähenemine kogu hoone tarbimine + ülejääk võrku  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel  
 Arvutus "Aastane energiabilanss" proportsiooni alusel

SP SPF	3,7
Soojuse toomine tarbijani primaarenergiaühikus	80%
1 GWh tarbimist =	1,25 GWh
1 GWh SP tarbitud energiat =	0,27 GWh
	0,98 GWh

Hoone andmete näitel  
 GWh primaarenergia  
 GWh primaarenergia/elektrienergia  
 GWh primaarenergia vähem iga soojuspumbaga tarnitud GWh kohta

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Korter rek tempo praegu	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	226 800,00	m2
KK tarbimise väh	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	GWh
KK+SP tarbimise väh	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	39,76	GWh
KK+SP100% väh	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	50,82	GWh
Korter rek tempo uus	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	486 000,00	m2
KK tarbimise väh	53,46	53,46	53,46	53,46	53,46	53,46	53,46	53,46	53,46	53,46	53,46	GWh
KK+SP tarbimise väh	85,21	85,21	85,21	85,21	85,21	85,21	85,21	85,21	85,21	85,21	85,21	GWh
KK+SP100% väh	108,89	108,89	108,89	108,89	108,89	108,89	108,89	108,89	108,89	108,89	108,89	GWh



**Vana rek tempo**

KK primaar vähenemine	25,515
KK+SP primaar vähenemine	53,708
KK+SP100% primaar vähenemine	56,695

**Uus rek temp**

KK primaar vähenemine	54,675
KK+SP primaar vähenemine	115,088
KK+SP100% primaar vähenemine	121,489

Soojuse hind, keskmine, 2018	63 €/MWh
Elektri hind, keskmine, 2018	77 €/MWh

Soojuse hind ümber arvutatud M2 enne rek	12,6 €/M2
Soojuse hind ümber arvutatud M2 pärast rek	5,7 €/M2
Soojuse hind ümber arvutatud pärast rek + SP	1,6 €/M2
Elektri omatarve ümber arvutatud M2 SP	1,3 €/M2

SP investeeing eur/M2 alg	14,33 €/M2
SP investeeing eur/M2 aastane	1,36 €/M2

TNPV	5,82 €/MWh
------	------------

Soojuse fossiilse osa heitefaktor 2020	217 t CO2 eq /GWh
Põlevkivist elektri tootmise heitefaktor (CFB)	358 t CO2 eq /GWh

Sääst, CO2 eq, pärast rek	54 137,16 t CO2 eq
Sääst, CO2 eq, pärast rek + SP	46 950,30 t CO2 eq

Sääst, primaarenergia, pärast rek	249,48 GWh
Sääst, primaarenergia, pärast rek + SP	397,63 GWh

**Allikas:**  
 vt "Eeldused ja sisendid"  
 vt "Eeldused ja sisendid"  
 Ilma kuludeta  
 "Eeldused ja sisendid", kategooria 5  
 "Eeldused ja sisendid", kategooria 5  
 "NPV arvutus", kategooria 5  
 vt "Eeldused ja sisendid"  
 vt "Eeldused ja sisendid"



Kauplev:	01.01.2021	01.01.2022	01.01.2023	01.01.2024	01.01.2025	01.01.2026	01.01.2027	01.01.2028	01.01.2029	01.01.2030	01.01.2031	01.01.2032	01.01.2033	01.01.2034	01.01.2035	01.01.2036	01.01.2037	01.01.2038	01.01.2039	01.01.2040
Period number:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Eluiga hoone rek	20
Eluiga soojustump	-13
Tegevuskulu rek	0,00%
Tegevuskulu SP	9,50%
Inflatsioon	2,00%
Diskontomäär	5,76%
Toetuse määr	100,00%

**Elumajanduse baasstenoarium**

**Stenoarium d**

Rek lihtsustatud investeering (eur) alg	68 040 000,00 €	€	68 040 000,00																			
Rek lihtsustatud tulu (eur/a)	1 571 724,00 €	€	1 571 724,00	1 635 221,65	1 667 926,08	1 701 284,60	1 735 310,30	1 770 016,50	1 805 416,83	1 841 525,17	1 878 355,67	1 915 922,79	1 954 241,24	1 993 326,07	2 033 192,59	2 073 856,44	2 115 333,57	2 157 640,24	2 200 793,04	2 244 808,91	2 289 705,08	2 335 499,18
Rahavood	-66 468 276,00	€	-66 468 276,00	1 635 221,65	1 667 926,08	1 701 284,60	1 735 310,30	1 770 016,50	1 805 416,83	1 841 525,17	1 878 355,67	1 915 922,79	1 954 241,24	1 993 326,07	2 033 192,59	2 073 856,44	2 115 333,57	2 157 640,24	2 200 793,04	2 244 808,91	2 289 705,08	2 335 499,18
Diskonteeritud rahavood	-62 848 218,01	€	-62 848 218,01	1 461 954,12	1 409 978,45	1 359 850,62	1 311 504,95	1 264 878,07	1 219 908,88	1 176 538,44	1 134 709,92	1 094 368,49	1 055 461,29	1 017 937,83	981 747,42	946 844,15	913 181,76	880 716,15	849 404,76	819 206,55	790 081,96	761 992,82
NPV	-42 435 592,4	€	-42 435 592,4																			
TNPV	-85,03 €	€	-85,03 €																			

**Soojustumpade kasutamine elumajanduses põlvkondlike eluolukäite täiendamiseks**

**Stenoarium 4a**

KK+SP tarbimise väh investeering (eur) alg	71 290 836,12 €	€	71 290 836,12									3 962 751,09										
KK+SP tarbimise väh investeering (eur) aastane	308 829,43 €	€	321 306,14	327 732,26	334 286,91	340 972,65	347 792,10	354 747,94	361 842,90	369 079,76		383 990,58	391 670,39	399 503,80	407 493,88	415 643,75	423 956,63	432 435,76	441 084,48	449 906,17	458 904,29	
KP + SP lihtsustatud tulu (eur/a)	2 505 060,39 €	€	2 505 060,39	2 606 266,83	2 658 390,13	2 711 557,23	2 765 789,09	2 821 104,87	2 877 526,97	2 935 077,51	2 993 779,06	3 053 654,64	3 114 727,73	3 177 022,29	3 240 562,73	3 305 373,99	3 371 481,47	3 438 911,10	3 507 689,32	3 577 843,10	3 649 399,97	3 722 387,96
Rahavood	-68 785 775,73	€	-68 785 775,73	2 284 956,69	2 330 657,96	2 377 271,02	2 424 816,44	2 473 312,77	2 522 779,03	2 573 234,61	2 624 699,30	-909 096,45	2 780 737,15	2 785 351,89	2 841 058,93	2 897 806,11	2 955 637,71	3 014 564,47	3 075 253,36	3 138 758,63	3 199 493,80	3 261 483,68
Diskonteeritud rahavood	-65 039 500,50	€	-65 039 500,50	2 042 845,25	1 970 217,62	1 900 172,06	1 832 616,77	1 767 463,23	1 704 626,03	1 644 022,84	1 585 574,22	-519 272,76	1 474 837,04	1 422 403,34	1 371 833,79	1 323 062,08	1 276 024,33	1 230 658,86	1 186 906,24	1 144 709,12	1 104 012,20	1 064 762,14
NPV	-38 548 283,3	€	-38 548 283,3																			
TNPV	-48,47 €	€	-48,47 €																			

**Soojustumpade kasutamine elumajanduses põlvkondlike eluolukäite täiendamiseks soojusenergia tootmisel**

**Stenoarium 4b**

KK+SP 100% tarbimise väh investeering (eur) alg	71 290 836,12 €	€	71 290 836,12										3 962 751,09									
KK+SP 100% tarbimise väh investeering (eur) aastane	420 017,36 €	€	418 358,87	426 624,04	435 156,52	443 859,65	452 736,85	461 791,58	471 027,42	480 447,96		499 858,06	509 855,22	520 052,33	530 453,37	541 062,44	551 883,69	562 911,37	574 179,79	585 663,39	597 376,66	
KP + SP 100% lihtsustatud tulu (eur/a)	2 748 222,93 €	€	2 748 222,93	2 859 251,14	2 958 390,13	3 055 557,93	3 152 789,09	3 251 104,87	3 350 526,97	3 451 077,51	3 552 779,06	3 655 654,64	3 760 727,73	3 877 022,29	3 993 562,73	4 121 373,99	4 250 481,47	4 380 911,10	4 512 689,32	4 645 843,10	4 780 399,97	4 927 387,96
Rahavood	-68 542 613,19	€	-68 542 613,19	2 440 992,27	2 231 766,08	2 276 401,41	2 321 929,43	2 368 368,02	2 415 735,38	2 464 050,09	2 513 331,09	-909 096,45	2 614 869,67	2 667 167,06	2 720 510,40	2 774 920,61	2 830 419,02	2 887 027,40	2 944 767,95	3 003 663,31	3 063 736,58	3 125 011,31
Diskonteeritud rahavood	-68 542 613,19	€	-68 542 613,19	2 440 992,27	2 231 766,08	2 276 401,41	2 321 929,43	2 368 368,02	2 415 735,38	2 464 050,09	2 513 331,09	-909 096,45	2 614 869,67	2 667 167,06	2 720 510,40	2 774 920,61	2 830 419,02	2 887 027,40	2 944 767,95	3 003 663,31	3 063 736,58	3 125 011,31
NPV	-21 863 428,1	€	-21 863 428,1																			
TNPV	-21,51 €	€	-21,51 €																			

Tarbjaja: 21 eluhoonet + infrastruktuur (lasteade jne)  
 Soojuste võimsus: 4,5 MW  
 Pindala: 15 842,50 m<sup>2</sup>

Alginvesteering:  
 Soojustepump: 484 000 €  
 Täiendav investeering: 550 000 €/MW  
 Investeering kokku: 2959000 €

Projekti kestus: 10 Aastat  
 O&M (iga-aastane kulu): 44 000 €/aasta  
 Target IRR: 7%

Soojuste hind, tava: 56 €/MWh  
 Maagaasi hind, 2018: 35 €/MWh

Sõõst, primaarenergia + CO<sub>2</sub>:

Primaarenergia: MWh  
 CO<sub>2</sub>: t CO<sub>2</sub>  
 Maagaasi osakaal: 45,07%  
 Elektrienergia osakaal: 54,93%

NPV (10 a): 2 600 000 €  
 NPV m<sup>2</sup> kohta: 16,4 €

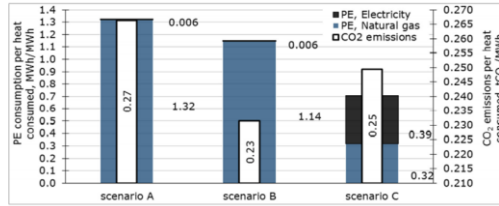


Fig. 6. PE consumption and CO<sub>2</sub> emissions for heat production of the three scenarios.

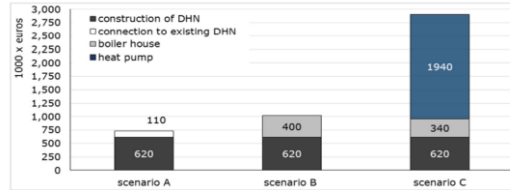
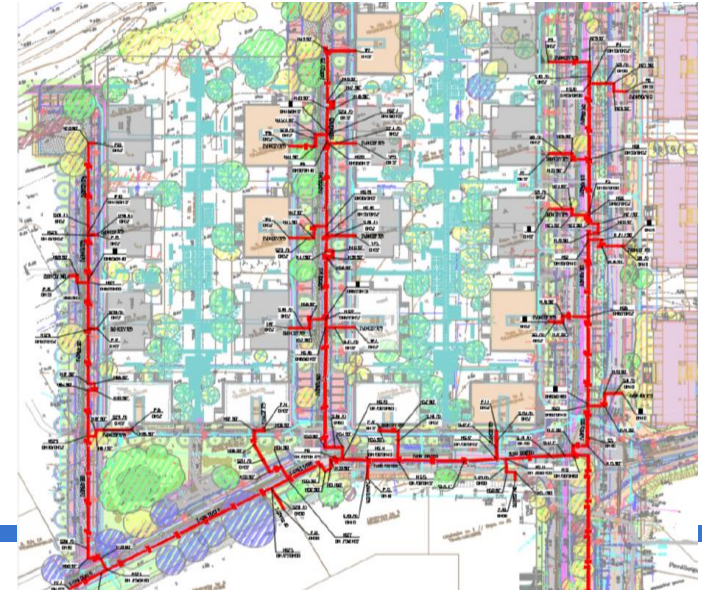


Fig. 7. Investments structure for scenarios.

Kopli:



Sektori näitajad

Stsenaarium 4c

Elamufondi ja väheintensiivse majandustegevuseg: 1949 tuh m<sup>2</sup>  
 Elamufondi ja väheintensiivse majandustegevuseg: 4440 tuh m<sup>2</sup>  
 Lisanduv aastas keskmiselt 2021 - 2030: 639 tuh m<sup>2</sup>

Allikas:

KPMG klasteranalüüs koostmõjul regressioonanalüüsiga Ehitusregistri ja Statistikaameti andmete põhjal  
 Tuletatud KPMG analüüsist



Prognosis	Aasta	2012	2020	2025	2030	2040	2050
-----------	-------	------	------	------	------	------	------

Prognoosid

Allikad:

BENTE2050 (ainult kaugküte)	Pi/aastas	18,0	17,6	17,3	15,7	15,2
ENMAK2030 (kogu soojus, lineaar)	TWh	16,0	14,7	13,1	11,5	9,9
REKK2030	TWh			17,4		
SHARES2019 tase	KTOE	1 527,7				

Hüperlink:

[www.nordicenergy.org](http://www.nordicenergy.org)  
[www.mkm.ee](http://www.mkm.ee)  
[ec.europa.eu](http://ec.europa.eu)  
[ec.europa.eu](http://ec.europa.eu)

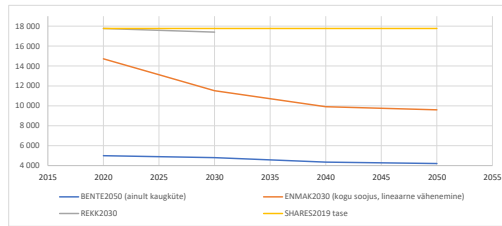
Kommentaariid:

BENTE stsenaariumis ainult kaugküte  
 3.3.2: 2012 tarbiti 16 TWh soojust, kütuste vähenemine rohkem kui 40% võrreldes 2012 tasemega  
 Kujunemiskõverad ei olnud kättesaadavad  
 SHARES2019 tase

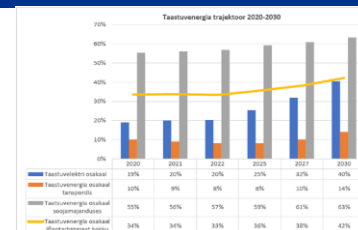
Prognooside võrdlus

Allikad:

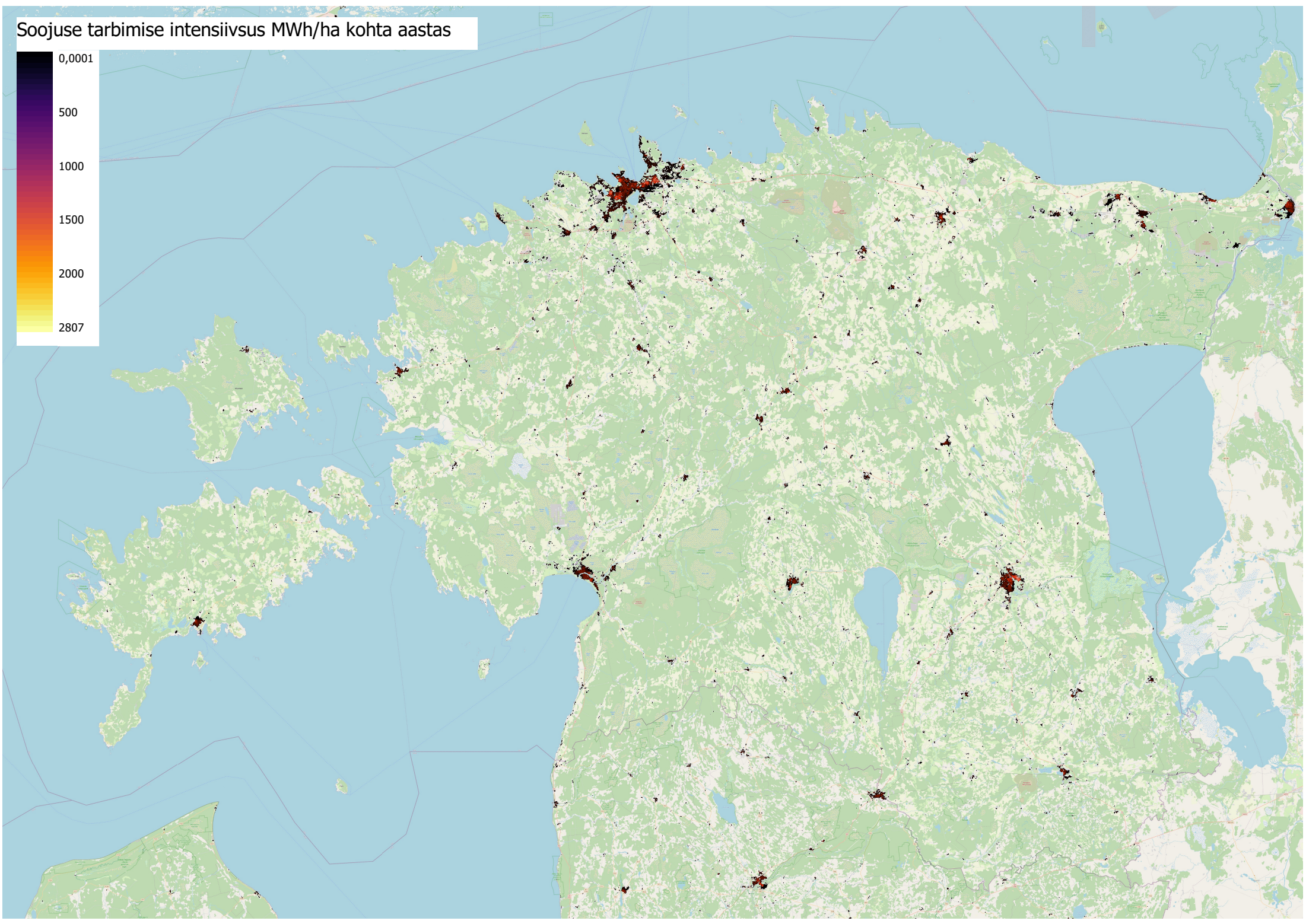
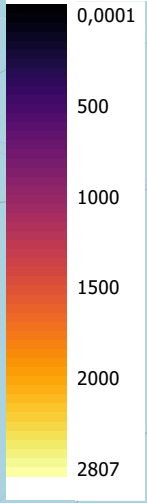
BENTE2050 (ainult kaugküte)	GWh	4 996	4 901	4 806	4 348	4 210
ENMAK2030 (kogu soojus, lineaar)	GWh	14 720	13 120	11 520	9 920	9 600
REKK2030	GWh	17 767	17 584	17 400		
SHARES2019 tase	GWh	17 767	17 767	17 767	17 767	17 767



Stsenaarium	Direktiivi grupp	Direktiivi gruppi kirjeldus	Säästetud heitsoojus, a	Peamised energialliigid	Taastuvenegia osakaal AS IS	Soojusenergia osakaal	Maagaasi osakaal	Elektrienergia osakaal	Omatarbe suhtarv	Taastuvenegia osakaal, 10a to be	t CO2 eq /GWh as is	CO2, t CO2 eq /GWh to be	CO2 sääst, t alternatiiv	CO2 sääst, t a
REKK	baas	Riiklik energia- ja klimakava aastani 2030	1470	Mitmesugused	34%					42%				~84000-102000
1	(f)	Olemasolevate kaugvõrkude soojus- ja jahutuskadude vähendamine	485	Soojusenergia	55%	100%	0%	0%	0%	55%	101,50	101,50	-49 225	49 225
2	(a)	Tööstusheitsoojus ja -jahutus	451	Mitmesugused	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	(a, e)	Tööstusheitsoojus ja -jahutus, soojuspumbad	500	Soojusenergia, elektrienergia	55%	0%	0%	100%	37%	19%	101,50	291,40	50 748	-3 817
4baas	(e)	Soojuspumbad (olemasoleva elamufondi rekonstrueerimine)	24,9	Soojusenergia, elektrienergia	55%	100%	0%	0%	0%	55%	101,50	101,50	2 532	2 532
4a	(e)	Soojuspumbad (olemasoleva elamufondi rekonstrueerimine)	39,8	Soojusenergia, elektrienergia	55%	27%	0%	73%	45%	29%	101,50	239,33	4 036	-247
4b	(e)	Soojuspumbad (olemasoleva elamufondi rekonstrueerimine)	50,8	Soojusenergia, elektrienergia	55%	0%	0%	100%	30%	19%	101,50	291,40	5 158	689
4c	(e)	Soojuspumbad (madaltemperatuuriline küttevõrk)		Maagaas, elektrienergia	55%	0%	45%	55%	30%	10%	101,50	251,18	-	-
5	(a, e)	Tööstusheitsoojus ja -jahutus, soojuspumbad	150	Soojusenergia, elektrienergia	55%	100%	0%	0%	30%	19%	101,50	101,50	15 224	10 657

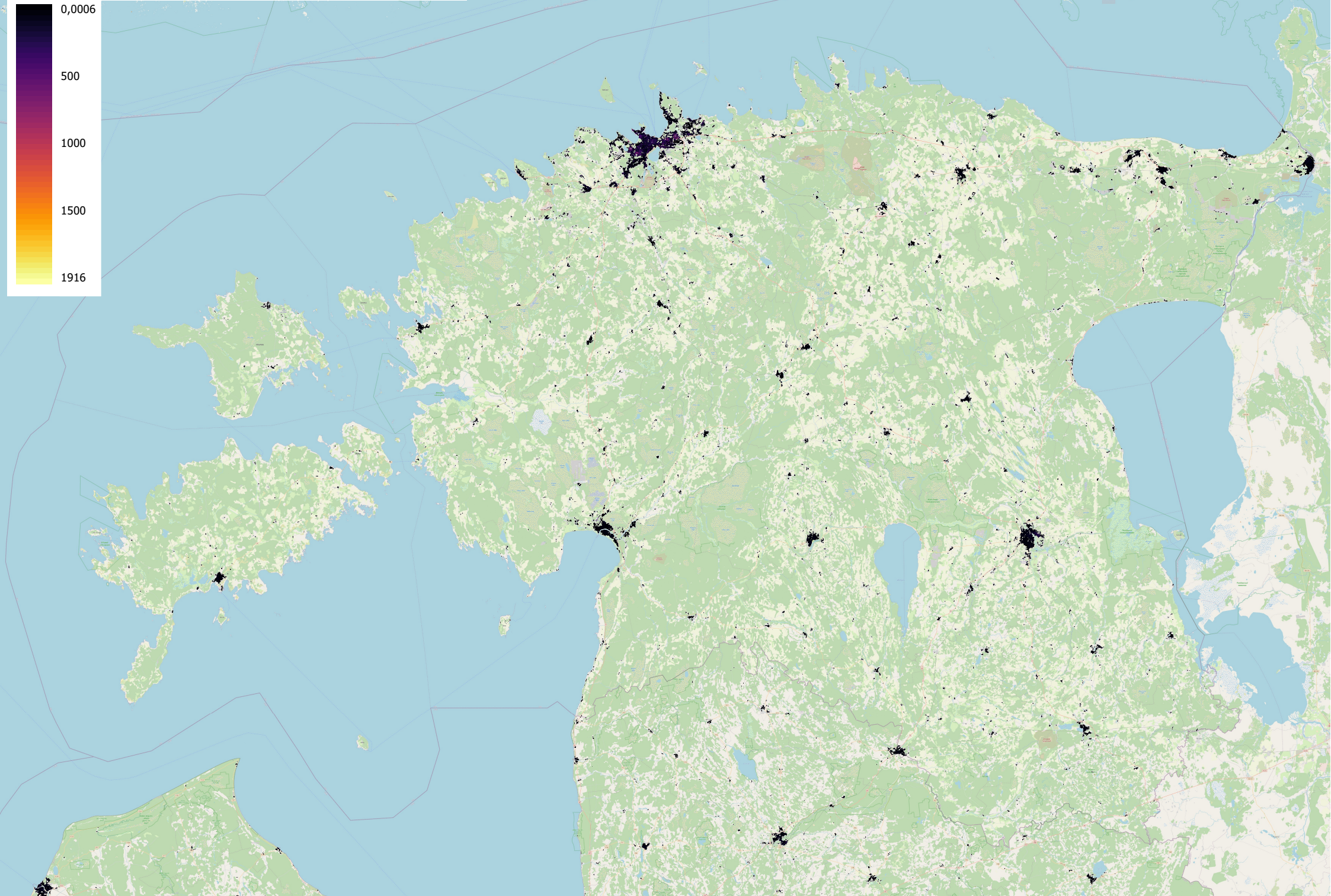


Soojuse tarbimise intensiivsus MWh/ha kohta aastas



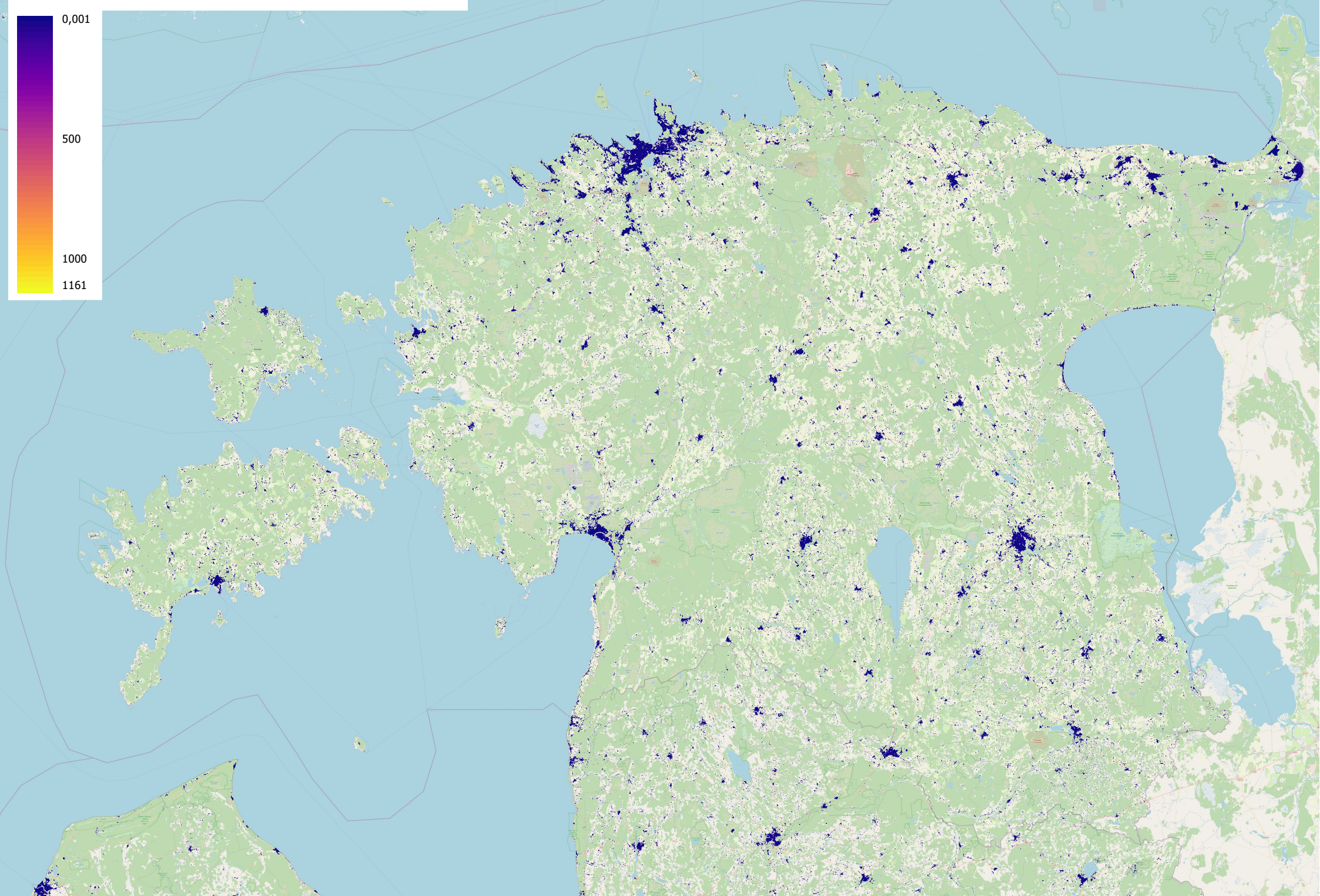


# Soojuse tarbimise intensiivsus MWh/ha kohta aastas





# Arvutuslik jahutusenergiavajadus MWh/ha kohta aastas





# Hinnanguline heitsoojusallika võimsus (MW)

(alumisel kihil elamusektori soojustarbimine)

